



การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลสมมาตรสำหรับการออกแบบและ
วิเคราะห์การทดลองชนิดแฟคทอเรียลและทากูซี

โดย

นายณัฐพัชร์ อิมทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลสมมาตรสำหรับการออกแบบและ
วิเคราะห์การทดลองชนิดแฟคทอเรียลและทากูชิ

โดย

นายณัฐพัชร์ อิมทรัพย์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

COMPARATIVE STUDY OF TRANSFORMATION METHODS ON
SYMMETRIC DATA FOR TAGUCHI AND CONVENTIONAL
FACTORIAL DESIGNS AND ANALYSES

BY

MR NATTAPAT IMSAP



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF INDUSTRIAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายณัฐพัชร์ อิมทรัพย์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลสมมาตรสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง
ชนิดแฟคทอเรียลและทากูชิ

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. บุชบา พฤกษาพันธุ์รัตน์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



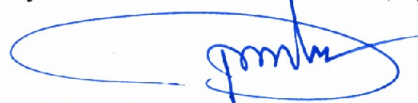
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชูติชูเดช)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภัสสรร์ ว่างศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูลสมมาตร สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองชนิด แฟคทอเรียลและทากูชิ
ชื่อผู้เขียน	นายณัฐพัชร์ อิมทรัพย์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อปกปิดข้อมูลที่เป็นความลับ และสามารถนำไปเผยแพร่สู่สาธารณะอันก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการพัฒนากระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ การแปลงแบบพาราโบลา การแปลงแบบยาว และจอห์นสัน และการแปลงแบบโลจิท ในส่วนของการออกแบบการทดลองที่ใช้จะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนและกรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน โดยรูปแบบของการออกแบบการทดลองที่ใช้การเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลคือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลและทากูชิ โดยศึกษาจากความสอดคล้องของวิธีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ในแต่ละวิธีการออกแบบการทดลอง รวมถึงการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในหลากหลายรูปแบบการทดลองที่กำหนด เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีทั้งในเชิงประสิทธิภาพในด้านความเที่ยงตรงและแม่นยำ และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ใช้กำหนดสถานการณ์ของการทดลอง

โดยผลการวิจัยสรุปได้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลกรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงแบบพาราโบลาให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด รองลงมาการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด และผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของรูปแบบข้อมูลเชิงบวกการแปลงแบบพาราโบลาให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด สำหรับรูปแบบข้อมูลเชิงลบการแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าการแปลง

แบบพาราโบลิกในรูปแบบข้อมูลเชิงลบแต่ในรูปแบบข้อมูลเชิงบวกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด ในกรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิต และผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในกรณีข้อมูลเชิงลบ และการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ

การออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิกรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในรูปแบบของข้อมูลเชิงบวก ส่วนการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในรูปแบบของข้อมูลเชิงลบ และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในรูปแบบของข้อมูลเชิงบวกและลบ ในกรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของทุกกรณีในรูปแบบข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิต และผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณทั้งกรณีไม่พิจารณาและพิจารณาปัจจัยรบกวนของข้อมูลเชิงบวกและลบให้ผลลัพธ์ทั้งหมดที่เหมือนกับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ คือ การประมาณด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดของการแปลงแบบพาราโบลิกและการแปลงแบบโลจิตที่นำไปใช้ในการแปลงข้อมูลไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากกราฟระหว่างความสัมพันธ์ของค่าสถิติและตัวแปรที่ใช้แปลงข้อมูล ส่วนการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันพบว่า ตัวแปรแลมบ์ดา (λ) ยิ่งการประมาณค่ามีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจะทำให้ค่าสถิติของการออกแบบการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อนำค่า 1 ไปแทนในสมการแปลงข้อมูลทำให้สมการถูกเปลี่ยนเป็นสมการแปลงข้อมูลเชิงเส้นตรงที่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม การนำไปใช้ในการแปลงข้อมูลสำหรับการออกแบบการทดลอง พบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันเป็นวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปใช้ในการแปลงข้อมูลเนื่องจากมีความคงทนต่อปัจจัยรบกวนมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกน่าจะเหมาะสมกับการออกแบบการทดลองที่ไม่มีการรบกวนของปัจจัยในระบบและมีความแปรปรวนของข้อมูลที่ไม่สูงมาก ส่วนการแปลงแบบโลจิตไม่เหมาะสมในการแปลงข้อมูลในทุกรูปแบบการทดลอง การออกแบบการทดลอง และวิธีการแปลงข้อมูลชนิดอื่นๆ จึงเป็นงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อรองรับกับการพัฒนากระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นได้ในอนาคต

คำสำคัญ การแปลงข้อมูล, การออกแบบการทดลอง, การประมาณค่าด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด

Thesis Title	COMPARATIVE STUDY OF TRANSFORMATION METHODS ON SYMMETRIC DATA FOR TAGUCHI AND CONVENTIONAL FACTORIAL DESIGNS AND ANALYSES
Author	Mr. Nattapat Imsap
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Engineering Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Pongchanun Luangpaiboon
Academic Years	2016

ABSTRACT

This research presents comparative study of transforming data in design and analysis of experiments for advantage of concealing data which is disseminated to public of product and process development. There were three methods of transformation which are Parabolic, Yeo&Johnson, and Logit transformations. In part of experimental designs, there were two cases of not considering and considering noise factors. Comparative study of transformations emphasized on general factorial and Taguchi designs. Objectives of research are to study an accordance of analytical procedure of natural and transformed data from experimental design which is defined in various specific conditions. Moreover, analysis of multiple linear regression is also included to measure both transformation efficiencies based on preciseness and robustness under changing co-efficient of factors in each experimental scenario.

For general factorial design in case of not considering noise factors, results of analysis of variance in negative and positive numbers were concluded that Parabolic transformation was the most efficient and Yeo&Johnson transformation outperformed Logit transformation. Results of multiple linear regression were summarized that Parabolic is the most efficient in part of positive number and Yeo&Johnson was the

most capable in case of negative number. Logit transformation was more efficient than Parabolic transformation in part of negative number but part of positive number provided the worst results. In case of considering noise factors, result of analysis of variance in negative and positive numbers were concluded that Yeo&Johnson transformation was the most efficient and Parabolic transformation outperformed Logit transformation. Result of multiple linear regression in negative and positive numbers were summarized that Yeo&Johnson was the most capable. Parabolic transformation had the worst result in part of negative number and Logit transformation gave the worst result in part of positive number.

For Taguchi design in case of not considering noise factors, results of analysis of mean were concluded that Parabolic transformation was the most efficient in part of positive number whereas Yeo&Johnson was the most capable in part of negative number. Logit transformation had the worst result in part of positive and negative number. In case of considering noise factors, results of analysis of signal to noise ratios in negative and positive numbers were concluded that Yeo&Johnson was the most capable. Parabolic transformation was more efficient than Logit transformation. Furthermore, results of multiple linear regression in all case numbers were similar to results of general factorial design.

Observations and recommendations of this research are demonstrated that maximum likelihood estimators of Parabolic and Logit transformation variables were not optimal when considering from relationships graph of each statistical result and transforming variable. Furthermore, Yeo&Johnson transformation had a transforming variable (λ) more closer to 1, much closer of statistical results when compared to the natural ones. When the value of 1 is used to substitute variable of Yeo&Johnson transformation, this transformation is changed to Linear transformation which indicates the same results. However, researchers suggest that Yeo&Johnson is the most suitable to transform experimental data in various conditions, at least the specific number on this research. It is the most robust to noise factors. Parabolic transformation should conceal the experimental data with low variance and non-noisy factors. Finally, Logit transformation is not proper to convert all experimental data. Other experimental

designs and transformation techniques could be carried out for further research to meet complex product and process development.

Keywords: Transformation, Experimental Design, Maximum Likelihood Estimators



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคามอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยแนะนำวิธีการศึกษาและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้น ช่วยตรวจทานแก้ไข ปรับปรุงเนื้อหา และเสนอแนะแนวทางในการศึกษาค้นคว้ามาโดยตลอด จนสามารถทำงานวิจัยได้สำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บุษบา พงกษาพันธ์รัตน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ ชุตินุเดช ท่านคณะกรรมการสอบ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณ คุณชมพูนุช พิกุล เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการในการประสานงานและช่วยตรวจรูปแบบเล่มวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้อนุเคราะห์ทุนวิจัยในการเข้าร่วมการสัมมนาวิชาการระดับนานาชาติ และสุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวงการศึกษ อุตสาหกรรมภายในประเทศ และผู้ที่สนใจศึกษาหรือเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติม คุณประโยชน์ใดๆ ที่เกิดขึ้น ใคร่ขอมอบแต่คุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ทุกท่าน อีกทั้งบิดา มารดา และเพื่อนๆที่คอยสนับสนุนผู้ดำเนินการวิจัยตลอดมา

ณัฐพัชร์ อิมทรัพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(33)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	6
1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 การออกแบบการทดลอง	9
2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไป	12
2.2.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย	14
2.2.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม	18
2.2.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย (กรณีมีปัจจัยรบกวน)	22
2.3 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ	29

2.3.1	ออโธโกนอลอาร์เรย์	30
2.3.2	อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์	33
2.4	การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ	36
2.4.1	ตัวแบบการถดถอยเชิงพหุคูณ	36
2.4.2	สมการถดถอยในรูปแบบเมตริกซ์	37
2.4.3	การประมาณค่าพารามิเตอร์	38
2.4.4	ค่าพยากรณ์	40
2.4.5	คุณสมบัติของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์	40
2.4.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวน	41
2.4.6.1	ผลรวมกำลังสองทั้งหมด	41
2.4.6.2	ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน	42
2.4.6.3	ผลรวมกำลังสองถดถอย	42
2.4.7	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว	43
2.4.8	การอนุมานค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงพหุ	44
2.5	การแปลงข้อมูล	45
2.5.1	การแปลงแบบพาราโบลา (Parabolic)	46
2.5.2	การแปลงแบบเยอและจอห์นสัน (Yeo&Johnson)	46
2.5.3	การแปลงแบบโลจิส (Logit)	47
2.6	วิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด	48
2.7	การทดสอบ Kruskal-Wallis	59
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	60
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย		64
3.1	รูปแบบการจำลองข้อมูลที่เตรียมไว้ใช้ในงานวิจัย	64
3.2	การออกแบบโปรแกรมคำนวณสำหรับจำลองและวิเคราะห์ข้อมูล	69
3.3	การทดสอบและยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม	69
3.4	การดำเนินการทดลอง	71
3.5	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการทดลอง	72
3.6	สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย	72

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	82
4.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป	83
4.1.1 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	83
4.1.1.1 การจำลองข้อมูล	83
(1) ข้อมูลเชิงลบ	84
(2) ข้อมูลเชิงบวก	105
4.1.1.2 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณแมทแลป	126
4.1.1.3 ผลการดำเนินการทดลอง	142
4.1.2 กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	171
4.1.2.1 การจำลองข้อมูล	171
(1) ข้อมูลเชิงลบ	171
(2) ข้อมูลเชิงบวก	197
4.1.2.2 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณแมทแลป	225
4.1.2.3 ผลการดำเนินการทดลอง	247
4.2 การออกแบบการทดลองแบบทากูชี	289
4.2.1 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	289
4.2.1.1 การจำลองข้อมูล	289
(1) ข้อมูลเชิงลบ	290
(2) ข้อมูลเชิงบวก	306
4.2.1.2 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณแมทแลป	323
4.2.1.3 ผลการดำเนินการทดลอง	340
4.2.2 กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	350
4.2.2.1 การจำลองข้อมูล	351
(1) ข้อมูลเชิงลบ	351
(2) ข้อมูลเชิงบวก	383
4.2.2.2 ผลการทดลองโปรแกรมคำนวณแมทแลป	416
4.2.2.3 ผลการดำเนินการทดลอง	459
4.3 การทดสอบและเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลอง	475

4.3.1 การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี)	476
4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ	480
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	483
5.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)	485
5.1.1 ข้อมูลเชิงลบ	485
5.1.2 ข้อมูลเชิงบวก	487
5.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	489
5.2.1 ข้อมูลเชิงลบ	489
5.2.2 ข้อมูลเชิงบวก	491
5.3 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)	493
5.3.1 ข้อมูลเชิงลบ	494
5.3.2 ข้อมูลเชิงบวก	496
5.4 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	498
5.4.1 ข้อมูลเชิงลบ	498
5.4.2 ข้อมูลเชิงบวก	504
5.5 สรุปผลการทดลอง	510
5.6 ข้อสังเกตที่ได้รับระหว่างดำเนินงานวิจัย	513
5.7 ข้อเสนอแนะ	514
รายการอ้างอิง	516
ภาคผนวก	519
ประวัติผู้เขียน	521

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 รูปแบบข้อมูลและวัตถุประสงค์การเข้ารหัส	3
1.2 เงื่อนไขข้อมูลของการออกแบบการทดลองและวัตถุประสงค์การเข้ารหัส	4
1.3 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย	7
2.1 สัดส่วนผลกระทบหลักต่อผลกระทบทั้งหมดของการทดลอง	12
2.2 ค่าสังเกตของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย	14
2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย	17
2.4 ค่าสังเกตของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม	19
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม	21
2.6 ค่าสังเกตของการทดลองแบบ GFD x CRBD array	24
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ 2 ปัจจัยกรณีมีปัจจัยรบกวน	27
2.8 ออโธโกนอลอาร์เรย์ชนิด L_93^4	30
2.9 ออโธโกนอลอาร์เรย์ชนิด L_82^3	30
2.10 ครอสอาร์เรย์ ชนิด $L_9 \times L_4$	31
2.11 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ	42
2.12 จาโคเบียนเทอมของการแปลงข้อมูลแต่ละวิธี	49
4.1 ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	84
4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	85
4.3 ตารางวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	87
4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบ ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	87
4.5 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	89

4.6 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	90
4.7 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	93
4.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบ เข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	93
4.9 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาร์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	95
4.10 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยาร์และจอห์นสันชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	95
4.11 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส เยาร์และจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	98
4.12 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยาร์และจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	98
4.13 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิสที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการ ทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	100
4.14 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	101
4.15 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	103
4.16 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	103
4.17 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	105
4.18 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูล เชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	105
4.19 ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	106
4.20 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	106

4.21 ตารางวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	109
4.22 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ เชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	109
4.23 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	111
4.24 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	111
4.25 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	114
4.26 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวก เข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	114
4.27 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเียว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรม แมทแลปในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	116
4.28 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	117
4.29 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	119
4.30 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	119
4.31 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการ ทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	121
4.32 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	122
4.33 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	124
4.34 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงบวกเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	124

4.35 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณแม่แบบข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	125
4.36 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแม่แบบข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	126
4.37 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	127
4.38 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	127
4.39 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	134
4.40 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	135
4.41 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงลบ ในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	143
4.42 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงบวก ในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน .	143
4.43 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงลบ ในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	144
4.44 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงบวก ในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	144
4.45 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	145
4.46 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	145
4.47 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	146
4.48 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	147
4.49 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	163

4.50 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	163
4.51 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	164
4.52 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	164
4.53 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	165
4.54 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	165
4.55 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	167
4.56 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	167
4.57 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	168
4.58 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	168
4.59 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	169
4.60 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	169
4.61 ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	172
4.62 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ของ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	173
4.63 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	173
4.64 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	176

4.65 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	178
4.66 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	179
4.67 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	182
4.68 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบ เข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	182
4.69 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเียว์และจอห์นสันจำลองด้วยโปรแกรม แมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	185
4.70 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	186
4.71 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส เียว์และจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	189
4.72 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณ ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	189
4.73 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิทจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	191
4.74 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	192
4.75 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	195
4.76 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณ ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	195
4.77 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงลบ ข้อมูลชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	197
4.78 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลป ข้อมูลเชิงลบข้อมูลชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	197

4.79 ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลปในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	198
4.80 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	199
4.81 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	202
4.82 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณ ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	203
4.83 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิจจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	205
4.84 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิจชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	206
4.85 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิจ ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	209
4.86 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณ ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิจชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	209
4.87 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเียว์และจอห์นสันจำลอง ด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	212
4.88 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	213
4.89 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส เียว์และจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	216
4.90 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณ ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	216
4.91 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยโลจิทจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	219

4.92 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกส์ที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	220
4.93 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกส์ที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	223
4.94 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกส์ที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	223
4.95 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงบวก ข้อมูลชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	225
4.96 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลป ข้อมูลเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	225
4.97 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	226
4.98 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	227
4.99 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	237
4.100 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	238
4.101 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงลบ ในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	248
4.102 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงบวก ในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	249
4.103 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงลบ ในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	249
4.104 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงบวก ในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	250
4.105 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	250
4.106 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	251

4.107 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	252
4.108 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	252
4.109 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	269
4.110 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัย B และ AB (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	270
4.111 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยรบกวน m และ n (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	271
4.112 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยรบกวน o (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	272
4.113 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A และ B (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	273
4.114 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยร่วม AB และ ปัจจัยรบกวน m (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	274
4.115 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยรบกวน n และ o (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	275
4.116 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A และ B (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	279
4.117 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB และ ปัจจัยรบกวน m (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	280
4.118 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยรบกวน n และ o (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	281
4.119 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A และ B (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	282
4.120 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB และ ปัจจัยรบกวน m (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	283

4.121 ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยรบกวน n และ o (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	284
4.122 ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	290
4.123 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	291
4.124 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	292
4.125 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	292
4.126 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	294
4.127 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	295
4.128 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	296
4.129 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	296
4.130 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเียว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	298
4.131 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	299
4.132 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	300
4.133 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	300
4.134 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	302

4.135 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	303
4.136 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	304
4.137 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	304
4.138 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	305
4.139 ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	305
4.140 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	306
4.141 ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลปในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	306
4.142 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	307
4.143 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	308
4.144 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	309
4.145 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลปในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	311
4.146 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	311
4.147 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	313

4.148 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	313
4.149 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	315
4.150 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	315
4.151 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	316
4.152 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	317
4.153 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิตที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	319
4.154 ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิตชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	319
4.155 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิตที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	320
4.156 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	321
4.157 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลบข้อชุดเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	322
4.158 ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลบข้อชุดเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	322
4.159 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลบของชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	322

4.160 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	324
4.161 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	325
4.162 ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแทนค่าข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	326
4.163 ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแทนค่าข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	326
4.164 ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (treatment) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	327
4.165 ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (treatment) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	327
4.166 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	333
4.167 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	334
4.168 จำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	342
4.169 ผลการทดสอบครัสคัล-วัลลิส ของค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	343
4.170 ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกรณีพิเศษ สมมติฐานของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	344
4.171 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกและลบในการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรวม	345

4.172 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบและบวกในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	346
4.173 ผลการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ T-test ในการวิเคราะห์ การถดถอยเชิงพหุคูณในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	349
4.174 ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ T-Test กรณีที่ปฏิเสธสมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	350
4.175 ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	352
4.176 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	353
4.177 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	354
4.178 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	355
4.179 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	355
4.180 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	357
4.181 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล ธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	357
4.182 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิคที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	359
4.183 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	360
4.184 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	361
4.185 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	362

4.186 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	363
4.187 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิก ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	364
4.188 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	365
4.189 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยว์และจอห์นสันที่จำลองด้วย โปรแกรมแมทแลบในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	367
4.190 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	368
4.191 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	369
4.192 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	370
4.193 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	370
4.194 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส เยว์และจอห์นสันในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	372
4.195 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงลบเข้ารหัสเยว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	372
4.196 ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิตที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	375
4.197 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	376
4.198 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	377

4.199 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกส์ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	378
4.200 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกส์ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	378
4.201 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกส์ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	380
4.202 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกส์ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	380
4.203 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_S จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	382
4.204 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_L จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	382
4.205 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_T จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	382
4.206 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	383
4.207 ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	383
4.208 ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลปในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	384
4.209 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	385
4.210 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	386
4.211 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	387
4.212 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	387

4.213 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	389
4.214 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล ธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	389
4.215 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วย โปรแกรมแมทแล็บในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	391
4.216 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	392
4.217 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	393
4.218 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	394
4.219 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	395
4.220 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิก ชุดที่ 101ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	396
4.221 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	397
4.222 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเียว์และจอห์นสันที่จำลองด้วย โปรแกรมแมทแล็บในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	399
4.223 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	400
4.224 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	401
4.225 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	402
4.226 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเียว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	402

4.227 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส ยาวและจอห์นสันสัณชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	404
4.228 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันสัณชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	404
4.229 ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิสที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	407
4.230 การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	408
4.231 การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	409
4.232 การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	410
4.233 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	411
4.234 ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิส ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	412
4.235 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูล เชิงบวกเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	413
4.236 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_S จากโปรแกรมคำนวณแมทแลบของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	414
4.237 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_L จากโปรแกรมคำนวณแมทแลบของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	414
4.238 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_T จากโปรแกรมคำนวณแมทแลบของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	415
4.239 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลบของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	415

4.240	ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแม่ทแลบข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	416
4.241	ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	417
4.242	ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	418
4.243	ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	419
4.244	ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	420
4.245	ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูล เชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	421
4.246	ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูล เชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	422
4.247	ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	423
4.248	ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	424
4.249	ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์อัตราส่วน ซิกนอลทูนอยส์จากโปรแกรมคำนวณแม่ทแลบของชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	425
4.250	ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์อัตราส่วน ซิกนอลทูนอยส์จากโปรแกรมคำนวณแม่ทแลบของชุดเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	426
4.251	ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (Treatment) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	427
4.252	ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (treatment) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	428
4.253	ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	451

4.254 ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	452
4.255 จำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ในการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	460
4.256 ผลการทดสอบสมมติฐานจำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับ ข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	463
4.257 ผลการทดสอบสมมติฐานของจำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับ ข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	464
4.258 ผลการทดสอบสมมติฐานของจำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับ ข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ S/N (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	465
4.259 ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติในการวิเคราะห์อัตราส่วน ซิกนอลทูนอยส์กรณีที่ใช้สมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	467
4.260 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ของข้อมูลเชิงบวกและลบในการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	469
4.261 ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและ ข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกและลบในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	470
4.262 ผลการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ T-test ในการวิเคราะห์ การถดถอยเชิงพหุคูณในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	473
4.263 ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ T-Test กรณีที่ใช้สมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	474
4.264 ข้อมูลของการทดลองจริงที่ได้จากงานวิจัย	475
4.265 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์ของแต่ละพารามิเตอร์ ณ ระดับปัจจัยต่างๆ	477

4.266 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูล จากการทดลองจริง	477
4.267 ผลลัพธ์การจัดอันดับของปัจจัย (Parameter) และการเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (Treatment) ของการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูล จากการทดลองจริง	478
4.268 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูล จากการทดลองจริง	480
5.1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)	485
5.2 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)	487
5.3 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	489
5.4 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	491
5.5 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบ การทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)	494
5.6 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบ แบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)	496
5.7 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	498
5.8 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	500
5.9 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	501
5.10 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบ การทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)	503

- 5.11 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูล
เชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ
(กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) 504
- 5.12 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี)
ของการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ
(กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) 506
- 5.13 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมากยิ่งดี)
ของการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ
(กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) 507
- 5.14 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์
(กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบ
การทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) 509
- 5.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเข้ารหัสข้อมูลสำหรับทุกรูปแบบของ
การออกแบบการทดลอง (กรณีไม่พิจารณาการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ) 511
- 5.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการเข้ารหัส
ข้อมูลสำหรับทุกรูปแบบการออกแบบการทดลอง 512

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการ	8
2.2 หลักการในการออกแบบการทดลอง	9
3.1 กราฟแสดงช่วงความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์แลมบ์ดา (λ) ของการแปลงแบบ แบบเยวัวร์และจอห์นสัน	70
3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T_n และ T_t กับพารามิเตอร์โอเมก้าของการแปลง แบบเยวัวร์และจอห์นสันในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย	70
3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T_n และ T_t กับพารามิเตอร์โอเมก้าของการแปลง แบบโลจิตในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย	71
3.4 แนวคิดการวิจัยสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล	73
3.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณของการออกแบบการทดลองแบบ แฟคทอเรียลทั่วไป	74
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ทั้งกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	76
3.7 แนวคิดการวิจัยสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ	77
3.8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณของการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ	78
3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ทั้งกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน	80
3.10 ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัย	81
4.1 กราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	85
4.2 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	86
4.3 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	86
4.4 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	88

4.5 กราฟและกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	91
4.6 การกราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	91
4.7 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	92
4.8 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูล เชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	94
4.9 กราฟและกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	96
4.10 การกราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	97
4.11 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	97
4.12 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	99
4.13 กราฟและกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	101
4.14 การกราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	102
4.15 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	102
4.16 กราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	107
4.17 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	107
4.18 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	108

4.19 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	110
4.20 กราฟและกระขบทหลักและผลกระขบทรวมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	112
4.21 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	113
4.22 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	113
4.23 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	115
4.24 กราฟและกระขบทหลักและผลกระขบทรวมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาร์และจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	117
4.25 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาร์และจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	118
4.26 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาร์และจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	118
4.27 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	120
4.28 กราฟและกระขบทหลักและผลกระขบทรวมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	122
4.29 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	123
4.30 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	123
4.31 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูล เชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	128
4.32 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	129

4.33	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	130
4.34	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	131
4.35	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	132
4.36	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	133
4.37	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	136
4.38	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	137
4.39	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	138
4.40	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	139
4.41	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	140
4.42	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	141
4.43	การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า F_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	148
4.44	การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	149
4.45	การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบพาราโบลิคในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	151
4.46	การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	152

4.47 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการ แปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	153
4.48 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการ แปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	154
4.49 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการ แปลงแบบเยวร์และจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	155
4.50 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการ แปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	156
4.51 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการ แปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	157
4.52 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการ แปลงแบบเยวร์และจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	158
4.53 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการ แปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	159
4.54 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการ แปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	160
4.55 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการ แปลงแบบเยวร์และจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	161
4.56 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการ แปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	162
4.57 กราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	173
4.58 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	174
4.59 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	177
4.60 กราฟและกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	180

4.61 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสลับเข้าพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	181
4.62 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยาวร์และจอห์นสันของ ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	184
4.63 กราฟและกระตบหลักและผลกระตบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยาวร์และจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	187
4.64 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสลับเข้ารหัสเยาวร์และจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	188
4.65 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	190
4.66 กราฟและกระตบหลักและผลกระตบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิท ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	193
4.67 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสลับเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	194
4.68 กราฟและกระตบหลักและผลกระตบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	199
4.69 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	201
4.70 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	204
4.71 กราฟและกระตบหลักและผลกระตบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	207
4.72 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสพาราโบลิก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	208
4.73 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยาวร์และจอห์นสันของ ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	211
4.74 กราฟและกระตบหลักและผลกระตบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาวร์และจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	214

4.75 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	215
4.76 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	218
4.77 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	221
4.78 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	222
4.79 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคของ ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	228
4.80 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคของ ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	229
4.81 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสัน ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	231
4.82 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสัน ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	232
4.83 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูล เชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	234
4.84 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	235
4.85 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิค ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	239
4.86 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิค ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	240
4.87 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบ ยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	242

4.88 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบ ยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	243
4.89 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิก ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	245
4.90 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิก ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	246
4.91 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า F_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	254
4.92 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	255
4.93 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการ แปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	257
4.94 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	258
4.95 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบโลจิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	259
4.96 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	260
4.97 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	261
4.98 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบโลจิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	262
4.99 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	263
4.100 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรวม	264

4.101 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	265
4.102 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	266
4.103 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	267
4.104 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน	268
4.105 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	291
4.106 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบ ชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	293
4.107 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	295
4.108 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของ ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	297
4.109 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบเข้ารหัสเยว์และจอห์นสันที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	299
4.110 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	301
4.111 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	303
4.112 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	308
4.113 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวก ชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	310
4.114 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	312

- 4.115 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูล
เชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 314
- 4.116 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้าห้สเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 14
ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 316
- 4.117 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวก
ชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 318
- 4.118 กราฟผลกระทบหลัก ANOM ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้าห้สโลจิตชุดที่ 14
ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 320
- 4.119 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบ
พาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi
กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 328
- 4.120 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบ
พาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi
กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 328
- 4.121 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบ
เยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi
กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 329
- 4.122 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบ
เยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi
กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 330
- 4.123 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิต
ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi
กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 331
- 4.124 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิต
ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi
กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 331
- 4.125 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของ
ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก 335

4.126	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	336
4.127	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	337
4.128	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	338
4.129	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	339
4.130	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	340
4.131	การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก	347
4.132	กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	353
4.133	กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	354
4.134	กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	356
4.135	กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	356
4.136	กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	358
4.137	กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	361
4.138	กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	362

- 4.139 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
 เข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 363
- 4.140 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
 เข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 364
- 4.141 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูล
 เชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 366
- 4.142 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส
 เยาว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 368
- 4.143 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส
 เยาว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 369
- 4.144 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
 เข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 371
- 4.145 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูล
 เชิงลบเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 371
- 4.146 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบ
 ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 374
- 4.147 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบ
 เข้ารหัสโลจิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 376
- 4.148 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส
 โลจิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 377
- 4.149 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
 เข้ารหัสโลจิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 379
- 4.150 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
 เข้ารหัสโลจิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 379

4.151	กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติ เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	385
4.152	กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติ เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	386
4.153	กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูล ธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	388
4.154	กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูล ธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	388
4.155	กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	390
4.156	กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส พาราโบลาชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	393
4.157	กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส พาราโบลาชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	394
4.158	กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก เข้ารหัสพาราโบลาชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	395
4.159	กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก เข้ารหัสพาราโบลาชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	396
4.160	กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	398
4.161	กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส ยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	400
4.162	กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส ยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	401
4.163	กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิง บวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	403

- 4.164 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูล
เชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 403
- 4.165 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชนิดที่ 101
ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 406
- 4.166 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส
โลจิตชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 409
- 4.167 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัส
โลจิตชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 410
- 4.168 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูล
เชิงบวกเข้ารหัสโลจิตชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 411
- 4.169 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสโลจิตชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 412
- 4.170 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลง
แบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 429
- 4.171 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลง
แบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 429
- 4.172 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลง
แบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 430
- 4.173 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลง
แบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 431
- 4.174 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลง
แบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชนิดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 431

- 4.175 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 432
- 4.176 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 433
- 4.177 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 433
- 4.178 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 434
- 4.179 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 434
- 4.180 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 435
- 4.181 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 435
- 4.182 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 436
- 4.183 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 436

- 4.184 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 437
- 4.185 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 438
- 4.186 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 438
- 4.187 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 439
- 4.188 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมปีตาของการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 440
- 4.189 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมปีตาของการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 440
- 4.190 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 441
- 4.191 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 441
- 4.192 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิตข้อมูลของเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 442

- 4.193 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 442
- 4.194 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 443
- 4.195 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 443
- 4.196 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 444
- 4.197 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 445
- 4.198 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 445
- 4.199 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันข้อมูลของเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 446
- 4.200 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 447
- 4.201 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 447

- 4.202 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทข้อมูลของเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 448
- 4.203 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทข้อมูลของเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 448
- 4.204 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 449
- 4.205 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 450
- 4.206 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 453
- 4.207 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงลบปัจจัยหลัก A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิก 454
- 4.208 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 454
- 4.209 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงบวกปัจจัยหลัก A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิก 455
- 4.210 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 455
- 4.211 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงลบปัจจัยหลัก A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสัน 456
- 4.212 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก 456
- 4.213 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงบวกปัจจัยหลัก A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสัน 457

4.214	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูล เชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	457
4.215	ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงลบปัจจัยหลัก A และ m กับค่าโอเมก้า ในการแปลงแบบโลจิท	458
4.216	กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูล เชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	458
4.217	ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงบวกปัจจัยหลัก A และ B กับค่าโอเมก้า ของการแปลงแบบโลจิท	459
4.218	การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก	471
4.219	กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) การแปลง แบบพาราโบลิคของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์	479
4.220	กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) การแปลง แบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์	479
4.221	กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมากยิ่งขึ้นดี) การแปลง แบบโลจิทของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์	480
4.222	กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบพาราโบลิค ของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์	481
4.223	กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบ ยาวและจอห์นสันของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์	481
4.224	กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบโลจิท ของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์	482

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถศึกษาผลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของ ตัวแปรนำเข้า (Input Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Response) หรือปัจจัยนำออก (Output Factors) ที่เกิดขึ้น

กระบวนการที่มีปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรนำเข้า (Input) ต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่า y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristic) ของกระบวนการในการออกแบบการทดลอง เราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ y และ Factor ต่างๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process Knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

ในปัจจุบัน การแข่งขันในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตก็เป็นสิ่งสำคัญ ทำให้แต่ละองค์กรจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้ดีขึ้น ซึ่งการออกแบบการทดลองก็เป็นเครื่องมือหนึ่งที่เป็นตัวช่วยในการพัฒนา ทั้งใช้ในการระบุหาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพหรือผลตอบสนองที่ดีที่สุด (Response) นับว่าความรู้ทางการออกแบบการทดลองช่วยทำให้เกิดการพัฒนาที่ดียิ่งขึ้นในกลุ่มอุตสาหกรรม และหากมีการเผยแพร่ข้อมูล วิธีคิดและการวิเคราะห์ และกระบวนการดำเนินต่างๆ ของการออกแบบการทดลองไปสู่สาธารณะ ซึ่งสามารถนำมาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์และการพัฒนาในหลายๆ ด้านในกลุ่มองค์กร อันก่อให้เกิดการพัฒนาที่รวดเร็วและแพร่หลายมากยิ่งขึ้น แต่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเหล่านี้ส่วนใหญ่มีความสำคัญและเป็นข้อมูลลับทางการค้าหรือข้อมูลภายในองค์กรที่ไม่ต้องการเปิดเผย จึงทำให้เกิดการปิดกั้นทางความรู้เกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ในอดีตเกี่ยวกับการเข้ารหัสหรือการแปลงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองพบว่า มีการทดสอบการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ผ่านตัวชี้วัดการทดสอบทางสถิติแบบอิงพารามิเตอร์ที่มีระดับนัยสำคัญ เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดตัวอย่าง อิทธิพล และการกระจายของข้อมูลจากการเข้ารหัสของข้อมูล

ในปี ค.ศ. 1964 จอร์จ เอ็ดเวิร์ด เพลแฮม บ็อก (George Edward Pelham Box) และเซอร์เดวิด ร็อกบี ค็อก (Sir David Roxbee Cox) ได้เสนอ การแปลงข้อมูลโดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อปรับปรุงข้อมูลโดยใช้ตัวทดสอบทางสถิติเพื่อปรับปรุงข้อมูลให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติผ่านสมการเลขยกกำลัง (Box-cox Power Transformation) โดยคำนวณหาค่าแลมบ์ดา (λ) ที่เป็นตัวยกกำลังเพื่อการแปลงข้อมูลให้มีรูปแบบที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์แบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) แล้วนำไปทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ได้ และเจสัน ออสบอน (Jason W. Osborne) ได้ศึกษา การแปลงข้อมูลโดยใช้สมการเลขยกกำลัง (Box-cox Transformation) เพื่อปรับปรุงข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ ที่มีความลาดเอียงทั้งบวกและลบ (Positively and Negatively Skewed) ของข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถทดสอบของสถิติแบบอิงพารามิเตอร์ได้

การแปลงข้อมูลในการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ข้อมูลธรรมชาติให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงรหัส โดยทำการเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลในสามรูปแบบได้แก่ การแปลงบ็อกค็อก การแปลงอาร์คซายน์ และการแปลงลอจิท เพื่อศึกษาขนาดกลุ่มตัวอย่าง อิทธิพลของปัจจัย และการกระจายข้อมูล ในแต่ละการออกแบบการทดลองที่มีผลต่อประสิทธิภาพในแต่ละรูปแบบการแปลงข้อมูล โดยผ่านการทดสอบทางสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) สำหรับการออกแบบการทดลองแบบเฟคทอเรียล และอัตราส่วนซิกนอลต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) สำหรับการออกแบบการทดลองทางทฤษฎี ซึ่งนำไปคำนวณหาผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ของสมการในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Transformed Variable) ที่ทำให้ค่าตัวสถิติที่ทดสอบสอดคล้องกับผลลัพธ์ของข้อมูลจริง อันจะเป็นประโยชน์ต่อองค์กรในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมในการเผยแพร่กระบวนการออกแบบการทดลองสู่สาธารณะด้วยข้อมูลที่เข้ารหัสเพื่อปกปิดข้อมูลอันเป็นความลับทางการค้าได้ (กิริติ จินดา, 2556, น. 2-3)

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงข้างต้นเหล่านี้ จะเห็นได้ว่า การแปลงข้อมูลในการออกแบบการทดลองในรูปแบบต่างๆ จะเน้นเพื่อปรับปรุงข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในเงื่อนไข ที่จะทำการทดสอบทางสถิติแบบอิงพารามิเตอร์ได้ ให้มีการกระจายของข้อมูล ความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ ส่วนการเข้ารหัสข้อมูลเพื่อปกปิดความลับและสามารถเผยแพร่สู่ภายนอกองค์กรได้ยังไม่มีการศึกษาและวิจัยที่มากนัก โดยข้อมูลธรรมชาติ (Natural Data) เป็นข้อมูลที่มีการกลั่นกรองจากกระบวนการวิเคราะห์การทดลองและผ่านเงื่อนไขของการทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์อยู่แล้ว อีกทั้งการแปลงข้อมูลเหล่านี้ต้องยากต่อการถอดรหัส และผ่านเงื่อนไขของการทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์เหมือนกันซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์ของการทดสอบทางสถิติของการออกแบบการทดลองที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบรูปแบบของข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการเข้ารหัสข้อมูล

ตารางที่ 1.1

รูปแบบข้อมูลและวัตถุประสงค์ของการเข้ารหัส

ข้อมูลถูกเข้ารหัสเพื่อสามารถทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ได้	ข้อมูลถูกเข้ารหัสเพื่อปกปิดความลับ
- ข้อมูลตั้งต้นไม่ผ่านเงื่อนไข NID $(0, \sigma^2)$	- ข้อมูลตั้งต้นผ่านเงื่อนไข NID $(0, \sigma^2)$
- ข้อมูลเข้ารหัสผ่านเงื่อนไข NID $(0, \sigma^2)$	- ข้อมูลเข้ารหัสผ่านเงื่อนไข NID $(0, \sigma^2)$
- สามารถแปลงกลับสู่ข้อมูลตั้งต้นได้ง่าย	- สามารถแปลงสู่ข้อมูลตั้งต้นได้ยาก
- ผลลัพธ์ของตัวสถิติทดสอบไม่จำเป็นต้องเท่ากับข้อมูลตั้งต้น	- ผลลัพธ์ของตัวสถิติทดสอบต้องตรงกันกับผลลัพธ์ของข้อมูลตั้งต้น

จากตารางที่ 1.1 ที่แสดงให้เห็นข้อแตกต่างของวัตถุประสงค์ในการเข้ารหัสของงานวิจัยที่มีการศึกษามาก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่ตรงกันกับงานวิจัยที่ผ่านมาคือต้องการปกปิดความลับของข้อมูลผ่านการเข้ารหัสด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ยากต่อการถอดรหัส และให้ผลลัพธ์ของการทดสอบทางสถิติที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ แต่ผู้วิจัยได้เล็งเห็นข้อจำกัดงานวิจัยที่มีการศึกษามาก่อนคือ รูปแบบข้อมูลที่ทำให้การทดสอบข้อมูลแคในเชิงบวก และรูปแบบของการออกแบบการทดลองที่ไม่ได้มีการเปรียบเทียบปัจจัยที่มารบกวนระบบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการเข้ารหัสข้อมูลอย่างไร จากเหตุผลดังกล่าว การศึกษางานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ

การแปลงข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบ อีกทั้งมีการกำหนดรูปแบบของการออกแบบ การทดลองทั้งมีและไม่มีปัจจัยรบกวนภายนอก เพื่อศึกษาความแปรผันของระบบที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยยังใช้วัตถุประสงค์ตามตารางที่ 1.1 แต่จะเน้นศึกษาปัญหาที่กำหนด เพิ่มขึ้นออกเป็น 2 กรณีในการออกแบบการทดลองดั้งเดิมของออกแบบการทดลองดังตารางที่ 1.2 ตารางที่ 1.2

เงื่อนไขของการออกแบบการทดลองและวัตถุประสงค์ของการเข้ารหัส

ข้อมูลของการออกแบบการทดลองที่ไม่มีปัจจัยรบกวนมาเกี่ยวข้อง	ข้อมูลของการออกแบบการทดลองที่มีปัจจัยรบกวนมาเกี่ยวข้อง
- ข้อมูลตั้งต้นผ่านเงื่อนไข NID ($0, \sigma^2$)	- ข้อมูลตั้งต้นผ่านเงื่อนไข NID ($0, \sigma^2$)
- ข้อมูลเข้ารหัสผ่านเงื่อนไข NID ($0, \sigma^2$)	- ข้อมูลเข้ารหัสผ่านเงื่อนไข NID ($0, \sigma^2$)
- สามารถแปลงสู่ข้อมูลตั้งต้นได้ยาก	- สามารถแปลงสู่ข้อมูลตั้งต้นได้ยาก
- ผลลัพธ์ของการทดสอบทางสถิติต้องตรงกับข้อมูลตั้งต้นภายใต้รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่กำหนด	- ผลลัพธ์ของการทดสอบทางสถิติต้องตรงกับข้อมูลตั้งต้นภายใต้รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่กำหนด

ดังนั้นผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษา การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปเชิงรหัส โดยเลือกรูปแบบการแปลงข้อมูลทั้งหมดสามรูปแบบ ได้แก่ การแปลงแบบพาราโบลิก (Parabolic Transformation) การแปลงแบบยกกำลังเยว์และจอห์นสัน (Yeo & Johnson Transformation) และการแปลงแบบโลจิท (Logit Transformation) ผ่านการทดสอบทางสถิติของการออกแบบการทดลองคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (F_0) สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล และการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทวนอยส์ (S/N) สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ) รวมถึงการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (T_0) ที่นำมาใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรภายใต้รูปแบบของการออกแบบการทดลองที่กำหนด เพื่อดูความสัมพันธ์ของตัวทดสอบทางสถิติและพารามิเตอร์ของสมการที่ใช้ในการแปลงข้อมูลและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและช่วงของพารามิเตอร์ในแต่ละวิธีในการเข้ารหัสข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนดที่มีผลกระทบต่อขนาดปัจจัยหลักในกรณีที่มีและไม่มีปัจจัยภายนอกมากเกี่ยวข้อง และการกระจายข้อมูลที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับ

ข้อมูลจริง ซึ่งสามารถนำข้อมูลการออกแบบการทดลองที่เข้ารหัสนี้ไปเผยแพร่สู่สาธารณะได้ และนำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการคิดและพัฒนาต่อยอดได้ในที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีทางด้านการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ และการแปลงข้อมูลที่ผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลา (Parabolic Transformation) การแปลงแบบเยว์และจอห์นสัน (Yeo & Johnson Transformation) และการแปลงแบบโลจิท (Logit Transformation)

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในสมการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีกับตัวแปรทางสถิติ

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีการแปลงข้อมูล

1.2.4 เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของอิทธิพลหลัก อิทธิพลร่วม และอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกของข้อมูลที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 การศึกษาวิจัยนี้ ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป (General Factorial Design) และวิธีของทาคุชิ (Taguchi's Methodology) และจะเน้นการศึกษาผลกระทบของรูปแบบการทดลอง ทั้งที่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง (With Noise Factor) และไม่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง (Without Noise Factor)

1.3.2 การศึกษาวิจัยนี้ มุ่งเน้นเฉพาะทฤษฎีการแปลงข้อมูลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ในสามรูปแบบคือ การแปลงแบบพาราโบลา การแปลงยกกำลังแบบเยว์และจอห์นสัน และการแปลงแบบโลจิท การศึกษาวิจัยนี้ มุ่งเน้นเฉพาะการเข้ารหัสเพื่อปกปิดข้อมูลจริง ทั้งข้อมูลที่มีค่าบวกและค่าลบ

1.3.3 การทดสอบทางสถิติและเครื่องมือวัดความแปรผัน ในกระบวนการของการแปลงข้อมูลในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean) การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (Signal to Noise)

และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล

1.3.4 กำหนดระดับนัยสำคัญ ค่าความเชื่อมั่นของตัวทดสอบทางสถิติคือ 0.025, 0.05, 0.10
1.3.5 กำหนดช่วงพารามิเตอร์ของสมการที่ใช้ในการแปลงข้อมูลคือ การแปลงแบบพาราโบลิก และแบบโลจิสติกจะศึกษาในช่วง -500 ถึง 500 การแปลงแบบเอวัวร์และจอห์นสันจะศึกษาในช่วง -5 ถึง 5

1.3.6 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) ที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นเอง

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาหลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป (General Factorial Design) และวิธีของทาคุชิ (Taguchi's Methodology) รวมทั้งการแปลงข้อมูลด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีต่างๆ จากงานวิจัยในอดีต

1.4.2 การกำหนดโครงสร้างการวัดผลและเปรียบเทียบข้อมูลเชิงธรรมชาติ และข้อมูลเชิงรหัสการแปลงแบบพาราโบลิก การแปลงแบบเอวัวร์และจอห์นสัน และการแปลงแบบโลจิสติก ทั้งแบบที่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง (with noise factor) และไม่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง (without noise factor) สำหรับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป (General Factorial Design) และวิธีของทาคุชิ (Taguchi's Methodology)

1.4.3 การออกแบบโปรแกรมจำลองและวิเคราะห์การแปลงข้อมูล โดยการเขียนโค้ดด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) และทดสอบความถูกต้องในการออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมด้วยโปรแกรมมินิแทบ (MINITAB)

1.4.4 การใช้โครงสร้างของโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบและวัดผลของการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงธรรมชาติและเชิงรหัสที่ได้จากการแปลงแบบพาราโบลิก การแปลงยกกำลังแบบเอวัวร์และจอห์นสัน การแปลงแบบโลจิสติก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป และกลวิธีของทาคุชิ ทั้งแบบที่มีและไม่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง เพื่อวัดประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลที่ได้จากการจำลอง

1.4.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลเชิงธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสที่ได้จากการแปลงด้วยวิธีแบบพาราโบลิก การแปลงยกกำลังแบบเอวัวร์และจอห์นสัน การแปลงแบบโลจิสติก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป และกลวิธีของทาคุชิทั้งแบบที่มีและไม่มีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง

1.4.6 การสรุปผลและเสนอแนะงานวิจัย

ตารางที่ 1.3

ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

หัวข้อการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน(เดือน)										
	พ.ศ.2559			พ.ศ.2560							
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง											
2. การกำหนดโครงสร้างวัดผลและเปรียบเทียบข้อมูล											
3. การออกแบบโปรแกรมจำลองและวิเคราะห์การแปลงข้อมูล											
4. การใช้โครงสร้างของโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบข้อมูล											
5. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล											
6. การสรุปผลและเสนอแนะงานวิจัย											
7. การจัดทำรูปเล่มงานวิจัย											

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้เข้าใจในกระบวนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมากขึ้น

1.5.2 ทำให้เข้าใจถึงองค์ประกอบในการออกแบบการทดลองที่มีอิทธิพลต่อการทดสอบทางสถิติเมื่อมีการเข้ารหัสข้อมูลผ่านสมการทางคณิตศาสตร์

1.5.3 เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคัดเลือกรูปแบบการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมกับชนิดของการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ทางสถิติของข้อมูลที่สอดคล้องกัน

1.5.4 เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาและศึกษาในงานวิจัยต่อไป

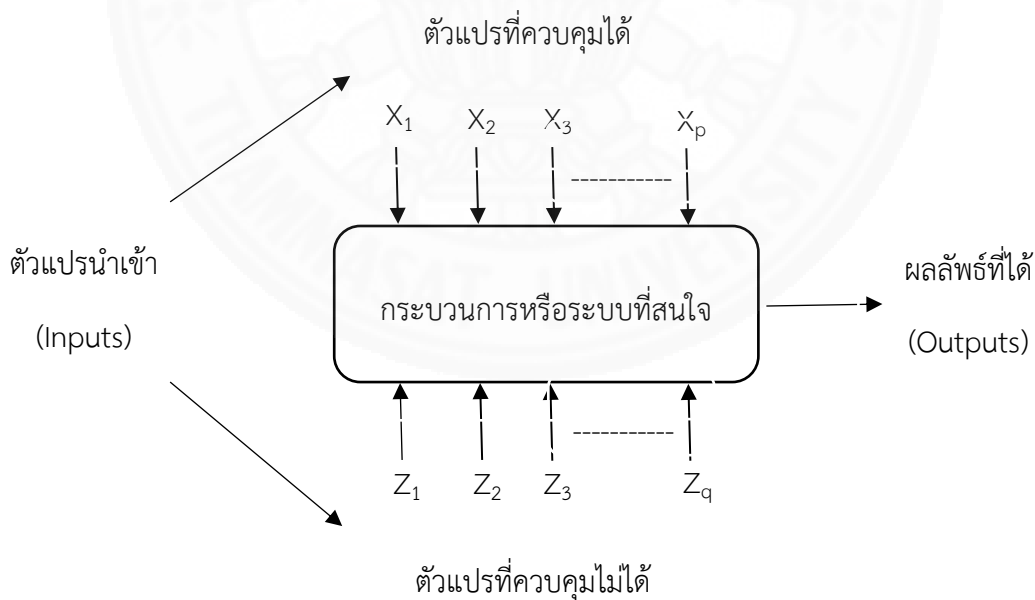


บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

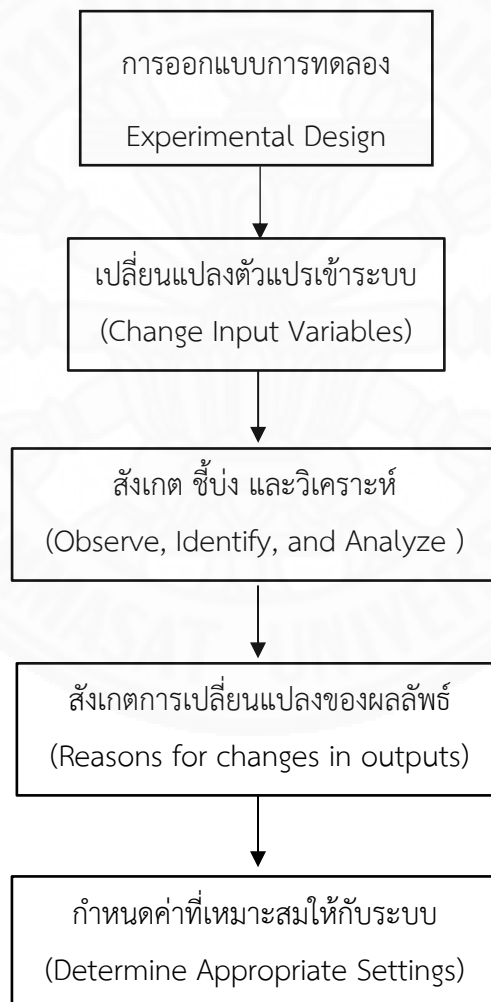
2.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Var) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปรอิสระที่ควบคุมได้ (Controllable Variables Factors) หรือตัวแปรอิสระที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables Factors)” และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า “ตัวแปรอิสระที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables Factors)” ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการ

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนประกอบของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุมเนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ควบคุม (ซึ่งในบางระบบ อาจพิจารณาให้เป็น “ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้”) อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการที่สามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปโดยสรุปในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญดังสรุปได้ในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 หลักการในการออกแบบการทดลอง

องค์ประกอบต่างๆ ในการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย

1. ตัวแปรตอบสนอง (Response) คือ ตัวแปรผลลัพธ์ (Output) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) ที่ต้องการควบคุมให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ

2. ปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองและนำมาพิจารณาในการทดลอง โดยกำหนดระดับปัจจัย (Level) ซึ่งในแต่ละวิธีปฏิบัติอาจประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ที่ถูกกำหนดไว้ในแต่ละระดับ (จากภาพที่ 2.1) ซึ่งรูปแบบของปัจจัยประกอบด้วย

2.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ในการดำเนินการทดลอง มักเป็นปัจจัยที่ผู้ทดลองสนใจศึกษาเพื่อปรับปรุงผลตอบสนองให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่ต้องการ

2.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าได้ และมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.2.1 ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) เป็นสิ่งที่อยู่ในธรรมชาติของระบบ มีความแปรเปลี่ยนไปตามธรรมชาติและไม่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการจริง

2.2.2 Nuisance คือ ปัจจัยรบกวนที่อาจมีอยู่ในระบบแต่เราไม่ทราบมาก่อนสามารถกำจัดโดยการสุ่ม

3. ระดับปัจจัย (Levels of Factor) คือ จำนวนค่าของปัจจัยที่เปลี่ยนไปในการทดลองหนึ่ง เช่น อุณหภูมิที่ใช้ทดลอง คือ 100 °C 500 °C และ 900 °C นั่นคือ ปัจจัยอุณหภูมิทำการศึกษาที่ 3 ระดับ

4. วิธีปฏิบัติ (Treatment) คือ ข้อกำหนดสำหรับทุกปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองนั้นๆ เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์การทดลอง

5. จำนวนครั้งที่ทดลอง (Runs or Experimental Runs) คือ จำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำต่อหนึ่งแผนการทดลอง มีค่าเท่ากับผลคูณของ จำนวนวิธีปฏิบัติ กับจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ (Replicates)

การออกแบบการทดลองมีบทบาทอย่างมาก ในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์ ซึ่งถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม เช่น การลดต้นทุนในการผลิต การลดความแปรผันในกระบวนการ การเปรียบเทียบลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น และในงานวิจัยครั้งนี้กำหนดรูปแบบของการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการศึกษาของงานวิจัย ประกอบด้วย การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป การออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิ

2.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป (General Factorial Design, GFD)

การทดลองจำนวนมากจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบของสองปัจจัยขึ้นไป การทดลองเช่นนี้ต้องใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลซึ่งหมายถึง การออกแบบการทดลองเพื่อทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป ซึ่งเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะการทดลองแต่ละครั้งมีความสมบูรณ์ในตัวเอง โดยการทดลองเกิดจากการรวมกันของระดับปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นๆ และมีประโยชน์หลายประการได้แก่ ทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ รวมทั้งทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้ ส่วนผลกระทบที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. ผลกระทบหลัก (Main Effect) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยจากระดับต่ำไปที่ระดับสูง

2. ผลกระทบอันตรกิริยา (Interaction Effect) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยหนึ่งจากระดับต่ำไปที่ระดับสูง โดยที่ขึ้นอยู่กับระดับของอีกปัจจัยหนึ่งหรือปัจจัยอื่นๆ

3. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสามารถจำแนกกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

- 3.1 การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีทั่วไป (General Factorial Design, GFD) ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป และระดับของแต่ละปัจจัยมีตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป รูปแบบนี้เป็นรูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลทั้งหมด เช่น กรณี 2 ปัจจัยประกอบด้วย ปัจจัย A และ B แต่ละปัจจัยมี a และ b ระดับตามลำดับ กรณีนี้จะมีวิธีปฏิบัติ (Treatment Combination) ทั้งหมด $a \times b$ วิธีปฏิบัติ โดยแต่ละวิธีปฏิบัติอาจมีการกระทำซ้ำ n ครั้งเป็นต้น

- 3.2 การออกแบบแฟคทอเรียลกรณี 2^k เป็นกรณีเฉพาะของการออกแบบแฟคทอเรียลที่มี k ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ซึ่งมักเรียกว่า ระดับสูงและระดับต่ำ การออกแบบกรณี 2^k ที่สมบูรณ์ (Full Factorial Design) จะประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 2^k วิธีปฏิบัติ โดยแต่ละวิธีปฏิบัติอาจมีการกระทำซ้ำจำนวน n ครั้ง

- 3.3 การออกแบบแฟคทอเรียลกรณี 3^k เป็นกรณีเฉพาะของการออกแบบแฟคทอเรียลที่มี k ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ซึ่งมักเรียกว่า ระดับสูง กลาง และต่ำ การที่มี 3 ระดับปัจจัยทำให้ผลตอบสนองและปัจจัยมีลักษณะความสัมพันธ์แบบควอดราติก (Quadratic Relationship) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ผลกระทบที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงหรือบริเวณที่อาจเกิดจุดสูงสุดหรือต่ำสุดได้

3.4 การออกแบบแฟคทอเรียลกรณี 2^k ชนิดการกระทำซ้ำ 1 ครั้ง (Single Replicate) มักถูกใช้เพื่อคัดกรองปัจจัยที่สำคัญ (Screening Experiment) จากปัจจัยจำนวนมาก ซึ่งหากทำการทดลองสมบูรณ์ในทีเดียวจะมีจำนวนครั้งของการทดลองที่มากจนไม่สามารถทำได้ เช่น กรณี 3 ระดับของปัจจัย และกระทำซ้ำ 2 ครั้ง จะมีจำนวนการทดลอง 16 ครั้ง แต่เมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยเป็น 6 ดับ จำนวนการทดลองก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็น 128 ครั้ง ดังนั้น การทำการทดลองที่ 2 ระดับปัจจัยและไม่มีการกระทำซ้ำจึงมีจำนวนการทดลองที่น้อยที่สุด การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของกรณีนี้ จะไม่สามารถวิเคราะห์ความแปรปรวนได้เนื่องจาก องศาเสรี (Degree of Freedom) มีค่าเป็น 0 จะวิเคราะห์ได้เพียงกราฟความน่าจะเป็นของผลกระทบหลัก (Normal Plot of Main Effect) ซึ่งจะบอกได้ว่าปัจจัยใดมีความแรงหรือผลกระทบต่อผลตอบสนอง ซึ่งจะต้องเลือกปัจจัยนั้นๆ ไปทำการทดลองอย่างละเอียดอีกที

3.5 การออกแบบแฟคทอเรียล 2^k แบบบางส่วน (2^k Fractional Factorial Designs) เป็นการออกแบบการทดลองที่เลือกทำการทดลองเพียงบางส่วนจากรูปแบบเต็มของ 2^k เมื่อปัจจัยมีจำนวนมากและมีข้อจำกัดในการทดลองเนื่องจากทรัพยากรหรือ งบประมาณไม่เพียงพอ สำหรับการทดลองที่มีจำนวนครั้งการทดลองสูงมากได้ การทดลองแบบนี้จะลดจำนวนการทดลองให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยยังคงสามารถศึกษาผลของปัจจัยทั้งหมดได้ โดยอาศัยหลักการคือ เมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มขึ้น สัดส่วนผลกระทบหลักต่อผลกระทบทั้งหมดจะลดลงดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

สัดส่วนผลกระทบหลักต่อผลกระทบทั้งหมดของการทดลอง

Main Effect	Interaction Effect	Total	%Main Effect
1	0	1	100
2	1	3	66.7
3	4	7	42.9
4	11	15	26.7
5	26	31	16.1
6	57	63	9.5
7	120	127	5.5
8	247	255	3.1
9	502	511	1.8
10	1013	1023	1

ในความเป็นจริงธรรมชาติของการทดลองมักจะมีเพียงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมบางตัวเท่านั้นที่มีความสำคัญ ยิ่งอันดับของผลกระทบร่วมยิ่งสูงขึ้นโอกาสที่จะมีนัยสำคัญน้อยลง จึงอาศัยหลักการนี้มาลดจำนวนการทดลองลงเหลือ 2^{k-p} การทดลอง โดยแทนที่ผลกระทบร่วมอันดับสูงด้วยปัจจัยที่สนใจอีก p ปัจจัย ซึ่งทำให้จำนวนการทดลองลดลงแต่ความถูกต้องแม่นยำก็ยังไม่เท่า Full Factorial เนื่องจากไม่สามารถแยกแยะระหว่างผลกระทบร่วมกับปัจจัยที่ถูกแทนที่ได้ ดังนั้น จึงต้องมีการกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญในระยะเริ่มต้นของการทดลองแล้ว จึงเลือกปัจจัยที่มีผลไปทำการทดลองอย่างละเอียดต่อไป

โดยสรุปแล้ว การทดลองเชิงแฟคทอเรียลมีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพดีกว่าการทดลองทีละปัจจัย (One Factor at a Time), สามารถตรวจสอบอิทธิพลร่วมของปัจจัยได้ และการวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยซึ่งกระทำบนระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่น ทำให้ผลลัพธ์ครอบคลุมสถานะต่างๆ ในการทดลอง แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อเสียคือ จำนวนการทดลอง (Runs: N) แปรผันตามผลคูณของระดับปัจจัยทุกปัจจัย (Treatment Combination) เมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มขึ้น จำนวนการทดลองก็จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ทำให้จำนวนการทดลองมีค่าสูง ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงตามไปด้วยซึ่งไม่คุ้มค่าในการทำการทดลองแต่ละครั้ง

2.2.1 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย ในงานวิจัยครั้งนี้ จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัย กรณีไม่มีปัจจัยรบกวนมาเกี่ยวข้อง และการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัย ร่วมกับการทดลองแบบบล็อกสุ่ม กรณีมีปัจจัยรบกวนมาเกี่ยวข้อง โดยสมการจำลองทางสถิติเชิงเส้นตรงของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัย แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

เมื่อ

y_{ijk} คือ ค่าสังเกตการทดลอง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง

τ_i คือ ผลกระทบระดับที่ i จากปัจจัย A

β_j คือ ผลกระทบระดับที่ j จากปัจจัย B

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ ผลกระทบร่วมของความสัมพันธ์ระหว่าง τ_i และ β_j

ε_{ijk} คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากการทดลองสุ่ม

โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนที่ของการทดลองต้องมีการแจกแจงแบบปกติและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ มีความแปรปรวนเป็นค่าคงที่และต้องเป็นอิสระต่อกัน

สมมติฐานทางสถิติของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัยแสดงได้ดังนี้ สำหรับผลกระทบหลักจากปัจจัย A

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า ณ } i \text{ ใดๆ}$$

สำหรับผลกระทบหลักจากปัจจัย B

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า ณ } j \text{ ใดๆ}$$

สำหรับผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย A และ B

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ ทุกๆค่า } i, j$$

$$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

ตารางที่ 2.2

ค่าสังเกตของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย

	Factor A										
	1		2		i		A		ผลรวม	ค่าเฉลี่ย	
Factor B	1	Y_{111}, Y_{112} ... Y_{11n}	$Y_{11.}$	Y_{121}, Y_{122} ... Y_{12n}	$Y_{21.}$	...	Y_{a21}, Y_{a22} ... Y_{a1n}	$Y_{a1.}$	$Y_{.1.}$	$\bar{Y}_{.1.}$
	2	Y_{211}, Y_{212} ... Y_{21n}	$Y_{12.}$	Y_{221}, Y_{222} ... Y_{22n}	$Y_{22.}$	...	Y_{a21}, Y_{a22} ... Y_{a2n}	$Y_{a2.}$	$Y_{.2.}$	$\bar{Y}_{.2.}$
	j	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	b	Y_{1b1}, Y_{1b2} ... Y_{1bn}	$Y_{1b.}$	Y_{1b1}, Y_{1b2} ... Y_{1bn}	$Y_{2b.}$		Y_{ab1}, Y_{ab2} ... Y_{abn}	$Y_{ab.}$	$Y_{.b.}$	$\bar{Y}_{.b.}$	
	ผลรวม	$Y_{.1.}$		$Y_{.2.}$			$Y_{.a.}$		$Y_{...}$	
	ค่าเฉลี่ย	$\bar{Y}_{1..}$		$\bar{Y}_{2..}$			$\bar{Y}_{a..}$			

ในการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย จะประกอบด้วยระดับปัจจัยของปัจจัย A จำนวน a ระดับ ระดับปัจจัยของปัจจัย B จำนวน b ระดับ ดังนั้น จำนวนของการทดลองหรือวิธีปฏิบัติทั้งหมด $a \times b$ วิธี เมื่อมีการกระทำซ้ำ n ครั้ง จำนวนของค่าสังเกตหรือผลตอบสนองทั้งหมดคือ $N = a \times b \times n$ ค่า ดังนั้น เมื่อกำหนดให้

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$y_{i..}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ i ของ ปัจจัย A

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$y_{.j.}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ j ของ ปัจจัย B

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$y_{ij.}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ i, j ใดๆ

$$y_{...} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}$$

$y_{...}$ คือ ผลรวมทั้งหมดของค่าสังเกต (Grand Total)

ค่าผลบวกกำลังสองของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย แสดงได้ดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

โดยที่

$$SS_{AB} = SS_{subtotals} - SS_A - SS_B$$

และ

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB}$$

ดังนั้น

$$SS_E = SS_T - SS_{subtotals}$$

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F_0
Factor A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_A = \frac{MS_A}{MS_E}$
Factor B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_B = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction of AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_T	$abn - 1$		

การทดสอบสมมติฐานแบบ *Upper one tail test* โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้า $F_0 > F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ เมื่อ ν_1 คือ องศาเสรีของปัจจัยที่ทดสอบและ ν_2 คือ องศาเสรีของค่าผิดพลาด

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้มีการศึกษาการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย ในกรณีที่มีปัจจัยภายนอกเข้ามารบกวน (External Nuisance Factor) ในกระบวนการทดลองนี้ ซึ่งได้นำหลักการของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Completely Randomized Blocked Design, CRBD) มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อสามารถแบ่งกลุ่มของผลตอบสนองของแต่ละปัจจัยรบกวนได้ ทำให้สามารถหาค่าตัวทดสอบทางสถิติและวิเคราะห์การออกแบบการทดลองได้

2.2.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Completely Randomized Blocked Design, CRBD) ใช้สำหรับการทดลองที่มีตัวแปรสองตัวแปรหรือมีปัจจัยสองปัจจัย แต่ต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรหรือปัจจัยเดียวเท่านั้น จะทำการควบคุมความแปรผันของข้อมูลที่มาจากอิทธิพลของตัวแปรที่เราไม่ต้องการศึกษาโดยการบล็อก (Block) อิทธิพลของตัวแปรนั้นไว้ ตัว

แปรที่ใช้ในการจัดกลุ่มอาจเป็นลักษณะของหน่วยการทดลองเช่น เพศ อายุ ระดับการศึกษา ทัศนคติ เป็นต้น

ลักษณะสำคัญของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม

1. มีความยืดหยุ่นสูงสามารถใช้ได้กับการทดลองที่มีจำนวนปฏิบัติและทำซ้ำเท่าไรก็ได้
2. ในกรณีที่จัดบล็อกได้ถูกต้อง แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มจะมีอำนาจการทดสอบสูงกว่าแผนการทดลองแบบสมบูรณ์
3. มีข้อตกลงเบื้องต้นที่มากกว่าแบบสุ่มสมบูรณ์ เช่น ข้อตกลงเรื่องไม่มีอันตรกิริยาระหว่างวิธีปฏิบัติกับบล็อก

แบบจำลองสถิติเชิงเส้นตรงของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

เมื่อ

y_{ijk} คือ ค่าสังเกตของการทดลอง ณ วิธีปฏิบัติที่ i และบล็อกที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยผลตอบสนอง

τ_i คือ ผลกระทบจากวิธีปฏิบัติที่ i

β_j คือ ผลกระทบเนื่องจากบล็อกที่ j

ε_{ijk} คือ ค่าคลาดเคลื่อนของการทดลอง ณ วิธีปฏิบัติที่ i และ บล็อกที่ j
จำนวนกระทำซ้ำ k ครั้ง

โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนของการทดลองต้องมีการแจกแจงแบบปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่และต้องเป็นอิสระต่อกันเช่นเดียวกันกับการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยสมมติฐานของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสามารถแสดงได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย } 1 \text{ คู่}$$

หรือแสดงในรูปผลกระทบจากวิธีปฏิบัติ

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า ณ } i \text{ ใดๆ}$$

ในการทดลองแบบบล็อกสุ่ม จะประกอบด้วยระดับปัจจัยหรือวิธีปฏิบัติจำนวน a ระดับ และบล็อก b กลุ่ม จำนวนค่าสังเกตทั้งหมดคือ $N = ab$ รูปแบบของตารางบันทึกค่าสังเกตของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

ค่าสังเกตของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม

วิธีปฏิบัติ (Treatment)	ปัจจัยกลุ่ม (Blocks)					$y_{i.}$	$\bar{y}_{i.}$
	1	2	3	...	b		
1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	...	y_{1b}	$y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	...	y_{2b}	$y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
3	y_{31}	y_{32}	y_{33}	...	y_{3b}	$y_{3.}$	$\bar{y}_{3.}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
a	y_{a1}	y_{a2}	y_{a3}	...	y_{ab}	$y_{a.}$	$\bar{y}_{a.}$
$y_{.j}$	$y_{.1}$	$y_{.2}$	$y_{.3}$	...	$y_{.b}$	$y_{..}$	$\bar{y}_{..}$

จากตารางที่ 2.3 กำหนดให้

i เป็น วิธีปฏิบัติที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, a$

j เป็น ปัจจัยหรือบล็อก เมื่อ $j = 1, 2, 3, \dots, b$

y_{ij} เป็น ค่าสังเกตของวิธีปฏิบัติที่ i หรือบล็อกที่ j

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^b y_{ij}$$

$y_{i.}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ณ วิธีปฏิบัติที่ i

$$y_{.j} = \sum_{i=1}^a y_{ij}$$

$y_{.j}$ คือ ผลรวมของค่าสังเกต ณ บล็อกที่ j

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}$$

$y_{..}$ คือ ผลรวมทั้งหมดของค่าสังเกต (Grand Total)

ค่าผลบวกกำลังสองของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม แสดงได้ดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_{treatments} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS_{blocks} = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

โดยที่

$$SS_T = SS_{treatments} + SS_{blocks} + SS_E$$

ดังนั้น

$$SS_E = SS_T - SS_{treatments} - SS_{blocks}$$

จากตารางที่ 2.4 สามารถวิเคราะห์วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปสร้างตารางวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนสำหรับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F_0
Treatments	$SS_{treatments}$	$a-1$	$MS_{treatments} = \frac{SS_{treatments}}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_{treatments}}{MS_E}$ (Treatment)
Blocks	SS_{blocks}	$b-1$	$MS_{blocks} = \frac{SS_{blocks}}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_{blocks}}{MS_E}$ (Blocks)
Error	SS_E	$(a-1)(b-1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{(a-1)(b-1)}$	
Total	SS_T	$abn-1$		

การทดสอบสมมติฐานของการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักก็ต่อเมื่อ $F_0 > F_{\alpha, a-1, (a-1)(b-1)}$ สำหรับค่าสถิติของปัจจัยที่ศึกษาและ $F_0 > F_{\alpha, b-1, (a-1)(b-1)}$ สำหรับค่าสถิติของบล็อก

2.2.3 แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย (กรณีมีปัจจัยรบกวนภายนอก) จากหลักการของ การออกแบบและการวิเคราะห์แบบบล็อกสุ่มที่ได้กล่าวข้างต้น ได้นำมาประยุกต์ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย ในกรณีที่มีปัจจัยรบกวนภายนอกมาเกี่ยวข้องซึ่งแสดงได้ดังสมการแนวคิดต่อไปนี้

$$Response = Average + GFD_{internal} + Blocks_{external} + error$$

สามารถแปลงเป็นตัวแบบทางสถิติเชิงเส้นตรงของการออกแบบการทดลองได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$y_{ij(k_1, \dots, k_m)l} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \sum_{nf=1}^m \gamma_k + \varepsilon_{ij(k_1, \dots, k_m)l} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, e \\ nf = 1, 2, \dots, m \\ l = 1, 2, \dots, f \end{cases}$$

เมื่อ

$y_{ij(k_1, \dots, k_m)l}$ คือ ค่าสังเกตการทดลอง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง

τ_i คือ ผลกระทบระดับที่ i จากปัจจัย A

β_j คือ ผลกระทบระดับที่ j จากปัจจัย B

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ ผลกระทบร่วมของความสัมพันธ์ระหว่าง τ_i และ β_j

γ_k คือ ผลกระทบระดับที่ k จากปัจจัยรอบนอกภายนอก จำนวน m ปัจจัย

$\varepsilon_{ij(k_1, \dots, k_m)l}$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากการทดลองซ้ำที่จำนวนการกระทำซ้ำ l ครั้ง

สมมุติฐานทางสถิติของการออกแบบการทดลองนี้สามารถแสดงได้ดังนี้

สำหรับผลกระทบหลักจากปัจจัย A

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า ณ } i \text{ ใดๆ}$$

สำหรับผลกระทบหลักจากปัจจัย B

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า ณ } j \text{ ใดๆ}$$

สำหรับผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย A และ B

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \text{ ทุกๆค่า } i, j$$

$$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

สำหรับผลกระทบของบล็อกที่เกิดจากปัจจัยภายนอก

$$H_0 : \sum_{nf=1}^m \gamma_k = 0 \text{ ทุกๆค่าของ } m, k$$

$$H_1 : \sum_{nf=1}^m \gamma_k \neq 0 \text{ ทุกๆค่าของ } m, k$$

ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย กรณีมีปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้องจะประกอบด้วยปัจจัยหลัก A และ B จำนวนระดับคือ a และ b ตามลำดับ และจำนวนการกระทำซ้ำ f ครั้ง ดังนั้นจำนวนค่าสังเกตในแต่ละบล็อกมีค่าเท่ากับ $a \times b \times f$ ตัว ส่วนบล็อกหรือปัจจัยรบกวนภายนอกที่เพิ่มขึ้นมานั้น จำนวนบล็อกจะขึ้นอยู่กับ จำนวนปัจจัย m ตัว และ ระดับของปัจจัย k ระดับในแต่ละตัว จะได้จำนวนบล็อกเท่ากับ $k_1 \times k_2 \times \dots \times k_m$ ซึ่งเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทั้งหมดแล้ว ค่าสังเกตทั้งหมดในการออกแบบการทดลองนี้จะมีค่าเท่ากับ

$$N = (a \times b \times f) \times (k_1 \times k_2 \times \dots \times k_m)$$

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยกรณีมีปัจจัยรบกวนภายนอกมาเกี่ยวข้อง งานวิจัยนี้จะศึกษาโดยกำหนดระดับปัจจัยของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยเป็น 2 และ 3 ระดับ ปัจจัยภายนอกจะกำหนดจำนวนปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ ซึ่งแสดงรูปแบบการของตารางบันทึกค่าสังเกตได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

ค่าสังเกตของการทดลองแบบ GFD x CRBD array

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				<i>m</i>	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				<i>n</i>	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
				<i>o</i>	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
Run	A	B	AB									
1	-1	-1	1	y_{111111}	y_{112111}	y_{111211}	y_{112211}	y_{111121}	y_{112121}	y_{111221}	y_{112221}	
2	-1	0	0	y_{121111}	y_{122111}	y_{121211}	y_{122211}	y_{121121}	y_{122121}	y_{121221}	y_{122221}	
3	-1	1	-1	y_{131111}	y_{132111}	y_{131211}	y_{132211}	y_{131121}	y_{132121}	y_{131221}	y_{132221}	
4	1	-1	-1	y_{211111}	y_{212111}	y_{211211}	y_{212211}	y_{211121}	y_{212121}	y_{211221}	y_{212221}	
5	1	0	0	y_{221111}	y_{222111}	y_{221211}	y_{222211}	y_{221121}	y_{222121}	y_{221221}	y_{222221}	
6	1	1	1	y_{231111}	y_{232111}	y_{231211}	y_{232211}	y_{231121}	y_{232121}	y_{231221}	y_{232221}	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
6f	6f	6f	6f	y_{23111f}	y_{23211f}	y_{23121f}	y_{23221f}	y_{23112f}	y_{23212f}	y_{23122f}	y_{23222f}	

โดยที่

A , B เป็น ปัจจัยภายในที่มีระดับปัจจัยเท่ากับ 2,3 ระดับตามลำดับ

m , *n* , *o* เป็น ปัจจัยรอบกวนภายนอกที่มีระดับของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ*r* เป็น จำนวนการกระทำซ้ำ *f* ครั้ง*a,b,c,e,d* เป็น ระดับของปัจจัย A , B , *m* , *n* , *o* ตามลำดับ

$$y_{a.....} = \sum_{b=1}^3 \sum_{c=1}^2 \sum_{d=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

 $y_{a.....}$ เป็น ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ *a* ของปัจจัย A

$$y.b\dots = \sum_{a=1}^2 \sum_{c=1}^2 \sum_{d=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

$y.b\dots$ เป็น ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ b ของปัจจัย B

$$y.ab\dots = \sum_{c=1}^2 \sum_{d=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

$y.ab\dots$ เป็น ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ a,b ใดๆ

$$y..m\dots = \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^3 \sum_{d=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

$y..m\dots$ เป็น ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ c ของปัจจัยรอบกวน m

$$y...n\dots = \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^3 \sum_{c=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

$y...n\dots$ เป็น ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ d ของปัจจัยรอบกวน n

$$y....o\dots = \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^3 \sum_{c=1}^2 \sum_{d=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

$y....o\dots$ เป็น ผลรวมของค่าสังเกต ณ ระดับ e ของปัจจัยรอบกวน o

$$y_{\dots} = \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^3 \sum_{c=1}^2 \sum_{d=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}$$

y_{\dots} เป็น ผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด (Grand Total)

ค่าผลบวกกำลังสองของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยกรณีมีปัจจัยรบกวน ภายนอกมาเกี่ยวข้อง แสดงได้ดังนี้

$$SS_T = \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^3 \sum_{c=1}^2 \sum_{d=1}^2 \sum_{e=1}^2 \sum_{r=1}^f y_{abcdef}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{1}{24f} \sum_{a=1}^2 y_{a\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_B = \frac{1}{16f} \sum_{b=1}^3 y_{\dots b\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_m = \frac{1}{24f} \sum_{m=1}^2 y_{\dots m\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_n = \frac{1}{24f} \sum_{n=1}^2 y_{\dots n\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_o = \frac{1}{24f} \sum_{o=1}^2 y_{\dots o\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{8f} \sum_{a=1}^2 \sum_{b=1}^3 y_{ab\dots}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{N}$$

โดยที่

$$SS_{AB} = SS_{subtotals} - SS_A - SS_B$$

และ

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_m + SS_n + SS_o + SS_E$$

ดังนั้น

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} - SS_m - SS_n - SS_o$$

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยกรณีมีปัจจัยรบกวน

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F_0
Factor A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_A = \frac{MS_A}{MS_E}$
Factor B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_B = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction of AB	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Noise Factor m	SS_m	$c - 1$	$MS_m = \frac{SS_m}{c - 1}$	$F_m = \frac{MS_m}{MS_E}$
Noise Factor n	SS_n	$d - 1$	$MS_n = \frac{SS_n}{d - 1}$	$F_n = \frac{MS_n}{MS_E}$
Noise Factor o	SS_o	$e - 1$	$MS_o = \frac{SS_o}{e - 1}$	$F_o = \frac{MS_o}{MS_E}$
Error	SS_E	$abcde(f - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{abcde(f - 1)}$	
Total	SS_T	$abcdef - 1$		

การทดสอบสมมติฐานแบบ *Upper one tail test* เหมือนกับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้า $F_0 > F_{\alpha, v_1, v_2}$ เมื่อ v_1 คือ องศาเสรีของแต่ละปัจจัยที่ทดสอบและ v_2 คือ องศาเสรีของค่าผิดพลาด

2.3 การออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (Taguchi Methodology)

การออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (Taguchi DOE) คือเทคนิคที่ใช้ออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ในงานวิศวกรรมคุณภาพ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ควบคุมคุณภาพของระบบวิศวกรรมคุณภาพ มี 2 แบบ คือการควบคุมคุณภาพเฉพาะการออกแบบการทดลอง (offline quality control) เป็นการควบคุมคุณภาพของกิจกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการวางแผน, การออกแบบ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยรวมถึงขั้นตอนการออกแบบระบบ (System Design), การออกแบบพารามิเตอร์ (Parameter Design) และการออกแบบช่วงที่กระบวนการยอมรับได้ (Tolerance Design) ซึ่งเป็นรูปแบบของเทคนิคทาคุชิในทางกลับกันการควบคุมคุณภาพที่ขึ้นกับขั้นตอนการออกแบบ (online quality control) เป็นการควบคุมคุณภาพของกิจกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนการผลิตรวมถึงกระบวนการวัดเพื่อ ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์การนำไปปรับค่าเพื่อแก้ไขใหม่การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า และนำไปแก้ไขให้ถูกต้อง รูปแบบการออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ ประกอบด้วย

1) การออกแบบการทดลองของระบบ (System design) เพื่อหาค่าผลตอบที่ต้องการ

2) การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัย (Parameter design) ที่ทำให้ค่าผลตอบที่ได้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุดลดความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งเป็นการออกแบบ ในงานวิจัยนี้

3) การออกแบบการทดลองเพื่อหาช่วงของค่าปัจจัยหลัก (Tolerance design) ที่ทำให้ผลตอบมีค่าที่กระบวนการมีความผันแปรที่ยอมรับได้

เป้าหมายของการออกแบบการทดลองแบบทาคุชิในกระบวนการผลิต

1) เพื่อให้ได้ค่า y ที่ดีที่สุด (optimal) แบ่งเป็น

- ค่ายิ่งมากยิ่งดี (larger-the-better) เช่น ความทนแรงดึงและอายุการใช้งาน

งาน

- ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (smaller-the-better) เช่น เวลาในการทำปฏิกิริยา และ

จำนวนของเสีย

- 2) y คือคุณสมบัติทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุม แบ่งเป็น
- ลักษณะที่วัดค่าได้ (measurable characteristics) หรือค่าผันแปร (variable value) เช่น ความยาวความหนาและเวลา
 - ลักษณะที่วัดค่าไม่ได้ (attribute characteristics) เช่น เกณฑ์ในการแบ่งระดับ ความสามารถคือดีมากดีและพอใช้ เกรดคือ A B และ C

ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

1) การออกแบบการทดลองในส่วนผลิตภัณฑ์

- ง่ายต่อการนำไปผลิต
- ความเชื่อมั่น (reliability) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น หรืออายุการใช้งานนานขึ้น
- ต้นทุน (costs) การผลิตลดลง
- ลดเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

2) การออกแบบการทดลองในส่วนกระบวนการ

- เพื่อให้กระบวนการสามารถทำงานได้อย่างมั่นคง ภายใต้สภาพแวดล้อมที่หลากหลาย
- การเพิ่มผลการผลิตที่ได้ (yields) จากกระบวนการ
- ลดเวลาที่ใช้ในการพัฒนาขั้นตอนของกระบวนการ
- ลดต้นทุนการผลิต
- ลดความผันแปร (variation) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ทำให้ได้ค่าที่เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (target) มากที่สุด

2.3.1 ออโธโกนอลอาร์เรย์ (Orthogonal Arrays)

การใช้ออโธโกนอลอาร์เรย์ (“Orthogonal Arrays” or “OA’s”) เป็นเทคนิคหลักที่สำคัญของกลวิธีทากูชิ OA’s เป็นตารางมาตรฐานที่มีจำนวนครั้งของการทดลองน้อยครั้ง ใช้กำหนดวิธีปฏิบัติและรูปแบบการทดลองของปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ โดยเมื่อกำหนดสำหรับปัจจัยที่ควบคุมได้จะเรียกว่า อินเนอร์อาร์เรย์ (Inner Array) เมื่อกำหนดสำหรับปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้จะเรียกว่า เอาท์เทอร์อาร์เรย์ (Outer Array) และเมื่อผนวกอาร์เรย์ทั้งสองเข้าด้วยกันเป็นแผนการทดลองเรียกว่า ครอสอาร์เรย์ (Cross Array)

ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มีปัจจัย 5 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ จะมีจำนวนการทดลองมากถึง $3^5 = 243$ การทดลอง แต่หากใช้ OA’s ในกลวิธีของทากูชิ จะใช้ OA’s ชนิด $L_{27}(3^5)$ ซึ่งจำนวนการทดลองจะลดลงเหลือเพียง 27 ครั้งเท่านั้น ตารางที่ 2.8

แสดงตัวอย่างออร์โธโกนอลอาร์เรย์แบบ L_93^4 ซึ่งความหมายว่า เป็นแบบแผนการทดลองที่จำนวนการทดลอง 9 ครั้ง และรองรับจำนวนปัจจัยได้สูงสุด 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับสังเกตว่า หากจะใช้ตัวเลข -1, 0, 1 แทนระดับ ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ

ตารางที่ 2.8

ออร์โธโกนอลอาร์เรย์ชนิด L_93^4

Run	Parameter			
	A	B	C	D
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	0	0	0
3	-1	+1	+1	+1
4	0	-1	0	+1
5	0	0	+1	-1
6	0	+1	-1	0
7	+1	-1	+1	0
8	+1	0	-1	+1
9	+1	+1	0	-1

ตารางที่ 2.9 แสดงตัวอย่างออร์โธโกนอลอาร์เรย์แบบ L_42^3 ซึ่งมีความหมายว่า เป็นแบบแผนการทดลองที่มีจำนวนการทดลอง 4 ครั้ง และรองรับจำนวนปัจจัยได้สูงสุด 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ

ตารางที่ 2.9

ออร์โธโกนอลอาร์เรย์ชนิด L_42^3

Run	Parameter		
	1	2	3
1	-1	-1	-1
2	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1

ตารางที่ 2.10 แสดงการผนวก (Crossing) ที่เกิดจากอินเนอร์อาร์เรย์ชนิด L_9 และ เอาท์เทอร์อาร์เรย์ชนิด L_4 เกิดครอสส์อาร์เรย์ที่มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น $9 \times 4 = 36$ การทดลอง

ตารางที่ 2.10

ครอสอาร์เรย์ชนิด $L_9 \times L_4$

Cross Array $L_9 \times L_4$					Outer Array				
					m	-1	1	1	-1
Inner Array					n	-1	1	-1	1
					o	-1	-1	1	1
Run	A	B	C	D					
1	-1	-1	-1	-1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	
2	-1	0	0	0	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{24}	
3	-1	1	1	1	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{34}	
4	0	-1	0	1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{44}	
5	0	0	1	-1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{54}	
6	0	1	-1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{64}	
7	1	-1	1	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{74}	
8	1	0	-1	1	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{84}	
9	1	1	0	-1	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{94}	

การใช้ออโรโกนอลอาร์เรย์แบบเดียวหรือจะใช้ครอสส์อาร์เรย์นั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดขอบเขตของการทดลอง หากพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่ศึกษาโดยไม่สนใจปัจจัยรบกวนจะใช้ออโรโกนอลอาร์เรย์แบบเดียวที่เหมาะสมกับจำนวนปัจจัย แต่ถ้าสนใจปัจจัยรบกวนด้วยจะเป็นการออกแบบการทดลองของทากูชิที่สมบูรณ์ (Complete Taguchi Experimental Design) ซึ่งจะใช้ครอสส์อาร์เรย์ในการทดลอง

2.3.2 อัตราส่วนสัญญาณไปย้งสิ่งรบกวน (Signal to Noise Ratio, S/N)

อัตราส่วนสัญญาณไปย้งสิ่งรบกวน (Signal-to-noise ratio; S/N) เป็นเครื่องมือวัด ประสิทธิภาพของกระบวนการร่วมกัน ระหว่างค่าเฉลี่ยกับค่าผันแปร (single performance measure) จึงได้ค่าที่เหมาะสมโดยลดความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งความสัมพันธ์ของสมการอัตราส่วนสัญญาณไปย้งสิ่งรบกวนนั้น เลขเศษหรือสัญญาณของอัตราส่วนคือความสามารถของกระบวนการในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือความสามารถของผลิตภัณฑ์เพื่อการดำเนินการได้อย่างถูกต้อง ตัวส่วนคือ ผลรวมของผลกระทบของปัจจัยแทรกซ้อนที่มีต่อกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ การกำหนดระดับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ทำให้สามารถผลิตคุณลักษณะด้านการทำงานที่ดีที่สุด (high level) ในกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์และสามารถลดอิทธิพลที่ไม่สามารถควบคุมได้ให้เหลือน้อยที่สุด (lowest noise) ดังนั้นเป้าหมายในการดำเนินการทดลองออกแบบพารามิเตอร์ (parameter design) คือการปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ให้สามารถทำงานได้อย่างดีในสิ่งแวดล้อมที่หลากหลาย

การวิเคราะห์อัตราส่วนสัญญาณไปย้งสิ่งรบกวนเป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาว่าคุณภาพ ผลิตภัณฑ์มีความมั่นคงต่อปัจจัยรบกวน (noise) ได้ดีเพียงใด ซึ่งการกำหนดว่าจะให้ปัจจัยใดมีค่าเท่าใดต้องมุ่งเน้นให้อัตราส่วนสัญญาณไปย้งสิ่งรบกวนค่ามากที่สุดเพราะยังมีค่ามากแสดงว่ายิ่งเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ทำให้กระบวนการเกิดความมั่นคง ซึ่งมี 3 กรณีดังนี้

- 1) กรณีที่ต้องการค่าน้อยเป็นค่าที่ดีกว่า (smaller-the-better)

$$S/N_S = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

- 2) กรณีที่ต้องการค่ามากเป็นค่าที่ดีกว่า (larger-the-better)

$$S/N_L = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

3) กรณีที่ต้องการค่าตามความต้องการเป็นค่าที่ดีที่สุด (target-the-best)

$$S / N_T = 10 \log \left[\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right]$$

2.3.3 ขั้นตอนการทดลองด้วยวิธีของทากูชิ

การออกแบบพารามิเตอร์ของทากูชิหรือการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ เป็น เทคนิคที่ต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ให้มากที่สุดและลดต้นทุนให้ต่ำที่สุดซึ่งเป็นหลักการหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันแปรของความสามารถกระบวนการ

1) ทำความเข้าใจถึงปัญหา (problem recognition and formulation) ขั้นตอนนี้ต้อง พยายามทำความเข้าใจว่าอะไรที่เป็นปัญหาและวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) เลือกผลตอบของปัญหา (select quality characteristic) ผู้ทดลองควรแน่ใจว่าตัวแปรนี้ จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่มีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องกำหนดให้ได้ว่าอะไร คือตัวแปรตอบและจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มการทดลองจริง

3) เลือกการออกแบบการทดลอง (select design or process parameters) เลือกให้ เหมาะสมกับจำนวนปัจจัยควบคุมทั้งหมดที่คิดว่าส่งผลต่อค่าคุณลักษณะที่เลือกไว้

4) ทำการแบ่งประเภทปัจจัย (classify design parameters into control, noise and signal factors) ทำการแบ่งปัจจัยตามลักษณะว่าปัจจัยไหนเป็นปัจจัยควบคุม ปัจจัยรบกวน และปัจจัยผลตอบสนอง

5) กำหนดระดับของปัจจัยควบคุม (determine levels of design or process parameters) เลือกตามวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของการทดลองนิยมทำการทดลองที่ 2-3 ระดับ ถ้าการทดลองมีปัจจัยควบคุมจำนวนมากและมีข้อจำกัดของเวลาและทรัพยากรควรใช้ 2 ระดับ แต่ถ้ามีจำนวนปัจจัยควบคุมน้อย หรือจำนวนมากแต่ไม่มีข้อจำกัดของเวลาและทรัพยากรควรใช้ 3 ระดับ

6) กำหนดคู่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกัน (identify interactions) ผู้ทดลองต้องกำหนดคู่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกันและมีผลต่อตัวแปรผลตอบสนอง เพราะเทคนิคทากูชิจะไม่สามารถหาค่าคู่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกันได้ครบทุกตัวดังนั้นต้องพิจารณาให้รอบคอบ

7) เลือกคอลัมน์ของการจัดเรียงแบบออร์ทogonal (choose appropriate orthogonal array; OA) การเลือกการจัดเรียงแบบออร์ทogonalเป็นตารางกำหนดค่าระดับการทดลองที่มี แนวนอนเป็นจำนวนครั้งที่ทำการทดลองและแนวตั้งเป็นตัวแปรที่จะกำหนดให้โดยก่อนเลือกการจัดเรียงแบบออร์ทogonalต้องใช้ควบคู่กับกราฟเส้นตรง (linear graphs) และตารางแสดงอันตรกิริยา (interaction tables) มาประกอบด้วยเพื่อทำความเข้าใจกับการออกแบบที่มีการจัดเรียงแบบออร์ทogonal การกำหนดว่าปัจจัยอยู่ในคอลัมน์ใดในตาราง OA ต้องใช้ Linear graphs ประกอบและการเลือก OA ยังขึ้นกับค่าวัดจำนวนข้อมูลที่สามารถผันแปรได้ อย่างอิสระเมื่อกำหนดค่าที่ต้องการ (degrees of freedom: df) ระหว่างปัจจัยควบคุมกับปัจจัยที่มี ผลกระทบต่อกันและผลตอบของการทดลองตลอดจนวัตถุประสงค์ในการทดลองที่มีข้อจำกัดของ เวลาและทรัพยากร

8) ทำการทดลอง (conduct experiments) ทำการทดลองตามแผนที่กำหนดจากตารางการจัดเรียงแบบออร์ทogonal

9) วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยหลักการทางสถิติ (perform statistical analysis) ใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองและช่วยให้การตัดสินใจมีประสิทธิภาพ

10) ทำการทดลองซ้ำและสรุปผลการทดลอง (perform a confirmatory experiment and implement results) หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองแล้วจะต้องหาข้อสรุปและข้อเสนอแนะของผลการทดลองที่เกิดขึ้น เพื่อนำเสนอผลงานให้หน่วยงานหรือผู้เกี่ยวข้องรับทราบ นอกจากนี้ควรทำ การทดลองเพื่อตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้น

ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงอาจนำมาใช้ทั้งการพัฒนากระบวนการที่มีปัญหา เพื่อให้กระบวนการนั้นมีสมรรถนะดีขึ้น หรือทำให้เกิดความมั่นคง (robust or insensitive) ต่อแหล่ง ความผันแปรที่อยู่ภายนอกวิธีการควบคุมกระบวนการทางสถิติ และการออกแบบการทดลองเป็น เครื่องมือสองชนิดที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการปรับปรุง และหาค่าที่ดีที่สุดเหมาะสมที่สุดของกระบวนการ ดังเช่น ถ้ากระบวนการอยู่ในการควบคุมทางสถิติแต่ความสามารถของกระบวนการ ยัง ไม่ดีนักจึงต้องมีการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อลดความผันแปรให้น้อยลงดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงทำให้ความสามารถของกรรมวิธีการผลิต ความมั่นคงของระบบ และความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้นตลอดจนเวลาในการผลิตและต้นทุนลดลง

2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

ในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามนั้นบ่อยครั้งที่จำนวนตัวแปรอิสระที่สนใจในการศึกษามีมากกว่าหนึ่งตัวแปร เช่น เวลาที่ใช้ในการหมักขนมปังขึ้นอยู่กับปริมาณของเหลวที่ใช้ อุณหภูมิในการหมัก ปริมาณยีสต์ที่ใช้ เป็นต้น ความสัมพันธ์เช่นนี้ไม่สามารถใช้ การถดถอยโดยใช้การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในการวิเคราะห์ได้ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (multiple linear regression analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรอิสระที่มากกว่าหนึ่งตัวแปร การเพิ่มตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องเข้าในการวิเคราะห์จะทำให้ ความถูกต้องของการวิเคราะห์เพิ่มมากขึ้นและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวประมาณค่า (standard error of estimates) ลดลง

2.4.1 ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ

สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายมีตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัวและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสามารถจัดอยู่ในรูปเส้นตรงได้ สำหรับกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว (X_1 และ X_2) ที่มี ความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามแล้วสมการถดถอยสามารถวาดอยู่ในรูประนาบโดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \varepsilon_i$$

โดยที่

- Y_i = ค่าของตัวแปรตามในการเก็บข้อมูลครั้งที่ i
- β_0 = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่ตัวแปรอิสระมีค่าเป็นศูนย์
- β_1, β_2 = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของ X_1 และ X_2
- ε_i = ค่าคลาดเคลื่อนในการเก็บข้อมูลครั้งที่ i

ค่า β_1 เป็นค่าคาดหวังของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ X_1 เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยโดยที่ X_2 มีค่าเท่าเดิมในทางอนงเดียวกันค่า β_2 เป็นค่าคาดหวังของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ X_2 เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยโดยที่ X_1 มีค่าเท่าเดิม เช่น หาก β_1 เท่ากับ 2.5 หมายถึงค่า Y จะเพิ่มขึ้น 2.5 หน่วยเมื่อตัวแปร X_1 มีค่าเพิ่มขึ้น 1 หน่วยโดยที่ตัวแปร X_2 ไม่เปลี่ยนแปลงค่าหรือหาก β_2 เท่ากับ -3.0 หมายถึงค่า Y จะลดลง 3.0 หน่วยเมื่อตัวแปร X_2 มีค่าเพิ่มขึ้น 1 หน่วยโดยที่ตัวแปร X_1 ไม่เปลี่ยนแปลงค่า เป็นต้น

หากมีตัวแปรอิสระ $p - 1$ ตัวแล้วตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุในรูปทั่วไปสามารถแสดง ได้ด้วยสมการดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \beta_3 X_{i3} + \cdots + \beta_{p-1} X_{ip-1} + \varepsilon_i$$

โดยที่ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{p-1}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip-1}$ คือ ค่าของตัวแปรอิสระ $p-1$ ตัว ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ i

สมการถดถอยเชิงเส้นพหุมีข้อตกลงที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อน เช่นเดียวกันกับ สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายดังนี้คือ

1) ε_i มีการแจกแจงแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนคงที่เท่ากับ σ^2 หรือ $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

2) ε_i แต่ละค่าเป็นอิสระต่อกัน

จากข้อตกลงดังกล่าวทำให้ค่าตัวแปรตามมีการแจกแจงแบบปกติหรือสามารถเขียนได้เป็น $Y_i \sim N(\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \cdots + \beta_{p-1} X_{ip-1}, \sigma^2)$

2.4.2 สมการถดถอยในรูปแบบของเมตริกซ์

การคำนวณสมการถดถอยพหุคูณนั้น ทำได้โดยการใช้เมตริกซ์จะช่วยให้การคำนวณง่ายและรวดเร็ว ซึ่งจะเพิ่มเพิ่มจำนวนตัวแปรอิสระขึ้นดั่งนั้นขนาดของเมตริกซ์ในการคำนวณจะใหญ่ขึ้นตามจำนวนตัวแปรอิสระดังนี้

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p-1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

พบว่าเมตริกซ์ Y และ ε นั้นเหมือนกับในสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายในขณะที่เมตริกซ์ X จะมีจำนวนหลักจะเท่ากับจำนวนตัวแปรอิสระบวก 1 หรือ p และเวกเตอร์ β จะมีจำนวนแถว เท่ากับ p นอกจากนี้ ε มีเมตริกซ์ของค่าเฉลี่ยเป็น 0 และเมตริกซ์ของความแปรปรวนคือ

$$\sigma^2 = \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma^2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 I$$

2.4.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยพหุใช้วิธีการเช่นเดียวกับสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายคือการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด หากกำหนดให้ Q เป็นค่าผลรวมกำลังสองของ ความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดหรือ

$$\begin{aligned} Q &= \sum_{i=1}^n (\beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \cdots + \beta_{p-1} X_{ip-1})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (Y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j X_{ij})^2 \end{aligned}$$

ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า Q ที่น้อยที่สุดนั้นจะต้องหาการหาอนุพันธ์ย่อยเทียบกับค่า β_j แต่ละค่าโดยสามารถเขียนสมการทั้งสองได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n \left(Y_i - b_0 - \sum_{j=1}^{p-1} b_j X_{ij} \right) = 0$$

และ

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_j} = -2 \sum_{i=1}^n \left(Y_i - b_0 - \sum_{j=1}^{p-1} b_j X_{ij} \right) X_{ij} = 0$$

ดังนั้นสมการปกติสามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ดังนี้

$$(X'X)b = X'Y$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{ip-1} \\ \sum_{i=1}^n X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{ip-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ip-1} & \sum_{i=1}^n X_{ip-1}X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{ip-1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{ip-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{p-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{i1}Y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ip-1}Y_i \end{bmatrix}$$

โดยที่ $b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_{p-1} \end{bmatrix}$

$$X'X = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{ip-1} \\ \sum_{i=1}^n X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{i1}X_{ip-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ip-1} & \sum_{i=1}^n X_{ip-1}X_{i1} & \sum_{i=1}^n X_{ip-1}X_{i2} & \cdots & \sum_{i=1}^n X_{ip-1}^2 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Y_i \\ \sum_{i=1}^n X_{i1}Y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n X_{ip-1}Y_i \end{bmatrix}$$

จากสมการ $(X'X)b = X'Y$ สามารถหาเวกเตอร์ b ได้ดังนี้

$$b = (X'X)^{-1}X'Y$$

โดย $(X'X)$ ต้องสามารถหาเมทริกซ์ผกผันได้และเป็นเมทริกซ์สมมาตรที่มีขนาด $p \times p$ และค่าของ สมาชิกในแนวเฉียงเป็นผลรวมกำลังสองของค่าในแต่ละหลัก

2.4.4 ค่าพยากรณ์

ค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการถดถอยพหุ (\hat{Y}) สามารถเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์ดังนี้

$$\hat{Y} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_1 \\ \hat{Y}_2 \\ \vdots \\ \hat{Y}_n \end{bmatrix}$$

โดยสามารถคำนวณค่าพยากรณ์โดยใช้เมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= Xb \\ &= X(X'X)^{-1}X'Y \end{aligned}$$

หรือ

$$\hat{Y} = HY$$

2.4.5 คุณสมบัติของตัวประมาณพารามิเตอร์

ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสมการถดถอยเชิงเส้นพหุมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ได้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายคือมีคุณสมบัติเป็นตัวประมาณค่าที่ดี หรือ BLUE (best linear unbiased estimator) ของพารามิเตอร์ β กล่าวคือเป็นตัวประมาณค่าเชิงเส้น ที่ไม่เอนเอียงและมีความแปรปรวนที่น้อยที่สุดในบรรดาตัวประมาณค่าทั้งหมดที่ได้จากวิธีอื่น ค่าคาดหวังของตัวประมาณค่าจะมีค่าเท่ากับค่าพารามิเตอร์หรือ $E(\hat{\beta}) = \beta$

เมทริกซ์ความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์เป็น เมทริกซ์ที่มีขนาด $p \times p$ โดยที่ค่าในแนวที่ j ของแนวเฉียงคือค่าความแปรปรวนของตัวประมาณค่า b_j เมทริกซ์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\sigma^2\{b\} = \begin{bmatrix} \sigma^2\{b_0\} & \sigma\{b_0, b_1\} & \dots & \sigma\{b_0, b_{p-1}\} \\ \sigma\{b_0, b_1\} & \sigma^2\{b_1\} & \dots & \sigma\{b_1, b_{p-1}\} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma\{b_1, b_0\} & \sigma\{b_{p-1}, b_1\} & \dots & \sigma^2\{b_{p-1}\} \end{bmatrix}$$

หรือ

$$\sigma^2\{b\} = \sigma^2(X'X)^{-1}$$

เนื่องจาก σ^2 สามารถประมาณได้โดยใช้ MSE ดังนั้นเมตริกซ์ของความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมคือ

$$S^2\{b\} = MSE(X'X)^{-1}$$

2.4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ หรือ $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_{p-1} = 0$ หรือ $\beta = 0$ และ $H_1 :$ อย่างน้อย 1 ตัวที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 และใช้การทดสอบเอฟเช่นเดียวกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย หากปฏิเสธสมมติฐานหลักแสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม การวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถคำนวณในรูปของเมตริกซ์ได้โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ ผลรวมกำลังสองดังนี้

2.4.6.1 ผลรวมกำลังสองทั้งหมด

ผลรวมกำลังสองทั้งหมด (SST) เขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$SST = Y'Y - \left(\frac{1}{n}\right)Y'JY$$

หรือ

$$= Y' \left[I - \left(\frac{1}{n}\right)J \right] Y$$

โดย SST มีองศาเสรีเท่ากับ $n-1$

2.4.6.2 ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน

ผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (SSE) เขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$SSE = Y'Y - bX'Y$$

หรือ

$$= Y'(I - H)Y$$

โดย SSE มีองศาเสรีเท่ากับ $n-p$

2.4.6.3 ผลรวมกำลังสองถดถอย

ผลรวมกำลังสองถดถอย (SSR) เขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$SSR = bX'Y - \left(\frac{1}{n}\right)Y'JY$$

หรือ

$$= Y' \left[H - \left(\frac{1}{n}\right)J \right] Y$$

โดย SSR มีองศาเสรีเท่ากับ $p - 1$ จากการประมาณพารามิเตอร์ p ค่า

ตารางที่ 2.11

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

Source of Variation	SS	df	MS	F
Regression	$SSR = bX'Y - \left(\frac{1}{n}\right)Y'JY$	$p-1$	$MSR = \frac{SSR}{p-1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Error	$SSE = Y'Y - bX'Y$	$n-p$	$MSE = \frac{SSE}{n-p}$	
Total	$SST = Y'Y - \left(\frac{1}{n}\right)Y'JY$	$n-1$		

2.4.7 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว

ในสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายนั้นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มาจากตัวแปรอิสระ เพียง 1 ตัวแต่ในสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแล้วค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะถูกเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว (coefficient of multiple determination) หรือ R^2 ซึ่งยังคงเป็นการวัดสัดส่วนของความแปรผันทั้งหมดของตัวแปร ตามที่สามารถอธิบายได้โดยการใช้ตัวแปรอิสระในสมการถดถอยสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือ $0 < R^2 < 1$ โดยที่กาหนดว่าค่า R^2 เท่ากับ 0 เมื่อค่า สัมประสิทธิ์การถดถอยทุกตัวมีค่าเป็น 0 และมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อค่าของตัวแปรตามทุกค่ามีค่าเท่ากับ ค่าพยากรณ์หรือ $Y_i = \hat{Y}_i$ สำหรับข้อมูลทั้ง n ค่า

เนื่องจากค่า R^2 ได้มาจากการใช้ข้อมูลในการคำนวณดังนั้นช่วงพิสัยของตัวแปรอิสระจะมีผลต่อค่า R^2 การที่ค่า R^2 มีค่าสูงนั้นมีได้หมายความว่าสมการถดถอยนั้นเหมาะสมกับทุกช่วงค่าของตัวแปรอิสระ หากพยากรณ์นอกช่วงค่าของตัวแปรอิสระที่เก็บข้อมูลมา (extrapolation) แล้ว สมการถดถอยอาจไม่เหมาะสมก็ได้ นั่นคือค่าพยากรณ์ที่ได้ อาจมีความคลาดเคลื่อนได้

การเพิ่มจำนวนตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการอาจทำให้ค่า R^2 เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า SSE อาจ มีค่าลดลงได้แต่ค่า SST มีค่าเท่าเดิมไม่เปลี่ยนแปลงโดยที่ตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปนั้นอาจไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามก็ได้ ดังนั้นจึงมีการปรับค่า R^2 โดยการหารค่า SSE และ SST ด้วยองศาเสรีของมันเรียกว่า R^2 นี้ว่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วสำหรับตัวแปรอิสระหลายตัว (adjusted coefficient of multiple determination) หรือ R_{adj}^2 สามารถแสดงได้โดยสมการดังนี้

$$R^2 = \frac{\frac{SSR}{n-p}}{\frac{SST}{n-1}} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right) \frac{SSE}{SST}$$

ค่า R_{adj}^2 จะไม่เพิ่มขึ้นหากตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าไปไม่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตามแต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตามเข้าไปในสมการเนื่องจาก SSE อาจลดลงมากกว่าค่าองศาเสรีของมัน

2.4.8 การอนุมานค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงพหุ

การอนุมานค่าพารามิเตอร์สำหรับสมการถดถอยเชิงเส้นพหุสามารถแบ่งได้เป็นการสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ และการทดสอบสมมติฐานของพารามิเตอร์แต่ละค่า ดังนี้

2.4.8.1 ช่วงความเชื่อมั่นของตัวประมาณค่า β_j

ในการสร้างช่วงความเชื่อมั่นของตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ β_j นั้นจะคล้ายกับ การสร้างช่วงความเชื่อมั่นของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายโดยใช้สถิติที่ท้องศาเสรี $n - p$ เนื่องจากค่าประมาณของพารามิเตอร์แต่ละตัวมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ β_j และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $s\{b_j\}$ ดังนั้นช่วงความเชื่อมั่น $100(1-\alpha)\%$ ของ β_j คือเท่ากับ

$$b_j - t_{\alpha/2, n-p} s\{b_j\} \leq \beta_j \leq b_j + t_{\alpha/2, n-p} s\{b_j\} \quad \text{เมื่อ } j = 0, \dots, p - 1$$

2.4.8.2 การทดสอบสมมติฐานของค่าพารามิเตอร์ β_j

การเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าในสมการถดถอยจะทำให้ SSE ลดลงหรือเพิ่ม SSR ขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของ SSR นั้นอาจไม่ได้หมายความว่าตัวแปรอิสระนั้นๆ จำเป็นในการพยากรณ์ ตัวแปรตาม การเพิ่มตัวแปรอิสระขึ้นทำให้ความแปรปรวนของค่าพยากรณ์เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงต้อง มีการพิจารณาตัวแปรอิสระแต่ละตัวว่าตัวใดมีความสำคัญกับตัวแปรตาม ในการทดสอบสมมติฐานของค่าพารามิเตอร์แต่ละค่านั้นจะคล้ายกับการทดสอบใน สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยสมมติฐานมีดังนี้

$$H_0 : \beta_j = \beta_{j0}$$

$$H_1 : \beta_j \neq \beta_{j0}$$

สถิติที่ใช้คือ

$$t = \frac{(b_j - \beta_{j0})}{s\{b_j\}}$$

โดย หาก $|t| \leq t_{\alpha/2, n-p}$ แล้วไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0

หาก $|t| > t_{\alpha/2, n-p}$ แล้วปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0

2.5 การแปลงข้อมูล (Data Transformation)

การแปลงข้อมูล หมายถึง การเปลี่ยนสภาพของข้อมูลที่เราศึกษาให้มีการแจกแจงแบบปกติหรือทำให้ความแปรปรวนมีค่าเท่ากัน เนื่องจากข้อตกลงเบื้องต้นของการทดสอบสถิติบางตัวได้กำหนดไว้ เช่น การทดสอบค่าเฉลี่ย การทดสอบ ความแปรปรวน (Analysis of Variance) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการแปลงข้อมูลทำได้โดยใช้วิธีการเชิงสถิติมีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงข้อมูลเป็นมาตราใหม่แล้ว ยังทำให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ ค่าเฉลี่ย และความแปรปรวนของข้อมูลที่แปลงแล้วเป็นอิสระต่อกันทำให้ความแปรปรวนมีลักษณะเป็นเอกพันธ์ วิธีการแปลงข้อมูลมีอยู่หลายวิธี ซึ่งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมของการแจกแจงของข้อมูลว่ามีลักษณะการแจกแจงแบบใด เช่น วิธีการแปลงโดยใช้ลอการิทึม วิธีการแปลงโดยใช้รากที่สอง วิธีการแปลงโดยใช้การกลับเศษส่วน วิธีการแปลงโดยใช้เลขยกกำลัง วิธีการแปลงโดยใช้เลขชี้กำลัง วิธีการแปลงอาร์คซายน์ และวิธีการแปลงแบบโลจิท เป็นต้น ซึ่งใช้ในการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติให้เป็นแบบปกติ ในการทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ (Parametric Test) การแปลงสมการเชิงเส้นตรง (Linear Equation Transformation) มีประโยชน์ในการเข้ารหัสข้อมูลในงานด้านการออกแบบการทดลอง เพื่อประโยชน์ในการปกปิดข้อมูลเชิงธรรมชาติ โดยไม่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบทางสถิติเปลี่ยนไป หรือแปลงข้อมูลเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลนั้นๆ ได้

สำหรับในงานด้านการออกแบบการทดลองโดยทั่วไป การแปลงข้อมูลมีวัตถุประสงค์สามประการ คือ

- 1) ทำให้ความแปรปรวนของผลตอบสนองคงที่ (Stabilizing Response Variance)

2) ทำให้การแจกแจงของผลตอบสนองเข้าใกล้การแจกแจงปกติ (Making the Distribution of the Response Variable Closer to the Normal Distribution)

3) ปรับปรุงรูปแบบของข้อมูลให้ดีขึ้น (Improving the Fit of Model to the Data)

2.5.1 การแปลงแบบพาราโบลิก (Parabolic, PB)

การแปลงยกกำลังแบบพาราโบลิกนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอรูปแบบของการแปลงเพื่อเปรียบเทียบเข้ารหัสข้อมูลในการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม ซึ่งได้แสดงรูปแบบการแปลงดังนี้

$$y_t^{(\rho)} = (|y| + \rho)^2$$

เมื่อ

$y_t^{(\rho)}$ คือ ค่าสังเกตที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

y คือ ค่าสังเกตก่อนมีการแปลงข้อมูล

ρ คือ ค่าพารามิเตอร์ของ Parabolic

2.5.2 การแปลงยกกำลังแบบเยว์และจอห์นสัน (Yeo-Johnson, Y&J)

ในปี ค.ศ. 2000 Yeo&Johnson ได้นำเสนอรูปแบบการแปลงข้อมูลที่พัฒนาจากรูปแบบการแปลงของบ็อกซ์-ค็อกซ์ เพื่อให้ข้อมูลมีการแจกแจงที่สมมาตรและมีรูปแบบเข้าใกล้การแจกแจงแบบปกติมากยิ่งขึ้นรวมทั้ง สามารถใช้กับข้อมูลที่มีทั้งค่าบวกและค่าลบอีกด้วย โดยมีรูปแบบการแปลงดังนี้

$$y_t^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{(y+1)^\lambda - 1}{\lambda}, & ; y \geq 0, \lambda \neq 0 \\ \log(y+1), & ; y \geq 0, \lambda = 0 \\ -\frac{(-y+1)^{2-\lambda} - 1}{2-\lambda}, & ; y < 0, \lambda \neq 0 \\ -\log(-y+1), & ; y < 0, \lambda = 0 \end{cases}$$

เมื่อ

$y_t^{(\lambda)}$ คือ ค่าสังเกตที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

y คือ ค่าสังเกตก่อนมีการแปลงข้อมูล

λ คือ ค่าพารามิเตอร์ของ Yeo&Johnson

2.5.3 การแปลงแบบโลจิท (Logit, LG)

การแปลงโลจิทถูกใช้มากในด้านการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก (Logistic Regression) โดยเป็นการแปลงลอการิทึมของสัดส่วนระหว่างความน่าจะเป็นที่ 1 จะเกิดเหตุการณ์กับความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ โดยสมการการแปลงสามารถแสดงได้ ดังนี้

$$y_t^{(\Omega)} = \log \left| \frac{p}{1-p} \right|$$

เมื่อ

$y_t^{(\Omega)}$ คือ ค่าสังเกตที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

y คือ ค่าสังเกตก่อนมีการแปลงข้อมูล

Ω คือ ค่าพารามิเตอร์ของ Logit

จากสมการจะเห็นได้ว่า ค่าสัมบูรณ์ของอัตราส่วนในลอการิทึมมีขึ้นเพื่อใช้ในการแปลงข้อมูลที่มีทั้งค่าบวกและลบ สมการนี้จะไม่มีผลลัพธ์เมื่อ p มีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยผลลัพธ์ของการแปลงโลจิทจะเป็นจำนวนจริงที่มีทั้ง ค่าบวกและลบ โดยจะเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ p มีค่าเข้าใกล้ 0 และจะเป็นบวกมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อ p มีค่าเข้าใกล้ 1 และจะมีค่าเป็น 0 เมื่อ p เท่ากับ 0.5 เนื่องจากข้อมูลที่จำลองขึ้นเป็นตัวเลขที่เป็นจำนวนจริง เพื่อให้สามารถใช้กับสมการแปลงนี้ได้ ต้องทำการปรับข้อมูลให้อยู่รูปสัดส่วนก่อนโดยการหารด้วยสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ใดๆของ Logit เมื่อ $p = \frac{y}{\Omega}$

2.6 วิธีการประมาณค่าด้วยภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation, MLE)

การประมาณค่าด้วยวิธีแมกซิมัมไลกelihood เป็นวิธีประมาณค่าพารามิเตอร์ โดยใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นของการแจกแจงที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง แล้วแก้สมการหาตัวประมาณค่าของฟังก์ชัน โดยกำหนดให้

X_1, X_2, \dots, X_n เป็นตัวอย่างสุ่มจากการแจกแจงที่มีฟังก์ชันความหนาแน่นเป็น $f(x; \theta)$, $\theta \in \Theta$ ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น (Likelihood function) ของตัวอย่างสุ่มคือฟังก์ชันความหนาแน่นรวมของ X_1, X_2, \dots, X_n โดยที่เป็นฟังก์ชันของพารามิเตอร์ θ ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็นเขียนแทนด้วย L หรือ $L(\theta)$ นั่นคือ

$$\begin{aligned} L &= L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) \\ &= f(x_1; \theta) \dots f(x_n; \theta) \\ &= \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \end{aligned}$$

ตัวประมาณแบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของพารามิเตอร์คือ $\hat{\theta}$ คือ $\hat{\theta} = \hat{\theta}(X_1, \dots, X_n)$ ที่ทำให้ฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น $L(\theta)$ มีค่าสูงสุดนั่นคือหา $L(x; \hat{\theta}) \geq L(x; \theta)$ ทุกค่า $\theta \in \Theta$

เมื่อ $\hat{\theta}$ หาค่าได้ จะได้ว่า $\hat{\theta}$ เป็นตัวประมาณค่าแบบ Maximum Likelihood ของ θ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาฟังก์ชันภาวะน่าจะเป็น

$$\begin{aligned} L(\theta) &= L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= f(x_1; \theta) \dots f(x_n; \theta) \end{aligned}$$

- 2) หา $\ln L(\theta)$

- 3) หา $\frac{\partial \ln L(\theta)}{\partial \theta} = 0$

4) แก่สมการในข้อ 3 หาค่า θ จะได้ $\hat{\theta}$ เป็นค่าประมาณแบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของ θ

ในกรณีที่หาค่าอนุพันธ์ไม่ได้ ให้เลือก θ ที่ทำให้ $L(\theta)$ หรือ $\ln L(\theta)$ มีค่าสูงสุดจะได้ $\hat{\theta}$ เป็นตัวประมาณแบบภาวะน่าจะเป็นสูงสุดของ θ

การประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดได้ถูกประยุกต์หาค่าสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลของงานวิจัยนี้ โดยกำหนดฟังก์ชันความหนาแน่น จากสมมติฐานของข้อมูลที่ได้จากการแปลงนั้นมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$f(z|\beta, \Sigma) = \frac{\exp\left\{\frac{1}{2}(z - \mu)'\Sigma^{-1}(z - \mu)\right\}}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}|\Sigma|^{\frac{1}{2}}}$$

โดยที่ z คือ y_t (ข้อมูลที่ผ่านการแปลงแล้ว)

กำหนดให้รูปแบบของข้อมูลเชิงรหัสมีโครงสร้างที่เป็นเส้นตรง $\mu = X\beta$ และมีความแปรปรวนร่วมกัน ทำให้สามารถปรับรูปแบบฟังก์ชัน Likelihood ได้ดังรูปแบบสมการนี้

$$f(z|\beta, \sigma^2) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(z - X\beta)'(z - X\beta)\right\}}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}}$$

$J(y, tv)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (pdf) ในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2.12

tv คือ สัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล (Transformed variable)

y คือ ข้อมูลจริงหรือข้อมูลธรรมชาติ

จะได้ว่า

$$f(y|\beta, \sigma^2, tv) = \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}(z - X\beta)'(z - X\beta)\right\}}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{n}{2}}} J(y, tv)$$

ฉะนั้น Log likelihood function คือ

$$\ln L(\beta, \sigma^2, tv|y) = -\frac{1}{2\sigma^2}(z - X\beta)'(z - X\beta) - \frac{n}{2}\ln(2\pi\sigma^2) + \ln(J(y, tv))$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของ β, σ^2, tv, y สามารถหาค่าได้เมื่อ Log likelihood function มีค่าสูงสุด และการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชันจะง่ายขึ้น ถ้าหาค่าสูงสุดของแต่ละพารามิเตอร์ได้ แล้วแทนที่กลับเข้าไปในฟังก์ชัน Log likelihood จะทำให้ลดตัวแปรที่ไม่ทราบค่าออกไป โดยในที่นี้สามารถหาค่าสูงสุดของ β, σ^2, tv โดยการแก้สมการจากค่าอนุพันธ์ของแต่ละพารามิเตอร์ของฟังก์ชันที่เท่ากับศูนย์

ตารางที่ 2.12

จาโคเบียนเทอมของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี

Family of Transformation	Jacobian Terms $|J(y, tv|T)|$
Parabolic	$\prod_{i=1}^n (|y_i|)$
Yeo&Johnson	$\begin{cases} \prod_{i=1}^n (y_i + 1)^{\lambda-1} & y_i \geq 0 \\ \prod_{i=1}^n (-y_i + 1)^{1-\lambda} & y_i < 0 \end{cases}$
Logit	$\prod_{i=1}^n (|y_i|^{-1} + |\Omega - y_i|^{-1})$

กรณี β

$$\frac{\partial \ln L(\beta, \sigma^2, tv|y)}{\partial \beta} = -\frac{1}{2\sigma^2} (-2X'z + 2X'X\beta) \stackrel{set}{\Rightarrow} 0$$

$$\Rightarrow 2X'X\beta = 2X'z$$

$$\Rightarrow \beta = (X'X)^{-1}X'z$$

แทนที่ β ลงในสมการ Log likelihood จะได้

$$\ln L(\sigma^2, tv|y, \tilde{\beta}) = -\frac{1}{2\sigma^2} (z - Hz)'(z - Hz) - \frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + \ln(J(y, tv))$$

$$= -\frac{1}{2\sigma^2} z'(I-H)z - \frac{n}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + \ln(J(y, tv))$$

โดยที่ $H = X(X'X)^{-1}X'$

กรณี σ^2

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln L(\sigma^2, tv|y, \beta)}{\partial \sigma^2} &= -\frac{1}{2\sigma^4} z'(I-H)z - \frac{n}{2\sigma^2} \stackrel{set}{\Rightarrow} 0 \\ &\Rightarrow \frac{z'(I-H)z}{\sigma^4} = \frac{n}{\sigma^2} \\ &\Rightarrow \hat{\sigma}^2 = \frac{z'(I-H)z}{n} \end{aligned}$$

แทนที่ σ^2 ลงในสมการ Log likelihood จะได้

$$\begin{aligned} \ln L(tv|y) &= \ln L(tv|y, \tilde{\beta}, \hat{\sigma}^2) = -\frac{1}{2} \frac{n\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}^2} - \frac{n}{2} \ln(2\pi\hat{\sigma}^2) + \ln(J(y, tv)) \\ &= -\frac{n}{2} \ln(2\pi e) - \frac{n}{2} \ln(\hat{\sigma}^2(z)) + \ln(J(y, tv)) \end{aligned}$$

กรณี Transformed Variable (tv)

$$\frac{\partial \ln L(tv|y)}{\partial tv} = -\frac{n}{2\sigma^2} \frac{\partial \hat{\sigma}^2(z)}{\partial tv} + \frac{\partial \ln(J(y, tv))}{\partial tv}$$

ใช้กฎลูกโซ่ของเวกเตอร์จะได้

$$\frac{\partial \ln L(tv|y)}{\partial tv} = -\frac{n}{2\sigma^2} \left(\frac{\partial z'}{\partial tv} \frac{\partial \hat{\sigma}^2(z)}{\partial z} \right) + \frac{\partial \ln(J(y, tv))}{\partial tv}$$

โดยที่

$$\frac{\partial z}{\partial tv} = u_i$$

จากกฎของรูปแบบควอตราติคจะได้ว่า

$$\frac{\partial \hat{\sigma}^2(z)}{\partial z} = \frac{1}{n} \frac{\partial z'(I-H)z}{\partial z} = \frac{2(I-H)z}{n}$$

จากกฎข้างต้น นำมารวมกันจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{\sigma}^2(z)}{\partial tv} &= \frac{\partial z'}{\partial tv} \frac{\partial \hat{\sigma}^2(z)}{\partial z} \\ &= u' \left(\frac{2(I-H)z}{n} \right) \\ &= \frac{2u'(I-H)z}{n} \end{aligned}$$

โดยสรุปจะได้ Log likelihood function ที่สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของ สัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลดังสมการ (1) คือ

$$\frac{\partial \ln L(tv|y)}{\partial tv} = -\frac{u'(I-H)z}{\hat{\sigma}^2} + \frac{\partial \ln(J(y,tv))}{\partial tv} \quad (1)$$

Hessian matrix ถูกใช้หาพารามิเตอร์ที่ให้ค่าสูงสุดและต่ำสุดของฟังก์ชันโดยใช้กฎอนุพันธ์อันดับสองของเทย์เลอร์และจะถูกนำไปประยุกต์ใช้หาค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวพารามิเตอร์ที่ใช้แปลงข้อมูล ซึ่งมีรูปแบบคือ

$$H(\theta_0) = \left[\frac{\partial^2 f}{\partial \theta \partial \theta'} \right]_{\theta=\theta_0}$$

โดยที่

$$\frac{\partial(AB)}{\partial c} = \left(\frac{\partial A}{\partial c} \right) (I_q \otimes B) + (I_p \otimes A) \left(\frac{\partial B}{\partial c} \right) \quad (2)$$

จากสมการ (1) Log likelihood function ที่สรุปการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การ
แปลงข้อมูลข้างต้น จะได้ว่า

$$A = -u'(I - H)z, \quad B = (\hat{\sigma}^2)^{-1}, \quad C = tv' = tv$$

ฉะนั้นเมื่อแทนค่า A, B, และ C แล้วจะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \ln L(tv|y)}{\partial tv^2} &= \left(\frac{\partial A}{\partial C}\right) B + A \left(\frac{\partial B}{\partial C}\right) \\ &= \left(\frac{\partial[-u'(I-H)z]}{\partial tv}\right) (\hat{\sigma}^2)^{-1} - u'(I-H)z \left(\frac{\partial(\hat{\sigma}^2)^{-1}}{\partial tv}\right) \quad (3) \end{aligned}$$

พิจารณาเทอมของ $\frac{\partial(\hat{\sigma}^2)^{-1}}{\partial tv}$ ในสมการ (3) จะได้ว่า $A = (\hat{\sigma}^2)^{-1}$ และ
 $C = tv$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\hat{\sigma}^2)^{-1}}{\partial tv} &= -(\hat{\sigma}^2)^{-1} \left(\frac{\partial \hat{\sigma}^2}{\partial tv}\right) (\hat{\sigma}^2)^{-1} \\ &= -\frac{1}{(\hat{\sigma}^2)^2} \left(\frac{2u'(I-H)z}{n}\right) \\ &= -\frac{2u'(I-H)z}{n(\hat{\sigma}^2)^2} \end{aligned}$$

พิจารณาเทอมของ $\frac{\partial[-u'(I-H)z]}{\partial tv}$ ในสมการ (3) จะได้ว่า

$$A = -u', \quad B = (I - H)z, \quad C = tv' = tv$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}\frac{\partial[-u'(I-H)z]}{\partial tv} &= \left(\frac{\partial u'}{\partial tv}\right)(I-H)z - u'(I-H)\left(\frac{\partial z}{\partial tv}\right) \\ &= v'(I-H)z - u'(I-H)u\end{aligned}$$

โดยที่

$$\frac{\partial u_i}{\partial tv} = v_i$$

สรุปได้ว่า สมการ Hessian matrix คือ

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \ln L(tv|y)}{\partial tv^2} &= \left(\frac{\partial[-u'(I-H)z]}{\partial tv}\right)(\hat{\sigma}^2)^{-1} - u'(I-H)z\left(\frac{\partial(\hat{\sigma}^2)^{-1}}{\partial tv}\right) \\ &= \frac{v'(I-H)z - u'(I-H)z}{\hat{\sigma}^2} + u'(I-H)z\left(\frac{2u'(I-H)z}{n(\hat{\sigma}^2)^2}\right) \\ H(tv) &= \frac{\partial^2 \ln L}{\partial tv^2} = \frac{v'(I-H)z - u'(I-H)z}{\hat{\sigma}^2} + \frac{2}{n}\left(\frac{u'(I-H)z}{\sigma^2}\right)^2 \quad (4)\end{aligned}$$

2.6.1 การประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล

จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลโดยวิธีภาชนะน่าจะเป็นสูงสุด งานวิจัยนี้ต้องการหาช่วงความเชื่อมั่นของสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี โดยใช้หลักการของการแจกแจงแบบปกติของตัวประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเป็นตัวกำกับ (Asymptotic Distribution of MLE) โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นเท่ากับ

$$\hat{\theta}_i \pm z * \widehat{SE}(\hat{\theta}_i)$$

โดยที่

z คือ ค่ามาตรฐานของการแจกแจงแบบปกติ

$\widehat{SE}(\hat{\theta}_i)$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมาณค่า $\hat{\theta}_i$

จากสมการดังกล่าว จะต้องประมาณค่า $\widehat{SE}(\hat{\theta}_i)$ จาก Maximum Likelihood Estimation โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SE) หาค่าได้จากการประมาณค่าของ Diagonal of Covariance Matrix. โดยขั้นแรกให้ฟังก์ชัน Log likelihood แทนด้วย U คือ

$$U = \frac{\partial \ell(\theta|y)}{\partial x}$$

จากหลักการของ Fisher's total information matrix จะได้ว่า

$$\hat{J}(\hat{\theta}) = \frac{\partial U}{\partial \theta'} = -\frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \theta \partial \theta'}$$

เปลี่ยนเป็นค่าคาดหวังจะได้

$$J(\theta) = E[\hat{J}(\theta)] = E(UU')$$

การแจกแจงของการประมาณค่า $\sqrt{n}(\hat{\theta} - \theta)$ โดยที่ $n \rightarrow \infty$ ให้เป็นการแจกแจงแบบปกติได้ดังนี้

$$\left[\frac{J(\theta)}{n}\right]^{\frac{1}{2}} \sqrt{n}(\hat{\theta} - \theta) \xrightarrow{dist} N(0, I) \quad (5)$$

โดย $J(\theta)$ คือ Fisher's total information matrix อย่างไรก็ตาม $J(\theta)$ เป็นตัวแปรทั่วไปที่ยังไม่ทราบค่า ส่วนการแทนค่าด้วย $n^{-1/2}$ เพื่อให้สอดคล้องในการประมาณค่าที่มีการแจกแจงแบบปกติของ $\frac{\hat{J}(\hat{\theta})}{n}$ สำหรับประมาณค่า $\frac{\hat{J}(\hat{\theta})}{n}$ ในสมการ (5) สอดคล้องกับรูปแบบสมการดังนี้

$$\hat{J}(\hat{\theta})^{\frac{1}{2}}(\hat{\theta} - \theta) \xrightarrow{dist} N(0, I) \text{ และ } \hat{\theta} \sim N(\theta, \hat{J}(\hat{\theta})^{-1})$$

ตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชัน Log likelihood

$$\theta = \begin{pmatrix} \beta \\ \sigma^2 \\ tv \end{pmatrix}$$

จาก Fisher's total information matrix form

$$-\hat{J}(\theta) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \beta \partial \beta'} & \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \beta \partial \sigma^2} & \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \beta \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \beta \partial \sigma^2} & \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial (\sigma^2)^2} & \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \sigma^2 \partial \lambda} \\ \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \beta \partial \lambda} & \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \sigma^2 \partial \lambda} & \frac{\partial^2 \ell(\theta|y)}{\partial \lambda^2} \end{pmatrix}$$

จะได้ว่า

$$= \frac{1}{\sigma^2} \begin{pmatrix} X'X & \frac{X'(z - X\beta)}{\sigma^2} & -X'u \\ \frac{(z - X\beta)'X}{\sigma^2} & \frac{(z - X\beta)'(z - X\beta)}{\sigma^4} - \frac{n}{\sigma^2} & -\frac{u'(z - X\beta)}{\sigma^2} \\ -u'X & -\frac{(z - X\beta)'u}{\sigma^2} & u'u - v'(z - X\beta) \end{pmatrix}$$

จากรากที่สองของ Diagonal entries of $J(\theta)$ คือตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ในแต่ละตัว และในส่วนของ การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลที่เราสนใจหาได้จากค่าของเมตริกซ์ย่อยผกผัน ดังนี้

$$-\hat{J}(\theta) = \frac{1}{\sigma^2} \left(\begin{array}{ccc|c} X'X & \frac{X'(z - X\beta)}{\sigma^2} & & -X'u \\ \frac{(z - X\beta)'X}{\sigma^2} & \frac{(z - X\beta)'(z - X\beta)}{\sigma^4} - \frac{n}{\sigma^2} & & -\frac{u'(z - X\beta)}{\sigma^2} \\ -u'X & -\frac{(z - X\beta)'u}{\sigma^2} & & u'u - v'(z - X\beta) \end{array} \right)$$

$$= \frac{1}{\sigma^2} \begin{pmatrix} \hat{J}(\theta)_{11} & \hat{J}(\theta)_{12} \\ \hat{J}(\theta)_{21} & \hat{J}(\theta)_{22} \end{pmatrix}$$

ฉะนั้นตัวประมาณค่าของ $\widehat{Var}(t\hat{v})$ คือ

$$\widehat{Var}(t\hat{v}) = \sigma^2 (\hat{J}(\theta)_{22} - \hat{J}(\theta)_{21} [\hat{J}(\theta)_{11}]^{-1} \hat{J}(\theta)_{12})^{-1}$$

โดยปัญหาในการแก้สมการเมตริกซ์เพื่อประมาณค่า $\widehat{Var}(t\hat{v})$ คือ $\hat{J}(\theta)_{11}$ เป็นเมตริกซ์เอกฐานไม่สามารถหาเมตริกซ์ผกผันได้ และแต่ละ $\hat{J}(\theta)_{ij}$ นั้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ไม่รู้ค่า โดยสามารถจัดรูปแบบอย่างของ $\hat{J}(\theta)_{11}$ ได้เพราะว่า

$$\frac{X'(z - X\tilde{\beta})}{\hat{\sigma}^2} = \frac{\overbrace{X'(I-H)z}^0}{\hat{\sigma}^2} = 0$$

และ

$$\frac{(z - X\tilde{\beta})'(z - X\tilde{\beta})}{(\hat{\sigma}^2)^2} - \frac{n}{2\hat{\sigma}^2} = \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \left[\frac{n\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}^2} - \frac{n}{2} \right] = \frac{n}{2\hat{\sigma}^2}$$

รูปแบบอย่างง่ายของ $\hat{J}(\theta)_{11}$ คือ

$$\begin{pmatrix} X'X & 0 \\ 0 & \frac{n}{2\hat{\sigma}^2} \end{pmatrix}$$

และ $[\hat{J}(\theta)_{11}]^{-1}$ คือ

$$\begin{pmatrix} (X'X)^{-1} & 0 \\ 0 & \frac{n}{2\hat{\sigma}^2} \end{pmatrix}$$

จากผลที่ได้รูปแบบอย่างง่ายของ $\hat{J}(\theta)_{21} [\hat{J}(\theta)_{11}]^{-1} \hat{J}(\theta)_{12}$ คือ

$$= \begin{pmatrix} \hat{u}'X & \frac{\hat{z}'(I-H)\hat{u}}{\hat{\sigma}^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (X'X)^{-1} & 0 \\ 0 & \frac{n}{2\hat{\sigma}^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{X'\hat{u}}{\hat{\sigma}^2} \\ \frac{\hat{u}'(I-H)\hat{z}}{\hat{\sigma}^2} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
&= (\hat{u}'X(X'X)^{-1} \frac{2\hat{z}'(I-H)\hat{u}}{\hat{\sigma}^2}) \left(\frac{X'\hat{u}}{\hat{\sigma}^2} \right) \\
&= \hat{u}' \underbrace{X(X'X)^{-1}X'}_H \hat{u} + \frac{2(\hat{u}'(I-H)\hat{z})^2}{n\hat{\sigma}^2}
\end{aligned}$$

ฉะนั้นจะได้สมการประมาณค่า $\widehat{Var}(\hat{t}\nu)$ คือ

$$\begin{aligned}
\widehat{Var}(\hat{t}\nu) &= \hat{\sigma}^2 (\hat{j}(\hat{\theta})_{22} - \hat{j}(\hat{\theta})_{21} [\hat{j}(\hat{\theta})_{11}]^{-1} \hat{j}(\hat{\theta})_{12})^{-1} \\
&= \hat{\sigma}^2 \left[\hat{u}\hat{u}' - \hat{v}'(I-H)\hat{z} - \left(\hat{u}'H\hat{u} + \frac{2(\hat{u}'(I-H)\hat{z})^2}{n\hat{\sigma}^2} \right) \right]^{-1} \\
&= \hat{\sigma}^2 \left[\hat{u}'(I-H)\hat{u} - \hat{v}'(I-H)\hat{z} - \frac{2(\hat{u}'(I-H)\hat{z})^2}{n\hat{\sigma}^2} \right]^{-1} \\
&= \left[\frac{\hat{v}'(I-H)\hat{z} - \hat{u}'(I-H)\hat{u}}{\hat{\sigma}^2} + \frac{2}{n} \left(\frac{(\hat{u}'(I-H)\hat{z})^2}{\hat{\sigma}^2} \right) \right]^{-1} \\
&= -(H(\hat{t}\nu))^{-1}
\end{aligned}$$

โดยที่ $H(\hat{t}\nu)$ หาค่าได้จากสมการ (4) ซึ่งทำให้

$$\widehat{SE}(\hat{t}\nu) = \frac{1}{\sqrt{-H(\hat{t}\nu)}}$$

สรุปแล้ว การประมาณช่วงค่าความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่ $(1-\alpha)100\%$ สามารถหาได้จากสมการ

$$\hat{tv} \pm z * \widehat{SE}(\hat{tv})$$

โดยที่ Z คือ ค่ามาตรฐานของการแจกแจงแบบปกติเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ $(1 - \frac{\alpha}{2}) 100\%$

2.5 การทดสอบของ Kruskal-Wallis

การทดสอบของครัสคอลล-วอลลีส เป็นการทดสอบแบบไม่อ้างอิงพารามิเตอร์ โดยใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของค่ากลางหรือมัธยฐานของประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างต่างๆ จากการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบข้อมูลนำเข้าที่ผ่านเงื่อนไขข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติซึ่งสามารถใช้การทดสอบแบบอ้างอิงพารามิเตอร์ได้ ดังนั้น หากผลลัพธ์ของการแปลงข้อมูลในงานวิจัยนี้ไม่ผ่านเงื่อนไขข้อมูลดังกล่าว การทดสอบนี้สามารถเป็นทางเลือกที่ใช้ทดสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของข้อมูลซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. กำหนดสมมติฐานของการทดสอบ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j, \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

2. นำข้อมูลในแต่ละระดับ (Level) มาเรียงลำดับจากน้อยไปมากในทุกระดับเพื่อจัดอันดับ (Rank)

3. หาผลรวมในแต่ละระดับปัจจัย (R_i)

4. คำนวณค่าสถิติ H จากสมการ

$$H = \frac{1}{S^2} \left[\sum_{i=1}^a \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{N(N+1)^2}{4} \right]$$

โดยที่

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n R_{ij}^2 \right]$$

5. ตัวสถิติ H มีการแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi Square Distribution) โดยการทดสอบสมมติฐาน จะปฏิเสธสมมติหลักก็ต่อเมื่อ $H > \chi^2_{\alpha, a-1}$

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review of related literature)

2.7.1 การแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ

นพรัตน์ กระจ่างทอง พ.ศ.2542 ได้ศึกษาหารูปแบบการแปลงข้อมูลที่สามารถแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงปกติโดยพิจารณารูปแบบการแปลง 4 รูปแบบ คือ การแปลงล็อกการิทึมการแปลงกลับเศษส่วน การแปลงรากที่สอง และการแปลงแบบยกกำลังภายใต้สถานการณ์จำลองที่กำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไม่ปกติ โดยทำการทดลองที่ระดับความเบ้ (Skewness) ความโด่ง (Kurtosis) ขนาดตัวอย่าง (Sample Size) และระดับนัยสำคัญ (Significance Level) ต่างๆกัน ผลการวิจัยสรุปว่า รูปแบบการแปลงโดยใช้เลขยกกำลังมีเปอร์เซ็นต์การยอมรับ H_0 สูงสุดในทุกสถานการณ์ รองลงมาคือ การแปลงแบบกลับเศษส่วน การแปลงแบบล็อกการิทึม และการแปลงรากที่สองตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อความโด่งมีระดับต่ำ แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การยอมรับ H_0 มีลักษณะแปรผันตามความโด่งถึงจุดหนึ่ง จากนั้น มีลักษณะแปรผกผันกับความโด่งเมื่อความโด่งเพิ่มขึ้น และการแจกแจงแบบเบ้ขวาจะมีเปอร์เซ็นต์การยอมรับ H_0 แปรผันตามขนาดตัวอย่างเมื่อความเบ้มีระดับสูง แต่ไม่ขึ้นกับขนาดตัวอย่างเมื่อความเบ้อยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่การแจกแจงแบบเบ้ซ้ายจะมีเปอร์เซ็นต์การยอมรับ H_0 แปรผกผันกับความเบ้และความโด่ง แต่ไม่ขึ้นกับขนาดตัวอย่าง

2.7.2 การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเชิงธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

วิจิต ชำนาญนาวา พ.ศ. 2553 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสร้างรหัสของข้อมูลใน 2 รูปแบบ คือ แบบสมการเส้นตรง และการแปลงข้อมูลของบ็อกค็อก โดยทำการศึกษาใน 3 รูปแบบการทดลอง คือ การออกแบบการทดลองแบบสุ่มตลอด การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่ม และการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล โดยใช้ข้อมูลจากกรณีตัวอย่าง 12 ชุด ผลการศึกษาพบว่า การแปลงด้วยสมการเชิงเส้นตรงให้ค่าสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจเท่ากันทุกประการกับข้อมูลเชิงธรรมชาติ ส่วนกรณีข้อมูลเชิงรหัสผ่านการแปลงบ็อกค็อกพบว่า ค่าสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจแตกต่างกันเล็กน้อยที่ระดับค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตาม ยังให้ลักษณะของการตัดสินใจที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ผ่านข้อมูลเชิงธรรมชาติในทั้ง 12 กรณีศึกษา

2.7.3 การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูล 4 วิธี สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไวบูลล์

ธัญภรณ์ โชติรัตน์. พ.ศ.2554 ได้ศึกษาและเปรียบเทียบรูปแบบการแปลงข้อมูลจากข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงแบบปกติให้มีการแจกแจงแบบปกติหรือเข้าสู่การแจกแจงแบบปกติโดยพิจารณาการแปลงทั้งหมด 4 รูปแบบคือ การแปลงด้วยฟังก์ชันความเคื่อน การแปลงแบบ Dual power การแปลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และการแปลงด้วยวิธีของ Box-Cox โดยศึกษาจากข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง โดยให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ที่มีความเบ้และความโด่งที่ต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า วิธีการแปลงข้อมูลแบบ Box-Cox มีประสิทธิภาพดีที่สุด

2.7.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการแปลงกำลังของ บ็อกซ์-ค็อกซ์ และวิธีการแปลงกำลังแบบใหม่ สำหรับการแจกแจงเลขชี้กำลัง

จิรวรรณ ไพบูลย์วรชาติ พ.ศ.2555 ได้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการแปลงข้อมูล ที่ข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นปกติให้มีการแจกแจงเข้าสู่การแจกแจงแบบปกติ โดยพิจารณาวิธีการแปลงข้อมูล 2 วิธี คือวิธีการแปลงกำลังของบ็อกซ์-ค็อกซ์ และวิธีการแปลงกำลังแบบใหม่ จากการทดสอบสมมติฐาน H_0 ข้อมูลหลังการแปลงข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เพื่อดูว่าวิธีการแปลงข้อมูลแบบใดสามารถแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงเข้าใกล้การแจกแจงแบบปกติมากที่สุด โดยให้ข้อมูลก่อนการแปลงมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังซึ่งจำลองสถานการณ์การทดลองด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล พบว่าเมื่อพารามิเตอร์ในการแปลงข้อมูลมี ค่าระหว่าง 0 ถึง 1 การแปลงแบบบ็อกซ์ค็อกซ์นั้นให้ผลที่ดีกว่า ส่วนการแปลงแบบใหม่นั้นจะให้ผลดีกว่่าก็ต่อเมื่อค่าของพารามิเตอร์ในการแปลงข้อมูลมีค่ามาก 1

2.7.5 การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเชิงรหัสในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงวิศวกรรม

กิริติ จินดา พ.ศ. 2556 ศึกษาการแปลงข้อมูลในการออกแบบการทดลอง เพื่อแปลงข้อมูลเชิงธรรมชาติให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงรหัส มีวัตถุประสงค์เพื่อปกปิดข้อมูลธรรมชาติอันเป็นความลับทางการค้า เพื่อประโยชน์ในการเผยแพร่กระบวนการออกแบบการทดลอง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลในสามรูปแบบ ได้แก่ การแปลงบ็อกซ์ค็อก การแปลงอาร์คซายน์และการแปลงลอจิท บนแผนการทดลอง 5 แบบ ได้แก่ แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

แบบบล็อกลูกสูบ แบบแพคทอเรียลชนิด 2 ปัจจัย แบบแพคทอเรียลชนิด 2³ และกลวิธีของทาภูชิ โดยศึกษาเปรียบเทียบทั้งในแง่ประสิทธิภาพและความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยกำหนดสถานการณ์ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า กรณีแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบบล็อกลูกสูบ แบบแพคทอเรียลชนิด 2 ปัจจัย และแบบแพคทอเรียลชนิด 2³ การแปลงอาร์คซายน์และการแปลงโลจิตมีประสิทธิภาพและความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยกำหนดสถานการณ์ ดีกว่าการแปลงบ็อกซ์ค็อกซ์อย่างเห็นได้ชัด โดยการแปลงอาร์คซายน์มีประสิทธิภาพดีกว่าการแปลงโลจิตเล็กน้อย สำหรับกลวิธีของทาภูชิ การแปลงบ็อกซ์ค็อกซ์จะมีความเหมาะสมที่สุดโดยการแปลงอาร์คซายน์มีประสิทธิภาพรองลงมา ส่วนการแปลงโลจิตไม่เหมาะสมที่จะใช้งานการทดลอง

2.7.6 An Alternative Family of Transformations

J. A. John and N. R. Draper, 1980 ได้กล่าวถึงแนวทางในการแปลงข้อมูลโดยอ้างอิงแนวทางของ Bartlett (1947) และ Box & Cox (1964) ซึ่งเป็นแนวทางในการเลือกค่าที่ดีที่สุดสำหรับการแปลงแบบยกกำลัง โดยได้ยกตัวอย่างลักษณะข้อมูลที่มีการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ แต่มีความสมมาตรและมีการกระจายที่ปลายทั้งสองข้างมาก (Non-normal Symmetric Distribution with Long Tails) และชี้ให้เห็นว่า การแปลงแบบยกกำลังไม่สามารถปรับปรุงการแจกแจงของข้อมูลลักษณะนี้ และได้นำเสนอวิธีทางเลือกในการแปลงที่เรียกว่า การแปลงโมดูลัส (Modulus Transformation)

2.7.7 Improving your data transformation: Applying the Box-Cox transformation

Jason W. Osborne, 2010 ได้นำเสนอการแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบบ็อกซ์ค็อกซ์ ในการปรับปรุงข้อมูลที่ลักษณะการแจกแจงที่ไม่ปกติซึ่งมีทั้งโค้งเบ้ไปทางขวาและซ้าย (Non-symmetric Skewed Distribution) และมีการเปรียบเทียบกับวิธีการแปลงข้อมูลที่มีมาก่อน เช่น แบบบล็อกลูกสูบ แบบเศษส่วนกลับ แบบถอดรากที่สอง ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การแปลงแบบบ็อกซ์ค็อกซ์ มีประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลที่ดีกว่า เพราะ ทำให้ข้อมูลมีการแจกแจงเข้าใกล้การแจกแจงแบบปกติมากกว่า

2.7.8 Likelihood based on inference on Box-cox family of transformation: SAS and MATLAB programs

Scott Hyde, 1999 ได้ออกแบบโปรแกรมสำหรับการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของบ็อกซ์-ค็อกซ์ โดยใช้วิธี Maximum Likelihood Estimation เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของการแปลงข้อมูลของ บ็อกซ์-ค็อกซ์ที่เหมาะสมที่สุด และหาค่าช่วงความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์ สำหรับการแก้ปัญหาการแจกแจงแบบไม่ปกติและความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูล

2.7.9 A New Family of Transformations for Lifetime Data

Lakhana Wathanacheewakul, 2014 ได้ทำการทดลองการแปลงข้อมูลที่มีรูปแบบการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลและไวบูลล์ ด้วยวิธีการแปลงแบบ Manly และรูปแบบการแปลงที่นำเสนอ พบว่า ประสิทธิภาพของทั้งสองรูปแบบการแปลงนั้น มีประสิทธิภาพไม่ต่างกัน แต่เมื่อข้อมูลมีแนวโน้มที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รูปแบบการแปลงที่นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลและให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

2.7.10 Bayesian transformation family selection: moving towards a transformed Gaussian universe

E. Charitidou, D. Fouskakis, and I. Ntzoufras, 2015 ได้ศึกษาทฤษฎีของเบสส์ในการประเมินค่าและเปรียบเทียบความแตกต่างของการแปลงข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบเกาว์เซียน ให้มีการแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ ซึ่งทำการเปรียบเทียบด้วยกัน 4 วิธีได้แก่ การแปลงแบบบ็อกซ์-ค็อกซ์ การแปลงแบบโมดูลัส การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน การแปลงแบบคู้ยกกำลัง เพื่อค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลและประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธี โดยในกฎการเลือกของเบสส์ ที่อ้างอิงจากการแจกแจงของข้อมูลก่อน (Posterior Distribution) ในการหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูล พบว่า การแปลงแบบโมดูลัสและแบบยาวและจอห์นสันให้ผลที่ดีกว่าการแปลงแบบบ็อกซ์-ค็อกซ์และแบบคู้ยกกำลังเมื่อข้อมูลมีค่าเป็นลบ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปลงข้อมูลของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย และแบบกลวิธีของทากูชิ ด้วยวิธีการแปลงข้อมูลวิธี ได้แก่ การแปลงยกกำลังแบบยาวและจอห์นสัน การแปลงแบบพาราโบลิค และการแปลงแบบโลจิต โดยพิจารณาผลกระทบขององค์ประกอบของการทดลอง ได้แก่ อิทธิพลหลัก อิทธิพลร่วม อิทธิพลจากปัจจัยภายนอก และการกระจายของข้อมูลที่มีผลต่อรูปแบบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้การแปลงข้อมูล ผ่านตัวทดสอบทางสถิติทั้งการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและอัตราส่วนสัญญาณไปยังสิ่งรบกวนสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ และการวิเคราะห์การถดถอนเชิงเส้นพหุคูณ ในกรณีข้อมูลธรรมชาติผ่านเงื่อนไข $NID(0, \sigma^2)$ รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีสำหรับการเข้ารหัสเพื่อปกปิดข้อมูลจริง โดยออกแบบโปรแกรมจำลองข้อมูลทางคณิตศาสตร์ที่สามารถคำนวณผลลัพธ์ทางสถิติและช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับแต่ละวิธีของการแปลงข้อมูล ซึ่งมีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 รูปแบบการจำลองข้อมูลที่เตรียมไว้ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย (กรณีไม่มีปัจจัยรบกวนภายนอก)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยในกรณีนี้ ได้มีการกำหนดรูปแบบปัจจัยคือ ปัจจัย A และ B โดยปัจจัย A มี 2 ระดับ ปัจจัย B มี 3 ระดับ โดยรูปแบบสมการทางสถิติเชิงเส้นตรงของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยในกรณีไม่มีปัจจัยรบกวนภายนอก คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \\ j = 1, 2, 3 \\ k = 2 \end{cases}$$

จากตัวแบบเชิงเส้น ได้ทำการจำลองข้อมูลโดยกำหนดค่าอิทธิพลหลัก (τ_i, β_j) อิทธิพลร่วม $(\tau\beta)_{ij}$ และค่าคลาดเคลื่อน (ε_{ijk}) ในแต่ละสถานการณ์ ดังนั้นจะได้สมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) ในการจำลองข้อมูลสำหรับการออกแบบการทดลองของกรณีนี้ คือ

$$y_{ijk} = \mu + aA_i + bB_j + cA_iB_j + \varepsilon_{ijk}$$

โดยการศึกษาการออกแบบการทดลองในกรณีนี้ จะไม่มีผลกระทบเชิงควอดราติก ซึ่งกำหนดระดับตัวแปรที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

- 1) ค่าเฉลี่ยของสมการ μ เท่ากับ 10 และ -10
- 2) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย A (a) เท่ากับ -2, 2, และ 2.5 ตามลำดับ
- 3) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย B (b) เท่ากับ -3, 3, และ 3.5 ตามลำดับ
- 4) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย AB (c) เท่ากับ -1, 1, และ 1.5 ตามลำดับ
- 5) ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูล ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.0

- 6) จำนวนการกระทำซ้ำ (Replicate) เท่ากับ 2
- 7) ปัจจัย A มี 2 ระดับที่ -1 และ 1, ปัจจัย B มี 3 ระดับที่ -1, 0, และ -1

จากการกำหนดระดับตัวแปรในสมการเชิงเส้นที่ใช้จำลองข้อมูลทั้งหมด 6 ตัวแปรได้แก่ ค่าเฉลี่ยสมการ, ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย (A, B, AB) ทั้งหมด 3 ตัวแปร, จำนวนการกระทำซ้ำ, และ ค่าคลาดเคลื่อนของการสุ่มข้อมูล ตามลำดับ โดยแต่ละตัวแปรมีค่าระดับ 2, 3, 3, 3, 1, 1 ตามลำดับ ฉะนั้นจำนวนสถานการณ์ทั้งหมดของการจำลองข้อมูลในรูปแบบการทดลองนี้เท่ากับ $2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 1 \times 1$ เท่ากับ 54 สถานการณ์

3.1.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย (กรณีมีปัจจัยรบกวนภายนอก)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยในกรณีนี้ ได้มีการกำหนดรูปแบบของปัจจัยออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ ปัจจัยภายใน และ ปัจจัยภายนอก โดยปัจจัยภายในมีทั้งหมด 2 ปัจจัย ซึ่งรูปแบบปัจจัยคือ ปัจจัย A และ B โดยปัจจัย A มี 2 ระดับ ปัจจัย B มี 3 ระดับ ส่วนปัจจัยภายนอกมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ซึ่งรูปแบบปัจจัยคือ ปัจจัย m, n, และ o โดยระดับในแต่ละ

ละปัจจัยมีจำนวนของระดับปัจจัย 2 ระดับ โดยรูปแบบสมการทางสถิติเชิงเส้นตรงของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัยในกรณีมีปัจจัยรบกวนภายนอก คือ

$$y_{ijk} = \mu + \overbrace{\tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij}}^{\text{Internal Factor}} + \overbrace{\sum_{nf=1}^m \gamma_k}^{\text{External Factor}} + \varepsilon_{ij(k_1, \dots, k_m)l} \begin{cases} i = 1, 2, 3 \\ j = 1, 2, 3 \\ k = 1, 2, \\ nf = 1, 2, 3 \\ l = 2 \end{cases}$$

จากตัวแบบเชิงเส้น ได้ทำการจำลองข้อมูลโดยกำหนดค่าอิทธิพลหลัก (τ_i, β_j) อิทธิพลร่วม $(\tau\beta)_{ij}$ สำหรับปัจจัยภายในและค่าอิทธิพลของปัจจัยภายนอก $\sum_{nf=1}^m \gamma_k$ รวมถึงค่าคลาดเคลื่อน (ε_{ijrstl}) ในแต่ละสถานการณ์ ดังนั้นจะได้สมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model) ในการจำลองข้อมูลสำหรับการออกแบบการทดลองของกรณีนี้ คือ

$$y_{ijrstl} = \mu + \overbrace{aA_i + bB_j + cA_iB_j}^{\text{GFD Internal Factor}} + \overbrace{dm_r + en_s + fo_t}^{\text{CRBD External Factor}} + \varepsilon_{ijrstl}$$

โดยการศึกษาการออกแบบการทดลองในกรณีนี้ จะไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในทั้งแบบเชิงเส้นและควอดราติก ซึ่งกำหนดระดับตัวแปรที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

- 1) ค่าเฉลี่ยของสมการ μ เท่ากับ 10 และ -10
- 2) ผลกระทบของปัจจัยภายใน
 - 2.1) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย A (a) เท่ากับ -2, 2, และ 2.5 ตามลำดับ
 - 2.2) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย B (b) เท่ากับ -3, 3, และ 3.5 ตามลำดับ
 - 2.3) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย AB (c) เท่ากับ -1, 1, และ 1.5 ตามลำดับ
- 3) ผลกระทบของปัจจัยภายนอก
 - 3.1) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย m (d) เท่ากับ -0.5, 0.5, และ 0.75 ตามลำดับ
 - 3.2) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย n (e) เท่ากับ -2, 2, และ 2.5 ตามลำดับ
 - 3.3) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย o (f) เท่ากับ -1, 1, และ 1.5 ตามลำดับ

4) ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูล ε_{ijk} เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.0

5) จำนวนการกระทำซ้ำ (Replicate) เท่ากับ 2

6) ปัจจัยภายใน

6.1) A มี 2 ระดับที่ -1 และ 1

6.2) B มี 3 ระดับที่ -1, 0, และ 1

7) ปัจจัยภายนอก m, n, และ o มี 2 ระดับที่ -1 และ 1

จากการกำหนดระดับตัวแปรในสมการเชิงเส้นที่ใช้จำลองข้อมูลทั้งหมด 9 ตัวแปร ได้แก่ ค่าเฉลี่ยสมการ , ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย (A, B, AB) ทั้งหมด 3 ตัวแปร , ปัจจัยรบกวน 3 ปัจจัย (m, n, o) ทั้งหมด 3 ตัวแปร , จำนวนการกระทำซ้ำ , และ ค่าคลาดเคลื่อนของการสุ่มข้อมูล ตามลำดับ โดยแต่ละตัวแปรมีค่าระดับ 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 1, 1 ค่าตามลำดับ ฉะนั้นจำนวนสถานการณ์ทั้งหมดของการจำลองข้อมูลในรูปแบบการทดลองนี้คือ $2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3 \times 1 \times 1$ เท่ากับ 1,458 สถานการณ์

3.1.3 การออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิ

การออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิ ซึ่งพิจารณาทั้งมีและไม่มี ปัจจัยรบกวนภายในมาเกี่ยวข้อง โดยรูปแบบของปัจจัยภายในหรือปัจจัยที่ควบคุมได้จะใช้ orthogonal อาร์เรย์ชนิด $L_9(3^4)$ โดยกำหนดปัจจัยภายในทั้งหมด 4 ปัจจัย ประกอบด้วย A, B, C, และ D ตามลำดับ สำหรับปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ จะใช้ orthogonal อาร์เรย์ชนิด $L_4(2^3)$ โดยกำหนดปัจจัยรบกวนภายนอกทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ m, n, และ o ตามลำดับ ดังนั้นรูปแบบการทดลอง orthogonal อาร์เรย์ชนิด L_9 สำหรับกรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก และรูปแบบการทดลอง orthogonal อาร์เรย์ชนิด $L_9 \times L_4$ สำหรับกรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก การจำลองข้อมูลในแต่ละกรณีจะใช้สมการถดถอยเชิงเส้น ดังนี้

1) กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

$$y_i = \mu + \overbrace{aA_i + bB_i + cC_i + dD_i}^{\text{Orthogonal Arrays } (L_9)} + \varepsilon_i$$

2) กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน

$$y_{ij} = \mu + \overbrace{aA_i + bB_i + cC_i + dD_i}^{L_9 \text{ Internal Factor}} + \overbrace{qm_j + rn_j + so_j}^{L_4 \text{ External Factor}} + \varepsilon_{ij}$$

โดยการศึกษาในการออกแบบการทดลองนี้ ในกรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนจะไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนได้กำหนดให้มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวน เพื่อให้ครอบคลุมความเป็นไปได้ของสถานการณ์ได้อย่างครบถ้วน ซึ่งกำหนดระดับตัวแปรที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของสมการ μ เท่ากับ 10 และ -10

2) ปัจจัยหลัก (Main factor)

2.1) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย A (a) เท่ากับ -2, และ 2

2.2) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย B (b) เท่ากับ -3, และ 3

2.3) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย C (c) เท่ากับ -1.5, และ 1.5

2.4) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย D (d) เท่ากับ -3.5, และ 3.5

3) ปัจจัยรบกวน (Noise factor)

3.1) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย m (q) เท่ากับ -2, และ 2

3.2) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย n (r) เท่ากับ -1.5, และ 1.5

3.3) ผลกระทบเชิงเส้นของปัจจัย o (s) เท่ากับ -0.5, และ 0.5

5) ค่าคลาดเคลื่อนของข้อมูล ε เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.0

6) จำนวนการกระทำซ้ำ (Replicate) เท่ากับ 2

7) ปัจจัยหลัก A, B, C, D มี 3 ระดับที่ -1, 0, และ 1 ตามลำดับ

8) ปัจจัยภายนอก m, n, และ o มี 2 ระดับที่ -1 และ 1

จากการกำหนดระดับตัวแปรในสมการเชิงเส้นที่ใช้จำลองข้อมูลในกรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนมีทั้งหมด 7 ตัวแปรได้แก่ ค่าเฉลี่ยสมการ , ปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย (A, B, C, D) ทั้งหมด 4 ตัวแปร , จำนวนการกระทำซ้ำ , และ ค่าคลาดเคลื่อนของการสุ่มข้อมูล ตามลำดับ โดยแต่ละตัวแปร มีค่าระดับ 2, 2, 2, 2, 2, 1, 1, ค่าตามลำดับ ฉะนั้นจำนวนสถานการณ์ทั้งหมด ของการจำลองข้อมูลในรูปแบบการทดลองในกรณีนี้คือ $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 1 \times 1$ เท่ากับ 32 สถานการณ์ โดยใช้การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean) ในการวัดประสิทธิภาพความแปรผันของกระบวนการ กรณี

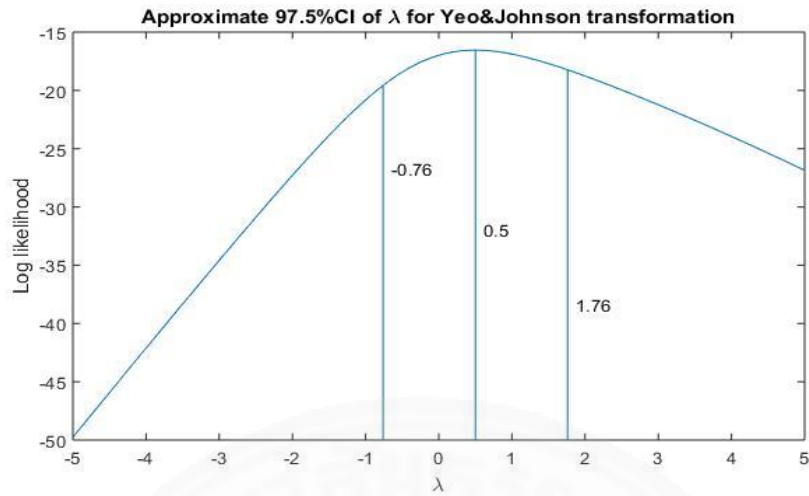
พิจารณาปัจจัยรบกวนมีทั้งหมด 10 ตัวแปรได้แก่ ค่าเฉลี่ยสมการ, ปัจจัยหลัก 4 ปัจจัย (A, B, C, D) ทั้งหมด 4 ตัวแปร, ปัจจัยรบกวน 3 ปัจจัย (m, n, o) ทั้งหมด 3 ตัวแปร, จำนวนการกระทำซ้ำ, และ ค่าคลาดเคลื่อนของการสุ่มข้อมูล ตามลำดับ โดยแต่ละตัวแปรมีค่าระดับ 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 1 ค่าตามลำดับ ฉะนั้นจำนวนสถานการณ์ทั้งหมดของการจำลองข้อมูลในรูปแบบการทดลองในกรณีนี้คือ $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 1 \times 1$ เท่ากับ 256 สถานการณ์ โดยใช้การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise) ในการวัดประสิทธิภาพความแปรผันในกระบวนการ

3.2 การออกแบบโปรแกรมคำนวณสำหรับจำลองและวิเคราะห์ข้อมูล

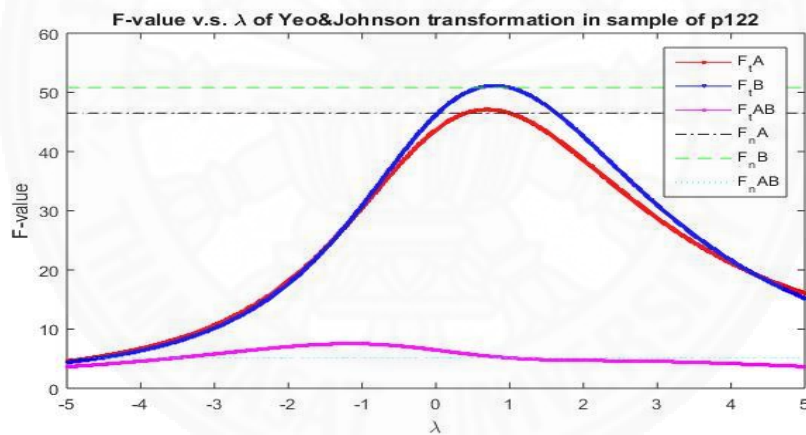
การออกแบบโปรแกรมเฉพาะสำหรับงานวิจัยนี้ เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม แมทแล็บ (MATLAB) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมสำหรับคำนวณและแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยเริ่มต้นจาก ส่วนของสมการตัวแบบเชิงเส้นสำหรับการจำลองข้อมูลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งได้อ้างอิง รูปแบบการทดลองจากโปรแกรมมินิแทบ (MINITAB) จากนั้นจะเป็นส่วนการทดสอบทางสถิติของการ ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปจะมี 2 แบบคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Analysis) และ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิจะมี 2 แบบคือ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean) อัตราส่วนซิกนอลต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise) รวมทั้งการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการ แปลงข้อมูลที่เหมาะสมและช่วงความเชื่อมั่นของค่าพารามิเตอร์การแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี โดยใช้การ ประมาณค่าความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation)

3.3 การทดสอบและยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม

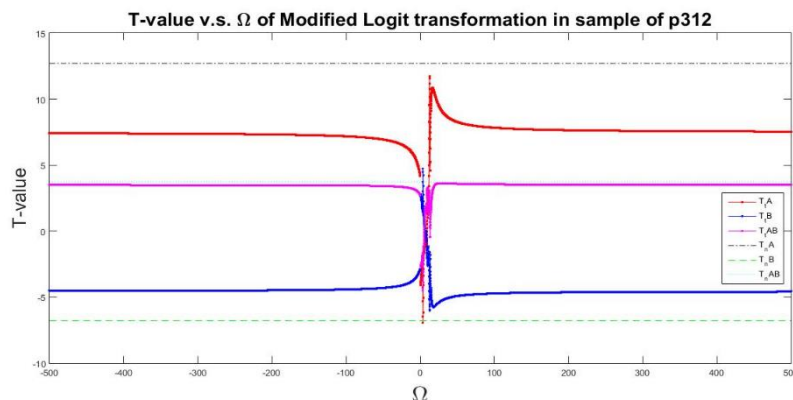
เมื่อเขียนโปรแกรมคำนวณตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ได้ทำการทดสอบโปรแกรมเพื่อ ดูรูปแบบความสัมพันธ์ของผลลัพธ์ทางสถิติกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธี และ ค่าที่เหมาะสมและช่วงค่าความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์ที่ทำให้ผลลัพธ์ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการ แบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย การออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิ ทั้งกรณี ที่มีและไม่มีปัจจัยรบกวนภายนอกมาเกี่ยวข้อง ออกมาเป็นรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ ดังตัวอย่าง ที่แสดงในภาพที่ 3.1, 3.2, และ 3.3



ภาพที่ 3.1 กราฟแสดงช่วงความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์แลมบ์ดา (λ) ของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสัน



ภาพที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_n กับ F_t กับพารามิเตอร์เดลต้าของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย



ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T_n และ T_t กับพารามิเตอร์โอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทในการทดลองเชิงแพคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย

จากการทดสอบผลลัพธ์ของโปรแกรม ได้นำค่าผลลัพธ์ทางสถิติทุกรูปแบบการวิเคราะห์ที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูลมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมมินิแทบ เพื่อตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องผลลัพธ์ จากโปรแกรมคำนวณที่เขียนจากแมทแล็บให้ตรงกัน

3.4 การดำเนินการทดลอง

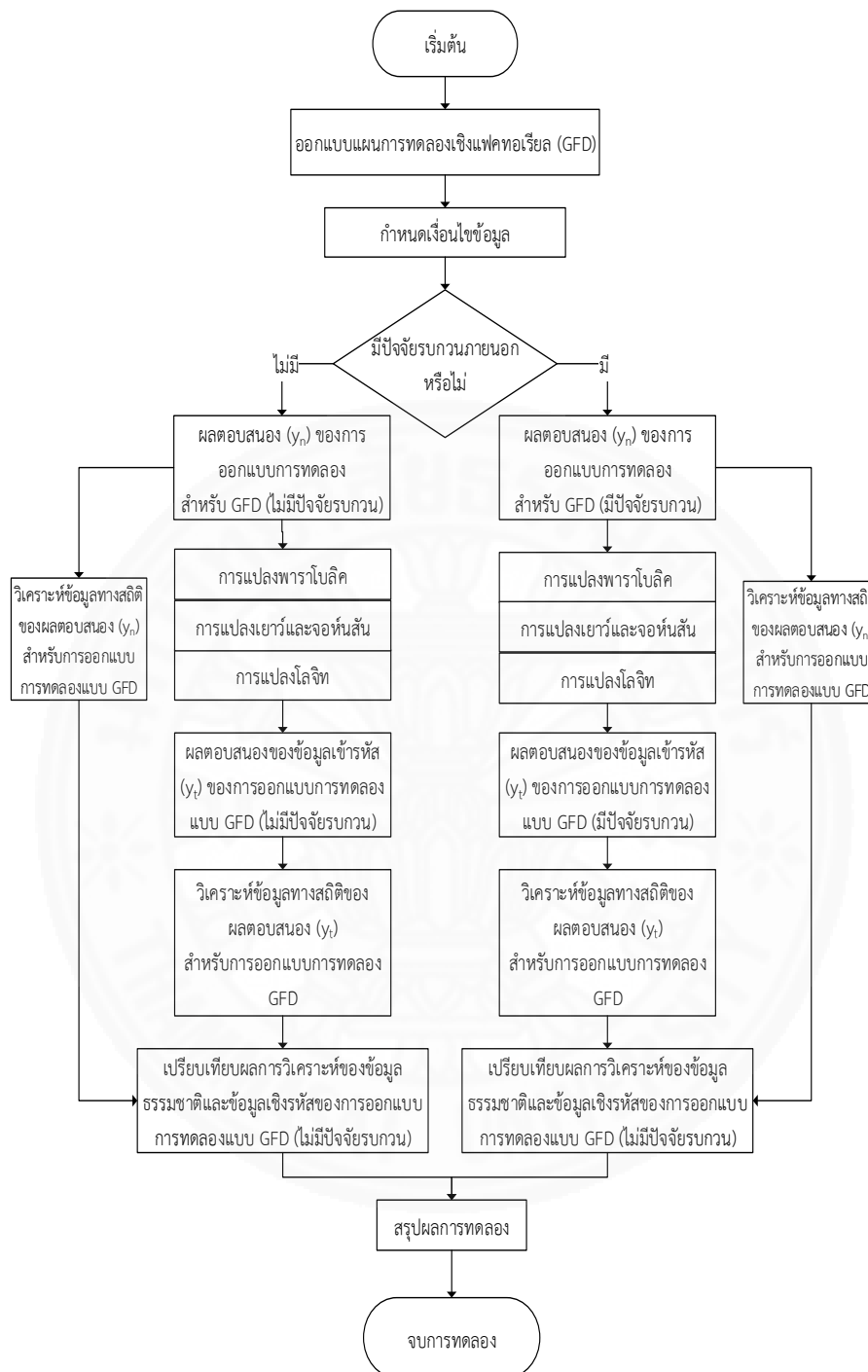
เมื่อทดสอบโปรแกรมคำนวณที่ได้เขียนขึ้นแล้ว ได้นำโปรแกรมมาใช้ในการทดลองการเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ของแต่ละรูปแบบการทดลอง โดยโปรแกรมจะคำนวณผลลัพธ์ทางสถิติในรูปแบบที่กำหนดไว้ทั้งข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสโดยอ้างอิงจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละวิธีที่คำนวณได้แล้วเก็บข้อมูลรูปแบบของตาราง อีกทั้งสร้างกราฟความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูล และหาช่วงความเชื่อมั่นของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงข้อมูลแต่ละวิธี ณ ระดับนัยสำคัญต่างๆ ที่กำหนดไว้ จากนั้นเก็บค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์และผลลัพธ์ทางสถิติโดยรวมไว้ในรูปแบบของตารางให้ครบทุกสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองต่อไป

3.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

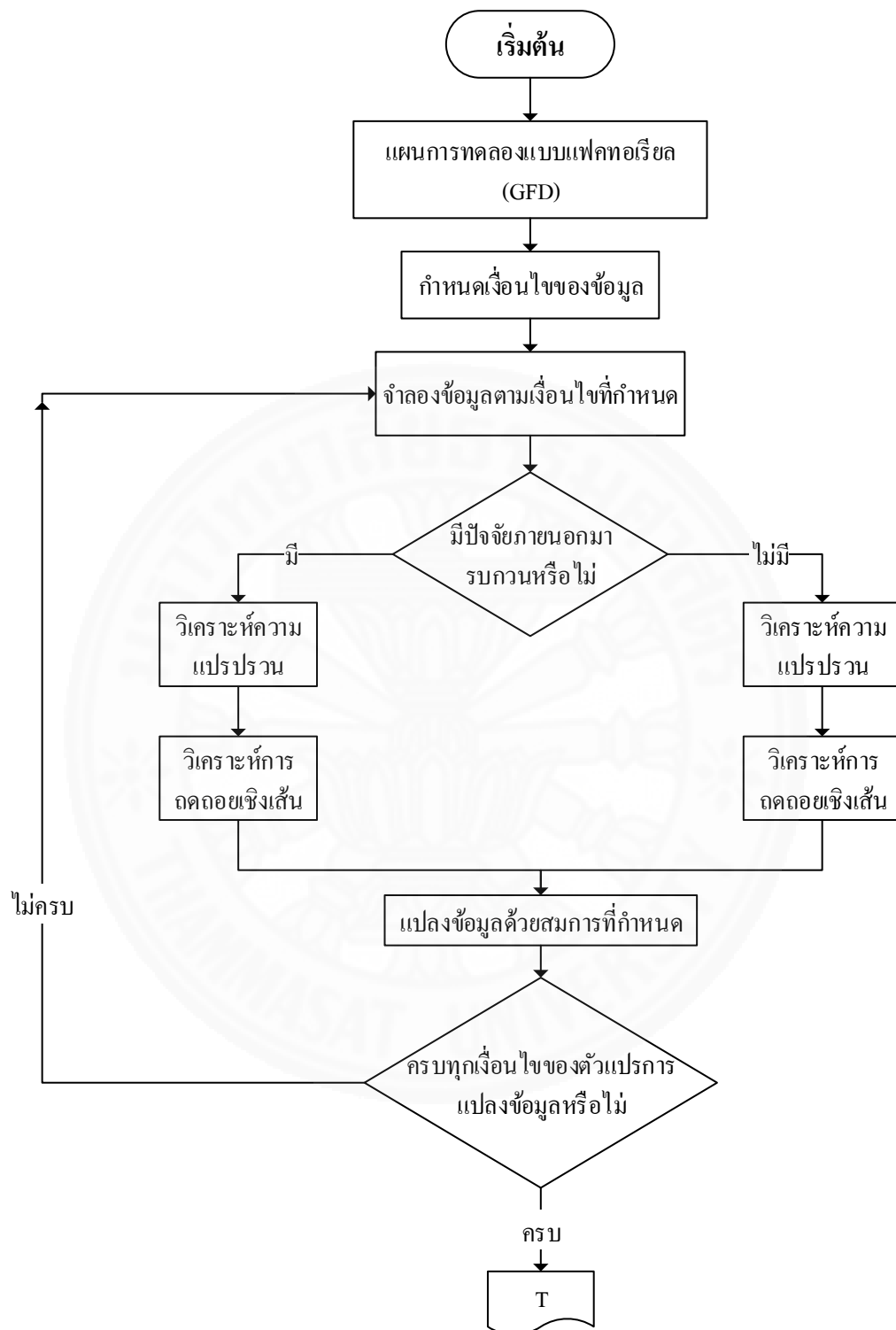
การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองของงานวิจัยนี้ จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี โดยวัดผลจากผลลัพธ์ทางการทดสอบสถิติที่ใช้ในการออกแบบการทดลองซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น รวมถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์สำหรับกลวิธีของทากูชิ เพื่อเป้าหมายของผลลัพธ์ที่มีค่าตรงกันหรือใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ และวิเคราะห์การเปรียบเทียบผลกระทบของอิทธิพลหลัก อิทธิพลร่วม อิทธิพลจากปัจจัยภายนอก ของข้อมูลที่มีผลประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์การแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดในทุกสถานการณ์

3.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย

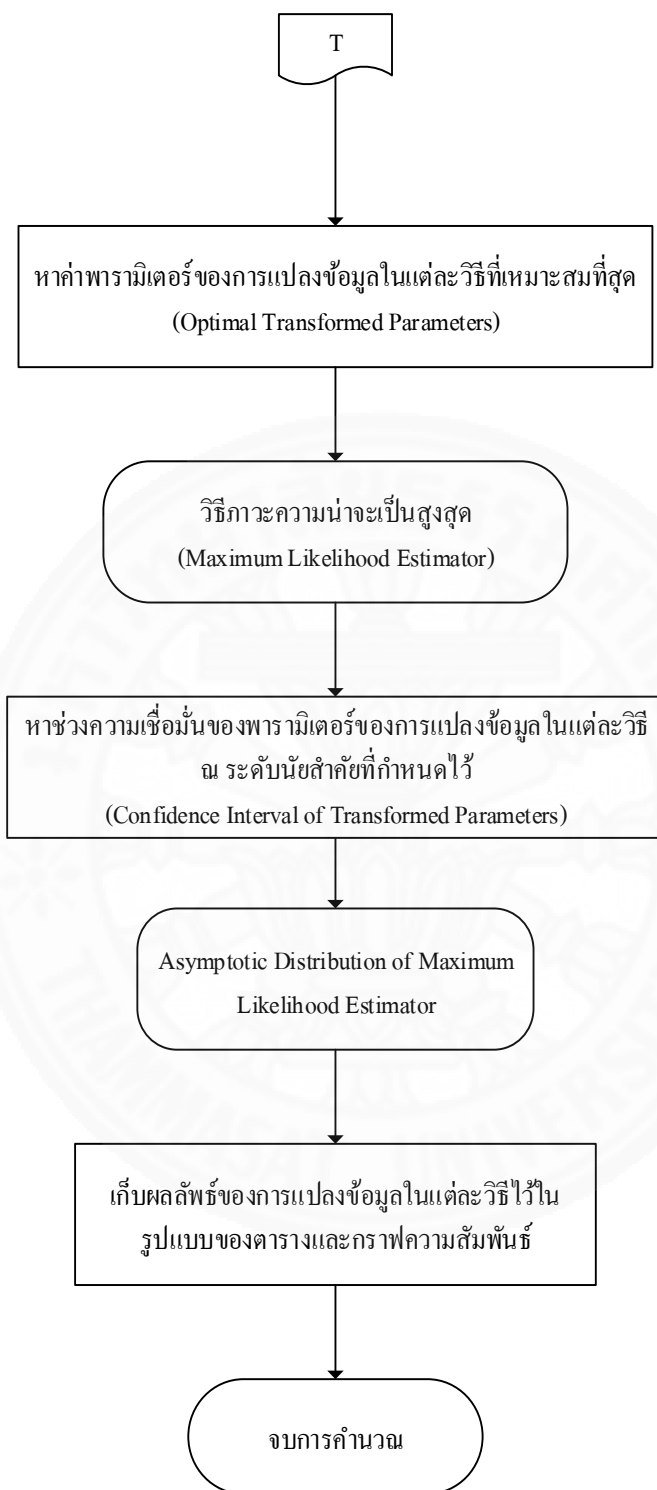
การสรุปผลวิจัยที่ได้จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง เมื่อได้ทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ครบทุกสถานการณ์แล้ว จะรวบรวมผลในภาพรวมของผลลัพธ์ทางสถิติทั้งหมด เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลแต่ละวิธี อีกทั้งยังดูผลกระทบและความสัมพันธ์ของอิทธิพลของปัจจัยที่กำหนดขึ้นในแต่ละการออกแบบการทดลองว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีอย่างไร เพื่อนำไปหาข้อสรุปและข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้ และเป็นแนวทางในการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สำหรับผู้ที่จะศึกษาวิจัยต่อไป



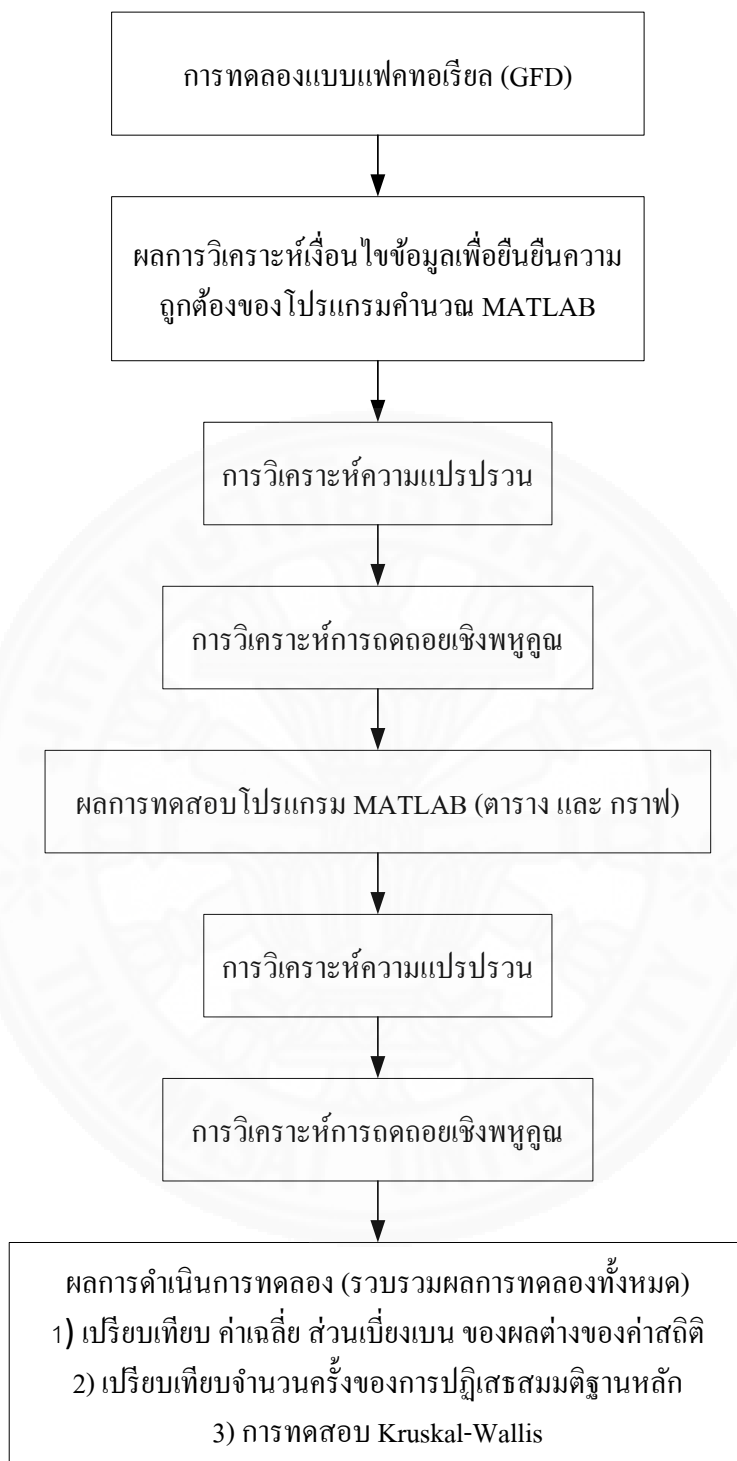
ภาพที่ 3.4 แนวคิดการวิจัยสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแพททอเรียล



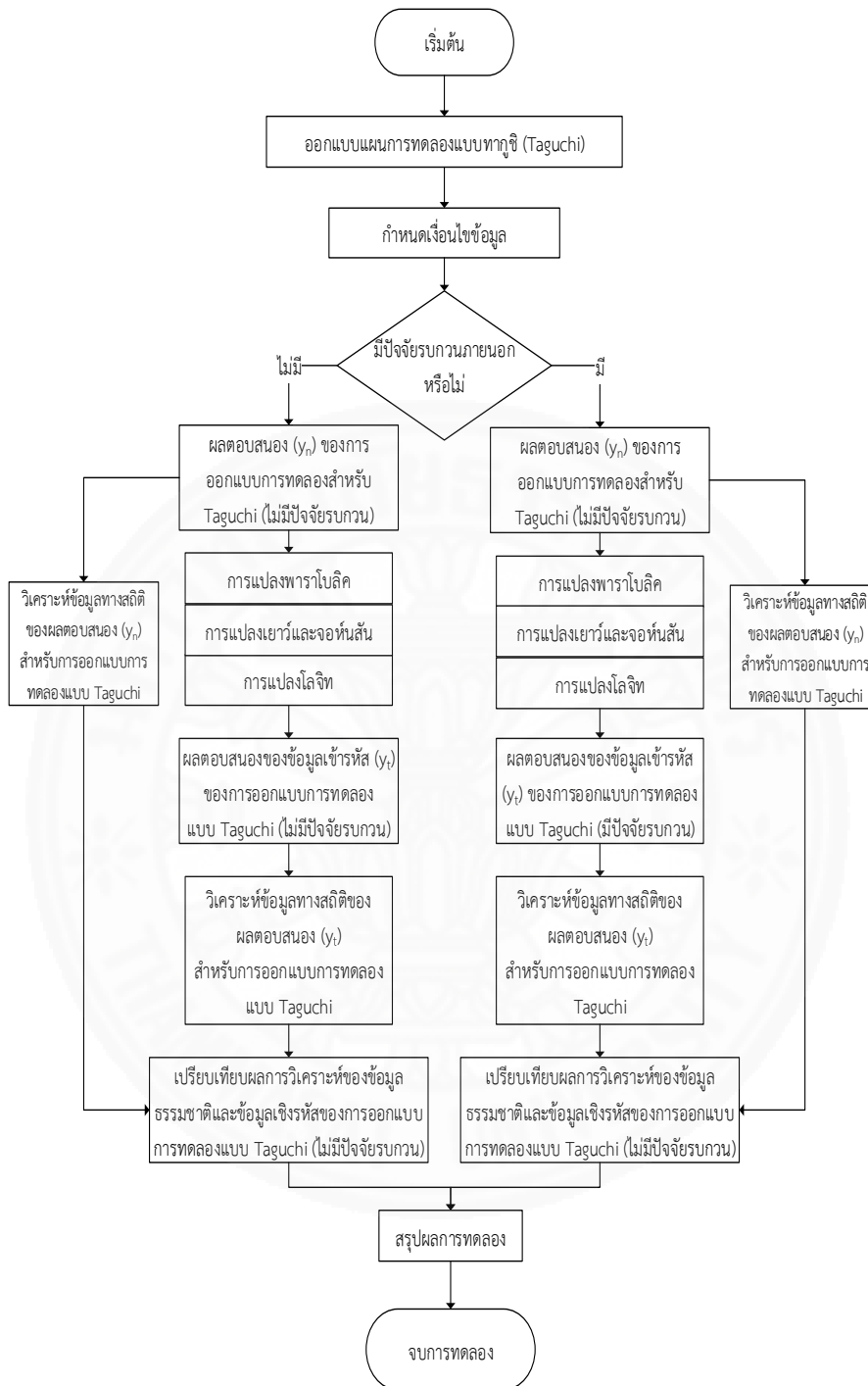
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณของการออกแบบการทดลองแบบเฟคทอเรียลทั่วไป



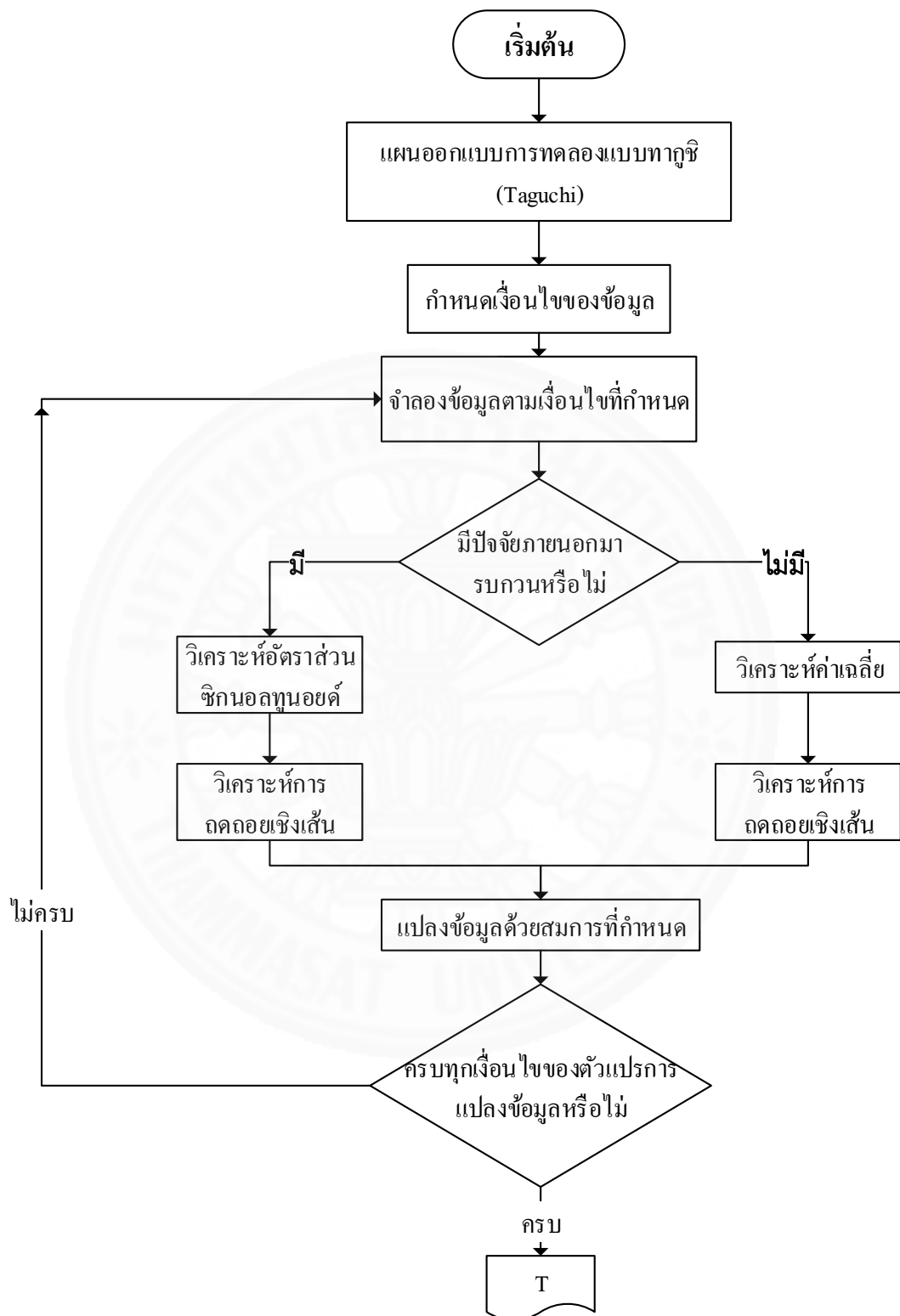
ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณของ
การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป



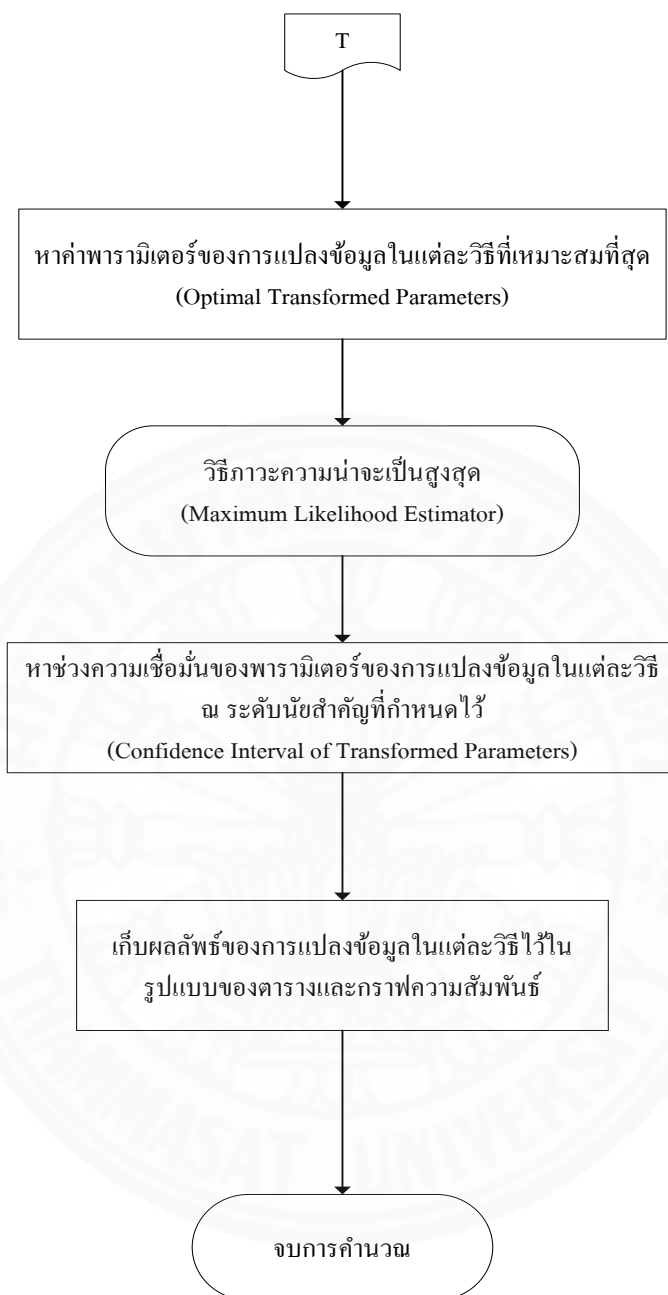
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลทั้งกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน



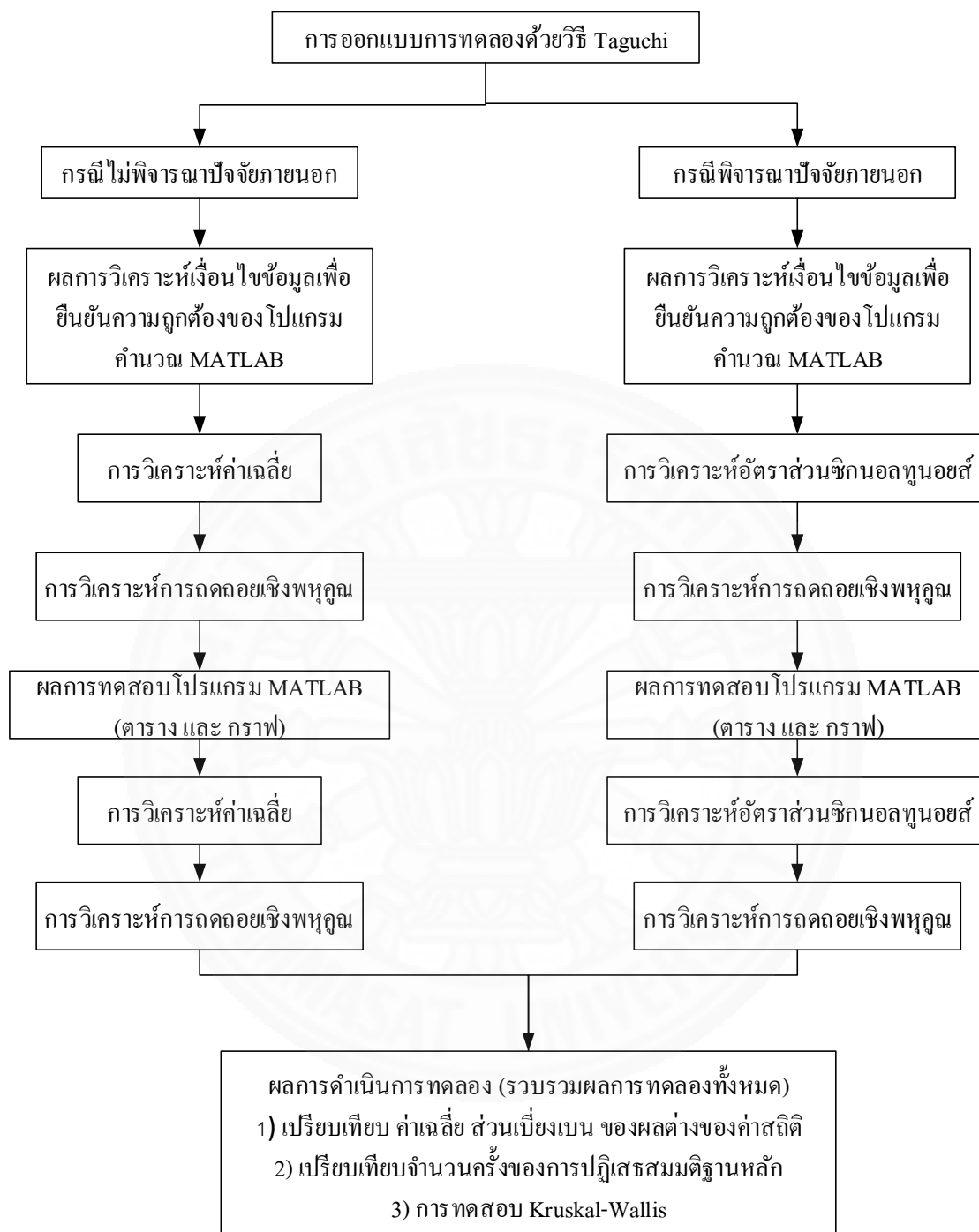
ภาพที่ 3.7 แนวคิดการวิจัยสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ



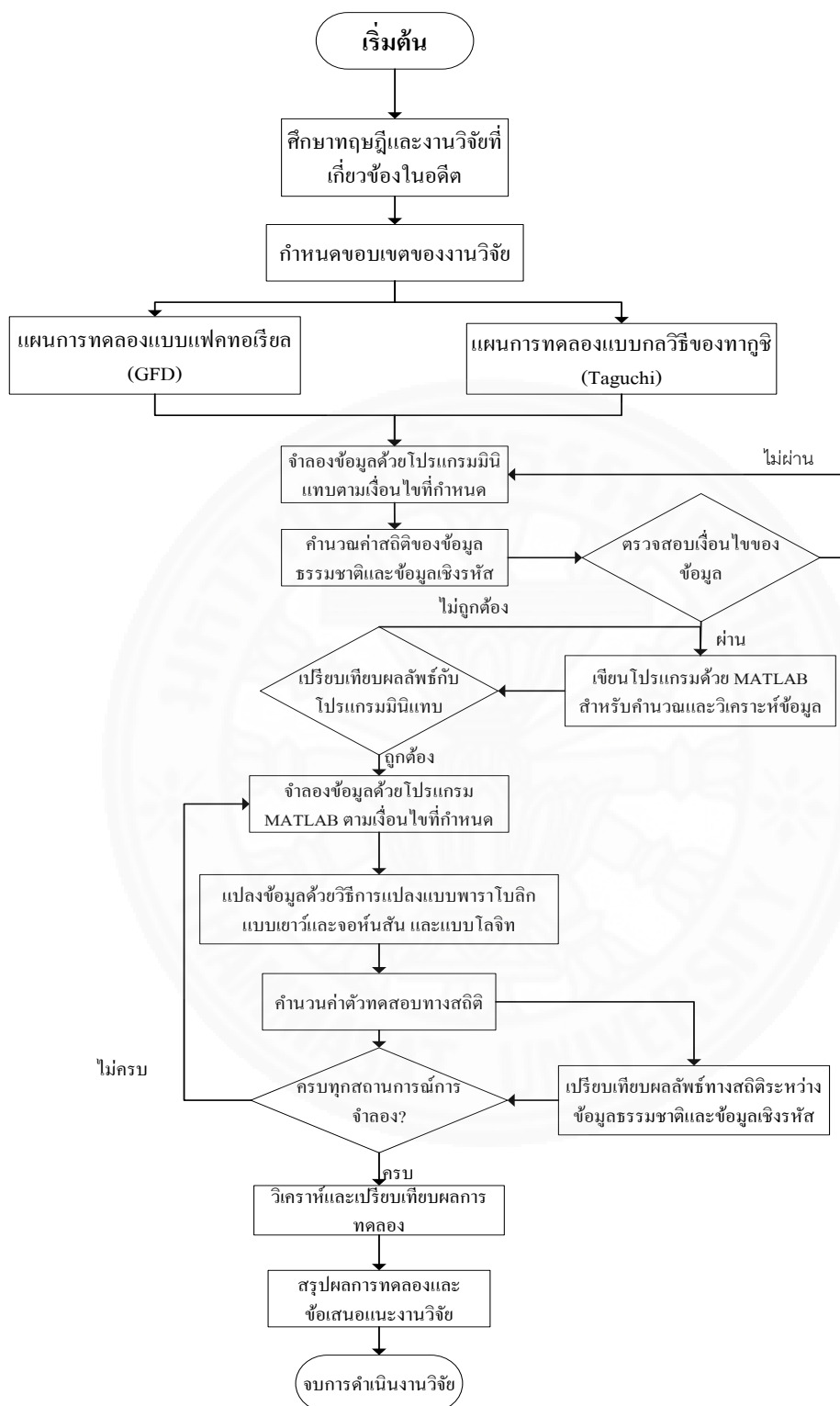
ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมของคำนวณการออกแบบการทดลองแบบทากูจิ



ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณของการออกแบบการทดลองแบบพหุกุณี



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบทากูชิทั้งกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมเฉพาะที่เขียนขึ้นจากแมทแลป ตามเงื่อนไขของสมการต้นแบบเชิงเส้นที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละสถานการณ์นั้น ได้จำแนกการวิเคราะห์ผลตามลักษณะรูปแบบของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป และการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองของทั้ง 2 แบบนี้ทำภายใต้เงื่อนไข 2 กรณีคือ กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก และกรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก อีกทั้งข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการทดลองกำหนดให้มีค่าทั้งเชิงบวกและลบ ซึ่งสามารถจำแนกการเสนอผลการวิจัยได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป

1) กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

- การจำลองข้อมูล
- ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป
- ผลการดำเนินการทดลอง

2) กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

- การจำลองข้อมูล
- ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป
- ผลการดำเนินการทดลอง

ส่วนที่ 2 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

1) กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

- การจำลองข้อมูล
- ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป
- ผลการดำเนินการทดลอง

2) กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

- การจำลองข้อมูล
 คำนวณแมทแลป
- ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป
- ผลการดำเนินการทดลอง

4.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไป

การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลทั่วไป จะแบ่งรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก จะใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัยซึ่งมีปัจจัยหลักจำนวน 2 ปัจจัยซึ่งระดับของในแต่ละปัจจัยหลักอยู่ที่ 2 และ 3 ระดับ ตามลำดับ และกรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก จะใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัยเหมือนกับกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกเป็นปัจจัยหลัก ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มที่เป็นรูปแบบการทดลองของปัจจัยรบกวนภายนอกที่มีจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัย โดยมีระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการจำลองตามเงื่อนไขที่กำหนดจะมีค่าทั้งเชิงบวกและลบ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลของชุดข้อมูลผ่านโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้น โดยจำแนกตามกรณีของปัจจัยรบกวนภายนอกดังต่อไปนี้

4.1.1 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

ในกรณีนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยโดยที่ผู้ใช้ในการจำลองและวิเคราะห์ผลในการเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล มีปัจจัยหลักคือ A และ B ที่มีระดับปัจจัยอยู่ที่ 2 และ 3 ระดับ ตามลำดับ และมีปัจจัยร่วมคือ AB โดยกำหนดเงื่อนไขของข้อมูลตามจำนวนระดับของปัจจัยซึ่งจะได้ชุดการจำลองข้อมูลทั้งหมด 54 สถานการณ์

4.1.1.1 การจำลองข้อมูล

การจำลองข้อมูลจะใช้ค่าเฉลี่ยของสมการที่มีค่าเป็นบวกและลบ โดยใช้โปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปในการจำลองข้อมูล และเปรียบเทียบผลเบื้องต้นทางสถิติ รวมถึงการกระจายของข้อมูลกับโปรแกรมมินิแทบเพื่อยืนยันความถูกต้องในการเขียนโปรแกรมก่อนทำรันโปรแกรมในทุกสถานการณ์ต่อไป

(1) ข้อมูลเชิงลบ

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยแมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 10 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่า -10 ผลกระทบหลักของปัจจัย A เท่ากับ 2 และปัจจัย B เท่ากับ -3 ผลกระทบรวมของปัจจัย A และ B เท่ากับ -1 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	-8.2881	-9.0390
1	-1	-4.1941	-3.8760
-1	0	-14.1384	-10.5633
1	0	-8.8396	-9.9609
-1	1	-12.6454	-14.1977
1	1	-13.0722	-13.2078

ข้อมูลเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปมีทั้งหมด 27 สถานการณ์ตามเงื่อนไขของสมการที่กำหนดขึ้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติ

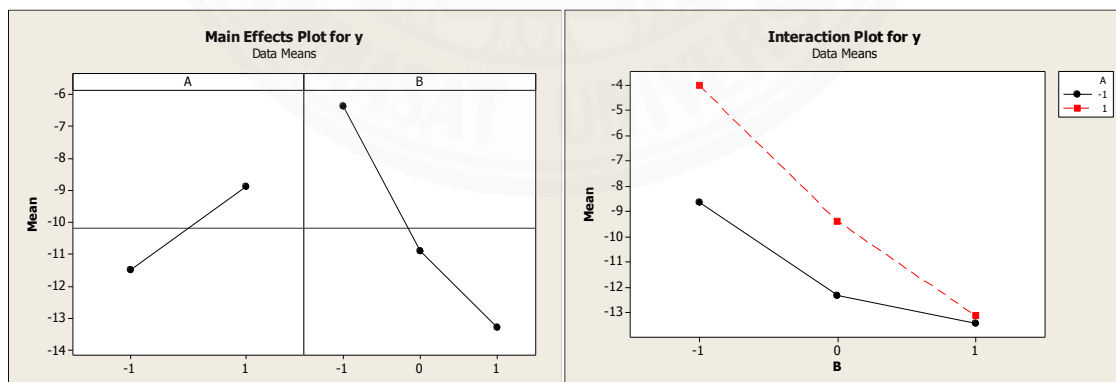
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติในชุดข้อมูลเชิงลบที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	20.597	1	20.597	14.43	0.009
Factor B	99.090	2	49.545	34.70	0.001
Interaction of AB	9.612	2	4.806	3.37	0.105
Error	8.566	6	1.428		
Total	137.865	11			

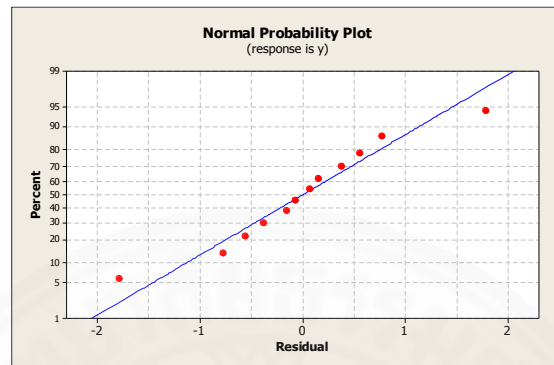
จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลในแต่ละปัจจัยคือ ปัจจัย A มีค่า 14.43, ปัจจัย B มีค่า 34.70, และปัจจัยร่วม AB มีค่า 3.37 โดย ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานของชุดข้อมูลนี้คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลักในส่วนของปัจจัยหลัก A และ B และไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักในส่วนของปัจจัยร่วม AB โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมแสดงดังภาพที่ 4.1



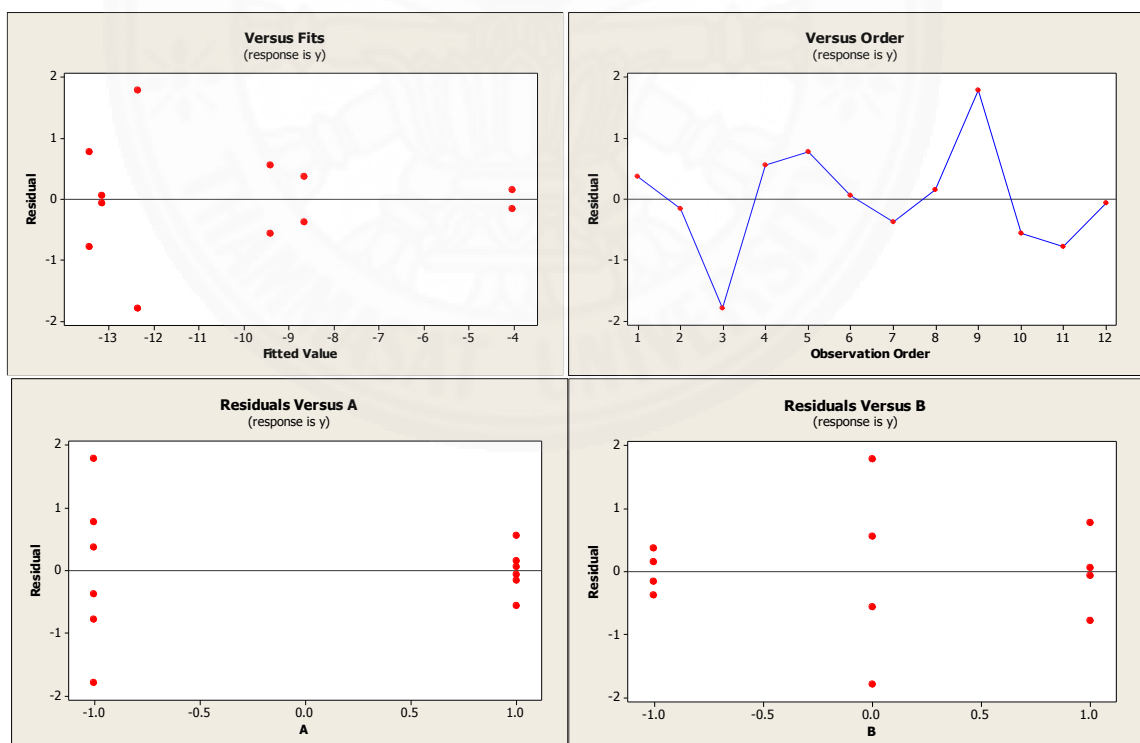
ภาพที่ 4.1

กราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขสมมติฐานของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3



ภาพที่ 4.2 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.3 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากกราฟวิเคราะห์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่าผิดพลาดของชุดข้อมูลนั้นผ่านเงื่อนไขทั้งการแจกแจงข้อมูลที่เป็นปกติ อีกทั้ง ความเป็นอิสระและความแปรปรวนคงที่ สามารถใช้ในการทดลองต่อไปได้

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบในชุดข้อมูลที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-10.1685	0.3495	-29.09	0.000
Factor A	1.3101	0.3495	3.75	0.006
Factor B	-3.4567	0.4281	-8.10	0.000
Interaction of AB	-1.0867	0.4281	-2.54	0.035

ตารางที่ 4.4

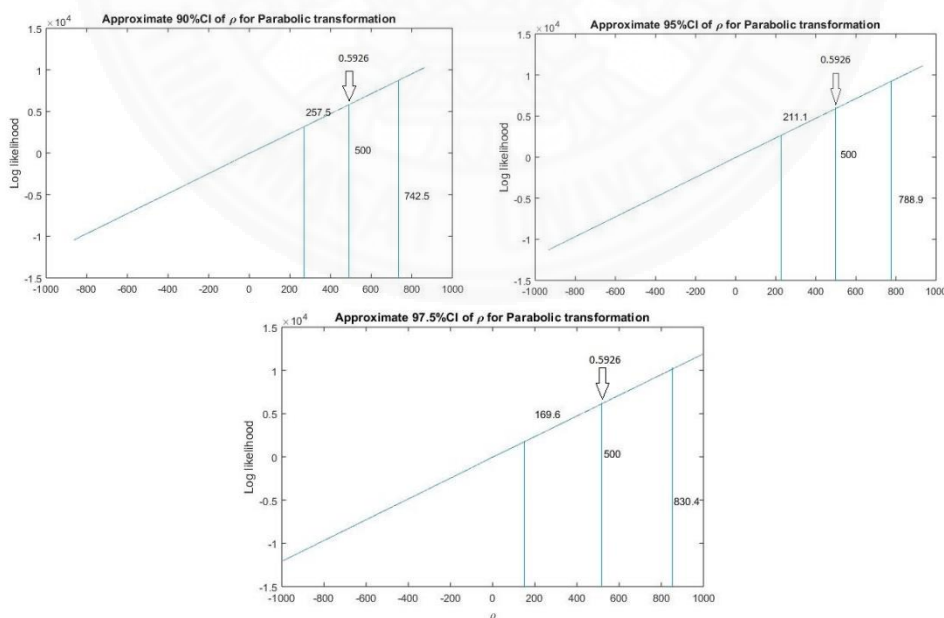
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	126.135	42.045	28.68	0.000
Residual Error	8	11.729	1.466		
Total	11	137.864			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ค่าสถิติ t ทุกค่า ในตารางที่ 4.3 มีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นตัวแปรอิสระในสมการ A, B, และ AB มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.4) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแล็บเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลิก

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแล็บโดยใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.4 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลิก มีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลิก โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.5926×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลิกจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลิกที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บ ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	258,356.8050	259,120.7505
1	-1	254,211.7142	253,890.9732
-1	0	264,338.2484	260,674.8868
1	0	258,917.7271	260,060.1195
-1	1	262,805.3120	264,399.2729
1	1	263,243.0365	263,382.2927

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

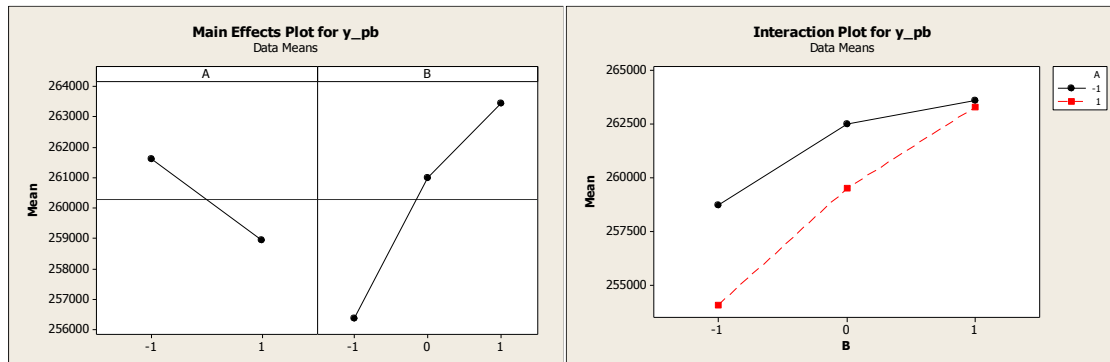
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิกในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

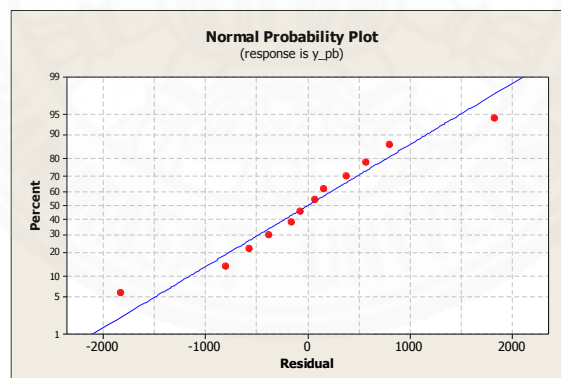
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	21,305,109	1	21,305,109	14.23	0.009
Factor B	102,816,985	2	51,408,492	34.33	0.001
Interaction of AB	9,856,990	2	4,928,495	3.29	0.108
Error	8,985,935	6	1,427,656		
Total	142,965,019	11			

จากตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีคในชุดข้อมูลที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 14.23 และ 34.33 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 3.29 ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 14.43 และ 34.70 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 3.37 ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีคมีลักษณะตรงกันข้ามกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.5 เนื่องจากข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกด้วยการยกกำลังสองและบวกด้วยตัวแปรที่มีค่าบวกที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ

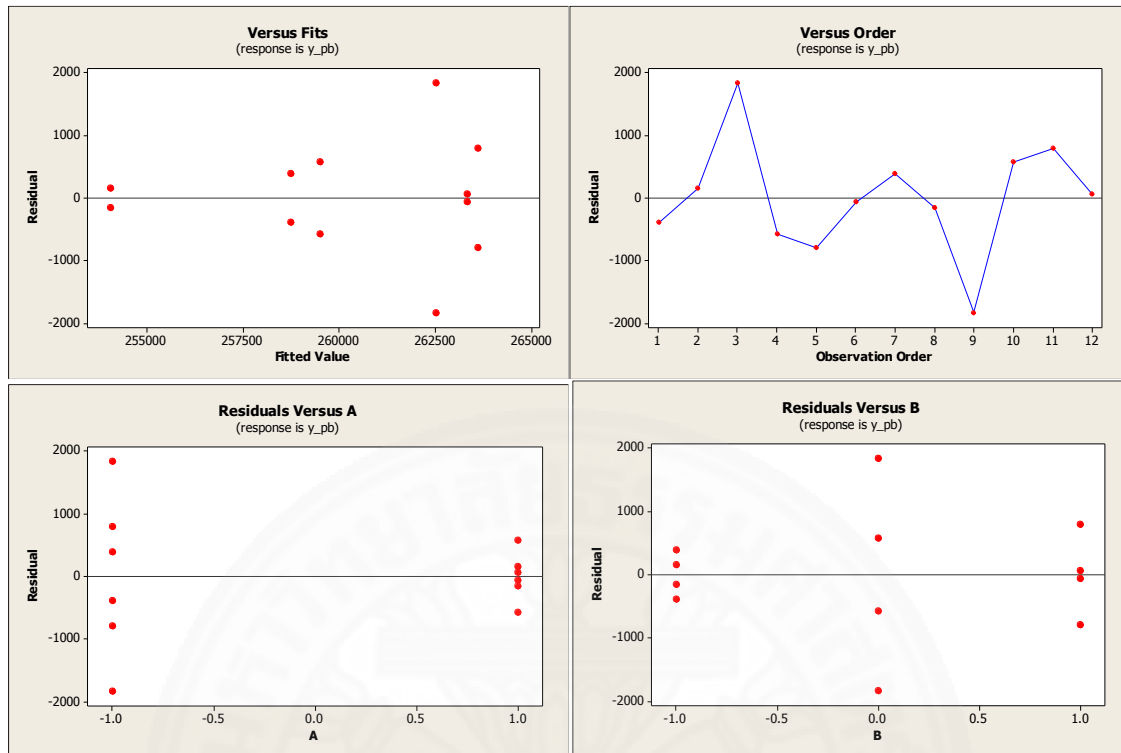


ภาพที่ 4.5 กราฟและกระทบทหลักและผลกระทบทร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิค ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังภาพที่ 4.6 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันแต่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.6 การกราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.7 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสลบเข้าพาราโบลิค
ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการ
แปลงแบบพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การ
ถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ
4.8

ตารางที่ 4.7

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	260283	357.0	729.12	0.000
Factor A	-1332.5	357.0	-3.73	0.006
Factor B	3531.2	437.2	8.08	0.000
Interaction of AB	1099.5	437.2	2.51	0.036

ตารางที่ 4.8

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาคู่ที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

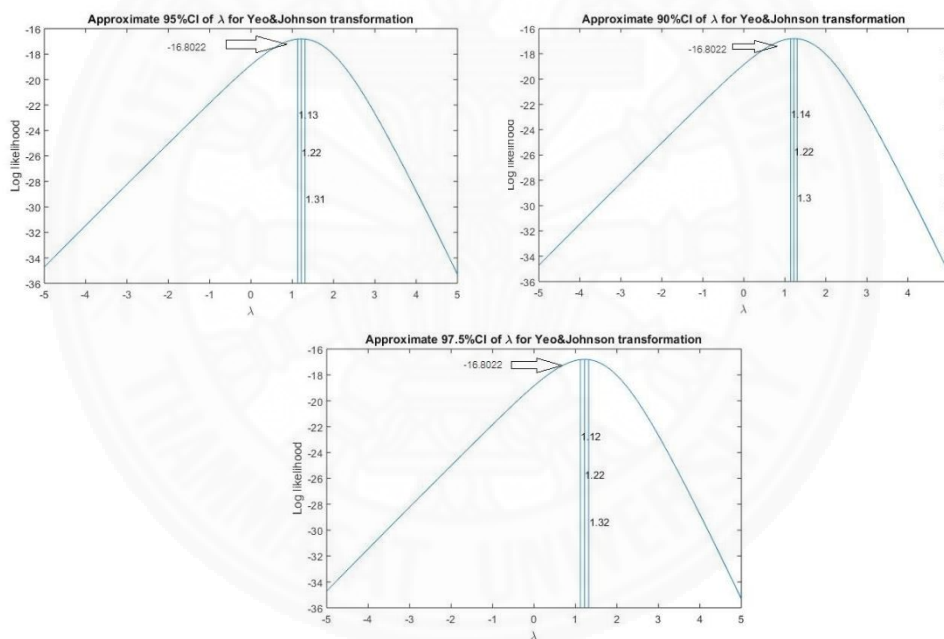
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	130,730,949	43,576,983	28.50	0.000
Residual Error	8	12,234,070	1,529,259		
Total	11	142,965,019			

จากตารางที่ 4.7 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาคู่ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -3.73, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 8.08, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 2.51 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 3.75, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -8.10, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -2.54 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาคู่มีค่าที่ใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณแต่เครื่องหมายตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเพราะข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกทำให้เครื่องหมายของค่าทางสถิติ

ตรงข้ามกัน แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.8 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าเท่ากับ 28.50 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 28.68 ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังยาวและจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.8 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการยาวและจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.22 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -16.8022 และช่วงของค่าตัวแปรยาวและจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการยาวและจอห์นสันที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	-6.0107	-6.4666
1	-1	-3.3525	-3.1295
-1	0	-9.3929	-7.3698
1	0	-6.3462	-7.0162
-1	1	-8.5625	-9.4255
1	1	-8.8018	-8.8776

7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสัน

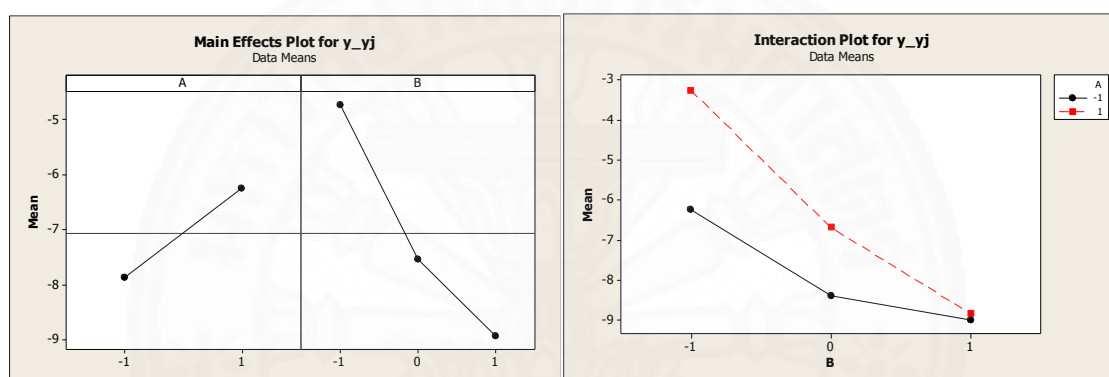
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของเยาว์และจอห์นสันในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

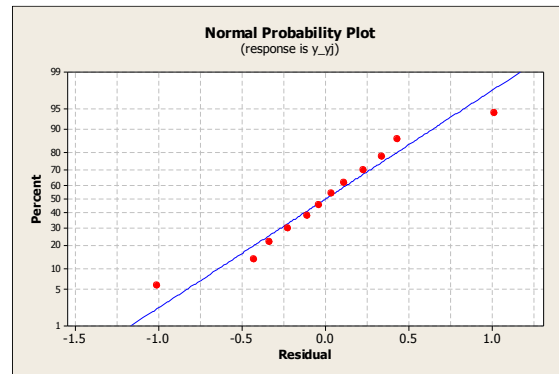
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	7.8476	1	7.8476	16.97	0.006
Factor B	36.2127	2	18.1064	39.15	0.000
Interaction of AB	4.0526	2	2.0263	4.38	0.067
Error	2.7750	6	0.4625		
Total	50.8879	11			

จากตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบ เข้าวัดของเขาวัวและจอร์นสันในชุดข้อมูลที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 16.97 และ 39.15 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 4.38 ในขณะที่ ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 14.43 และ 34.70 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 3.37 ซึ่งเมื่อเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดกับข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกัน แต่ผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงรหัสลบเข้าของเขาวัวและจอร์นสันมีลักษณะเหมือนกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.9

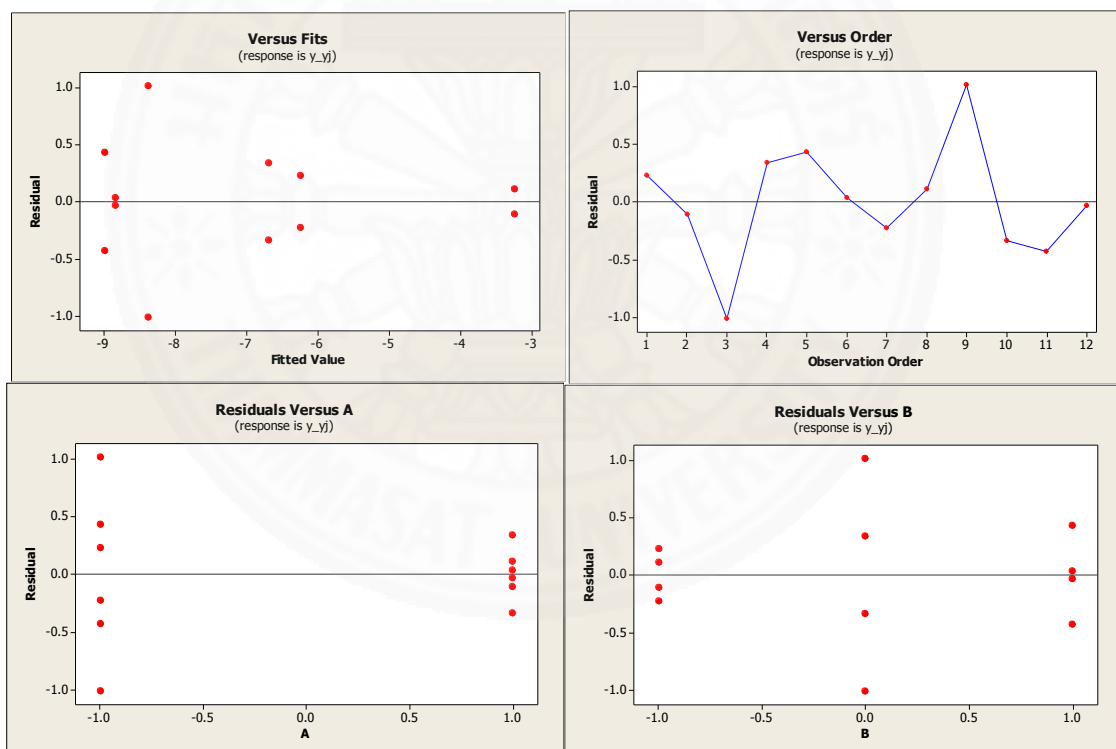


ภาพที่ 4.9 กราฟและกระทบบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้าวัดของเขาวัวและจอร์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังภาพที่ 4.10 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 การกราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.11 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสัน ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	T	P-value
Constant	-7.0627	0.2067	-34.16	0.000
Factor A	0.8087	0.2067	3.91	0.004
Factor B	-2.0885	0.2532	-8.25	0.000
Interaction of AB	-0.7108	0.2532	-2.81	0.023

ตารางที่ 4.12

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

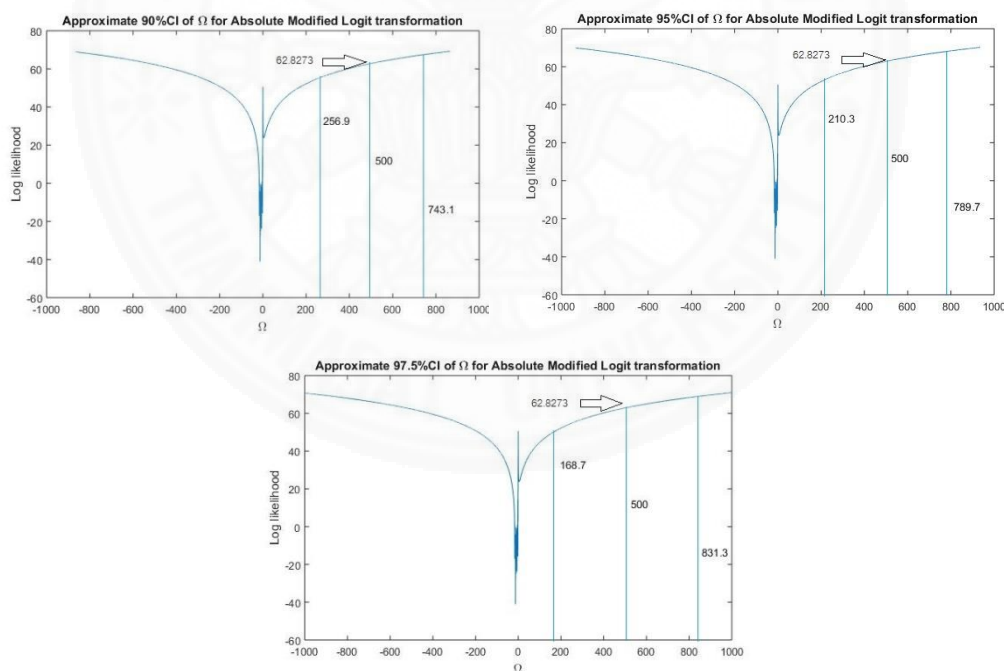
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	46.785	15.595	30.41	0.000
Residual Error	8	4.103	0.513		
Total	11	50.888			

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 3.91 , ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -8.25 ,

และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -2.81 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 3.75, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -8.10, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -2.54 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าต่างกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.12 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันค่าเท่ากับ 30.41 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 28.68 ซึ่งมีต่างกันแต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิท

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.12 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิทมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 62.8273 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรโลจิทจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิทที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13

ข้อมูลเชิงลบที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิทจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	-1.78765	-1.75063
1	-1	-2.07996	-2.11394
-1	0	-1.56068	-1.68425
1	0	-1.76015	-1.70924
-1	1	-1.60788	-1.55891
1	1	-1.59383	-1.58946

10. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสโลจิท

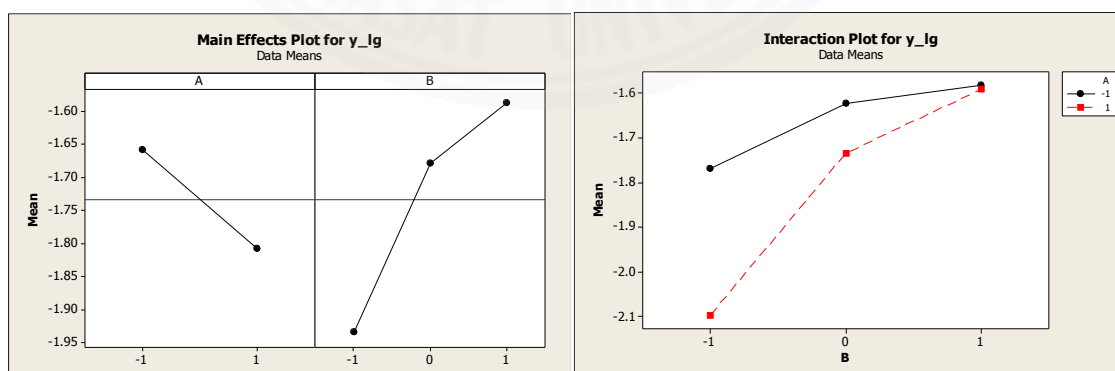
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิทในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสต์ที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

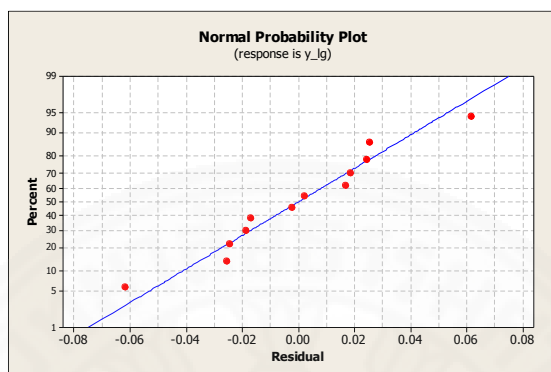
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	0.0669	1	0.0669	35.25	0.001
Factor B	0.2565	2	0.1282	67.51	0.000
Interaction of AB	0.0531	2	0.0265	13.98	0.006
Error	0.0114	6	0.0019		
Total	0.3880	11			

จากตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสต์ของโลจิสต์ในชุดข้อมูลที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 35.25 และ 67.51 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 13.98 ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 14.43 และ 34.70 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 3.37 ซึ่งเมื่อเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดกับข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันมาก และผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลมีผลลัพธ์ไม่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติในส่วนของการรวมของปัจจัย AB โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสต์มีลักษณะตรงกันข้ามเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.13

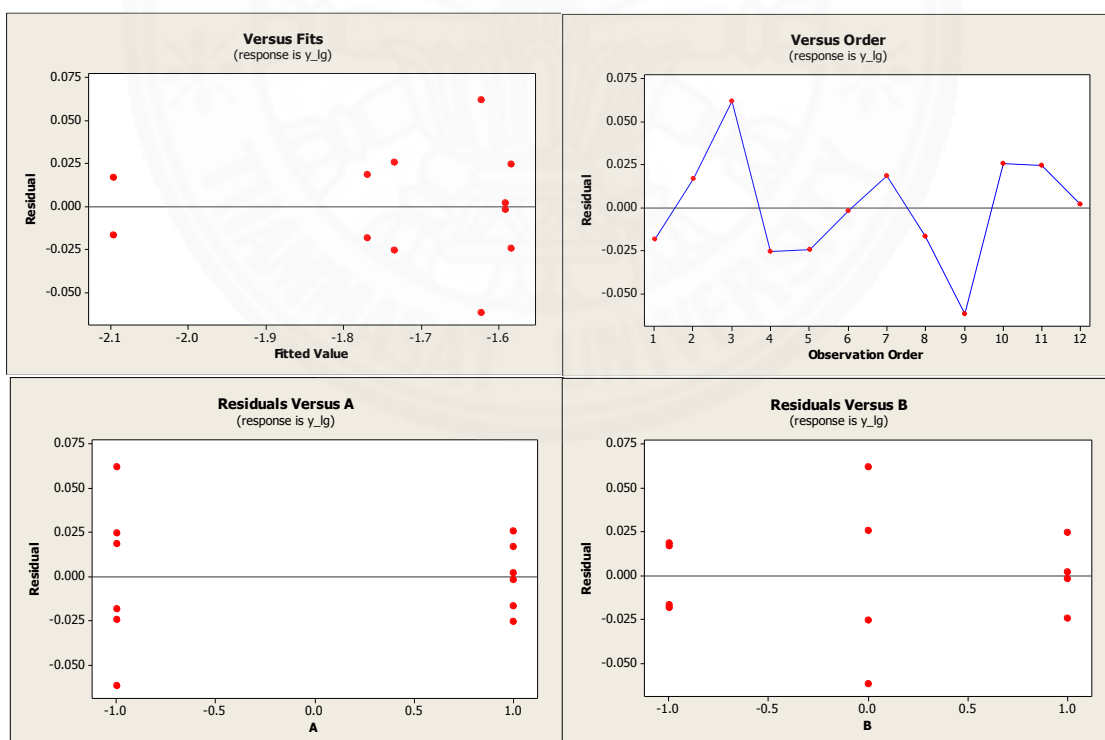


ภาพที่ 4.13 กราฟและกระทบบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสต์ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความคลื่อน (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังภาพที่ 4.14 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันแต่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.14 การกราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.15 กราฟวิเคราะห์ความคลื่อนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 10

ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสโลจิก

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิกทุกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิกในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.15

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-1.7331	0.0181	-96.01	0.000
Factor A	-0.0747	0.0181	-4.14	0.003
Factor B	0.1728	0.0221	7.81	0.000
Interaction of AB	0.0799	0.0221	3.61	0.007

ตารางที่ 4.16

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	0.3568	0.1189	30.42	0.000
Residual Error	8	0.0313	0.0039		
Total	11	0.3881			

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -4.14 , ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 7.81 , และปัจจัย

รวม AB มีค่าเท่ากับ 3.61 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 3.75 , ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -8.10 ,และปัจจัยรวม AB มีค่าเท่ากับ -2.54 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทมีค่าต่างกัน และอีกทั้งเครื่องหมายตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเพราะข้อมูลถูกแปลงในสัดส่วนที่ผกผันกัน แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.15 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทมีค่าเท่ากับ 30.42 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 28.68 ซึ่งมีค่าต่างกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

ผลลัพธ์จากการแปลงข้อมูลทั้งสามแบบของชุดจำลองข้อมูลเชิงลบในสถานการณ์ที่ 10 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบ พบว่า ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากกว่าการแปลงแบบยกกำลังเอวาร์และจอห์นสัน และการแปลงแบบโลจิท อีกทั้งการกระจายและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลยังใกล้เคียงกันในทุกรูปแบบการแปลง ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบยกกำลังเอวาร์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิคและโลจิท ถ้าพิจารณาผลลัพธ์ทั้งเชิงปริมาณ และ เครื่องหมายบวกและลบ ของผลลัพธ์ แต่ทุกรูปแบบการแปลงข้อมูลยังคงให้ผลทดสอบสมมติฐานที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ GFD ของข้อมูลเชิงลบที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบดังตัวอย่างของผลลัพธ์ของชุดข้อมูลชุดที่ 10 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.17 และ 4.18 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.17

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	F0_A	F0_B	F0_AB	P_A	P_B	P_AB
Natural	1	14.4273	34.7043	3.3664	0.0090	0.0005	0.1046
Parabolic	500	14.2256	34.3260	3.2908	0.0093	0.0005	0.1085
Yeo&Johnson	1.22	16.9678	39.1491	4.3810	0.0062	0.0004	0.0671
Logit	500	35.2543	67.5146	13.9834	0.0001	0.0000	0.0006

ตารางที่ 4.18

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	T_A	T_B	T_AB	P_A	P_B	P_AB
Natural	1	3.7482	-8.0959	-2.5386	0.0056	0.0000	0.0348
Parabolic	500	-3.7325	8.0766	2.5147	0.0058	0.0000	0.0361
Yeo&Johnson	1.22	3.9117	-8.2485	-2.8074	0.0045	0.0000	0.0229
Logit	500	-4.1434	7.8125	3.6123	0.003	0.0000	0.0072

(2) ข้อมูลเชิงบวก

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกที่ถูกจำลองขึ้นโดยเมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 10 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่า 10 ผลกระทบหลักของปัจจัย A เท่ากับ 2 และปัจจัย B เท่ากับ -3 ผลกระทบร่วมของปัจจัย A และ B เท่ากับ -1 ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	10.6001	11.4702
1	-1	16.5939	15.6732
-1	0	5.8140	8.8123
1	0	10.6730	12.5455
-1	1	4.5590	4.9484
1	1	8.4018	8.3975

ข้อมูลเชิงบวกที่ถูกจำลองขึ้นโดยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปมีทั้งหมด 27 สถานการณ์ตามเงื่อนไขของสมการที่กำหนดขึ้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติ

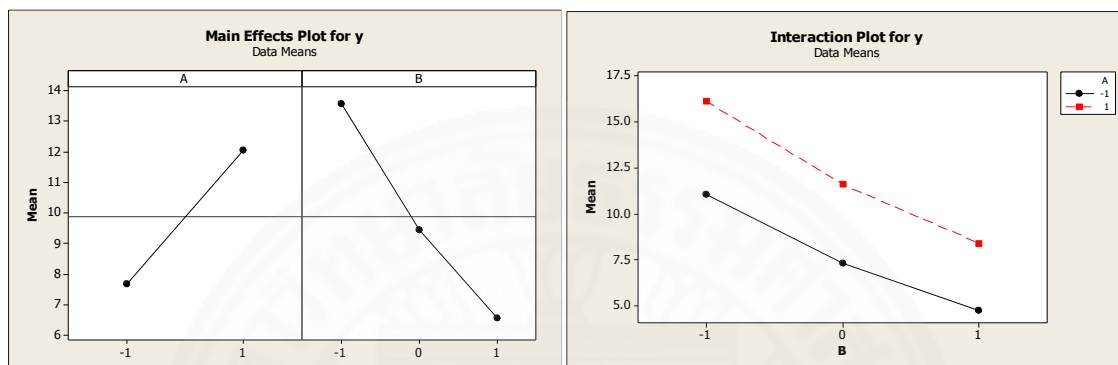
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติในชุดข้อมูลที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 12 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

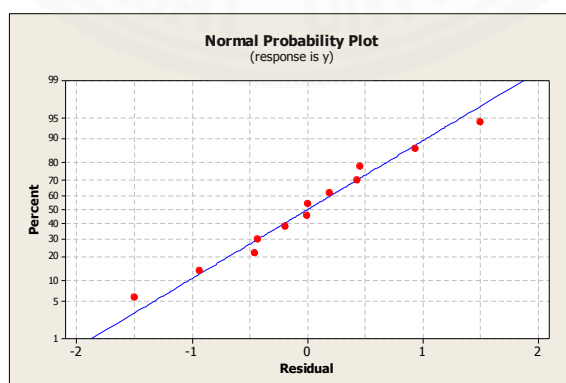
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	56.684	1	56.684	47.73	0.00
Factor B	99.238	2	49.619	41.78	0.00
Interaction of AB	1.059	2	0.529	0.45	0.66
Error	7.126	6	1.188		
Total	164.107	11			

จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติชุดที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลในแต่ละปัจจัยคือ ปัจจัย A มีค่า 47.58, ปัจจัย B มีค่า 41.18, และปัจจัยร่วม AB มีค่า 0.45 โดย ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานของชุดข้อมูลนี้คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลักในส่วนของปัจจัยหลัก A, B, และไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลักในส่วนของปัจจัยร่วม AB โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมแสดงดังภาพที่ 4.16

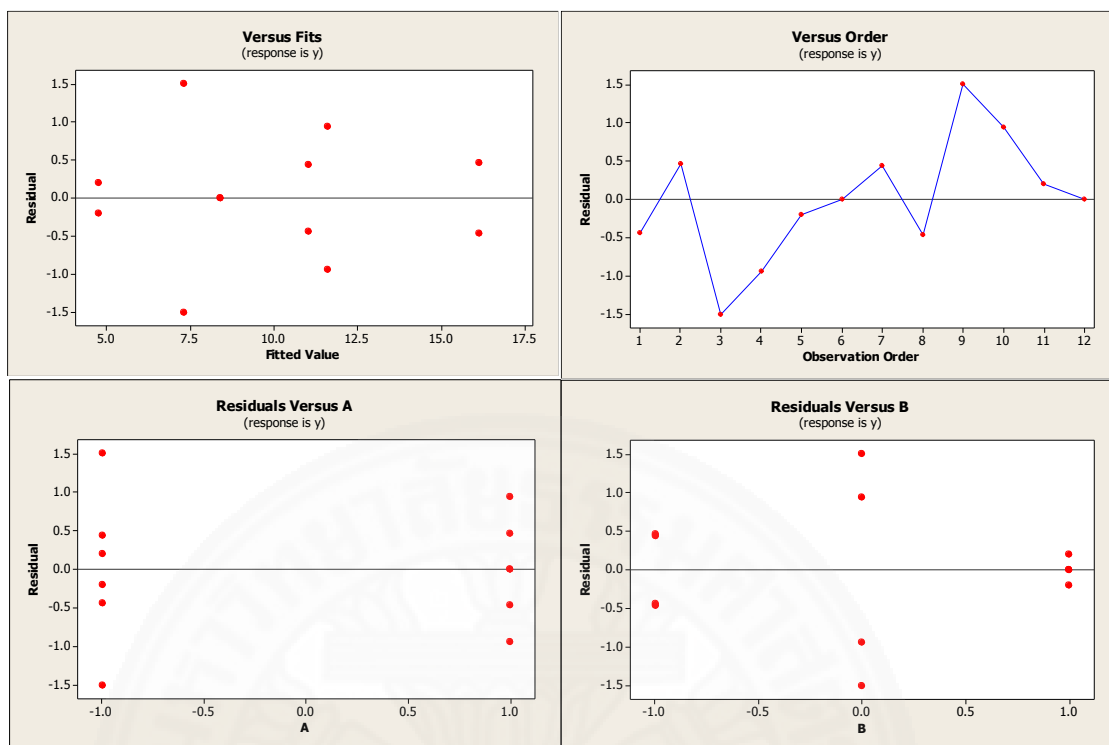


ภาพที่ 4.16 กราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวก ชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.17 และ 4.18 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังภาพที่ 4.17 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.17 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.18 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10
ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากกราฟวิเคราะห์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่าผิดพลาดของชุดข้อมูลนั้น ผ่านเงื่อนไขทั้งการแจกแจงข้อมูลที่เป็นปกติ อีกทั้ง ความเป็นอิสระและความแปรปรวนคงที่ สามารถใช้ในการทดลองต่อไปได้

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกในชุดข้อมูลที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22

ตารางที่ 4.21

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	9.8741	0.2914	33.88	0.000
Factor A	2.1734	0.2914	7.46	0.000
Factor B	-3.5038	0.3569	-9.82	0.000
Interaction of AB	-0.3631	0.3569	-1.02	0.339

ตารางที่ 4.22

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

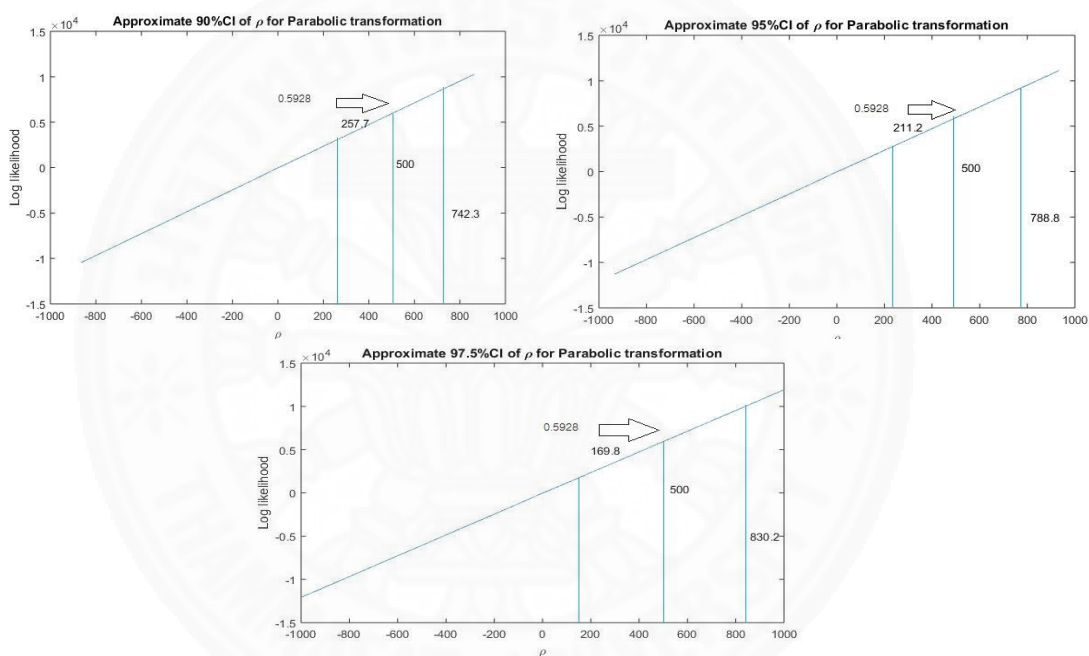
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	155.954	51.985	51.01	0.00
Residual Error	8	8.153	1.019		
Total	11	164.107			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในตารางที่ 4.21 พบว่า ผลการทดสอบสมมติฐานของค่าสถิติ t ของปัจจัย A และ B คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและปัจจัยร่วม AB ไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นตัวแปรอิสระในสมการ A, B, AB มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.22) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบพบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุป

ทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลา

ข้อมูลเชิงบวกถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.19 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลา มีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลา โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.5928×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลาจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลาที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 12 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	260,712.5055	261,601.7668
1	-1	266,869.2893	265,918.8345
-1	0	255,847.7807	258,889.9800
1	0	260,786.8689	262,702.9307
-1	1	254,579.7708	254,972.8540
1	1	258,472.4355	258,467.9844

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

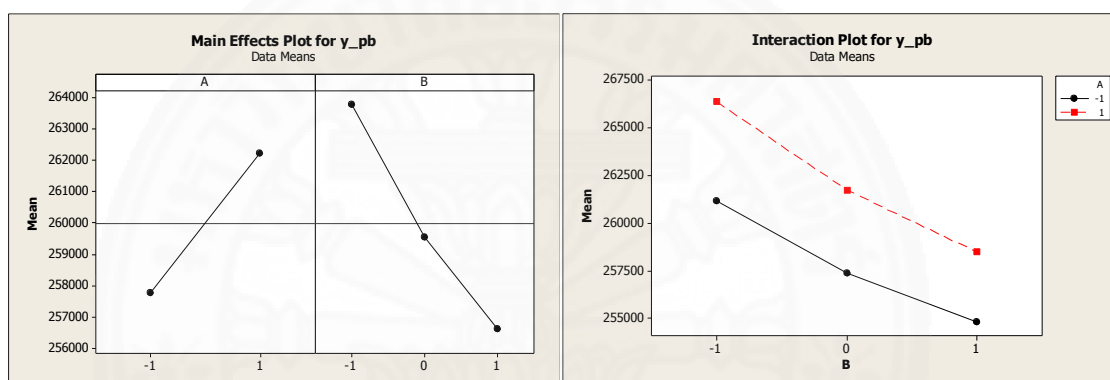
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิกในชุดที่ 12 ดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 12 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

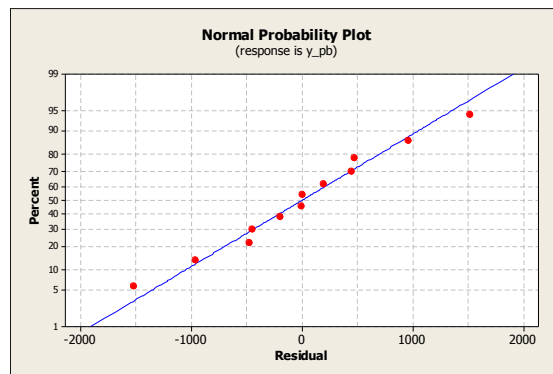
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F_0	P-value
Factor A	59,024,021	1	59,024,021	47.94	0.000
Factor B	103,412,827	2	51,706,414	42.00	0.000
Interaction of AB	1,195,795	2	597,898	0.49	0.638
Error	7387,477	6	1,231,246		
Total	171,020,121	11			

จากตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวก
 เข้รห้สของพาราโบลิกในชุดข้อมูลที่ 12 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ
 47.94 และ 42.00 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 0.49 ในขณะที่ค่า
 อิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 47.73 และ 42.78 ตามลำดับ ค่า
 อิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่า
 แตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูล
 ธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้รห้สของพาราโบลิกมี
 ลักษณะเหมือนกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.20

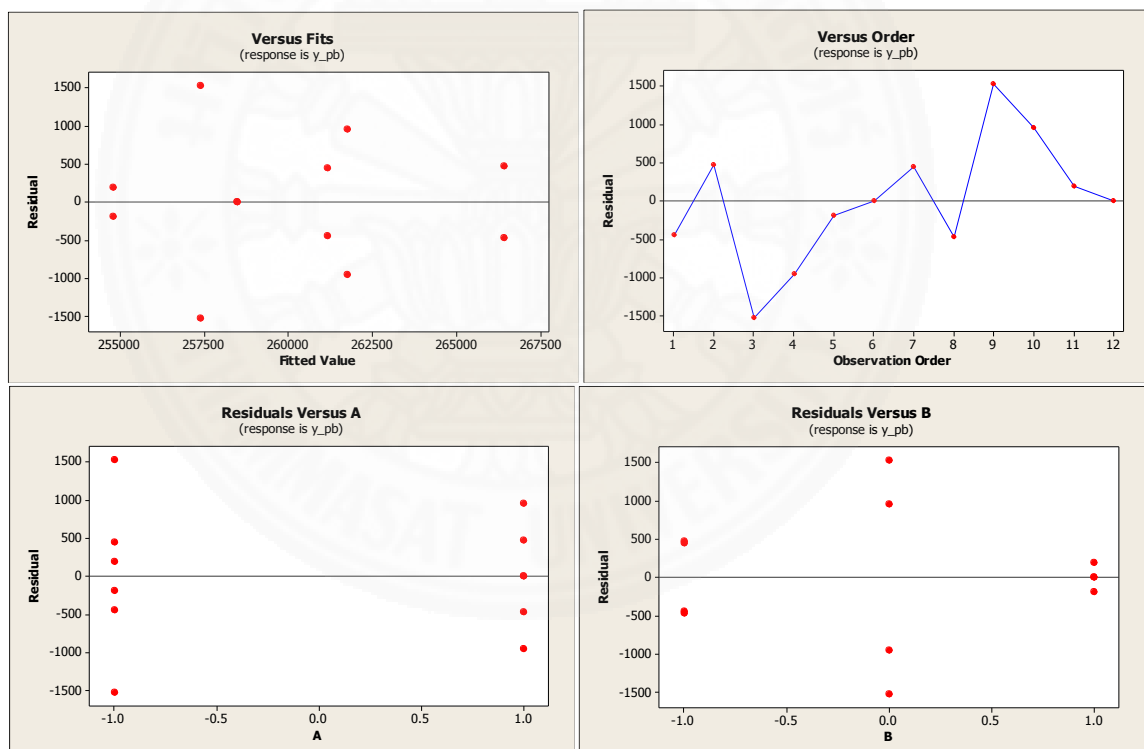


ภาพที่ 4.20 กราฟและกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้รห้สพาราโบลิกชุดที่ 10
 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเค้ลื้อน
 (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.21 และ 4.22 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจง
 แบบปกติดังภาพที่ 4.21 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของ
 ข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.21 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 10
ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.22 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 10
ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลา

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลาถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลาในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.25 และ 4.26

ตารางที่ 4.25

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลาชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	259985	297.5	874.05	0.000
Factor A	2217.8	297.5	7.45	0.000
Factor B	-3576.2	364.3	-9.81	0.000
Interaction of AB	-385.8	364.3	-1.06	0.321

ตารางที่ 4.26

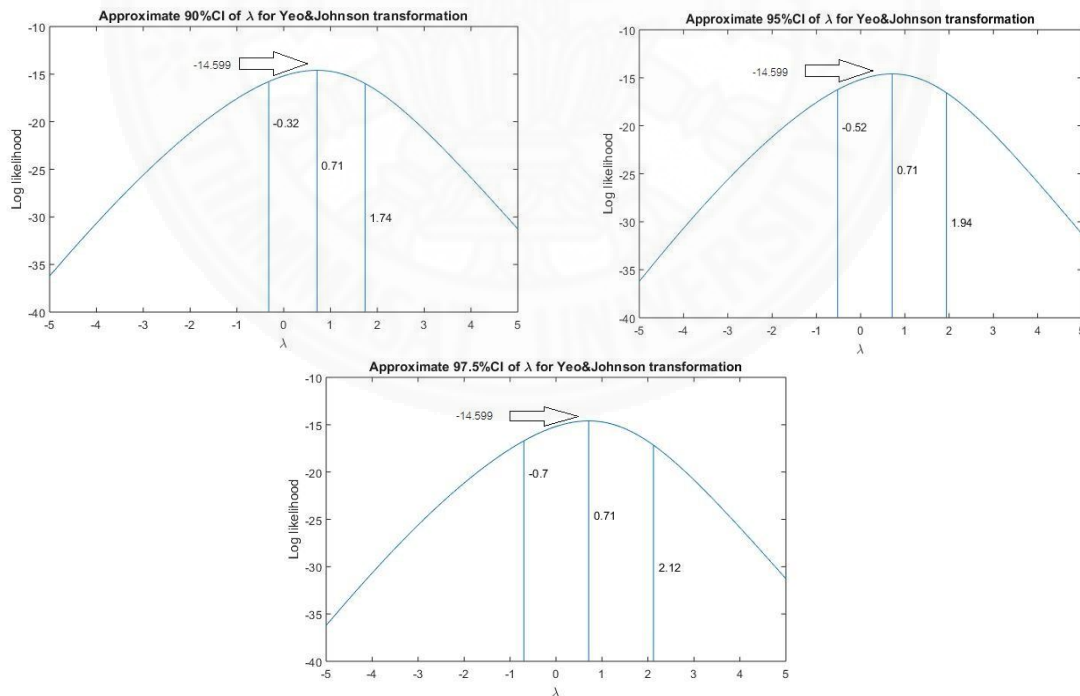
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลาชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	162526363	54175454	51.03	0.000
Residual Error	8	162526363	54175454		
Total	11	171020121			

จากตารางที่ 4.25 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 7.46, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -9.82, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -1.06 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 7.46, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -9.82, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -1.06 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.26 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าเท่ากับ 51.01 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 51.03 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังยาวและจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงบวกถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.23 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการเยาว์ และจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.41 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -7.3302 และช่วงของค่าตัวแปรเยาว์และจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการเยาว์และจอห์นสันที่ได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	6.6178	7.0407
1	-1	9.3798	8.9758
-1	0	4.0927	5.7184
1	0	6.6535	7.5517
-1	1	3.3524	3.5869
1	1	5.5054	5.5032

7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสัน

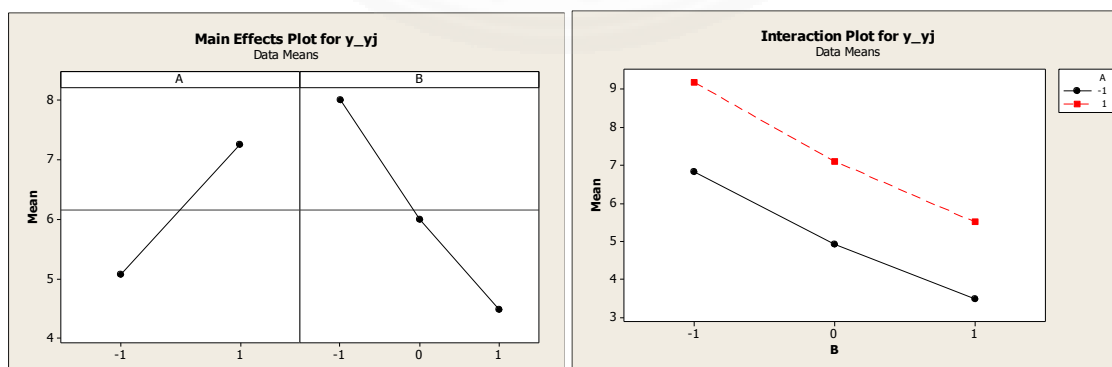
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของเยาว์และจอห์นสันในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

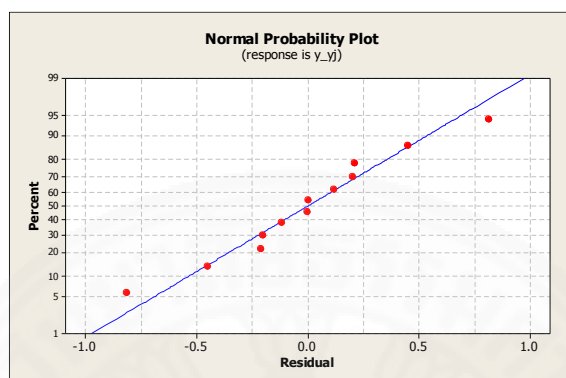
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	14.4332	1	14.4332	45.03	0.001
Factor B	24.8874	2	12.4437	38.82	0.000
Interaction of AB	0.0493	2	0.0246	0.08	0.927
Error	1.9234	6	0.3206		
Total	41.2932	11			

จากตารางที่ 4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันในชุดข้อมูลที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 45.03 และ 38.82 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 0.08 ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 47.73 และ 41.78 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งเมื่อเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดกับข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกัน แต่ผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้าของยาวและจอห์นสันมีลักษณะเหมือนกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.24

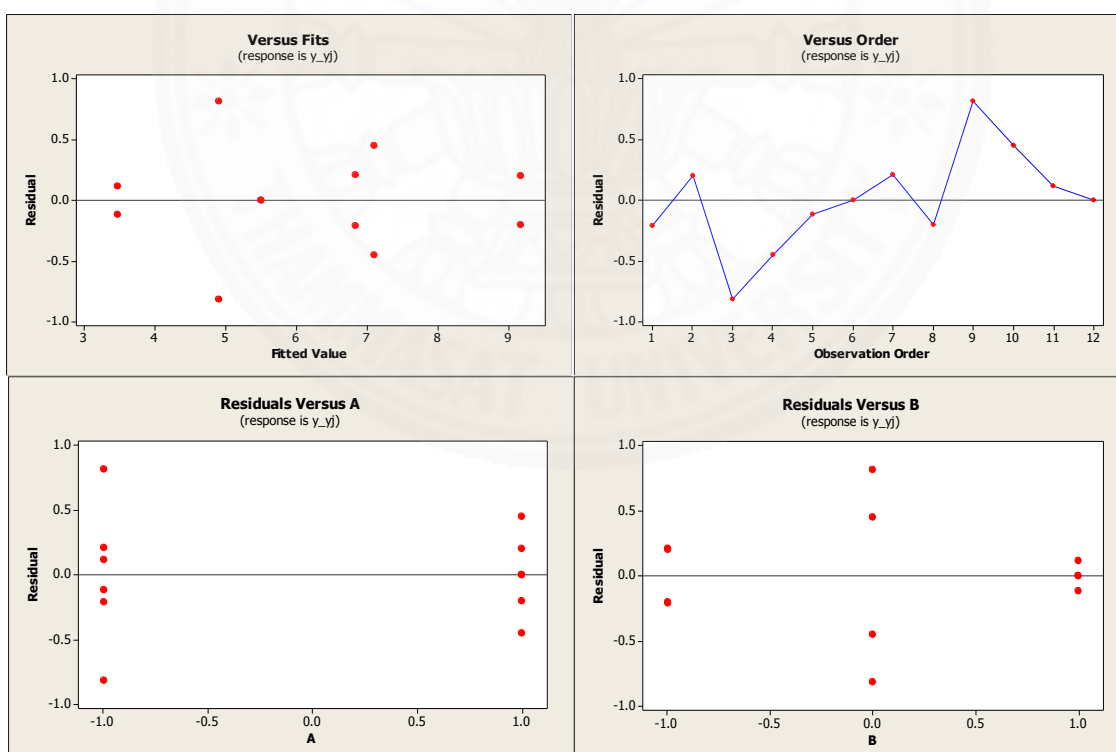


ภาพที่ 4.24 กราฟและกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความคลื่อน (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.25 และ 4.26 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังภาพที่ 4.25 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.25 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลเชิงบวกเข้รหัสยาว์และจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.26 กราฟวิเคราะห์ความคลื่อนของข้อมูลเชิงบวกเข้รหัสยาว์และจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและจอห์นสันในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.29 และ 4.30

ตารางที่ 4.29

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	6.1649	0.1471	41.90	0.000
Factor A	1.0967	0.1471	7.45	0.000
Factor B	-1.7583	0.1802	-9.76	0.000
Interaction of AB	-0.0785	0.1802	-0.44	0.675

ตารางที่ 4.30

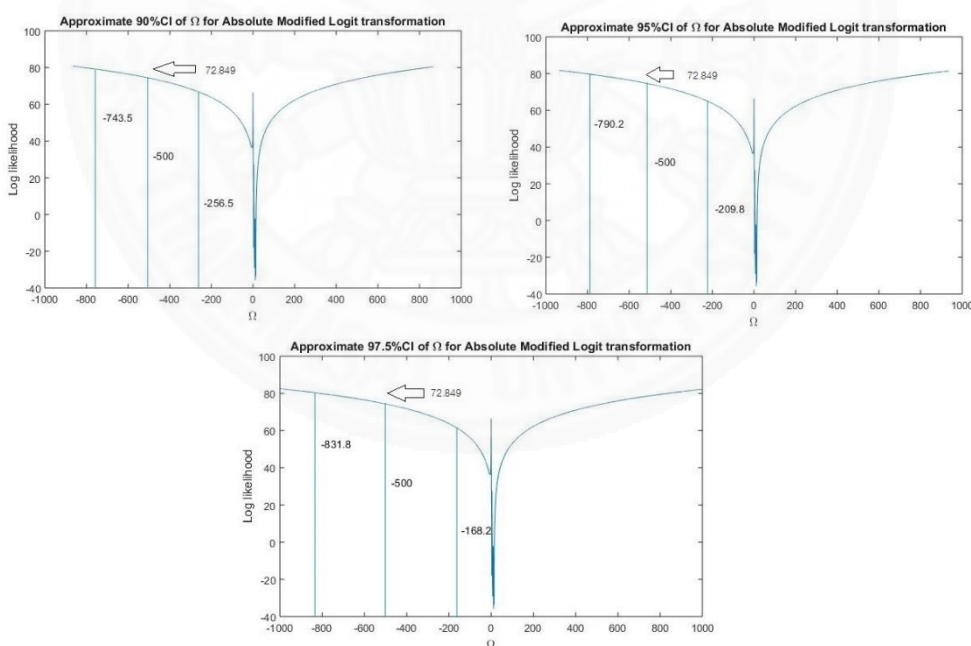
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	39.215	13.072	50.31	0.000
Residual Error	8	2.078	0.260		
Total	11	41.293			

จากตารางที่ 4.29 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 7.45 ,ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -9.76 และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -0.44 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 7.46, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -9.82, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -1.02 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าที่ต่างกัน แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.30 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าเท่ากับ 50.31 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 51.01 ซึ่งมีค่าต่างกันแต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิท

ข้อมูลเชิงบวกถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปรอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.27 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.27 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิทมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ -500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 72.849 ซึ่งคือค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรโลจิทจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิทที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิทที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	Replicate	
		1	2
-1	-1	-0.0041	-0.0038
1	-1	-0.0026	-0.0028
-1	0	-0.0074	-0.0049
1	0	-0.0041	-0.0034
-1	1	-0.0094	-0.0087
1	1	-0.0051	-0.0051

10. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสโลจิท

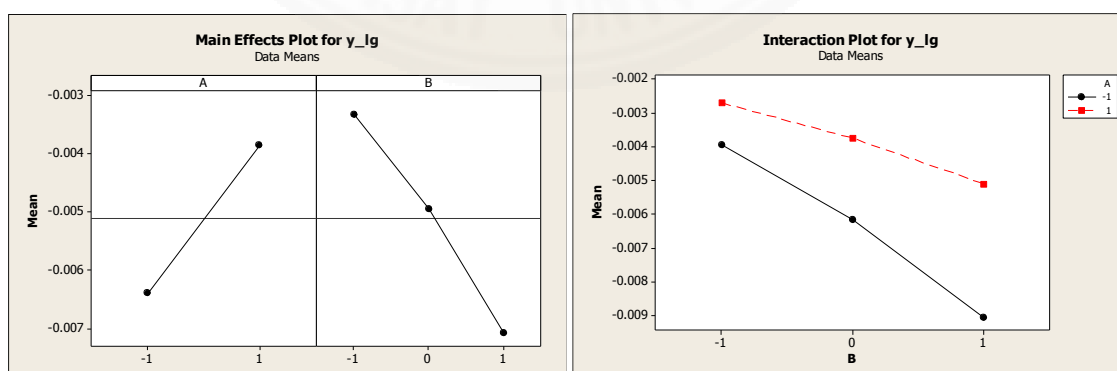
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของโลจิทในชุดที่ 12 ดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์ที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

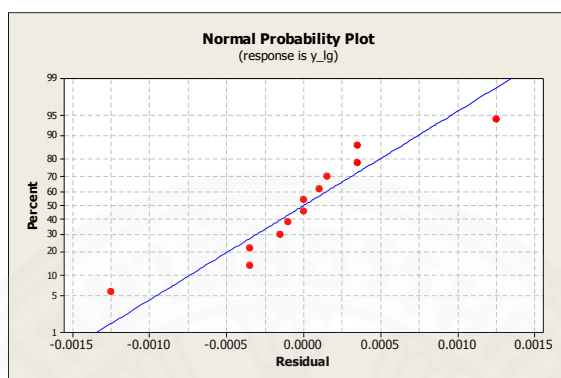
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	0.0000193	1	0.0000193	31.39	0.001
Factor B	0.0000283	2	0.0000141	23.06	0.002
Interaction of AB	0.0000037	2	0.0000018	2.99	0.125
Error	0.0000037	6	0.000006		
Total	0.0000549	11			

จากตารางที่ 4.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์ในชุดข้อมูลที่ 10 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 31.39 และ 23.06 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 2.99 ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 47.73 และ 41.78 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งเมื่อเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดกับข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันมาก และผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลมีผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์มีลักษณะตรงกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.28

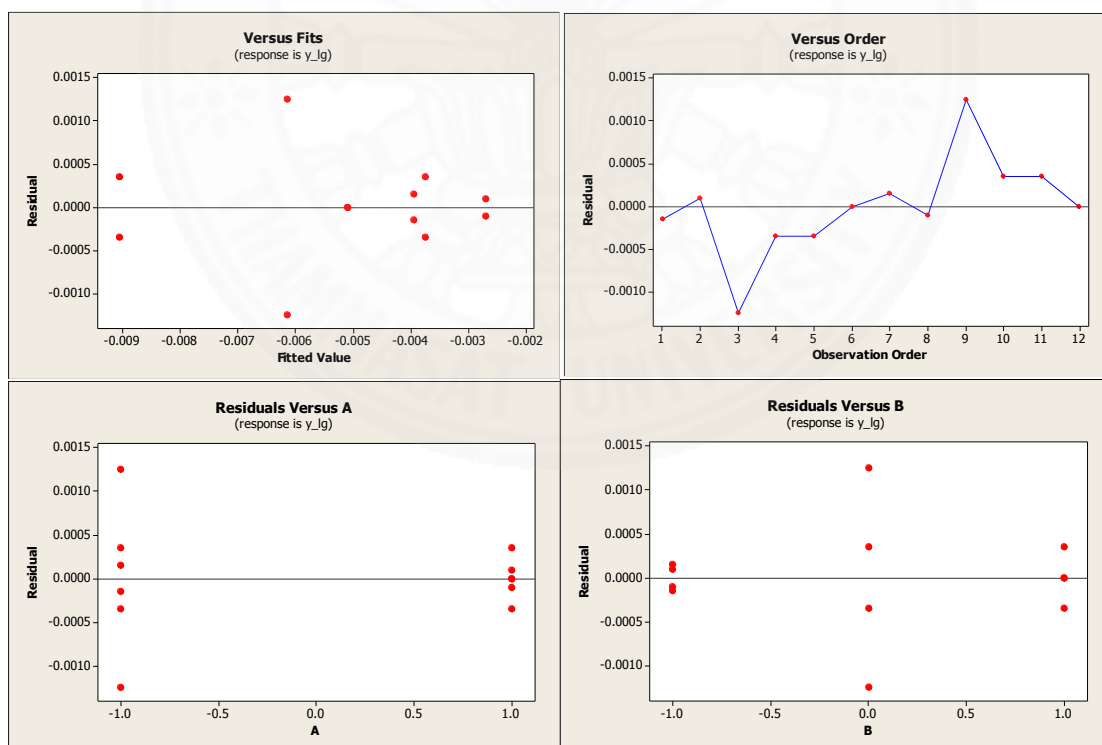


ภาพที่ 4.28 กราฟและกระทบทหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์ที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความคลื่อน (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.29 และ 4.30 พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติดังภาพที่ 4.29 อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.30



ภาพที่ 4.29 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสตูดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.30 กราฟวิเคราะห์ความคลื่อนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสตูดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงโลจิส

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสของการแปลงแบบโลจิสถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสของโลจิสในชุดที่ 10 ดังแสดงในตารางที่ 4.33 และ 4.34

ตารางที่ 4.33

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสโลจิสชุดที่ 12 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-0.0051167	0.0002009	-25.47	0.000
Factor A	0.0012667	0.0002009	6.31	0.000
Factor B	-0.0018750	0.0002460	-7.62	0.000
Interaction of AB	0.0006750	0.0002460	2.74	0.025

ตารางที่ 4.34

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสโลจิสชุดที่ 12 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	3	0.00005102	0.000017	35.13	0.000
Residual Error	8	0.00000387	0.0000048		
Total	11	0.00005489			

จากตารางที่ 4.33 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกรหัสโลจิสของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 6.31, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -7.62 ,และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 2.74 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ

7.46, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -9.82, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -1.02 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทมีค่าที่ต่างกันมาก แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกันยกเว้นของปัจจัยร่วม AB และจากตารางที่ 4.34 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทมีค่าเท่ากับ 35.13 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 51.01 ซึ่งมีค่าต่างกันแต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

ผลลัพธ์จากการแปลงข้อมูลทั้งสามแบบของชุดจำลองข้อมูลเชิงบวกในสถานการณ์ที่ 12 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบ พบว่า ทั้งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากกว่าการแปลงแบบยกกำลังยาวและจอห์นสัน และการแปลงแบบโลจิท แต่ทุกรูปแบบการแปลงข้อมูลยังคงให้ผลทดสอบสมมติฐานที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ GFD ของข้อมูลเชิงบวกที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบดังตัวอย่างของผลลัพธ์ของชุดข้อมูลชุดที่ 10 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.35 และ 4.36 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.35

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลชุดเชิงบวกข้อมูลที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	TransVia	F0_A	F0_B	F0_AB	P_A	P_B	P_AB
Natural (N)	1	47.724	41.775	0.4456	0.0004	0.0003	0.660
Parabolic (PB)	500	47.938	41.995	0.4856	0.0004	0.0002	0.6375
Yeo&Johnson (YJ)	0.71	45.025	38.817	0.0768	0.0005	0.0003	0.9268
Logit (LG)	-500	31.311	23.792	2.964	0.0013	0.0014	0.1272

ตารางที่ 4.36

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงบวกข้อมูล 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	TransVia	T_A	T_B	T_AB	P_A	P_B	P_AB
Natural (N)	1	7.457	-9.816	-1.017	0.000	0.000	0.3387
Parabolic (PB)	500	7.456	-9.816	-1.05	0.000	0.000	0.321
Yeo&Johnson (YJ)	0.71	7.543	-9.756	-0.435	0.000	0.000	0.674
Logit (LG)	-500	-25.602	6.302	-7.747	0.000	0.000	0.0257

4.1.1.2 ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปแล้ว (โปรแกรมคำนวณถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก. จึงนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่อยู่ในขอบเขตของสมการจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด 54 สถานการณ์เพื่อนำมาวัดผลประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกแบบยาวและจอห์นสัน และแบบโลจิต ซึ่งได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค. ดังตัวอย่างตารางผลลัพธ์ของโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูล 10 ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกถูกแสดงไว้ดังต่อไปนี้

1. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.37

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณี
ไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	F0_A	F0_B	F0_AB	P_A	P_B	P_AB	Log likelihood
Natural	1	14.4273	34.7043	3.3664	0.0090	0.0005	0.1046	0.000
Parabolic	500	14.2256	34.3260	3.2908	0.0093	0.0005	0.1085	5926.4295
Yeo&johnson	1.22	16.9671	39.1490	4.3810	0.0062	0.0004	0.0671	16.8022
LG	500	35.2543	67.5146	13.983	0.0001	0.0000	0.0006	62.8273

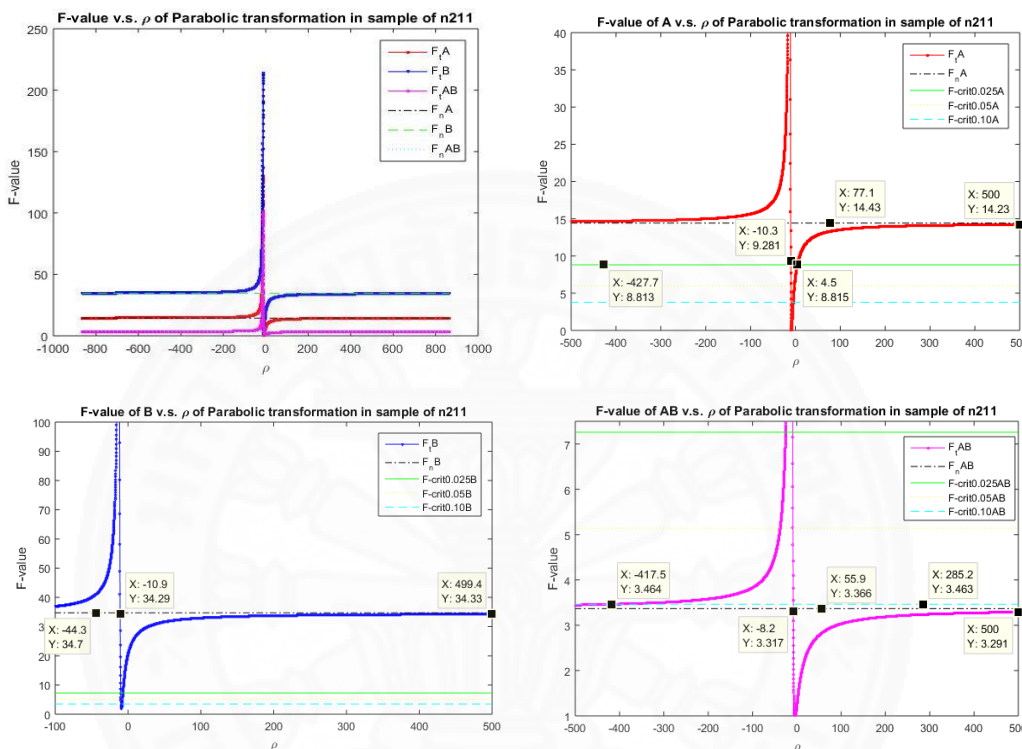
ตารางที่ 4.38

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณี
ไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	F0_A	F0_B	F0_AB	P_A	P_B	P_AB	Log likelihood
Natural	1	47.7242	41.7756	0.4456	0.00045	0.00030	0.6600	0.000
Parabolic	500	47.9381	41.9952	0.4856	0.00044	0.00029	0.6375	5928.721
Yeo&johnson	0.71	45.0246	38.8175	0.0769	0.00053	0.00037	0.9269	-14.599
LG	-500	31.3112	23.7926	2.9643	0.00139	0.00140	0.1273	72.8498

จากตารางที่ 4.37 และ 4.38 เป็นตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 10 ของการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก โดยที่ TransVia (Trasformed Variable) คือ ตัวแปรในสมการแปลงข้อมูลซึ่งหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation ,MLE) ซึ่งผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้จะถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อ

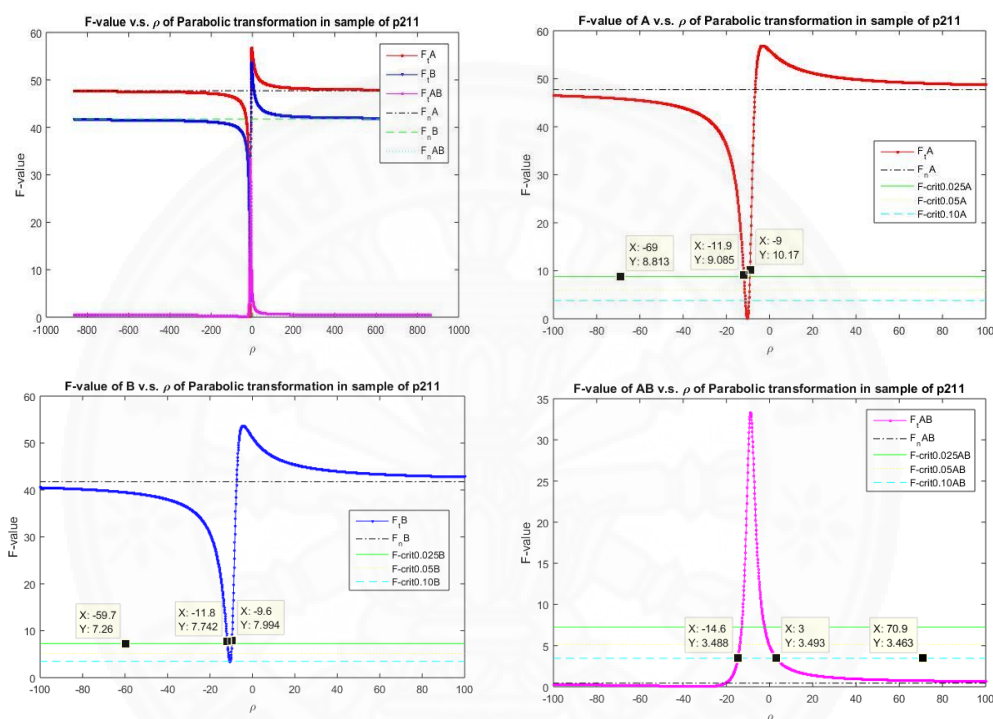
นำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า กราฟของค่า F_0 ของปัจจัย A, B และ AB มีจุดที่ใกล้เคียงจุดตัดกับกราฟของค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติที่ค่าโรเท่ากับ -10.6, -10.9, และ -8.2 ตามลำดับ ส่วนค่าของ F_0 ของปัจจัย A, B, และ AB มีบางช่วงให้ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญของแต่ละปัจจัย และมีบางช่วงของค่าโรบริเวณส่วนกลางของกราฟที่ให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของปัจจัย A, B, และ AB ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าโรที่ (-10.3, 4.5), (-10.2, -7), และ (-417.5, -8.2) ตามลำดับ ซึ่งให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับนัยสำคัญ เพราะฉะนั้นช่วงของช่วงของค่าโรที่ทำให้ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติคือ (-417.5, 4.5) และการหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูล

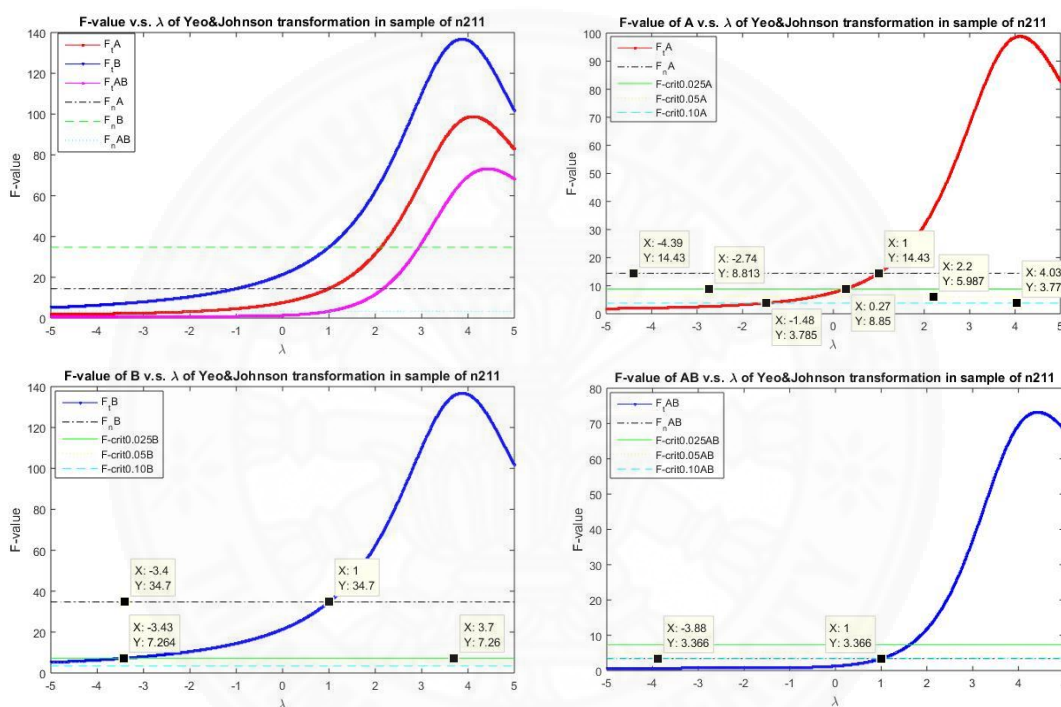
เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ได้ค่าโรเท่ากับ 500 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้และให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติที่แตกต่างกันในส่วนของระดับทศนิยมตำแหน่งที่ 2 โดยแนวโน้มของกราฟจะเข้าใกล้ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งเชิงบวกและลบ อีกทั้งเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ช่วงค่าโรจากภาพที่ 4.4 ยังคงให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติทุกปัจจัย



ภาพที่ 4.32 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 พบว่า กราฟของค่า F_0 ของปัจจัย A, B, และ AB มีจุดที่ใกล้เคียงจุดตัดกับกราฟของค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติที่ค่าโรเท่ากับ -6.6, -7.4, และ -20.4 ตามลำดับ ส่วนค่าของ F_0 ของปัจจัย A, B, และ AB ส่วนใหญ่ตลอดช่วงของค่าโรที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญของแต่ละปัจจัย และมีช่วงของค่าโรบริเวณส่วนกลางของกราฟที่ให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของปัจจัย A, B, และ AB ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าโรที่ (-11.9, -9), (-11.8, -9.6), และ (-14.6, 3) เพราะฉะนั้นช่วงของช่วง

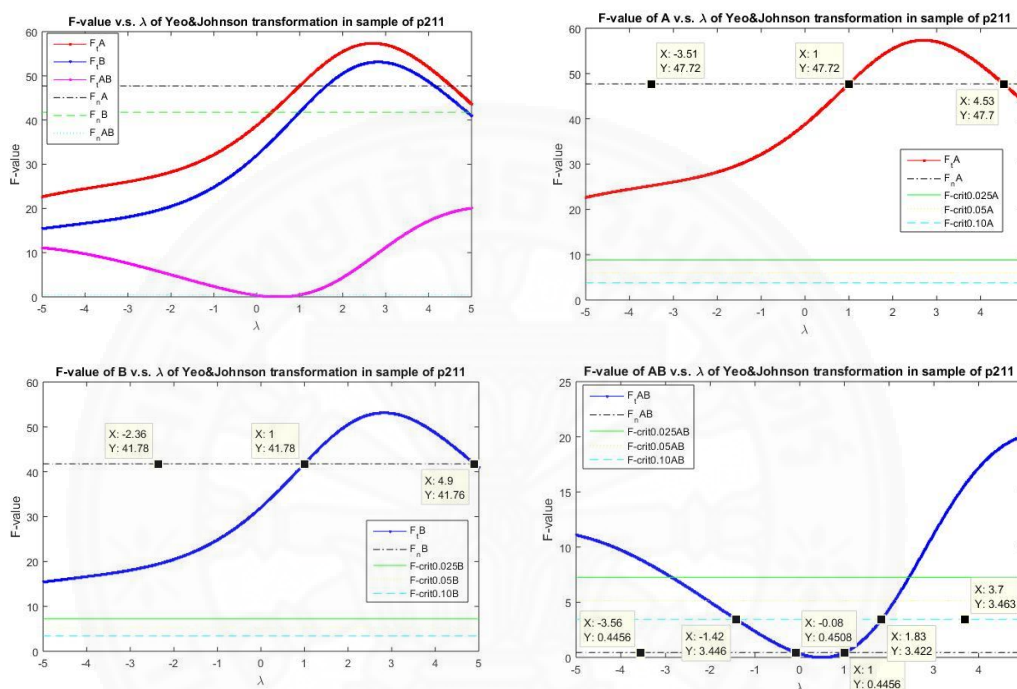
ของค่าโรที่ ทำให้ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุก ระดับนัยสำคัญคือคือ (-14.6,3) และการหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลโดยวิธีการประมาณค่าด้วย ภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ได้ค่าโรเท่ากับ 500 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้และ ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งแตกต่างกันเล็กน้อย โดยแนวโน้มของกราฟจะเข้าใกล้ ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งเชิงบวกและลบ อีกทั้งเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ช่วงค่าโรจาก ภาพที่ 4.19 ยังคงให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติทุกปัจจัย



ภาพที่ 4.33 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของ ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าแลมบ์ดา ในการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า ค่าสถิติ F_0 ของปัจจัย A, B, และ AB ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญในช่วง ของค่าแลมบ์ดาที่ [0.27,5], [-3.43, 5], และ [-5,1.02] ตามลำดับ เพราะฉะนั้นช่วงของช่วงของค่า แลมบ์ดาที่ทำให้ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติคือ [0.27,1.02] ซึ่งจากการหาค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็น สูงสุดได้ผลลัพธ์เท่ากับ 1.22 ซึ่งให้ค่าสถิติของทั้ง 3 ปัจจัยค่อนข้างแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติและ

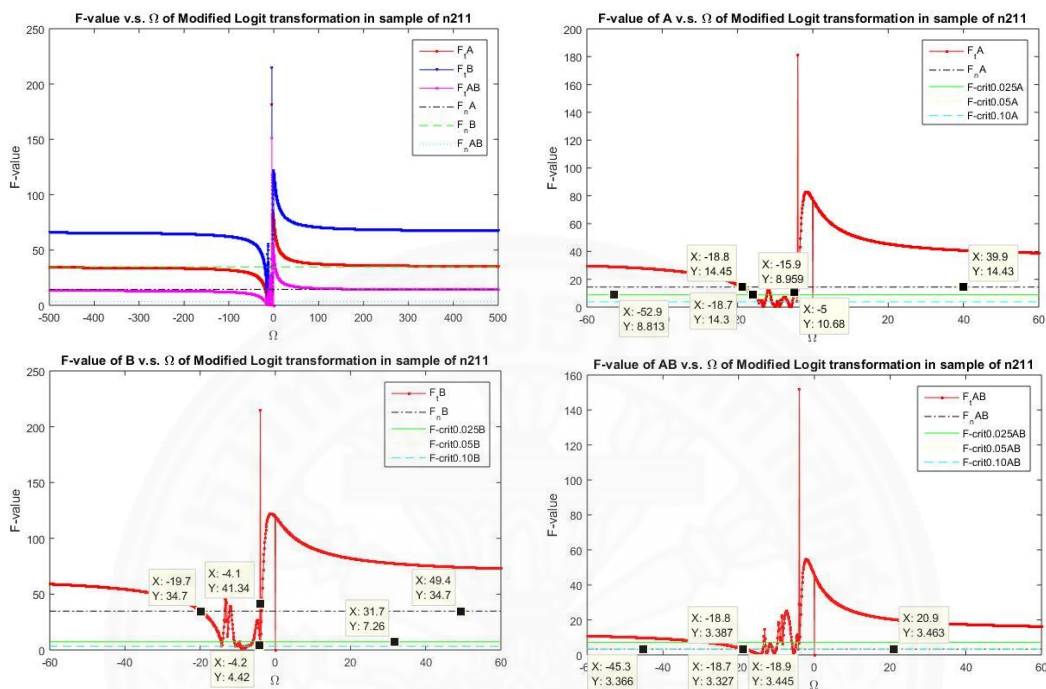
ผลลัพธ์ที่ได้อยู่นอกช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ทำให้ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ แต่เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของช่วงค่าแลมบ์ดาจากภาพที่ 4.8 ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้กับปัจจัย A และ B เพื่อให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติได้ ส่วนปัจจัยร่วม AB นั้นสามารถนำผลลัพธ์ของช่วงแลมบ์ดานี้ไปใช้ได้ที่ระดับนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ และ 0.025



ภาพที่ 4.34 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

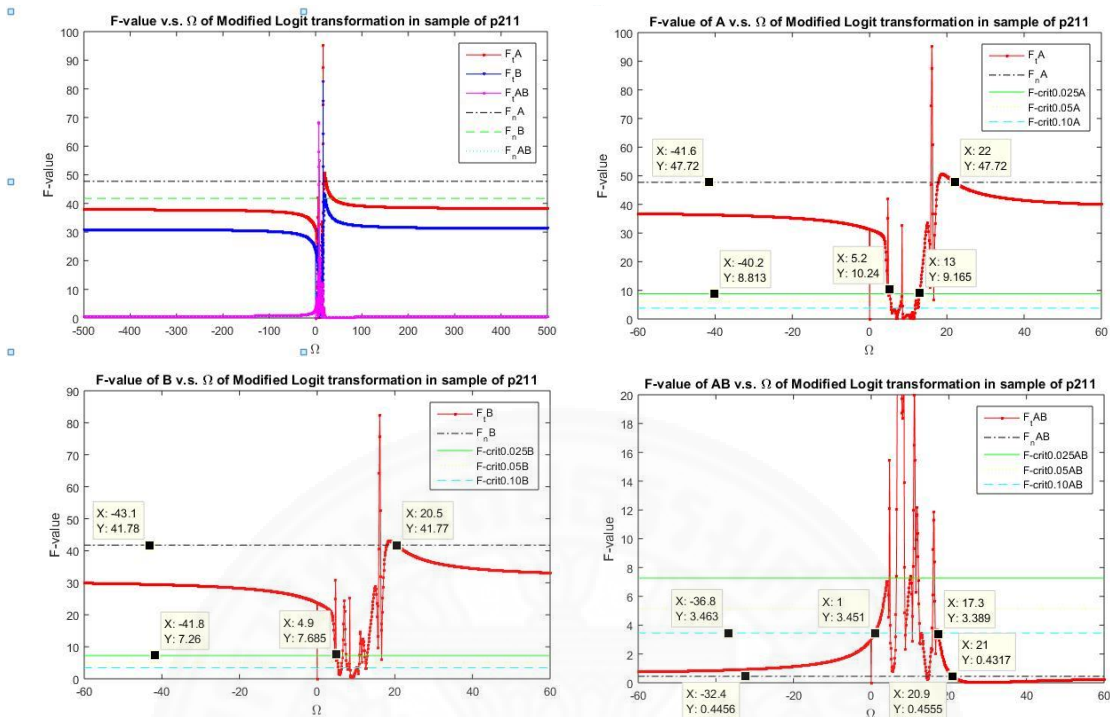
จากภาพที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 พบว่า ค่าสถิติ F_0 ของปัจจัย A และ B มีค่าสูงกว่า F_{crit} ในทุกระดับของค่านัยสำคัญและให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติตลอดช่วงของค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้ ส่วนปัจจัยร่วม AB มีช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ $[-1.42, 1.83]$ ที่ค่าสถิติ F_0 มีค่าน้อยกว่า F_{crit} ในทุกระดับของค่านัยสำคัญและให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติ เพราะฉะนั้นช่วงแลมบ์ดาที่ทำให้ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติคือ $[-1.42, 1.83]$ ซึ่งจากการหาค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดได้ผลลัพธ์เท่ากับ 0.71 ซึ่งอยู่ในช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ทำให้ทั้ง 3 ปัจจัยมีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และเมื่อ

พิจารณาผลลัพธ์ของช่วงค่าแลมบ์ดาจากภาพที่ 4.19 ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้กับทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติได้



ภาพที่ 4.35 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ F_0 ของปัจจัย A, B, และ AB ในช่วงของค่าโมเมนต์ส่วนใหญ่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และในช่วงค่าโมเมนต์ประมาณ -20 ถึง 0 เส้นกราฟของทั้งสามปัจจัยมีค่าลักษณะที่แกว่งและมีจุดตัดกับค่า F_0 ของข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังมีบางช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยแนวโน้มของกราฟจะเข้าใกล้ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งเชิงบวกและลบ จากการหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลโดยวิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ได้ค่าโอเมก้าเท่ากับ 500 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้และให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติ และเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของช่วงค่าแลมบ์ดาจากภาพที่ 4.12 ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้กับทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติได้



ภาพที่ 4.36 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ F_0 ของปัจจัย A, B, และ AB ในช่วงของค่าโมเมนต์ส่วนใหญ่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และในช่วงค่าโมเมนต์ประมาณ 20 ถึง 0 เส้นกราฟของทั้งสามปัจจัยมีลักษณะที่แกว่งและมีจุดตัดกับค่า F_0 ของข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังมีบางช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยแนวโน้มของกราฟจะเข้าใกล้ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งเชิงบวกและลบ จากการหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลโดยวิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ได้ค่าโอเมก้าเท่ากับ -500 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้และให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติ และเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของช่วงค่าแลมบ์ดาจากภาพที่ 4.26 ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้กับทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติได้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลของทั้งสามวิธี แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลลัพธ์ของแต่ละวิธีที่แตกต่างกันโดยที่การแปลงแบบพาราโบลิกให้ค่า F_0 ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติทั้งเชิงบวกและเชิงลบมากที่สุดและรองลงมาคือการ

แปลงแบบยาวและจอห์นสัน ส่วนการแปลงแบบโลจิทนั้นให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด และการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส จากผลลัพธ์ของช่วงค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี (MLE) ของการแปลงข้อมูลทุกวิธี สามารถใช้ผลลัพธ์ของช่วงค่าตัวแปรดังกล่าวในการแปลงข้อมูลซึ่งยังสามารถให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกันระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส และในขั้นตอนต่อไปจะนำผลลัพธ์ของค่าสถิติ F_0 ทุกสถานการณ์ที่รวบรวมไว้ไปทำการวิเคราะห์ผลเพื่อดูว่าค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไรซึ่งจะอยู่ในหัวของผลการดำเนินการทดลอง (หัวข้อที่ 4.1.1.3) ต่อไป

2. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 4.39

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	-10.1685	1.3101	-3.4657	-1.0867
	SE of Co-efficient	0.349531	0.3495	0.4281	0.42809
	T-test	-29.0919	3.7482	-8.0959	-2.5386
	P-value	0.0000	0.0056	0.00004	0.0348
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	260,283.4	-1332.45	3531.209	1099.452
	SE of Co-efficient	356.9849	356.9849	437.2154	437.2154
	T-test	729.116	-3.73251	8.076588	2.514668
	P-value	0.0000	0.00577	0.00004	0.03611
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	-7.0626	0.8087	-2.0885	-0.7108
	SE of Co-efficient	0.2067	0.2067	0.2532	0.2532
	T-test	-34.1626	3.9117	-8.2485	-2.8074
	P-value	0.0000	0.0045	0.00003	0.0229
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	-1.7331	-0.0747	0.1728	0.0799
	SE of Co-efficient	0.0181	0.0181	0.0221	0.0221
	T-test	-96.0124	-4.1434	7.8125	3.6123
	P-value	0.0000	0.0034	0.00003	0.0072

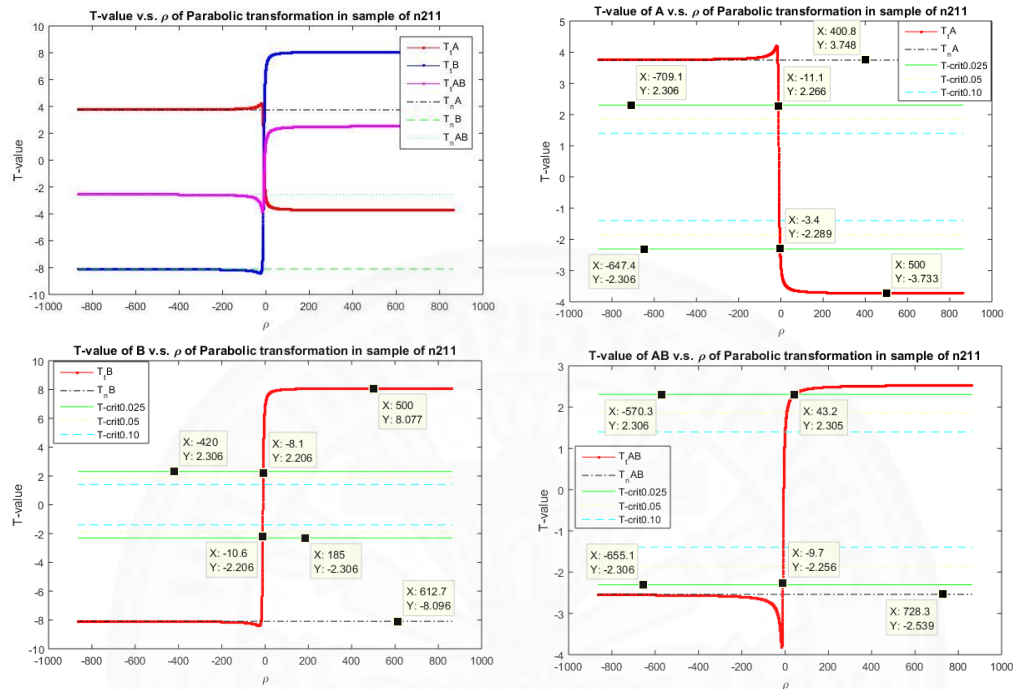
ตารางที่ 4.40

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	9.8741	2.1734	-3.5038	-0.3631
	SE of Co-efficient	0.2914	0.2914	0.3569	0.3569
	T-test	33.8819	7.4578	-9.8168	-1.0173
	P-value	0.0000	0.0001	0.0000	0.3388
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	259,985.250	2217.8071	-3576.1689	-385.7570
	SE of Co-efficient	297.4502	297.4502	364.3007	364.3007
	T-test	874.0462	7.4561	-9.8165	-1.0589
	P-value	0.0000	0.0001	0.0000	0.3206
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	6.1649	1.0967	-1.7583	-0.0785
	SE of Co-efficient	0.1471	0.1471	0.1802	0.1802
	T-test	41.8976	7.4534	-9.7567	-0.4355
	P-value	0.0000	0.0001	0.0000	0.6747
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	AB
	Co-efficient	-0.0051	0.0013	-0.0019	0.0007
	SE of Co-efficient	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
	T-test	-25.6028	6.3020	-7.7466	2.7347
	P-value	0.0000	0.0002	0.0001	0.0257

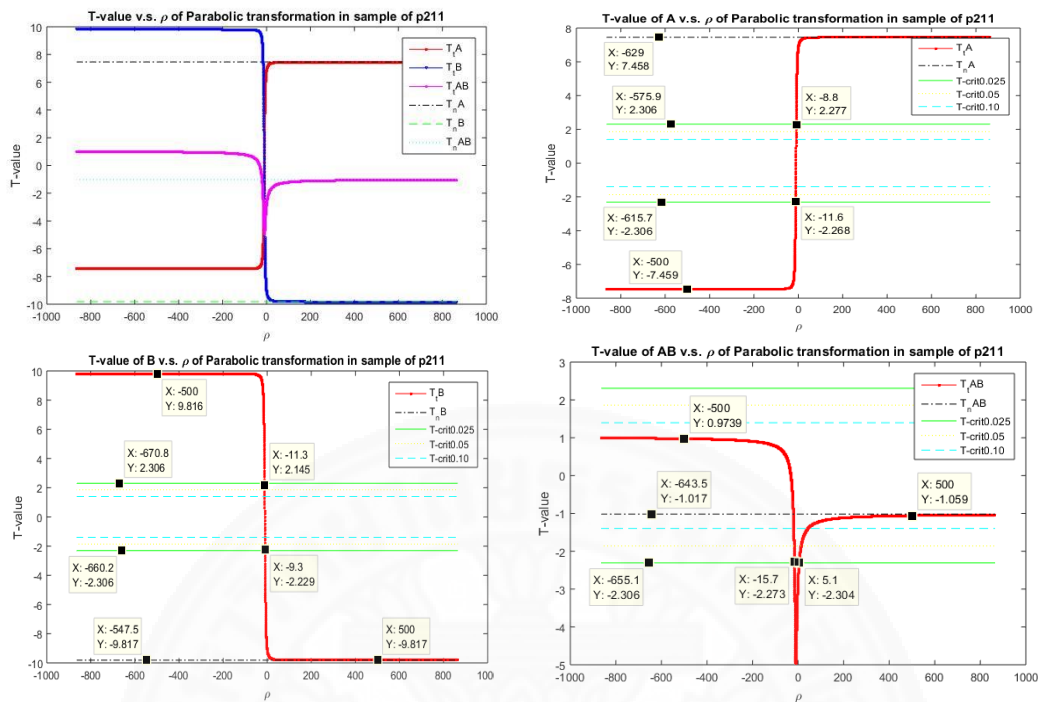
จากตารางที่ 4.39 และ 4.40 เป็นตารางเปรียบเทียบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและเชิงลบชุดที่ 10 ของการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าสถิติ T-test ของสมการข้อมูลในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูลและถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟ

ความสัมพันธ์ของค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้



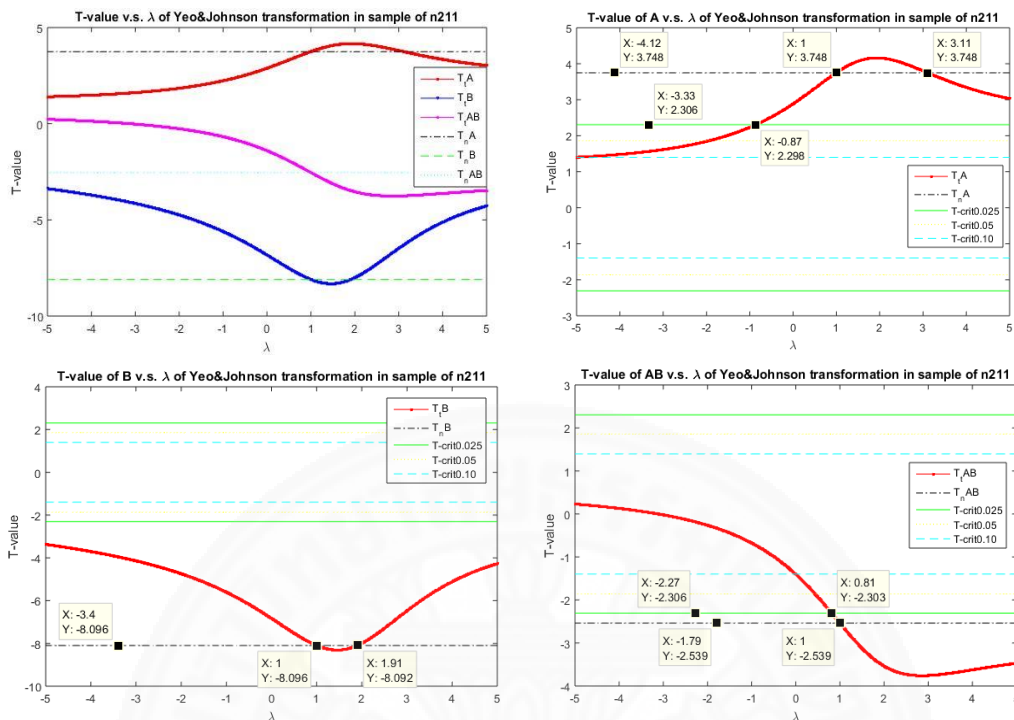
ภาพที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าไรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, และ AB มีลักษณะคู่เข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าไรเพิ่มขึ้นทางด้านลบ และให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าไรเพิ่มขึ้นทางด้านบวก ส่วนช่วงค่าไรที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยอยู่ในช่วงประมาณ $[-11.1, 43.2]$ และค่าไรที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธี MLE ได้ค่าไรเท่ากับ 500 ที่ทำให้ค่า T-test ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติในเชิงประมาณแต่มีเครื่องหมายตรงข้ามเนื่องจากค่าไรมีผลต่อเครื่องหมายในการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งมีผลต่อเนื่องในการหาค่าสถิติ T-test ของสมการเช่นกัน



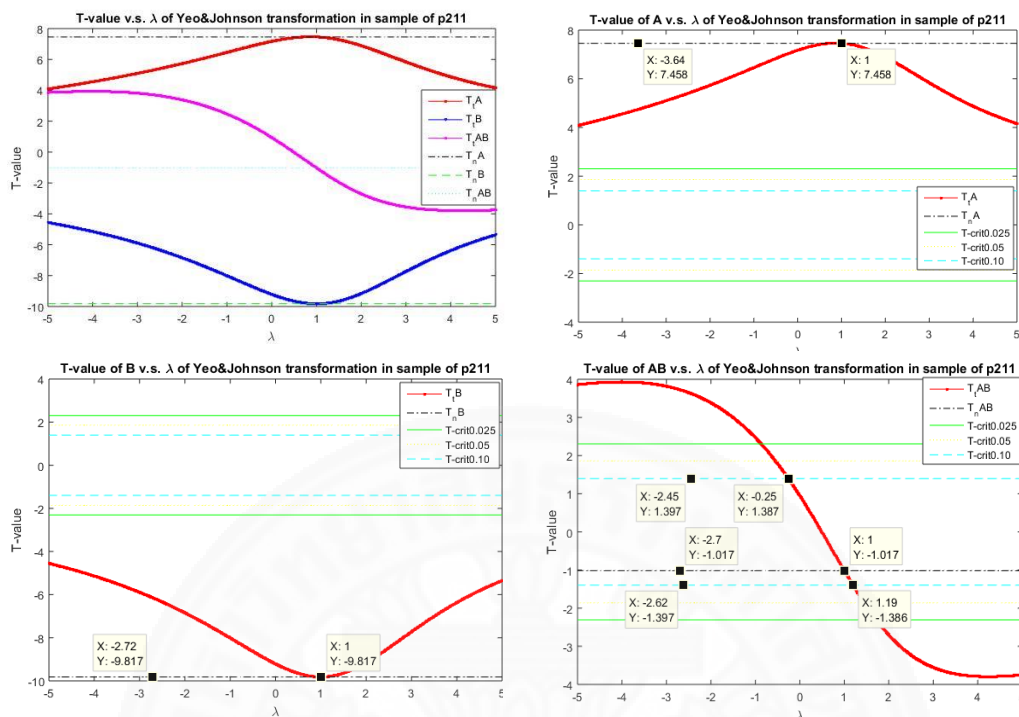
ภาพที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าไรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, และ AB มีลักษณะลู่เข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าไรเพิ่มขึ้นทางด้านบวก และให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าไรเพิ่มขึ้นทางด้านลบซึ่งมีลักษณะตรงข้ามกับกรณีข้อมูลธรรมชาติเชิงลบ (ภาพที่ 4.36) ส่วนช่วงค่าไรที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยอยู่ในช่วงประมาณ $[-15.7, 5.1]$ และค่าไรที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธี MLE ได้ค่าไรเท่ากับ 500 ที่ทำให้ค่าสถิติใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งแตกต่างกันกับการประมาณค่ากรณีเชิงลบที่ให้ค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสตรงข้ามกับข้อมูลธรรมชาติ



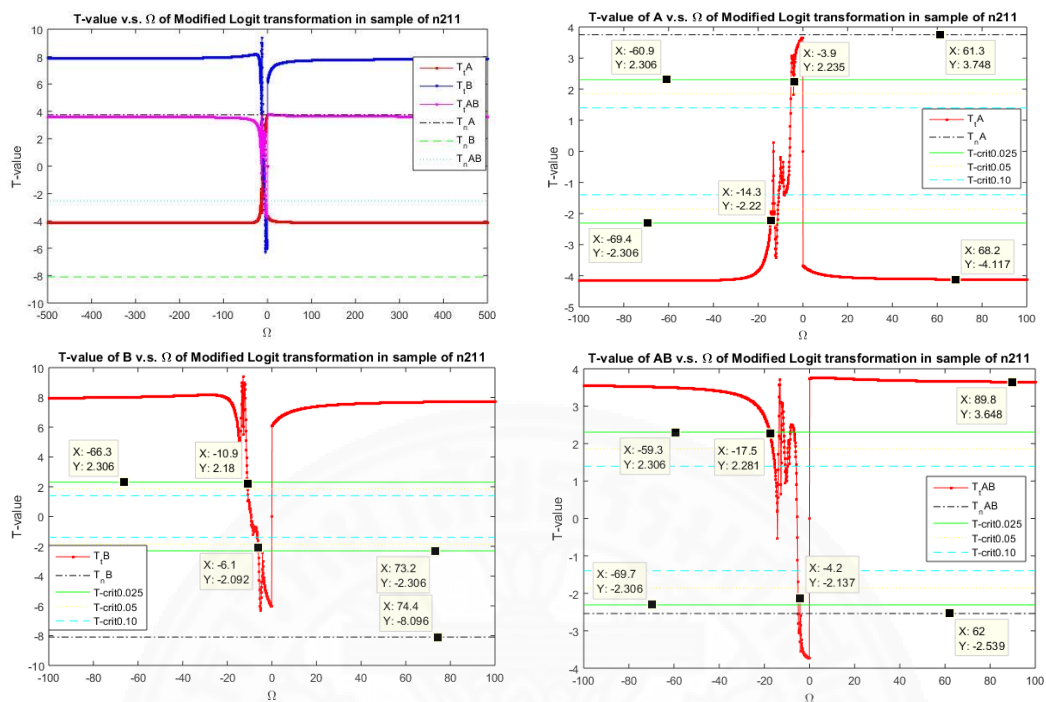
ภาพที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย B และ AB มีค่าต่ำกว่า T_{crit} ตลอดช่วงของค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้แต่ปัจจัย A มีช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ทำให้ค่าสถิติที่สูงกว่า T_{crit} อยู่ในช่วงที่ $[-0.88, 5]$ ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัย ช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ทำให้การทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติคือ $[-0.88, 5]$ ส่วนการประมาณค่าแลมบ์ดาด้วยวิธี MLE ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.22 ทำให้ค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งการประมาณค่าช่วงของแลมบ์ดา ยังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ



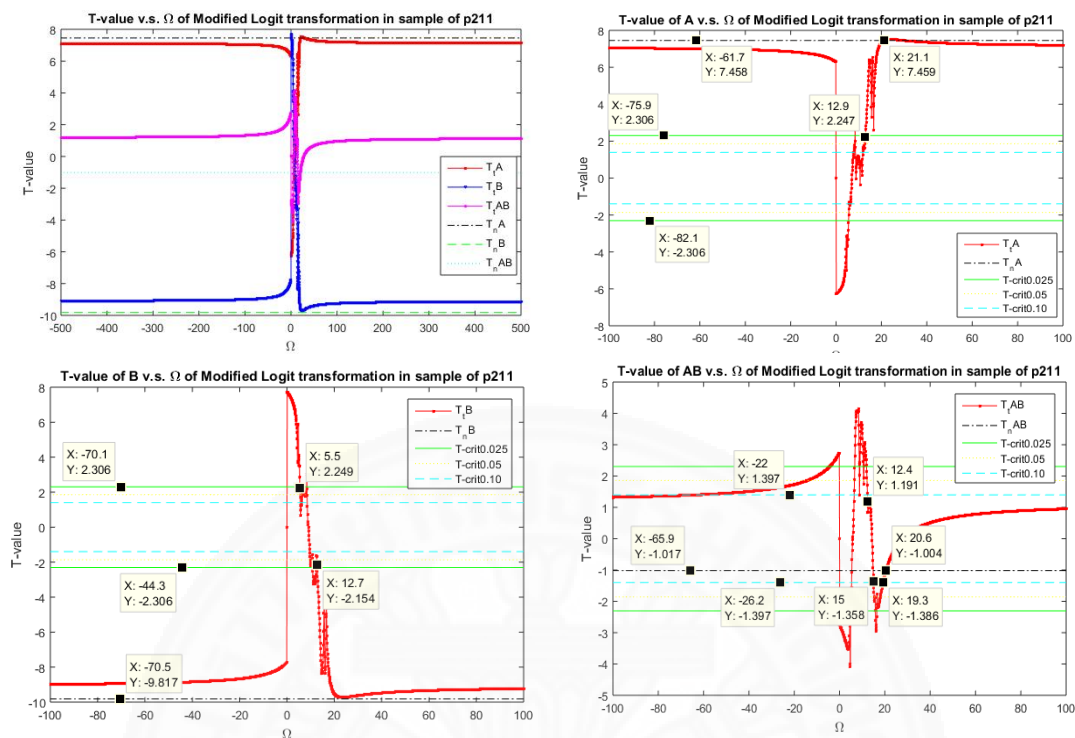
ภาพที่ 4.40 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A และ B มีค่าสูงและต่ำกว่า T_{crit} ตามลำดับ ตลอดช่วงของค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้แต่ปัจจัย AB มีช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ทำให้ค่าสถิติที่ต่ำกว่า T_{crit} อยู่ในช่วงที่ $[-0.25, 1.19]$ ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัย ช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ทำให้การทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติคือ $[-0.25, 1.19]$ ส่วนการประมาณค่าแลมบ์ดาด้วยวิธี MLE ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.71 ทำให้ค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งการประมาณค่าช่วงของโอเมก้ายังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ (ดังแสดงในภาพที่)



ภาพที่ 4.41 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโอเมก้าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ส่วนใหญ่บนช่วงค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และมีช่วงของกราฟที่ค่าสถิติที่มีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งอยู่ในช่วง $[-14.3, -3.9]$ และมีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในปัจจุบัน A และ AB ส่วนการประมาณค่าแลมบ์ดาด้วยวิธี MLE ซึ่งมีค่าเท่ากับ 500 ทำให้ค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสมีค่าแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติมากและแนวโน้มของกราฟมีทิศทางตรงกันข้ามเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติของแต่ละปัจจัย อีกทั้งการประมาณค่าช่วงของโอเมก้ายังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ (ดังแสดงในภาพที่ 4.12)



ภาพที่ 4.42 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโอเมก้าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 10 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ส่วนใหญ่บนช่วงค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของกราฟที่ค่าสถิติที่มีผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งอยู่ในช่วง $[6.5, 12.9]$ และ $[15.19, 3]$ อีกทั้งมีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย ส่วนการประมาณค่าแลมบ์ดาด้วยวิธี MLE ซึ่งมีค่าเท่ากับ -500 ทำให้ค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสมีค่าแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งแนวโน้มของกราฟทางด้านโอเมก้าที่มีค่าบวกมีค่าใกล้เคียงกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติมากกว่าทางด้านโอเมก้าที่มีค่าลบ อีกทั้งการประมาณค่าช่วงของแลมบ์ดา ยังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ (ดังแสดงในภาพที่ 4.26)

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลของทั้งสามวิธี แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลลัพธ์ในแต่ละวิธีที่แตกต่างกันโดยที่การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ค่าสถิติ T-test ที่ใกล้เคียงมากที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกและโลจิทให้ค่าสถิติ T-test ที่แตกต่างกันมากโดยมีค่าอยู่ในเชิงตรงข้ามเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ

เชิงลบ ในกรณีข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกการแปลงแบบพาราโบลิคให้ค่าสถิติที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด รองลงมาคือการแปลงแบบเอวาร์และจอห์นสัน ส่วนการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด และการเปรียบเทียบสมมติฐานระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส จากผลลัพธ์ของช่วงค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี MLE สามารถใช้ผลลัพธ์ของค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่ได้จากวิธี MLE ได้ทุกการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบ และขั้นตอนต่อไปจะนำผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ทุกสถานการณ์ที่รวบรวมไว้ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคุณภาพรวมของผลลัพธ์ว่าอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลอย่างไรซึ่งจะอยู่ในหัวข้อผลการดำเนินการทดลอง (หัวข้อที่ 4.1.1.3) ต่อไป

4.1.1.3 ผลการดำเนินการทดลอง

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้การหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F-test และ T-test กับตัวแปรของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี ในส่วนของการดำเนินการทดลองได้รวบรวมผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากการรันโปรแกรมคำนวณแมทแลปในทุกสถานการณ์ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัย กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกแล้ว ได้นำผลลัพธ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ในด้านของความแม่นยำ (Accuracy) จากค่าเฉลี่ยของผลต่าง ($\overline{\Delta F_0}$) และ ($\overline{\Delta T_0}$) และสัดส่วนผลค่าต่าง ($(\overline{\Delta F_0}/F_n)$ และ ($\overline{\Delta T_0}/T_n$)) ของค่าสถิติ F-test และ T-test ของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ และในด้านความเที่ยงตรง (Precision) ซึ่งพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ รวมถึงศึกษาขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่กำหนดไว้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบอย่างไร

ตารางที่ 4.41

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงลบในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

Factor (F_0)	Abs($F_{0_natural} - F_{0_coded}$)						($Abs(F_{0_natural} - F_{0_coded})$)/ $F_{0_natural}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	1.13	14.84	116.20	1.83	15.09	208.62	0.08	0.17	0.82	0.005	0.22	0.79
B	0.67	10.53	79.61	0.86	11.70	144.56	0.007	0.15	0.79	0.004	0.16	0.71
AB	0.32	5.63	31.97	0.34	6.65	86.48	0.03	0.75	4.26	0.01	0.75	7.96

ตารางที่ 4.42

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงบวกในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

Factor (F_0)	Abs($F_{0_natural} - F_{0_coded}$)						($Abs(F_{0_natural} - F_{0_coded})$)/ $F_{0_natural}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	1.02	29.12	75.50	1.07	41.61	68.73	0.007	0.19	0.58	0.005	0.23	0.40
B	0.54	12.57	42.99	0.50	17.50	40.97	0.007	0.18	0.55	0.005	0.25	0.52
AB	0.22	6.20	14.83	0.18	8.30	20.01	0.03	1.15	1.91	0.03	2.89	2.61

จากตารางที่ 4.41 และ 4.42 แสดงถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F -test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัส ในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง (ΔF_0) และสัดส่วนของผลต่าง ($\Delta F_0/F_n$) ในทุกปัจจัย การแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบแสดงให้เห็นถึงความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด รองลงมาคือการแปลงแบบยาวและจอห์นสันซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำกว่าการแปลงแบบโลจิท

ตารางที่ 4.43

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงลบในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

Factor (T_0)	Abs($T_0_{\text{natural}} - T_0_{\text{coded}}$)						(Abs($T_0_{\text{natural}} - T_0_{\text{coded}}$))/ $F_{0_{\text{natural}}}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	19.35	0.99	15.54	9.40	2.09	7.11	2.00	0.09	1.65	0.006	0.13	0.22
B	23.15	1.65	18.70	10.76	2.42	7.16	2.00	0.08	1.66	0.006	0.12	0.19
AB	6.95	1.19	5.73	3.23	1.37	3.21	1.99	0.44	1.81	0.02	0.46	1.29

ตารางที่ 4.44

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงบวกในการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

Factor (T_0)	Abs($T_0_{\text{natural}} - T_0_{\text{coded}}$)						(Abs($T_0_{\text{natural}} - T_0_{\text{coded}}$))/ $F_{0_{\text{natural}}}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	0.05	1.20	3.77	0.05	1.67	3.21	0.005	0.11	0.34	0.004	0.15	0.23
B	0.06	1.24	4.23	0.06	1.64	3.71	0.004	0.10	0.31	0.003	0.14	0.21
AB	0.07	1.58	3.36	0.04	1.67	2.13	0.02	0.049	1.05	0.01	0.64	0.76

จากตารางที่ 4.43 และ 4.44 แสดงถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนของค่าสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง (ΔT_0) และสัดส่วนของผลต่าง ($\Delta T_0/T_n$) ในทุกปัจจัย การแปลงข้อมูลแบบยัวร์และจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดในกรณีข้อมูลเชิงลบ และกรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากที่สุดทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ

ตารางที่ 4.45

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F -test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบ ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (F_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	26	26	27	26	26	27	26	26	27	24	25	25
B	27	27	27	27	27	27	27	27	27	25	26	27
AB	14	16	21	14	16	21	11	16	20	14	14	15

ตารางที่ 4.46

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F -test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวก ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (F_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	26	26
B	27	27	27	27	27	27	27	27	27	26	27	27
AB	15	17	21	15	17	20	15	18	21	10	11	13

จากตารางที่ 4.45 และ 4.46 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าสถิติ F -test ของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีเชิงบวกและลบภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ การแปลงแบบเยอว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และผลกระทบร่วม AB ณ ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.025 และ 0.10 น้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติที่ 3 และ 1 ครั้งตามลำดับ ส่วน ณ ระดับนัยสำคัญ (α) ที่ 0.05 มีจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่เท่ากับธรรมชาติ และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่น้อยกว่า

ข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญยกเว้นผลกระทบหลัก B ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.10 และผลกระทบร่วม AB ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.025 ที่ให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่เท่ากับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10 มีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ 1 ครั้ง ส่วนการแปลงแบบเยอว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 มีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ 1 ครั้ง และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่น้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญยกเว้นผลกระทบหลัก B ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ 0.10 ที่ให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่เท่ากับข้อมูลธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐาน F-test ในทุกสถานการณ์ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ สรุปได้ว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพดีกว่าการแปลงแบบเยอว์และจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิตมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.47

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบ ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (T_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	27	27	27	27	27	27	27	27	27	25	25	26
B	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
AB	20	22	23	20	22	23	21	25	25	20	23	26

ตารางที่ 4.48

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

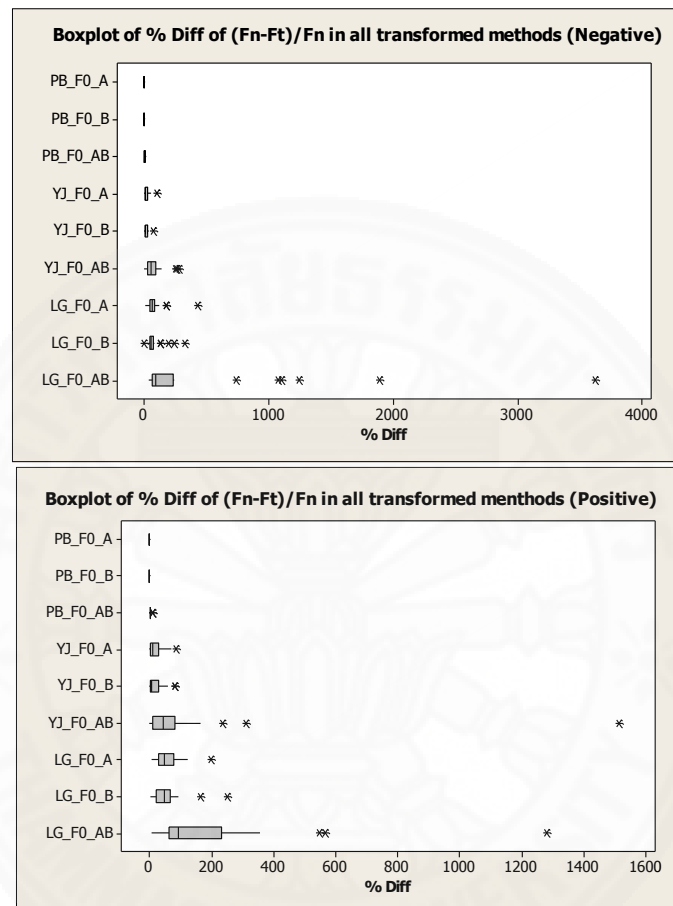
Factor (T_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
B	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
AB	20	22	23	20	22	23	22	23	24	20	23	26

จากตารางที่ 4.47 และ 4.48 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าสถิติ F-test ของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีเชิงบวกและลบภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ทุกระดับนัยสำคัญมีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่น้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบหลัก B ที่ทุกระดับนัยสำคัญมีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักเท่ากับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิกยังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ทุกระดับนัยสำคัญมีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐาน F-test ในทุกสถานการณ์ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ สรุปได้ว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีความประสิทธิภาพมากกว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสันอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการแปลงแบบโลจิกยังคงมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด



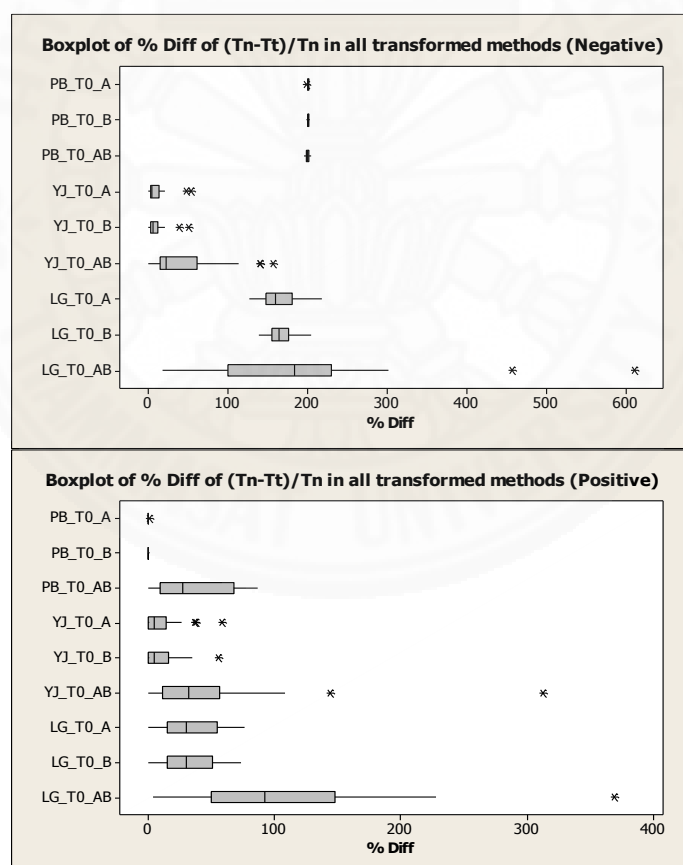
ภาพที่ 4.43 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า F_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.43 แสดงถึงผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างสถิติ F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟ Box-plot พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบพาราโบลิก (PB) มีสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุด แต่ยังมีผลในการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานที่ต่าง

จากข้อมูลธรรมชาติเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 4.45 ส่วนการแปลงแบบเยาร์และจอห์สัน (YJ) ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาทั้งแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูล และการแปลงแบบโลจิท (LG) ให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดโดยมีการกระจายตัวของข้อมูลที่มากและกว้างที่สุด อีกทั้งแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูลอยู่ห่างจากศูนย์กลางมากที่สุด

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิค (PB) ยังคงมีสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางมากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุดซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนการแปลงแบบเยาร์และจอห์สัน (YJ) ให้ผลลัพธ์ยังคงที่มีประสิทธิภาพรองลงมาทั้งแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูล แต่มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีเท่ากับกรณีข้อมูลเชิงลบ และการแปลงแบบโลจิท (LG) ยังคงให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด อีกทั้งการกระจายตัวของข้อมูลและแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูลแต่ให้ผลลัพธ์ที่ด้อยกว่าข้อมูลเชิงลบ



ภาพที่ 4.44 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

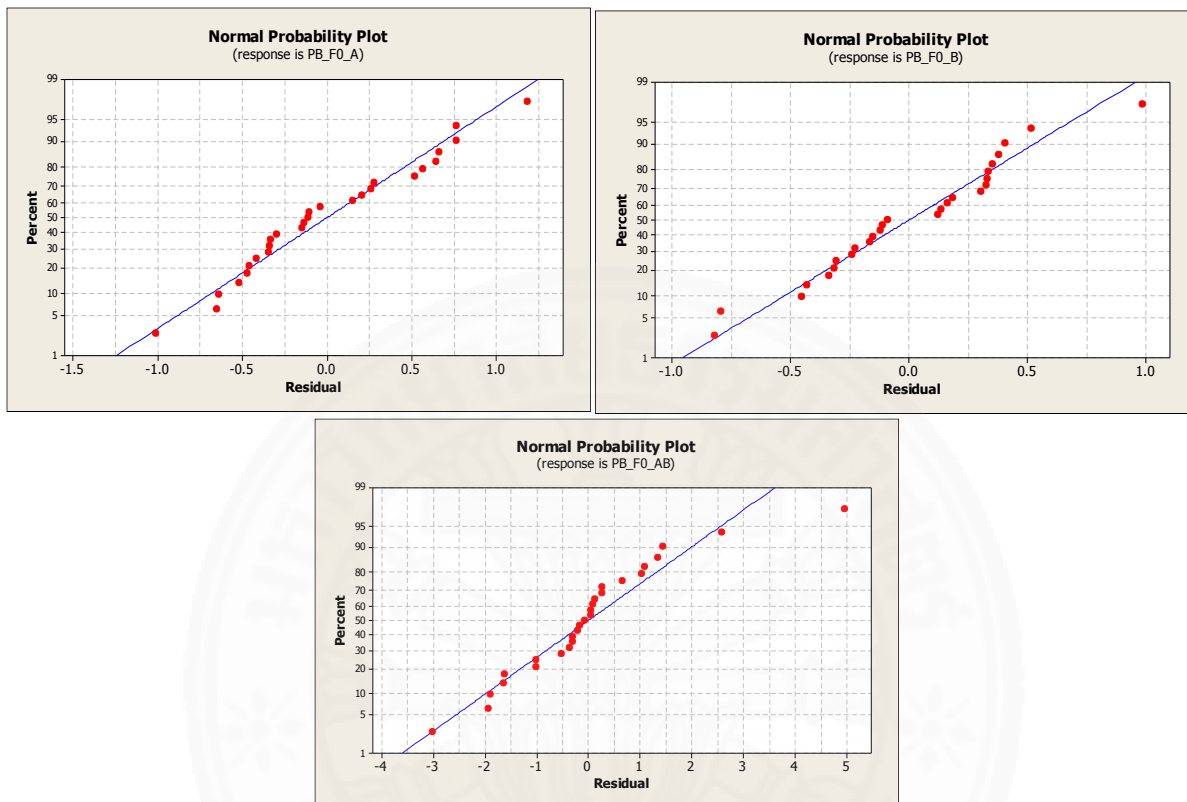
จากภาพที่ 4.44 แสดงถึงผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟ Box-plot พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (YJ) มีสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางมากที่สุด แต่การกระจายตัวของข้อมูลยังมากกว่าเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิก (PB) แต่ยังมีผลในการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานดังแสดงในตารางที่ 4.47 ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิก (PB) มีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุด แต่แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลมีค่ามากที่สุดที่ 200% เนื่องมาจากการแปลงข้อมูลที่ทำให้ข้อมูลกลายเป็นข้อมูลเชิงบวกทำให้ผลการทดสอบทางสถิติ T-test มีผลตรงข้ามแต่ยังคงให้ผลการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และการแปลงข้อมูลแบบโลจิท (LG) มีการกระจายตัวของข้อมูลมากที่สุดแต่แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลยังคงมีแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน

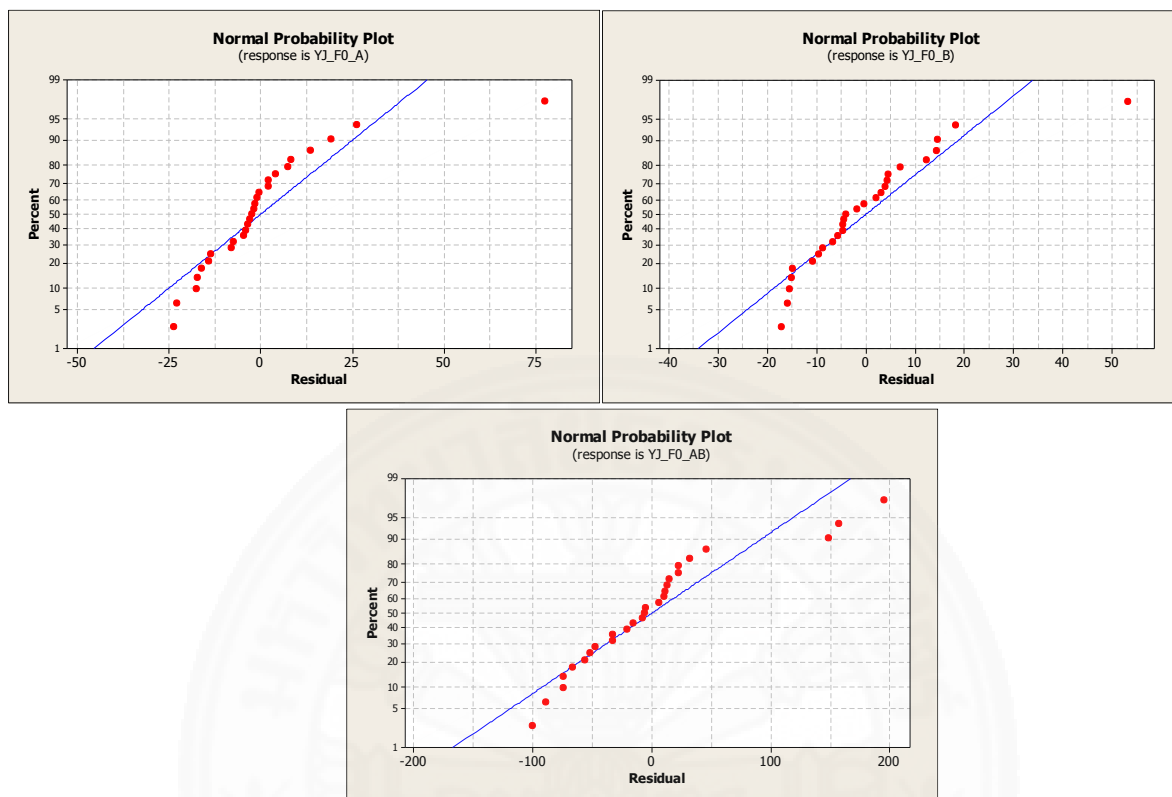
กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิก (PB) สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางมากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุดและไม่มีผลในการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานดังแสดงในตารางที่ 4.48 ส่วนการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (YJ) ยังคงให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาทั้งแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูล แต่มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีเท่ากับกรณีข้อมูลเชิงลบ และการแปลงแบบโลจิท (LG) ยังคงให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด อีกทั้งการกระจายตัวของข้อมูลและแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูลแต่ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าข้อมูลเชิงลบ

จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมขึ้นในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 3 ระดับ และผลตอบสนอง (Response) คือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test $\left(\left| \frac{F_n - F_t}{F_n} \right| \right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 27 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติ

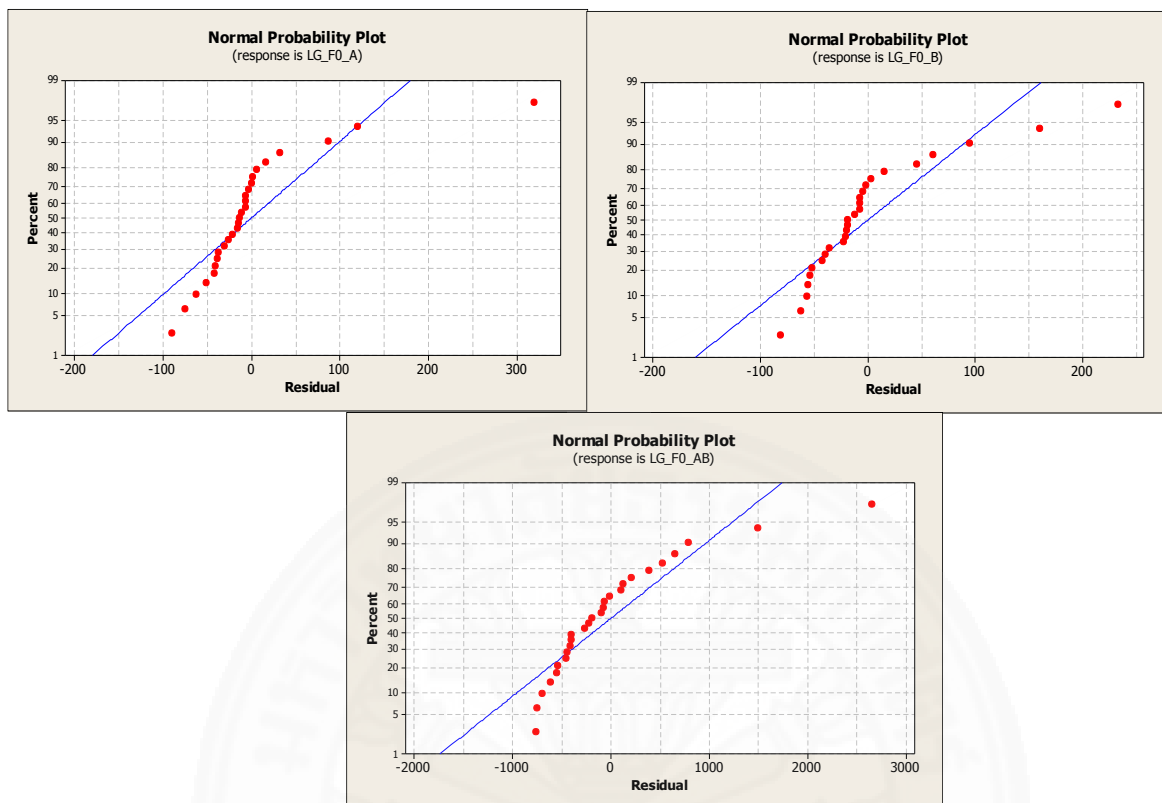
ในทุกปัจจัยดังในภาพที่ 4.45 ถึง 4.50 แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อน
ในปัจจัยหลัก A ,B และปัจจัยร่วม AB



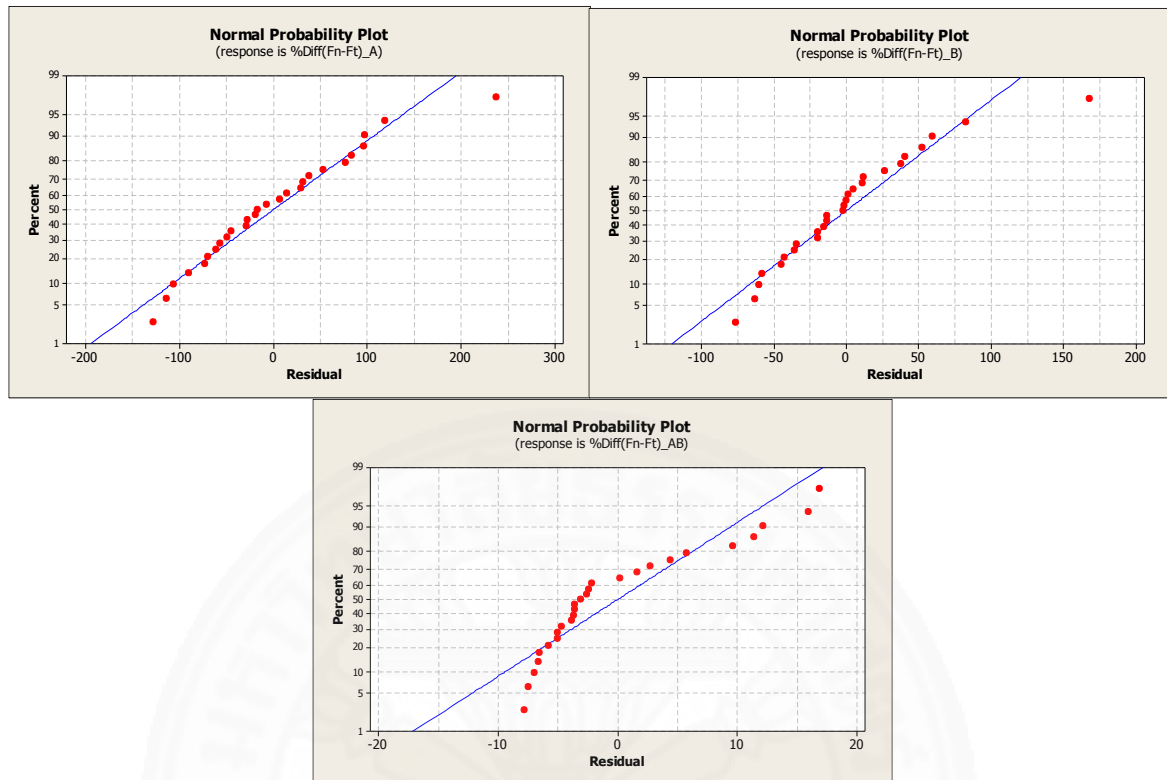
ภาพที่ 4.45 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ)
ของการแปลงแบบพาราโบลาโบลิกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



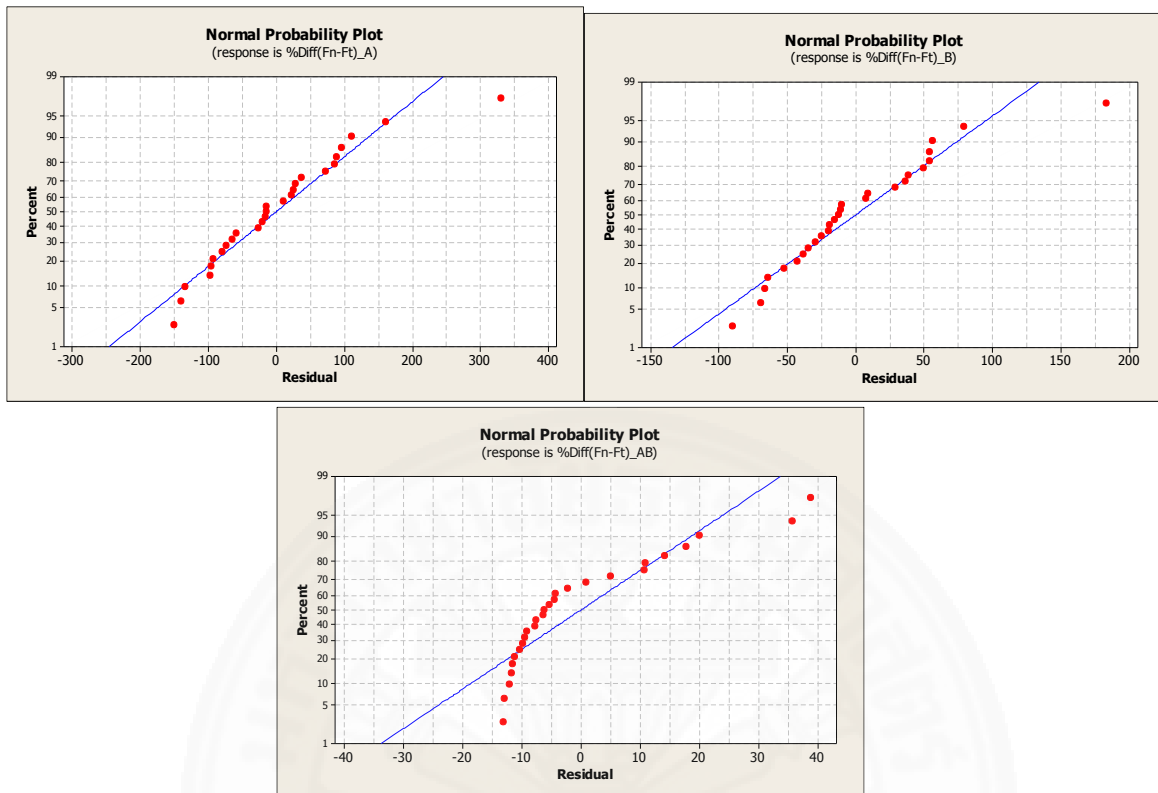
ภาพที่ 4.46 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



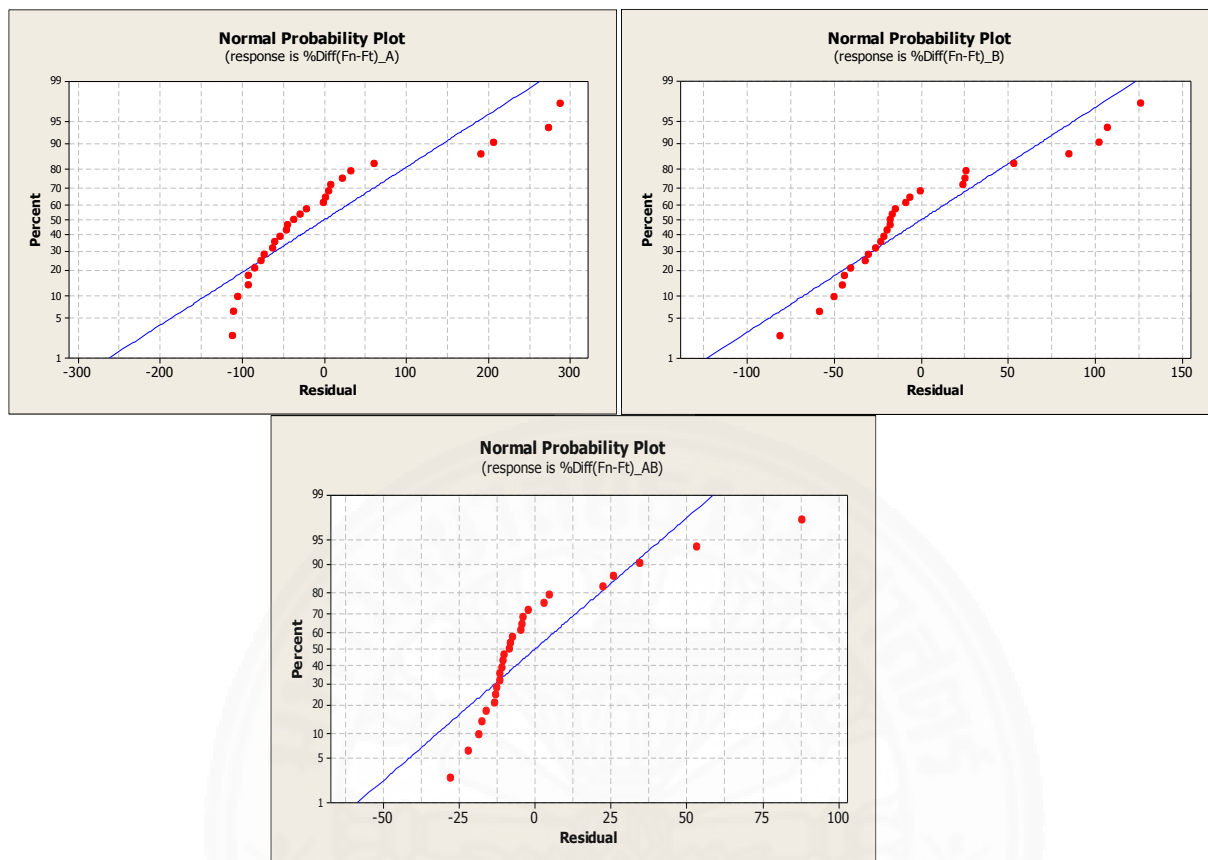
ภาพที่ 4.47 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.48 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



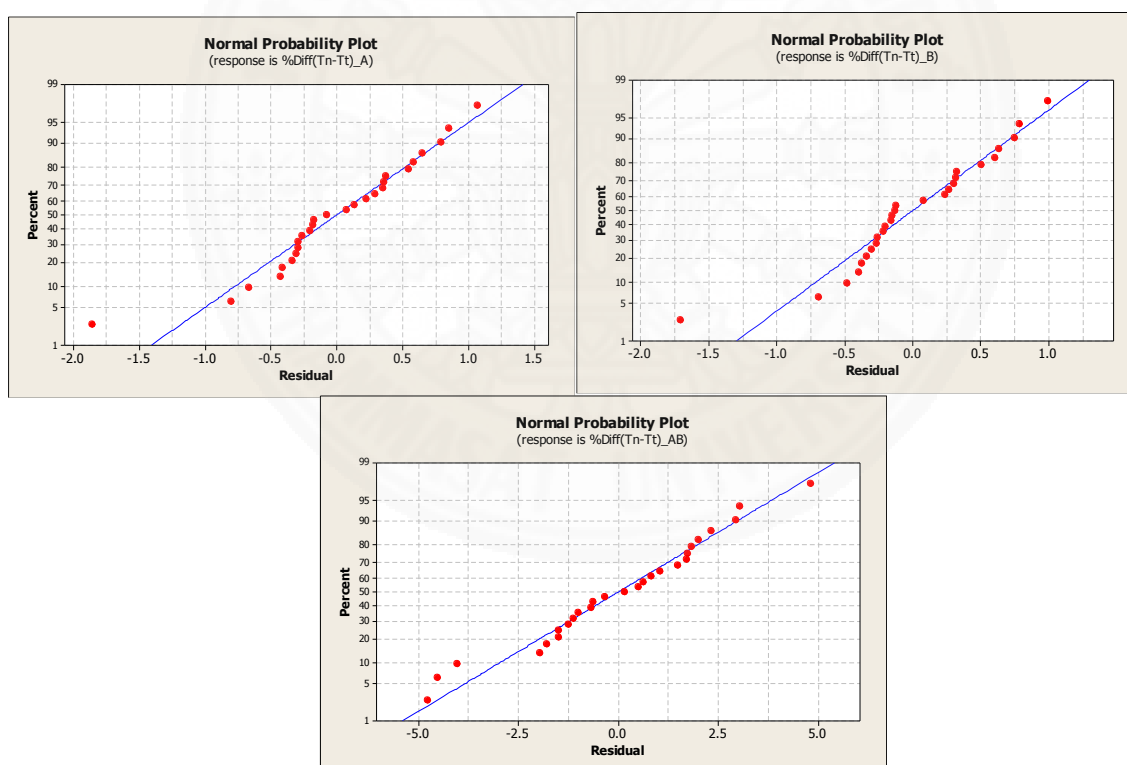
ภาพที่ 4.49 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบยัวร์และจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



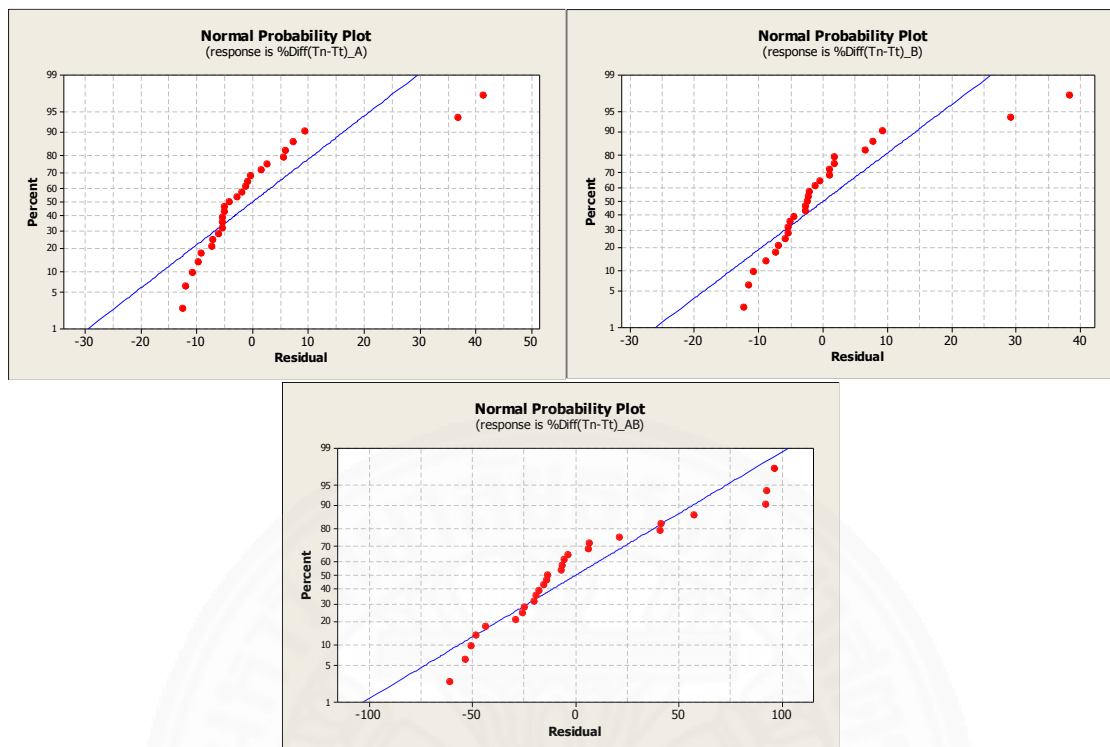
ภาพที่ 4.50 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก)

ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

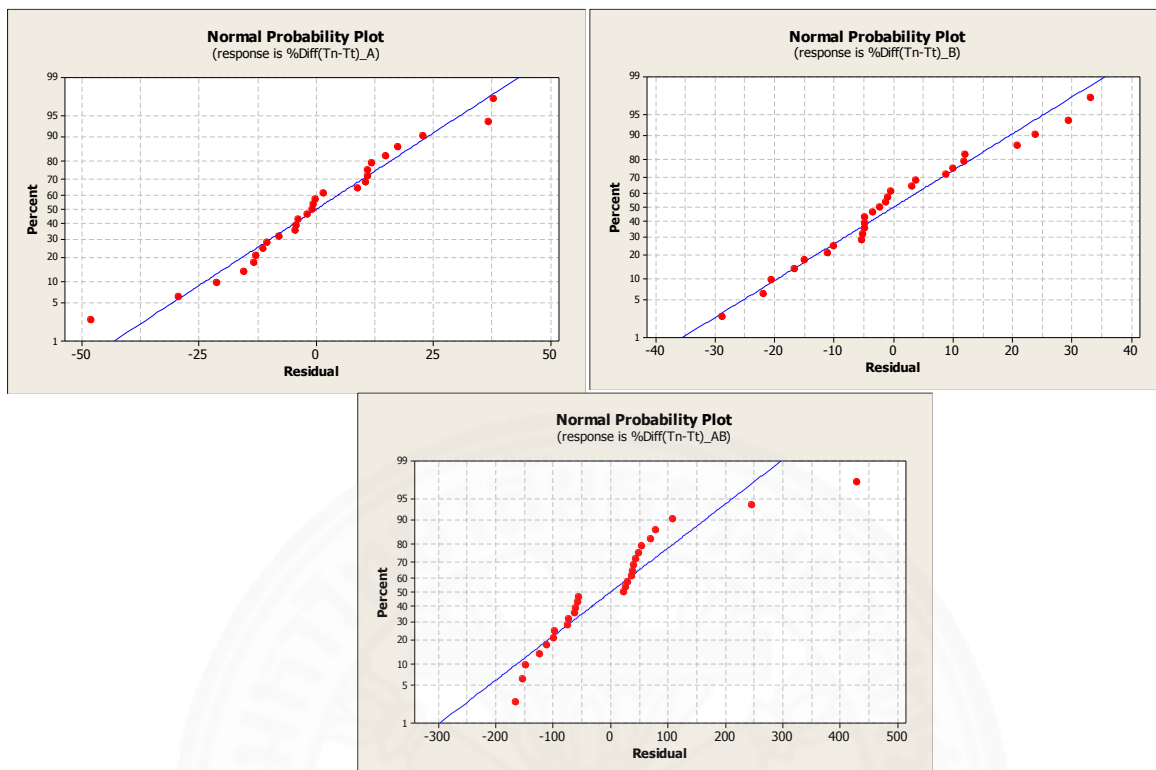
จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมขึ้นในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 3 ระดับ และผลตอบสนอง (Response) คือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test $\left(\left|\frac{T_n - T_t}{T_n}\right|\right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 27 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติในทุกปัจจัยดังในภาพที่ 4.50 ถึง 4.55 แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนในปัจจัยหลัก A ,B และปัจจัยร่วม AB



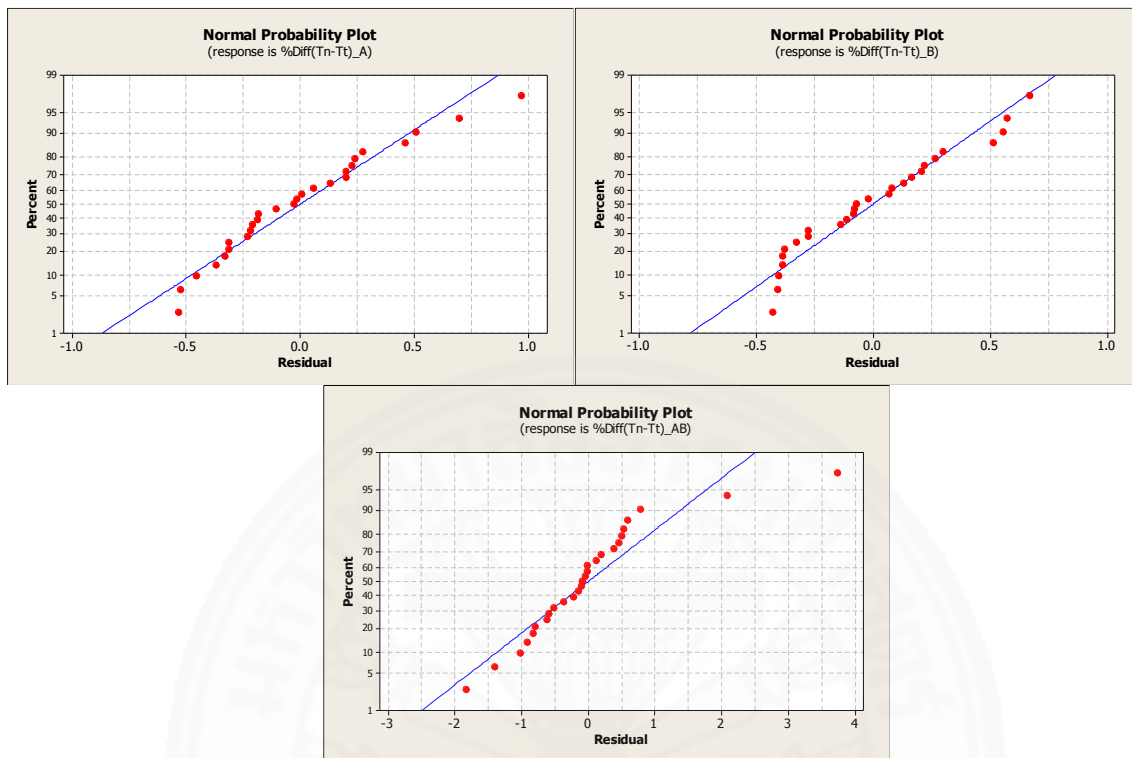
ภาพที่ 4.51 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



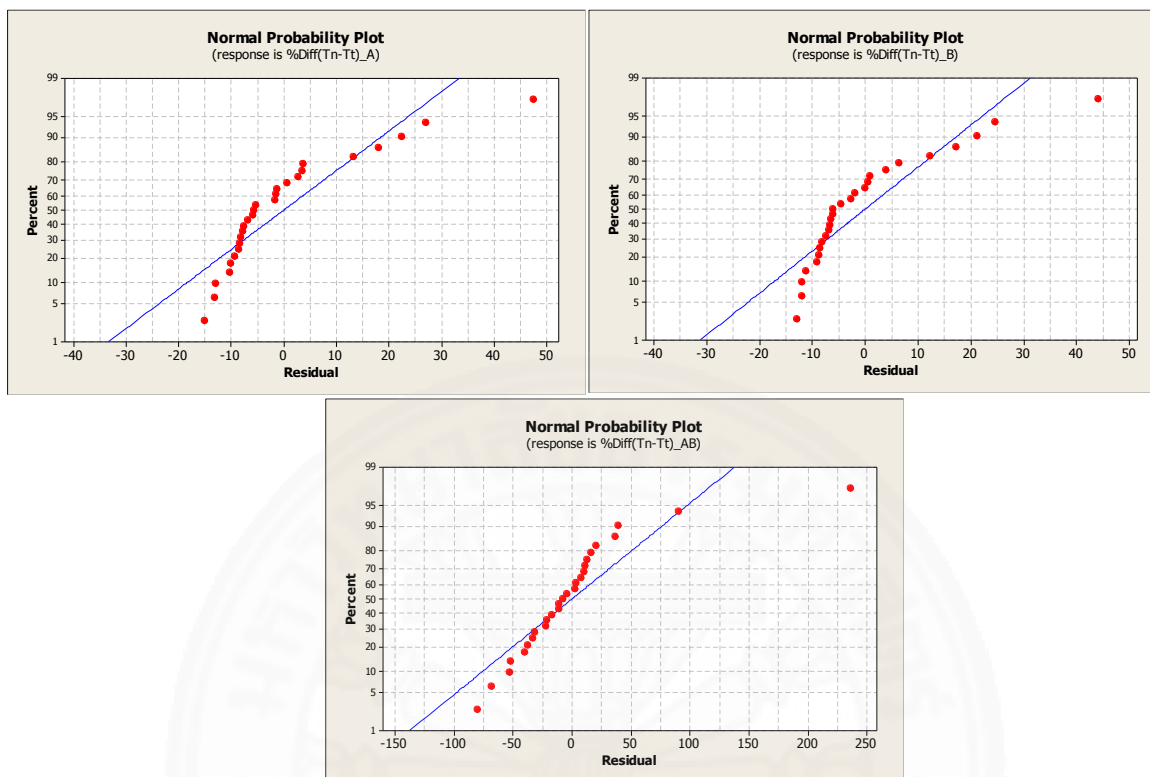
ภาพที่ 4.52 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



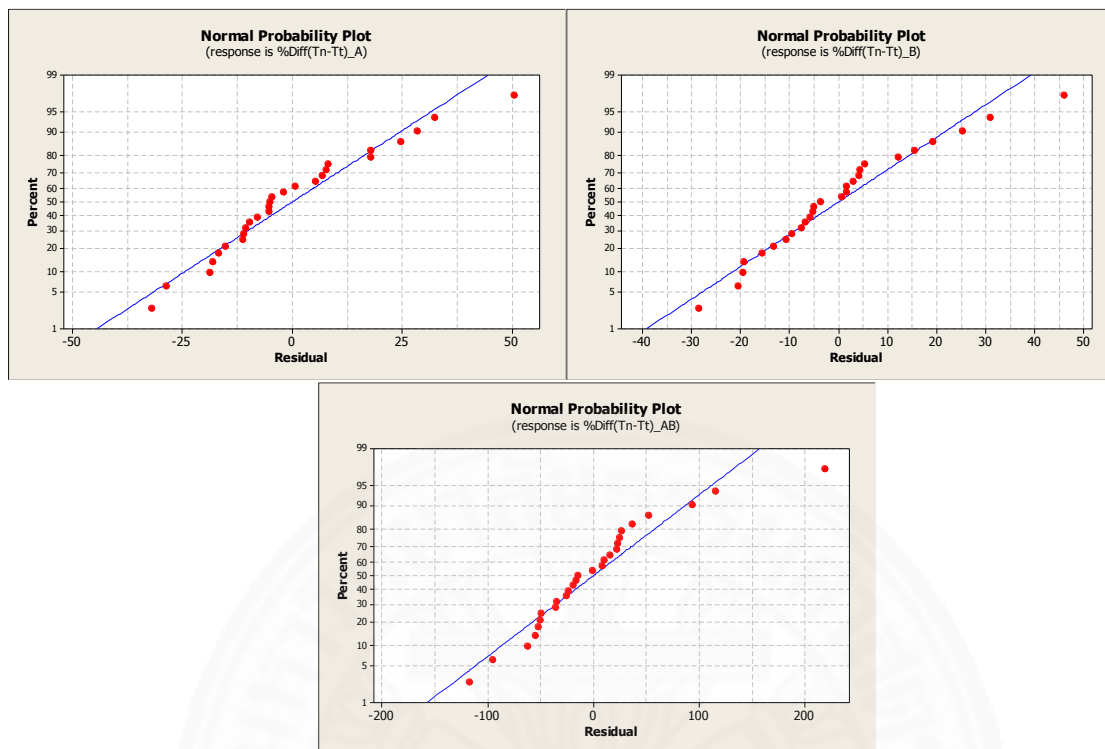
ภาพที่ 4.53 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.54 การตรวจความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบพาราโบลาในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.55 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.56 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากการแสดงกราฟข้างต้น จึงเลือกใช้การทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ในการทดสอบสมมติฐานคือ การทดสอบของครัสคัล-วอลลิส (Kruskal-Wallis Test) สำหรับการทดสอบสมมติฐานเพื่อดูว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยมีผลต่อวิธีการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไรในการหาค่าสถิติ F-test และ T-test ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.49 ถึง 4.60

ตารางที่ 4.49

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Main effect	Median	Z
1	0.8126	0.81	16.511	1.65	63.96	-0.37
2	0.5500	-0.22	12.988	0.29	62.20	0.00
3	0.7379	-0.59	5.305	-1.95	62.77	0.37
H	0.70		4.40		0.18	
P-value	0.706		0.111		0.914	
Inter effect	Median	Z	Median	Inter effect	Median	Z
1	0.5500	-0.62	4.674	1	0.5500	-0.62
2	0.6470	-0.57	12.988	2	0.6470	-0.57
3	0.5912	1.18	13.405	3	0.5912	1.18
H	1.40		1.65		0.45	
P-value	0.496		0.437		0.799	

ตารางที่ 4.50

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	0.7050	0.66	15.149	1.58	53.48	-0.18
2	0.5275	-0.84	10.591	0.11	55.24	0.00
3	0.5128	0.18	6.994	-1.69	53.90	0.18
H	0.79		3.57		0.04	
P-value	0.674		0.168		0.978	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	0.4128	-0.62	4.808	-1.44	53.56	0.57
2	0.5128	-1.08	14.806	0.98	50.04	-1.49
3	1.1250	1.70	8.375	0.46	60.84	0.93
H	2.95		2.16		2.27	
P-value	0.229		0.339		0.322	

ตารางที่ 4.51

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	2.329	-2.09	52.24	-0.59	94.55	-0.99
2	2.684	-1.25	57.67	0.26	98.79	1.36
3	5.046	3.34	59.54	0.33	93.79	-0.37
H	11.39		0.35		1.98	
P-value	0.003		0.841		0.372	
Inter effect						
1	2.470	-0.10	30.14	-0.82	96.68	0.00
2	2.899	0.05	86.44	1.85	93.55	-0.77
3	3.017	0.05	55.99	-1.03	96.39	0.77
H	0.01		3.44		0.79	
P-value	0.995		0.179		0.672	

ตารางที่ 4.52

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	0.2918	-2.17	8.284	-0.73	44.54	0.18
2	0.6444	0.04	8.233	0.44	30.70	-1.83
3	0.9957	2.13	10.174	0.29	68.06	1.65
H	6.15		0.55		4.09	
P-value	0.046		0.761		0.129	
Inter effect						
1	1.2242	2.21	20.449	0.62	34.39	-0.26
2	0.3513	-1.29	6.611	-0.41	43.76	-0.21
3	0.7778	-0.93	10.658	-0.21	65.07	0.46
H	4.93		0.41		0.22	
P-value	0.085		0.821		0.898	

ตารางที่ 4.53

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	0.5046	-1.39	7.257	-0.33	45.73	-0.18
2	0.6579	-0.40	8.126	0.55	25.95	-1.65
3	0.8102	1.80	7.160	-0.22	64.33	1.83
H	3.56		0.31		4.09	
P-value	0.168		0.858		0.129	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	1,0372	2.21	10.833	1.08	43.05	0.26
2	0.5046	-0.98	3.900	-0.82	36.46	-0.36
3	0.4024	-1.23	6.888	-0.26	58.36	0.10
H	4.91		1.27		0.14	
P-value	0.086		0.529		0.934	

ตารางที่ 4.54

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	2.413	-0.73	38.34	-0.40	98.04	1.17
2	1.761	-2.35	49.20	0.92	89.76	-0.48
3	3.313	3.08	38.34	-0.51	92.17	-0.70
H	10.37		0.85		1.40	
P-value	0.005		0.655		0.497	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	2.752	0.87	44.92	0.05	93.38	0.05
2	2.841	0.46	49.86	0.32	93.40	0.82
3	2.310	-1.34	37.26	0.67	90.97	-0.82
H	1.84		0.55		0.96	
P-value	0.398		0.758		0.618	

จากการทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ของข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า

การแปลงแบบพาราโบลิก กรณีข้อมูลเชิงลบและบวก ปัจจัยหลัก A และ B ขนาดของผลกระทบหลัก (Main effect) และผลกระทบร่วม (Inter effect) ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานพบว่า สัดส่วนของผลต่างค่าสถิติ F-test แปรผันตรงกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลัก และกรณีข้อมูลเชิงลบให้ผลการทดสอบสมมติฐานที่เหมือนกับกรณีข้อมูลเชิงลบ

การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน การแปลงแบบโลจิต ทั้งกรณีข้อมูลเชิงลบและบวกให้ผลการทดสอบสมมติฐานที่เหมือนกันคือ ปัจจัยหลัก A, B, และผลกระทบร่วม AB ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้

จากการทดสอบ Kruskal-Wallis สรุปได้ว่า การแปลงแบบพาราโบลิกทั้งในกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก ผลกระทบร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ส่วนผลกระทบหลักมีผลต่อปัจจัยร่วม AB ซึ่งประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลแปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลัก การแปลงแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิต ทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล อย่างไรก็ตาม การแปลงแบบพาราโบลิกมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยน้อยที่สุดแต่ยังคงมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแปลงข้อมูลมากที่สุดทั้งกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก ในการทดสอบแบบไม่อ้างอิงพารามิเตอร์ไม่สามารถอธิบายผลลัพธ์ของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ของ Main effect และ Interaction effect ได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสองมีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 4.55

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	199.7	-1.87	5.694	0.22	177.4	2.64
2	200.3	1.50	4.399	-0.11	157.6	-0.51
3	200.2	0.37	6.031	-0.11	150.3	-2.13
H	3.93		0.05		7.85	
P-value	0.140		0.976		0.02	
Inter effect						
1	200.1	-0.05	2.418	-1.70	174.9	0.87
2	200.1	0.36	11.157	2.67	152.4	-0.51
3	199.9	-0.31	2.869	-0.98	157.9	-0.36
H	0.15		7.33		0.77	
P-value	0.927		0.026		0.680	

ตารางที่ 4.56

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	199.7	-1.76	5.491	0.15	172.0	2.50
2	200.3	1.36	5.759	-0.44	164.2	-0.07
3	200.1	0.40	5.491	0.29	155.5	-2.42
H	3.41		0.20		8.07	
P-value	0.182		0.904		0.018	
Inter effect						
1	200.0	0.46	2.485	-1.65	166.2	0.87
2	200.2	0.21	10.821	2.93	157.4	-0.51
3	199.7	-0.67	1.816	-1.29	166.7	-0.36
H	0.47		8.64		0.77	
P-value	0.791		0.013		0.680	

ตารางที่ 4.57

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	200.4	0.66	20.36	-0.59	123.8	0.26
2	199.9	-0.44	22.04	-0.07	188.8	0.55
3	199.1	-0.22	31.61	0.66	190.9	-0.81
H	0.45		0.52		0.68	
P-value	0.797		0.769		0.711	
Inter effect						
1	200.9	0.36	13.84	-1.08	109.5	0.10
2	199.0	-0.41	60.29	2.62	205.4	0.46
3	199.9	0.05	21.11	-1.54	183.7	-0.57
H	0.20		6.95		0.36	
P-value	0.904		0.031		0.834	

ตารางที่ 4.58

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	0.3640	-0.81	4.303	-0.95	21.93	-1.10
2	0.4466	0.00	5.679	1.36	26.20	-1.05
3	0.3943	0.81	4.303	-0.40	45.54	2.15
H	0.87		1.95		6.54	
P-value	0.647		0.378		0.038	
Inter effect						
1	0.3985	-0.41	2.790	-0.57	34.84	1.03
2	0.3640	0.10	3.805	-0.26	30.13	-0.57
3	0.3902	0.31	4.826	-0.82	26.20	-0.46
H	0.81		0.71		1.06	
P-value	0.912		0.702		0.588	

ตารางที่ 4.59

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก B (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	0.4367	0.15	5.074	-0.15	19.05	-1.47
2	0.3090	-0.59	4.348	0.92	27.71	-1.21
3	0.3892	0.44	3.704	-0.77	40.22	2.68
H	0.37		0.97		7.21	
P-value	0.829		0.615		0.027	
Inter effect						
1	0.3435	-0.26	3.270	-0.36	32.57	1.44
2	0.3581	0.21	5.426	0.57	29.84	-1.13
3	0.4222	0.05	3.891	-0.21	25.58	-0.31
H	0.07		0.33		2.30	
P-value	0.964		0.849		0.317	

ตารางที่ 4.60

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	29.46	1.43	32.31	-0.59	92.05	-0.55
2	21.14	-0.26	37.91	1.25	91.91	0.29
3	22.89	-1.17	21.72	-0.66	97.60	0.26
H	2.33		1.56		0.30	
P-value	0.312		0.458		0.859	
Inter effect						
1	1.972	0.41	29.55	0.05	82.14	0.21
2	1.789	0.10	37.86	0.26	100.92	0.87
3	1.662	-0.51	19.82	-0.31	89.14	-1.08
H	0.13		0.11		1.32	
P-value	0.862		0.947		0.518	

จากการทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ของข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า

การแปลงแบบพาราโบลิก ทั้งกรณีข้อมูลเชิงลบและบวกให้ผลการทดสอบสมมติฐานที่เหมือนกันคือ ปัจจัยหลัก A ,B, และผลกระทบรวม AB ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้

การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสัน กรณีข้อมูลเชิงลบ ขนาดของผลกระทบหลัก (Main effect) ที่มีผลต่อปัจจัย A, B, และ AB ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนขนาดของผลกระทบร่วม (Inter effect) ที่มีต่อปัจจัย A, B, และ AB ปฏิเสธสมมติฐานหลัก เมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานพบว่า สัดส่วนของผลต่างค่าสถิติ T-test แปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบร่วม และกรณีข้อมูลเชิงบวก ปัจจัย A, B, และ AB ขนาดของผลกระทบหลัก (Main effect) และผลกระทบร่วม (Inter effect) ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักในทุกปัจจัยได้

การแปลงแบบโลจิต กรณีข้อมูลเชิงลบและบวก ลบ ขนาดของผลกระทบหลัก (Main effect) ที่มีผลต่อปัจจัย A, B ปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และผลกระทบร่วม AB (Inter effect) ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ในทุกปัจจัย เมื่อพิจารณาค่า มัธยฐานพบว่า สำหรับกรณีข้อมูลเชิงลบ สัดส่วนของผลต่างค่าสถิติ T-test แปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลัก และกรณีข้อมูลเชิงบวก สัดส่วนของผลต่างค่าสถิติ T-test แปรผันตรงกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลัก

จากการทดสอบ Kruskal-Wallis สรุปได้ว่า การแปลงแบบพาราโบลิกทั้งในกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันกรณีข้อมูลเชิงลบ ผลกระทบร่วมมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลในทุกปัจจัย ซึ่งประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลแปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลัก ส่วนกรณีข้อมูลเชิงบวก ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล การแปลงข้อมูลแบบโลจิตกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก ผลกระทบหลักมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก A และ B ซึ่งประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลแปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลักสำหรับกรณีข้อมูลเชิงบวก และ แปรผันตรงกับขนาดอิทธิพลของผลกระทบหลัก อย่างไรก็ตาม การแปลงแบบพาราโบลิกมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากที่สุดทั้งกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก แต่มีประสิทธิภาพและความแม่นยำการแปลงข้อมูลดีที่สุดในกรณีข้อมูลเชิงบวก ส่วนกรณีข้อมูลเชิงลบการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพของความแม่นยำในการแปลงข้อมูลที่ดีที่สุดใน การทดสอบแบบไม่อ้างอิงพารามิเตอร์ ไม่สามารถอธิบายผลลัพธ์ของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ของ Main effect และ

Interaction effect ได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสองมีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

4.1.2 กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

ในกรณีนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยเป็นปัจจัยหลัก ร่วมกับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มที่เป็นปัจจัยรบกวนภายนอก โดยที่ที่ใช้ในการจำลอง และวิเคราะห์ผลในการเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล มีปัจจัยหลักคือ A และ B ที่มีระดับปัจจัยอยู่ที่ 2 และ 3 ระดับ ตามลำดับ และปัจจัยร่วมของปัจจัยหลักคือ AB ส่วนปัจจัยรบกวนมีจำนวน 3 ปัจจัยคือ m, n, และ o ที่มีระดับปัจจัยในแต่ละปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ โดยกำหนดเงื่อนไขของข้อมูลตามจำนวนระดับของปัจจัยซึ่งจะได้ชุดการจำลองข้อมูลทั้งหมด 1,458 สถานการณ์

4.1.2.1 การจำลองข้อมูล

การจำลองข้อมูลจะใช้ค่าเฉลี่ยของสมการที่มีค่าเป็นบวกและลบ โดยใช้โปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปในการจำลองข้อมูล และเปรียบเทียบผลเบื้องต้นทางสถิติ รวมถึงการกระจายของข้อมูลกับโปรแกรมมินิแทบเพื่อยืนยันความถูกต้องในการเขียนโปรแกรมก่อนทำรันโปรแกรมในทุกสถานการณ์ต่อไป

(1) ข้อมูลเชิงลบ

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยแมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 41 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่ากับ -10 ผลกระทบของปัจจัยหลัก A, B, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -2, -3, และ 1 ตามลำดับ ผลกระทบของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 0.5, 2, และ 1 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.61

ตารางที่ 4.61

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณา
ปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		-14.962	-11.934	-10.775	-6.091	-11.011	-6.612	-7.175	-3.181
	-1	0	0		-20.666	-18.157	-18.563	-13.083	-17.465	-15.647	-15.255	-10.187
	-1	1	-1		-16.259	-6.422	-9.285	-5.329	-9.273	-7.069	-4.630	-2.865
	1	-1	-1		-17.138	-11.231	-14.205	-11.208	-14.303	-10.810	-11.712	-6.030
	1	0	0		-12.181	-9.850	-8.624	-3.783	-8.206	-7.444	-4.602	-0.665
	1	1	1		-14.808	-6.465	-8.010	-3.870	-10.287	-4.062	-5.741	-0.872
2	-1	-1	1		-14.407	-11.507	-12.589	-8.992	-11.692	-7.677	-8.305	-4.648
	-1	0	0		-21.391	-16.967	-18.467	-15.242	-17.611	-14.696	-13.803	-10.395
	-1	1	-1		-14.864	-10.770	-9.448	-7.062	-10.765	-4.581	-5.165	-1.278
	1	-1	-1		-17.923	-13.629	-12.899	-7.650	-15.402	-9.708	-10.244	-3.415
	1	0	0		-13.714	-8.726	-6.956	-5.116	-9.922	-4.302	-4.284	-1.167
	1	1	1		-14.614	-8.383	-9.414	-4.752	-9.012	-3.912	-6.666	-1.313

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติ

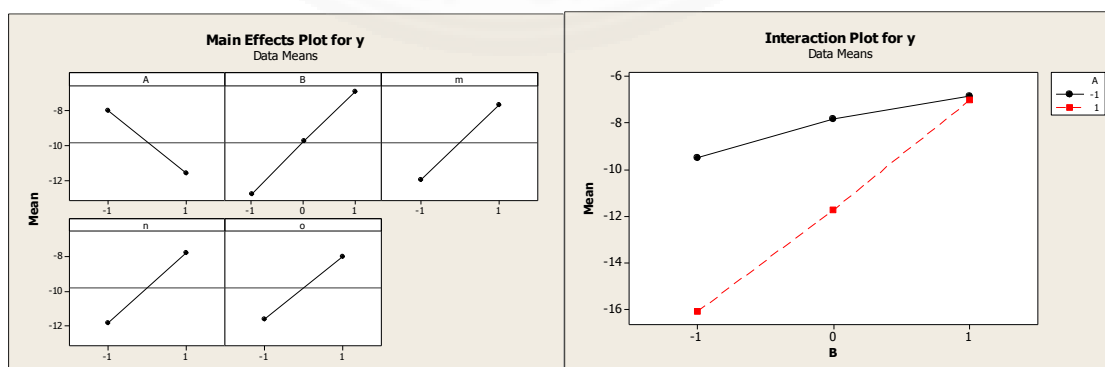
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแพบ เนื่องจากโปรแกรมนี้ไม่มีรูปแบบการทดลองที่กำหนดไว้ จึงเลือกใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 5 ปัจจัย (ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยและปัจจัยรบกวน 3 ปัจจัย) โดยมีผลกระทบร่วมเพียงปัจจัย A และ B เท่านั้น ส่วนผลกระทบร่วมที่เหลือจะไม่นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองแต่จะนำผลลัพธ์ทั้งหมดไปคิดวิเคราะห์รวมกับในส่วนของความคลาดเคลื่อน (error) ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติในชุดข้อมูลเชิงลบที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.62

ตารางที่ 4.62

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ของ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	305.029	1	305.029	130.356	0.000
Factor B	549.085	2	274.543	117.327	0.000
Interaction of AB	168.435	2	84.218	35.990	0.000
Noise factor m	441.806	1	441.806	188.808	0.000
Noise factor n	389.738	1	389.738	166.556	0.000
Noise factor o	312.868	1	312.868	133.705	0.000
Error	112.319	48	2.339		
Total	2279.280	95			

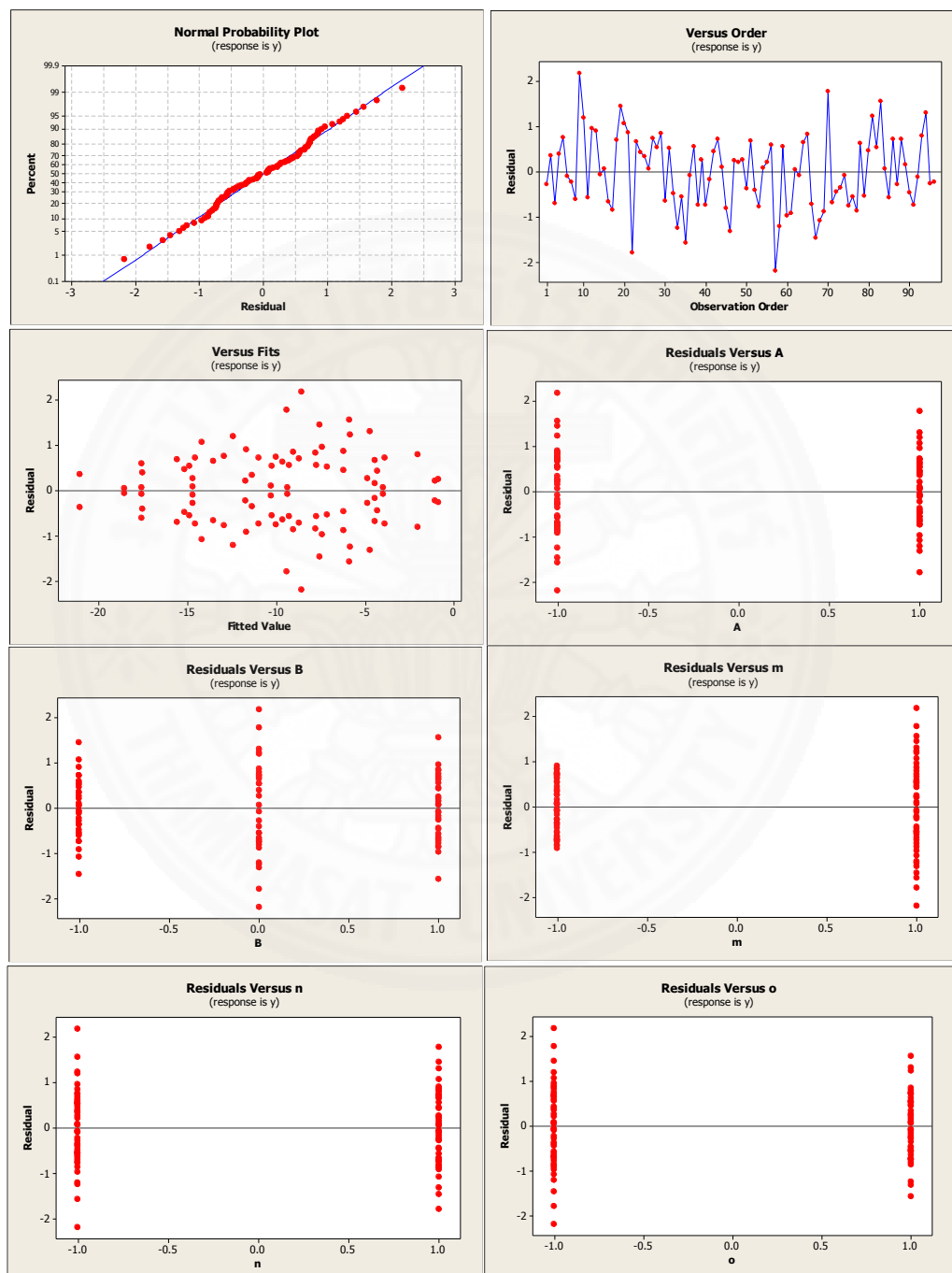
จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 พบว่าค่าอิทธิพลในแต่ละปัจจัยหลักของปัจจัย A มีค่า 130.356, ปัจจัย B มีค่า 117.32, และปัจจัยร่วม AB มีค่า 35.990 ค่าอิทธิพลของปัจจัยรบกวน m มีค่า 188.808, ปัจจัย n มีค่า 166.556, และ ปัจจัย o มีค่า 133.705 ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานของชุดข้อมูลนี้คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนทุกปัจจัย โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมแสดงดังภาพที่ 4.57



ภาพที่ 4.57 กราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137

ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขสมมติฐานของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Residual Analysis) ดังภาพที่ 4.58



ภาพที่ 4.58 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137

ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากกราฟวิเคราะห์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่าผิดพลาดของชุดข้อมูลนั้นผ่านเงื่อนไขทั้งการแจกแจงข้อมูลที่เป็นปกติ อีกทั้ง ความเป็นอิสระและความแปรปรวนคงที่ สามารถใช้ในการทดลองต่อไปได้

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบในชุดข้อมูลที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.63 และ 4.64

ตารางที่ 4.63

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-9.8275	0.1154	-85.13	0.000
Factor A	-1.7825	0.1154	-15.44	0.000
Factor B	2.9286	0.1414	20.71	0.000
Interaction of AB	1.6157	0.1414	11.43	0.000
Noise factor m	2.1453	0.1154	18.58	0.000
Noise factor n	2.0149	0.1154	17.45	0.000
Noise factor o	1.8053	0.1154	15.64	0.000

ตารางที่ 4.64

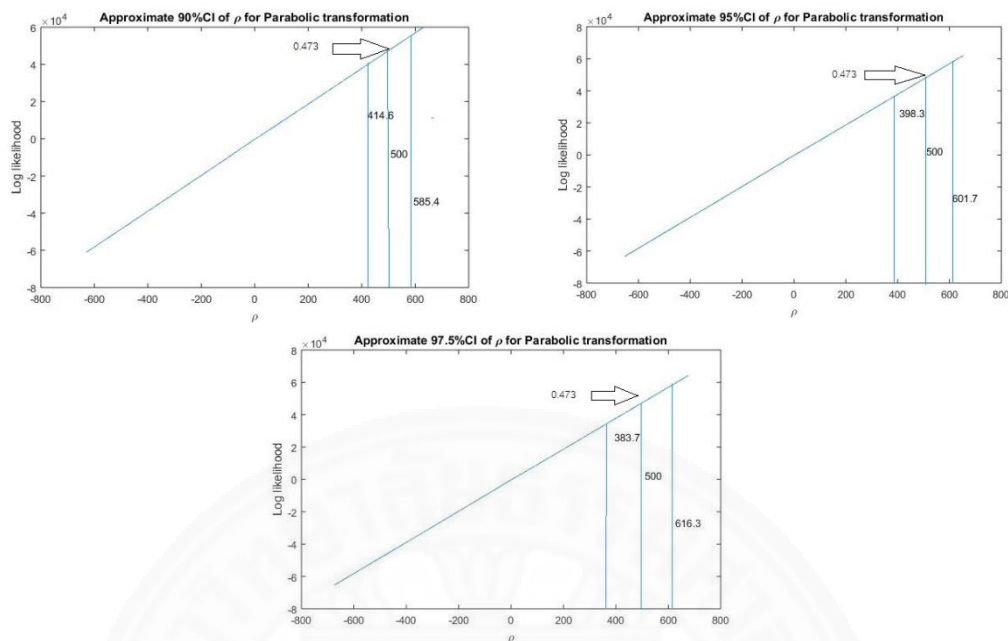
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	2165.42	360.90	282.11	0.000
Residual Error	89	113.86	1.28		
Total	95	2279.28			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ t ในตารางที่ 4.63 มีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นตัวแปรอิสระในสมการ A, B, AB, m, n, และ o มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.64) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแล็บเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลิก

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแล็บโดยใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.59



ภาพที่ 4.59 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.59 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลามีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลิก โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.4273×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลิกจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลิกที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.65

ตารางที่ 4.65

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง
GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		265186.2	262076.0	260890.7	256128.1	261132.4	256655.3	257226.3	253190.9
	-1	0	0		271093.2	268487.1	268907.6	263254.0	267770.3	265891.9	265487.6	260290.9
	-1	1	-1		266523.2	256462.8	259371.5	255356.9	259359.1	257118.8	254651.1	252873.1
	1	-1	-1		267431.5	261356.7	264406.7	261333.1	264508.0	260926.3	261848.7	256066.4
	1	0	0		262329.6	259946.9	258698.5	253797.1	258273.5	257499.7	254623.4	250665.3
	1	1	1		265027.0	256506.9	258074.5	253884.7	260393.1	254078.1	255774.4	250873.1
2	-1	-1	1		264614.3	261639.3	262747.5	259072.4	261829.1	257736.3	258373.4	254669.6
	-1	0	0		271848.3	267255.3	268808.5	265474.6	267921.6	264912.0	263993.9	260503.2
	-1	1	-1		265084.6	260885.7	259536.7	257111.4	260880.7	254601.7	255191.6	251279.4
	1	-1	-1		268243.9	263814.4	263065.8	257708.1	265639.5	259802.7	260348.6	253426.2
	1	0	0		263902.2	258801.7	257004.2	255141.8	260020.8	254320.7	254302.7	251168.3
	1	1	1		264827.1	258452.9	259502.7	254774.5	259093.0	253927.6	256710.3	251314.4

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

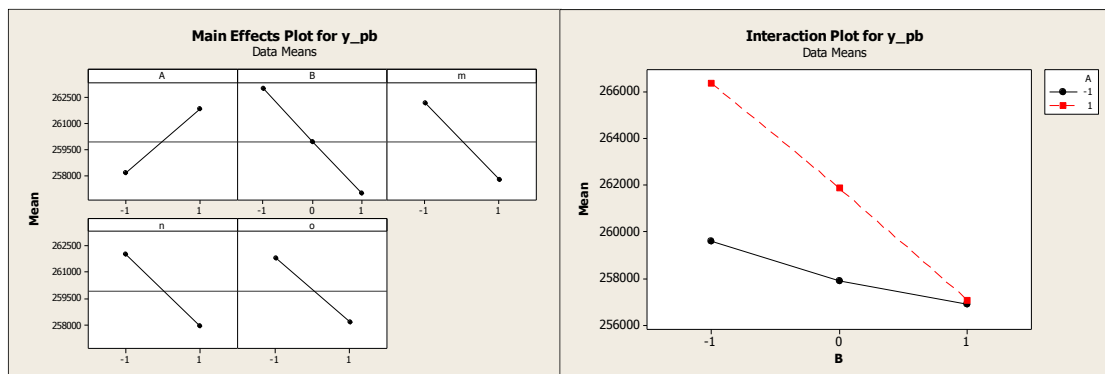
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลง
แบบพาราโบลิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความ
แปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิกในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.66

ตารางที่ 4.66

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีจุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

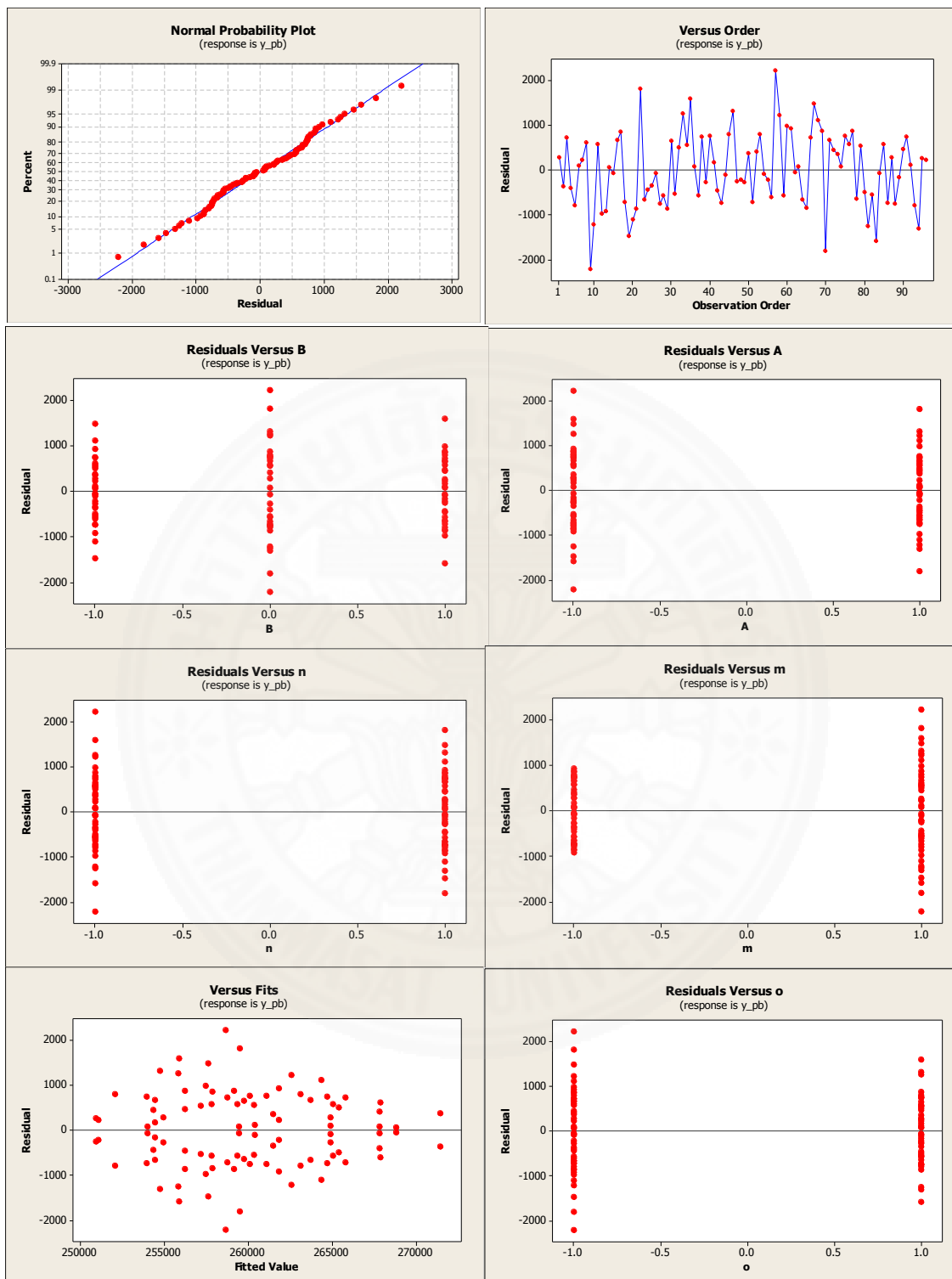
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	319,332,385	1	319,332,385	131.973	0.000
Factor B	572,360,033	2	286,180,016	118.272	0.000
Interaction of AB	176,914,730	2	88,457,365	36.557	0.000
Noise factor m	459,222,512	1	459,222,512	189.786	0.000
Noise factor n	405,018,061	1	405,018,061	167.385	0.000
Noise factor o	325,249,578	1	325,249,578	134.418	0.000
Error	116,144,470	48	2419676.458		
Total	2,374,241,769	95			

จากตารางที่ 4.66 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีในชุดข้อมูลที่ 137 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 131.973 และ 118.272 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 36.557 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 189.786, 167.385, และ 134.418 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 130.356 และ 117.327 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 35.990 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 188.808, 166.556, และ 133.705 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกัน และมีความแตกต่างกันมากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีมีลักษณะตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.59 เนื่องจากข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกด้วยการยกกำลังสองและบวกด้วยตัวแปรที่มีค่าบวกที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ



ภาพที่ 4.60 กราฟและกระทบทหลักและผลกระทบทร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.61



ภาพที่ 4.61 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสสลับเข้าพาราโบลิกชุดที่ 137
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิกในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.67 และ 4.68

ตารางที่ 4.67

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	259,948	117.0	2,215.16	0.000
Factor A	1824	117.3	15.54	0.000
Factor B	-2990	143.7	-20.80	0.000
Interaction of AB	-1657	143.7	-11.53	0.000
Noise factor m	-2187	117.3	-18.64	0.000
Noise factor n	-2054	117.3	-17.50	0.000
Noise factor o	-1841	117.3	-15.69	0.000

ตารางที่ 4.68

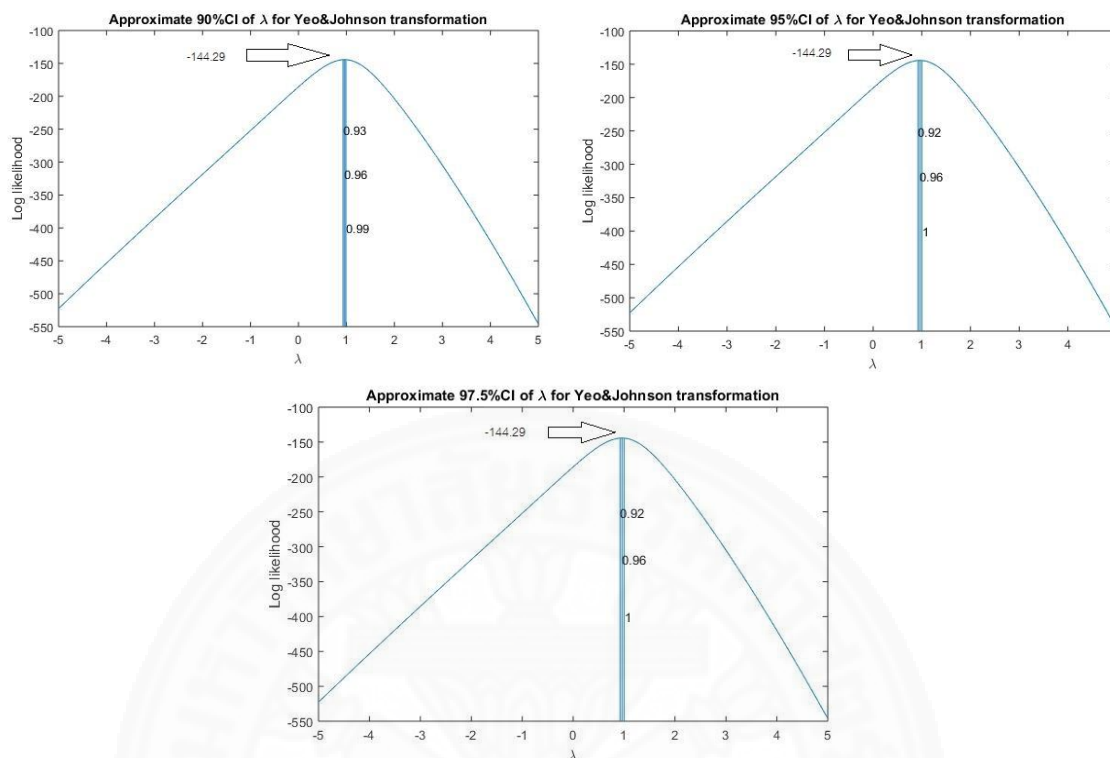
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	2,256,582,832	376097139	284.49	0.000
Residual Error	89	117,658,937	1322011		
Total	95	2,374,241,769			

จากตารางที่ 4.67 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 15.54, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -20.80, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -11.53 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ -18.64, -17.50, และ -15.69 ตามลำดับ ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.40, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.71, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.43 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 18.58, 17.45, และ 15.64 ตามลำดับ ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาที่มีค่าที่ใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณแต่เครื่องหมายตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเพราะข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกทำให้เครื่องหมายของค่าทางสถิติตรงข้ามกัน แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.68 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาที่มีค่าเท่ากับ 284.49 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 282.11 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังยาวและจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.62



ภาพที่ 4.62 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิง
 ลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.62 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการเยว์และจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.96 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -144.29 และช่วงของค่าตัวแปรเยว์และจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการเยว์และจอห์นสันที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.69

ตารางที่ 4.69

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาว์และจอห์นสันจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		-16.185	-12.816	-11.534	-6.412	-11.795	-6.976	-7.588	-3.295
	-1	0	0		-22.599	-19.768	-20.225	-14.091	-18.990	-16.951	-16.512	-10.886
	-1	1	-1		-17.636	-6.770	-9.895	-5.590	-9.881	-7.473	-4.839	-2.961
	1	-1	-1		-18.622	-12.038	-15.340	-12.012	-15.450	-11.572	-12.570	-6.347
	1	0	0		-13.090	-10.515	-9.170	-3.934	-8.713	-7.881	-4.810	-0.672
	1	1	1		-16.013	-6.817	-8.499	-4.027	-10.997	-4.232	-6.035	-0.885
2	-1	-1	1		-15.565	-12.343	-13.542	-9.572	-12.548	-8.135	-8.820	-4.859
	-1	0	0		-23.419	-18.431	-20.117	-16.498	-19.154	-15.888	-14.893	-11.115
	-1	1	-1		-16.075	-11.528	-10.073	-7.465	-11.523	-4.787	-5.414	-1.302
	1	-1	-1		-19.504	-14.698	-13.887	-8.105	-16.677	-10.359	-10.949	-3.543
	1	0	0		-14.793	-9.281	-7.350	-5.361	-10.595	-4.489	-4.469	-1.188
	1	1	1		-15.796	-8.906	-10.036	-4.970	-9.595	-4.072	-7.035	-1.338

7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสัน

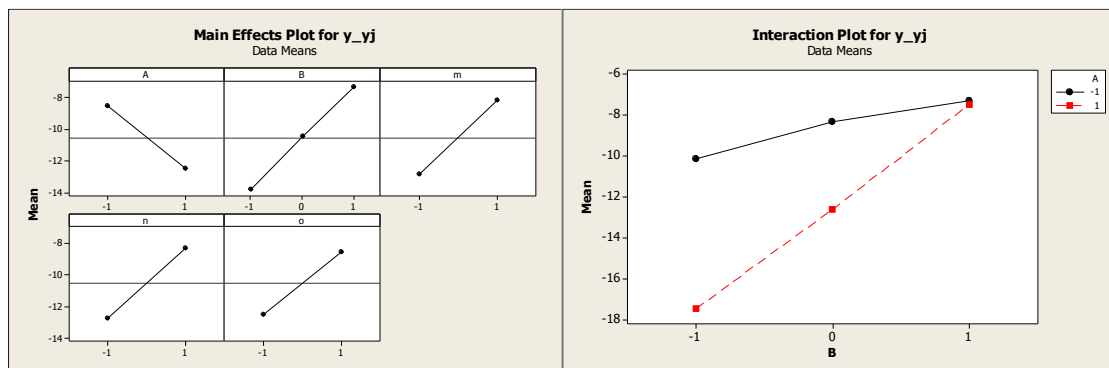
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของเยาว์และจอห์นสันในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.70

ตารางที่ 4.70

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

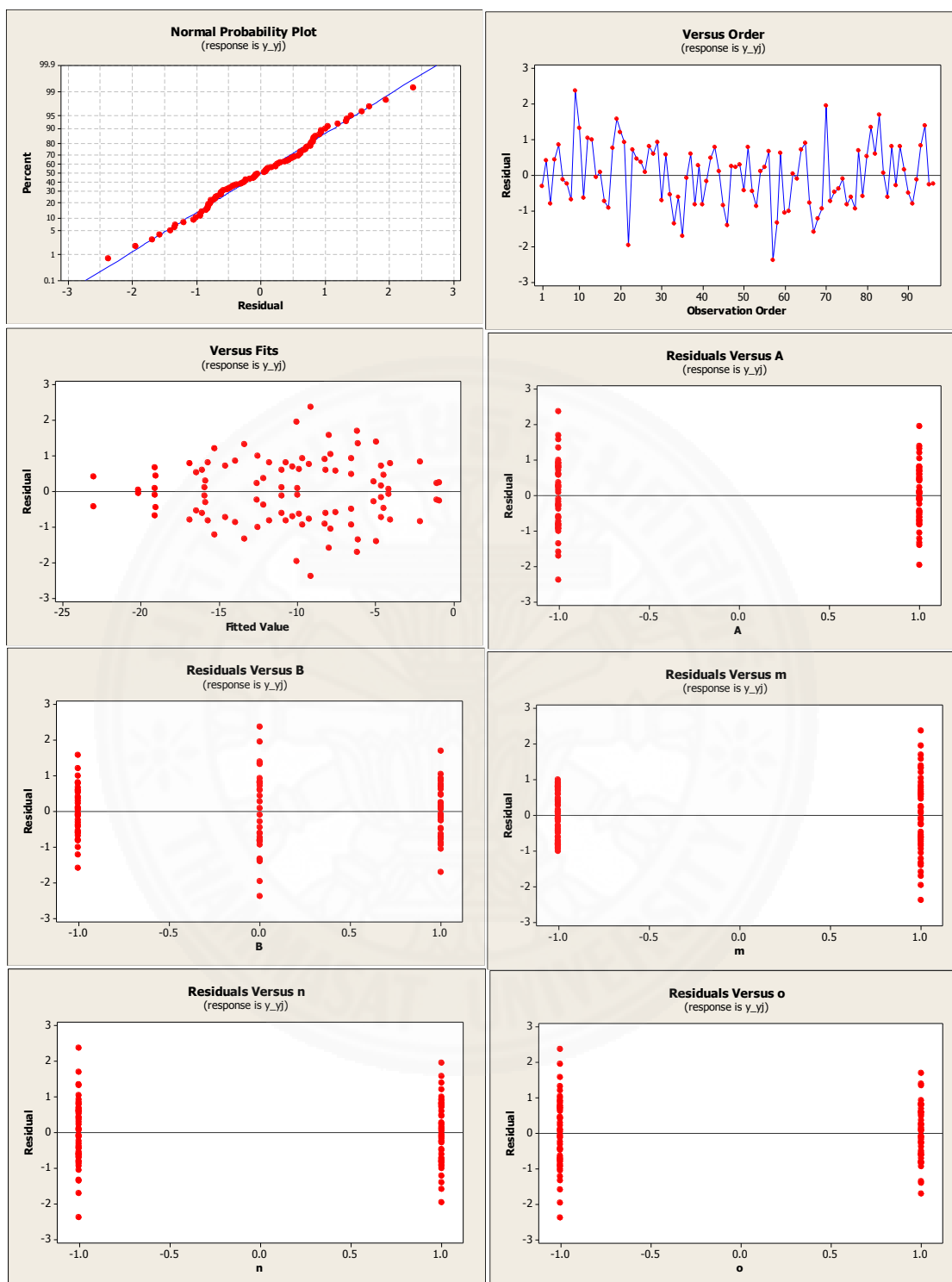
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	371.911	1	371.911	132.920	0.000
Factor B	663.115	2	331.557	118.497	0.000
Interaction of AB	206.647	2	103.323	36.927	0.000
Noise factor m	530.444	1	530.444	189.579	0.000
Noise factor n	467.784	1	467.784	167.185	0.000
Noise factor o	375.475	1	375.475	134.194	0.000
Error	134.33	48	2.798		
Total	2749.406	95			

จากตารางที่ 4.70 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันในชุดข้อมูลที่ 137 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 132.920 และ 118.497 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 36.927 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 189.579, 167.185, และ 134.194 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 130.356 และ 117.327 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 35.990 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 188.808, 166.556, และ 133.705 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันมีลักษณะตรงกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.63



ภาพที่ 4.63 กราฟและกระทบทหลักและผลกระทบทร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.64



ภาพที่ 4.64 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสสลับเข้ายัวร์และจอห์นชุดที่ 137
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.71

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-10.5413	0.1262	-83.55	0.000
Factor A	-1.9683	0.1262	-15.60	0.000
Factor B	3.2182	0.1545	20.83	0.000
Interaction of AB	1.7908	0.1545	11.59	0.000
Noise factor m	2.3506	0.1262	18.63	0.000
Noise factor n	2.2074	0.1262	17.50	0.000
Noise factor o	1.9777	0.1262	15.67	0.000

ตารางที่ 4.72

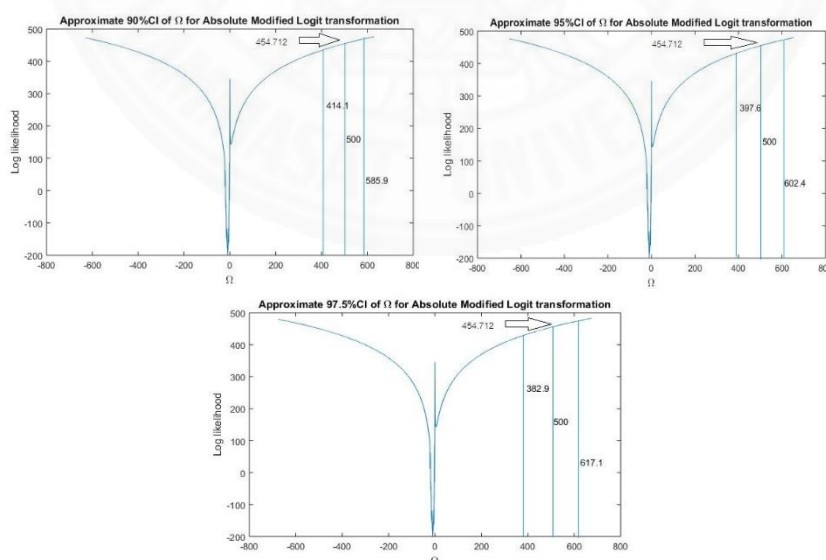
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	2613.69	435.62	285.04	0.000
Residual Error	89	136.02	1.53		
Total	95	2749.71			

จากตารางที่ 4.71 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันสันของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.60, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.83, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.59 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 18.63, 17.50, และ 15.67 ตามลำดับ ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.40, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.71, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.43 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 18.58, 17.45, และ 15.64 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.72 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าเท่ากับ 285.04 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 282.11 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิท

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปรอเซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.65



ภาพที่ 4.65 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.65 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิสต์มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 454.712 ซึ่งคือค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรโลจิสต์จะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิสต์ที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.73

ตารางที่ 4.73

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิสต์จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		-1.537	-1.632	-1.676	-1.920	-1.667	-1.884	-1.849	-2.199
	-1	0	0		-1.401	-1.455	-1.446	-1.594	-1.472	-1.518	-1.529	-1.700
	-1	1	-1		-1.502	-1.897	-1.739	-1.977	-1.740	-1.856	-2.037	-2.244
	1	-1	-1		-1.480	-1.658	-1.559	-1.659	-1.556	-1.675	-1.640	-1.924
	1	0	0		-1.624	-1.714	-1.771	-2.124	-1.792	-1.834	-2.040	-2.877
	1	1	1		-1.541	-1.894	-1.802	-2.115	-1.696	-2.094	-1.945	-2.759
2	-1	-1	1		-1.553	-1.648	-1.610	-1.753	-1.641	-1.820	-1.787	-2.036
	-1	0	0		-1.387	-1.484	-1.448	-1.529	-1.468	-1.544	-1.571	-1.691
	-1	1	-1		-1.540	-1.676	-1.732	-1.856	-1.676	-2.042	-1.990	-2.594
	1	-1	-1		-1.461	-1.576	-1.600	-1.822	-1.525	-1.720	-1.697	-2.169
	1	0	0		-1.574	-1.766	-1.863	-1.995	-1.711	-2.069	-2.071	-2.633
	1	1	1		-1.547	-1.783	-1.733	-2.026	-1.752	-2.110	-1.881	-2.582

10. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสโลจิก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.74

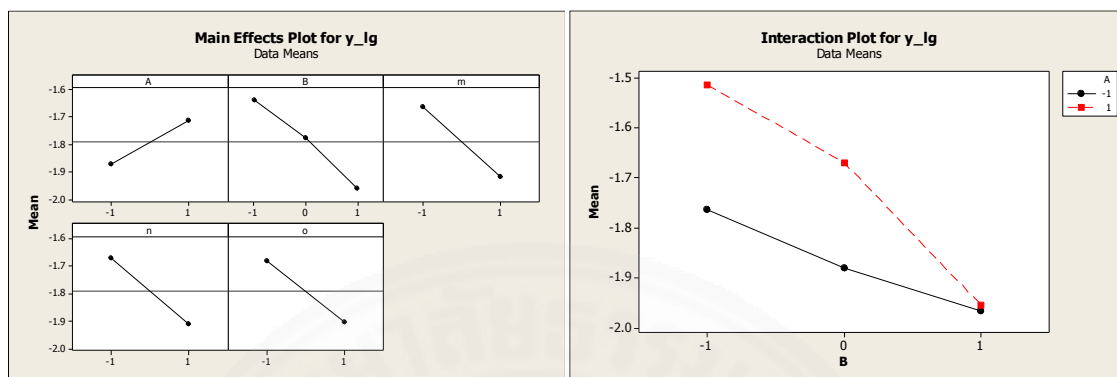
ตารางที่ 4.74

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	0.594	1	0.594	17.731	0.000
Factor B	1.659	2	0.829	24.776	
Interaction of AB	0.258	2	0.129	3.851	0.028
Noise factor m	1.568	1	1.568	46.844	0.000
Noise factor n	1.402	1	1.402	41.891	0.000
Noise factor o	1.177	1	1.177	35.154	0.000
Error	1.607	48	0.335		
Total	8.265	95			

จากตารางที่ 4.74 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิกในชุดข้อมูลที่ 137 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 17.731 และ 24.776 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 3.851 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 46.844, 41.891, และ 35.154ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 130.356 และ 117.327 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 35.990 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 188.808, 166.556, และ 133.705 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบผลลัพธ์ทั้งหมดกับข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันมาก และผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงผลลัพธ์ตรงกัน

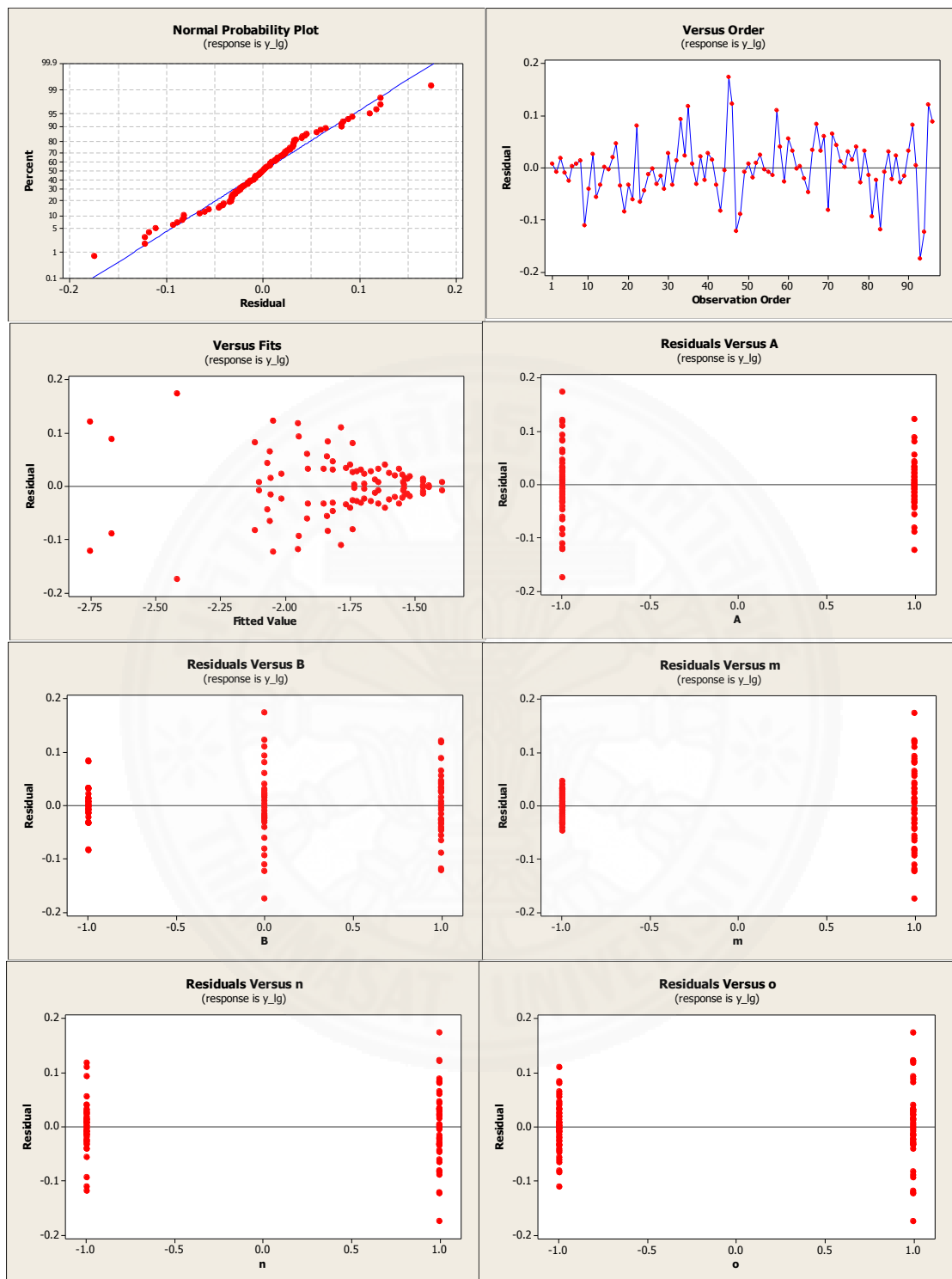
กับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิสมีลักษณะตรงกันข้ามเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.66



ภาพที่ 4.66 กราฟและกระทบบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 137

ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.67



ภาพที่ 4.67 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสสลับเข้ารหัสโลจิสติกส์ที่ 137

ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงโลจิส

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิสถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิสในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.75 และ 4.76

ตารางที่ 4.75

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-1.79145	0.01391	-128.76	0.000
Factor A	0.07864	0.01391	5.65	0.000
Factor B	-0.16041	0.01704	-9.41	0.000
Interaction of AB	-0.05904	0.01704	-3.46	0.001
Noise factor m	-0.12781	0.01391	-9.19	0.000
Noise factor n	-0.12087	0.01391	-8.69	0.000
Noise factor o	-0.11072	0.01391	-7.96	0.000

ตารางที่ 4.76

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	6.6112	1.1019	59.2900	0.000
Residual Error	89	1.6540	0.0186		
Total	95	8.2651			

จากตารางที่ 4.75 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 5.65, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -9.41, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ -3.46 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 9.19, -8.69, และ -7.96 ตามลำดับ ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.40, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.71, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.43 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 18.58, 17.45, และ 15.64 ตามลำดับ ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสแบบโลจิกมีค่าที่แตกต่างกันมากและผลทดสอบมีเครื่องหมายตรงข้ามกัน แต่มีผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานตรงกัน และจากตารางที่ 4.76 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าเท่ากับ 59.29 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 282.11 ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมากแต่ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

ผลลัพธ์จากการแปลงข้อมูลทั้งสามแบบของชุดจำลองข้อมูลเชิงลบในสถานการณ์ที่ 137 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบ พบว่า ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิก และแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ แต่การแปลงแบบโลจิกนั้นให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงข้อมูลแบบยกกำลังยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากกว่าแบบพาราโบลิกและแบบโลจิก ส่วนการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการถดถอยเชิงพหุคูณทุกรูปแบบการแปลงข้อมูลให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ GFD ของข้อมูลเชิงลบที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบดังตัวอย่างของผลลัพธ์ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.77 และ 4.78 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.77

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงลบข้อมูลที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	0.96	500
F0_A	130.3564	131.9732	132.8943	17.73177
F0_B	117.3276	118.272	118.4754	24.77394
F0_AB	35.99095	36.55752	36.92055	3.851739
F0_m	188.809	189.7867	189.5431	46.84261
F0_n	166.5571	167.3852	167.1531	41.89034
F0_o	133.7061	134.4186	134.1677	35.15242

ตารางที่ 4.78

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงลบข้อมูลที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	0.96	500
T_A	-15.4413	15.5419	-15.5999	5.6519
T_B	20.7140	-20.8036	20.82598	-9.4130
T_AB	11.4276	-11.5254	11.58869	-3.4646
T_m	18.5835	-18.6378	18.63038	-9.1862
T_n	17.4541	-17.5033	17.49544	-8.6870
T_o	15.6384	-15.6852	15.67443	-7.9578

(2) ข้อมูลเชิงบวก

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกที่ถูกจำลองขึ้นโดยเมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 137 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่ากับ 10 ผลกระทบหลักของปัจจัย A เท่ากับ 2 และปัจจัย B เท่ากับ -3 ผลกระทบรวมของปัจจัย A และ B เท่ากับ 1.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.79

ตารางที่ 4.79

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		5.038	8.066	9.225	13.909	8.989	13.388	12.825	16.819
	-1	0	0		0.666	1.843	1.437	6.917	2.535	4.353	4.745	9.813
	-1	1	-1		3.741	13.578	10.715	14.672	10.727	12.931	15.370	17.135
	1	-1	-1		2.862	8.769	5.795	8.793	5.697	9.191	8.289	13.970
	1	0	0		7.819	10.150	11.376	16.217	11.794	12.556	15.398	19.335
	1	1	1		5.192	13.535	11.990	16.130	9.713	15.938	14.259	19.128
2	-1	-1	1		5.593	8.493	7.411	11.008	8.308	12.323	11.696	15.352
	-1	0	0		1.391	3.033	1.533	4.758	2.389	5.304	6.197	9.605
	-1	1	-1		5.136	9.230	10.553	12.938	9.235	15.419	14.835	18.722
	1	-1	-1		2.077	6.371	7.101	12.351	4.598	10.292	9.756	16.586
	1	0	0		6.286	11.274	13.044	14.884	10.078	15.698	15.716	18.833
	1	1	1		5.387	11.617	10.586	15.248	10.988	16.088	13.334	18.687

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติ

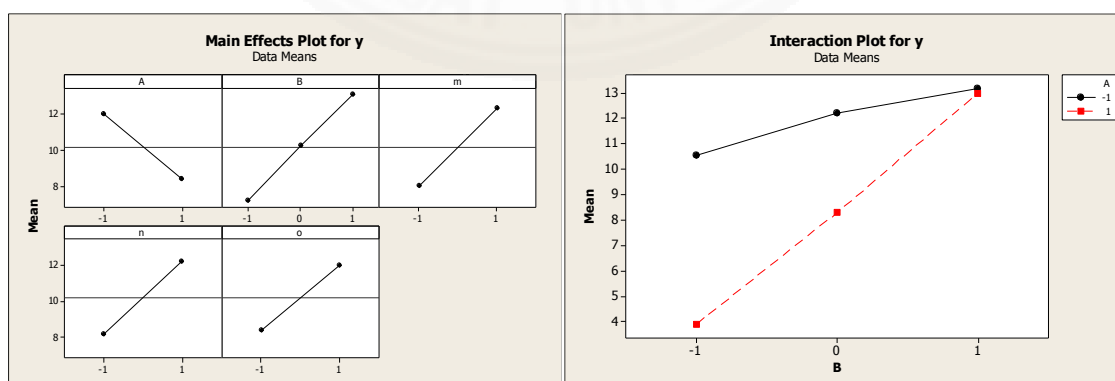
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ เนื่องจากโปรแกรมนี้ไม่มีรูปแบบการทดลองที่กำหนดไว้ จึงเลือกใช้รูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 5 ปัจจัย (ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยและปัจจัยรบกวน 3 ปัจจัย) โดยมีผลกระทบร่วมเพียงปัจจัย A และ B เท่านั้น ส่วนผลกระทบร่วมที่เหลือจะไม่นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองแต่จะนำผลลัพธ์ทั้งหมดไปคิดวิเคราะห์รวมกับผลรวมในส่วนของความคลาดเคลื่อน (error) ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติในชุดข้อมูลเชิงลบที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.80

ตารางที่ 4.80

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 ของ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	305.029	1	305.029	130.357	0.000
Factor B	549.086	2	274.543	117.328	0.000
Interaction of AB	168.435	2	84.217	35.991	0.000
Noise factor m	441.804	1	441.804	188.808	0.000
Noise factor n	389.737	1	389.737	166.557	0.000
Noise factor o	312.868	1	312.868	133.707	0.000
Error	112.318	48			
Total	2279.277	95			

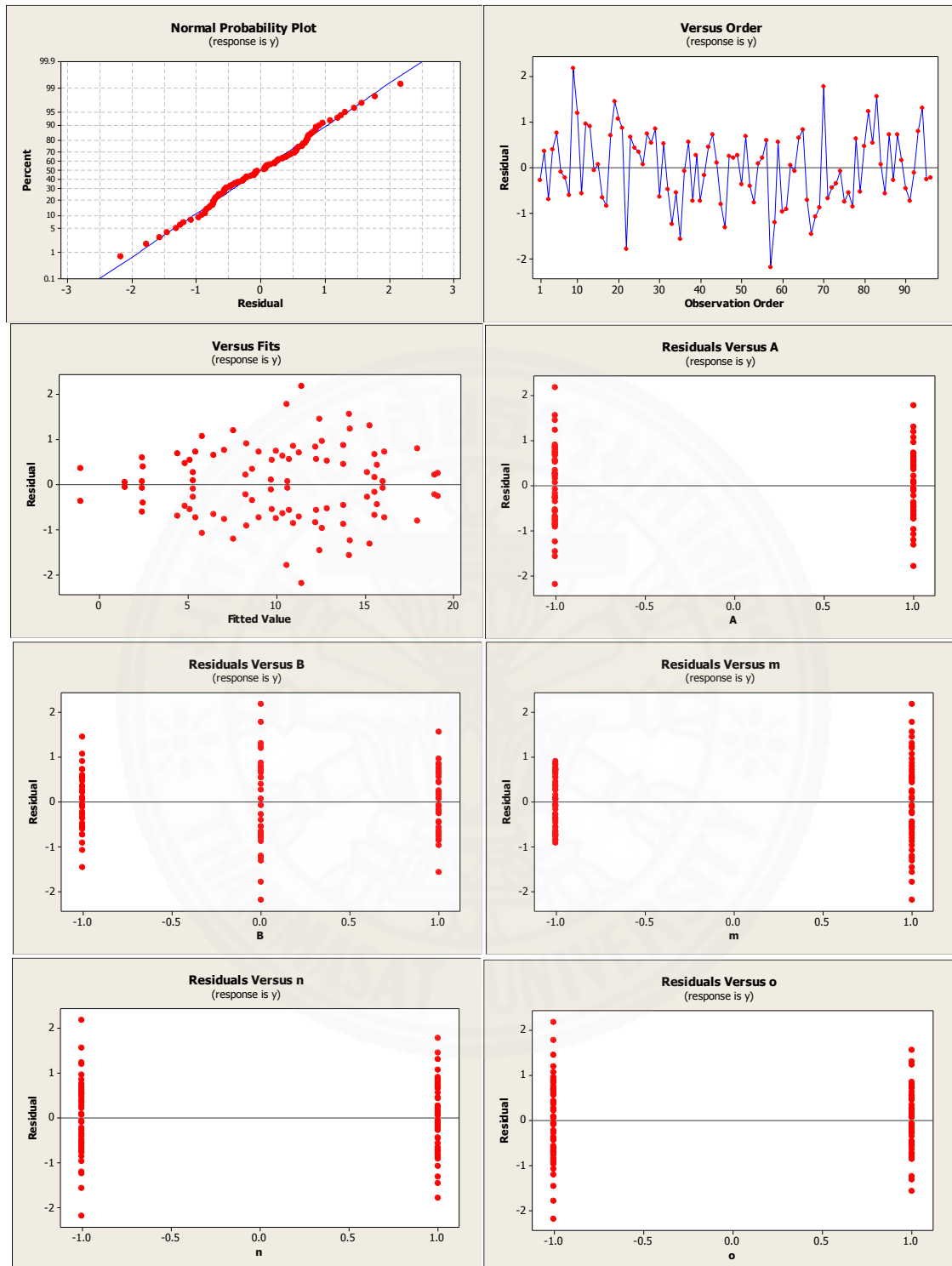
จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 137 พบว่าค่าอิทธิพลในแต่ละปัจจัยหลักของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 130.357, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 117.328, และปัจจัยร่วม AB มีค่า 35.991 ค่าอิทธิพลของปัจจัยรบกวน m มีค่า 188.808, ปัจจัย n มีค่า 166.557, และ ปัจจัย o มีค่า 133.707 ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานของชุดข้อมูลนี้คือ ปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนทุกปัจจัย โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมแสดงดังภาพที่ 4.67



ภาพที่ 4.68 กราฟและกระทบบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.69





ภาพที่ 4.69 กราฟแจกแจงปกติของค่าผิดพลาดของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137

ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากกราฟวิเคราะห์ข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่าผิดพลาดของชุดข้อมูลนั้นผ่านเงื่อนไขทั้งการแจกแจงข้อมูลที่เป็นปกติ อีกทั้ง ความเป็นอิสระและความแปรปรวนคงที่ สามารถใช้ในการทดลองต่อไปได้

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบในชุดข้อมูลที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.81 และ 4.82

ตารางที่ 4.81

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	10.1725	0.1154	88.12	0.000
Factor A	-1.7825	0.1154	-15.44	0.000
Factor B	2.9286	0.1414	20.71	0.000
Interaction of AB	1.6157	0.1414	11.43	0.000
Noise factor m	2.1453	0.1154	18.58	0.000
Noise factor n	2.0149	0.1154	17.45	0.000
Noise factor o	1.8053	0.1154	15.64	0.000

ตารางที่ 4.82

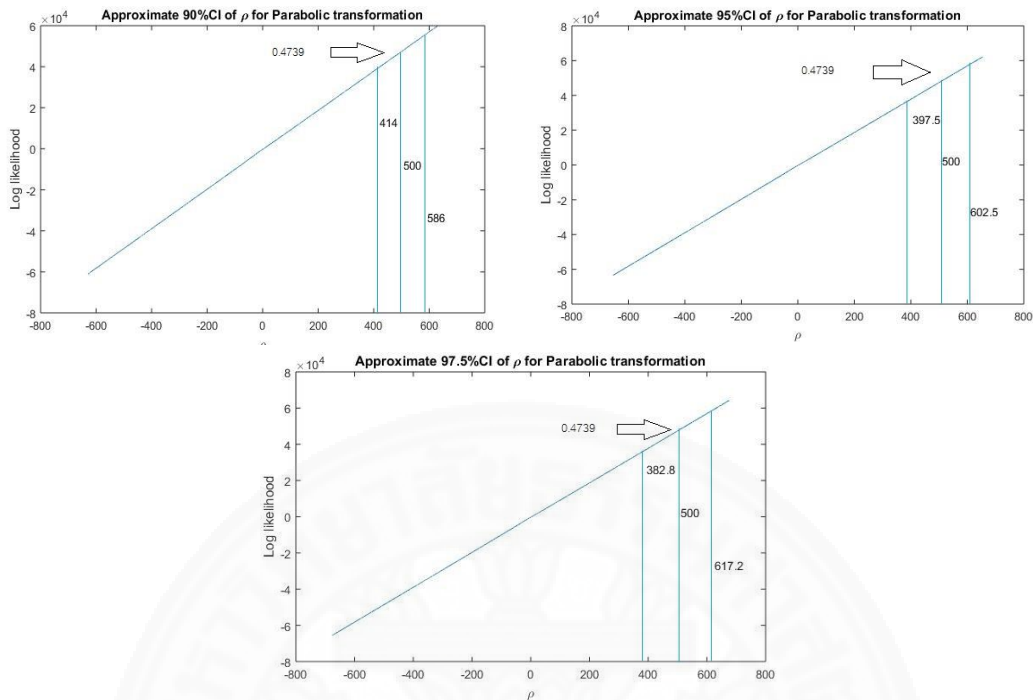
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวก ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	2165.42	360.90	282.11	0.000
Residual Error	89	113.86	1.28		
Total	95	2279.28			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ t ในตารางที่ 4.81 มีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นตัวแปรอิสระในสมการ A, B, AB, m, n, และ o มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.82) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลิก

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปโดยใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.70



ภาพที่ 4.70 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.70 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลา มีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลา โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.4739×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลาจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลาที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.83

ตารางที่ 4.83

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิคจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง
GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
				o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
Rep.	A	B	AB									
1	-1	-1	1	255063.05	258131.47	259310.51	264102.50	259069.69	263567.64	262989.68	267102.09	
	-1	0	0	250666.56	251846.02	251439.01	256965.04	252541.12	254371.88	254767.59	259909.15	
	-1	1	-1	253755.15	263762.77	260829.55	264886.75	260841.95	263098.34	265606.54	267428.73	
	1	-1	-1	252870.37	258846.34	255828.62	258869.82	255729.01	259274.97	258357.18	264165.11	
	1	0	0	257879.90	260253.14	261505.27	266480.24	261932.97	262713.36	265634.85	269708.97	
	1	1	1	255219.27	263718.12	262133.45	266390.42	259807.05	266192.41	264461.86	269493.58	
2	-1	-1	1	255624.55	258565.28	257465.86	261129.59	258376.60	262474.47	261832.32	265587.73	
	-1	0	0	251392.66	253041.83	251534.91	254780.33	252394.32	255332.08	256235.02	259697.13	
	-1	1	-1	255162.73	259315.53	260663.88	263105.82	259320.44	265657.07	265055.17	269072.78	
	1	-1	-1	252081.67	256411.97	257151.03	262502.99	254618.87	260397.50	259851.47	266860.57	
	1	0	0	256325.40	261401.53	263214.36	265105.94	260179.18	265944.23	265962.65	269187.80	
	1	1	1	255415.51	261752.32	260697.99	265480.58	261108.93	266346.51	263511.96	269036.55	

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

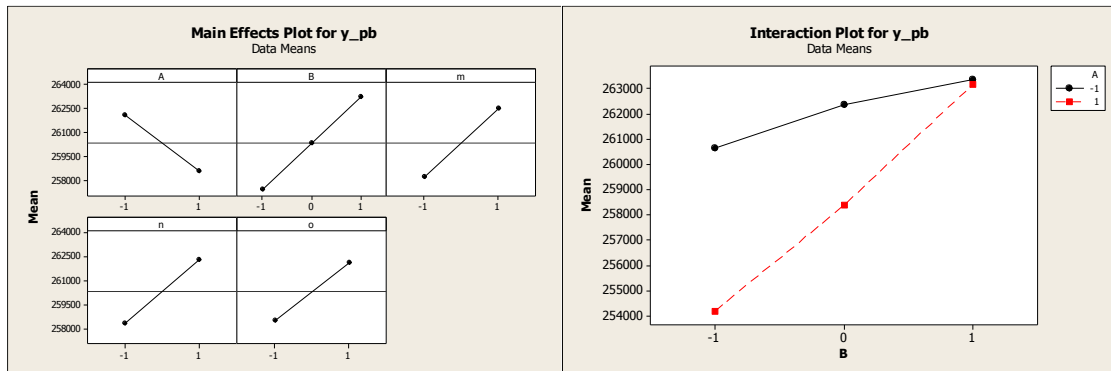
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.84

ตารางที่ 4.84

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 137 ของ GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	300,642,944	1	300,642,944	107.774	0.000
Factor B	545,748,158	2	272,874,079	97.819	0.000
Interaction of AB	161,181,751	2	80,590,875	28.890	0.000
Noise factor m	442,253,418	1	442,253,418	158.538	0.000
Noise factor n	389,206,288	1	389,206,288	139.521	0.000
Noise factor o	310,786,128	1	310,786,128	111.409	0.000
Error	133,899,432	48	2,789,571.5		
Total	2,283,718,119	95			

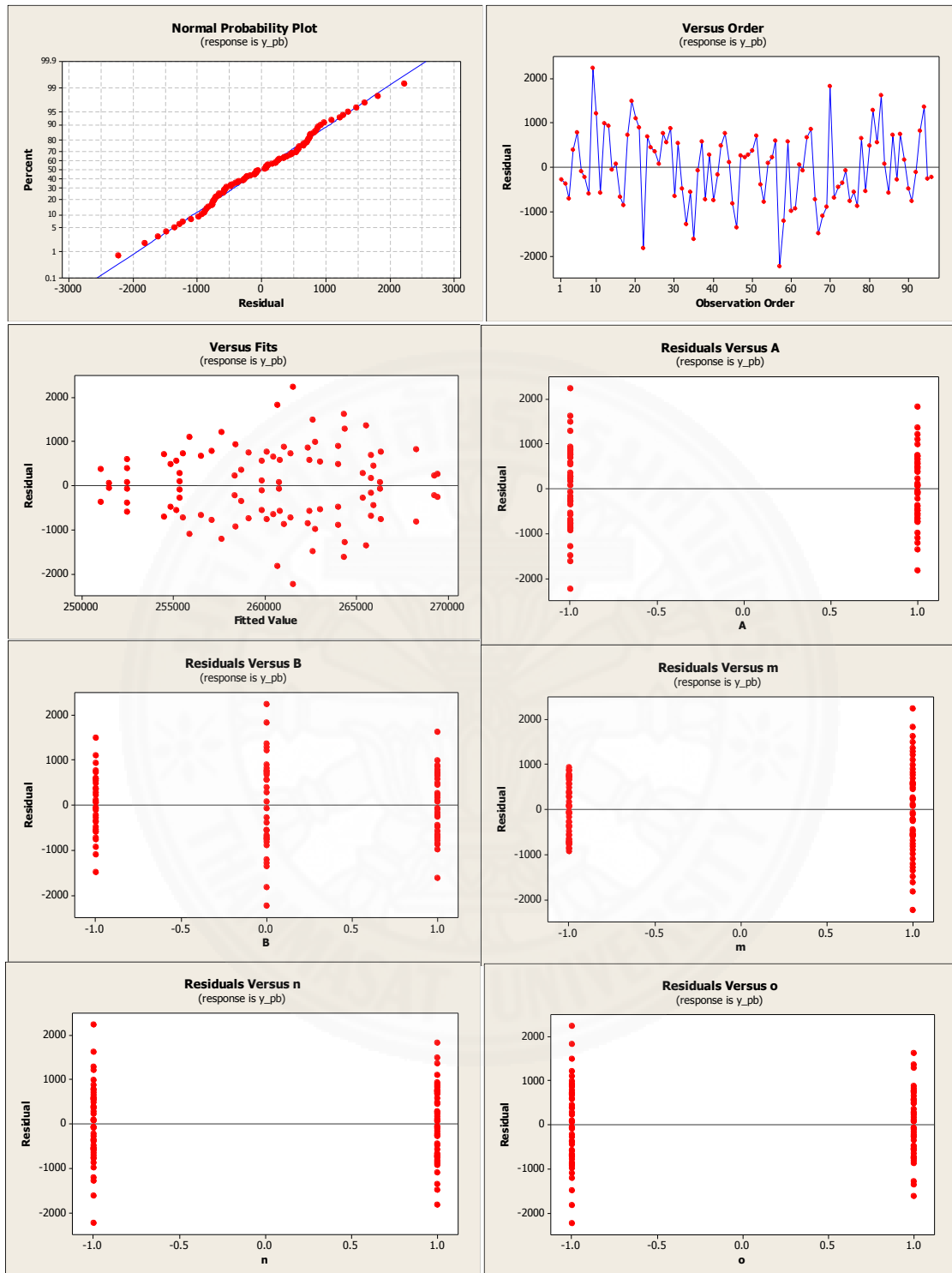
จากตารางที่ 4.84 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดข้อมูลที่ 137 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 107.774 และ 97.819 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 28.890 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 158.538, 139.521, และ 111.409 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 130.357 และ 117.328 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 35.991 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 188.808, 166.557, และ 133.707 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันมาก และมีความแตกต่างกันมากกว่าเมื่อเทียบกับกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคมีลักษณะตรงกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.71



ภาพที่ 4.71

กราฟและกระทบทหลักและผลกระทบทร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 137
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน
(Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมี
ความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.71



ภาพที่ 4.72 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสของการแปลงแบบพาราโบลิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสของพาราโบลิกในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.85 และ 4.86

ตารางที่ 4.85

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	260,343	126.0	2,061.38	0.000
Factor A	-1770	126.3	-14.01	0.000
Factor B	2920	154.7	18.88	0.000
Interaction of AB	1575	154.7	10.18	0.000
Noise factor m	2146	126.3	16.99	0.000
Noise factor n	2014	126.3	15.94	0.000
Noise factor o	1799	126.3	14.25	0.000

ตารางที่ 4.86

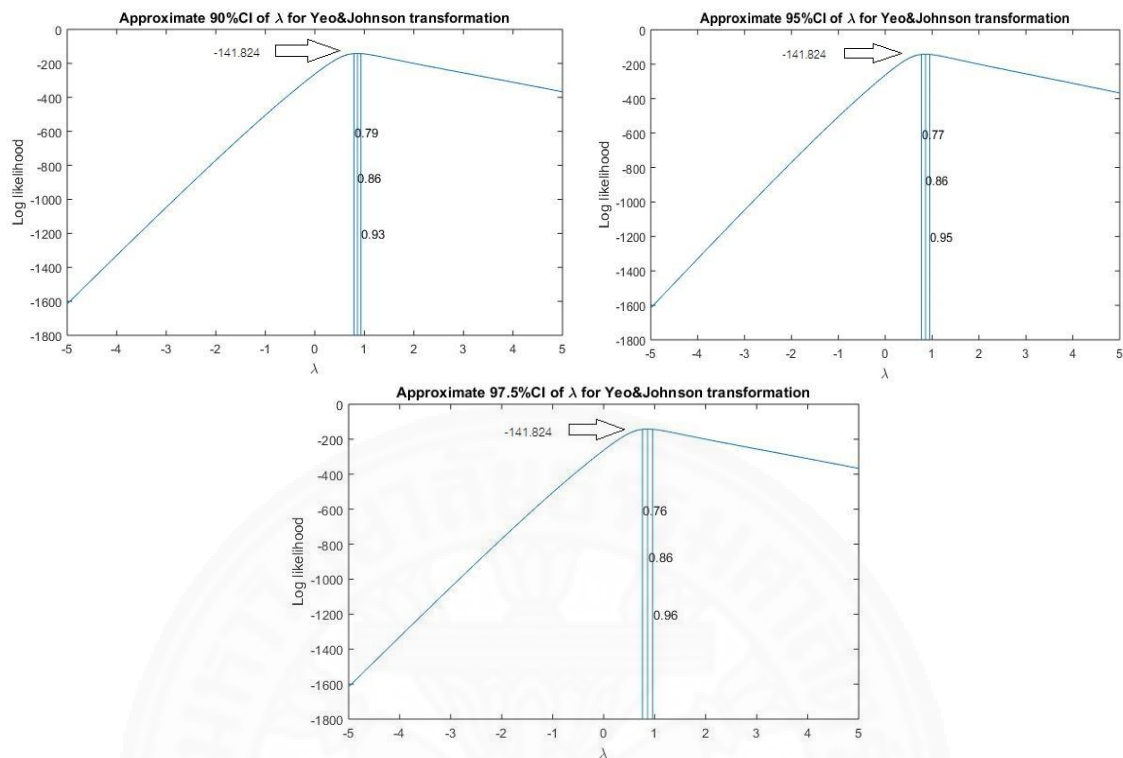
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสพาราโบลิกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	2,147,436,428	357,906,071	233.73	0.000
Residual Error	89	136,281,691	1,531,255		
Total	95	2,283,718,119	136,281,691		

จากตารางที่ 4.85 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -14.71 ,ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 18.88 ,และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 10.18 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m ,n ,และ o มีค่าเท่ากับ 16.99 , -15.94 ,และ 14.25 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.44 ,ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.71 ,และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.43 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m ,n ,และ o มีค่าเท่ากับ 18.58 ,17.45 ,และ 15.64 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคมีค่าแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.86 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคมีค่าเท่ากับ 233.73 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 282.11 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังเยาว์และจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.73



ภาพที่ 4.73 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยอว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.73 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการเยอว์และจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.86 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -141.824 และช่วงของค่าตัวแปรเยอว์และจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการเยอว์และจอห์นสันที่ได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.87

ตารางที่ 4.87

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยอร์และจอห์นสันจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		4.295	6.580	7.424	10.713	7.253	10.356	9.967	12.681
	-1	0	0		0.693	1.693	1.339	5.728	2.281	3.759	4.067	7.847
	-1	1	-1		3.271	10.486	8.489	11.234	8.498	10.040	11.708	12.892
	1	-1	-1		2.554	7.094	4.879	7.110	4.804	7.399	6.743	10.755
	1	0	0		6.398	8.088	8.956	12.278	9.249	9.780	11.726	14.347
	1	1	1		4.415	10.456	9.386	12.220	7.775	12.091	10.952	14.210
2	-1	-1	1		4.725	6.892	6.096	8.697	6.757	9.618	9.180	11.695
	-1	0	0		1.492	2.695	1.423	4.077	2.159	4.502	5.185	7.697
	-1	1	-1		4.372	7.428	8.374	10.045	7.431	11.741	11.345	13.944
	1	-1	-1		1.895	5.318	5.865	9.637	3.952	8.189	7.806	12.525
	1	0	0		5.253	8.884	10.118	11.378	8.036	11.929	11.941	14.017
	1	1	1		4.566	9.125	8.398	11.625	8.683	12.191	10.318	13.921

7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสเยอร์และจอห์นสัน

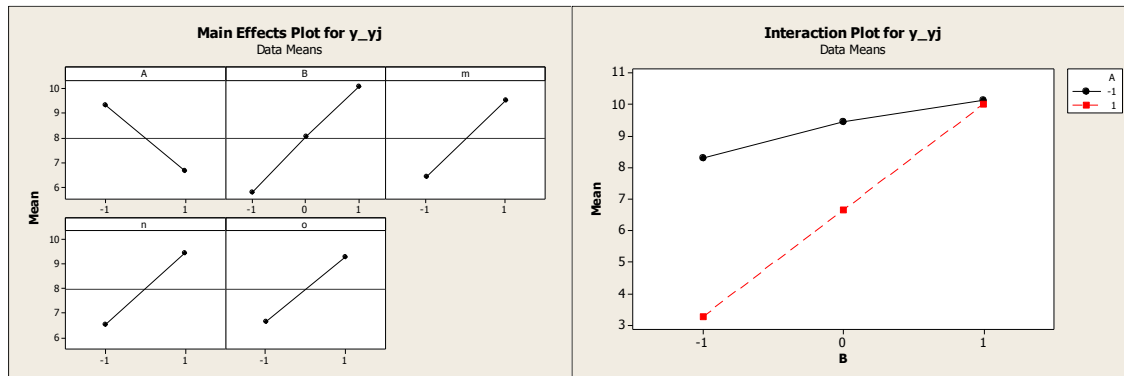
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกห้ารหัสของการแปลงแบบเยอร์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบห้ารหัสของเยอร์และจอห์นสันในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.88

ตารางที่ 4.88

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ของ GFD
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

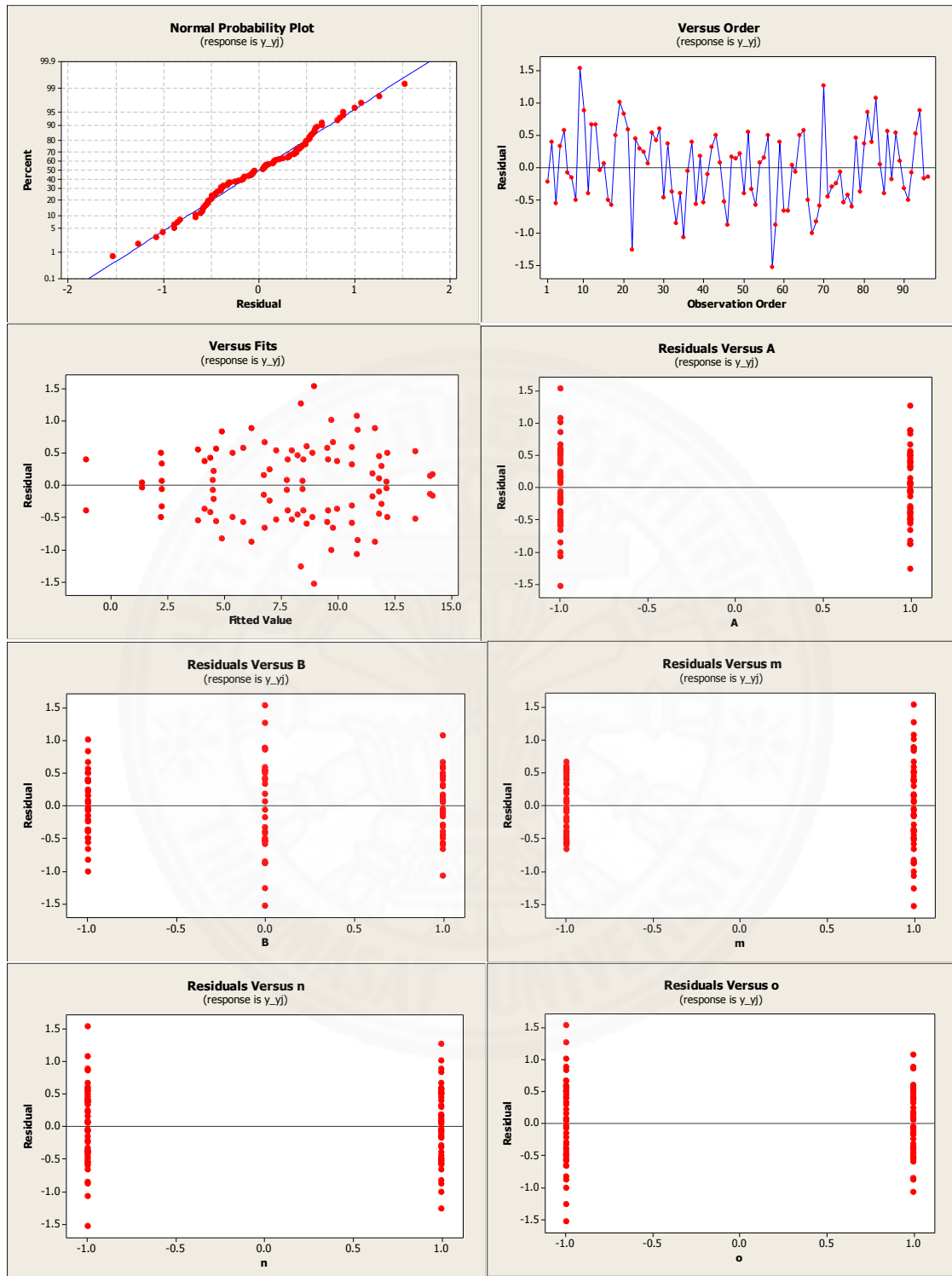
Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	169.287	1	169.287	143.354	0.000
Factor B	295.778	2	147.889	125.234	0.000
Interaction of AB	96.819	2	48.410	40.994	0.000
Noise factor m	232.771	1	232.771	197.114	0.000
Noise factor n	204.727	1	204.727	173.365	0.000
Noise factor o	165.770	1	165.770	140.376	0.000
Error	56.683	48	1.181		
Total	1221.835	95			

จากตารางที่ 4.88 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันในชุดข้อมูลที่ 137 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 143.354 และ 125.234 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 40.994 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 197.114, 173.365, และ 140.376 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 130.356 และ 117.327 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 35.990 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 188.808, 166.556, และ 133.705 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันมีลักษณะตรงกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.74



ภาพที่ 4.74 กราฟและกระทบทหลักและผลกระทบทร่วมของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกันที่คล้ายกันของข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.75



ภาพที่ 4.75 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสัน ชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและการแปลงแบบยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและจอห์นสันในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.89 และ 4.90

ตารางที่ 4.89

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	7.97627	0.08185	97.45	0.000
Factor A	-1.32793	0.08185	-16.22	0.000
Factor B	2.14860	0.10020	21.43	0.000
Interaction of AB	1.22840	0.10020	12.25	0.000
Noise factor m	1.55714	0.08185	19.02	0.000
Noise factor n	1.46033	0.08185	17.84	0.000
Noise factor o	1.31407	0.08185	16.06	0.000

ตารางที่ 4.90

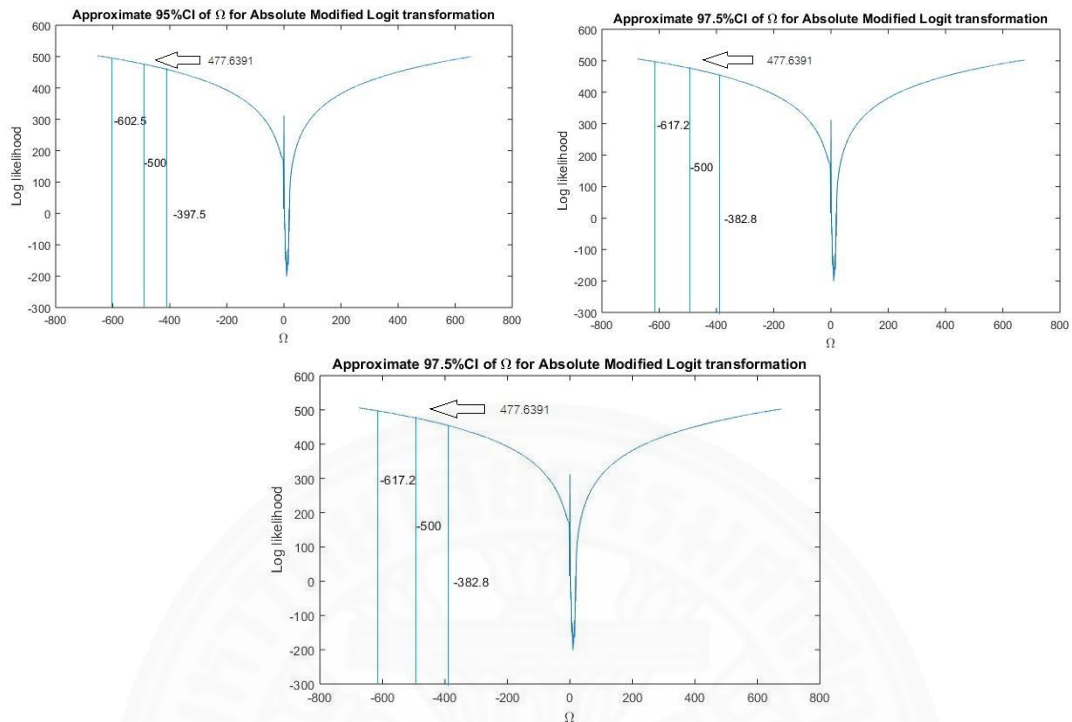
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	1164.60	194.10	301.81	0.000
Residual Error	89	57.24	0.64		
Total	95	1221.83			

จากตารางที่ 4.89 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -16.22, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 21.43, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 12.25 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 19.02, 17.84, และ 16.06 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.44 ,ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.71 ,และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.43 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m ,n ,และ o มีค่าเท่ากับ 18.58, 17.45, และ 15.64 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.90 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าเท่ากับ 301.81 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 282.11 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิต

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.76



ภาพที่ 4.76 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.76 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิทมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ -500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 477.6391 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรโลจิทจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิทที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.91

ตารางที่ 4.91

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ที่ถูกแปลงด้วยโลจิกจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง GFD กรณี
พิจารณาปัจจัยภายนอก

GFD x CRBD array				CRBD external array								
				m	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
GFD internal array				n	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
Rep.	A	B	AB	o	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
1	-1	-1	1		-2.001	-1.799	-1.742	-1.568	-1.753	-1.584	-1.602	-1.488
	-1	0	0		-2.875	-2.435	-2.543	-1.865	-2.297	-2.064	-2.027	-1.716
	-1	1	-1		-2.129	-1.578	-1.678	-1.545	-1.678	-1.598	-1.525	-1.480
	1	-1	-1		-2.245	-1.764	-1.941	-1.762	-1.948	-1.744	-1.788	-1.566
	1	0	0		-1.813	-1.701	-1.653	-1.503	-1.637	-1.611	-1.525	-1.429
	1	1	1		-1.988	-1.579	-1.631	-1.505	-1.720	-1.510	-1.557	-1.434
2	-1	-1	1		-1.956	-1.777	-1.836	-1.667	-1.787	-1.619	-1.641	-1.526
	-1	0	0		-2.555	-2.220	-2.515	-2.026	-2.323	-1.979	-1.912	-1.725
	-1	1	-1		-1.993	-1.742	-1.685	-1.598	-1.742	-1.524	-1.540	-1.443
	1	-1	-1		-2.383	-1.900	-1.854	-1.618	-2.040	-1.695	-1.718	-1.493
	1	0	0		-1.906	-1.657	-1.595	-1.539	-1.704	-1.517	-1.516	-1.440
	1	1	1		-1.972	-1.644	-1.683	-1.529	-1.668	-1.506	-1.585	-1.443

10. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงรหัสโลจิก

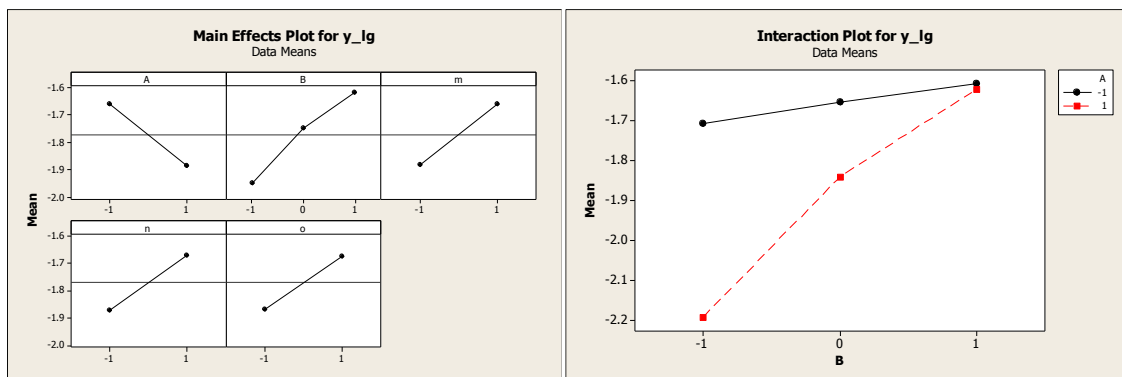
การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลง
แบบโลจิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของ
ข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิกในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.92

ตารางที่ 4.92

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกส์ที่ 137 ของ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Squares	F ₀	P-value
Factor A	1.24265	1	1.24265	67.107	0.000
Factor B	1.82165	2	0.91082	49.187	0.000
Interaction of AB	0.90439	2	0.45219	24.420	0.000
Noise factor m	1.20413	1	1.20413	65.027	0.000
Noise factor n	0.97244	1	0.97244	52.515	0.000
Noise factor o	0.90552	1	0.90552	48.901	0.000
Error	0.88884	48			
Total	7.93962	95			

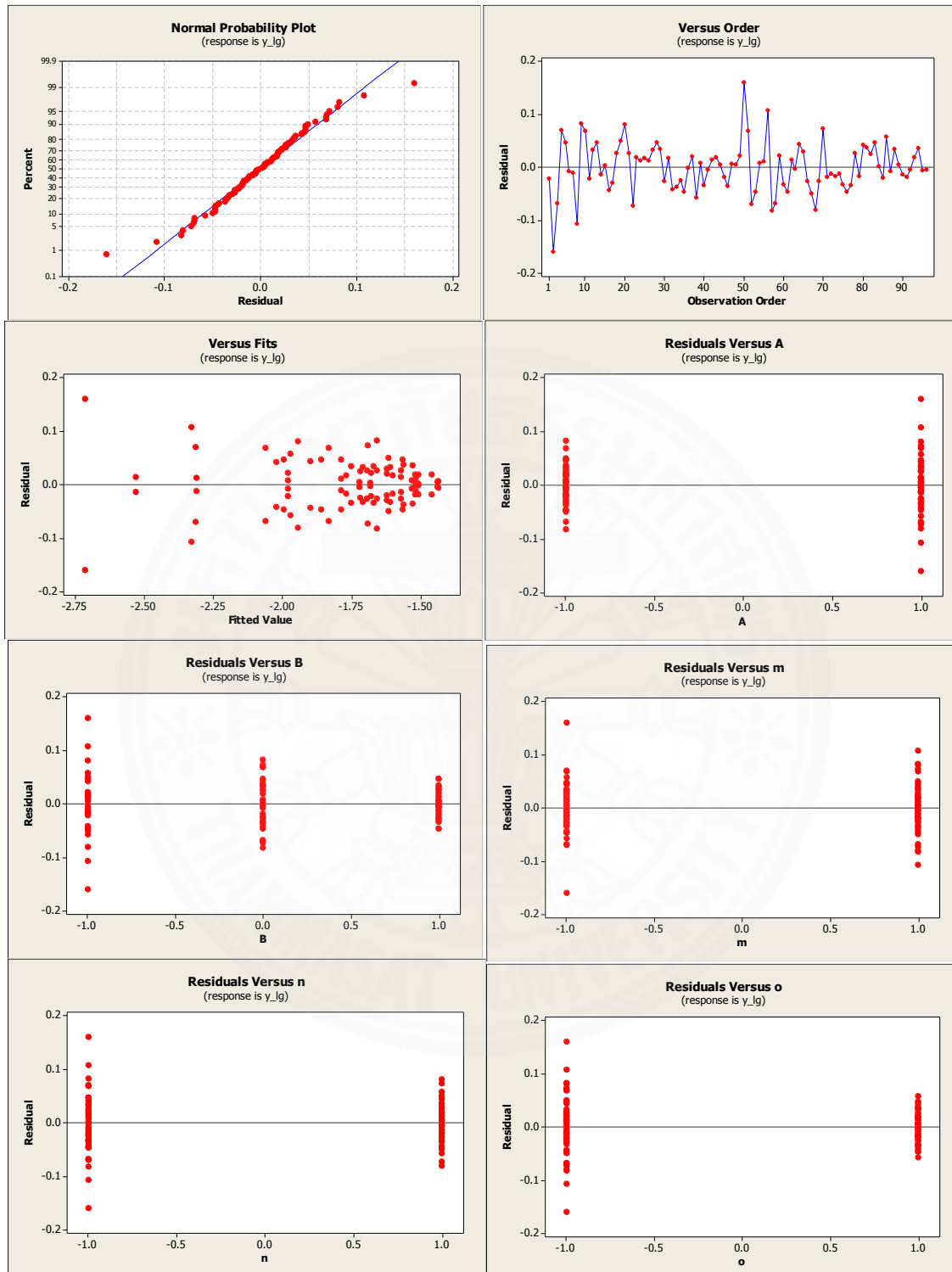
จากตารางที่ 4.92 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิสติกส์ในชุดข้อมูลที่ 137 พบว่า ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 67.107 และ 49.187 ตามลำดับ และค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 24.420 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m ,n ,และ o มีค่าเท่ากับ 65.027, 52.515, และ 48.901 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าอิทธิพลของข้อมูลธรรมชาติของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าเท่ากับ 130.356 และ 117.327 ตามลำดับ ค่าอิทธิพลของปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 35.990 ในส่วนของปัจจัยรบกวนค่าอิทธิพลของปัจจัย m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 188.808, 166.556, และ 133.705 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติแล้วมีค่าแตกต่างกันมาก ส่วนผลการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลยังคงให้ผลลัพธ์ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิสติกส์มีลักษณะตรงกันเมื่อเทียบกับกราฟของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.77



ภาพที่ 4.77

กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสโลจิสติกชุดที่ 137
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์ความเคลื่อน (Residual Analysis) พบว่า ค่าผิดพลาดของข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ อีกทั้งข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่ไม่สอดคล้องกับข้อมูลธรรมชาติดังภาพที่ 4.78



ภาพที่ 4.78 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงรหัสบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 137
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสของโลจิท

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสของการแปลงแบบโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสของโลจิทในชุดที่ 137 ดังแสดงในตารางที่ 4.93 และ 4.94

ตารางที่ 4.93

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-1.77140	0.01046	-169.29	0.000
Factor A	-0.11377	0.01046	-10.87	0.000
Factor B	0.16749	0.01282	13.07	0.000
Interaction of AB	0.11753	0.01282	9.17	0.000
Noise factor m	0.11200	0.01046	10.70	0.000
Noise factor n	0.10065	0.01046	9.62	0.000
Noise factor o	0.09712	0.01046	9.28	0.000

ตารางที่ 4.94

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกรหัสโลจิทชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	6	7.0042	1.1674	111.060	0.000
Residual Error	89	0.9355	0.0105		
Total	95	7.9396			

จากตารางที่ 4.93 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -10.87, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 13.07, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 9.17 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 10.70, 9.62, และ 9.28 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักโดยปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -15.44, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 20.71, และปัจจัยร่วม AB มีค่าเท่ากับ 11.43 ในส่วนของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 18.58, 17.45, และ 15.64 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทมีค่าแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ แต่ยังไม่ให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.94 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทมีค่าเท่ากับ 111.060 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 282.11 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมากและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

ผลลัพธ์จากการแปลงข้อมูลทั้งสามแบบของชุดจำลองข้อมูลเชิงบวกในสถานการณ์ที่ 137 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบ พบว่า ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคและแบบโลจิทนั้นให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงข้อมูลแบบยกกำลังยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากกว่าแบบพาราโบลิคและแบบโลจิท ส่วนการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการถดถอยเชิงพหุคูณทุกรูปแบบ การแปลงข้อมูลให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ GFD ของข้อมูลเชิงบวกที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบดังตัวอย่างของผลลัพธ์ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.95 และ 4.96 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.95

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงบวกข้อมูลที่ 137 ใน
การทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	0.86	-500
F0_A	130.3564	107.7739	143.3569	67.11004
F0_B	117.3276	97.81935	125.2374	49.18925
F0_AB	35.99095	28.89006	40.99445	24.41701
F0_m	188.809	158.5381	197.1174	65.02243
F0_n	166.5571	139.5219	173.3695	52.51439
F0_o	133.7061	111.41	140.3793	48.89826

ตารางที่ 4.96

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงบวกข้อมูลที่ 137
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	0.86	-500
T_A	-15.4413	-14.0121	-16.2243	-10.8735
T_B	20.7140	18.8785	21.4343	13.0699
T_AB	11.4276	10.1838	12.2542	9.17054
T_m	18.5835	16.9946	19.0248	10.7030
T_n	17.4541	15.9428	17.8420	9.61869
T_o	15.6384	14.2464	16.0549	9.28162

4.1.2.2 ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณเมทแลป

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยเมทแลป
แล้ว (โปรแกรมคำนวณถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก.) จึงนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใช้ในการคำนวณ

ผลลัพธ์ที่อยู่ในขอบเขตของสมการจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลกรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด 1,458 สถานการณ์เพื่อนำมาวัดผลประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิก แบบยาวและจอห์นสัน และแบบโลจิท ซึ่งได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค. ดังตัวอย่างตารางผลลัพธ์ของโปรแกรมคำนวณแมปแลปของข้อมูลที่ 137 ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปกรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกถูกแสดงไว้ดังต่อไปนี้

1. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.97

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

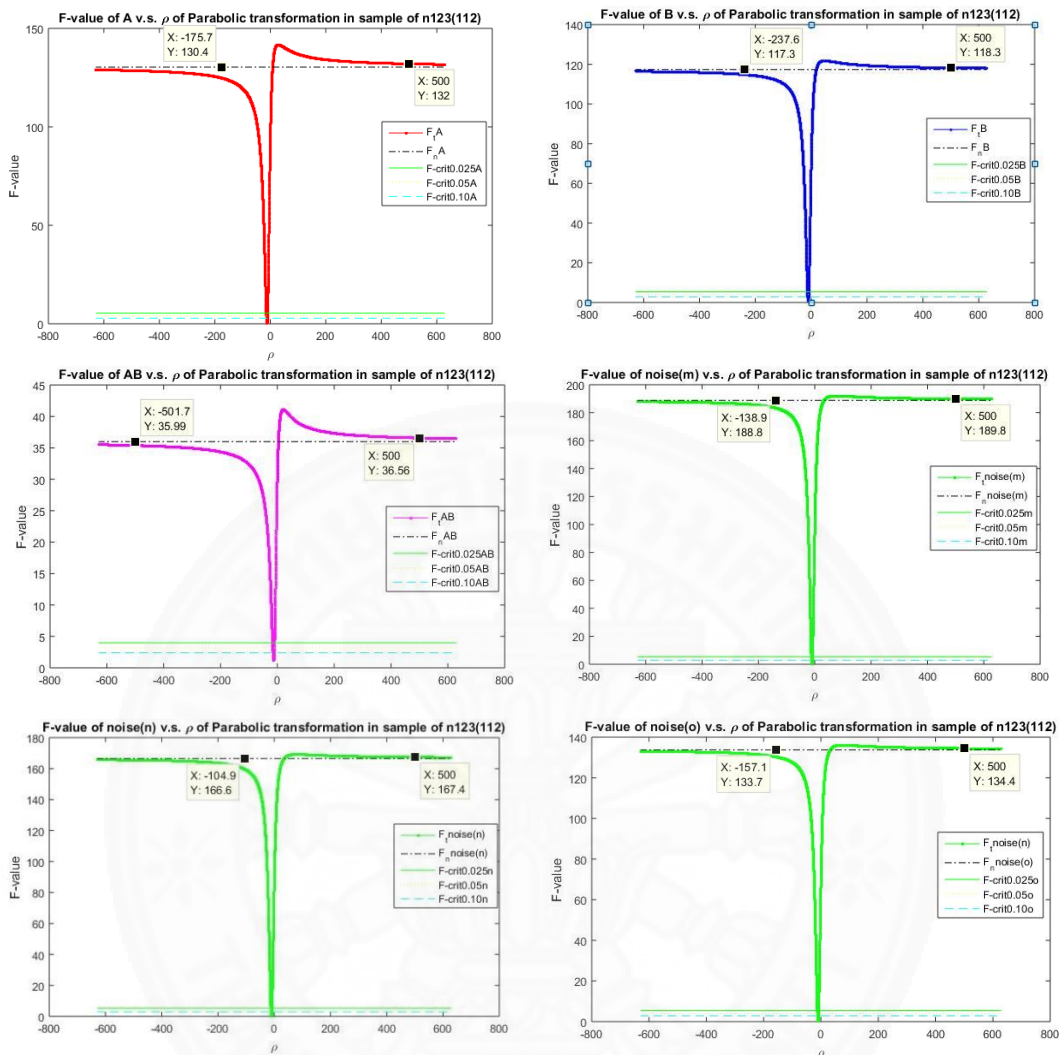
Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
F0_A	130.3564	131.9732	132.8943	17.7318
F0_B	117.3276	118.2720	118.4754	24.7739
F0_AB	35.9910	36.5575	36.9205	3.8517
F0_m	188.8090	189.7867	189.5431	46.8426
F0_n	166.5571	167.3852	167.1531	41.8903
F0_o	133.7061	134.4186	134.1677	35.1524
P_A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
P_B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_AB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0281
P_m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_n	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_o	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TransVia.	1	500	0.96	500
Log likelihood	0	47393.34	-144.29	454.71

ตารางที่ 4.98

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD
กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

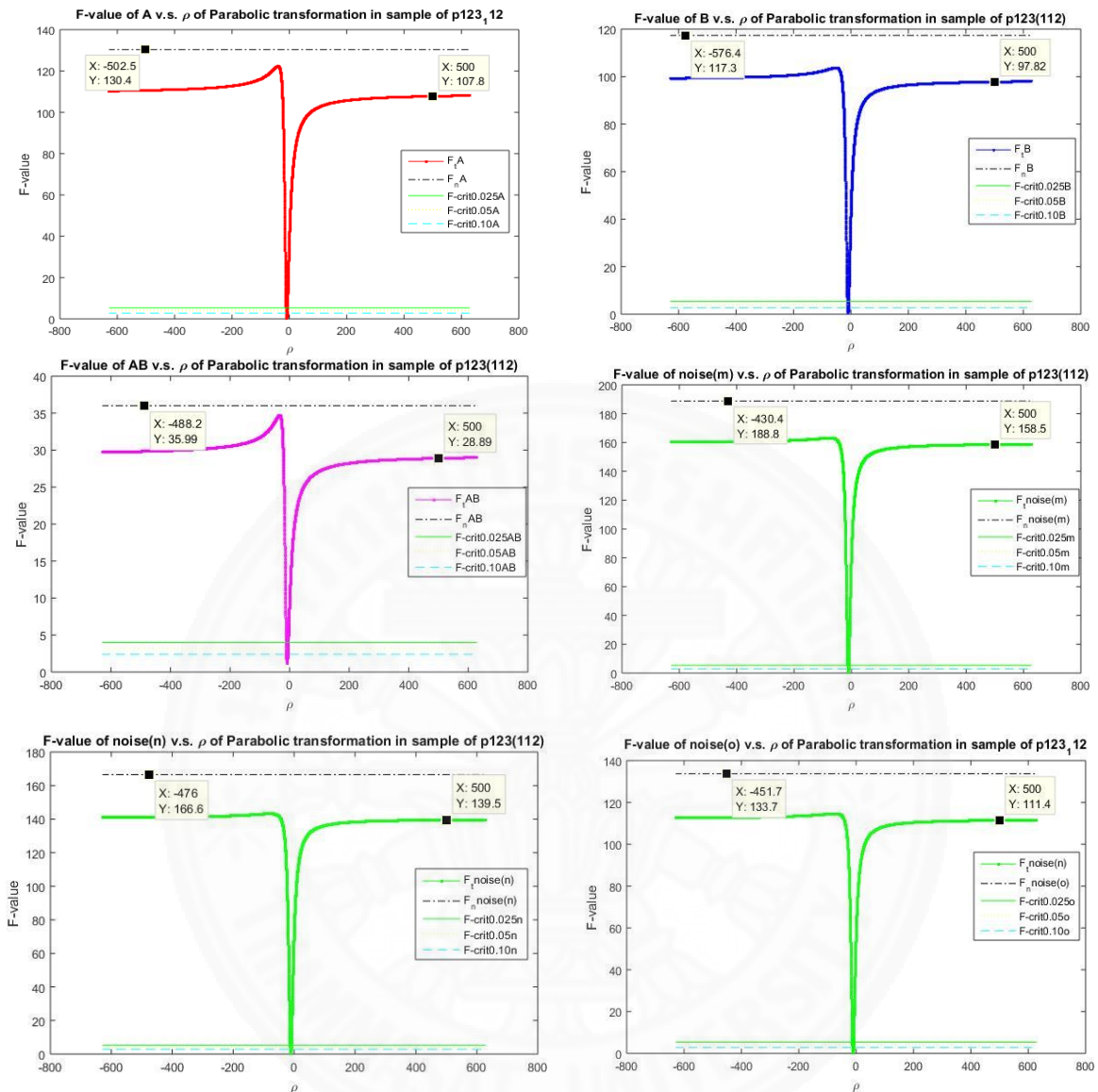
Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
F0_A	130.3564	107.7739	143.3569	67.1100
F0_B	117.3276	97.8194	125.2374	49.1893
F0_AB	35.9910	28.8901	40.9945	24.4170
F0_m	188.8090	158.5381	197.1174	65.0224
F0_n	166.5571	139.5219	173.3695	52.5144
F0_o	133.7061	111.4100	140.3793	48.8983
P_A	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_B	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_AB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_m	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_n	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P_o	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TransVia.	1	500	0.86	-500
Log likelihood	0	47390.79	-141.824	477.6391

จากตารางที่ 4.97 และ 4.98 เป็นตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ของการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก โดยที่ TransVia (Trasformed Variable) คือ ตัวแปรในสมการแปลงข้อมูลซึ่งหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation ,MLE) ซึ่งผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้จะถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.79

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูล
เชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



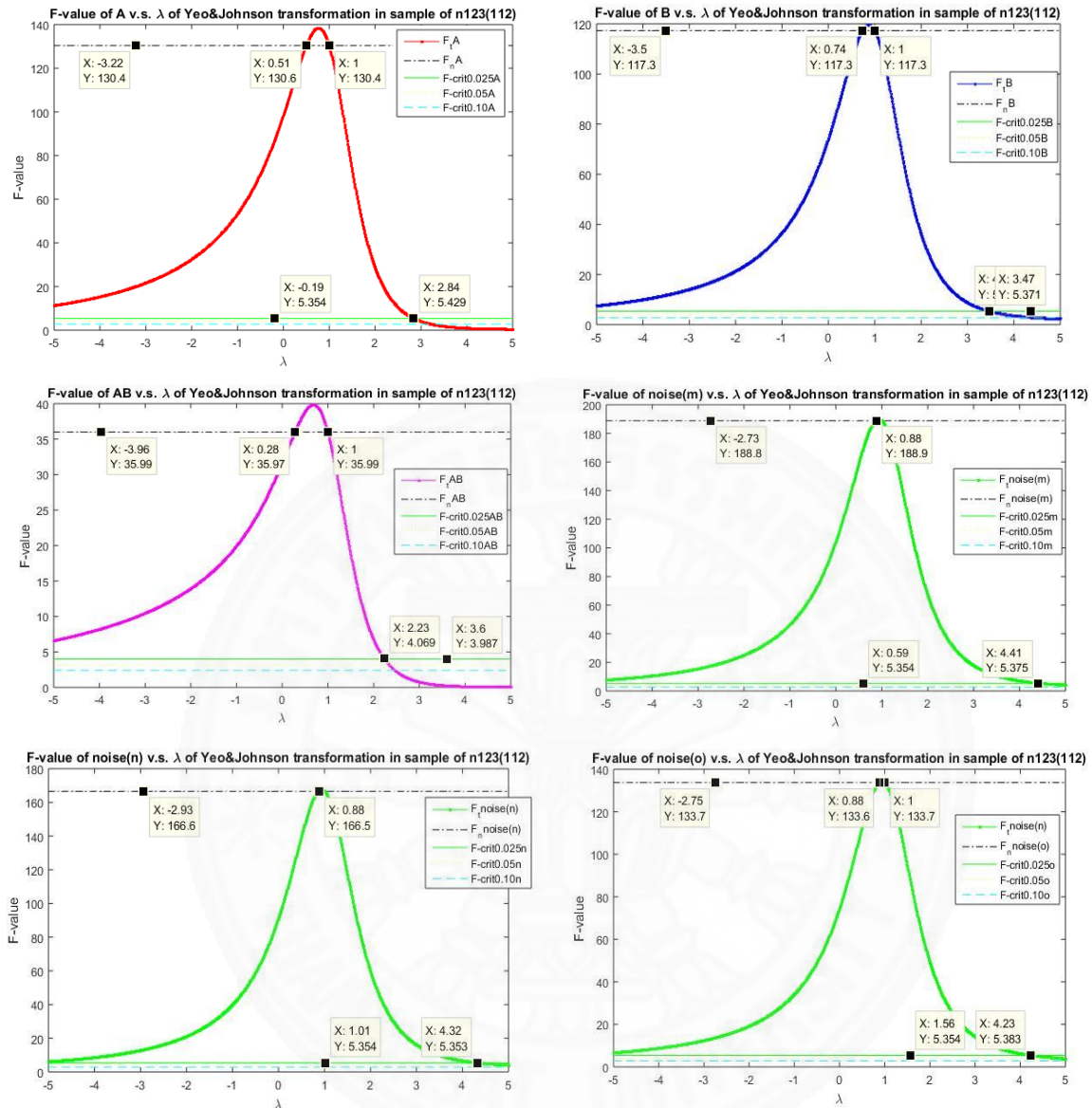
ภาพที่ 4.80

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.79 และ 4.80 แสดงความสัมพันธ์ค่าสถิติ F_0 กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ซึ่งพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

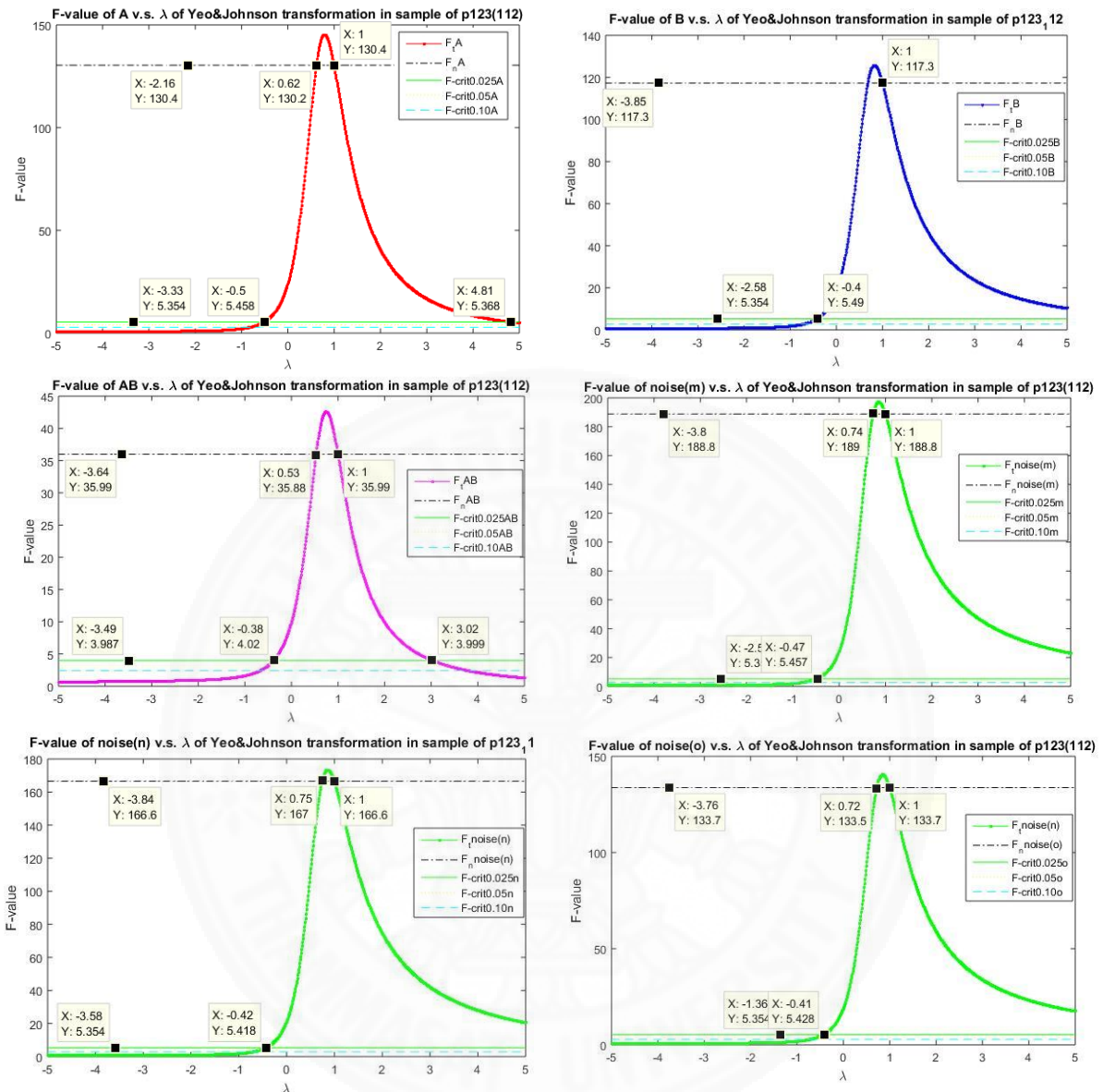
กรณีข้อมูลเชิงลบ (ภาพที่ 4.79) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัย ส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าโรที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าโรที่ประมาณ $[-16.5, -9.2]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ อีกทั้งยังมีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าโรเท่ากับ 500 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยแนวโน้มของกราฟลู่เข้าหาค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งเชิงบวกและลบ และสามารถในช่วงการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ทุกระดับความเชื่อมั่นได้เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก ภาพที่ (4.80) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัย ส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าโรที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าโรที่ประมาณ $[-10.5, -4.2]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ แต่ไม่มีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยและการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าโรเท่ากับ 500 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่แตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติ โดยแนวโน้มของกราฟไม่ลู่เข้าหาค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งเชิงบวกและลบ แต่สามารถในช่วงการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ทุกระดับความเชื่อมั่นได้เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ



ภาพที่ 4.81

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



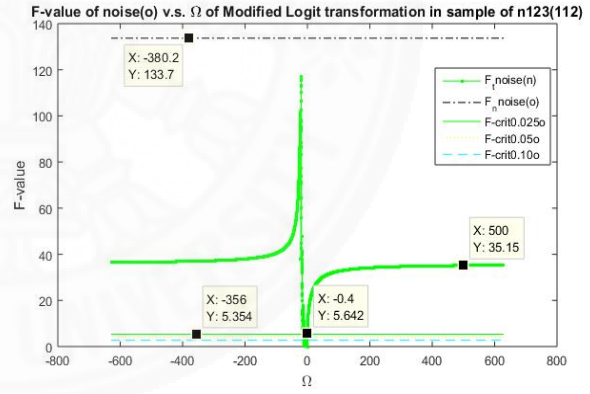
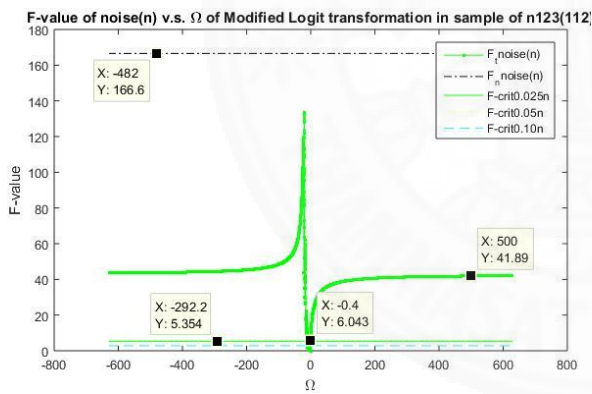
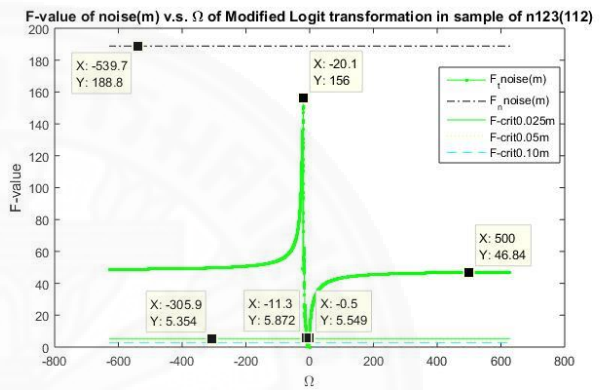
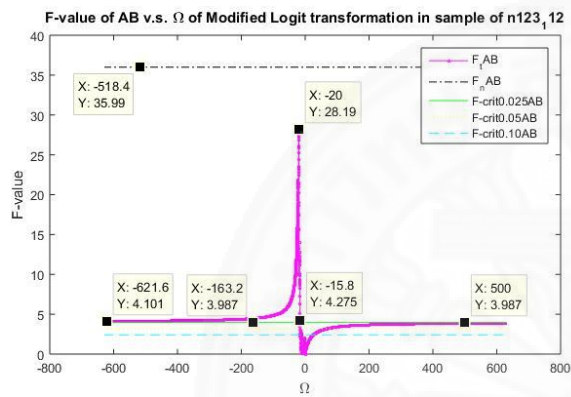
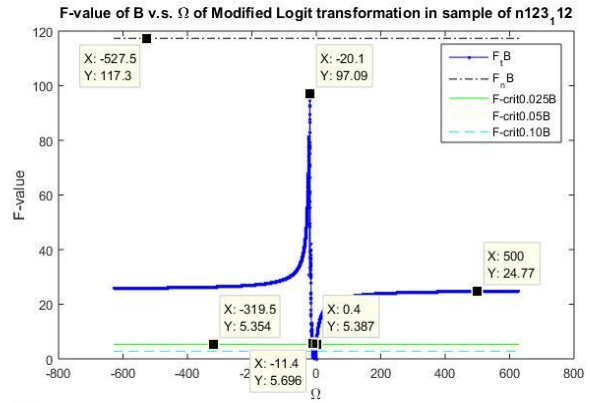
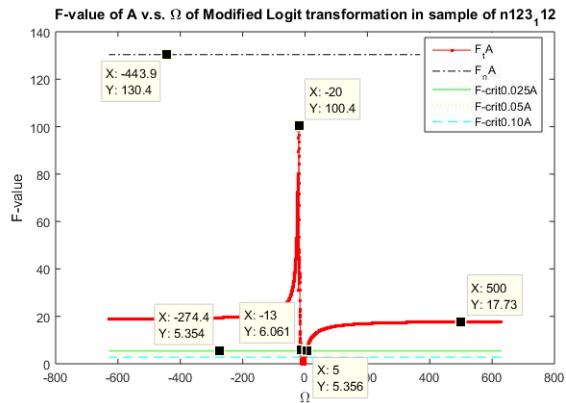
ภาพที่ 4.82

กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

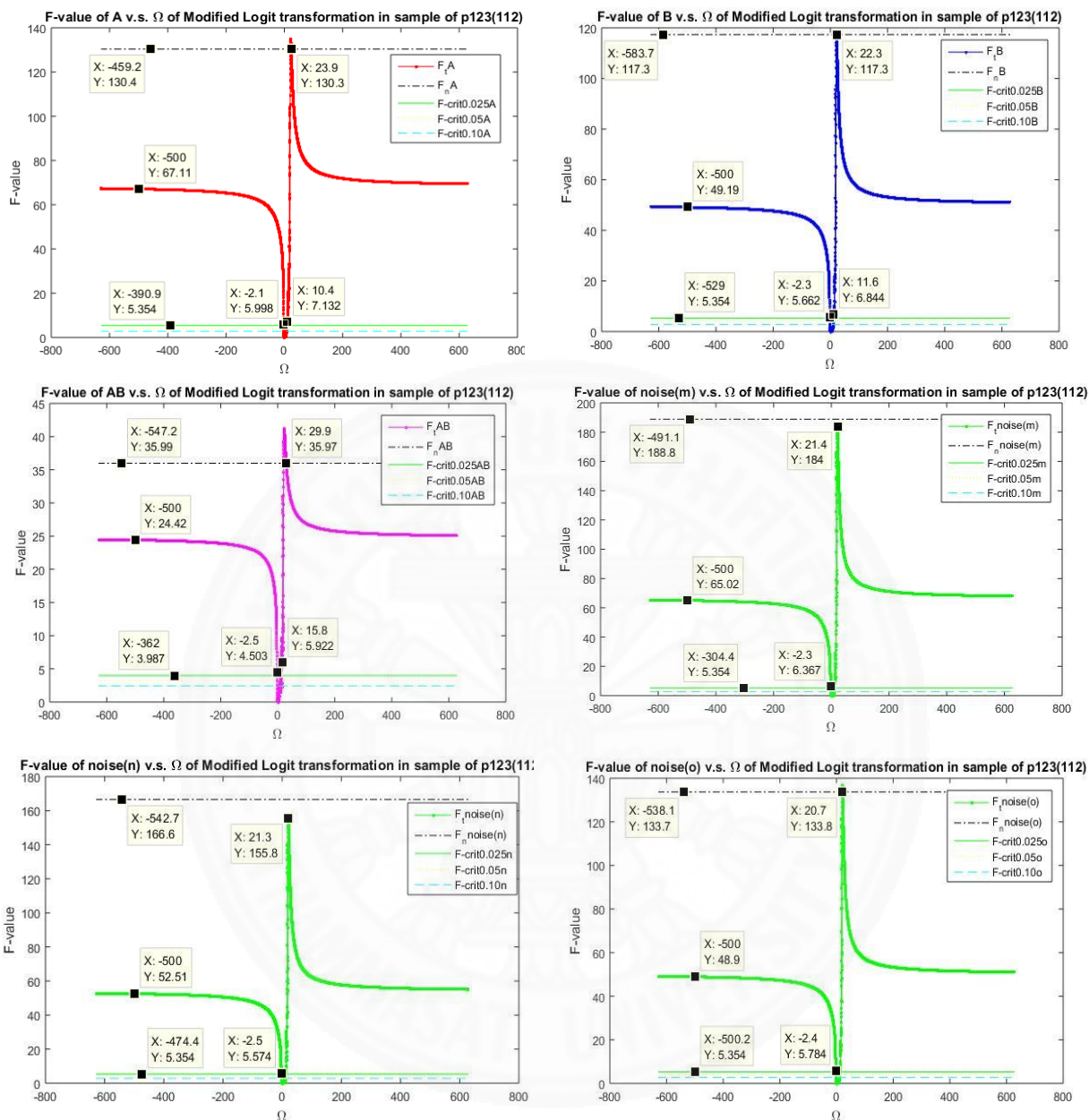
จากภาพที่ 4.81 และ 4.82 แสดงความสัมพันธ์ค่าสถิติ F_0 กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ซึ่งพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีข้อมูลเชิงลบ (ภาพที่ 4.81) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัย ส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ประมาณ $[-5, 4.32]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ อีกทั้งยังมีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 0.96 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติเนื่องจากค่าแลมบ์ดามีค่าใกล้เคียง 1 ที่เป็นจุดตัดของกราฟที่ทำให้ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสมีค่าเท่ากันและยังสามารถใช้ช่วงการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ทุกระดับความเชื่อมั่นได้เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก (ภาพที่ 4.82) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัย บางส่วนของค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งช่วงของค่าแลมบ์ดาทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของทุกปัจจัยตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญคือช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ประมาณ $[-0.38, 3.02]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ อีกทั้งยังมีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 0.86 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่ยังแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติเนื่องจากค่าแลมบ์ดามีค่ายังไม่เข้าใกล้ 1 ที่เป็นจุดตัดของกราฟที่ทำให้ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสมีค่าเท่ากัน และสามารถใช้ช่วงการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ทุกระดับความเชื่อมั่นได้เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ



ภาพที่ 4.83 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.84 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.83 และ 4.84 แสดงความสัมพันธ์ค่าสถิติ F_0 กับค่าโอเมก้าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ซึ่งพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีข้อมูลเชิงลบ (ภาพที่ 4.83) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัยส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ $[-15.6, 69.1]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ แต่ไม่มีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 500 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และแนวโน้มของกราฟมีเพียงช่วงประมาณ 0 ถึง -20 ที่ลู่ออกหาเส้นกราฟค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติแต่ยังคงให้ค่าที่แตกต่างกันมาก นอกจากช่วงดังกล่าวแนวโน้มของกราฟไม่มีการลู่ออกหาเส้นกราฟของข้อมูลธรรมชาติในทุกๆค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้

กรณีข้อมูลเชิงบวก (ภาพที่ 4.84) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัยส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ $[-15.6, 69.1]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ แต่ไม่มีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ -500 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และแนวโน้มของกราฟมีเพียงช่วงประมาณ 0 ถึง -20 ที่ลู่ออกหาเส้นกราฟค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติแต่ยังคงให้ค่าที่แตกต่างกันมาก นอกจากช่วงดังกล่าวแนวโน้มของกราฟไม่มีการลู่ออกหาเส้นกราฟของข้อมูลธรรมชาติในทุกๆค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ F_0 กับตัวแปรการแปลงข้อมูลของทั้ง 3 วิธี แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลลัพธ์ในแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน โดยในกรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ค่าสถิติของปัจจัยภายในที่ใกล้เคียงมากกว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน แต่ค่าสถิติของปัจจัยภายนอกการแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด และในกรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ค่าสถิติของปัจจัยภายในที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด รองลงมาคือการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติที่แตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด จะเห็นผลเบื้องต้นได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยภายนอกมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล โดยเฉพาะการแปลงแบบพาราโบลิคและแบบโลจิทที่ผลลัพธ์ของค่าสถิติเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติที่มีความแตกต่างมากกว่ากรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก และในขั้นตอนต่อไปจะนำผลลัพธ์ของค่าสถิติ F_0 ทุกสถานการณ์ที่รวบรวมไว้ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูภาพรวมของผลลัพธ์ว่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และปัจจัย

รบกวนภายนอกมีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลอย่างไรซึ่งจะอยู่ในหัวข้อผลการดำเนินการทดลอง (หัวข้อที่ 4.1.2.3) ต่อไป

2. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 4.99

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

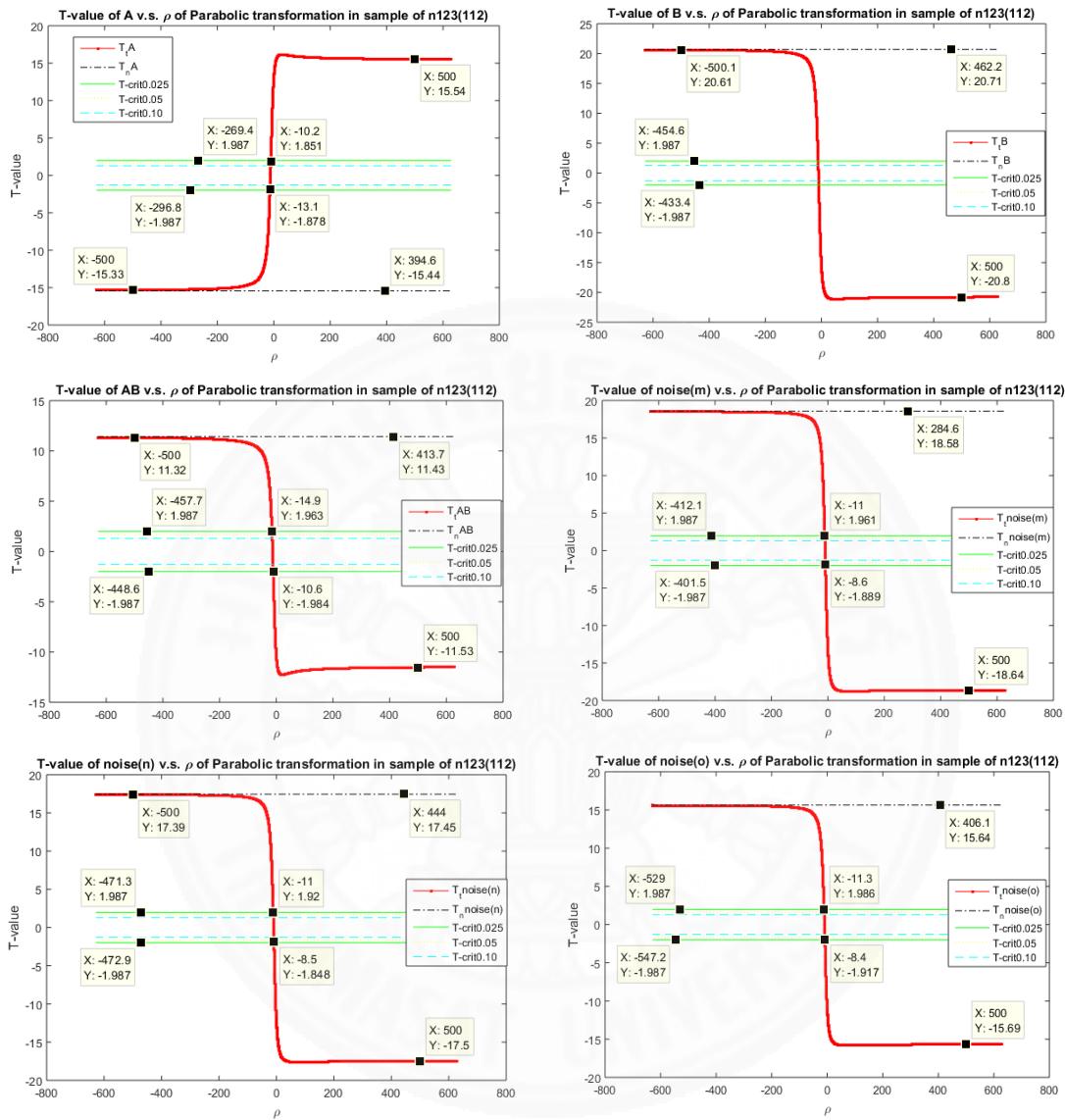
Natural	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	-9.8275	-1.7825	2.9286	1.6157	2.1453	2.0149	1.8053
	SE of Co-efficient	0.1154	0.1154	0.1414	0.1414	0.1154	0.1154	0.1154
	T-test	-85.1319	-15.4413	20.7140	11.4277	18.5836	17.4542	15.6384
	P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	259947.85	1823.84	-2989.96	-1656.47	-2187.14	-2054.01	-1840.66
	SE of Co-efficient	117.35	117.35	143.72	143.72	117.35	117.35	117.35
	T-test	2215.16	15.54	-20.80	-11.53	-18.64	-17.50	-15.69
	P-value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	-10.5413	-1.9683	3.2182	1.7908	2.3506	2.2074	1.9777
	SE of Co-efficient	0.1262	0.1262	0.1545	0.1545	0.1262	0.1262	0.1262
	T-test	-83.5474	-15.5999	20.8260	11.5887	18.6304	17.4954	15.6744
	P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	-1.7915	0.0786	-0.1604	-0.0590	-0.1278	-0.1209	-0.1107
	SE of Co-efficient	0.0139	0.0139	0.0170	0.0170	0.0139	0.0139	0.0139
	T-test	-128.7546	5.6519	-9.4130	-3.4646	-9.1862	-8.6870	-7.9578
	P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 4.100

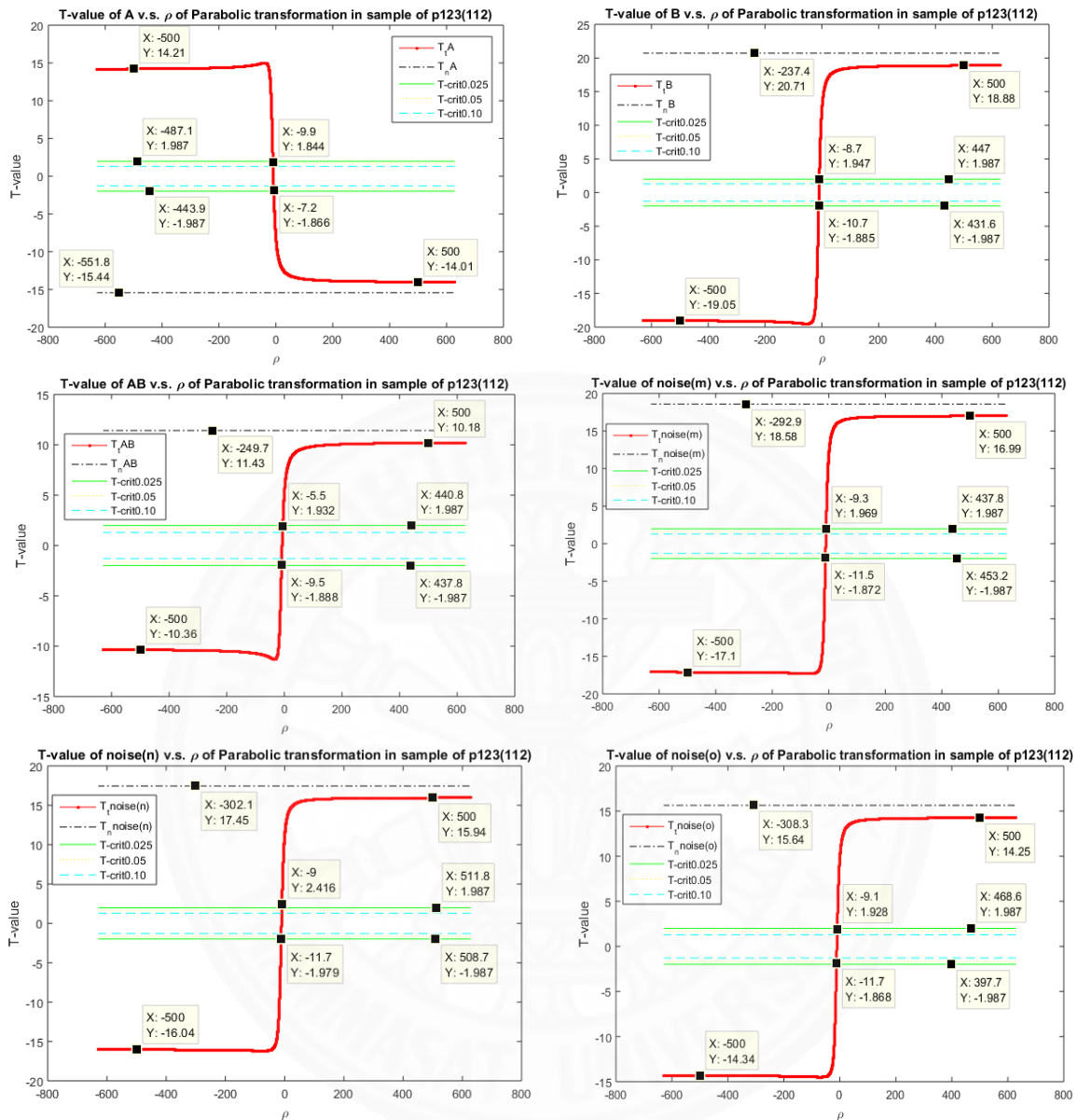
ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	10.1725	-1.7825	2.9286	1.6157	2.1453	2.0149	1.8053
	SE of Co-efficient	0.1154	0.1154	0.1414	0.1414	0.1154	0.1154	0.1154
	T-test	88.1201	-15.4413	20.7140	11.4277	18.5836	17.4542	15.6384
	P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	260342.55	-1769.66	2920.13	1575.24	2146.35	2013.51	1799.27
	SE of Co-efficient	126.30	126.30	154.68	154.68	126.30	126.30	126.30
	T-test	2061.38	-14.01	18.88	10.18	16.99	15.94	14.25
	P-value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	7.9763	-1.3279	2.1486	1.2284	1.5571	1.4603	1.3141
	SE of Co-efficient	0.0818	0.0818	0.1002	0.1002	0.0818	0.0818	0.0818
	T-test	97.4522	-16.2243	21.4344	12.2543	19.0248	17.8420	16.0550
	P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	AB	m	n	o
	Co-efficient	-1.7714	-0.1138	0.1675	0.1175	0.1120	0.1006	0.0971
	SE of Co-efficient	0.0105	0.0105	0.0128	0.0128	0.0105	0.0105	0.0105
	T-test	-169.2921	-10.8735	13.0700	9.1705	10.7031	9.6187	9.2816
	P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

จากตารางที่ 4.99 และ 4.100 เป็นตารางเปรียบเทียบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและเชิงลบชุดที่ 137 ของการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าสถิติ T-test ของสมการข้อมูลในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูลและถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.85 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

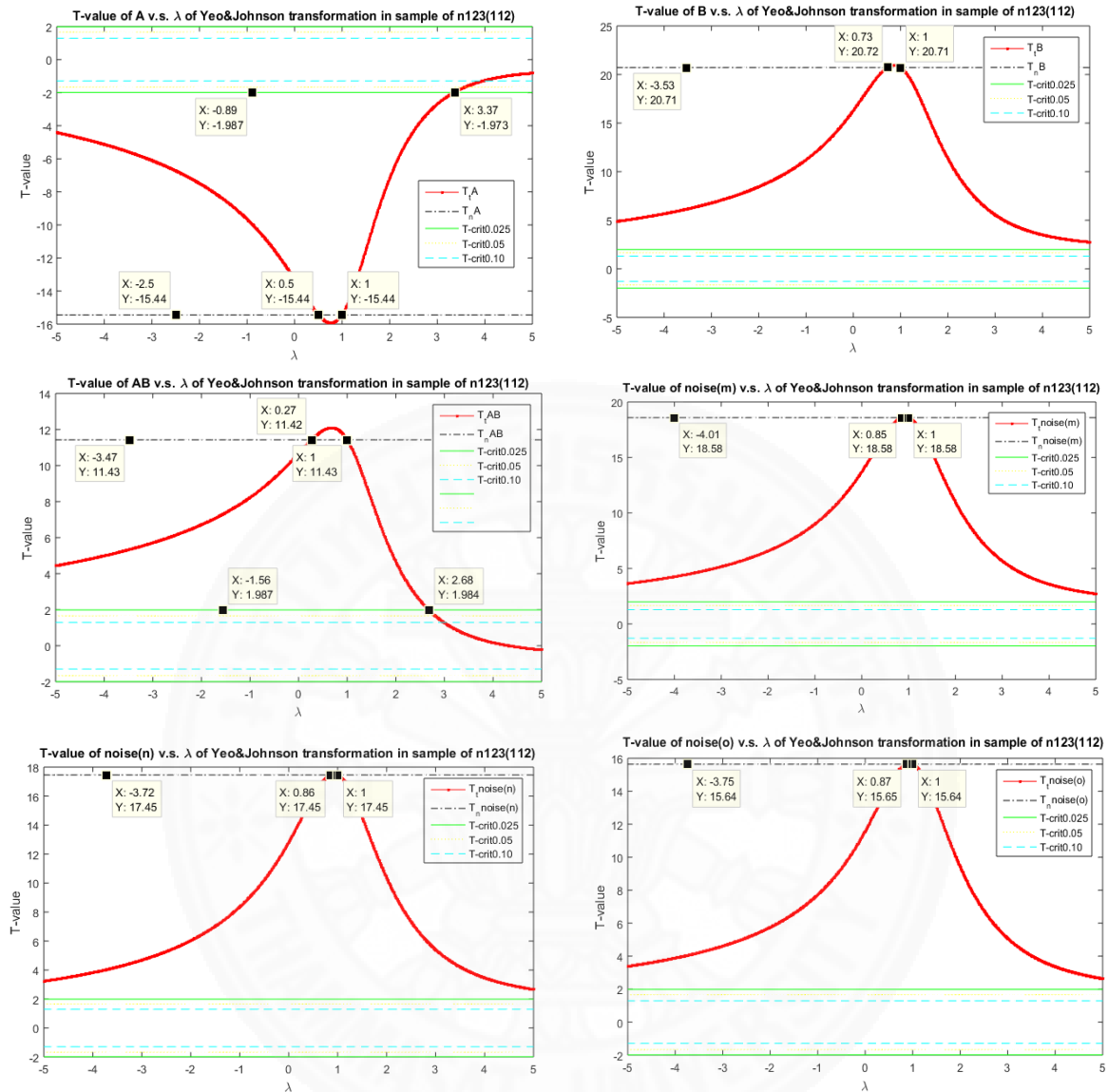


ภาพที่ 4.86 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

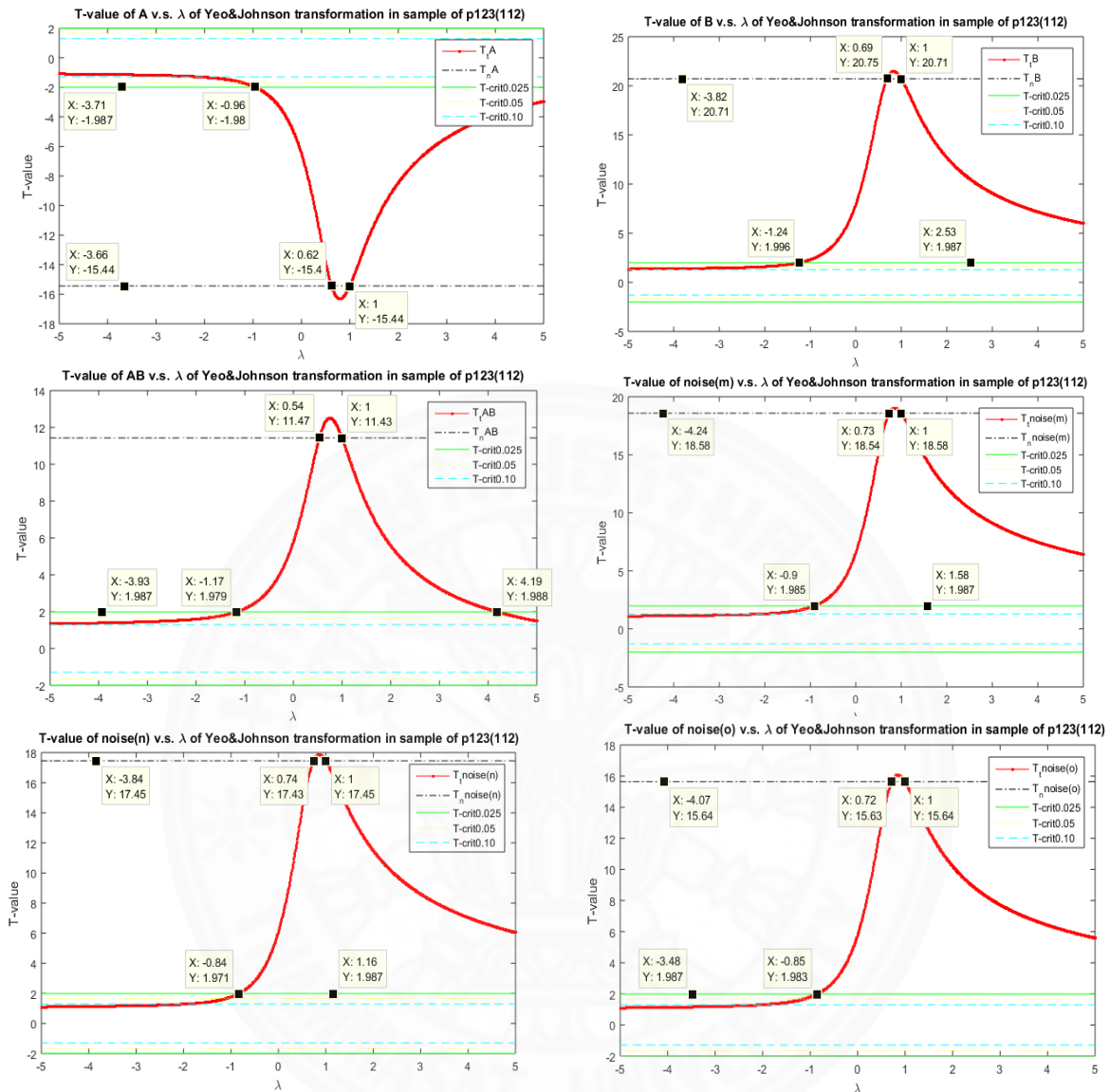
จากภาพที่ 4.85 และ 4.86 แสดงความสัมพันธ์ค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ซึ่งพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีข้อมูลเชิงลบ (ภาพที่ 4.85) พบว่า กราฟของค่าสถิติ T-test ของทุกปัจจัย มีลักษณะคู่เข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านลบและให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านบวก ส่วนช่วงค่าโรที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยอยู่ในช่วงประมาณ $[-14.9, 8.4]$ ซึ่งจากการประมาณค่าโรด้วยวิธี MLE ได้ค่าโรเท่ากับ 500 ทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ตรงข้ามกับข้อมูลธรรมชาติแต่ใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณเนื่องจากค่าโรมีผลต่อเครื่องหมายในการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งมีผลต่อเนื่องในการหาค่าสถิติ T-test ของสมการ

กรณีข้อมูลเชิงบวก (ภาพที่ 4.86) พบว่า กราฟของค่าสถิติ T-test ของทุกปัจจัย มีลักษณะคู่เข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านบวกและให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านลบ ส่วนช่วงค่าโรที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยอยู่ในช่วงประมาณ $[-11.7, 9.3]$ ซึ่งจากการประมาณค่าโรด้วยวิธี MLE ได้ค่าโรเท่ากับ 500 ทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติแต่ค่ายังแตกต่างในระดับหลักหน่วยซึ่งใกล้เคียงน้อยกว่ากรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.87 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

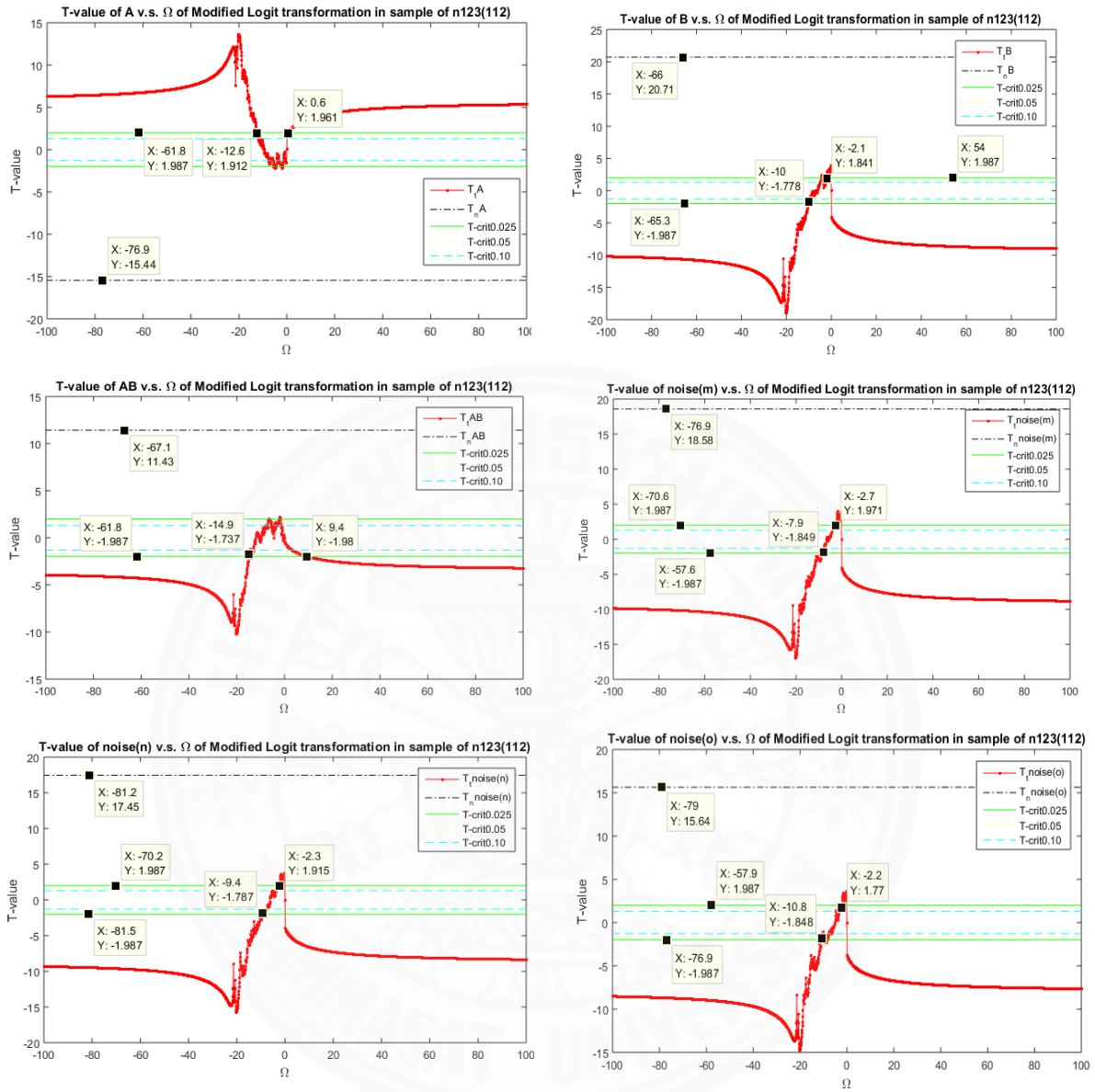


ภาพที่ 4.88 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

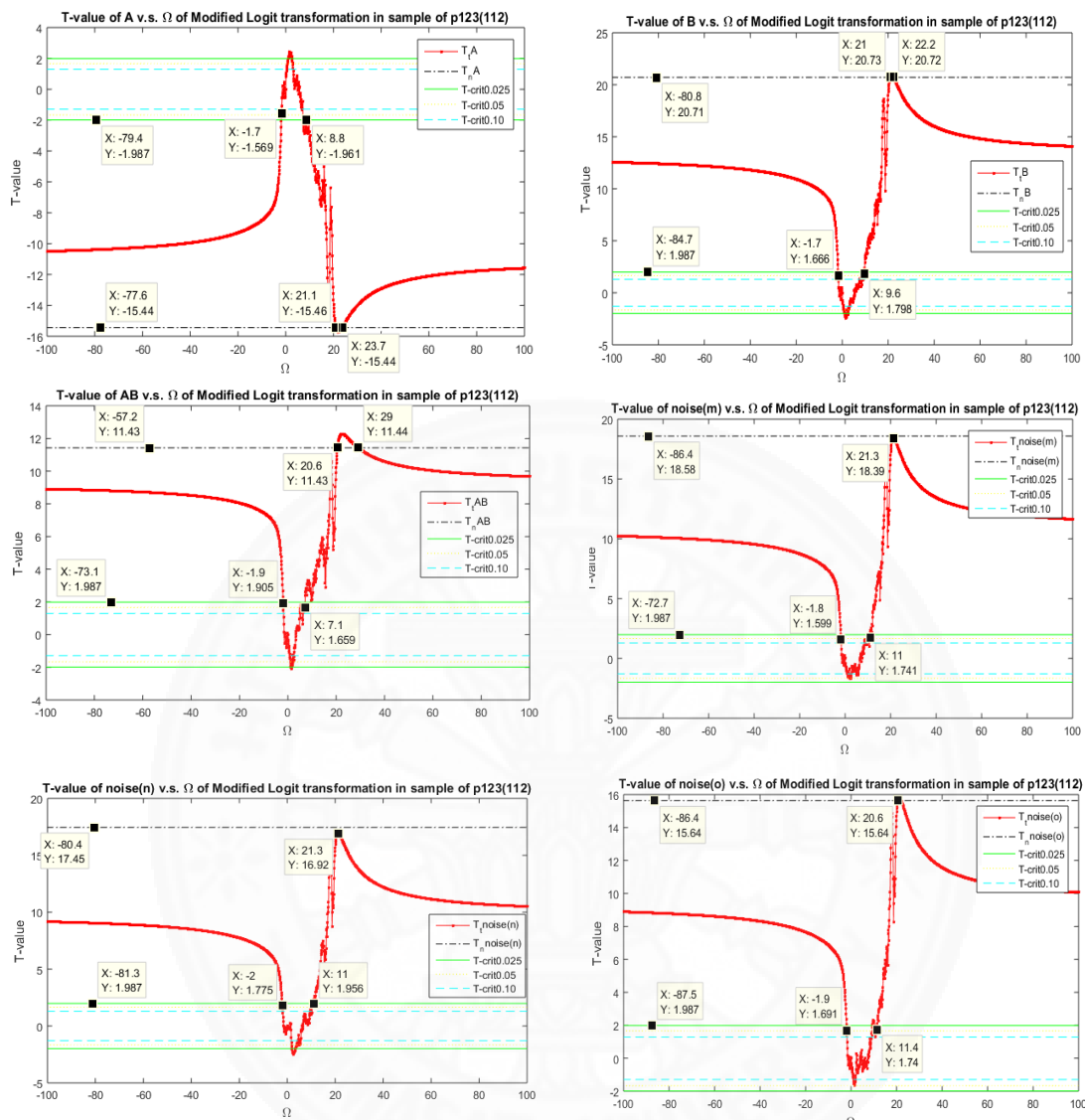
จากภาพที่ 4.87 และ 4.88 แสดงความสัมพันธ์ค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ซึ่งพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีข้อมูลเชิงลบ (ภาพที่ 4.87) พบว่า กราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยตลอดช่วงค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ยกเว้นปัจจัย AB ให้ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานที่ตรงกันตลอดช่วงแลมบ์ดาที่กำหนด ยกเว้นช่วง $[2.68, 5]$ ที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกันในทุกระดับของค่านัยสำคัญ อีกทั้งยังมีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยและการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 0.96 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติที่แตกต่างกันที่ระดับทศนิยมตำแหน่งที่ 1 และยังสามารถใช้ช่วงการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ทุกระดับความเชื่อมั่นได้เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก (ภาพที่ 4.88) พบว่า กราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัย บางส่วนของค่าแลมบ์ดาที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งช่วงของค่าแลมบ์ดาทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของทุกปัจจัยตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญคือช่วงของค่าแลมบ์ดาที่ประมาณ $[-0.84, 4.19]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญและการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 0.86 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งใกล้เคียงน้อยกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ และยังสามารถใช้ช่วงการประมาณค่าโรที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ทุกระดับความเชื่อมั่นได้เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ



ภาพที่ 4.89 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.90 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 137 ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.89 และ 4.90 แสดงความสัมพันธ์ค่าสถิติ T-test กับค่าไรในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 137 ซึ่งพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

กรณีข้อมูลเชิงลบ (ภาพที่ 4.89) พบว่า กราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัย ส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ $[-14.9, 9.4]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐาน

ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ แต่ไม่มีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 500 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และแนวโน้มของกราฟมีเพียงช่วงประมาณ 0 ถึง -20 ที่ลู่ออกเข้าหาเส้นกราฟค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติแต่ยังคงให้ค่าที่แตกต่างกันมาก นอกจากช่วงดังกล่าวแนวโน้มของกราฟไม่มีการลู่ออกเข้าหาเส้นกราฟของข้อมูลธรรมชาติในทุกๆค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้

กรณีข้อมูลเชิงบวก (ภาพที่ 4.90) พบว่า กราฟของค่าสถิติ F_0 ในทุกปัจจัยส่วนใหญ่ตลอดช่วงค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติและมีช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ $[-2, 11.4]$ ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับของค่านัยสำคัญ แต่ไม่มีจุดตัดกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และการประมาณค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี MLE ได้ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ -500 ที่ให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติในทุกปัจจัยที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และแนวโน้มของกราฟมีเพียงช่วงประมาณ 0 ถึง 20 ที่ลู่ออกเข้าหาเส้นกราฟค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติแต่ยังคงให้ค่าที่แตกต่างกันมาก นอกจากช่วงดังกล่าวแนวโน้มของกราฟไม่มีการลู่ออกเข้าหาเส้นกราฟของข้อมูลธรรมชาติในทุกๆค่าโอเมก้าที่กำหนดไว้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงข้อมูลของทั้ง 3 วิธี แสดงให้เห็นแนวโน้มของผลลัพธ์ในแต่ละวิธีที่แตกต่างกัน ในกรณีข้อมูลเชิงลบการแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด รองลงมาคือการแปลงแบบโลจิต ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่มากที่สุด และในกรณีข้อมูลเชิงบวกการแปลงแบบยาวและจอห์นสันยังคงให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากที่สุด รองลงมาคือการแปลงแบบพาราโบลิก ส่วนการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่มากที่สุด จะเห็นผลเบื้องต้นได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยภายนอกมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล โดยเฉพาะการแปลงแบบพาราโบลิกที่มีความแม่นยำลดลงจากเดิมและในขั้นตอนต่อไปจะนำผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ทุกสถานการณ์ที่รวบรวมไว้ไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดูภาพรวมของผลลัพธ์ว่าอิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และปัจจัยรบกวนภายนอกมีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลอย่างไรซึ่งจะอยู่ในหัวข้อผลการดำเนินการทดลอง (หัวข้อที่ 4.1.2.3) ต่อไป

4.1.2.3 ผลการดำเนินการทดลอง

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้การหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่า

ด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าสถิติ F-test และ T-test กับตัวแปรของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี ในส่วนของการดำเนินการทดลองได้รวบรวมผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากการรันโปรแกรมคำนวณแมทแลปในทุกสถานการณ์ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั่วไปแบบ 2 ปัจจัย กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกแล้ว ได้นำผลลัพธ์ดังกล่าวมาวิเคราะห์ในด้านของความแม่นยำ (Accuracy) จากค่าเฉลี่ยของผลต่าง ($(\overline{\Delta F_0})$ และ $(\overline{\Delta T_0})$) และสัดส่วนผลค่าต่าง ($(\overline{\Delta F_0/F_n})$ และ $(\overline{\Delta T_0/T_n})$) ของค่าสถิติ F-test และ T-test ของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ และในด้านความเที่ยงตรง (Precision) ซึ่งพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ รวมถึงศึกษาขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และปัจจัยรบกวนภายนอกที่กำหนดไว้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบอย่างไร

ตารางที่ 4.101

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงลบในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน

Factor (F_0)	Abs($F_{0_natural} - F_{0_coded}$)						(Abs($F_{0_natural} - F_{0_coded}$))/ $F_{0_natural}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	97.86	2.836	247.20	115.23	4.771	156.22	0.300	0.011	0.888	0.236	0.016	0.065
B	60.38	1.729	155.59	64.98	2.769	77.45	0.302	0.010	0.888	0.237	0.015	0.061
AB	6.91	0.964	16.60	8.20	0.886	9.84	0.345	0.056	0.824	0.305	0.052	0.186
m	51.01	1.407	146.14	42.36	2.164	34.99	0.308	0.009	0.887	0.237	0.013	0.065
n	51.57	1.433	144.74	43.91	2.282	31.90	0.309	0.009	0.887	0.238	0.014	0.065
o	51.15	1.430	145.36	42.86	2.265	33.19	0.308	0.009	0.889	0.237	0.013	0.065

ตารางที่ 4.102

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ F ของข้อมูลเชิงบวกในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยครบถ้วน

Factor (F_0)	Abs($F_{0_natural} - F_{0_coded}$)						(Abs($F_{0_natural} - F_{0_coded}$))/ $F_{0_natural}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	89.34	3.309	246.87	101.66	5.885	157.16	0.283	0.012	0.889	0.221	0.018	0.069
B	54.83	1.856	154.57	56.56	2.777	74.98	0.284	0.012	0.888	0.220	0.017	0.064
AB	6.15	0.999	16.79	7.30	0.996	10.35	0.319	0.061	0.830	0.289	0.062	0.180
m	48.73	1.575	145.86	41.27	2.373	35.38	0.292	0.010	0.887	0.222	0.015	0.064
n	47.96	1.560	143.76	39.53	2.332	31.69	0.291	0.010	0.887	0.221	0.015	0.065
o	48.35	1.586	144.51	40.12	2.550	32.60	0.292	0.010	0.886	0.222	0.015	0.065

จากตารางที่ 4.101 และ 4.102 แสดงถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง (ΔF_0) และสัดส่วนของผลต่าง ($\Delta F_0/F_n$) ในทุกปัจจัย การแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบแสดงให้เห็นถึงความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุดรองลงมาคือการแปลงแบบโลจิตซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกซึ่งแตกต่างจากการออกแบบการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

ตารางที่ 4.103

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงลบในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยครบถ้วน

Factor (T_0)	Abs($T_{0_natural} - T_{0_coded}$)						(Abs($T_{0_natural} - T_{0_coded}$))/ $T_{0_natural}$					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	45.08	0.131	32.78	12.07	0.191	8.91	1.823	0.005	1.322	0.154	0.008	0.093
B	51.56	0.141	37.50	10.23	0.210	7.49	1.821	0.005	1.322	0.154	0.007	0.086
AB	17.03	0.255	12.47	4.73	0.219	3.79	1.797	0.029	1.314	0.248	0.026	0.269
M	36.41	0.085	26.46	4.41	0.126	2.72	1.817	0.004	1.322	0.155	0.006	0.097
N	36.27	0.086	26.38	4.33	0.126	2.73	1.817	0.004	1.322	0.155	0.006	0.095
o	36.31	0.085	26.36	4.40	0.130	2.84	1.817	0.004	1.320	0.155	0.006	0.096

ตารางที่ 4.104

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติ T ของข้อมูลเชิงบวกในการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรอบวง

Factor (T ₀)	Abs(T _{0_natural} - T _{0_coded})						(Abs(T _{0_natural} - T _{0_coded}))/T _{0_natural}					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	4.455	0.144	17.229	4.363	0.215	6.396	0.165	0.006	0.680	0.138	0.008	0.095
B	5.043	0.146	19.580	4.718	0.209	5.827	0.166	0.005	0.679	0.138	0.008	0.087
AB	1.905	0.266	6.717	2.034	0.245	3.086	0.203	0.031	0.700	0.205	0.031	0.271
m	3.458	0.090	13.611	2.941	0.133	2.566	0.171	0.005	0.677	0.140	0.007	0.093
n	3.428	0.091	13.520	2.891	0.131	2.490	0.170	0.005	0.677	0.139	0.007	0.094
o	3.448	0.090	13.539	2.918	0.137	2.502	0.171	0.005	0.676	0.140	0.007	0.094

จากตารางที่ 4.103 และ 4.104 แสดงถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนของค่าสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง (ΔT_0) และสัดส่วนของผลต่าง ($\Delta T_0/T_n$) ในทุกปัจจัย โดยกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดแสดงให้เห็นถึงความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิทในกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่ในกรณีข้อมูลเชิงบวกการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก

ตารางที่ 4.105

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (F ₀)	H ₀ reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	729	729	729	729	729	729	729	729	729	706	719	724
B	729	729	729	729	729	729	729	729	729	721	725	727
AB	729	729	729	616	663	695	729	729	729	254	325	367
m	729	729	729	729	729	729	729	729	729	682	711	723
n	729	729	729	729	729	729	729	729	729	688	714	723
o	729	729	729	729	729	729	729	729	729	675	706	720

ตารางที่ 4.106

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน F -test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (F_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	729	729	729	729	729	729	729	729	729	712	720	724
B	729	729	729	729	729	729	729	729	729	722	727	729
AB	729	729	729	643	669	691	729	729	729	238	302	342
m	729	729	729	729	729	729	729	729	729	696	715	725
n	729	729	729	729	729	729	729	729	729	686	716	726
o	729	729	729	729	729	729	729	729	729	690	713	726

จากตารางที่ 4.107 และ 4.108 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าสถิติ F -test ของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีเชิงบวกและลบภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลาให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ทุกระดับนัยสำคัญมีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่น้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยทั้งปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และปัจจัยภายนอก

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบยาวและจอห์นสันยังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลาให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ทุกระดับนัยสำคัญมีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่น้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยยกเว้นที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.10 ปัจจัย B ให้ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐาน F-test ในทุกสถานการณ์ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบที่ทุกระดับนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีความประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลที่มีความทนทานต่อปัจจัยรบกวนมากกว่าการแปลงอีกทั้ง 2 วิธี ส่วนการแปลงแบบโลจิทยังคงมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.107

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (T_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	729	729	729	729	729	729	729	729	729	727	728	729
B	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729
AB	729	729	729	716	724	727	729	729	729	429	457	512
m	729	729	729	729	729	729	729	729	729	728	729	729
n	729	729	729	729	729	729	729	729	729	728	728	729
o	729	729	729	729	729	729	729	729	729	727	729	729

ตารางที่ 4.108

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

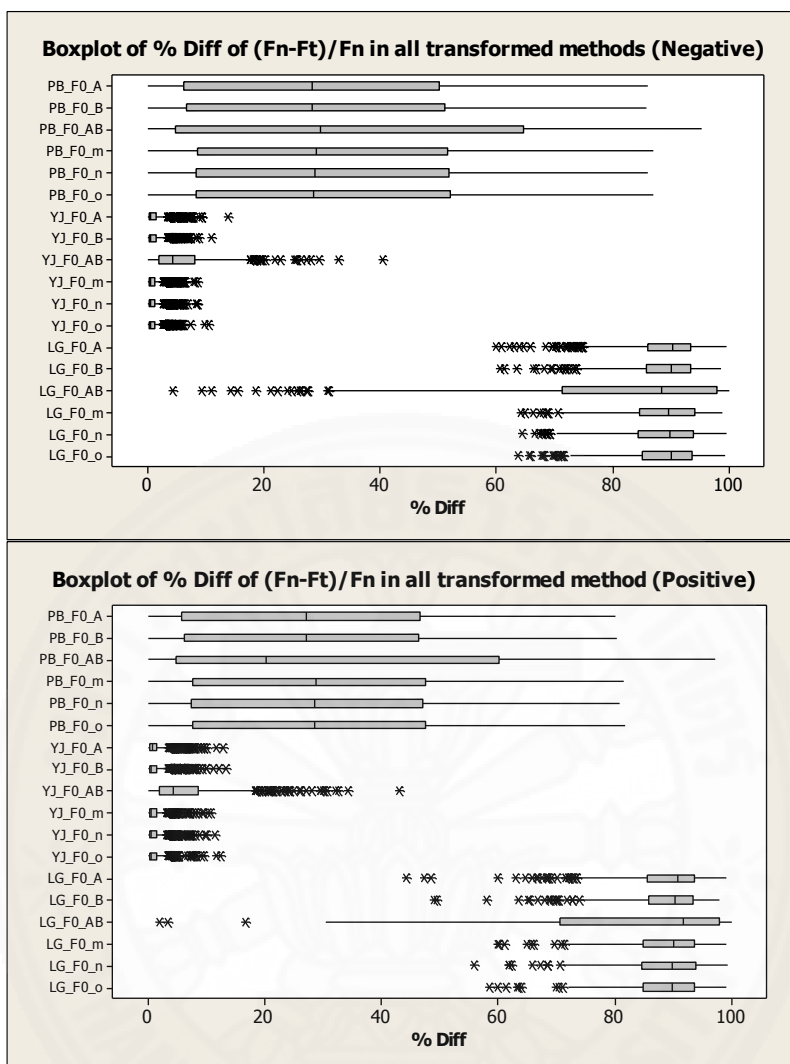
Factor (T_0)	H_0 reject											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	729	729	729	729	729	729	729	729	729	727	729	729
B	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729
AB	729	729	729	722	723	729	729	729	729	408	436	483
m	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729	729
n	729	729	729	729	729	729	729	729	729	728	728	729
o	729	729	729	729	729	729	729	729	729	728	729	729

จากตารางที่ 4.107 และ 4.108 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าสถิติ T-test ของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีเชิงบวกและลบภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ทุกระดับนัยสำคัญมีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับนัยสำคัญคือปัจจัย B และ m ส่วนปัจจัย o ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และ 0.01 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 เท่านั้น ปัจจัย A และ n ให้ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนปัจจัยร่วม AB ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลธรรมชาติที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับนัยสำคัญ

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบยาวและจอห์นสันยังคงให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ยกเว้นการทดสอบสมมติฐานของผลกระทบร่วม AB ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และ 0.10 มีจำนวนของการปฏิเสธสมมติฐานหลักน้อยกว่าข้อมูลธรรมชาติ และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับนัยสำคัญคือปัจจัย B และ m ส่วนปัจจัย A และ o ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และ 0.01 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 เท่านั้น ปัจจัย n ให้ผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนปัจจัยร่วม AB ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลธรรมชาติที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกระดับนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐาน T-test ในทุกสถานการณ์ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบที่ทุกระดับนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลที่มีความทนทานต่อปัจจัยต่างๆมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิคและโลจิต ส่วนการแปลงข้อมูลที่มีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุดคือการแปลงแบบโลจิต



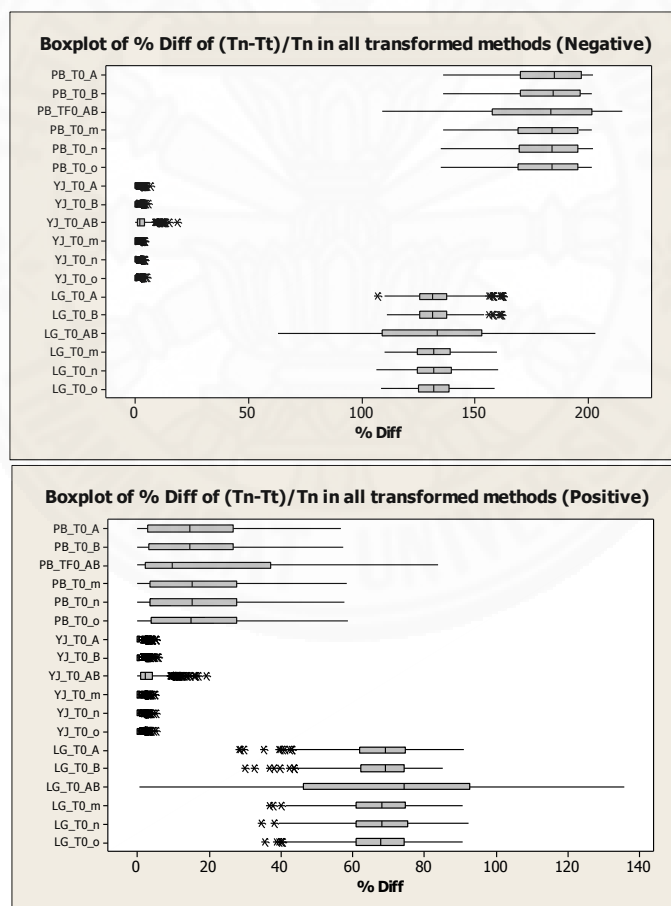
ภาพที่ 4.91 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า F_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.91 แสดงถึงผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟ Box-plot พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (YJ) มีสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของทุกปัจจัยที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในด้านของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสของทุก

ปัจจัยที่มีศูนย์กลางข้อมูลของ %Diff อยู่ประมาณ 30% แต่การกระจายตัวของข้อมูลมีค่ามากที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test ที่แย่ที่สุดในทุกปัจจัยโดยมีศูนย์กลางข้อมูลของ %Diff อยู่ที่ประมาณ 90% แต่มีการกระจายตัวที่น้อยกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบยาวและจอห์นสันยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ทั้งด้านแนวโน้มศูนย์กลางข้อมูลที่สูงที่สุดและการกระจายข้อมูลที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกยังให้ผลลัพธ์ที่คล้ายกับกรณีข้อมูลเชิงลบคือมีการกระจายตัวของข้อมูลที่สูงที่สุดและศูนย์กลางของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงศูนย์กลางน้อยกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก และการแปลงแบบโลจิทยังคงให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในด้านศูนย์กลางของข้อมูล แต่มีการกระจายข้อมูลที่น้อยกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก



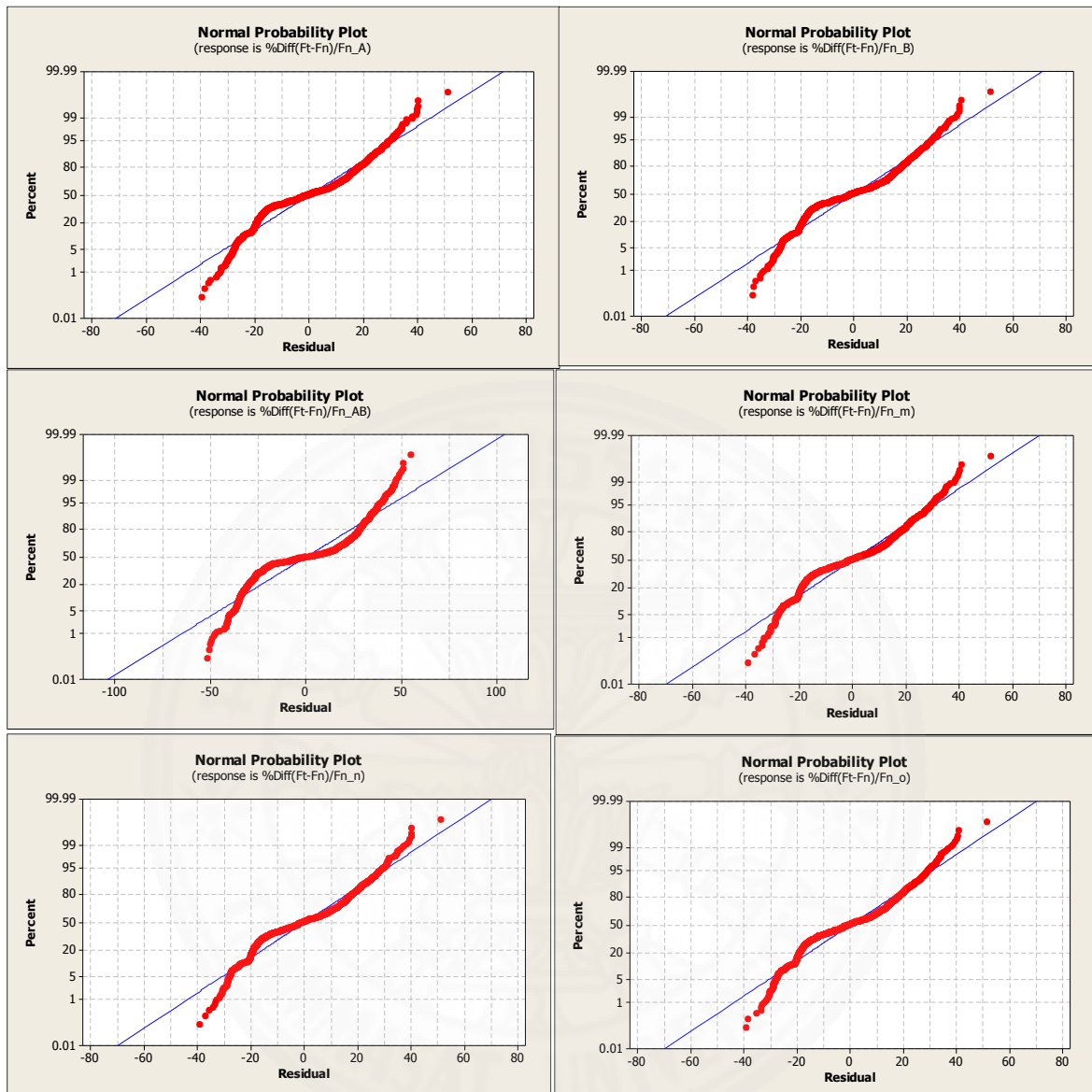
ภาพที่ 4.92 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.92 แสดงถึงผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟ Box-plot พบว่า

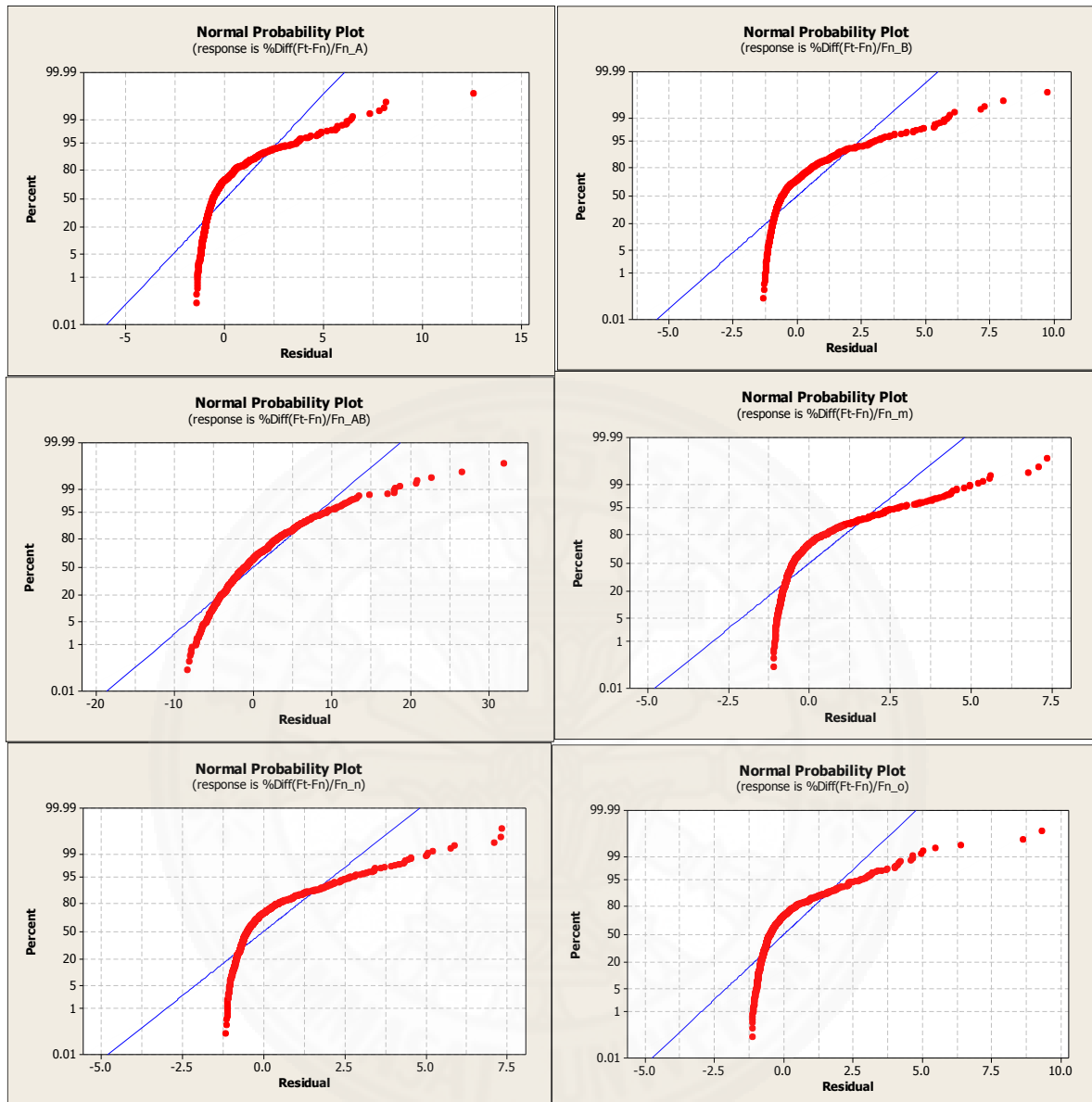
กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวีและจอห์นสัน (YJ) มีสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางมากที่สุด และมีการกระจายตัวที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิท (LG) มีผลลัพธ์ของแนวโน้มศูนย์กลางข้อมูลที่ใกล้เคียงศูนย์กลางน้อยกว่าและการกระจายตัวของข้อมูลที่มากกว่าการแปลงแบบยาวีและจอห์นสัน และการแปลงแบบพาราโบลิกมีผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในทุกปัจจัยโดยมีศูนย์กลางของข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 175% และมีการกระจายตัวของข้อมูลมากที่สุด

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงยาวีและจอห์นสัน (YJ) ยังคงมีสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์กลางมากที่สุดและมีการกระจายตัวที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิก (PB) มีผลลัพธ์ของแนวโน้มศูนย์กลางข้อมูลที่ใกล้เคียงศูนย์กลางน้อยกว่าและการกระจายตัวของข้อมูลที่มากกว่าการแปลงแบบยาวีและจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิทมีผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในด้านแนวโน้มศูนย์กลางข้อมูลซึ่งอยู่ประมาณ 70% แต่มีการกระจายตัวที่น้อยกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก

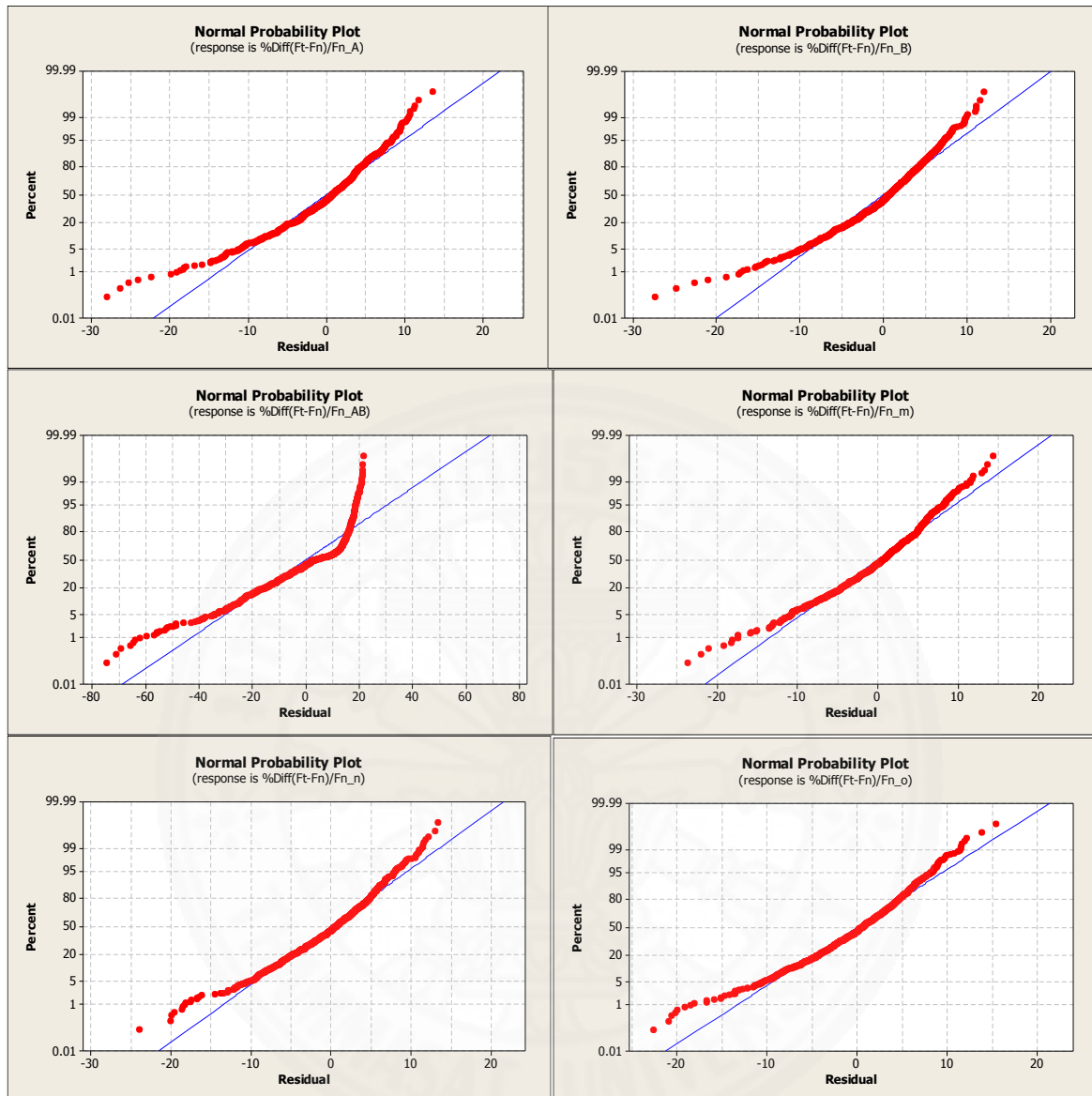
จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และปัจจัยรบกวนภายนอกขึ้นในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 3 ระดับและผลตอบสนอง (Response) คือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test $\left(\left| \frac{F_n - F_t}{F_n} \right| \right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 729 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติในทุกปัจจัยดังในภาพที่ 4.93 ถึง 4.98 แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนในปัจจัย A ,B ,AB ,m ,n , และ o



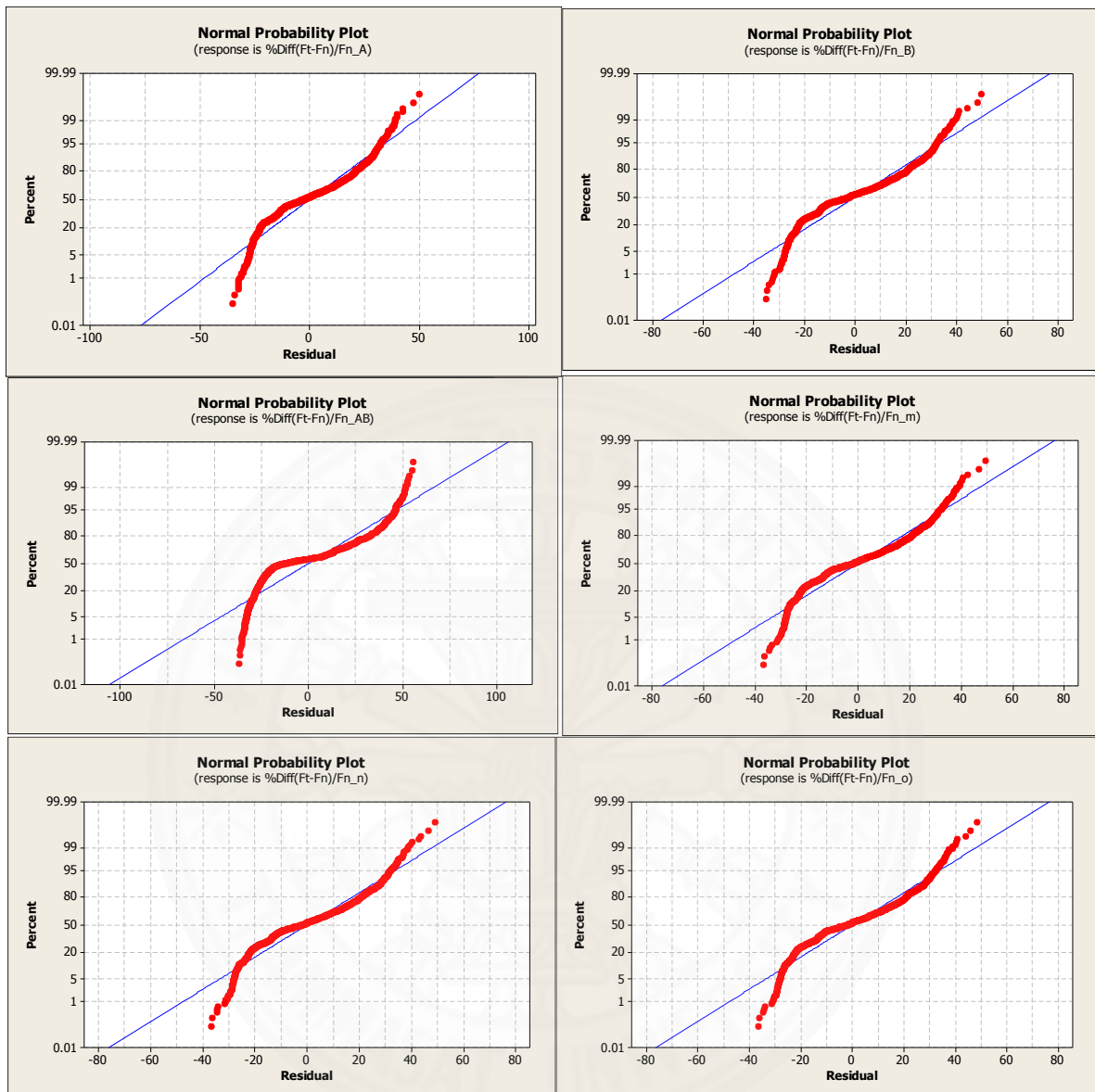
ภาพที่ 4.93 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ)
ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



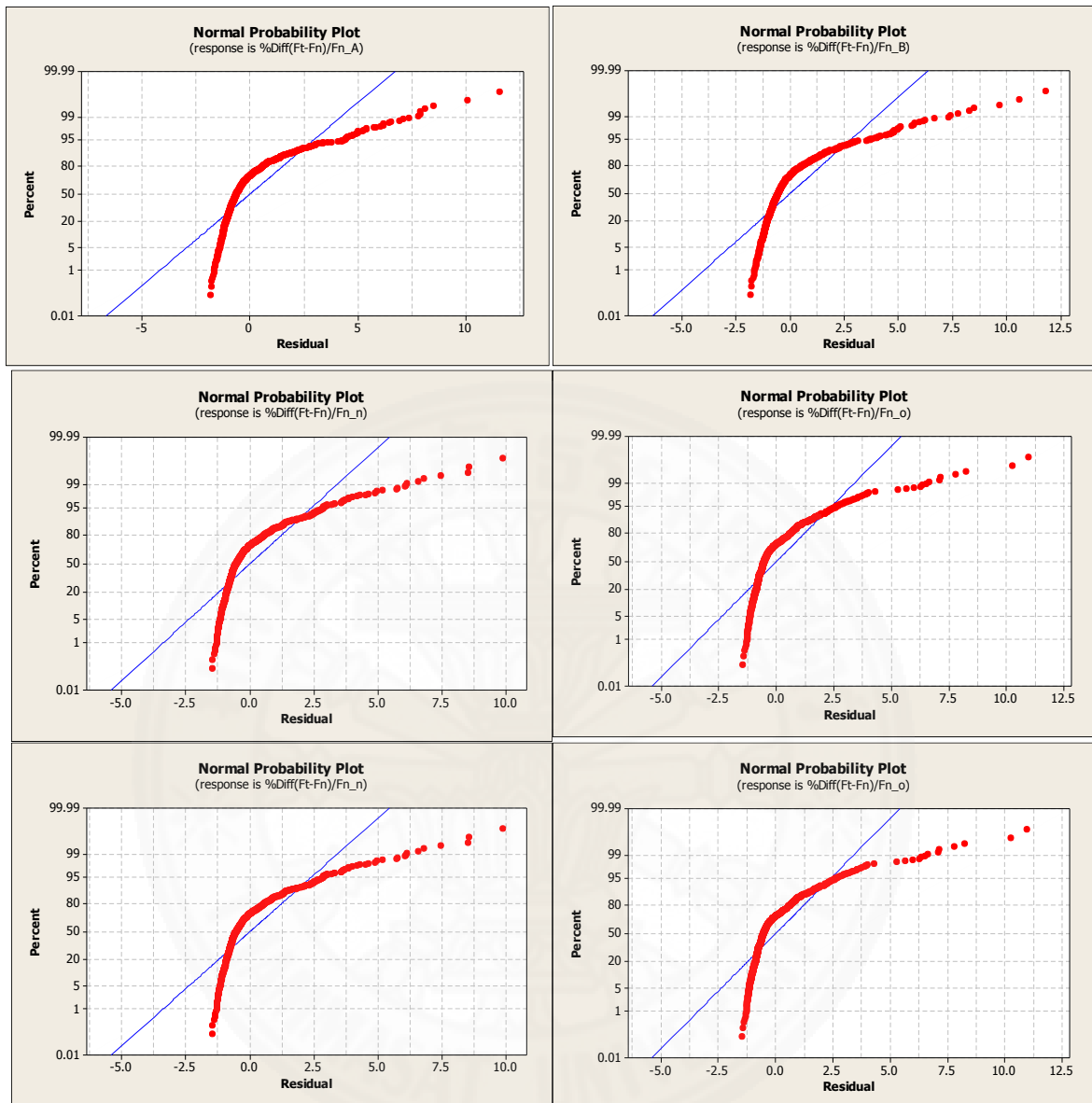
ภาพที่ 4.94 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



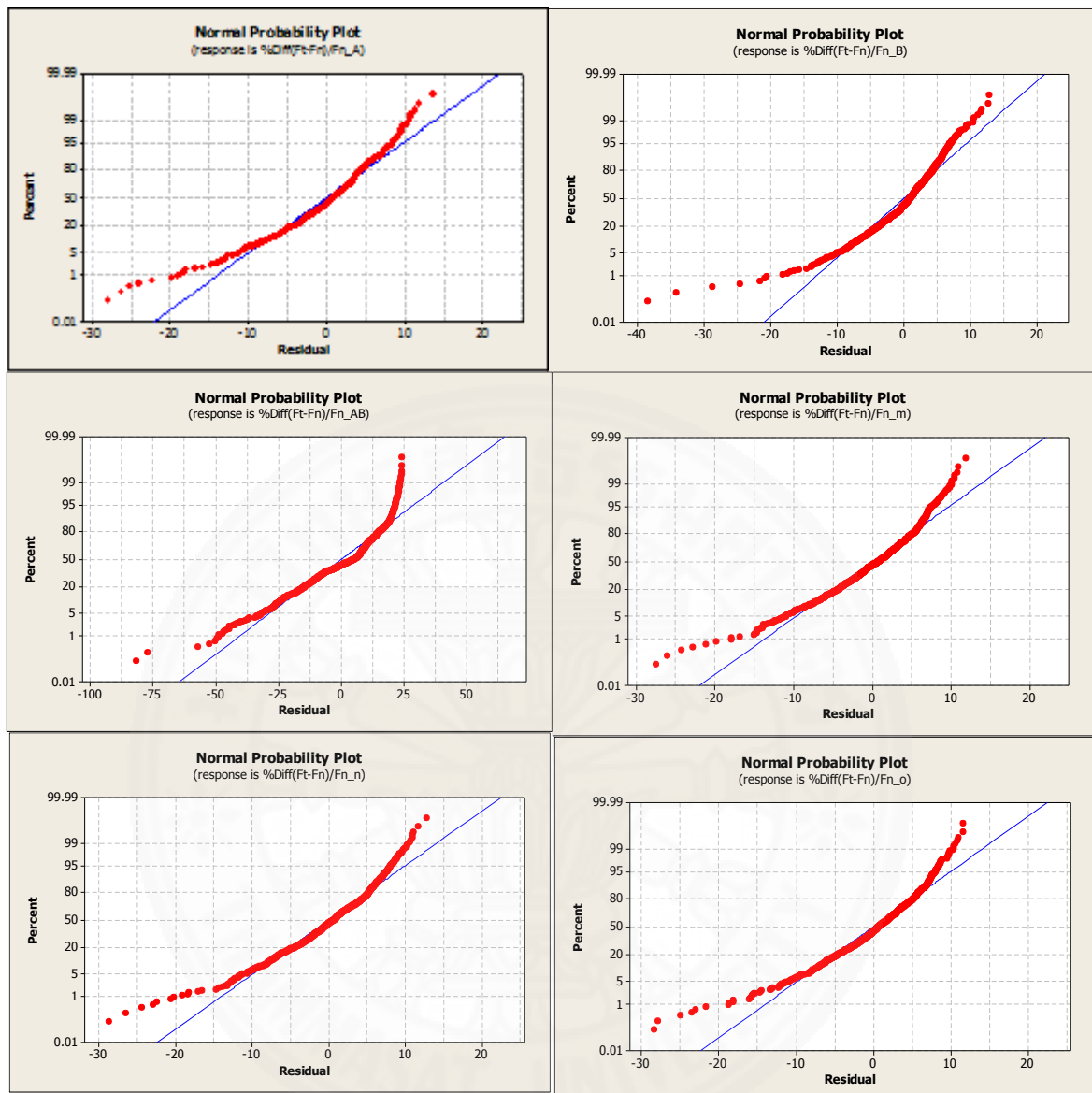
ภาพที่ 4.95 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงลบ)
ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



ภาพที่ 4.96 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก)
ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



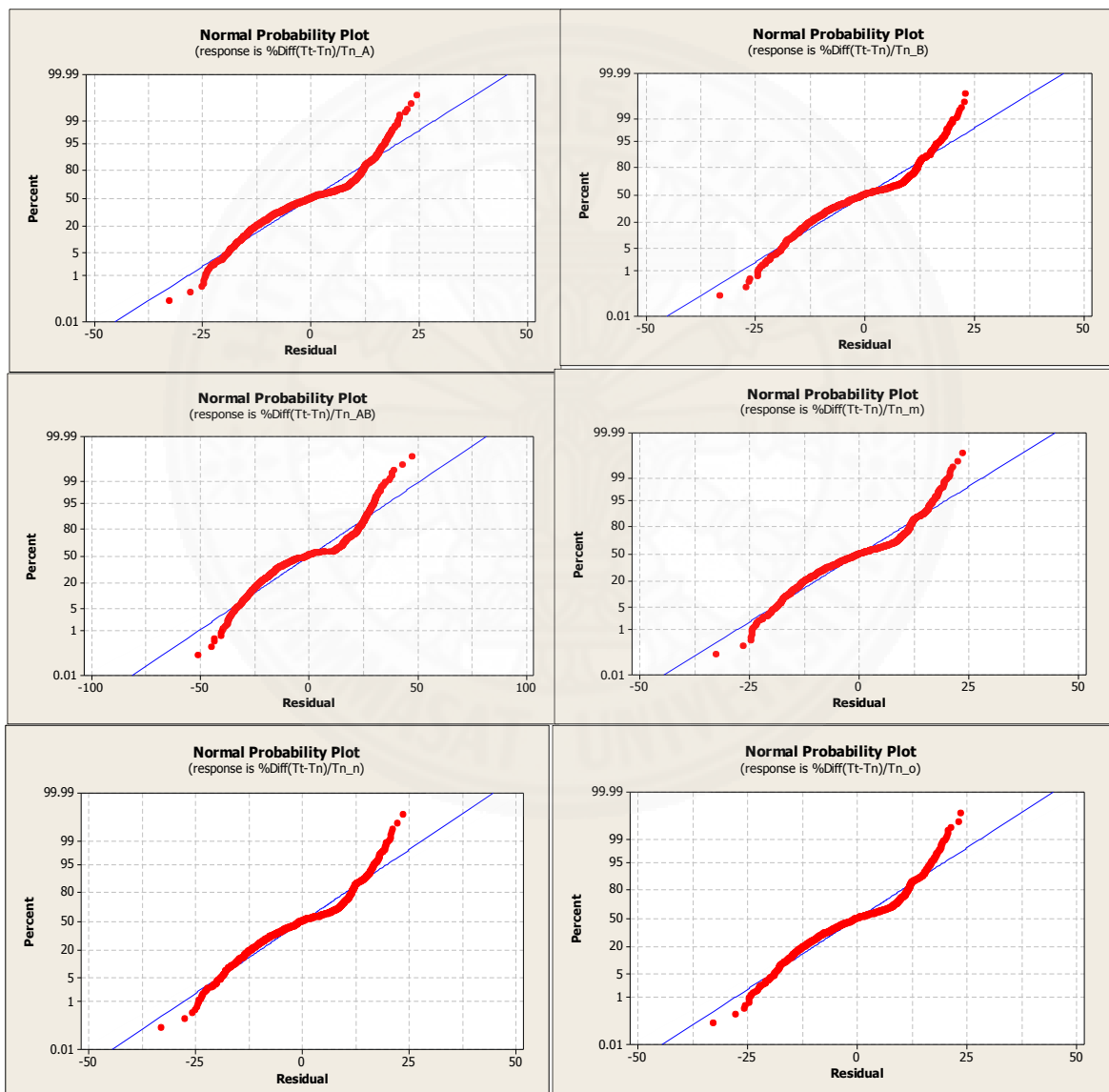
ภาพที่ 4.97 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



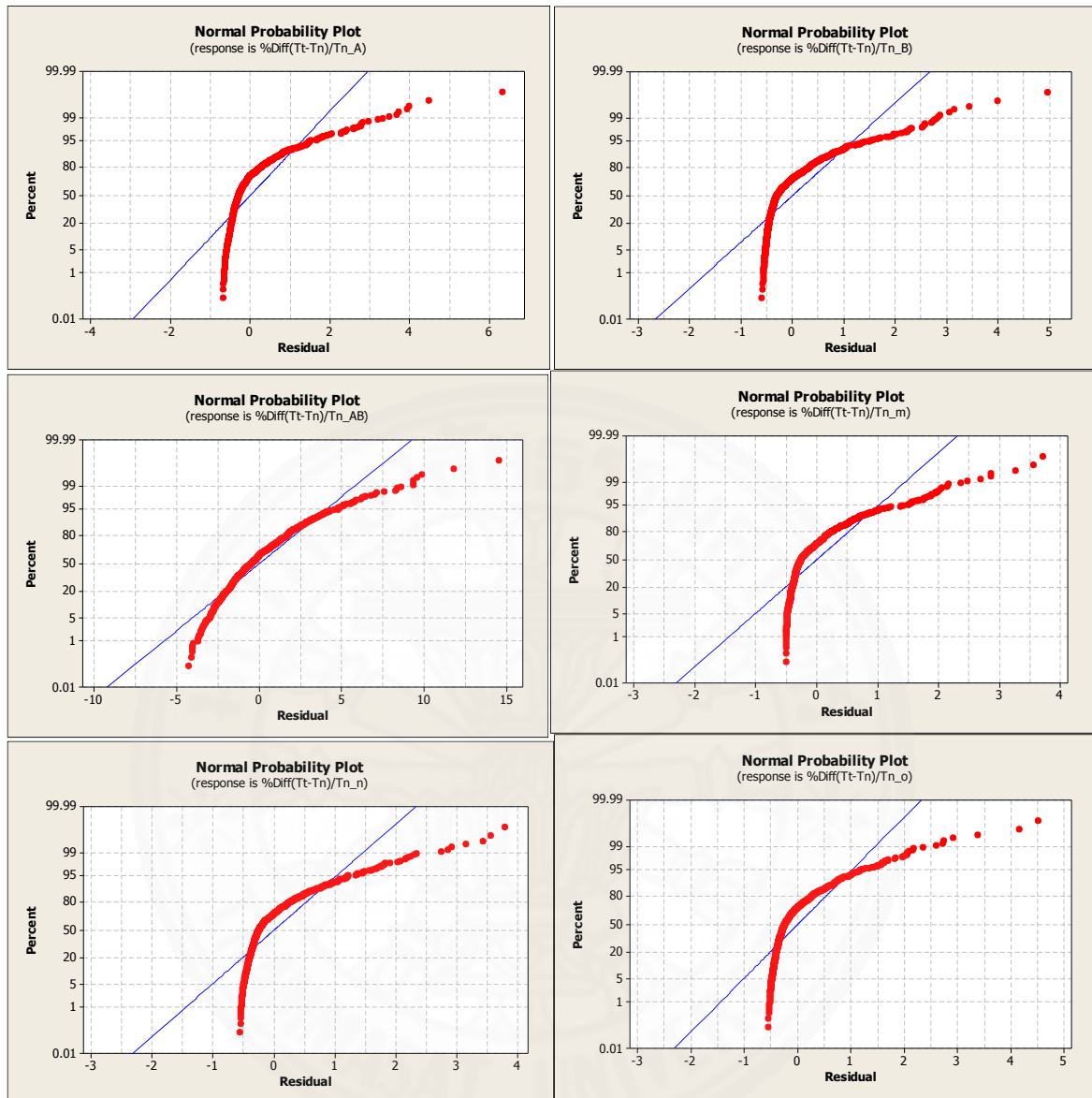
ภาพที่ 4.98 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ F-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน

จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และปัจจัยรบกวนภายนอกขึ้นในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาด

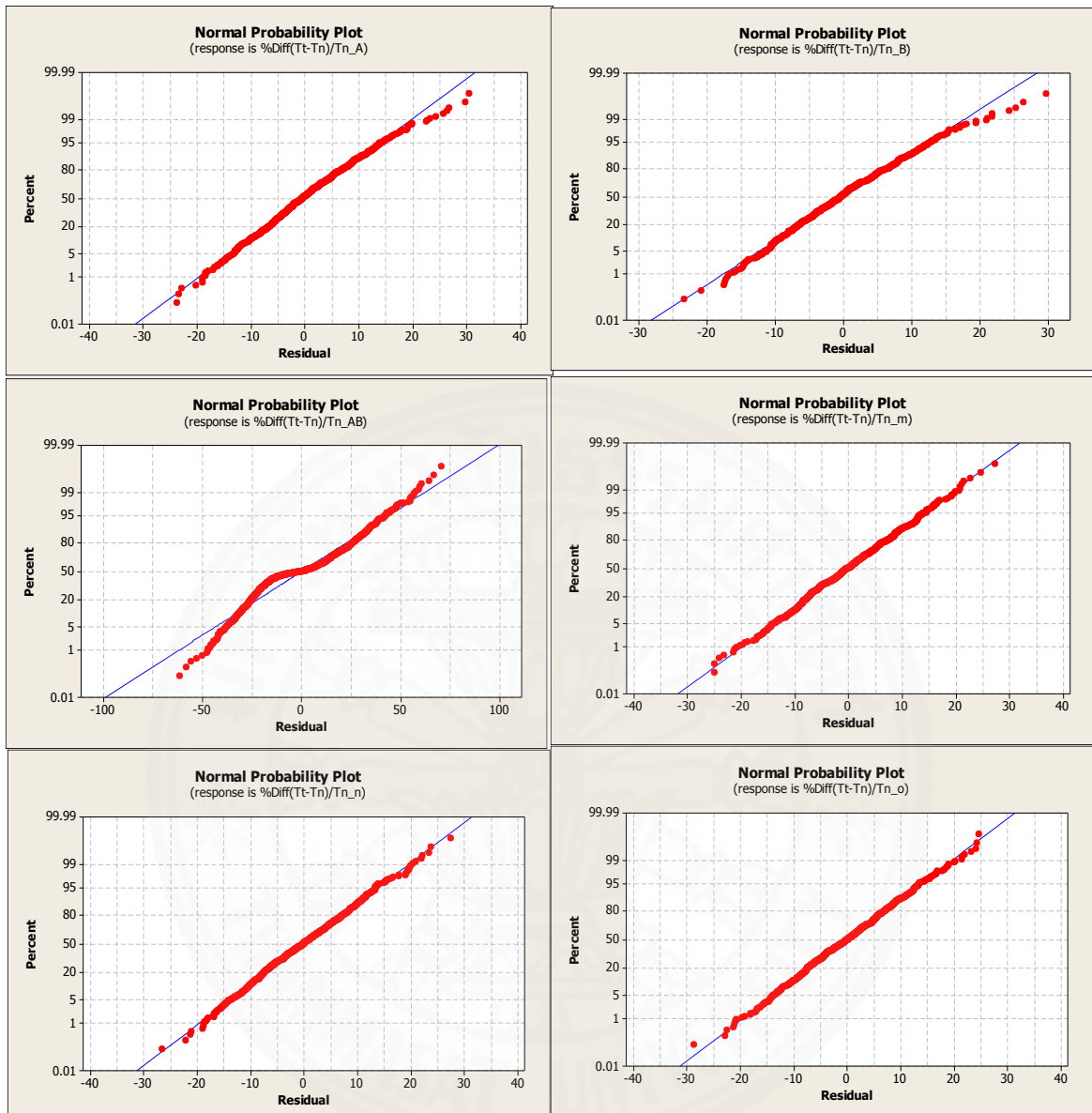
อิทธิพลในแต่ละปัจจัย 3 ระดับและผลตอบสนอง (Response) คือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test $\left(\left|\frac{T_n - T_t}{T_n}\right|\right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 729 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติในทุกปัจจัยดังในภาพที่ 4.99 ถึง 4.104 แสดงกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนในปัจจัย A, B, AB, m, n, และ o



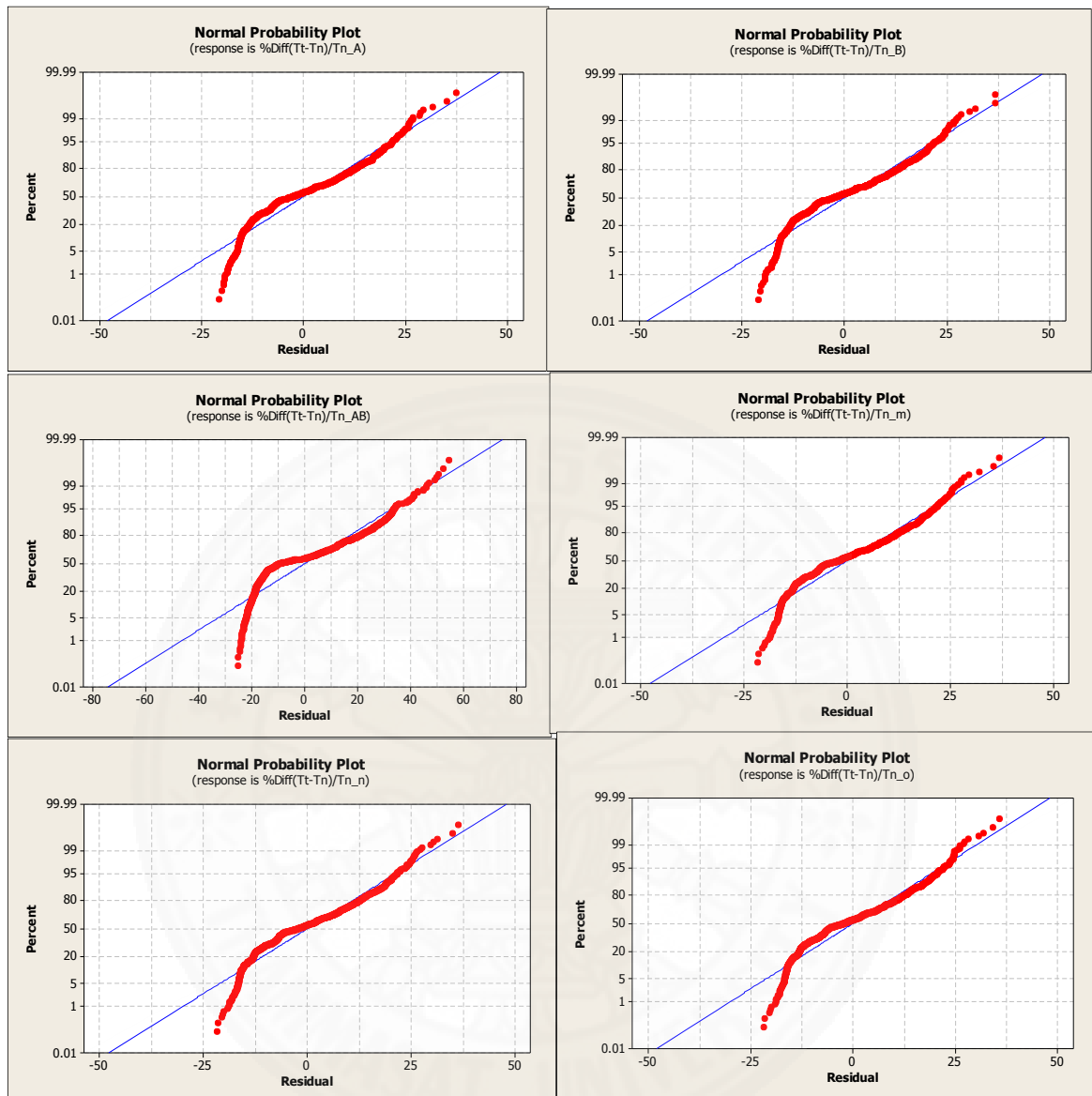
ภาพที่ 4.99 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



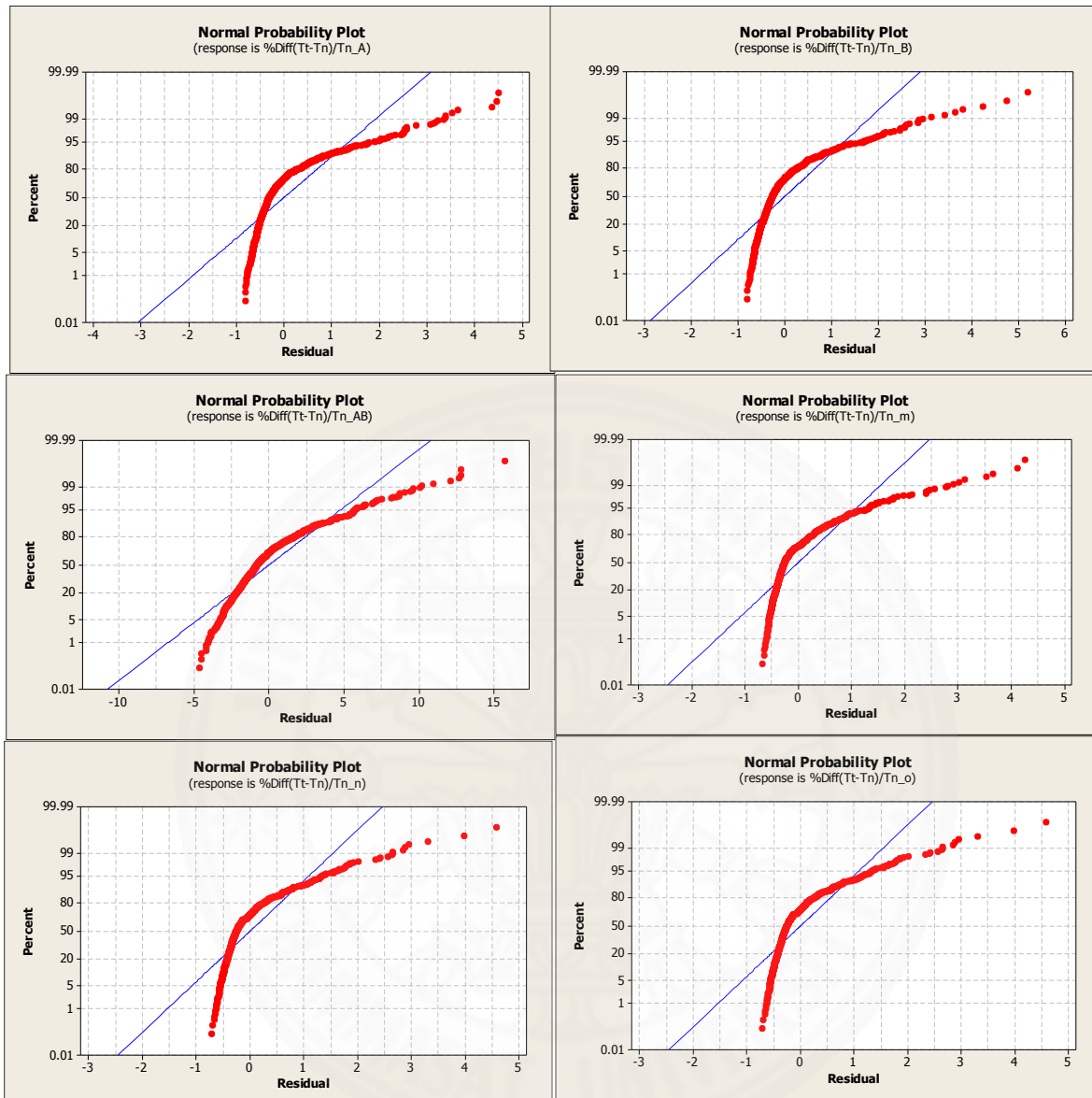
ภาพที่ 4.100 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



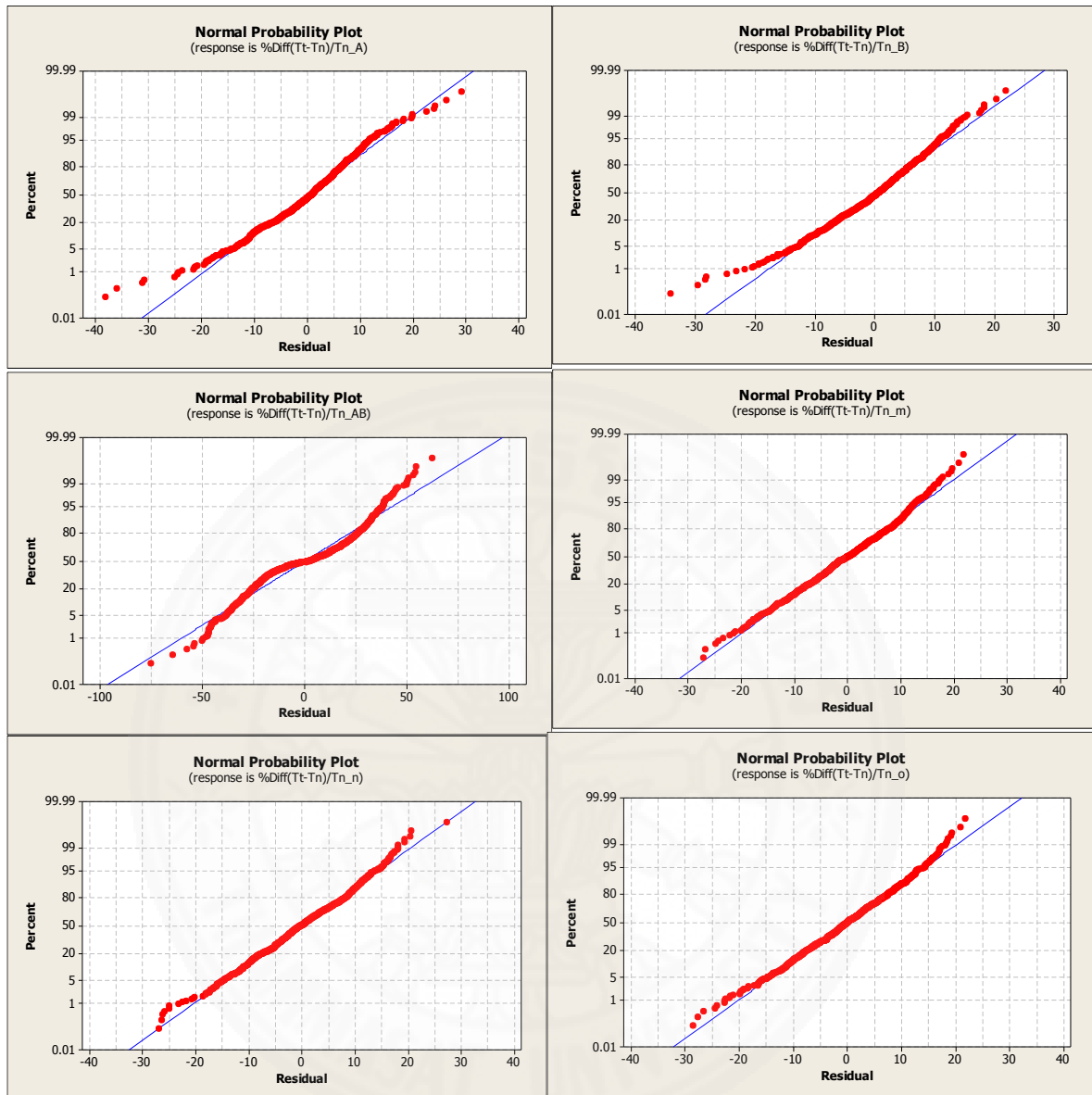
ภาพที่ 4.101 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงลบ) ของการแปลงแบบโลจิสในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



ภาพที่ 4.102 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก)
ของการแปลงแบบพาราโบลิกในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



ภาพที่ 4.103 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก) ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน



ภาพที่ 4.104 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการทดสอบ T-test (ข้อมูลเชิงบวก)
ของการแปลงแบบโลจิทในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน

จากการแสดงกราฟข้างต้น จึงเลือกใช้การทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ในการทดสอบสมมติฐานคือ การทดสอบของครัสคอลล-วอลลิส (Kruskal-Wallis Test) สำหรับการทดสอบสมมติฐานเพื่อดูว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยมีผลต่อวิธีการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไรในการหาค่าสถิติ F-test และ T-test ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.109 ถึง 4.121

ตารางที่ 4.109

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	16.54	-10.83	0.5547	1.58	88.81	-5.86
2	24.91	-4.95	0.5738	0.61	88.33	-7.08
3	49.43	15.78	0.4421	-2.19	92.48	12.94
H	260.43		5.13		168.04	
P-value	0.000		0.077		0.000	
Inter effect						
1	28.24	-1.35	0.5115	0.09	90.63	0.85
2	26.91	0.79	0.3862	-2.04	89.49	-2.35
3	29.31	0.57	0.6655	1.95	90.54	1.50
H	1.85		5.34		5.65	
P-value	0.397		0.069		0.059	
Noise effect						
1	28.24	-1.32	0.5667	2.27	89.93	-1.87
2	27.66	0.82	0.4906	-1.84	90.47	0.17
3	28.52	0.53	0.5022	-0.43	90.78	1.70
H	0.05		5.82		4.27	
P-value	0.974		0.04		0.118	

ตารางที่ 4.110

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัย B และ AB (ข้อมูลเชิงลบ) ใน
การทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	16.85	-10.92	0.5054	1.00	88.44	-7.30
2	25.56	-5.04	0.4087	-0.65	88.20	-7.41
3	50.04	15.96	0.4271	-0.35	92.71	14.70
H	266.17		1.03		216.13	
P-value	0.000		0.597		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.26	-1.34	0.4372	0.78	90.28	0.67
2	27.58	0.82	0.3722	-1.76	89.59	-2.20
3	29.50	0.52	0.5394	0.98	90.71	1.53
H	-1.34		3.10		5.08	
P-value	0.399		0.213		0.079	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.14	0.05	0.5197	2.85	89.72	-1.86
2	28.15	-0.23	0.3957	-2.12	90.38	0.50
3	28.35	0.18	0.4265	-0.74	90.32	1.36
H	0.06		8.78		3.70	
P-value	0.971		0.012		0.158	
Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	11.46	-7.84	4.113	-1.22	93.44	1.94
2	32.43	-1.76	3.754	-3.36	84.82	-2.13
3	63.33	9.61	5.361	4.59	87.52	0.18
H	104.64		22.57		5.56	
P-value	0.000		0.000		0.062	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	18.60	-2.03	5.575	4.42	94.92	1.48
2	35.97	2.32	4.823	1.51	81.15	-2.31
3	35.98	-0.29	3.033	-5.93	88.34	0.83
H	6.37		37.93		5.49	
P-value	0.041		0.000		0.064	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	29.63	0.23	4.526	1.85	87.93	-0.39
2	29.98	-0.28	3.838	-2.07	88.67	0.16
3	29.50	0.05	4.305	0.22	88.91	0.23
H	0.09		5.16		0.16	
P-value	0.958		0.076		0.925	

ตารางที่ 4.111

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยรบกวน m และ n
(ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor m	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	18.16	-11.15	0.3590	0.44	87.57	-8.49
2	25.77	-5.35	0.3372	-0.55	88.57	-4.83
3	51.38	16.50	0.3464	0.12	93.28	13.31
H	283.45		0.34		181.72	
P-value	0.000		0.842		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	29.15	-1.12	0.4738	1.98	89.35	-0.88
2	27.61	0.76	0.3187	-0.85	89.26	-1.31
3	29.52	0.36	0.3035	-1.13	90.96	2.19
H	1.31		3.93		4.85	
P-value	0.520		0.140		0.088	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	29.04	0.07	0.3664	2.09	89.51	-1.16
2	27.96	-0.16	0.2764	-2.99	89.86	0.39
3	29.15	0.09	0.3819	0.90	89.62	0.76
H	0.02		9.46		1.39	
P-value	0.988		0.009		0.50	
Factor n	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	18.10	-11.13	0.3578	0.30	87.37	-8.57
2	26.04	-5.36	0.3451	-0.26	88.53	-4.58
3	51.61	16.50	0.3064	-0.04	93.34	13.15
H	283.31		0.11		178.32	
P-value	0.000		0.949		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	29.22	-1.09	0.4599	2.52	89.29	-0.47
2	27.62	0.72	0.3208	-0.58	89.35	-1.68
3	29.08	0.37	0.2932	-1.95	90.77	2.15
H	1.24		7.01		5.11	
P-value	0.539		0.030		0.078	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.71	0.000	0.3731	2.41	89.91	-1.14
2	28.00	-0.16	0.2638	-3.06	89.91	0.51
3	29.18	0.15	0.3641	0.65	89.48	0.63
H	0.03		10.38		1.30	
P-value	0.984		0.006		0.521	

ตารางที่ 4.112

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยรบกวน σ (ข้อมูลเชิงลบ) ใน
การทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor σ	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	18.28	-11.11	0.3467	0.19	87.53	-8.96
2	25.71	-5.34	0.3374	-0.45	88.54	-4.41
3	51.71	16.45	0.3594	0.26	93.10	13.37
H	281.60		0.20		185.58	
P-value	0.000		0.903		0.000	
Inter effect						
1	28.77	-1.12	0.4494	2.39	89.65	-0.80
2	27.16	0.75	0.2723	-1.80	89.48	-1.42
3	29.38	0.37	0.3594	-0.59	90.76	2.22
H	1.30		6.21		5.04	
P-value	0.522		0.075		0.080	
Noise effect						
1	28.46	0.08	0.3727	2.03	89.67	-1.27
2	27.30	-0.12	0.3147	-2.58	90.07	0.35
3	28.77	0.04	0.3655	0.54	90.14	0.91
H	0.02		7.39		1.71	
P-value	0.992		0.025		0.426	

ตารางที่ 4.113

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยหลัก A และ B (ข้อมูลเชิงบวก)
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	26.35	-2.69	0.5856	0.95	89.01	-8.11
2	14.70	-10.65	0.5306	0.08	89.49	-5.22
3	41.79	13.34	0.5248	-1.03	92.71	13.32
H	199.13		1.32		180.30	
P-value	0.000		0.517		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	27.36	1.66	0.6438	1.95	90.07	-2.67
2	26.53	-1.23	0.5470	-0.68	90.68	-0.14
3	28.10	-0.43	0.4685	-1.27	91.40	
H	2.97		3.90		10.04	
P-value	0.227		0.142		0.007	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	26.88	-0.46	0.5481	0.27	90.77	0.62
2	27.22	0.12	0.5405	-0.09	90.14	-1.68
3	27.12	0.35	0.5459	-0.18	90.86	1.06
H	0.23		0.08		2.89	
P-value	0.891		0.963		0.236	

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	26.45	-2.83	0.4526	-0.07	88.28	-8.10
2	15.46	-10.67	0.4569	0.19	88.48	-6.46
3	41.83	-13.50	0.4785	-0.12	92.65	14.56
H	202.81		0.04		212.81	
P-value	0.000		0.981		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	27.38	1.75	0.6164	2.77	89.69	-1.71
2	26.04	-1.26	0.4197	-0.90	90.82	-0.28
3	28.41	-0.50	0.4200	-1.86	4.62	1.98
H	3.26		7.96		4.62	
P-value	0.196		0.019		0.099	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	26.78	-0.43	0.4711	0.23	90.41	0.58
2	27.44	0.06	0.4239	-0.53	90.28	-1.31
3	27.27	0.37	0.4796	0.30	90.52	0.73
H	0.22		0.28		1.74	
P-value	0.897		0.869		0.420	

ตารางที่ 4.114

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F-test ของปัจจัยร่วม AB และ ปัจจัยรบกวน m (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	35.14	2.04	3.810	-1.98	84.56	-3.82
2	13.30	-6.41	3.636	-2.65	93.40	0.25
3	17.41	4.38	4.934	4.63	94.17	3.56
H	42.94		21.55		18.21	
P-value	0.000		0.000		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	35.85	4.24	5.559	4.99	81.24	-2.59
2	16.13	1.35	4.963	2.81	92.95	-1.09
3	18.82	2.89	2.481	-7.80	92.98	3.68
H	18.81		62.44		14.32	
P-value	0.000		0.000		0.001	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	19.71	-0.61	4.389	1.10	90.91	0.60
2	21.44	0.68	4.525	1.10	91.07	-0.89
3	19.45	-0.07	3.781	-2.20	91.89	0.29
H	0.56		4.84		0.83	
P-value	0.755		0.089		0.661	
Factor m	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	26.93	-3.34	0.3645	0.04	87.66	-5.08
2	16.15	-10.35	0.3344	-0.15	88.03	-7.64
3	45.14	14.28	0.3721	0.11	92.71	12.72
H	223.35		0.02		163.91	
P-value	0.000		0.988		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.84	1.87	0.5715	2.92	89.54	-0.50
2	27.20	-1.11	0.3139	0.27	89.76	-0.90
3	28.66	0.76	0.2396	-3.18	90.38	1.40
H	3.52		12.48		2.02	
P-value	0.172		0.002		0.364	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.13	-0.45	0.4070	1.23	90.13	0.53
2	29.06	0.15	0.3294	-0.65	89.43	-1.79
3	28.84	0.30	0.3392	-0.58	90.34	1.26
H	0.21		1.52		3.37	
P-value	0.900		0.468		0.185	

ตารางที่ 4.115

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F -test ของปัจจัยรบกวน n และ o (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor n	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	27.18	-3.30	0.3870	-0.18	87.45	-4.80
2	16.22	-10.94	0.3788	0.09	87.82	-7.33
3	44.60	14.23	0.4194	0.09	92.64	12.13
H	222.03		0.03		149.20	
P-value	0.000		0.984		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.92	1.75	0.5467	3.22	89.42	-0.49
2	27.03	-1.15	0.4033	0.41	89.63	-0.71
3	28.21	-0.60	0.2735	-3.63	90.34	1.20
H	3.15		15.79		1.46	
P-value	0.205		0.000		0.483	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.35	-0.22	0.4555	2.13	89.80	0.47
2	28.88	0.09	0.3146	-1.16	89.41	-1.74
3	28.46	0.13	0.3814	-0.98	90.30	1.27
H	0.05		4.57		3.25	
P-value	0.975		0.102		0.197	
Factor o	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	26.60	-3.33	0.3651	-0.16	87.78	-4.80
2	16.45	-10.90	0.3517	-0.26	88.02	-7.81
3	44.56	14.23	0.3618	0.43	92.56	12.61
H	221.65		0.19		162.11	
P-value	0.000		0.912		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.75	1.93	0.5870	3.11	89.45	-0.75
2	26.77	-1.20	0.3139	-0.63	89.72	-0.57
3	29.99	-0.73	0.2640	-2.47	89.99	1.32
H	3.80		10.80		1.75	
P-value	0.150		0.005		0.418	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	28.37	-0.47	0.3977	1.94	89.92	0.71
2	28.90	0.15	0.3497	-0.70	89.24	-1.85
3	28.50	0.33	0.3240	-1.24	89.96	1.13
H	0.23		3.88		3.48	
P-value	0.889		0.144		0.176	

จากการทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ของข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า

การแปลงแบบพาราโบลิกทั้งกรณีเชิงลบและบวก การทดสอบสมมติฐานของ ปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยรบกวนภายนอก (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนภายนอก (Noise effect) นั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และเมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ F-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ F-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนภายนอก (Noise effect) นั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบหลักมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าขนาดของผลกระทบร่วม เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ F-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ F-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ

การแปลงแบบยาวและจอห์นสันได้แบ่งผลการทดสอบสมมติฐานเป็นกรณีของข้อมูลเชิงลบและบวก พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยรบกวนภายนอก (m,o) ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยภายนอกปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบร่วมมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบหลัก และปัจจัยรบกวน n ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบหลักไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบร่วม เมื่อพิจารณาแนวโน้มค่าสถิติ F-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า หากขนาดของผลกระทบหลักมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นสำหรับปัจจัยหลัก A แต่ทำให้ค่าสถิติ F-test มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยลงสำหรับปัจจัยร่วม AB ส่วนเมื่อขนาดของผลกระทบร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นสำหรับปัจจัยร่วม AB และปัจจัย

รวบรวมน n และเมื่อขนาดของผลกระทบจากปัจจัยภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยลงสำหรับปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยรวบรวมนภายนอก (m, o)

กรณีข้อมูลเชิงบวก การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก A ขนาดของผลกระทบหลัก ผลกระทบร่วม และผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนปัจจัยหลัก B และปัจจัยรวบรวมน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลัก ในขณะที่ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบร่วมมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบหลัก เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ F-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า หากขนาดของผลกระทบหลักมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยลง และเมื่อขนาดของผลกระทบร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นในทุกปัจจัย แต่แต่ทำให้ค่าสถิติ F-test มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยลงสำหรับปัจจัยหลัก B

การแปลงแบบโลจิทได้แบ่งผลการทดสอบสมมติฐานเป็นกรณีของข้อมูลเชิงลบและบวก พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยรวบรวมน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลัก ผลกระทบร่วม และผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้หลัก เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ F-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า หากขนาดของผลกระทบหลักมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยลงในทุกปัจจัย

กรณีข้อมูลเชิงบวก การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก A ขนาดของผลกระทบหลัก ผลกระทบร่วม และผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนปัจจัยหลัก B และปัจจัยรวบรวมน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรวบรวมนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบหลักมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบร่วม หลัก เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ F-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า หากขนาดของ

ผลกระทบหลักมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยลงในทุกปัจจัย ยกเว้นปัจจัยร่วม AB เมื่อขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสถิติ F-test มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น

จากการทดสอบ Kruskal-Wallis สรุปได้ว่า การแปลงแบบพาราโบลิค ทั้งกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก มีผลการทดสอบที่เหมือนกันในทุกปัจจัยและประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลใกล้เคียงกัน ส่วนการแปลงแบบเฮอร์และจอร์นสัน ทั้งกรณีเชิงบวกและลบ มีผลการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยในกรณีเชิงบวกมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ แต่มีประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลใกล้เคียงกัน และการแปลงแบบโลจิท มีผลการทดสอบที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยในกรณีข้อมูลเชิงลบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากกว่ากรณีข้อมูลเชิงบวกเล็กน้อยและมีประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการแปลงแบบเฮอร์และจอร์นสันมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากที่สุด ซึ่งยังคงมีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากที่สุด ในการทดสอบแบบไม่อ้างอิงพารามิเตอร์ไม่สามารถอธิบายผลลัพธ์ของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ของ Main effect , Interaction effect และ Noise effect ได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 4.116

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A และ B (ข้อมูลเชิงลบ)

ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	191.5	10.87	0.2724	1.55	133.6	5.85
2	186.3	4.95	0.2780	0.29	134.3	7.08
3	171.1	-15.82	0.2338	-1.84	127.5	-12.93
H	26.184		3.91		167.71	
P-value	0.000		0.141		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.3	1.41	0.2269	-0.55	130.6	-0.76
2	185.4	-0.88	0.2032	-1.82	132.6	2.42
3	183.3	-0.53	0.3479	2.37	130.7	-1.66
H	2.04		6.15		6.14	
P-value	0.361		0.046		0.047	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.3	-0.03	0.2857	2.39	131.7	1.78
2	185.0	0.17	0.2329	-2.26	131.1	-0.09
3	184.2	-0.15	0.2628	-0.13	131.0	-1.69
H	0.03		7.23		4.02	
P-value	0.983		0.027		0.134	
Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	191.2	10.95	0.2145	0.80	134.0	7.17
2	186.0	5.04	0.1729	-0.73	134.0	7.47
3	170.5	-15.99	0.1924	-0.07	126.8	-14.64
H	267.41		0.79		214.29	
P-value	0.000		0.674		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.7	1.54	0.1920	0.61	130.8	-0.53
2	185.4	-0.87	0.1475	-2.46	132.0	2.31
3	183.3	-0.67	0.2543	1.85	130.2	-1.78
H	2.40		6.57		5.85	
P-value	0.302		0.037		0.054	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.6	0.04	0.2174	2.07	131.7	1.78
2	185.1	0.12	0.1559	-3.03	131.2	-0.43
3	184.1	-0.16	0.2029	0.96	130.9	-1.35
H	0.03		9.62		3.46	
P-value	0.986		0.008		0.178	

ตารางที่ 4.117

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB และ ปัจจัยรบกวน m (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	200.0	7.84	2.090	-1.67	122,2	-0.27
2	181,4	2.40	1.969	-3.10	138,4	3.43
3	158,6	-10.25	2.631	4.77	134.1	-3.16
H	114.89		23.42		14.57	
P-value	0.000		0.000		0.001	
Inter effect						
1	195.3	3.96	2.723	4.25	117.4	-3.12
2	180.5	-0.76	2.420	1.82	143.3	2.52
3	179.2	-3.20	1.535	-6.07	133.5	0.60
H	17.64		38.78		10.97	
P-value	0.000		0.000		0.004	
Noise effect						
1	183.9	0.34	2.329	2.01	133.2	0.44
2	183.8	-0.01	1.996	-2.19	133.1	-0.34
3	183.6	-0.33	2.216	0.18	133.1	-0.10
H	0.15		5.92		0.21	
P-value	0.928		0.052		0.900	

Factor m	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	190.6	11.5	0.1654	0.30	135.2	8.44
2	186.0	5.36	0.1767	-0.24	134.2	4.92
3	169.4	-16.51	0.1703	-0.06	125.7	-13.36
H	282.87		0.10		182.67	
P-value	0.000		0.951		0.000	
Inter effect						
1	184.2	1.34	0.2080	1.54	133.0	0.96
2	185.3	-0.77	0.1494	-0.68	132.9	1.39
3	183.5	-0.57	0.1352	-0.85	130.0	-2.35
H	1.80		2.38		5.58	
P-value	0.407		0.305		0.062	
Noise effect						
1	184.3	0.06	0.1887	2.20	132.5	1.13
2	184.9	0.15	0.1306	-2.88	131.7	-0.35
3	184.0	-0.21	0.1834	0.67	132.0	-0.78
H	0.05		9.07		1.35	
P-value	0.976		0.011		0.510	

ตารางที่ 4.118

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยรบกวน n และ o (ข้อมูลเชิงลบ) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor n	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	190.5	11.7	0.1742	0.05	135.5	8.52
2	186.0	5.33	0.1707	-0.28	134.0	4.66
3	169.7	-16.50	0.1743	0.23	125.9	-13.18
H	283.75		0.09		178.77	
P-value	0.000		0.957		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.2	1.38	0.2299	2.15	132.7	0.57
2	185.4	-0.80	0.1602	-0.90	133.0	1.77
3	183.4	-0.57	0.1614	-1.25	130.2	-2.34
H	1.91		4.68		5.94	
P-value	0.384		0.096		0.051	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.1	-0.03	0.2104	2.50	131.7	1.12
2	185.3	0.14	0.1505	-3.23	131.7	-0.46
3	183.9	-0.11	0.1861	0.73	132.3	-0.66
H	0.02		11.47		1.27	
P-value	0.989		0.003		0.529	
Factor o	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	190.5	11.12	0.1538	-0.51	135.3	8.90
2	186.2	5.34	0.1802	-0.09	134.0	4.51
3	169.4	-16.46	0.1877	0.60	126.2	-13.41
H	282.14		0.42		186.19	
P-value	0.000		0.813		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.2	1.39	0.2127	2.37	132.3	0.88
2	185.5	-0.82	0.1330	-1.63	132.6	1.50
3	183.3	-0.57	0.1619	-0.74	130.3	-2.30
H	1.95		5.88		5.80	
P-value	0.378		0.053		0.055	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	184.4	-0.04	0.1933	2.02	131.9	1.23
2	185.1	0.15	0.1498	-2.36	131.7	-0.31
3	184.1	-0.11	0.1782	0.33	131.4	-0.92
H	0.02		6.51		1.64	
P-value	0.988		0.039		0.440	

ตารางที่ 4.119

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยหลัก A และ B (ข้อมูลเชิงบวก)
ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor A	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect A						
1	14.553	-2.64	0.3008	0.78	67.01	-8.20
2	7.977	-10.68	0.2692	0.05	67.60	-5.17
3	24.122	13.32	0.2569	-0.82	72.90	13.37
H	198.95		0.85		181.71	
P-value	0.000		0.652		0.000	
Inter effect AB						
1	15.07	1.72	0.3238	1.01	68.48	-2.77
2	14.19	-1.29	0.2542	-0.17	69.08	-0.23
3	14.57	-0.43	0.2576	-0.85	70.40	3.00
H	3.21		1.18		11.13	
P-value	0.201		0.119		0.004	
Main effect m						
1	14.48	-0.50	0.2619	0.08	69.51	0.56
2	14.69	0.11	0.2767	0.24	68.62	-1.70
3	14.76	0.40	0.2615	-0.32	69.67	1.14
H	0.28		0.11		2.99	
P-value	0.868		0.945		0.224	

Factor B	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	14.613	-2.81	0.2149	-0.05	68.45	-8.21
2	8.041	-10.68	0.2173	-0.26	68.93	-6.32
3	24.320	13.49	0.2296	0.31	70.22	14.54
H	202.62		0.11		212.49	
P-value	0.000		0.946		0.000	
Inter effect						
1	15.21	1.78	0.2622	0.95	69.58	-1.92
2	13.70	-1.35	0.2467	0.78	68.76	-0.36
3	14.64	-0.43	0.1971	-1.73	69.88	2.27
H	3.45		2.99		5.98	
P-value	0.178		0.224		0.050	
Noise effect						
1	14.60	-0.45	0.2246	0.01	69.37	0.53
2	14.64	0.07	0.2189	0.39	68.88	-1.41
3	14.67	0.38	0.2152	-0.40	69.37	0.88
H	0.23		0.21		2.02	
P-value	0.891		0.901		0.364	

ตารางที่ 4.120

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยร่วม AB และ ปัจจัยรบกวน m (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor AB	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	19.908	2.11	1.950	-2.08	62.41	-5.50
2	6.522	-6.51	1.909	-2.53	78.68	-1.45
3	9.399	4.41	2.469	4.61	83.66	6.95
H	44.17		21.36		53.73	
P-value	0.000		0.000		0.000	
Inter effect						
1	21.556	4.07	2.812	5.01	56.29	-3.54
2	7.913	-1.18	2.621	3.02	82.56	1.91
3	7.027	-2.88	1.254	-8.03	75.42	1.64
H	17.50		65.81		12.59	
P-value	0.000		0.000		0.002	
Noise effect						
1	9.813	-0.61	2.176	1.23	72.74	0.27
2	10.170	0.61	2.274	1.02	75.21	-0.61
3	9.879	0.00	1.911	-2.25	75.78	0.34
H	0.49		5.10		0.37	
P-value	0.781		0.078		0.830	

Factor m	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
	Median	Z	Median	Z	Median	Z
Main effect						
1	14.770	-3.27	0.1754	0.40	64.80	-5.19
2	8.547	-10.98	0.1714	-0.22	65.15	-7.62
3	25.661	14.25	0.1765	-0.18	72.60	12.81
H	222.82		0.16		166.01	
P-value	0.000		0.922		0.000	
Inter effect						
1	15.76	1.80	0.2418	2.70	67.94	-0.62
2	14.52	-1.16	0.1792	1.09	68.18	-1.01
3	14.91	-0.63	0.1043	-3.79	69.06	1.64
H	3.32		15.25		2.73	
P-value	0.190		0.000		0.255	
Noise effect						
1	68.48	0.49	0.1812	1.09	68.48	0.49
2	67.19	-1.82	0.1775	-0.07	67.19	-1.82
3	69.01	1.33	0.1705	-1.02	69.01	1.33
H	3.56		1.49		3.56	
P-value	0.169		0.475		0.169	

ตารางที่ 4.121

ผลการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของปัจจัยรบกวน n และ o (ข้อมูลเชิงบวก) ในการทดลอง GFD กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor n	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	14.609	-3.27	0.1874	-0.42	64.65	-4.89
2	8.575	-10.96	0.1864	0.26	65.10	-7.29
3	25.784	14.23	0.2037	0.16	73.02	12.19
H	222.16		0.18		150.41	
P-value	0.000		0.913		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	15.66	1.68	0.2368	2.67	67.32	-0.62
2	14.56	-1.21	0.1965	0.72	67.66	-0.83
3	14.64	-0.47	0.1386	-3.39	68.91	1.45
H	3.00		12.73		2.12	
P-value	0.223		0.001		0.346	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	15.34	-0.27	0.2050	1.87	67.95	0.42
2	14.98	0.12	0.1942	-0.59	67.54	-1.79
3	15.60	0.15	0.1736	-1.28	68.76	1.37
H	0.07		3.65		3.49	
P-value	0.964		0.162		0.174	

Factor o	Parabolic		Yeo&Johnson		Logit	
Main effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	14.639	-3.29	0.1874	-0.42	65.21	-4.92
2	8.583	-10.91	0.1864	0.26	65.26	-7.76
3	25.669	14.20	0.2037	0.16	72.68	12.68
H	221.04		0.18		163.59	
P-value	0.000		0.913		0.000	
Inter effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	15.65	1.85	0.2368	2.67	67.82	-0.83
2	14.46	-1.27	0.1965	0.72	67.96	-0.69
3	14.42	-0.58	0.1386	-3.39	68.48	1.52
H	3.59		12.75		2.31	
P-value	0.166		0.002		0.315	
Noise effect	Median	Z	Median	Z	Median	Z
1	15.17	-0.46	0.2050	1.87	68.38	0.65
2	14.75	0.15	0.1942	-0.59	67.26	-1.90
3	15.62	0.31	0.1736	-1.28	68.48	1.25
H	0.22		3.65		3.72	
P-value	0.895		0.161		0.156	

จากการทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ของข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า

การแปลงแบบพาราโบลิคได้แบ่งผลการทดสอบสมมติฐานเป็นกรณีของข้อมูลเชิงลบและบวก พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยรบกวนภายนอก (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนภายนอก (Noise effect) นั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และเมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนภายนอก (Noise effect) นั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบหลักมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าขนาดของผลกระทบร่วม และเมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ T-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยรบกวนภายนอก (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนภายนอก (Noise effect) นั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และเมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม AB) ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนภายนอก (Noise effect) นั้นไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบหลักมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าขนาดของผลกระทบร่วม และเมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ T-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่าเมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ และเมื่อขนาดของผลกระทบร่วมเพิ่มขึ้นจะทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test ของแต่ละปัจจัยมีค่าแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ

การแปลงแบบยาวและจอห์นสันได้แบ่งผลการทดสอบสมมติฐานเป็นกรณีของข้อมูลเชิงลบและบวก พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก A และ B ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบหลักไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบร่วม ส่วนปัจจัยรบกวน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยภายนอกปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ และปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบร่วมมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบหลัก เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ T-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัย AB ส่วนขนาดของผลกระทบร่วมเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัยหลัก A และ B ยกเว้นปัจจัยร่วม AB ที่ทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ และขนาดของผลกระทบจากปัจจัยภายนอกหากมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยร่วม (m, n, o)

กรณีข้อมูลเชิงบวก การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก A และ B ขนาดของผลกระทบหลัก ผลกระทบร่วม และผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบร่วมมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบหลัก และปัจจัยรบกวน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ T-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบร่วมมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัยร่วม AB และปัจจัยรบกวน (m, n, o) ส่วนขนาดของผลกระทบหลักเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัย AB

การแปลงแบบโลจิสได้แบ่งผลการทดสอบสมมติฐานเป็นกรณีของข้อมูลเชิงลบและบวก พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก A และปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบหลักมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบร่วม ส่วนปัจจัยหลัก B และปัจจัยรบกวน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ T-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย และขนาดของผลกระทบร่วมเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัยหลัก A และปัจจัยร่วม AB

กรณีข้อมูลเชิงบวก การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (A,B) และปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยเมื่อพิจารณาค่า H ขนาดของผลกระทบหลักมีผลต่อการแปลงข้อมูลมากกว่าผลกระทบร่วม ส่วนปัจจัยรบกวน (m, n, o) ขนาดของผลกระทบหลักปฏิเสธสมมติฐานหลักในขณะที่ขนาดของผลกระทบร่วมและผลกระทบจากปัจจัยรบกวนไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลต่างค่าสถิติ T-test เทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติจากค่ามัธยฐานในทุกปัจจัยพบว่า เมื่อขนาดของผลกระทบหลักเมื่อขนาดของผลกระทบหลักเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัย ส่วนขนาดของผลกระทบร่วมเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติสำหรับปัจจัยหลัก A และ B แต่ปัจจัยร่วม AB ขนาดของผลกระทบร่วมมีผลทำให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T-test มีความแตกต่างกันน้อยลงเมื่อเทียบกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ แต่มีประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบ Kruskal-Wallis สรุปได้ว่า การแปลงแบบพาราโบลิก ทั้งกรณีข้อมูลเชิงลบและบวก มีผลการทดสอบที่เหมือนกันในทุกปัจจัย แต่ประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูลในกรณีข้อมูลเชิงบวกดีกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน ทั้งกรณีเชิงบวกและลบ มีผลการทดสอบที่แตกต่างกัน โดยในกรณีข้อมูลเชิงบวกมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ แต่กรณีข้อมูลเชิงลบมีประสิทธิภาพ

การแปลงข้อมูลที่ใกล้เคียงกว่ากรณีข้อมูลเชิงบวกเล็กน้อย และการแปลงแบบโลจิท มีผลการทดสอบที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยในกรณีเชิงลบมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากกว่ากรณีข้อมูลเชิงบวกเล็กน้อย แต่กรณีข้อมูลเชิงบวกมีประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลที่ใกล้เคียงกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ อย่างไรก็ตามการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันยังคงมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดอิทธิพลของปัจจัยมากที่สุด ซึ่งยังคงมีประสิทธิภาพและความแม่นยำมากที่สุด ในการทดสอบแบบไม่อ้างอิงพารามิเตอร์ไม่สามารถอธิบายผลลัพธ์ของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ของ Main effect , Interaction effect และ Noise effect ได้ ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่



4.2 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ จะแบ่งรูปแบบการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก จะใช้รูปแบบการทดลองออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิด $L_9(3^4)$ ซึ่งมีปัจจัยหลักจำนวน 4 ปัจจัยซึ่งระดับของในแต่ละปัจจัยหลักอยู่ที่ 3 ระดับ และกรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก จะใช้รูปแบบการทดลองออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิด $L_9(3^4)$ เหมือนกับกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable factors) ร่วมกับรูปแบบการทดลองออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิด $L_4(2^3)$ เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) หรือปัจจัยรบกวนภายนอกที่มีจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัย โดยมีระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการจำลองตามเงื่อนไขที่กำหนดจะมีค่าทั้งเชิงบวกและลบ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลของชุดข้อมูลผ่านโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้น โดยจำแนกตามกรณีของปัจจัยรบกวนภายนอกดังต่อไปนี้

4.2.1 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

ในกรณีนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ที่มีแผนการทดลองออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิด $L_9(3^4)$ ซึ่งถูกนำไปใช้ในการจำลองและวิเคราะห์ผลในการเปรียบเทียบการแปลงข้อมูล ที่มีปัจจัยหลักจำนวน 4 ปัจจัย คือ A ,B ,C และ D โดยระดับของในแต่ละปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับ และจะใช้การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้คือ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean ,ANOM) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแปลงข้อมูล ของแต่ละวิธีปฏิบัติ (Treatment) และพารามิเตอร์ (Parameter) รวมถึงการจัดอันดับ (Ranking) เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองโดยยใช้เกณฑ์คือ พิจารณาอันดับแรกถึงอันดับสุดท้าย หากผลต่างหรือผลต่างค่าเฉลี่ย ANOM ณ อันดับที่กำลังพิจารณา เมื่อคูณสองแล้วไม่มากกว่าอันดับก่อนหน้า อันดับของ ANOM ที่ถูกพิจารณานั้นรวมไปถึงอันดับถัดไปจนถึงอันดับสุดท้ายจะถูกตัดออกไปและจะเลือกอันดับของปัจจัยที่ 1 ถึงอันดับก่อนหน้าที่ไม่ถูกตัดทิ้งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล โดยกำหนดเงื่อนไขของข้อมูลตามจำนวนระดับของปัจจัยซึ่งจะได้ชุดการจำลองข้อมูลทั้งหมด 32 สถานการณ์

4.2.1.1 การจำลองข้อมูล

การจำลองข้อมูลจะใช้ค่าเฉลี่ยของสมการที่มีค่าเป็นบวกและลบ โดยใช้โปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแล็บในการจำลองข้อมูล และเปรียบเทียบผลเบื้องต้นทางสถิติ

ของข้อมูลกับโปรแกรมมินิแทบเพื่อยืนยันความถูกต้องในการเขียนโปรแกรมก่อนทำรันโปรแกรมในทุกสถานการณ์ต่อไป

(1) ข้อมูลเชิงลบ

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยแมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 14 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่า -10 ผลกระทบหลักของปัจจัย A เท่ากับ 1 , ปัจจัย B เท่ากับ 3 , ปัจจัย C เท่ากับ -2 , และปัจจัย D เท่ากับ -0.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.122

ตารางที่ 4.122

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	-10.9623	-8.7306
-1	0	0	0	-9.1661	-12.3499
-1	1	1	1	-12.7588	-7.4651
0	-1	-1	1	-12.6378	-12.7746
0	0	0	-1	-11.1812	-11.5631
0	1	1	0	-6.3077	-4.2853
1	-1	-1	0	-14.4336	-14.2050
1	0	0	1	-7.1574	-7.6241
1	1	1	-1	-1.9216	4.0103

ข้อมูลเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปมีทั้งหมด 18 สถานการณ์ตามเงื่อนไขของสมการที่กำหนดขึ้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

1. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติ

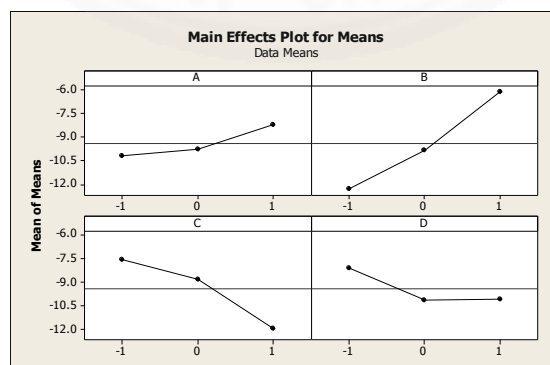
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติในชุดข้อมูลเชิงลบที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.123

ตารางที่ 4.123

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	-10.239	-12.291	-7.511	-8.062
2	-9.792	-9.840	-8.810	-10.125
3	-8.225	-6.125	-11.934	-10.070
Delta	2.013	6.166	4.423	2.063
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากผลต่างในลำดับที่ 3 (อิทธิพล D) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลต่างในลำดับที่ 2 (อิทธิพล C) แล้ว ผลต่างของอิทธิพล D แตกต่างจากอิทธิพล C เกิน 2 เท่า โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.102



ภาพที่ 4.105 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบในชุดข้อมูลที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.124 และ 4.125

ตารางที่ 4.124

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-9.4186	0.3960	-23.79	0.000
A	1.0067	0.4849	2.08	0.058
B	3.0829	0.4849	6.36	0.000
C	-2.2116	0.4849	-4.56	0.001
D	-1.0041	0.4849	-2.07	0.059

ตารางที่ 4.125

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

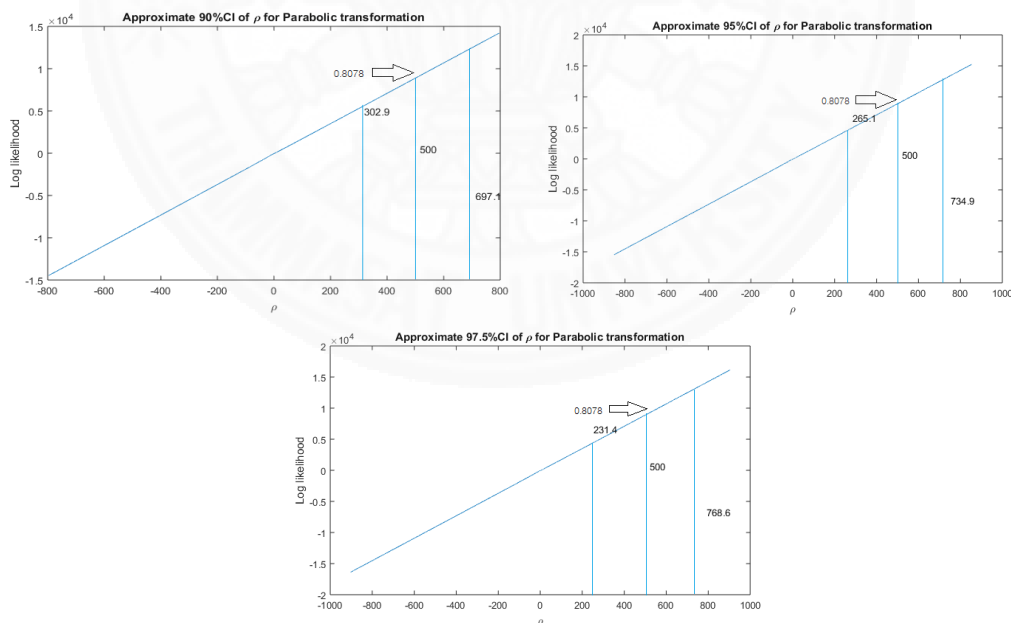
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	197.008	49.252	17.45	0.000
Residual Error	13	36.686	2.822		
Total	17	233.694			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ

ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ค่าสถิติ t ในตารางที่ 4.124 มีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ ปัจจัย B และ C ดังนั้นตัวแปรอิสระในสมการ B ,และ C มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจาก ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.125) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้ โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรม คำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการ ทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลิก

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปโดยใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.106



ภาพที่ 4.106 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลิกของ ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.106 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลามีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลิก โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.8078×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลิกจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลิกที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.126

ตารางที่ 4.126

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	261,082.5056	258,806.7857
-1	0	0	0	259,250.1326	262,502.4066
-1	1	1	1	262,921.6350	257,520.8039
0	-1	-1	1	262,797.5413	262,937.7861
0	0	0	-1	261,306.2548	261,696.7591
0	1	1	0	256,347.4752	254,303.6205
1	-1	-1	0	262,641.9206	264,406.7471
1	0	0	1	257,208.6036	257,682.2719
1	1	1	-1	251,925.2956	254,026.3849

4. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

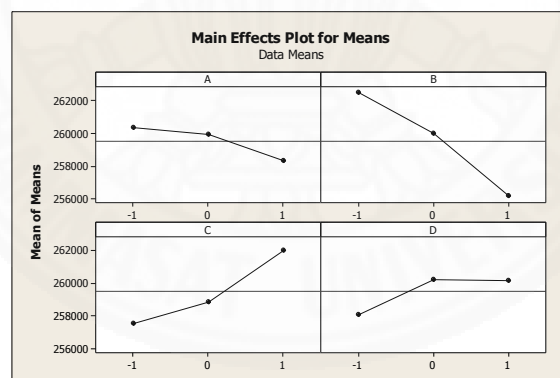
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิกในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.127

ตารางที่ 4.127

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	260,347	262,446	257,572	258,141
2	259,898	259,941	258,907	260,242
3	258,315	256,174	262,082	260,178
Delta	2,032	6,271	4,510	2,101
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคในชุดข้อมูลที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C ซึ่งตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.107



ภาพที่ 4.107 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การ

ถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.128 และ 4.129

ตารางที่ 4.128

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	259,520	403	644.49	0.000
A	-1,016.1	493.2	-2.07	0.060
B	-3,135.7	493.2	-6.36	0.000
C	2,255.2	493.2	4.57	0.001
D	1018.7	493.2	2.07	0.059

ตารางที่ 4.129

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

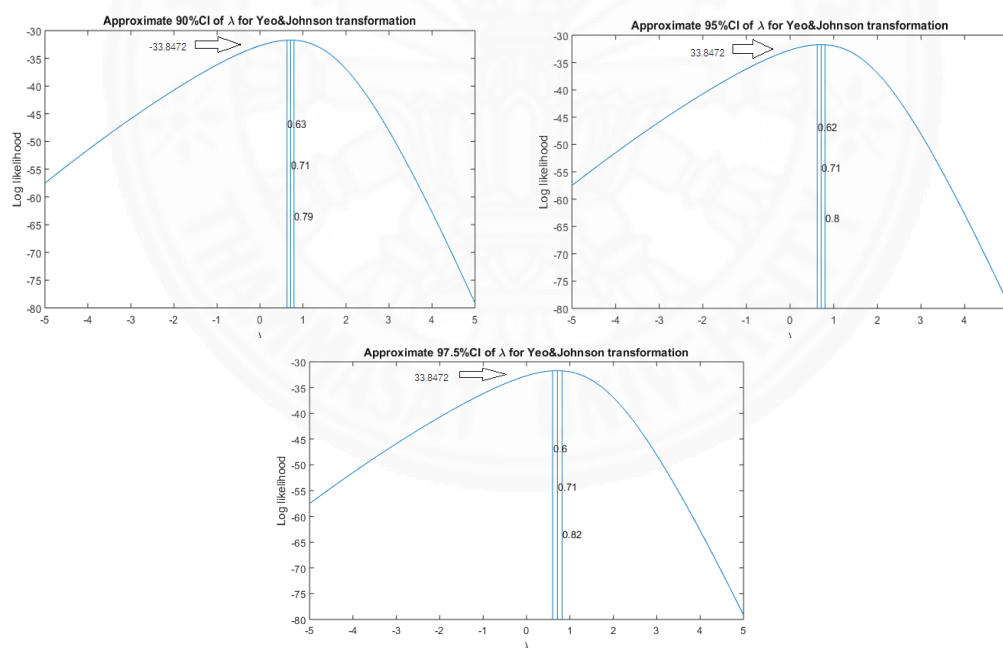
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	203,865,218	50,966,304	17.46	0.000
Residual Error	13	37,941,924	2,918,610		
Total	17	241,807,142			

จากตารางที่ 4.128 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -2.06 ,ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -6.36 ,ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ 4.57 และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 2.07 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.08, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 6.36, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -4.56, และปัจจัย D มี

ค่าเท่ากับ -2.07 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิก มีค่าที่ใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณแต่เครื่องหมายตรงข้ามกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเพราะข้อมูล ถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกทำให้เครื่องหมายของค่าทางสถิติตรงข้ามกัน แต่ยังให้ผลลัพธ์ในการ ทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.129 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการ ถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าเท่ากับ 17.46 และของข้อมูลธรรมชาติเชิง ลบมีค่าเท่ากับ 17.45 ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังยาวและจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดย การใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหา ค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.108



ภาพที่ 4.108 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของ ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.108 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการเยาว์ และจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.71 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -33.8472 และช่วงของค่าตัวแปรเยาว์และจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการเยาว์และจอห์นสันที่ได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.130

ตารางที่ 4.130

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	-18.2703	-13.8166
-1	0	0	0	-14.6646	-21.1668
-1	1	1	1	-22.0377	-11.4162
0	-1	-1	1	-21.7792	-22.0714
0	0	0	-1	-18.7211	-19.5130
0	1	1	0	-9.3101	-5.8638
1	-1	-1	0	-25.6813	-25.1768
1	0	0	1	-10.8476	-11.7125
1	1	1	-1	-2.3155	-5.4226

7. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสัน

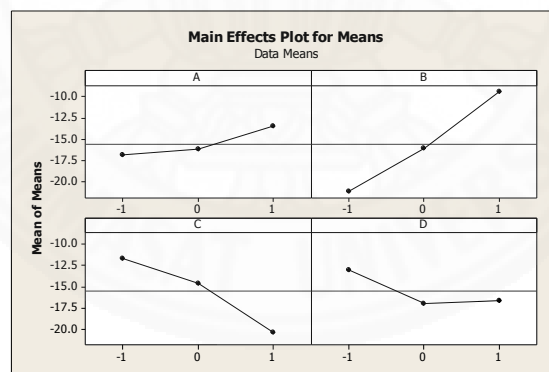
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของเยาว์และจอห์นสันในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.131

ตารางที่ 4.131

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	-16.895	-21.133	-11.637	-13.010
2	-16.210	-16.104	-14.570	-16.977
3	-13.526	-9.394	-20.424	-16.644
Delta	3.369	11.738	8.737	3.968
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันในชุดข้อมูลที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C ซึ่งตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.109



ภาพที่ 4.109 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน
การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของยาวและจอห์นสันในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.132 และ 4.133

ตารางที่ 4.132

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 14 ใน การทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-15.5438	0.7537	-20.62	0.000
A	1.6847	0.9231	1.82	0.091
B	5.8691	0.9231	6.36	0.000
C	-4.3937	0.9231	-4.76	0.000
D	-1.8171	0.9231	-1.97	0.071

ตารางที่ 4.133

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาว และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

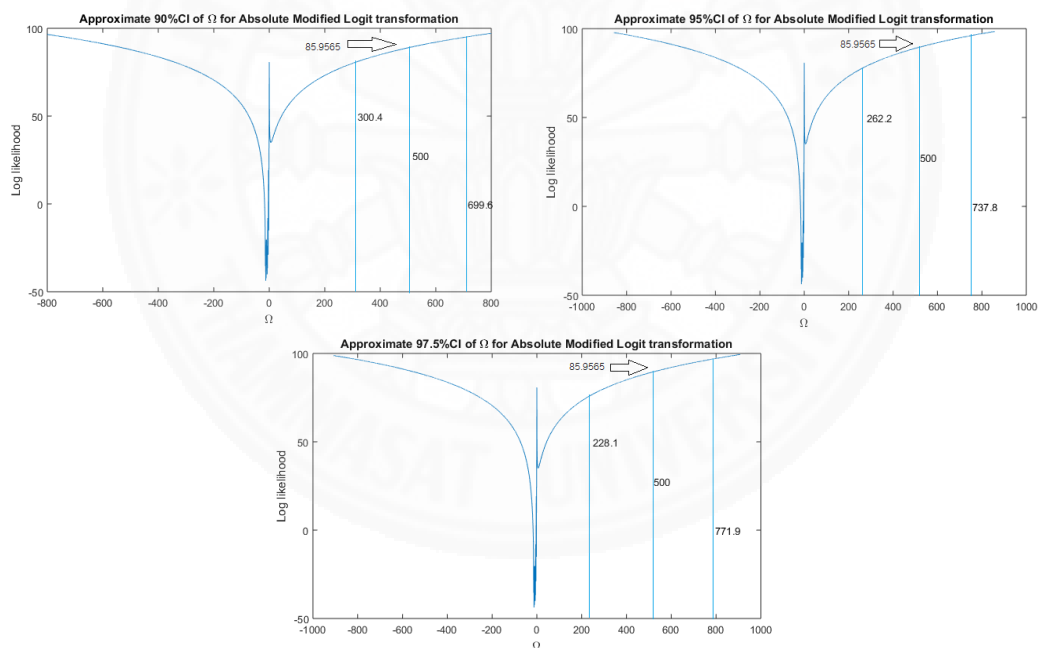
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	718.68	179.67	17.57	0.000
Residual Error	13	132.94	10.23		
Total	17	851.62			

จากตารางที่ 4.132 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของ ข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -1.82, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 6.36, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -4.56, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -1.96 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.08, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 6.36, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -4.56, และปัจจัย D

มีค่าเท่ากับ -2.07 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.133 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันค่าเท่ากับ 17.57 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 17.45 ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิท

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.110



ภาพที่ 4.110 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.110 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิสต์มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 85.9565 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรโลจิสต์จะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิสต์ที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.134

ตารางที่ 4.134

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิสต์ที่จำลองด้วยโปรแกรมเมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	-1.6685	-1.7654
-1	0	0	0	-1.7447	-1.6179
-1	1	1	1	-1.6041	-1.8324
0	-1	-1	1	-1.6081	-1.6036
0	0	0	-1	-1.6601	-1.6458
0	1	1	0	-1.9045	-2.0707
1	-1	-1	0	-1.5520	-1.5587
1	0	0	1	-1.8504	-1.8234
1	1	1	-1	-2.4170	-2.0993

10. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงรหัสโลจิสต์

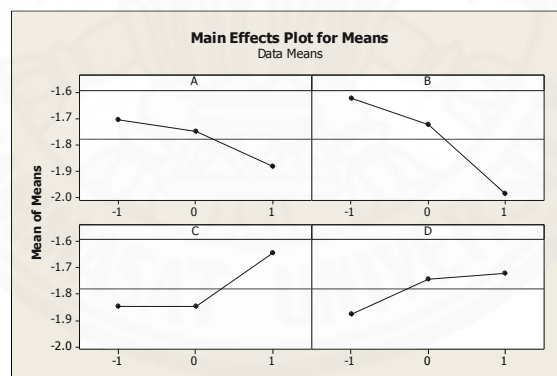
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิสต์ถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิสต์ในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.135

ตารางที่ 4.135

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	-1.706	-1.626	-1.847	-1.876
2	-1.749	-1.724	-1.848	-1.741
3	-1.883	-1.988	-1.642	-1.720
Delta	0.178	0.362	0.206	0.156
Rank	3	1	2	4

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิทในชุดข้อมูลที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B, C, A, และ D ซึ่งไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.111



ภาพที่ 4.111 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสโลจิท

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสของโลจิทในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.136 และ 4.137

ตารางที่ 4.136

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-1.77926	0.02891	-61.53	0.000
A	-0.8898	0.03541	-2.51	0.026
B	-0.18097	0.03541	-5.11	0.000
C	0.10248	0.03541	2.89	0.013
D	0.07784	0.03541	2.20	0.047

ตารางที่ 4.137

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	0.68679	0.17170	11.41	0.000
Residual Error	13	0.19564	0.01505		
Total	17	0.88242			

จากตารางที่ 4.136 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -2.51, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -5.11, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ 2.89, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.20 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.08, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 6.36, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -4.56, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.07 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกมีค่าที่แตกต่างกันทั้งในเชิงปริมาณและเครื่องหมายเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเพราะข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวกทำให้เครื่องหมายของค่าทางสถิติตรงข้ามกัน อีกทั้งผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกัน

เมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.137 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทมีค่าเท่ากับ 11.41 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 17.45 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันแต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ Taguchi ของข้อมูลเชิงลบที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบดังตัวอย่างของผลลัพธ์ของชุดข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.138 ,4.139 ,และ 4.140 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.138

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	A	B	C	D
Natural	1	2.0135	6.1658	4.4232	2.0630
Parabolic	500	2,032.174	6,271.345	4,510.476	2,101.386
Yeo&Johnson	0.71	3.3693	11.7381	8.7874	3.9675
Logit	500	0.1779	0.3619	0.2062	0.1557

ตารางที่ 4.139

ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.71	B	C		
Logit	500	B	C	A	D

ตารางที่ 4.140

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อชุดเชิงลบข้อมูลที่ 10 ใน การทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	T_A	T_B	T_C	T_D	P_A	P_B	P_C	P_D
Natural	1	2.07	6.36	-4.56	-2.07	0.058	0.000	0.000	0.058
Parabolic	500	-2.06	-6.35	4.57	2.06	0.059	0.000	0.001	0.059
Yeo&Johnson	0.71	1.82	6.35	-4.76	-1.97	0.091	0.000	0.000	0.071
Logit	500	-2.51	-5.11	2.89	2.19	0.025	0.000	0.012	0.046

(2) ข้อมูลเชิงบวก

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกที่ถูกจำลองขึ้นโดยเมทแลปภายใต้เงื่อนไข สมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 14 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่า -10 ผลกระทบหลัก ของปัจจัย A เท่ากับ 1, ปัจจัย B เท่ากับ 3, ปัจจัย C เท่ากับ -2, และปัจจัย D เท่ากับ -0.5 ดังแสดง ในตารางที่ 4.141

ตารางที่ 4.141

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ที่จำลองด้วยโปรแกรมเมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่ พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	9.9090	8.1966
-1	0	0	0	10.4172	9.2939
-1	1	1	1	10.1715	8.7127
0	-1	-1	1	5.2975	7.3884
0	0	0	-1	9.2172	7.3529
0	1	1	0	16.6302	13.9311
1	-1	-1	0	6.4889	5.1905
1	0	0	1	13.5347	9.5557
1	1	1	-1	15.2269	15.9384

ข้อมูลเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปมีทั้งหมด 18 สถานการณ์ตามเงื่อนไขของสมการที่กำหนดขึ้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

1. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติ

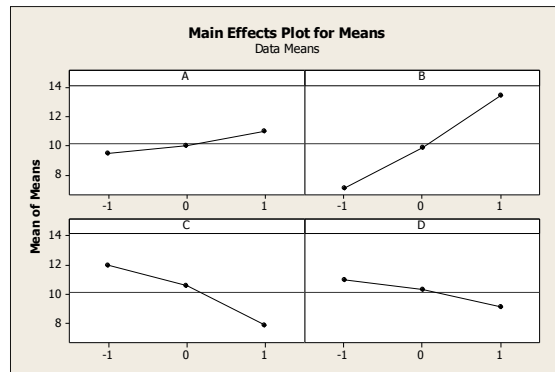
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติในชุดข้อมูลเชิงบวกที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.142

ตารางที่ 4.142

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	9.450	7.078	11.960	10.974
2	9.969	9.895	10.593	10.325
3	10.989	13.435	7.856	9.109
Delta	1.539	6.357	4.104	1.864
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากผลต่างในลำดับที่ 3 (อิทธิพล D) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลต่างในลำดับที่ 2 (อิทธิพล C) แล้ว ผลต่างของอิทธิพล D แตกต่างจากอิทธิพล C เกิน 2 เท่า โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.112



ภาพที่ 4.112 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 14
ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกในชุดข้อมูลที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.143 และ 4.144

ตารางที่ 4.143

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	10.1360	0.3116	32.53	0.000
A	0.7695	0.3817	2.02	0.065
B	3.1797	0.3817	8.33	0.000
C	-2.0520	0.3817	-5.38	0.000
D	-0.9321	0.3817	-2.44	0.030

ตารางที่ 4.144

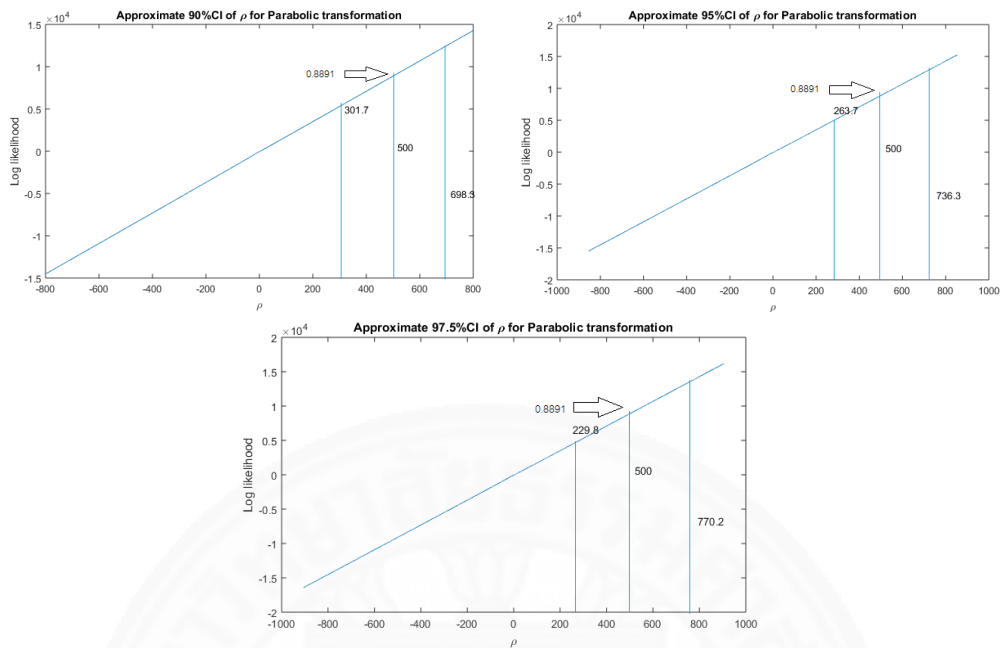
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	189.312	47.328	27.07	0.000
Residual Error	13	22.725	1.748		
Total	17	212.036			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ค่าสถิติ t ในตารางที่ 4.143 มีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ ปัจจัย B และ C ดังนั้นตัวแปรอิสระในสมการ B และ C มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.144) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลิก

ข้อมูลเชิงบวกถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลป โดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.113



ภาพที่ 4.113 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.113 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลามีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลิก โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.8891×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลิกจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลิกที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.145

ตารางที่ 4.145

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิคที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	260,007.2235	258,263.7427
-1	0	0	0	260,525.7103	259,380.2475
-1	1	1	1	260,274.9565	258,788.6286
0	-1	-1	1	255,320.5238	257,442.9840
0	0	0	-1	259,302.1961	257,406.9955
0	1	1	0	266,906.8000	264,125.2059
1	-1	-1	0	256,530.9995	255,217.4426
1	0	0	1	263,717.8809	259,647.0275
1	1	1	-1	265,458.7432	266,192.4123

4. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงพาราโบลิค

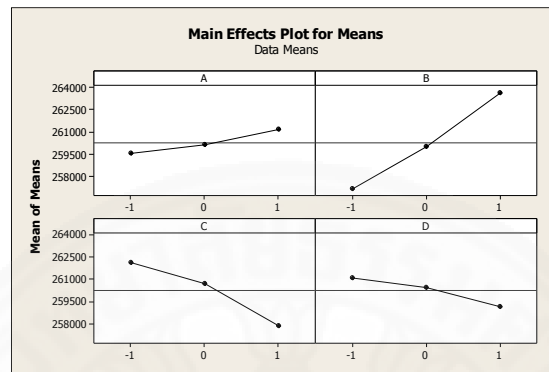
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.146

ตารางที่ 4.146

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	259,540	257,130	262,111	261,105
2	260,084	259,997	260,720	260,448
3	261,127	263,624	257,920	259,199
Delta	1,587	6,494	4,191	1,907
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดข้อมูลที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C ซึ่งตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.114



ภาพที่ 4.114 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.147 และ 4.148

ตารางที่ 4.147

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	260,251	319	816.40	0.000
A	793.7	390.4	2.03	0.063
B	3.247.0	390.4	8.32	0.000
C	-2,095.6	390.4	-5.37	0.000
D	-953.3	390.4	-2.44	0.030

ตารางที่ 4.148

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

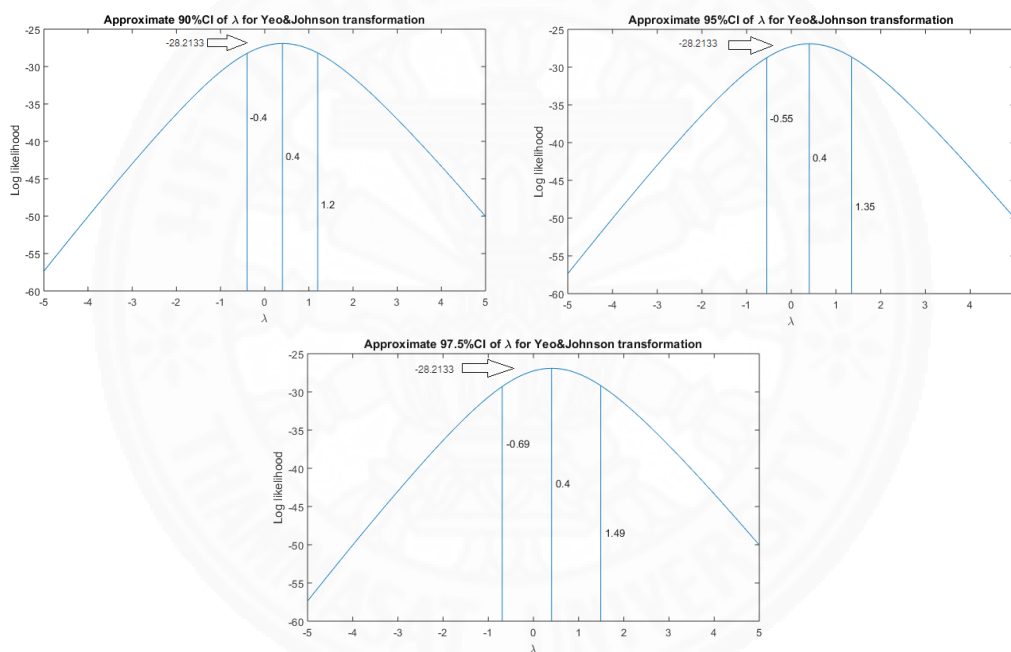
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	197,674,921	49,418,730	27.02	0.000
Residual Error	13	23778878	1,829,144		
Total	17	221,453,798			

จากตารางที่ 4.147 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.03, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 8.32, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -5.37, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.44 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.02, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 8.33, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -5.38, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.44 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลีคมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.148 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของ

ข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าเท่ากับ 27.02 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 27.07 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังยาวและจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงบวกถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลป โดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.115



ภาพที่ 4.115 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.115 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการยาวและจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.40 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -28.2133 และช่วงของค่าตัวแปรยาวและจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการยาวและจอห์นสันที่ได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.149

ตารางที่ 4.149

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยอร์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	4.0021	3.5728
-1	0	0	0	4.1216	3.8529
-1	1	1	1	4.0642	3.7069
0	-1	-1	1	2.7176	3.3534
0	0	0	-1	3.8339	3.3435
0	1	1	0	5.3785	4.8719
1	-1	-1	0	3.0938	2.6836
1	0	0	1	4.7929	3.9170
1	1	1	-1	5.1214	5.2533

7. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงรหัสเยอร์และจอห์นสัน

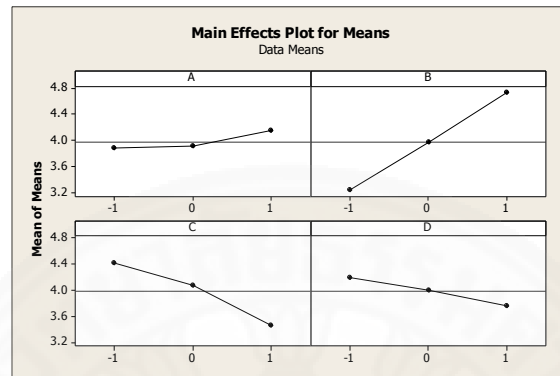
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบเยอร์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.150

ตารางที่ 4.150

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยอร์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	3.887	3.237	4.423	4.188
2	3.916	3.977	4.070	4.000
3	4.144	4.733	3.454	3.759
Delta	0.257	1.495	0.968	0.429
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของเยาว์และจอห์นสัน ในชุดข้อมูลที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C ซึ่งตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักถูก แสดงดังภาพที่ 4.116



ภาพที่ 4.116 กราฟผลกระทบหลักของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสัน การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของเยาว์และจอห์นสันในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.151 และ 4.152

ตารางที่ 4.151

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสเยาว์และจอห์นสันชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	3.9823	0.0725	54.91	0.000
A	0.12846	0.0888	1.45	0.172
B	0.7477	0.0888	8.42	0.000
C	-0.4841	0.0888	-5.45	0.000
D	-0.2146	0.0888	-2.42	0.000

ตารางที่ 4.152

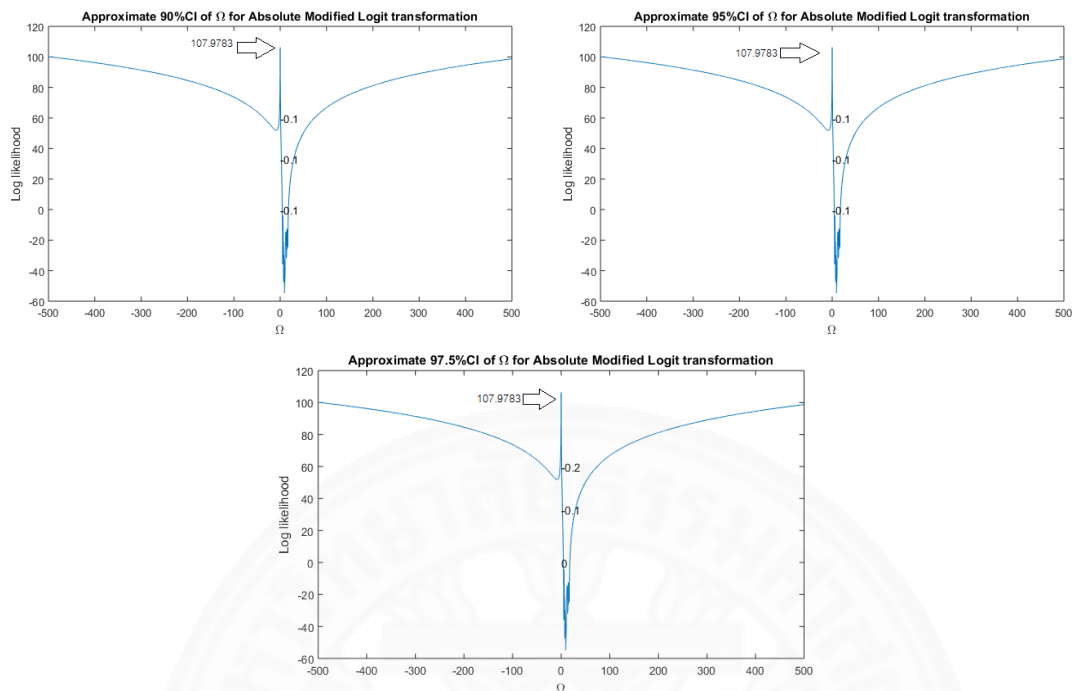
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาว และจอห์นสันคชุตที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	10.2723	2.5681	27.13	0.000
Residual Error	13	1.2307	0.0947		
Total	17	11.5030			

จากตารางที่ 4.151 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 1.45, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 8.42, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -5.45, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.42 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.02, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 8.33, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -5.38, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.44 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.152 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าเท่ากับ 27.13 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 27.07 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิท

ข้อมูลเชิงบวกถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.117



ภาพที่ 4.117 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.117 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิทมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.1 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 107.9783 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรโลจิทจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิทที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.153

ตารางที่ 4.153

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

A	B	C	D	Replicate	
				1	2
-1	-1	-1	-1	-0.0044	-0.0053
-1	0	0	0	-0.0041	-0.0046
-1	1	1	1	-0.0042	-0.0050
0	-1	-1	1	-0.0081	-0.0058
0	0	0	-1	-0.0047	-0.0059
0	1	1	0	-0.0026	-0.0031
1	-1	-1	0	-0.0066	-0.0083
1	0	0	1	-0.0032	-0.0045
1	1	1	-1	-0.0028	-0.0027

10. การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงรหัสโลจิก

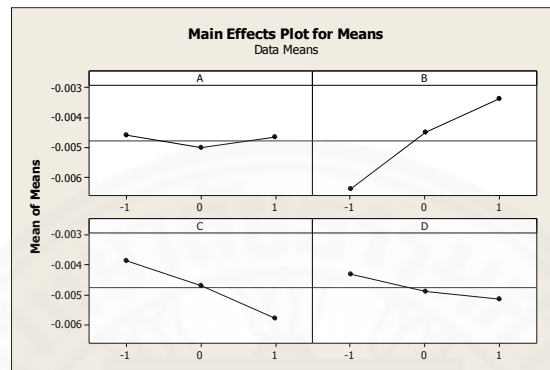
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของพาราโบลิคในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.154

ตารางที่ 4.154

ตารางการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 14 ของ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Level	A	B	C	D
1	-0.0046	-0.0064	-0.0038	-0.0043
2	-0.0050	-0.0045	-0.0047	-0.0049
3	-0.0047	-0.0034	-0.0058	-0.0051
Delta	-0.0004	0.0030	0.0019	0.0008
Rank	4	1	2	3

จากตารางวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของโลจิทในชุดข้อมูลที่ 14 พบว่า ผลต่างของระดับในแต่ละอิทธิพลของพารามิเตอร์ (ปัจจัย) ที่มีผลตอบสนอง ถูกคัดเลือกจากการจัดอันดับคือ B และ C ซึ่งตรงกับข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักถูกแสดงดังภาพที่ 4.118



ภาพที่ 4.118 กราฟผลกระทบหลัก ANOM ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงโลจิท

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของการแปลงแบบโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสของโลจิทในชุดที่ 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.155 และ 4.156

ตารางที่ 4.155

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-0.0048	0.000186	-25.65	0.000
A	-0.00004	0.000228	-0.18	0.858
B	0.0015	0.000228	6.62	0.000
C	-0.0009	0.000228	-4.24	0.001
D	-0.0004	0.000228	-1.83	0.090

ตารางที่ 4.156

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลาชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	4	0.000041	0.0000101	16.30	0.000
Residual Error	13	0.0000081	0.00000062		
Total	17	0.0000487			

จากตารางที่ 4.155 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -0.18, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 6.42, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -4.24, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -1.83 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 2.02, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 8.33, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -5.38, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -2.44 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกมีค่าที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ และยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.156 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกมีค่าเท่ากับ 27.13 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 27.07 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ Taguchi ของข้อมูลเชิงบวกที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบตั้งตัวอย่างของผลลัพธ์ของชุดข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.157 ,4.158 ,และ 4.159 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.157

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงบวกข้อมูลที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	A	B	C	D
Natural	1	1.5390	6.3575	4.1039	1.8642
Parabolic	500	1,587.3	6,493.9	4,191.1	1,906.5
Yeo&Johnson	0.4	0.2569	1.4955	0.9682	0.4291
Logit	0.1	0.0004	0.0030	0.0019	0.0008

ตารางที่ 4.158

ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปของชุดเชิงบวกข้อมูลที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.71	B	C		
Logit	500	B	C		

ตารางที่ 4.159

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงลบข้อมูลที่ 10 ในการทดลอง GFD กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	T_A	T_B	T_C	T_D	P_A	P_B	P_C	P_D
Natural	1	2.016	8.328	-5.37	-2.44	0.064	0.000	0.000	0.029
Parabolic	500	2.032	8.316	-5.36	-2.44	0.063	0.000	0.000	0.029
Yeo&Johnson	0.4	1.446	8.418	-5.45	-2.41	0.171	0.000	0.000	0.031
Logit	0.1	-0.21	6.68	-4.31	-1.91	0.833	0.000	0.001	0.078

4.2.1.2 ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลปแล้ว (โปรแกรมคำนวณถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก.) จึงนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่อยู่ในขอบเขตของสมการจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด 32 สถานการณ์เพื่อนำมาวัดผลประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกแบบยาวและจอห์นสัน และแบบโลจิท ซึ่งได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค. ดังตัวอย่างตารางผลลัพธ์ของโปรแกรมคำนวณแมปแลปของข้อมูลที่ 14 ของการออกแบบการทดลองทากูชิกรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกถูกแสดงไว้ดังต่อไปนี้



1. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.160

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	-10.2388	-12.2906	-7.5112	-8.0615
	2	-9.7916	-9.8403	-8.8101	-10.1246
	3	-8.2253	-6.1248	-11.9345	-10.0696
	Delta	2.0135	6.1659	4.4232	2.0630
	Rank	3	1	2	4
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	260,347.4	262,445.5	257,571.9	258,140.7
	2	259898.2	259,941.1	258,906.6	260,242.1
	3	258,315.2	256,174.2	262,082.4	260,178.1
	Delta	2,032.17	6,271.34	4,510.47	2,101.38
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	-16.8954	-21.1326	-11.637	-13.009
	2	-16.2099	-16.1043	-14.57	-16.9774
	3	-13.5261	-9.3945	-20.4244	-16.6441
	Delta	3.3693	11.7381	8.7874	3.9675
	Rank	3	1	2	4
Logit	Level	A	B	C	D
	1	-1.7055	-1.6261	-1.8472	-1.8760
	2	-1.7488	-1.7237	-1.8484	-1.7414
	3	-1.8834	-1.9880	-1.6422	-1.7203
	Delta	0.1779	0.3619	0.2062	0.1557
	Rank	3	1	3	4

ตารางที่ 4.161

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	9.4501	7.0776	11.9596	10.9735
	2	9.9687	9.8953	10.5928	10.3253
	3	10.9891	13.4351	7.8556	9.1092
	Delta	1.5390	6.3575	4.1039	1.8644
	Rank	4	1	2	3
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	259,540.1	257,130.5	262,111.3	261,105.2
	2	260,084.1	259,996.7	260,720.1	260,447.7
	3	261,127.4	263,624.5	257,920.2	259,198.7
	Delta	1,587.3	6,493.9	4,191.1	1,906.6
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	3.8868	3.2372	4.4225	4.1878
	2	3.9165	3.9769	4.0700	4.0037
	3	4.1437	4.7327	3.4543	3.7587
	Delta	0.2569	1.4955	0.9682	0.4292
	Rank	4	1	2	3
Logit	Level	A	B	C	D
	1	-0.0046	-0.0064	-0.0038	-0.0043
	2	-0.0050	-0.0045	-0.0047	-0.0049
	3	-0.0047	-0.0034	-0.0058	-0.0052
	Delta	0.0004	0.0030	0.00194	0.00085
	Rank	4	1	2	3

2. ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.162

ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงลบข้อมูล 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Rank of parameter in Analysis of Mean					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.71	B	C		
Logit	500	B	C	A	B

ตารางที่ 4.163

ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงบวกข้อมูล 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Rank of parameter in Analysis of Mean					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.4	B	C		
Logit	0.1	B	C		

3. ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.164

ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (treatment) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Rank of Treatment in Analysis of Mean										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	4	6	5	8	7	2	9	3	1
Parabolic	500	6	4	5	2	3	8	1	7	9
Yeo&Johnson	0.71	4	6	5	8	7	2	9	3	1
Logit	500	5	4	6	2	3	8	1	7	9

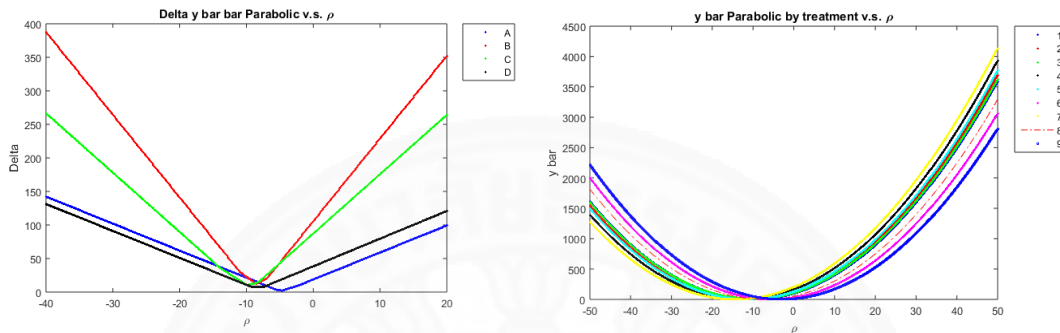
ตารางที่ 4.165

ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (treatment) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

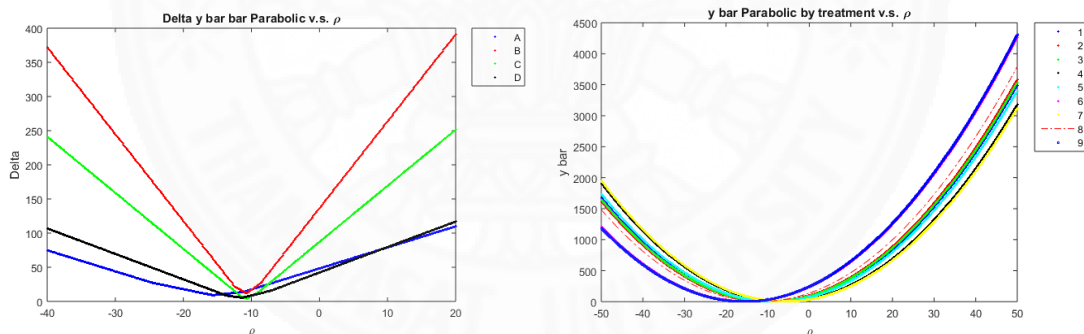
Rank of Treatment in Analysis of Mean										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	6	4	5	8	7	2	9	3	1
Parabolic	500	6	4	5	8	7	2	9	3	1
Yeo&Johnson	0.4	6	4	5	8	7	2	9	3	1
Logit	0.1	6	4	5	8	7	2	9	3	1

จากตารางที่ 4.160 และ 4.161 เป็นตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรวมถึงการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ตารางที่ 4.162 และ 4.163) และวิธีปฏิบัติ (ตารางที่ 4.164 และ 4.165) ของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 14 ของการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก โดยที่ TransVia (Trasformed Variable) คือ ตัวแปรในสมการแปลงข้อมูลซึ่งหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood

Estimation ,MLE) ซึ่งผลลัพธ์การวิเคราะห์เหล่านี้จะถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักหรือปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้



ภาพที่ 4.119 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

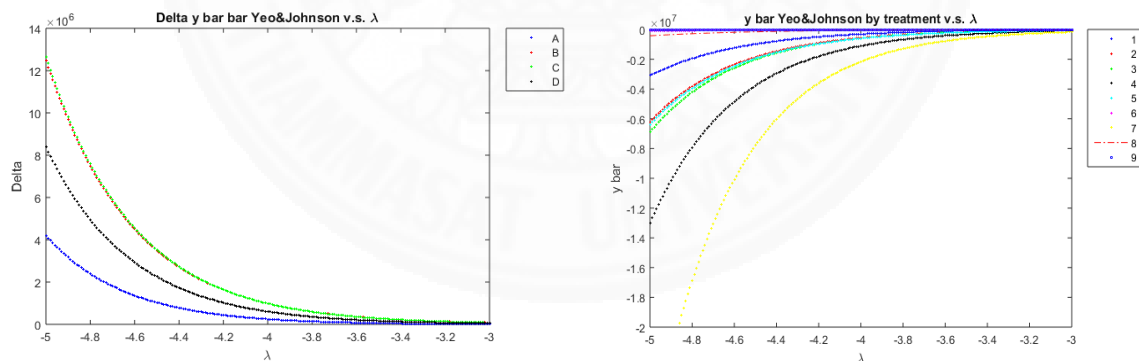


ภาพที่ 4.120 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

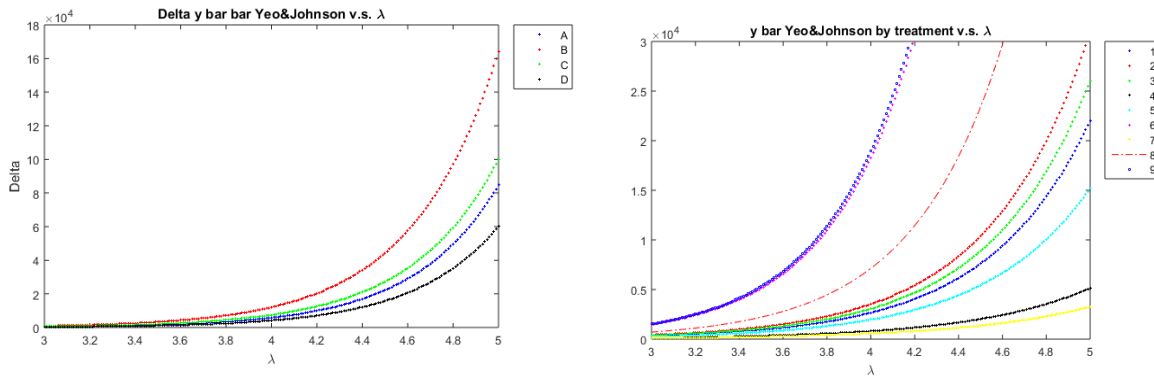
จากภาพที่ 4.119 และ 4.120 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับค่าโรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 14 พบว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ค่อนข้างสมมาตรกันซึ่งในช่วงค่าโรประมาณ -10 ถึง 12 กราฟแต่ละเส้น เกิดการตัดกันในช่วงสั้นๆ ที่เป็นจุดเปลี่ยนในการจัดลำดับ และเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C ณ ค่าโรเหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ซึ่ง

หมายถึง เส้นตรง 2 เส้นบนสุดของกราฟที่มีระยะห่างของแต่ละอันดับที่เป็นไปตามเกณฑ์การคัดเลือก ตลอดช่วงค่าโรตั้งแต่ -5.72 ถึง 500 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนกราฟของวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งค่าของเฉลี่ยของแต่ละวิธีปฏิบัติมีลักษณะเป็นเส้นโค้งขนานกันเมื่อพิจารณาค่าโรที่เป็นบวก แต่เมื่อค่าโรในช่วงประมาณ 0 ถึง -20 เกิดการตัดกันของเส้นโค้งในแต่ละวิธีปฏิบัติและเกิดการเรียงตัวของวิธีปฏิบัติในทิศทางตรงข้ามกับช่วงค่าโรที่เป็นบวกเมื่อผ่านช่วงดังกล่าวที่กราฟเกิดการตัดกัน และให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะเป็นเส้นตรงคล้ายกันกับกรณีข้อมูลเชิงลบซึ่งในช่วงค่าโรประมาณ -10 ถึง 10 กราฟแต่ละเส้นเกิดการตัดกันและเป็นจุดเปลี่ยนในกรณีจัดอันดับจัดลำดับ และเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B , C ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ซึ่งหมายถึง เส้นตรง 2 เส้นบนสุดของกราฟที่มีระยะห่างของแต่ละอันดับที่เป็นไปตามเกณฑ์การคัดเลือกตลอดช่วงค่าโรตั้งแต่ -12.43 ถึง 500 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนกราฟของวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งค่าของเฉลี่ยของแต่ละวิธีปฏิบัติมีลักษณะเป็นเส้นโค้งขนานกันเมื่อพิจารณาค่าโรที่เป็นบวก แต่เมื่อค่าโรในช่วงประมาณ 0 ถึง -20 เกิดการตัดกันของเส้นโค้งในแต่ละวิธีปฏิบัติซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่การเรียงลำดับของแต่ละวิธีปฏิบัติต่างกัน แต่ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ



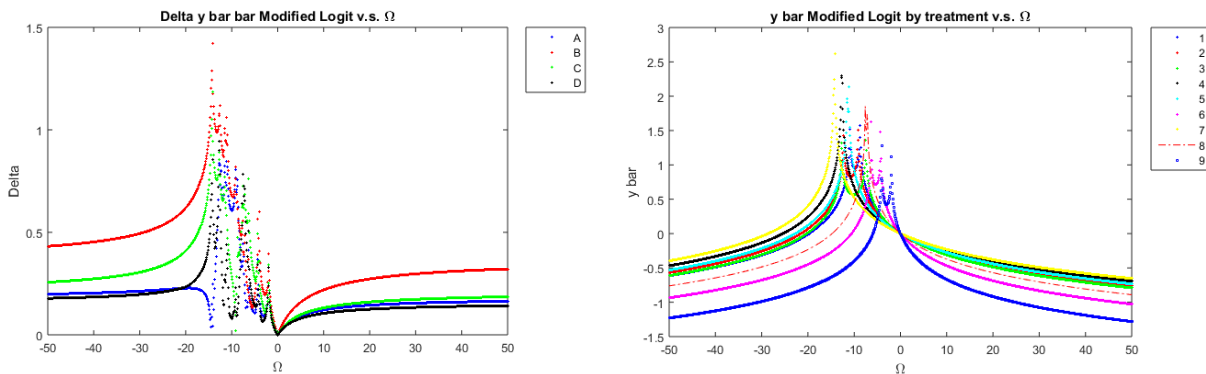
ภาพที่ 4.121_กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบยาวและจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



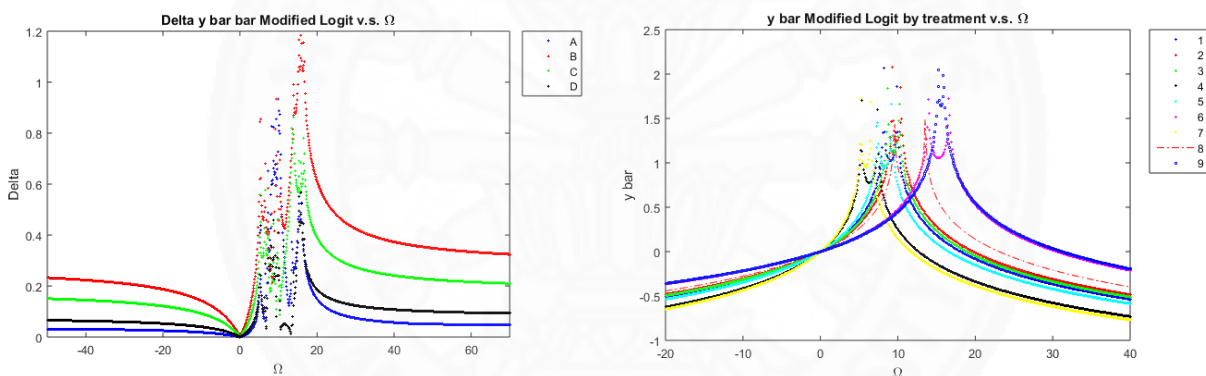
ภาพที่ 4.122 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยอร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกรูปที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.121 และ 4.122 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับค่าโรการแปลงข้อมูลแบบเยอร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบและบวกรูปที่ 14 พบว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีแนวโน้มระยะห่างของผลต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัยที่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าแลมบ์ดาเข้าใกล้ค่าทางด้านลบ ซึ่งมีการเรียงตัวของกราฟที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันและไม่เกิดจุดตัดกันในแต่ละปัจจัย เมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.73 ซึ่งหมายถึง เส้นตรง 2 เส้นบนสุดของกราฟที่มีระยะห่างของแต่ละอันดับที่เป็นไปตามเกณฑ์การคัดเลือกตลอดช่วงค่าแลมบ์ดา ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนกราฟของวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีลักษณะคล้ายกับกราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยคือมีแนวโน้มระยะห่างในค่าของวิธีปฏิบัติที่เพิ่มขึ้นเมื่อค่าแลมบ์ดาเข้าใกล้ค่าทางด้านลบและไม่เกิดจุดตัดกันของกราฟในแต่ละเส้นตลอดช่วงของค่าแลมบ์ดา แต่ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก ทั้งกราฟผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติมีลักษณะที่คล้ายกับกราฟกรณีเชิงลบ แต่มีแนวโน้มระยะห่างของกราฟค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติมีทิศทางตรงข้าม ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแลมบ์ดาเข้าใกล้ค่าด้านบวก และไม่เกิดจุดตัดกันของกราฟในแต่ละเส้นตลอดช่วงของค่าแลมบ์ดา



ภาพที่ 4.123 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.124 กราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.123 และ 4.124 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับค่าโรการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 14 พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะที่ไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมีการลู่ออกกันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B ,C ,A ,และ B ที่ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโอเมก้าที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็น

เป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะที่ไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบในช่วงที่แตกต่างกันซึ่งทั้งหมดอยู่ในช่วงโอเมก้าประมาณ -20 ถึง 0 และนอกเหนือจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบของแต่ละวิธีปฏิบัติเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะที่ไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง 20 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมีลักษณะคงที่ของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B , C ที่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโอเมก้าที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.1 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะที่ไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบในช่วงที่แตกต่างกันซึ่งทั้งหมดอยู่ในช่วงโอเมก้าประมาณ 0 ถึง 20 และนอกเหนือจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบของแต่ละวิธีปฏิบัติเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

4. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 4.166

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

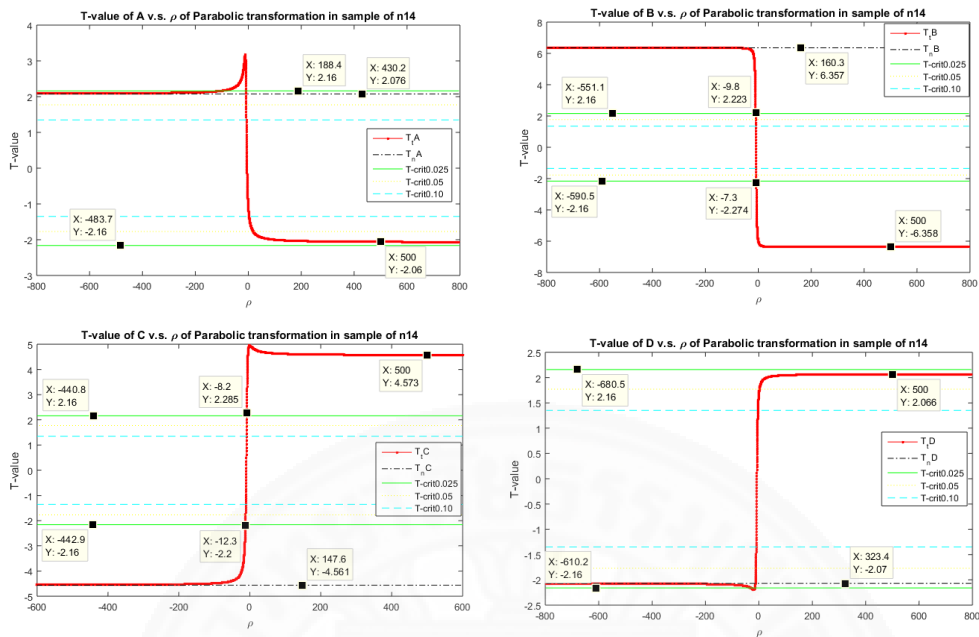
Natural	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	-9.4185	1.0067	3.0829	-2.2116	-1.0040
	SE of Co-efficient	0.3959	0.4849	0.4849	0.4849	0.4849
	T-test	-23.7872	2.0760	6.3573	-4.5606	-2.0705
	P-value	0.000	0.058	0.000	0.001	0.059
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	259,520.3	-1,016.09	-3,135.67	2,225.23	1,018.72
	SE of Co-efficient	402.6723	493.1708	493.1708	493.1708	493.1708
	T-test	644.495	-6.3582	-6.3582	4.5729	2.0656
	P-value	0.000	0.059	0.000	0.001	0.059
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	-15.5438	1.6846	5.8691	-4.3937	-1.8171
	SE of Co-efficient	0.7537	0.9231	0.9231	0.9231	0.9231
	T-test	-20.6225	1.8249	6.3578	-4.7596	-1.9684
	P-value	0.000	0.0910	0.000	0.000	0.0707
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	-1.7792	-0.0889	-0.1809	0.1025	0.0778
	SE of Co-efficient	0.0289	0.0354	0.0354	0.0354	0.0354
	T-test	-61.5379	-2.5125	-5.1106	2.8942	2/1983
	P-value	0.000	0.026	0.000	0.013	0.047

ตารางที่ 4.167

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

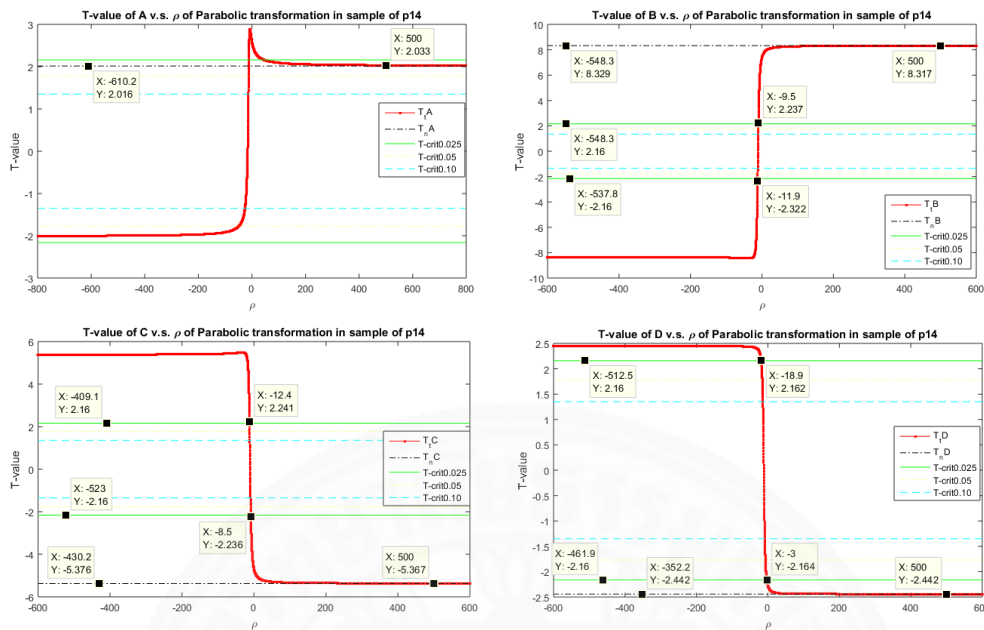
Natural	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	10.1360	0.7695	3.1787	-2.0519	-0.9321
	SE of Co-efficient	0.3116	0.3817	0.3817	0.3817	0.3817
	T-test	32.5258	2.0162	8.3286	-5.3763	-2.4422
	P-value	0.000	0.0649	0.000	0.000	0.030
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	260,250.5	793.666	3,246.986	-2,095.56	-953.276
	SE of Co-efficient	318.777	390.421	390.421	390.421	390.421
	T-test	816.402	2.0328	8.3166	-5.3674	-2.4416
	P-value	0.000	0.063	0.000	0.000	0.030
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	3.9823	0.1284	0.7477	-0.4841	-0.2146
	SE of Co-efficient	0.0725	0.0888	0.0888	0.0888	0.0888
	T-test	54.9109	1.4462	8.4184	-5.4503	-2.4158
	P-value	0.000	0.172	0.000	0.000	0.031
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	C	D
	Co-efficient	-0.0048	-0.00048	0.0015	-0.00097	0.00043
	SE of Co-efficient	0.0001	0.000225	0.000225	0.000225	0.000225
	T-test	-26.0332	-0.2138	6.6868	-4.3091	-1.9085
	P-value	0.000	0.8340	0.000	0.001	0.078

จากตารางที่ 4.166 และ 4.167 เป็นตารางเปรียบเทียบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและเชิงลบชุดที่ 14 ของการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าสถิติ T-test ของสมการข้อมูลในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูลและถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัย ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้



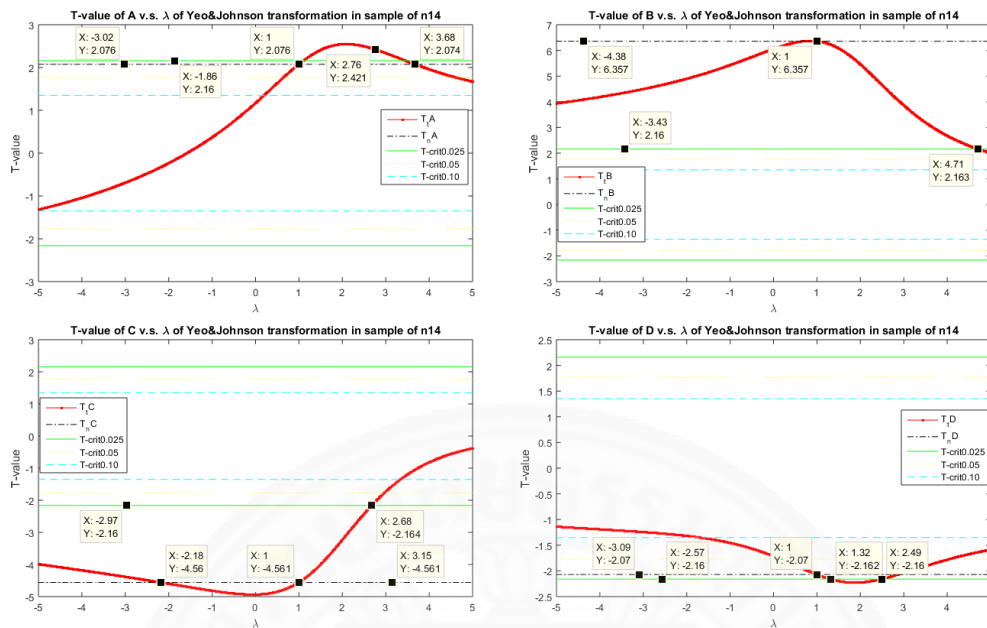
ภาพที่ 4.125 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.125 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, C, และ D มีลักษณะลู่เข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านลบ และให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านบวก ส่วนค่าค่าโรที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ซึ่งทำให้ค่า T-test ของทุกปัจจัยมีผลลัพธ์ที่ตรงข้ามกับข้อมูลธรรมชาติแต่มีค่าใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณเนื่องจาก ค่าโรมีผลต่อเครื่องหมายในการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งมีผลต่อเนื่องในการหาค่าสถิติ T-test ของสมการ ส่วนการทดสอบสมมติฐานมีเฉพาะปัจจัย B และ C ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุด



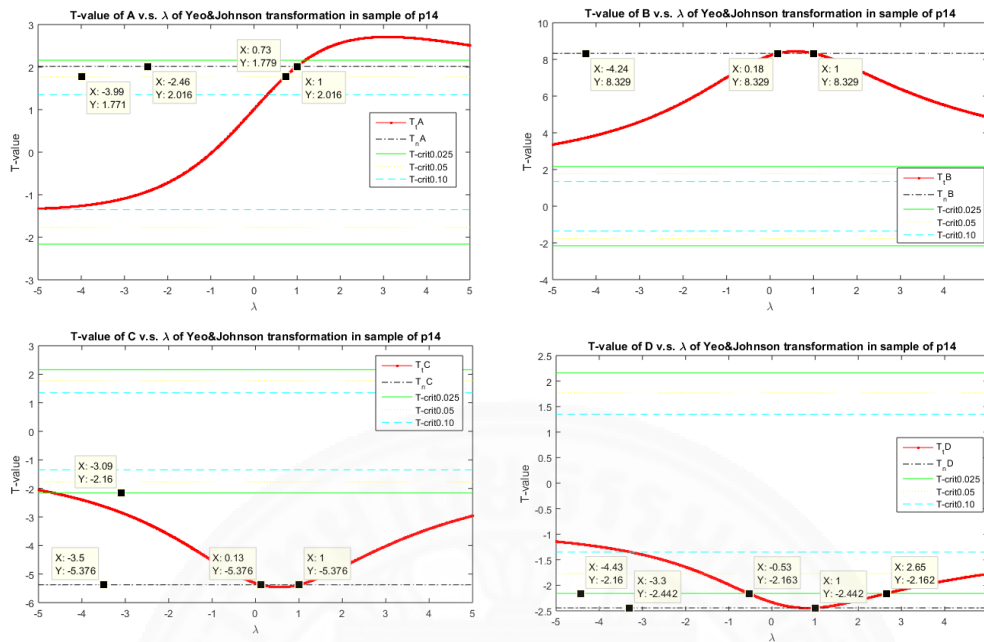
ภาพที่ 4.126 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.126 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, C, และ D มีลักษณะลู่เข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านลบ และให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านบวก ส่วนค่าค่าโรที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ซึ่งทำให้ค่า T-test ของทุกปัจจัยมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งแตกต่างกันกับการประมาณค่ากรณีเชิงลบที่ให้ค่าสถิติของข้อมูลเชิงตรงข้ามกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการทดสอบสมมติฐานมีเฉพาะปัจจัย B, C, และ D ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุด



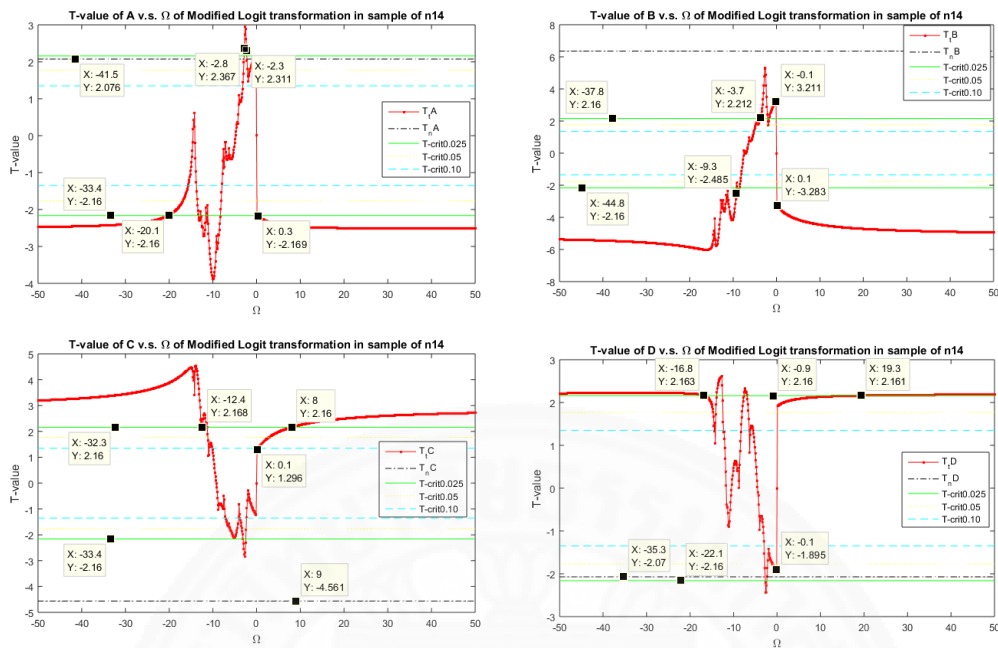
ภาพที่ 4.127 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.127 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, C, และ D มีลักษณะเป็นเส้นโค้งและมีจุดตัดกับค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติในแต่ละปัจจัยโดยยังค่าแลมบ์ดาเข้าใกล้ 1 ผลลัพธ์ของค่า T-test ของแต่ละปัจจัยจะมีค่าเข้าใกล้ผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาชนะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.71 ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับ 1 ทำให้ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ออกมานั้นมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการทดสอบสมมติฐานมีเฉพาะปัจจัย B และ C ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุด



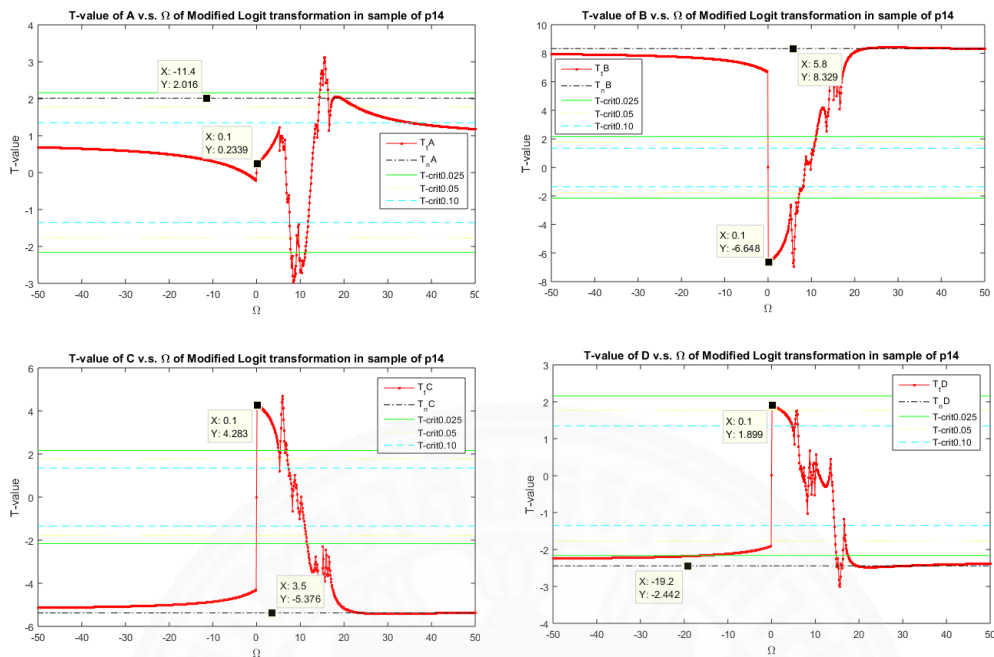
ภาพที่ 4.128 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.128 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าแลมบ์ดาในการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, C, และ D มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่แตกต่างกับกรณีเชิงลบ แต่มีจุดตัดกับค่า T-Test ของข้อมูลธรรมชาติที่ค่าแลมบ์ดาเท่ากับ 1 เหมือนกันกรณีข้อมูลเชิงลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.4 ซึ่งเข้าใกล้ 1 น้อยกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ ทำให้ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติน้อยกว่ากรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนการทดสอบสมมติฐานมีเฉพาะปัจจัย B, C, และ D ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 4.129 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.129 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโอเมก้าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 14 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยมีลักษณะไม่คงที่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะค่อนข้างเป็นตรงที่ไม่ลู่ออกเข้าหาค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติตลอดช่วงค่าโอเมก้าทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าโอเมก้าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ให้ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ออกมา นั้นมีค่าแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติเป็นอย่างมาก ส่วนการทดสอบสมมติฐานมีเฉพาะปัจจัย A, B, และ C ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 4.130 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.130 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโอเมก้าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 14 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยมีลักษณะไม่คงที่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง 20 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะค่อนข้างเป็นตรงที่ลู่ออกค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติตลอดช่วงค่าโอเมก้าทั้งด้านบวกและลบ ยกเว้นปัจจัย A ที่กราฟมีลักษณะไม่ลู่ออกค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าโอเมก้าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.1 ให้ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ออกมา นั้นมีค่าแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติเป็นอย่างมากเหมือนกับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนการทดสอบสมมติฐานมีเฉพาะปัจจัย B และ C ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุด

4.2.1.3 ผลการดำเนินการทดลอง

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้การหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test และการวิเคราะห์

ค่าเฉลี่ย กับตัวแปรของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี ในส่วนของการดำเนินการทดลองได้รวบรวมผลลัพธ์ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณและการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากการรันโปรแกรมคำนวณแมทแลปใน ทุกสถานการณ์ (ทั้งหมด 16 สถานการณ์ในแต่ละกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ) ของการออกแบบการ ทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกแล้ว ได้นำผลลัพธ์เพื่อทำการวัดประสิทธิภาพของ การแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี ซึ่งแบ่งการวัดผลออกตามวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ดังกล่าวมาวิเคราะห์ในด้านของความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) แบ่ง ออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย จะทำการวัดประสิทธิภาพการ แปลงข้อมูลจากจำนวนผลลัพธ์ของคัดเลือกการจัดอันดับและการเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ รวมถึง การศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่กำหนดไว้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวก และลบอย่างไร

2. ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ จะทำการวัด ประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลจากการเปรียบเทียบความแม่นยำ (Accuracy) ได้จากค่าเฉลี่ยของ (ΔT_0) และสัดส่วนผลค่าต่างของ $(\Delta T_0/T_n)$ ของค่าสถิติ T-test ของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูล ธรรมชาติ และในด้านความเที่ยงตรง (Precision) ซึ่งพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง และสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังเปรียบเทียบจำนวนครั้ง ของการทดสอบสมมติฐานที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ รวมถึงศึกษา ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่กำหนดไว้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและ ลบอย่างไร

1.การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.168

จำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ของ การทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Result of Negative Number			
Analysis of Mean	PB= N	YJ = N	LG = N
Treatment Ranking (1)	0	15	0
Parameter Ranking (2)	16	15	5
All (1 & 2)	0	14	0
Result of Positive Number			
Analysis of Mean	PB= N	YJ = N	LG = N
Treatment Ranking (1)	16	15	12
Parameter Ranking (2)	16	15	8
All (1 & 2)	16	14	6

จากตารางที่ 4.168 แสดงถึง การเปรียบเทียบจำนวนผลการคัดเลือกการจัดอันดับของวิธีปฏิบัติ (Treatment) และ ปัจจัย (Parameter) ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดเมื่อพิจารณาทุกรูปแบบของการทดสอบ และการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ของการคัดเลือกและจัดอันดับของปัจจัย (Parameter) ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกสถานการณ์ส่วนรูปแบบอื่นนั้นให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการแปลงแบบโลจิทนั้นให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดในทุกรูปแบบ

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกันในทุกสถานการณ์และทุกรูปแบบของการทดสอบ และการแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทนั้นให้ผลลัพธ์ของการทดสอบที่แย่ที่สุด

จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลักขึ้นในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 4

ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 2 ระดับและผลตอบสนอง (Response) คือสัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย $\left(\left| \frac{\Delta Mean_n - \Delta Mean_t}{\Delta Mean_n} \right| \right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 16 สถานการณ์ สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติ ในทุกปัจจัย ดังนั้น จึงเลือกใช้การทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-Parametric test) ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อดูว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยมีผลต่อวิธีการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.169

ตารางที่ 4.169

ผลการทดสอบครัสคัล-วัลลิส ของค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Kruskal-Wallis Summary Result : P-Value (Negative Number)								
Analysis of Mean								
Main Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.001	0.258	0.027	A	0.830	0.554	0.830
	2	0.095	0.518	0.237				
	3	0.031	0.747	0.420	B	0.914	0.519	0.872
	4	0.119	0.518	0.179				
	5	0.361	0.788	1.000	C	0.747	0.518	0.872
	6	0.389	0.667	0.957				
	7	0.830	0.485	0.451	D	0.451	0.872	0.667
	8	0.485	0.554	0.518				
	9	0.060	0.747	0.554				
Kruskal-Wallis Summary Result : P-Value (Positive Number)								
Analysis of Mean								
Main Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.001	0.554	0.010	A	0.830	1.000	0.484
	2	0.095	0.830	0.085				
	3	0.031	0.237	0.788	B	0.914	0.333	0.628
	4	0.119	0.914	0.106				
	5	0.360	0.420	0.628	C	0.747	0.389	0.957
	6	0.389	0.747	0.628				
	7	0.389	0.554	0.216	D	0.451	0.484	0.830
	8	0.484	0.667	0.237				
	9	0.060	0.307	0.914				

จากตารางที่ 4.169 แสดงค่า P-value ของการทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ของวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) ในการทดลองทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ทั้งในส่วนของวิธีปฏิบัติและพารามิเตอร์ซึ่งหมายถึง อิทธิพลของปัจจัยหลักไม่มีผลต่อผลต่างค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยที่ทำให้ค่าเข้าใกล้ผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น และการแปลงแบบพาราโบลิกพบว่า มีการปฏิเสธสมมติฐานหลักในส่วนของวิธีปฏิบัติที่ 1 และ 3 ส่วนการแปลงแบบโลจิทพบว่า มีการปฏิเสธสมมติฐานหลักในส่วนของวิธีปฏิบัติที่ 1

เมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานจากผลการทดสอบของครัสคัล-วัลลิส พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกในกรณีข้อมูลเชิงลบ เมื่อค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นซึ่งตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงบวกที่การเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าอิทธิพลทำให้สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการแปลงแบบโลจิททั้งในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบเมื่อค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.170

ตารางที่ 4.170

ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย กรณีที่ปฏิเสธสมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Negative Number									
Kruskal-Wallis test on Parabolic (PB_At_1)					Kruskal-Wallis test on Logit (LG_At_1)				
Main effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	32	31404	40.5	3.44	1	32	0.8810	27.4	-2.20
2	32	21896	24.5	-3.44	2	32	0.9991	37.6	2.20
Overall	64		32.5		Overall	64		32.5	
H = 11.86	DF = 1	P = 0.001			H = 4.85	DF = 1	P = 0.028		
Positive Number									
Kruskal-Wallis test on Parabolic (PB_At_1)					Kruskal-Wallis test on Parabolic (LG_At_1)				
Main effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	32	22242	24.5	-3.44	1	32	1.001	26.5	-2.58
2	32	32145	40.5	3.44	2	32	1.004	38.5	2.58
Overall	64		32.5		Overall	64		32.5	
H = 11.82	DF = 1	P = 0.001			H = 6.67	DF = 1	P = 0.010		

2.การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 4.171

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ของข้อมูลเชิงบวกและลบในการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

SD and Mean in Result of Negative Number												
Factor (T_0)	Abs($T_{0_natural} - T_{0_coded}$)						($Abs(T_{0_natural} - T_{0_coded})/F_{0_natural}$)					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	7.533	0.329	6.248	2.987	0.296	2.848	1.999	0.093	1.674	0.008	0.081	0.474
B	21.16	0.360	18.079	5.489	0.312	4.365	1.999	0.035	1.723	0.003	0.032	0.168
C	14.33	0.251	12.466	3.992	0.241	3.498	1.999	0.035	1.748	0.003	0.038	0.179
D	3.35	0.176	3.245	1.884	0.242	2.017	2.001	0.118	2.032	0.020	0.122	0.588
SD and Mean in Result of Positive Number												
Factor (T_0)	Abs($T_{0_natural} - T_{0_coded}$)						($Abs(T_{0_natural} - T_{0_coded})/F_{0_natural}$)					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	0.022	0.322	1.607	0.014	0.196	1.402	0.006	0.092	0.459	0.004	0.049	0.377
B	0.029	0.295	3.470	0.016	0.218	1.779	0.003	0.029	0.325	0.001	0.025	0.128
C	0.022	0.225	2.262	0.140	0.203	1.500	0.003	0.032	0.307	0.001	0.031	0.171
D	0.10	0.199	0.856	0.008	0.198	0.709	0.011	0.177	0.846	0.017	0.193	1.103

จากตารางที่ 4.171 แสดงถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง (ΔT_0) และสัดส่วนของผลต่าง ($\Delta T_0/T_n$) ในทุกปัจจัย การแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสัน และกรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากที่สุดทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ

ตารางที่ 4.172

ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T -test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงลบและบวกในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (T_0)	H_0 reject (Negative)											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	15	15	16	15	15	16	14	15	16	9	11	13
B	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
C	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
D	7	9	12	7	9	12	7	7	10	5	6	8
Factor (T_0)	H_0 reject (Positive)											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	15	15	16	15	15	16	15	16	16	9	11	12
B	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
C	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
D	7	9	12	7	9	12	7	7	9	4	4	5

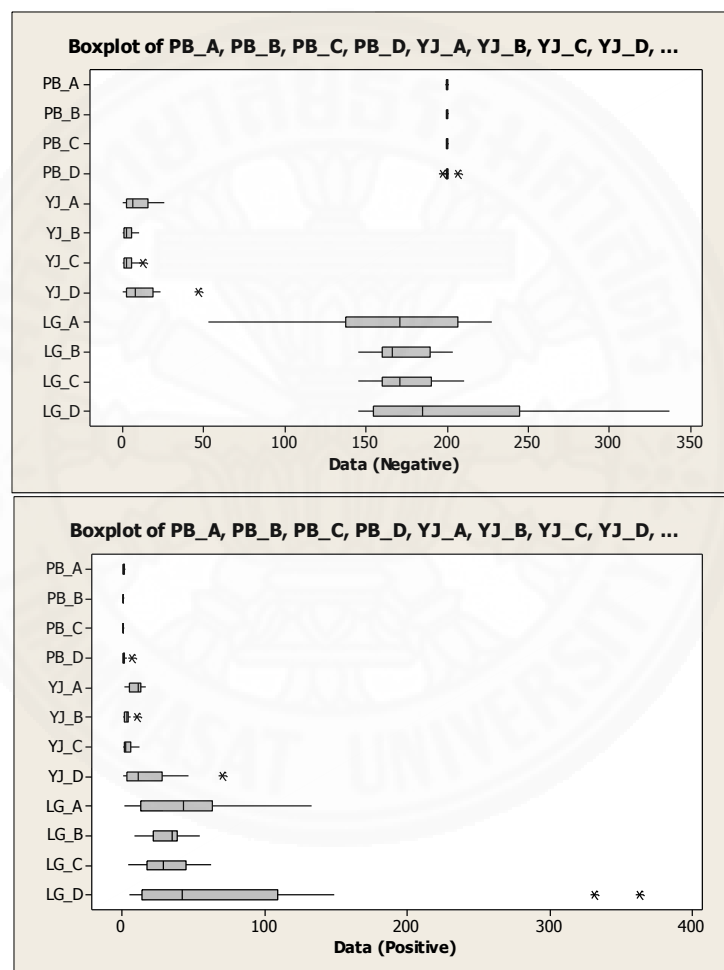
จากตารางที่ 4.172 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าสถิติ T -test ของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีเชิงบวกและลบภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ ส่วนการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ แต่การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงมากกว่าการแปลงแบบโลจิท

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันให้

ผลลัพธ์ของจำนวนการปฏิเสธสมมติฐานหลักของผลกระทบหลักตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.025 ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐาน T-test ในทุกสถานการณ์ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ สรุปได้ว่าการแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพดีกว่าการแปลงแบบเอวาร์และจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพน้อยที่สุด



ภาพที่ 4.131 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.131 แสดงถึงผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟ Box-plot พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (YJ) มีสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากที่สุด แต่การกระจายตัวของข้อมูลยังมากกว่าเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิก (PB) แต่ยังมีผลในการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานที่ต่างจากข้อมูลธรรมชาติเล็กน้อยดังแสดงในตารางที่ 4.170 ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิก (PB) มีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุด แต่แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลมีค่ามากที่สุดที่ 200% เนื่องมาจากการแปลงข้อมูลที่ทำให้ข้อมูลกลายเป็นข้อมูลเชิงบวกทำให้ผลการทดสอบทางสถิติ T-test มีผลตรงข้ามแต่ยังคงให้ผลการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติที่ดีที่สุด และการแปลงข้อมูลแบบโลจิท (LG) มีการกระจายตัวของข้อมูลที่มากที่สุดแต่แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลยังคงมีแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงแบบพาราโบลิก (PB) สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุดและไม่มีผลในการเปรียบเทียบการทดสอบสมมติฐานดังแสดงในตารางที่ 4.170 ส่วนการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (YJ) ยังคงให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาทั้งแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูลและการกระจายตัวของข้อมูลที่ดีกว่าในกรณีข้อมูลเชิงลบ และการแปลงแบบโลจิท (LG) ยังคงให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด อีกทั้งการกระจายตัวของข้อมูลและแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูลแต่ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าข้อมูลเชิงลบ

จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดของอิทธิพลของปัจจัยหลักในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 2 ระดับและผลตอบสนอง (Response) คือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test $\left(\left|\frac{T_n - T_t}{T_n}\right|\right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 16 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติ

ในทุกปัจจัยตั้งนั้น จึงเลือกใช้การทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-Parametric test) ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อดูว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยมีผลต่อวิธีการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.173

ตารางที่ 4.173

ผลการทดสอบครัสคัล-วัลลิส ของค่าสถิติ T-test ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ในการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Kruskal-Wallis Summary Result: P-Value (Negative Number)				
T-test for Multiple Linear Regression				
Main Effect	Parameter	PB	YJ	LG
	A	0.484	0.216	0.420
	B	0.420	0.747	0.029
	C	0.282	0.518	0.554
	D	0.007	0.628	0.667
Kruskal-Wallis Summary Result: P-Value (Positive Number)				
T-test for Multiple Linear Regression				
Main Effect	Parameter	PB	YJ	LG
	A	0.914	0.872	0.957
	B	0.788	0.451	0.914
	C	0.788	0.914	0.518
	D	0.628	0.788	0.788

จากการทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงข้อมูลทุกวิธีไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ส่วนกรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบพาราโบลิคปฏิเสธสมมติฐานหลักคือ อิทธิพลของปัจจัยหลักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติ T-test ของปัจจัย D ที่แปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก และการแปลงแบบโลจิกพบว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักคือ อิทธิพลของปัจจัยหลักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติ T-test ของปัจจัย B ที่แปรผกผันกับขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลัก ส่วนการแปลงแบบยาวและจอห์นสันไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ ซึ่งตารางที่ 4.174 แสดงผลลัพธ์การปฏิเสธสมมติฐานหลักในการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของการแปลงแบบพาราโบลิคและโลจิก

ตารางที่ 4.174

ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ T-Test กรณีที่ปฏิเสธรสมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก

Negative Number									
Kruskal-Wallis test on Parabolic (T_D)					Kruskal-Wallis test on Logit (T_B)				
Main effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	32	200.1	35.6	-1.34	1	32	167.5	35.6	1.34
2	32	192.1	29.4	-1.34	2	32	152.9	29.4	-1.34
Overall	64		32.5		Overall	64		32.5	
H = 1.80	DF = 1	P = 0.007			H = 1.81	DF = 1	P = 0.029		

จากผลการทดสอบ Kruskal-Wallis สรุปได้ว่า การแปลงแบบเขยว้และจอห์นสันมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของปัจจัยหลักมากที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกและการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของปัจจัยหลัก

4.2.2 กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวนภายนอก

ในกรณีนี้จะใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิที่ถูกรนำมาจำลองและวิเคราะห์ ซึ่งมีแผนการทดลองแบบออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิด $L_9(3^4)$ ที่มีปัจจัยหลักจำนวน 4 ปัจจัย คือ A, B, C, และ D โดยระดับของในแต่ละปัจจัยอยู่ที่ 3 ระดับที่เป็นปัจจัยหลักหรือปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ร่วมกับรูปแบบการทดลองออร์ทอกอนัลแอร์เรย์ชนิด $L_4(2^3)$ เป็นปัจจัยภายนอกหรือปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมไม่ได้ที่มีจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยคือ m, n, และ o โดยมีระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ ซึ่งถูกนำไปใช้ในการจำลองและวิเคราะห์ผลในการเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลโดยแบ่งการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (Signal to Noise Ratio) ของการทดลองออกเป็น 3 กรณีคือ กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better), กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better), และกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ซึ่งกรณีนี้จะทำการวิเคราะห์ผลรวมกับการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean) ของแต่ละวิธีปฏิบัติ (Treatment) และพารามิเตอร์ (Parameter) รวมถึงการจัดอันดับ (Ranking) เพื่อเลือกพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองโดยใช้เกณฑ์คือ พิจารณาอันดับแรกถึงอันดับสุดท้าย หากผลต่างหรือผลต่างค่าเฉลี่ย S/N ณ อันดับที่กำลังพิจารณา เมื่อคูณสองแล้วไม่มากกว่าอันดับก่อนหน้า อันดับของ S/N ที่ถูกพิจารณานั้นรวมไปถึงอันดับถัดไปจนถึงอันดับสุดท้ายจะถูกตัดออกไปและจะเลือกอันดับของปัจจัยที่

1 ถึงอันดับก่อนหน้าที่ไม่ถูกตัดทิ้งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล โดยกำหนดเงื่อนไขของข้อมูลที่ถูกจำลองตามจำนวนระดับของปัจจัยซึ่งจะได้ชุดการจำลองข้อมูลทั้งหมด 256 สถานการณ์

4.2.2.1 การจำลองข้อมูล

การจำลองข้อมูลจะใช้ค่าเฉลี่ยของสมการที่มีค่าเป็นบวกและลบ โดยใช้โปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแลปในการจำลองข้อมูล และเปรียบเทียบผลเบื้องต้นทางสถิติของข้อมูลกับโปรแกรมมินิแทบเพื่อยืนยันความถูกต้องในการเขียนโปรแกรมก่อนทำรันโปรแกรมในทุกสถานการณ์ต่อไป

(1) ข้อมูลเชิงลบ

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยแมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 101 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่ากับ -10 ผลกระทบของปัจจัยหลัก A, B, C, และ D มีค่าเท่ากับ 1, 3, -2, และ 0.5 ตามลำดับ ผลกระทบของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 2, -1.5, และ 0.5 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.175

ตารางที่ 4.175

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณี
พิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-9.6748	-9.5301	-7.5068	-9.8994
		-1	0	0	0	-10.7549	-9.6649	-5.9674	-9.4558
		-1	1	1	1	-8.6297	-8.8723	-8.2697	-10.9141
		0	-1	-1	1	-14.7115	-11.4067	-10.1286	-15.4916
		0	0	0	-1	-10.1022	-8.3907	-7.7256	-11.7423
		0	1	1	0	-4.2414	-4.3637	-0.3826	-6.0616
		1	-1	-1	0	-12.6808	-12.4226	-11.5891	-11.6495
		1	0	0	1	-6.6871	-7.7141	-4.4674	-8.6156
		1	1	1	-1	-4.8649	-4.6135	-0.9475	-4.2519
Replicate	2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-10.1924	-9.2084	-8.6480	-12.7947
		-1	0	0	0	-9.1114	-9.3022	-7.3951	-10.1596
		-1	1	1	1	-10.7648	-7.9123	-6.7777	-11.8880
		0	-1	-1	1	-14.4023	-13.3045	-7.9145	-13.8999
		0	0	0	-1	-11.4224	-8.8084	-8.1669	-11.5445
		0	1	1	0	-3.5118	-2.6649	-1.3127	-4.6965
		1	-1	-1	0	-13.1774	-12.7437	-10.5825	-14.6003
		1	0	0	1	-7.1961	-6.2843	-6.4330	-7.5100
		1	1	1	-1	-2.5807	-4.6658	-1.9390	-4.2606

1. การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลธรรมชาติถูกทดสอบ

เบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

1.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

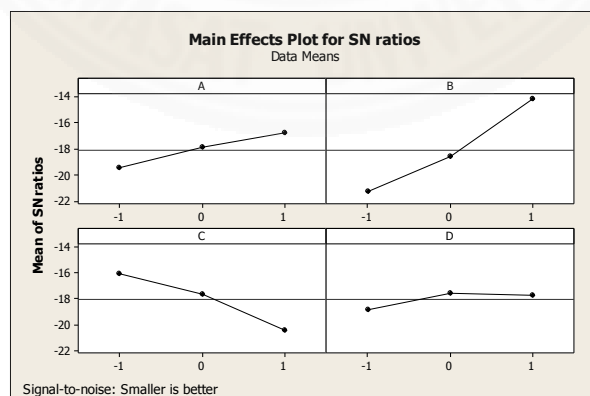
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลธรรมชาติเชิงลบดังแสดงในตารางที่ 4.176

ตารางที่ 4.176

การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-19.48	-21.31	-16.11	-18.85
2	-17.91	-18.63	-17.64	-17.59
3	-16.78	-14.22	-20.42	-17.74
Delta	2.71	7.09	4.32	1.26
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.176 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_S ถูกแสดงดังภาพที่ 4.132



ภาพที่ 4.132 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

1.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

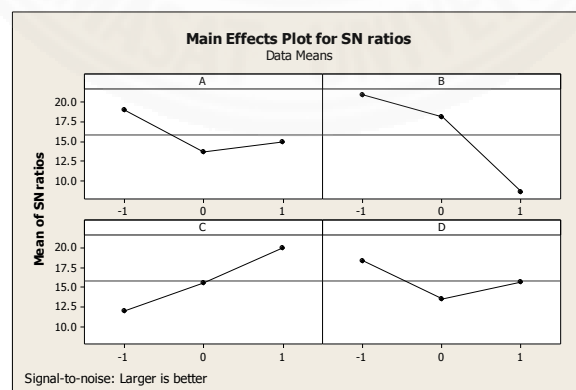
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลธรรมชาติเชิงลบดังแสดงในตารางที่ 4.177

ตารางที่ 4.177

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	-18.997	20.885	11.941	18.386
2	-13.649	18.102	15.519	13.498
3	-14.861	8.520	20.047	15.622
Delta	5.348	12.366	8.105	4.888
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.177 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.133



ภาพที่ 4.133 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

1.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรม มินิแทบสำหรับข้อมูลธรรมชาติเชิงลบดังแสดงในตารางที่ 4.178 และ 4.179

ตารางที่ 4.178

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

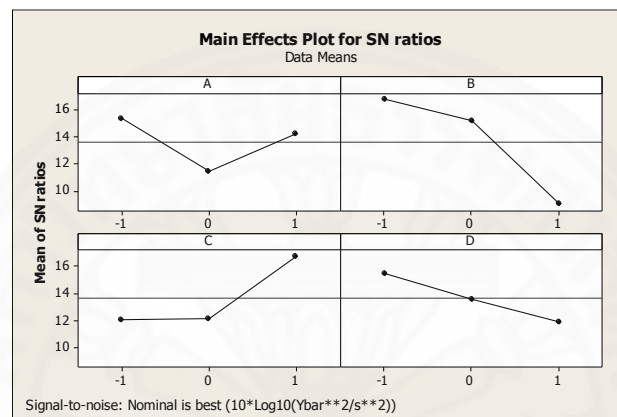
Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	15.270	16.700	12.085	15.456
2	11.418	15.158	12.143	13.570
3	14.230	9.060	16.690	11.892
Delta	3.851	7.640	4.606	3.564
Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.179

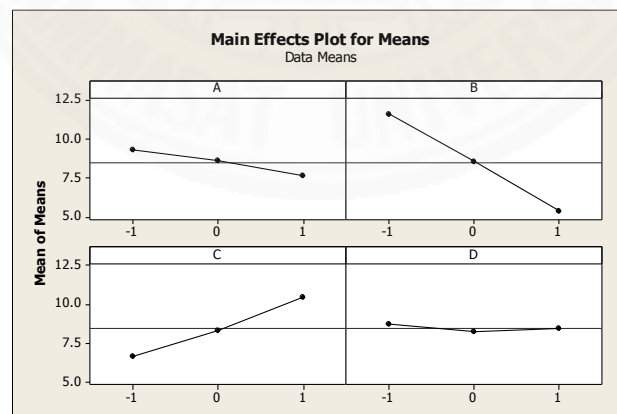
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	9.304	11.590	6.650	8.761
2	8.600	8.526	8.383	8.271
3	7,603	5.391	10.474	8.476
Delta	1.701	6.199	3.824	0.490
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.178 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอล-นอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D และจากตารางที่ 4.179 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดตั้งคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจาก พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.134 และ 4.135



ภาพที่ 4.134 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.135 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.180 และ 4.181

ตารางที่ 4.180

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-8.5023	0.1170	-72.69	0.000
A	0.8504	0.1433	5.94	0.000
B	3.0994	0.1433	21.64	0.000
C	-1.9120	0.1433	-13.35	0.000
D	-0.9733	0.1433	-6.79	0.000
m	1.0572	0.1170	9.04	0.000
n	-0.7006	0.1170	-5.99	0.000
o	0.2915	0.1170	2.49	0.015

ตารางที่ 4.181

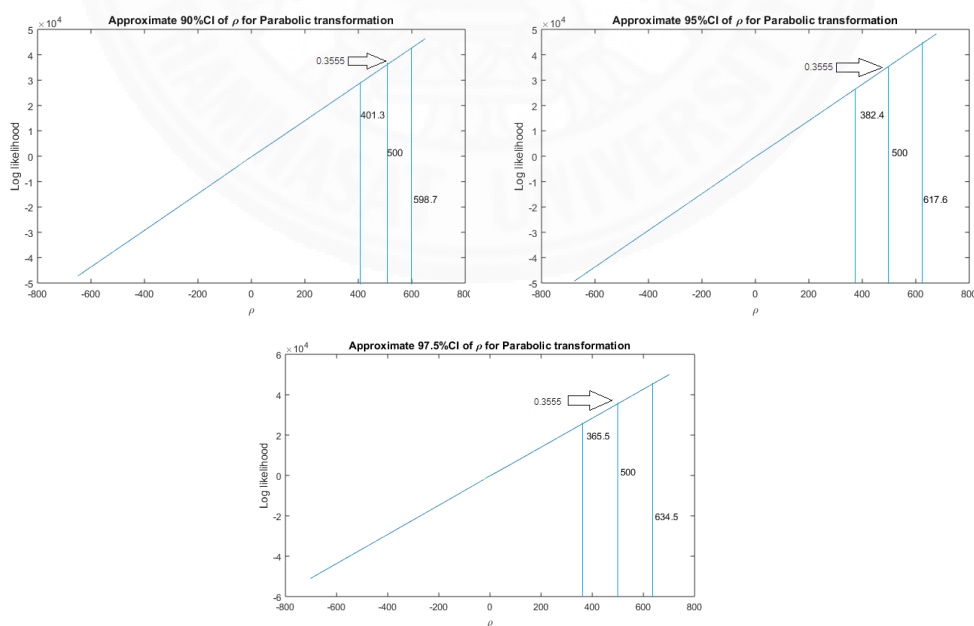
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	838.70	119.81	121.64	0.000
Residual Error	64	63.04	0.98		
Total	71	901.74			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ค่าสถิติ t ในตารางที่ 4.180 ทุกปัจจัยมีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นตัวแปรอิสระทุกตัวในสมการ มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.181) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้ โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแล็บเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลา

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแล็บโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.136



ภาพที่ 4.136 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.136 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลามีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลิก โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.3555×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลิกจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลิกที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.182

ตารางที่ 4.182

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	259,768.4	259,620.9	257,563.2	259,997.4
-1	0	0	0	260,870.6	259,758.3	256,002.9	259,545.2		
-1	1	1	1	258,704.2	258,951.1	258,338.1	261,033.2		
0	-1	-1	1	264,927.9	261,536.8	260,231.2	265,731.6		
0	0	0	-1	260,204.3	258,461.1	257,785.3	261,880.2		
0	1	1	0	254,259.4	254,382.7	250,382.8	256,098.3		
1	-1	-1	0	262,841.6	262,576.9	261,723.4	261,785.3		
1	0	0	1	256,731.8	257,773.6	254,487.4	258,689.8		
1	1	1	-1	254,888.5	254,634.8	250,948.4	254,270.0		
2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)	
	-1	-1	-1	-1	260,296.3	259,293.2	258,722.7	262,958.4	
	-1	0	0	0	259,194.4	259,388.7	257,449.8	260,262.8	
	-1	1	1	1	260,880.7	257,974.9	256,823.7	262,029.4	
	0	-1	-1	1	264,609.7	263,481.5	257,977.1	262,093.1	
	0	0	0	-1	261,552.8	258,880.9	258,233.6	261,677.8	
	0	1	1	0	253,524.1	252,672.0	251,314.4	254,718.5	
	1	-1	-1	0	263,351.0	262,906.1	260,694.5	264,813.5	
	1	0	0	1	257,247.8	256,323.8	256,474.4	257,566.4	
	1	1	1	-1	252,587.3	254,687.6	251,942.7	252,278.8	

4. การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

4.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

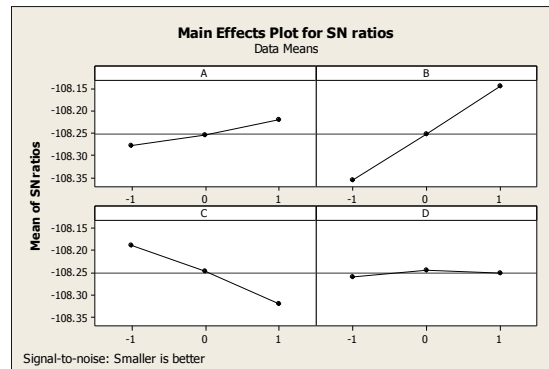
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสพาราโบลิคดังแสดงในตารางที่ 4.183

ตารางที่ 4.183

การวิเคราะห์ S/N_5 ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-108.3	-108.4	-108.2	-108.3
2	-108.3	-108.3	-108.2	-108.2
3	-108.2	-108.1	-108.3	-108.3
Delta	0.1	0.2	0.1	0.0
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.183 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_5 ถูกแสดงดังภาพที่ 4.137



ภาพที่ 4.137 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัส พาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

4.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

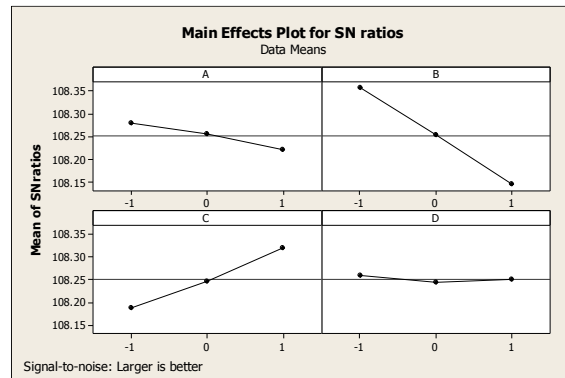
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่ง มากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสพาราโบลิคดังแสดงในตารางที่ 4.184

ตารางที่ 4.184

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณี พิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	108.3	108.4	108.2	108.3
2	108.3	108.3	108.2	108.2
3	108.2	108.1	108.3	108.2
Delta	0.1	0.2	0.1	0.0
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.184 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอล ทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของ ข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.138



ภาพที่ 4.138 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมกยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

4.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสพาราโบลีคดังแสดงในตารางที่ 4.185 และ 4.186

ตารางที่ 4.185

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลีคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

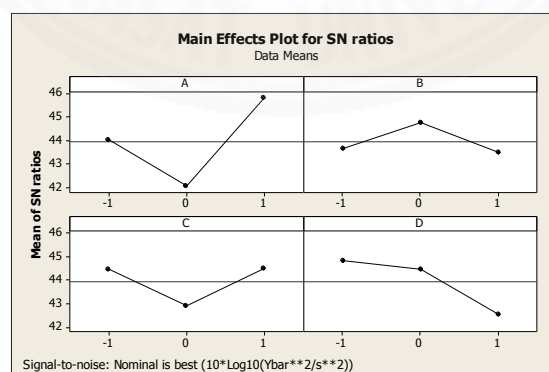
Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	44.02	43.64	44.46	44.82
2	42.05	44.75	42.92	44.48
3	45.81	43.49	44.50	42.57
Delta	3.76	1.26	1.58	2.25
Rank	1	4	3	2

ตารางที่ 4.186

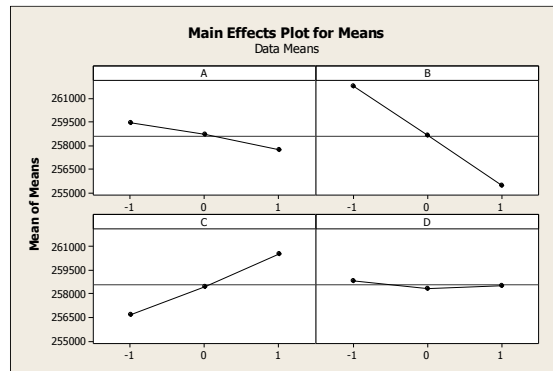
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	259,393	261,729	256,703	258,841
2	258,692	258,602	258,471	258,355
3	257,676	255,430	260,588	258,565
Delta	1717	6299	3885	486
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.185 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ A, D, B, C ซึ่งไม่ตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.186 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดดับคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.139 และ 4.140



ภาพที่ 4.139 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.140 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
เข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิก

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิก ถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.187 และ 4.188

ตารางที่ 4.187

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101
ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	258,587	119	2171.3	0.000
A	-858.4	145.9	-5.88	0.000
B	-3149.5	145.9	-21.59	0.000
C	1942.4	145.9	13.32	0.000
D	989.3	145.9	6.78	0.000
m	-1076.0	119.1	-9.03	0.000
n	711.1	119.1	5.97	0.000
o	-294.7	119.1	-2.47	0.016

ตารางที่ 4.188

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

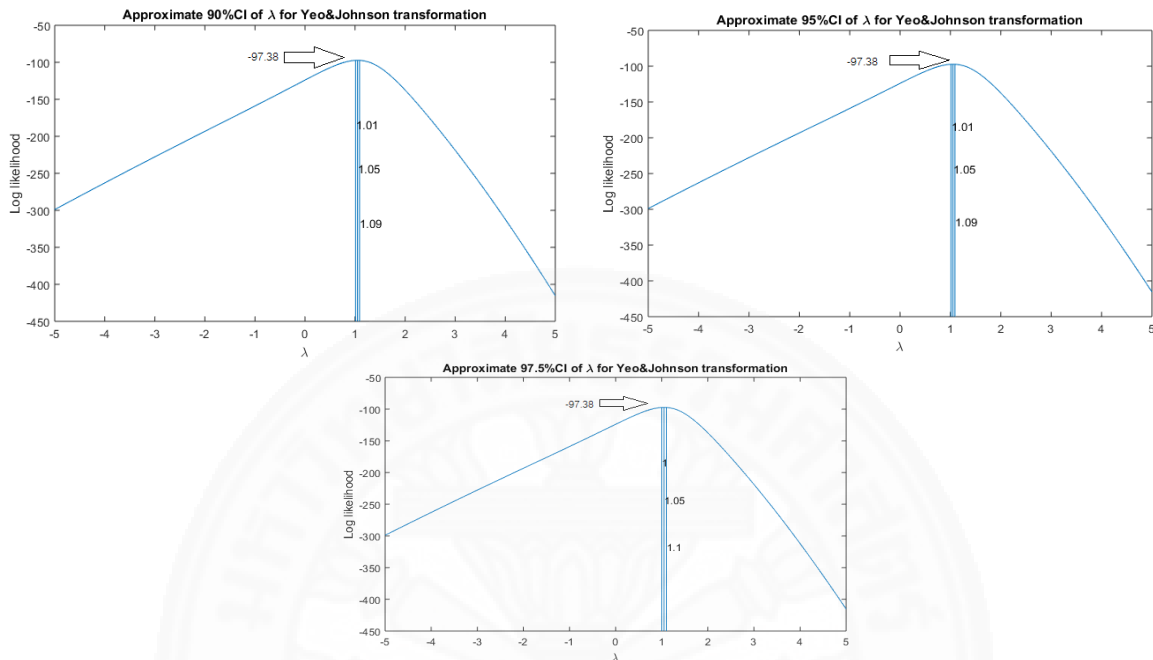
Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	865,590,196	123,655,742	121.08	0.000
Residual Error	64	65,360,075	1,021,251		
Total	71	930,950,272			

จากตารางที่ 4.187 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -5.88, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -21.59, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ 13.32, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 6.78 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ -9.03, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ 5.97, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ -2.47 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 5.94, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 21.64, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -13.35, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -6.79 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 9.04, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.99, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 2.49 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าที่แตกต่างกันในเชิงเครื่องหมายแต่มีค่าใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเนื่องจากข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวก อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.188 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าเท่ากับ 121.08 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 121.64 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันแต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังเยว์และจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหา

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปรอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.141



ภาพที่ 4.141 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.141 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการเยว์และจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.05 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -97.38 และช่วงของค่าตัวแปรเยว์และจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการเยว์และจอห์นสันที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.189

ตารางที่ 4.189

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยอร์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลบ ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-8.9294	-8.8008	-6.9929	-9.1288
		-1	0	0	0	-9.8866	-8.9206	-5.6030	-8.7347
		-1	1	1	1	-7.9986	-8.2151	-7.6768	-10.0272
		0	-1	-1	1	-13.3580	-10.4620	-9.3321	-14.0369
		0	0	0	-1	-9.3087	-7.7851	-7.1893	-10.7577
		0	1	1	0	-4.0261	-4.1385	-0.3794	-5.6885
		1	-1	-1	0	-11.5826	-11.3560	-10.6227	-10.6760
		1	0	0	1	-6.2546	-7.1791	-4.2339	-7.9860
		1	1	1	-1	-4.5983	-4.3680	-0.9301	-4.0357
Replicate	2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-9.3887	-8.5146	-8.0149	-11.6825
		-1	0	0	0	-8.4282	-8.5981	-6.8925	-9.3596
		-1	1	1	1	-9.8953	-7.3568	-6.3364	-10.8860
		0	-1	-1	1	-13.0884	-12.1292	-7.3588	-12.6499
		0	0	0	-1	-10.4758	-8.1536	-7.5849	-10.5835
		0	1	1	0	-3.3520	-2.5626	-1.2818	-4.4441
		1	-1	-1	0	-12.0179	-11.6378	-9.7341	-13.2611
		1	0	0	1	-6.7134	-5.8904	-6.0249	-6.9958
		1	1	1	-1	-2.4836	-4.4160	-1.8787	-4.0438

7. การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ข้อมูลเชิงรหัสเยอร์และจอห์นสัน

การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลเชิงรหัสเยอร์และจอห์น

สันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

7.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

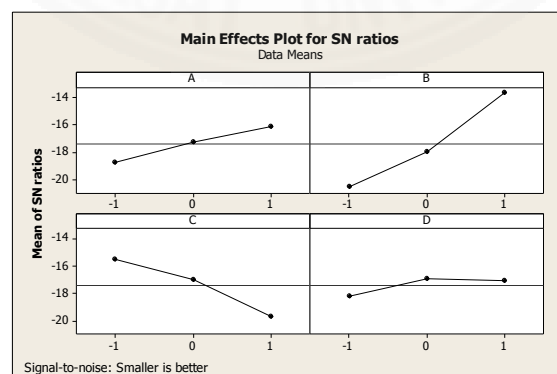
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสยาวและจอห์นสันดังแสดงในตารางที่ 4.190

ตารางที่ 4.190

การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-18.79	-20.55	-15.51	-18.17
2	-17.25	-17.97	-17.00	-16.94
3	-16.16	-13.68	-19.69	-17.09
Delta	2.62	6.87	4.18	1.24
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.190 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_S ถูกแสดงดังภาพที่ 4.142



ภาพที่ 4.142 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

7.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

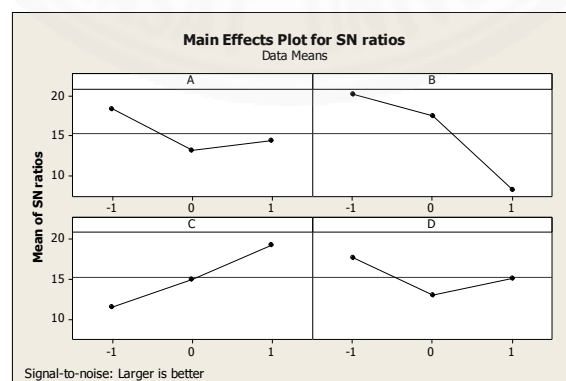
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสยาวและจอห์นสันแสดงในตารางที่ 4.191

ตารางที่ 4.191

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	18.355	20.152	11.493	17.745
2	13.141	17.473	14.977	12.992
3	14.337	8.188	19.343	15.076
Delta	5.194	11.964	7.850	4.753
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.191 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.143



ภาพที่ 4.143 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

7.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best)

ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลต่อนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสยาวและจอห์นสันดังแสดงในตารางที่ 4.192 และ 4.193

ตารางที่ 4.192

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

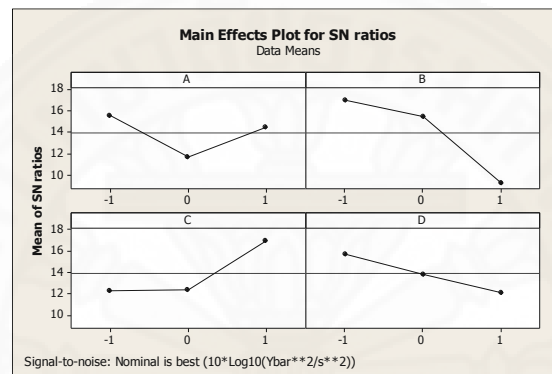
Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	15.590	17.035	12.338	15.773
2	11.675	15.455	12.392	13.827
3	14.490	9.265	17.026	12.155
Delta	3.915	7.769	4.688	3.619
Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.193

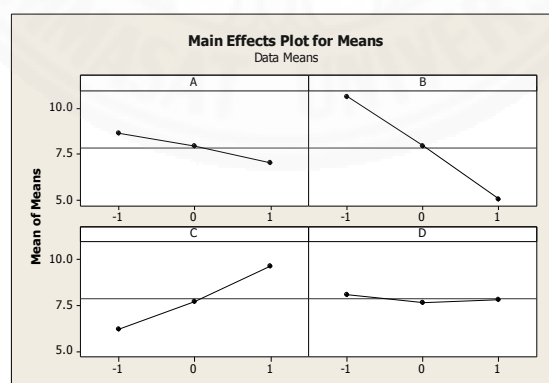
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	8.595	10.615	6.192	8.107
2	7.922	7.898	7.733	7.633
3	7.038	5.042	9.630	7.815
Delta	1.556	5.572	3.438	0.474
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.192 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.193 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดดับคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ย แสดงดังภาพที่ 4.144 และ 4.145



ภาพที่ 4.144 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
เข้ารหัสยาวและจอห์นสันสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.145 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
เข้ารหัสยาวและจอห์นสันสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.194 และ 4.195

ตารางที่ 4.194

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-7.8516	0.1049	-74.87	0.000
A	0.7781	0.1284	6.06	0.000
B	2.7862	0.1284	21.69	0.000
C	-1.7191	0.1284	-13.39	0.000
D	-0.8758	0.1284	-6.82	0.000
m	0.9474	0.1049	9.03	0.000
n	-0.6335	0.1049	-6.04	0.000
o	0.2670	0.1049	2.55	0.013

ตารางที่ 4.195

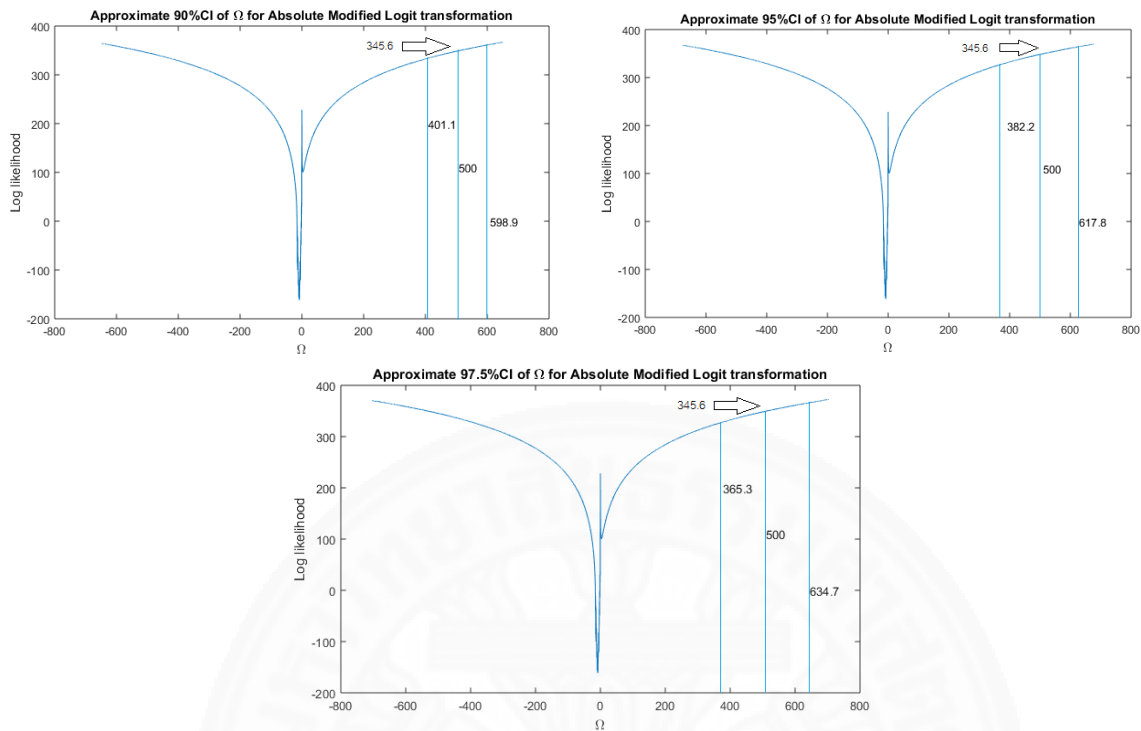
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	678.993	96.999	122.51	0.000
Residual Error	64	50.672	0.792		
Total	71	729.664			

จากตารางที่ 4.194 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 6.06, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 21.69, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -13.39, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -6.82 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 9.03, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -6.04, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 2.55 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 5.94, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 21.64, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -13.35, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -6.79 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 9.04, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.99, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 2.49 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเนื่องจากข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวก อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.195 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลา มีค่าเท่ากับ 122.51 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 121.64 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิต

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซ็นต์ของความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.146



ภาพที่ 4.146 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.146 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิทมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 345.6 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ $[-500, 500]$ และช่วงของค่าตัวแปรโลจิทจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิทที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.196

ตารางที่ 4.196

ข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิทที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง
Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-1.7217	-1.7281	-1.8300	-1.7119
		-1	0	0	0	-1.6766	-1.7221	-1.9283	-1.7314
		-1	1	1	1	-1.7704	-1.7586	-1.7866	-1.6704
		0	-1	-1	1	-1.5439	-1.6516	-1.7021	-1.5221
		0	0	0	-1	-1.7032	-1.7824	-1.8177	-1.6393
		0	1	1	0	-2.0751	-2.0629	-3.1165	-1.9216
		1	-1	-1	0	-1.6067	-1.6154	-1.6449	-1.6427
		1	0	0	1	-1.8795	-1.8183	-2.0528	-1.7711
		1	1	1	-1	-2.0161	-2.0389	-2.7232	-2.0741
Replicate	2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-1.6995	-1.7427	-1.7695	-1.6029
		-1	0	0	0	-1.7472	-1.7384	-1.8363	-1.7008
		-1	1	1	1	-1.6762	-1.8075	-1.8737	-1.6341
		0	-1	-1	1	-1.5529	-1.5864	-1.8074	-1.5679
		0	0	0	-1	-1.6510	-1.7619	-1.7939	-1.6465
		0	1	1	0	-2.1565	-2.2756	-2.5820	-2.0313
		1	-1	-1	0	-1.5904	-1.6046	-1.6835	-1.5471
		1	0	0	1	-1.8481	-1.9061	-1.8961	-1.8298
		1	1	1	-1	-2.2895	-2.0341	-2.4131	-2.0732

10. การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ข้อมูลเชิงรหัสโลจิท

การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลเชิงรหัสโลจิทถูกทดสอบ
เบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

10.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

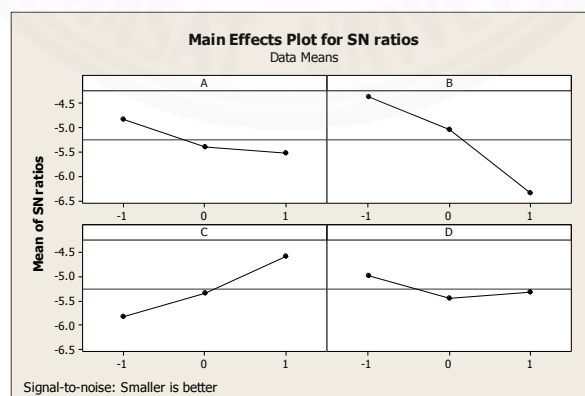
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสโลจิทดังแสดงในตารางที่ 4.197

ตารางที่ 4.197

การวิเคราะห์ S/N_5 ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-4.840	-4.369	-5.825	-4.985
2	-5.396	-5.043	-5.345	-5.452
3	-5.524	-6.348	-4.590	-5.323
Delta	0.685	1.979	1.235	0.468
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.197 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B ,C ,A ,D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_5 ถูกแสดงดังภาพที่ 4.147



ภาพที่ 4.147 กราฟผลกระทบหลัก S/N_5 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

10.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

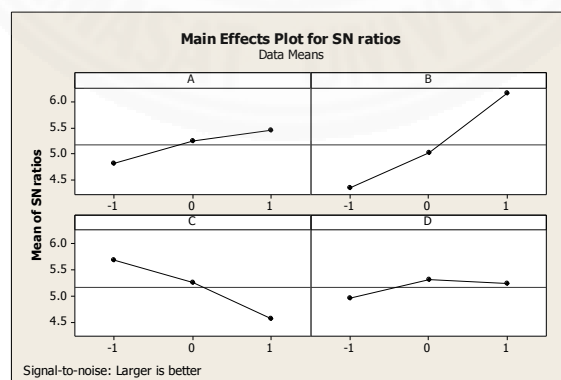
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสโลจิทดังแสดงในตารางที่ 4.198

ตารางที่ 4.198

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	4.811	4.341	5.680	4.958
2	5.242	5.013	5.257	5.311
3	5.452	6.150	4.567	5.236
Delta	0.641	1.809	1.113	0.352
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.198 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.148



ภาพที่ 4.148 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

1.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรม มินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงลบที่เข้ารหัสโลจิทแสดงในตารางที่ 4.199 และ 4.200

ตารางที่ 4.199

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

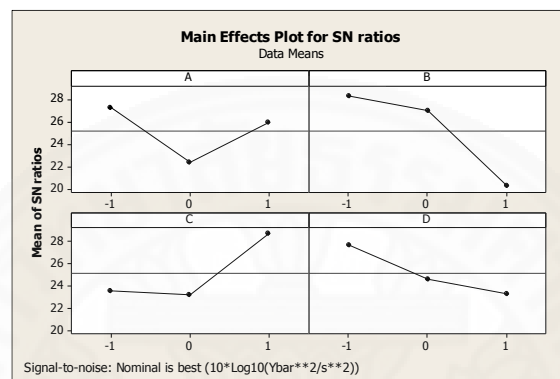
Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	27.29	28.30	23.58	27.65
2	22.36	26.99	23.28	24.59
3	25.90	20.26	28.70	23.31
Delta	4.92	8.03	5.42	4.33
Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.200

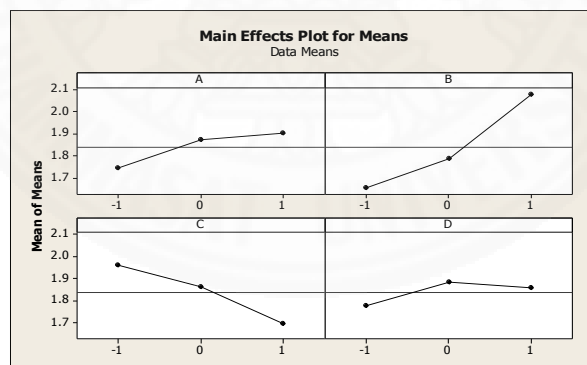
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	1.744	1.653	1.960	1.775
2	1.873	1.787	1.862	1.885
3	1.900	2.078	1.696	1.857
Delta	0.156	0.424	0.263	0.110
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.199 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B ,C ,A ,และ D ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.200 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดดับคือ B ,C ,A ,และ D ซึ่งให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.149 และ 4.150



ภาพที่ 4.149 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
เข้ารหัสโลจิสตูดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.150 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงลบ
เข้ารหัสโลจิสตูดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสโลจิก

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.201 และ 4.202

ตารางที่ 4.201

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	-1.83911	0.01658	-110.93	0.000
A	-0.07780	0.02030	-3.83	0.000
B	-0.21219	0.02030	-10.45	0.000
C	0.13169	0.02030	6.49	0.000
D	0.06981	0.02030	3.44	0.001
m	-0.07459	0.01658	-4.50	0.000
n	0.06262	0.01658	3.78	0.000
o	-0.03800	0.01658	-2.29	0.025

ตารางที่ 4.202

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	4.30490	0.61499	31.08	0.000
Residual Error	64	1.26649	0.01979		
Total	71	5.57139			

จากตารางที่ 4.201 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ -3.83, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ -10.45, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ 6.49, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 3.44 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ -4.50, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ 3.78, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ -2.29 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 5.94, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 21.64, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -13.35, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ -6.79 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 9.04, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.99, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 2.49 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าแตกต่างกันมากในเชิงปริมาณอีกทั้งเครื่องหมายยังตรงข้ามกัน เมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติเนื่องจากข้อมูลถูกแปลงจากค่าลบเป็นค่าบวก อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.202 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสพาราโบลาที่มีค่าเท่ากับ 31.08 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบมีค่าเท่ากับ 121.64 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมากแต่ยังคงให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ Taguchi ของข้อมูลเชิงบวกที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบดังตัวอย่างของผลลัพธ์ของชุดข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่แสดงในตารางที่ 4.203, 4.204, 4.205, 4.206, และ 4.207 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้นสอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.203

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_S จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	2.70675	7.09264	4.31517	2.42626
Parabolic	500	0.05863	0.21201	0.13077	0.06670
Yeo&Johnson	1.05	2.62348	6.86883	4.17831	2.34949
Logit	500	0.68430	1.97954	1.23444	0.63393

ตารางที่ 4.204

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_L จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	5.34738	12.36531	8.10510	5.36422
Parabolic	500	0.5843	0.21189	0.13078	0.06639
Yeo&Johnson	1.05	5.19443	11.96425	7.85002	5.21589
Logit	500	0.64039	1.80934	1.11284	0.59639

ตารางที่ 4.205

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_T จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	TransVia	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	3.85137	7.63994	4.60556	1.38793
Parabolic	500	3.76124	1.26132	1.58235	2.25252
Yeo&Johnson	1.05	3.91535	7.77019	4.68820	3.61788
Logit	500	4.9079	8.04336	5.4200	4.33731

ตารางที่ 4.206

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปของเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	1.70070	6.19884	3.82396	1.94664
Parabolic	500	1716.78	6299.01	3884.81	1978.53
Yeo&Johnson	1.05	1.55615	5.57225	3.43813	1.75167
Logit	500	0.15551	0.42447	0.26328	0.13953

ตารางที่ 4.207

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	1.05	500
T_A	5.9361	-5.8849	6.0582	-3.8306
T_B	21.6365	-21.5922	21.6938	-10.4556
T_C	-13.3472	13.3166	-13.3851	6.4851
T_D	-6.7946	6.7821	-6.8195	3.4369
T_m	9.0390	-9.0344	9.0345	-4.5023
T_n	-5.9899	5.9706	-6.0406	3.7798
T_o	2.4918	-2.4747	2.5463	-2.2942

(2) ข้อมูลเชิงบวก

ข้อมูลธรรมชาติเชิงลบที่ถูกจำลองขึ้นโดยเมทแลปภายใต้เงื่อนไขสมการข้อมูลที่กำหนดสำหรับสถานการณ์ที่ 101 โดยให้ค่าเฉลี่ยของสมการเท่ากับ 10 ผลกระทบของปัจจัยหลัก A, B, C และ D มีค่าเท่ากับ 1, 3, -2 และ 0.5 ตามลำดับ ผลกระทบของปัจจัยรบกวน m, n, และ o มีค่าเท่ากับ 2, -1.5, และ 0.5 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.208

ตารางที่ 4.208

ข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณี
พิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	8.5377	11.2694	11.9090	6.6966
-1	0	0	0	11.8339	9.1501	13.9172	9.2939		
-1	1	1	1	9.7412	15.5349	15.1715	10.2127		
0	-1	-1	1	9.8622	10.2254	10.2925	8.8884		
0	0	0	-1	8.3188	8.4369	11.2172	5.8529		
0	1	1	0	14.6923	17.2147	20.1302	13.9311		
1	-1	-1	0	6.5664	7.2950	9.9889	5.1905		
1	0	0	1	15.3426	15.3759	18.5347	11.0557		
1	1	1	-1	17.5784	15.9897	17.2269	14.4384		
2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)	
	-1	-1	-1	-1	8.3252	8.4699	10.4932	8.1006	
-1	0	0	0	9.2451	10.3351	14.0326	10.5442		
-1	1	1	1	1.2127	13.1277	13.7303	11.0859		
0	-1	-1	1	8.8884	10.5933	11.8704	6.5084		
0	0	0	-1	5.8529	9.6093	10.2744	6.2577		
0	1	1	0	13.9311	15.6363	19.6174	13.9384		
1	-1	-1	0	5.1905	7.5774	8.4109	8.3505		
1	0	0	1	11.0557	14.2859	17.5326	13.3844		
1	1	1	-1	14.4384	13.3865	17.0525	13.7481		

1. การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลธรรมชาติถูกทดสอบ
เบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

1.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

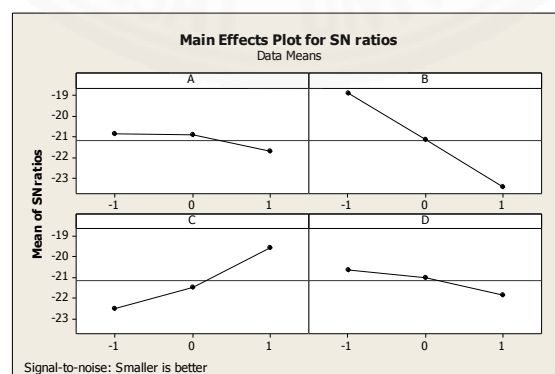
ตารางวิเคราะห์ที่อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลธรรมชาติเชิงลบดังแสดงในตารางที่ 4.209

ตารางที่ 4.209

การวิเคราะห์ S/N_S ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-20.88	-18.94	-22.49	-20.62
2	-20.91	-21.14	-21.46	-21.03
3	21.72	-23.45	-19.57	-21.87
Delta	0.84	4.51	2.92	1.25
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.209 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_S ถูกแสดงดังภาพที่ 4.151



ภาพที่ 4.151 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

1.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

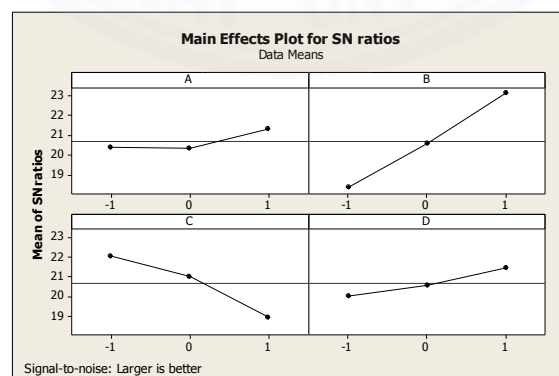
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกดังแสดงในตารางที่ 4.210

ตารางที่ 4.210

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	20.38	18.35	22.07	20.04
2	20.35	20.59	21.02	20.58
3	21.33	23.11	18.96	21.43
Delta	0.98	4.76	3.11	1.39
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.210 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.152



ภาพที่ 4.152 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

1.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรม มินิแทบสำหรับข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกดังแสดงในตารางที่ 4.211 และ 4.212

ตารางที่ 4.211

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	14.78	14.43	15.69	14.55
2	14.75	14.74	15.87	15.33
3	16.40	16.76	14.37	16.05
Delta	1.65	2.33	1.50	1.50
Rank	2	1	3	4

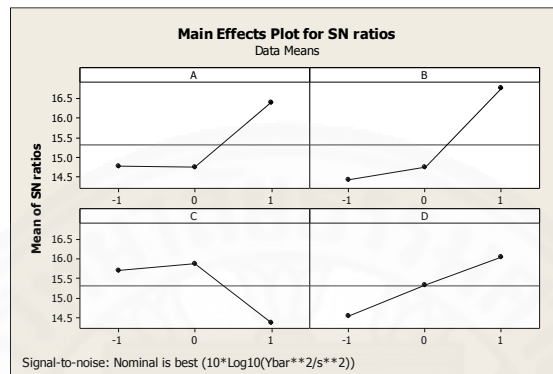
ตารางที่ 4.212

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

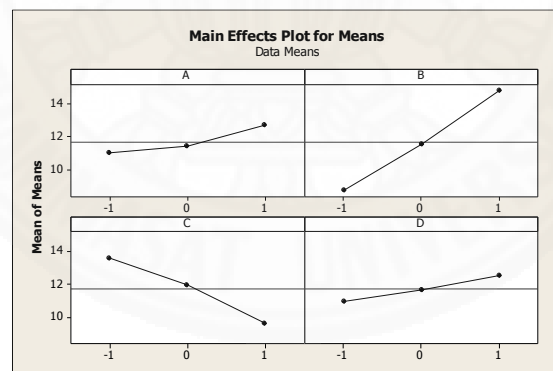
Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	11.005	8.751	13.564	10.937
2	11.430	11.543	11.935	11.665
3	12.670	14.810	9.606	12.503
Delta	1.665	6.059	3.959	1.565
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.211 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, D และจากตารางที่ 4.212 แสดงถึง

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดตั้ง คือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจาก พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และ ค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.153 และ 4.154



ภาพที่ 4.153 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.154 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ยกรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงลบในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.213 และ 4.214

ตารางที่ 4.213

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	11.7017	0.1422	82.31	0.000
A	0.8323	0.1741	4.78	0.000
B	3.0296	0.1741	17.40	0.000
C	-1.9793	0.1741	-11.37	0.000
D	0.7106	0.1741	4.08	0.000
m	1.2127	0.1422	8.53	0.000
n	-0.8408	0.1422	-5.91	0.000
o	0.2117	0.1422	1.49	0.141

ตารางที่ 4.214

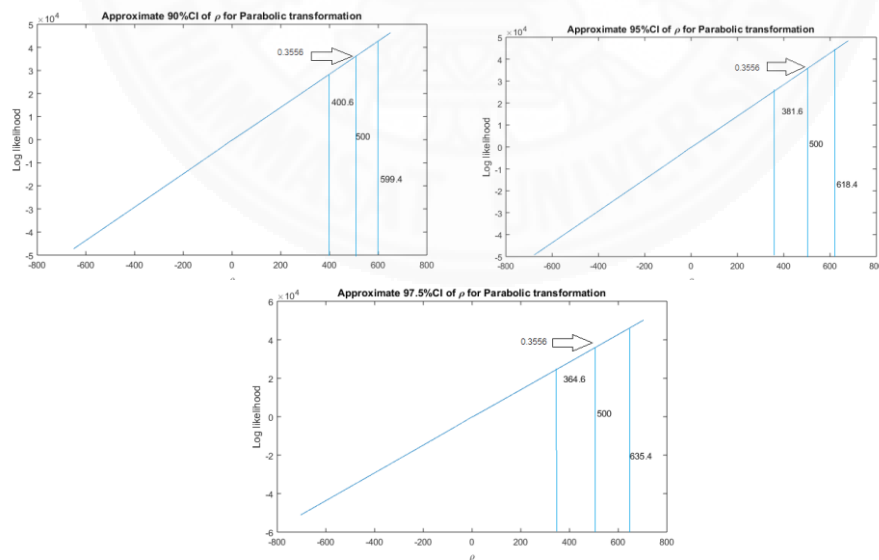
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	846.10	120.87	83.07	0.000
Residual Error	64	93.13	1.46		
Total	71	939.22			

จากตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวก ชุดที่ 101 ในการทดสอบเงื่อนไขความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาติโดยใช้ t-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ค่าสถิติ T ในตารางที่ 4.213 ทุกปัจจัยมีค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ยกเว้นปัจจัย α ดังนั้นตัวแปรอิสระทุกตัวยกเว้นปัจจัย α มีความสัมพันธ์กับค่าตอบสนอง y หรือสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ และจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ (ตารางที่ 4.214) โดยใช้ F-test ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในการทดสอบ พบว่า ค่าสถิติ F ตารางมีค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สมการเชิงเส้นของข้อมูลธรรมชาตินี้สามารถสร้างได้ โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก จากข้อสรุปทั้งหมดนี้จะถูกนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นจากแมทแล็บเพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมและสามารถนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบพาราโบลา

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแล็บโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล เปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90%, 95%, และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.155



ภาพที่ 4.155 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.155 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการพาราโบลามีลักษณะเป็นเส้นตรงและแปรผันตรงตามค่าของตัวแปรพาราโบลิก โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดคือ 500 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 0.3556×10^4 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่กำหนดไว้ [-500,500] และช่วงของค่าตัวแปรพาราโบลิกจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการพาราโบลิกที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.215

ตารางที่ 4.215

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีพาราโบลิกที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บ ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	258,610.6	261,396.4	262,050.9	256,741.4
-1	0	0	0	261,973.9	259,233.8	264,110.9	259,380.2		
-1	1	1	1	259,836.0	265,776.3	265,401.7	260,317.0		
0	-1	-1	1	259,959.4	260,329.9	260,398.4	258,967.4		
0	0	0	-1	258,386.9	258,508.1	261,343.1	255,887.2		
0	1	1	0	264,908.2	267,511.1	270,535.5	264,125.2		
1	-1	-1	0	256,609.5	257,348.3	260,088.7	255,217.4		
1	0	0	1	265,578.0	265,612.3	268,878.2	261,177.9		
1	1	1	-1	267,887.4	266,245.4	267,523.7	264,646.8		
Replicate	2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	258,394.5	258,541.7	260,603.3	258,166.2
		-1	0	0	0	259,330.5	260,441.9	264,229.5	260,655.4
		-1	1	1	1	263,549.1	263,300.0	263,918.9	261,208.8
		0	-1	-1	1	257,341.6	260,705.5	262,012.3	256,550.8
		0	0	0	-1	257,960.1	259,701.6	260,379.9	256,296.9
		0	1	1	0	266,006.9	265,880.8	270,002.2	264,132.7
		1	-1	-1	0	257,372.8	257,634.8	258,481.7	258,420.2
		1	0	0	1	265,547.3	264,489.9	267,839.9	263,563.5
		1	1	1	-1	263,307.7	263,565.7	267,343.3	263,937.1

4. การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิคถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

4.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

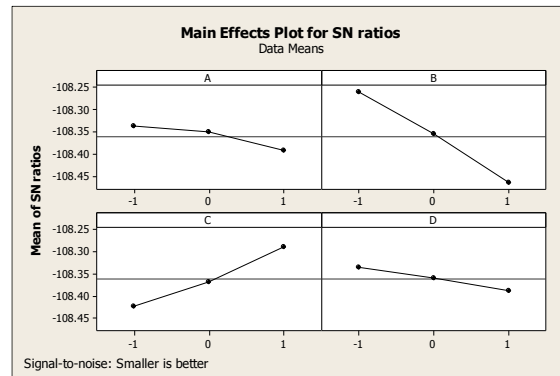
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสพาราโบลิคดังแสดงในตารางที่ 4.216

ตารางที่ 4.216

การวิเคราะห์ S/N_5 ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-108.3	-108.3	-108.4	-108.3
2	-108.4	-108.4	-108.4	-108.4
3	-108.4	-108.5	-108.3	-108.4
Delta	0.56	0.21	0.13	0.04
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.216 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_5 ถูกแสดงดังภาพที่ 4.156



ภาพที่ 4.156 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

4.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

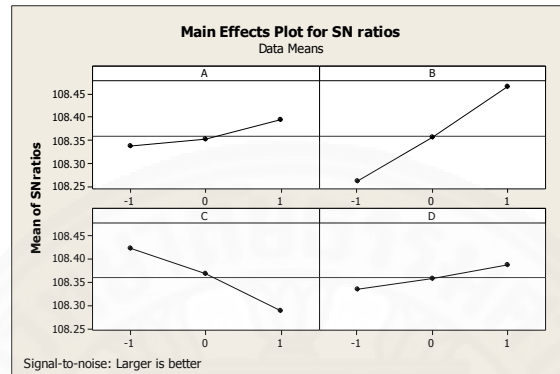
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสพาราโบลิตดั่งแสดงในตารางที่ 4.217

ตารางที่ 4.217

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิตชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	108.3	108.3	108.4	108.3
2	108.4	108.4	108.4	108.4
3	108.4	108.5	108.3	108.4
Delta	0.056	0.21	0.13	0.048
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.217 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.157



ภาพที่ 4.157 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

4.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรมมินิแท็บสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสพาราโบลิกดังแสดงในตารางที่ 4.218 และ 4.219

ตารางที่ 4.218

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

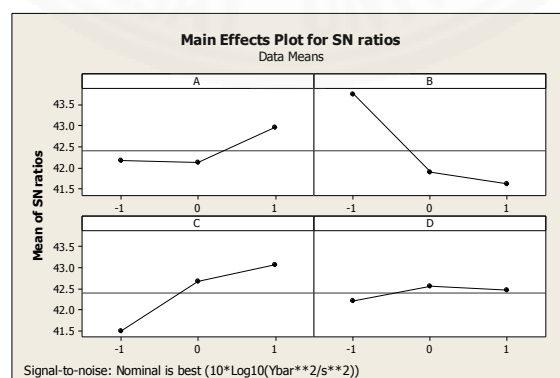
Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	42.16	43.74	41.50	42.22
2	42.12	41.89	42.68	42.56
3	42.95	41.61	43.07	42.46
Delta	0.83	2.13	1.57	0.35
Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.219

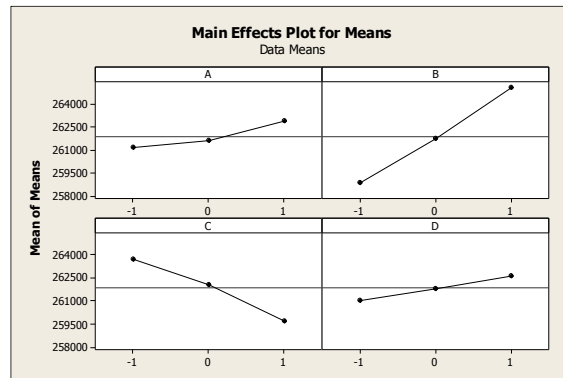
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	261,132	258,831	263,762	261,069
2	261,576	261,688	262,087	261,818
3	262,847	265,036	259,706	262,668
Delta	1,715	6,205	4,056	1,599
Rank	3	1	2	4

จากตารางที่ 4.218 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, D, A ซึ่งไม่ตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.219 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดดับคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจาก พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.158 และ 4.159



ภาพที่ 4.158 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.159 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

5. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสพาราโบลิค

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิค ถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.220 และ 4.221

ตารางที่ 4.220

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิคชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	261,852	145.7	1,796.2	0.000
A	857.3	178.5	4.80	0.000
B	3,102.3	178.5	17.38	0.000
C	-2028.1	178.5	-11.36	0.000
D	725.7	178.5	4.07	0.000
m	1,241.8	145.7	8.52	0.000
n	-862.3	145.7	-5.92	0.000
o	218.7	145.7	1.50	0.138

ตารางที่ 4.221

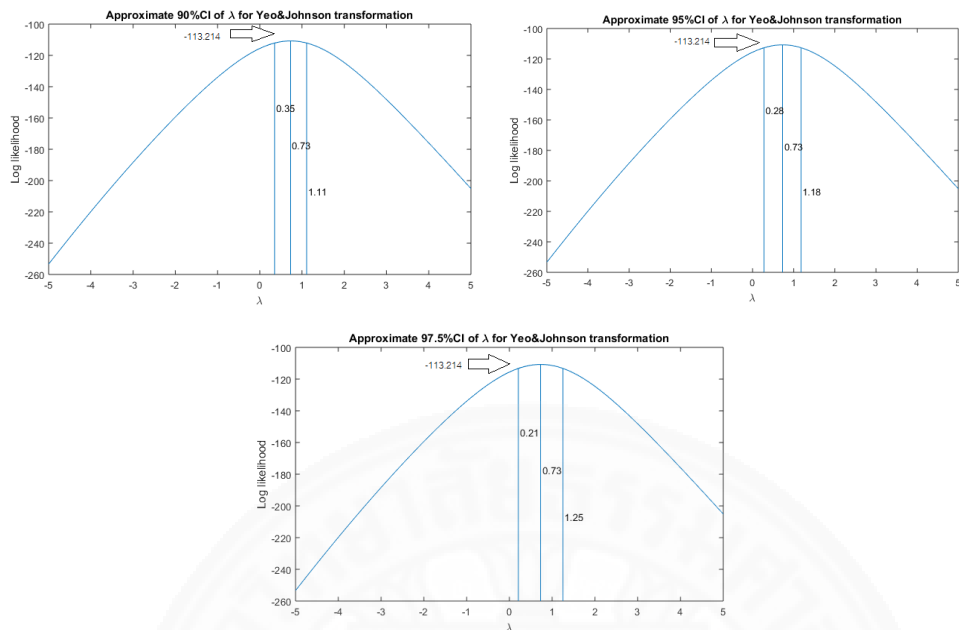
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	888,053,141	126,864,734	82.98	0.000
Residual Error	64	97,851,065	1,528,923		
Total	71	985,904,206			

จากตารางที่ 4.220 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 4.80, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 17.38, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -11.36, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 4.07 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 8.52, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.92, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 1.50 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 4.78, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 17.40, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -11.37, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 4.08 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 8.53, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.91, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 1.49 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าที่ใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.221 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสพาราโบลิกมีค่าเท่ากับ 82.98 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 83.07 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันและยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

6. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบยกกำลังยกยาวและจอห์นสัน

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.160



ภาพที่ 4.160 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิง
 บวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.160 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการเยว์และจอห์นสันมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายระฆังคว่ำ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.73 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ -113.214 และช่วงของค่าตัวแปรเยว์และจอห์นสันจะเพิ่มตามเปอร์เซ็นต์ของค่าความเชื่อมั่น จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการเยว์และจอห์นสันที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.222

ตารางที่ 4.222

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีเยาว์และจอห์นสันที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	5.7369	7.1713	7.4941	4.7069
		-1	0	0	0	7.4564	6.0672	8.4809	6.1439
		-1	1	1	1	6.3809	9.2498	9.0789	6.6279
		0	-1	-1	1	6.4445	6.6345	6.6694	5.9267
		0	0	0	-1	5.6174	5.6820	7.1448	4.2131
		0	1	1	0	8.8520	10.0270	11.3317	8.4876
		1	-1	-1	0	4.6317	5.0484	6.5110	3.8138
		1	0	0	1	9.1595	9.1751	10.6242	7.0625
		1	1	1	-1	10.1927	9.4622	10.0326	8.7310
Replicate	2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	5.6209	5.7000	6.7734	5.4974
		-1	0	0	0	6.1179	6.6915	8.5365	6.7998
		-1	1	1	1	8.2159	8.0975	8.3906	7.0779
		0	-1	-1	1	5.0447	6.8215	7.4753	4.5981
		0	0	0	-1	5.3856	6.3113	6.6600	4.4520
		0	1	1	0	9.3545	9.2973	11.1059	8.4911
		1	-1	-1	0	5.0620	5.2071	5.6678	5.6348
		1	0	0	1	9.1455	8.6580	10.1718	8.2228
		1	1	1	-1	8.1011	8.2238	9.9528	8.3992

7. การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสัน

การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลเชิงรหัสเยาว์และจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทปโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

7.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

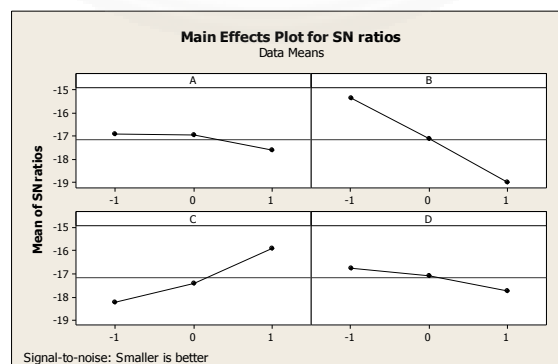
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสยาวและจอห์นสันดังแสดงในตารางที่ 4.223

ตารางที่ 4.223

การวิเคราะห์ S/N_5 ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	-16.94	-15.37	-18.22	-16.72
2	-16.96	-17.14	-17.41	-17.05
3	-17.61	-18.99	-15.88	-17.73
Delta	0.67	3.62	2.34	1.01
Rank	4	1	2	3-

จากตารางที่ 4.223 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_5 ถูกแสดงดังภาพที่ 4.161



ภาพที่ 4.161 กราฟผลกระทบหลัก S/N_5 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

7.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

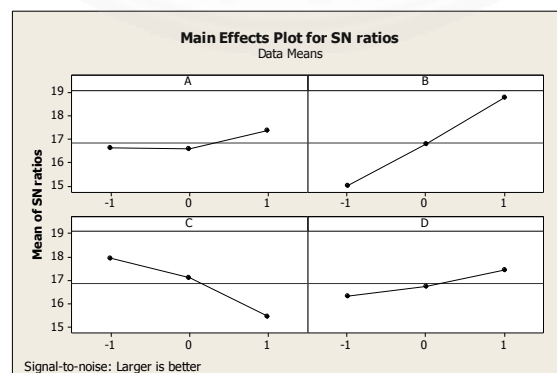
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสยาวและจอห์นสันดังแสดงในตารางที่ 4.224

ตารางที่ 4.224

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	16.62	14.99	17.95	16.35
2	16.58	16.78	17.12	16.76
3	17.35	18.78	15.48	17.45
Delta	0.77	3.79	2.47	1.11
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.224 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจากพารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.162



ภาพที่ 4.162 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

7.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรม มินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสยาวและจอห์นสันแสดงในตารางที่ 4.225 และ 4.226

ตารางที่ 4.225

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	16.71	16.21	17.70	17.15
2	16.63	16.65	17.80	17.29
3	18.33	18.81	16.17	17.23
Delta	1.70	2.61	1.63	0.13
Rank	2	1	3	4

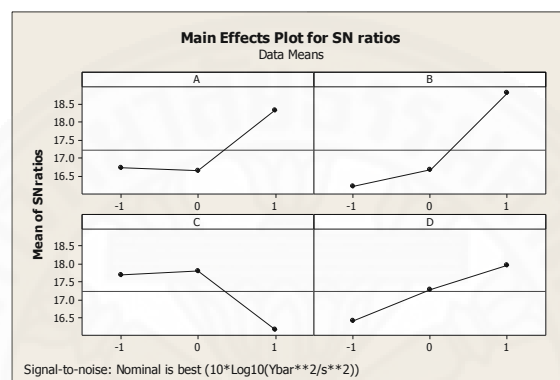
ตารางที่ 4.226

การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

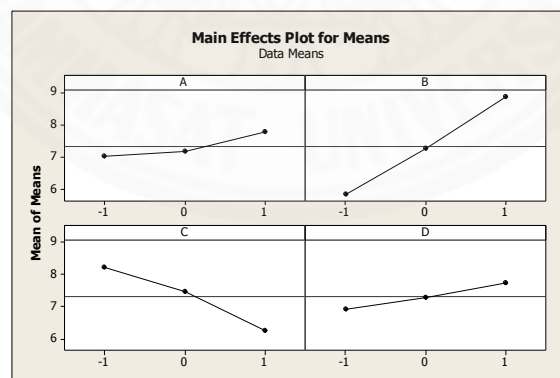
Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	7.005	5.829	8.244	6.969
2	7.168	7.249	7.459	7.284
3	7.787	8.882	6.257	7.706
Delta	0.782	3.053	1.988	0.737
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.225 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มี การคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจาก

พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.226 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดดับคือ B และ C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจาก พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.163 และ 4.164



ภาพที่ 4.163 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสยาวและจอห์นสันสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.164 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสยาวและจอห์นสันสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

8. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสยาวและจอห์นสัน

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.227 และ 4.228

ตารางที่ 4.227

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	t	P-value
Constant	7.31991	0.07170	102.10	0.000
A	0.39119	0.08781	4.45	0.000
B	1.52645	0.08781	17.38	0.000
C	-0.99386	0.08781	-11.32	0.000
D	0.36856	0.08781	4.20	0.000
m	0.61417	0.07170	8.57	0.000
n	-0.41958	0.07170	-5.85	0.000
o	0.09642	0.07170	1.34	0.183

ตารางที่ 4.228

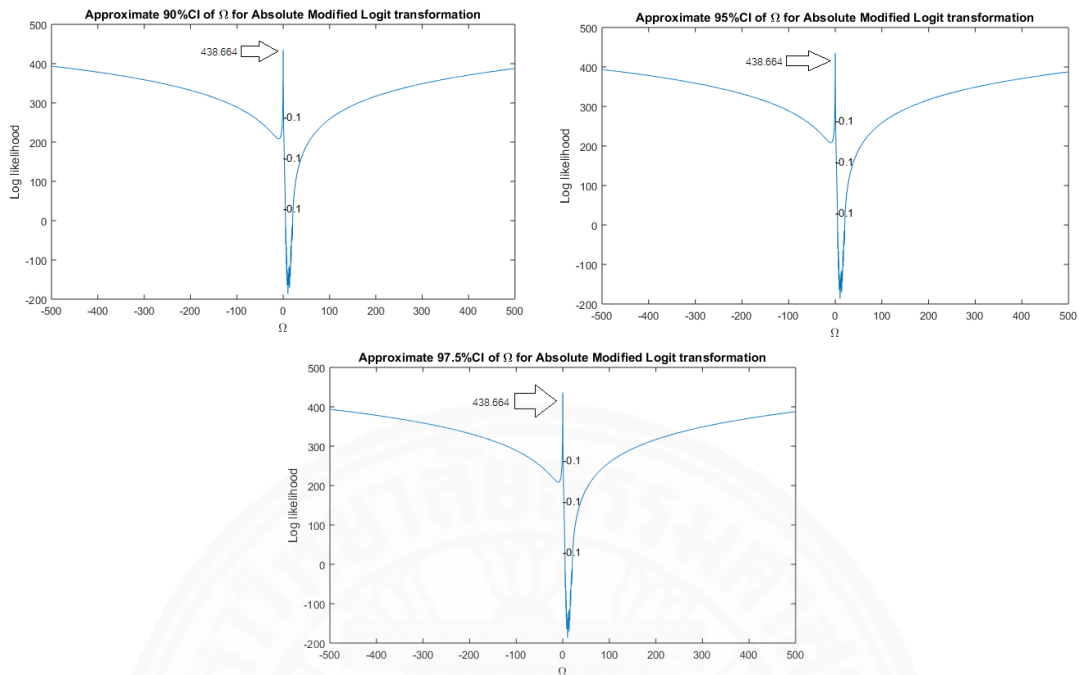
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	213.625	30.518	82.46	0.000
Residual Error	64	23.686	0.370		
Total	71	237.311			

จากตารางที่ 4.227 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 4.45, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 17.38, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -11.32, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 4.20 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 8.57, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.85, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 1.34 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 4.78, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 17.40, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -11.37, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 4.08 ส่วนปัจจัยรบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 8.53, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.91, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 1.49 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าที่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.228 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสยาวและจอห์นสันมีค่าเท่ากับ 82.46 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 83.07 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยและยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

9. การแปลงข้อมูลด้วยวิธีการแปลงแบบโลจิท

ข้อมูลเชิงลบถูกแปลงด้วยโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลบโดยการใช้วิธีการประมาณค่าภาวะน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator, MLE) ในการหาค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด และค่าช่วงความเชื่อมั่นของตัวแปรการแปลงข้อมูล ณ เปอร์เซนต์ของค่าความเชื่อมั่นที่ 90% ,95% ,และ 97.5% ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 4.165



ภาพที่ 4.165 กราฟการหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของการแปลงโลจิตของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.165 พบว่า กราฟการประมาณค่าของตัวแปรสมการโลจิตมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแปรผันตามค่าของตัวแปรที่เพิ่มขึ้นทั้งค่าบวกและลบ โดยค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้กราฟมีค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.1 ที่ค่า Log likelihood เท่ากับ 438.664 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในช่วงของตัวที่กำหนดไว้ [-500,500] และไม่มีช่วงความเชื่อมั่นจากโปรแกรมคำนวณ จากนั้นนำค่าตัวแปรสมการโลจิตที่หาได้มาแปลงข้อมูลด้วยสมการที่กำหนดไว้จะได้ข้อมูลเชิงรหัสดังตารางที่ 4.229

ตารางที่ 4.229

ข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ที่ถูกแปลงด้วยวิธีโลจิทที่จำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป ในการทดลอง
Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Replicate	1	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-0.0051	-0.0038	-0.0036	-0.0064
		-1	0	0	0	-0.0037	-0.0047	-0.0031	-0.0046
		-1	1	1	1	-0.0044	-0.0028	-0.0029	-0.0042
		0	-1	-1	1	-0.0044	-0.0042	-0.0042	-0.0049
		0	0	0	-1	-0.0052	-0.0051	-0.0039	-0.0074
		0	1	1	0	-0.0029	-0.0025	-0.0022	-0.0031
		1	-1	-1	0	-0.0066	-0.0059	-0.0043	-0.0083
		1	0	0	1	-0.0028	-0.0028	-0.0023	-0.0039
		1	1	1	-1	-0.0025	-0.0027	-0.0025	-0.0030
	2	A	B	C	D	y_Noise(1)	y_Noise(2)	y_Noise(3)	y_Noise(4)
		-1	-1	-1	-1	-0.0052	-0.0051	-0.0041	-0.0053
		-1	0	0	0	-0.0047	-0.0042	-0.0031	-0.0041
		-1	1	1	1	-0.0032	-0.0033	-0.0032	-0.0039
		0	-1	-1	1	-0.0059	-0.0041	-0.0036	-0.0066
		0	0	0	-1	-0.0055	-0.0045	-0.0042	-0.0069
		0	1	1	0	-0.0027	-0.0028	-0.0022	-0.0031
		1	-1	-1	0	-0.0059	-0.0057	-0.0051	-0.0052
		1	0	0	1	-0.0028	-0.0030	-0.0025	-0.0032
1		1	1	-1	-0.0033	-0.0032	-0.0025	-0.0031	

10. การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ข้อมูลเชิงรหัสโลจิท

การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ของข้อมูลเชิงรหัสโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบโดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 3 กรณีดังนี้

10.1 กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)

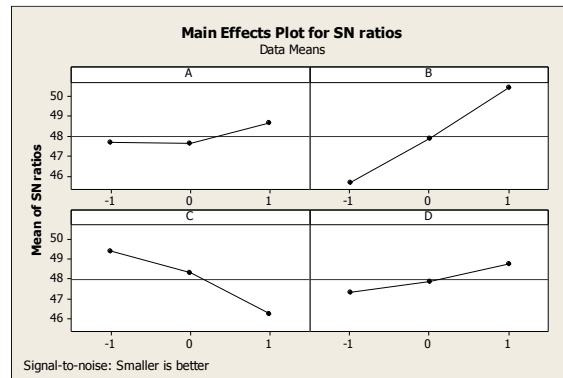
ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสโลจิทดังแสดงในตารางที่ 4.230

ตารางที่ 4.230

การวิเคราะห์ S/N_5 ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Smaller is better)				
Level	A	B	C	D
1	47.68	45.66	49.38	47.35
2	47.64	47.89	48.32	47.87
3	48.64	50.41	46.25	48.74
Delta	1.00	4.75	3.13	1.38
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.230 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B , C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้งเนื่องจาก พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_5 ถูกแสดงดังภาพที่ 4.166



ภาพที่ 4.166 กราฟผลกระทบหลัก S/N_S กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสโลจิทซุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

10.2 กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)

ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนอง
ยิ่งมากยิ่งดี จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสโลจิทซุดแสดงในตารางที่ 4.231

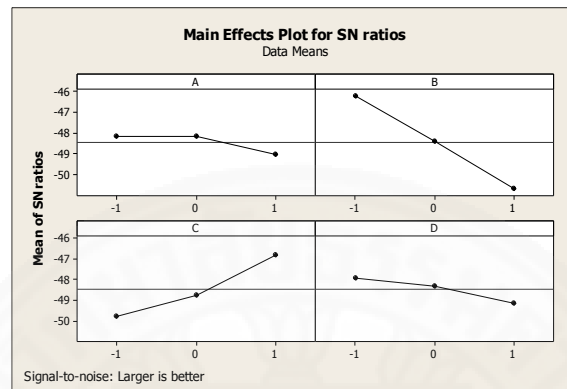
ตารางที่ 4.231

การวิเคราะห์ S/N_L ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทซุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา
ปัจจัยภายนอก

Response table for Signal to Noise Ratios (Larger is better)				
Level	A	B	C	D
1	-48.16	-46.25	-49.80	-47.93
2	-48.19	-48.42	-48.75	-48.31
3	-49.03	-50.72	-46.84	-49.16
Delta	0.87	4.47	2.96	1.23
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.231 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มี
การคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C โดยลำดับที่ 3 และ 4 ถูกตัดทิ้ง

เนื่องจาก พารามิเตอร์ลำดับที่ 3 (A) มีค่าผลต่าง (Delta) ที่ถูกคูณสองแล้วยังมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ลำดับที่ 2 (B) ซึ่งตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ โดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_L ถูกแสดงดังภาพที่ 4.167



ภาพที่ 4.167 กราฟผลกระทบหลัก S/N_L กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดีของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

10.3 กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Nominal is the best) ตารางวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด จากโปรแกรมมินิแทบสำหรับข้อมูลเชิงบวกที่เข้ารหัสโลจิทดังแสดงในตารางที่ 4.232 และ 4.233

ตารางที่ 4.232

การวิเคราะห์ S/N_T ของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

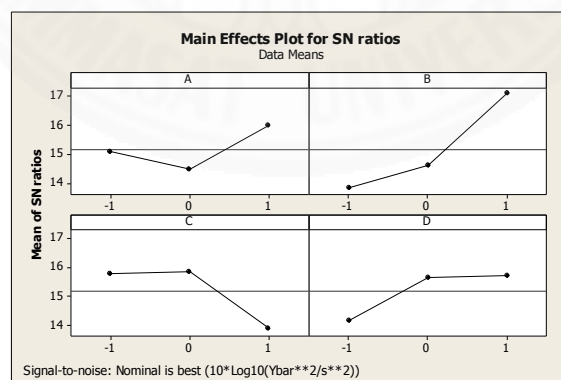
Response table for Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)				
Level	A	B	C	D
1	14.93	13.87	15.71	15.13
2	14.40	14.58	15.75	15.54
3	15.97	16.83	13.84	14.26
Delta	1.57	2.95	1.90	0.91
Rank	4	1	2	3

ตารางที่ 4.233

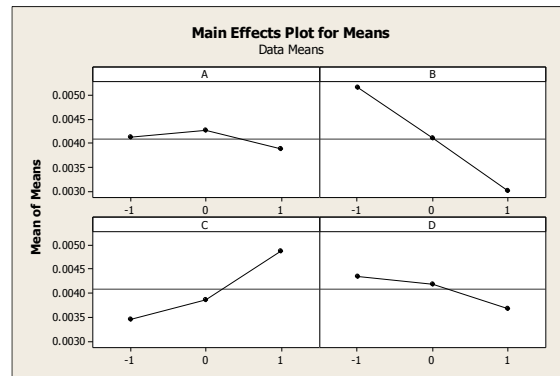
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงลบเข้ารหัสโลจิสติกที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Response table for Analysis of Mean				
Level	A	B	C	D
1	-0.00411	-0.005146	-0.00348	-0.00436
2	-0.00425	-0.004092	-0.00387	-0.00419
3	-0.00387	-0.003008	-0.00490	-0.00369
Delta	0.00037	0.002138	0.001425	0.00066
Rank	4	1	2	3

จากตารางที่ 4.232 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ที่มีการคัดเลือกจากการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) คือ B, C, A, และ D ซึ่งให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ และจากตารางที่ 4.233 แสดงถึงการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองที่ได้จากการคัดเลือกการจัดดับคือ B, C ซึ่งให้ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติโดยกราฟผลกระทบหลักของ S/N_T และค่าเฉลี่ยแสดงดังภาพที่ 4.168 และ 4.169



ภาพที่ 4.168 กราฟผลกระทบหลัก S/N_T กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสติกที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.169 กราฟผลกระทบหลักค่าเฉลี่ย กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุดของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

11. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงรหัสโลจิท

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวก
เข้ารหัสโลจิทถูกทดสอบเบื้องต้นโดยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิง
พหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทในชุดข้อมูลที่ 101 ดังแสดงในตารางที่ 4.234 และ 4.235

ตารางที่ 4.234

ตารางการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิทชุดที่ 101 ในการทดลอง
Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Predictor	Co-efficient	S.E. Co-efficient	T	P-value
Constant	-0.00408194	0.00007189	-56.78	0.000
A	0.00011667	0.00008805	1.33	0.190
B	0.00106875	0.00008805	12.14	0.000
C	-0.00071250	0.00008805	-8.09	0.000
D	0.00031250	0.00008805	3.55	0.001
m	0.00047361	0.00007189	6.59	0.000
n	-0.00029583	0.00007189	-4.11	0.000
o	0.00000694	0.00007189	0.10	0.923

ตารางที่ 4.235

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์ ชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Source	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P-value
Constant	7	0.00010699	0.00001528	41.07	0.000
Residual Error	64	0.00002382	0.00000037		
Total	71	0.00013081			

จากตารางที่ 4.234 พบว่า ค่าสถิติ t-test ที่ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 1.33, ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 12.38, ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -8.09, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 3.55 ส่วนปัจจัยรอบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 6.59, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -4.11, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 0.10 ในขณะที่ข้อมูลธรรมชาติ ค่าสถิติ t-test ของปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัย A มีค่าเท่ากับ 4.78 ,ปัจจัย B มีค่าเท่ากับ 17.40 ,ปัจจัย C มีค่าเท่ากับ -11.37, และปัจจัย D มีค่าเท่ากับ 4.08 ส่วนปัจจัยรอบกวนภายนอกได้แก่ ปัจจัย m มีค่าเท่ากับ 8.53, ปัจจัย n มีค่าเท่ากับ -5.91, และปัจจัย o มีค่าเท่ากับ 1.49 ซึ่งค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์มีค่าที่มีค่าแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน และจากตารางที่ 4.235 พบว่า ค่าสถิติ F-test ที่ใช้วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกเข้ารหัสโลจิสต์มีค่าเท่ากับ 41.07 และของข้อมูลธรรมชาติเชิงบวกมีค่าเท่ากับ 83.07 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมากแต่ยังให้ผลลัพธ์ในการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกัน

12. ยืนยันผลของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลป

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การทดลองแบบ Taguchi ของข้อมูลเชิงบวกที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปที่แสดงไว้ในผนวก ค นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทบตั้งตัวอย่างของผลลัพธ์ของชุดข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

ที่แสดงในตารางที่ 4.23, 4.237, 4.238, 4.239, และ 4.240 เห็นได้ว่า ผลลัพธ์จากทั้งสองโปรแกรมนั้น สอดคล้องตรงกัน ซึ่งยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนโดยแมทแลปและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์การทดลองต่อไปได้

ตารางที่ 4.236

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_5 จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	0.8386	4.51066	2.92405	1.19077
Parabolic	500	0.05609	0.20577	0.13439	0.04846
Yeo&Johnson	0.73	0.66707	3.61649	2.34468	0.95920
Logit	0.1	0.97737	4.73724	3.08929	1.21271

ตารางที่ 4.237

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_L จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	0.98216	4.76129	3.10541	1.21941
Parabolic	500	0.0562	0.20536	0.13407	0.04822
Yeo&Johnson	0.73	0.76980	3.79248	2.47312	0.98408
Logit	0.1	0.83683	4.49131	2.91143	1.18525

ตารางที่ 4.238

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ S/N_T จากโปรแกรมคำนวณเมทแลปของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	1.65199	2.33111	1.49859	0.09006
Parabolic	500	0.84804	2.02630	1.50121	1.06634
Yeo&Johnson	0.73	1.69583	2.60592	1.63016	0.13386
Logit	0..1	1.56701	2.95664	1.90994	0.91386

ตารางที่ 4.239

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรมคำนวณเมทแลปของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Transformed Variable	Delta(A)	Delta(B)	Delta(C)	Delta(D)
Natural	1	1.66461	6.05911	3.95862	1.42112
Parabolic	500	1,1714.5	6,205.2	4,056.2	1,451.4
Yeo&Johnson	0.73	0.78236	3.05274	1.98773	0.73726
Logit	0.1	0.00036	0.00214	0.00141	0.00062

ตารางที่ 4.240

ผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณจากโปรแกรมคำนวณแมทแลปข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ใน การทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	0.73	0.1
T_A	4.78031	4.80331	4.454512	1.2896
T_B	17.4001	17.38403	17.38135	12.1673
T_C	-11.3681	-11.3636	-11.3175	-8.0112
T_D	4.08107	4.06616	4.197721	3.5352
T_m	8.53027	8.52189	8.56632	6.5941
T_n	-5.91438	-5.91761	-5.85097	-4.1773
T_o	1.48915	1.50156	1.344097	0.0793

4.2.2.2 ผลการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลป

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมคำนวณที่เขียนขึ้นโดยแมทแลป แล้ว (โปรแกรมคำนวณถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ก.) จึงนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่อยู่ในขอบเขตของสมการจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลกรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้ กำหนดไว้ทั้งหมด 128 สถานการณ์เพื่อนำมาวัดผลประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิก แบบเยว์และจอห์นสัน และแบบโลจิต ซึ่งได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค. ดังตัวอย่าง ตารางผลลัพธ์ของโปรแกรมคำนวณแมทแลปของข้อมูลชุดที่ 101 ของการออกแบบการทดลองทางสถิติ กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกถูกแสดงไว้ดังต่อไปนี้

1. ผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์

ตารางที่ 4.241

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	-19.4819	-21.3141	-16.1062	-17.0794
	2	-17.9135	-18.635	-17.643	-17.5854
	3	-16.7751	-14.2214	-20.4214	-19/5057
	Delta	2.70675	7.0926	4.31517	2.4262
	Rank	3	1	2	4
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	-108.279	-108.357	-108.188	-108.222
	2	-108.255	-108.253	-108.248	-108.244
	3	-108.221	-108.145	-108.319	-108.289
	Delta	0.0586	0.2120	0.1307	0.0667
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	-18.7854	-20.5486	15.512	-16.4551
	2	-17.2504	-17.9693	16.9953	-16.9379
	3	-16.1619	-13.6798	-19.6903	-18.8046
	Delta	2.6235	6.8688	4.1783	2.3495
	Rank	3	1	2	4
Logit	Level	A	B	C	D
	1	-4.84015	-4.3693	-5.8257	-5.4712
	2	-5.3963	-5.0427	-5.3448	-5.4525
	3	-5.5244	-6.4388	-4.5908	-4.8372
	Delta	0.6843	1.9795	1.2344	0.6339
	Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.242

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	-20.8821	-18.9355	-22.4906	-20.6502
	2	-20.9149	-21.1359	-21.4605	-21.0265
	3	-21.7207	-23.4462	-19.5665	21.841
	Delta	0.8386	4.5106	2.9240	1.1907
	Rank	4	1	2	3
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	-108.337	-108.26	-108.424	-108.337
	2	-108.351	-108.355	-108.369	-108.359
	3	-108.393	-108.466	-108.29	-108.386
	Delta	0.0561	0.2057	0.1344	0.0484
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	-16.94	-15.3752	-18.2205	-16.748
	2	-16.9553	-17.1355	-17.406	-17.047
	3	-17.6071	-18.0017	-15.8758	-17.7072
	Delta	0.6671	3.6165	2.3446	0.9592
	Rank	4	1	2	3
Logit	Level	A	B	C	D
	1	47.67047	45.6513	49.3502	47.4206
	2	47.6365	47.8810	48.3098	47.8669
	3	48.6139	50.3886	46.2609	48.6334
	Delta	0.9773	4.7372	3.0892	1.2127
	Rank	4	1	2	3

ตารางที่ 4.243

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	18.9971	20.8852	11.9417	15.1455
	2	13.6497	18.1021	15.5186	13.4987
	3	14.8605	8.5199	20.0469	18.8629
	Delta	5.3474	12.3653	8.1051	5.3642
	Rank	4	1	2	3
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	108.2787	108.3563	108.1877	108.2218
	2	108.2539	108.2521	108.2466	108.243
	3	108.2203	108.1444	108.3185	108.2881
	Delta	0.0584	0.2119	0.1308	0.0664
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	18.3354	20.1519	11.4931	14.6131
	2	13.1409	17.4735	14.9768	12.9919
	3	14.3366	8.1876	19.3431	18.2078
	Delta	5.1944	11.9642	7.8500	5.215
	Rank	4	1	2	3
Logit	Level	A	B	C	D
	1	4.8115	4.3414	5.6803	5.3954
	2	5.2418	5.0131	5.2573	5.3108
	3	5.4519	6.1507	4.5675	4.7990
	Delta	0.6404	1.8093	1.1128	0.5963
	Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.244

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	20.3826	18.3516	22.0692	20.1993
	2	20.3463	20.5929	21.0245	20.5782
	3	21.3285	23.1129	18.9638	21.3493
	Delta	0.9822	4.7613	3.1054	1.2194
	Rank	4	1	2	3
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	108.3364	108.2598	108.4228	108.3364
	2	108.3504	108.3544	108.3679	108.3584
	3	108.3926	108.4651	108.2887	108.3846
	Delta	0.0562	0.2053	0.1341	0.0482
	Rank	3	1	2	4
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	16.6184	14.9901	17.9525	16.4076
	2	16.5841	16.7839	17.1247	16.7572
	3	17.3539	18.7826	15.4793	17.3917
	Delta	0.7698	3.7925	2.4731	0.9841
	Rank	3	1	2	4
Logit	Level	A	B	C	D
	1	-48.1652	-46.2282	-49.7681	-47.9352
	2	-48.199	-48.4186	-48.7416	-48.3106
	3	-49.0021	-50.7195	-46.8566	-49.1205
	Delta	0.8368	4.4913	2.9114	1.1852
	Rank	4	1	2	3

ตารางที่ 4.245

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101
ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	15.2699	16.7001	12.0848	12.9803
	2	11.4185	15.1579	12.143	13.5698
	3	14.2299	9.0602	16.6904	14.3682
	Delta	3.8514	7.6399	4.6055	1.3879
	Rank	3	1	2	4
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	44.0236	43.6413	44.4612	44.8212
	2	42.0534	44.7589	42.9213	44.4813
	3	45.8125	43.5913	44.5012	42.5793
	Delta	3.7612	1.2613	1.5823	2.2525
	Rank	1	4	3	2
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	15.5902	17.0352	12.3379	15.7732
	2	11.6748	15.4553	12.3923	14.8269
	3	14.4904	9.2649	17.0262	14.1553
	Delta	3.9154	7.7702	4.6882	1.6179
	Rank	3	1	2	4
Logit	Level	A	B	C	D
	1	27.2879	28.3057	23.5783	27.6498
	2	22.3671	26.9875	23.2824	24.5921
	3	25.9031	20.2623	28.7034	23.3125
	Delta	4.9208	8.0434	5.42	4.3373
	Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.246

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ใน
การทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	-9.3039	-11.5900	-6.6499	-7.6449
	2	-8.5997	-8.5257	-8.3831	-8.2705
	3	-7.6032	-5.3912	-10.4739	-9.5915
	Delta	1.7007	6.1988	3.8240	1.9466
	Rank	4	1	2	3
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	259,392.9	261,729.2	256,702.8	257,713.9
	2	258,692.4	258,601.8	258,470.8	258,354.9
	3	257,676.1	255,430.2	260,587.6	259,692.5
	Delta	1,716.78	6,229.01	3,884.81	1,978.53
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	-8.5945	-10.6148	-6.1918	-7.0852
	2	-7.9219	-7.8975	-7.7330	-7.6326
	3	-7.0383	-5.0425	-9.6299	-8.8369
	Delta	1.5562	5.5723	3.4381	1.7517
	Rank	4	1	2	3
Logit	Level	A	B	C	D
	1	-1.7444	-1.6531	-1.9596	-1.8860
	2	-1.8729	-1.7866	-1.8615	-1.8849
	3	-1.8999	-2.0776	-1.6963	-1.7465
	Delta	0.1555	0.4244	0.2633	0.1395
	Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.247

ผลลัพธ์การคำนวณอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101
ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	14.7756	14.4328	15.6940	15.2588
	2	14.7527	14.7362	15.8688	15.3252
	3	16.4047	16.764	14.3702	15.3489
	Delta	1.6519	2.3311	1.4986	0.0900
	Rank	2	1	3	4
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	102.356	103.8925	101.7313	103.0707
	2	102.3205	102.0864	102.8813	102.7702
	3	103.1686	101.8662	103.2325	102.0043
	Delta	0.8480	2.0263	1.5012	1.0663
	Rank	4	1	2	3
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	16.7142	16.2057	17.6979	17.1524
	2	16.6303	16.6533	17.8014	17.2863
	3	18.3262	18.8116	16.1712	17.2319
	Delta	1.6958	2.6059	1.6302	0.1339
	Rank	2	1	3	4
Logit	Level	A	B	C	D
	1	14.9340	13.8782	15.7058	15.1329
	2	14.3982	14.5843	15.7507	15.5392
	3	15.9652	16.8348	13.8408	14.6253
	Delta	1.5670	2.9566	1.9099	0.9138
	Rank	3	1	2	4

ตารางที่ 4.248

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ใน
การทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Natural	Level	A	B	C	D
	1	11.0053	8.7513	13.5644	11.0092
	2	11.4297	11.5434	11.9349	11.6654
	3	12.6699	14.8104	9.6057	12.4304
	Delta	1.6646	6.0591	3.9586	1.4211
	Rank	4	1	2	3
Parabolic	Level	A	B	C	D
	1	261,132	258,831	263.762.3	261,142.8
	2	261,576.4	261,687.9	262,086.6	261,818
	3	262,846.6	265036.1	259,706.1	262,594.2
	Delta	1,714.52	6,205.15	4,056.197	1,451.399
	Rank	3	1	2	4
Yoe&Johnson	Level	A	B	C	D
	1	7.0048	5.829	8.2445	6.9693
	2	7.1679	7.2491	7.4586	7.2841
	3	7.7871	8.8817	6.2567	7.7065
	Delta	0.7824	3.0527	1.9877	0.7373
	Rank	4	1	2	3
Logit	Level	A	B	C	D
	1	-0.0041	-0.0051	-0.0035	-0.0043
	2	-0.0042	-0.0041	-0.0038	-0.0042
	3	-0.0039	-0.0030	-0.0049	-0.0037
	Delta	0.0003	0.0021	0.0014	0.0006
	Rank	4	1	2	3

ตารางที่ 4.249

ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของชุดเชิงลบข้อมูลชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณา ปัจจัยภายนอก

Signal to Noise Ratios (Smaller is better)					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C	A	D
Parabolic	500	B	C	D	A
Yeo&Johnson	1.05	B	C	A	D
Logit	500	B	C	A	D
Signal to Noise Ratios (Larger is better)					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C	A	D
Parabolic	500	B	C	A	D
Yeo&Johnson	1.05	B	C	A	D
Logit	500	B	C	D	A
Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C	A	
Parabolic	500	A	D	C	B
Yeo&Johnson	1.05	B	C	A	
Logit	500	B	C	A	D
Analysis of Mean (Nominal is the best)					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	B	C	D	A
Parabolic	500	B	C	D	A
Yeo&Johnson	1.05	B	C	D	A
Logit	500	B	C	A	D

ตารางที่ 4.250

ผลลัพธ์การคัดเลือกและจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) จากการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูลนอยส์ จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปของชุดเชิงบวกข้อมูลชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Signal to Noise Ratios (Smaller is better)					
Result	TransVia	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.73	B	C		
Logit	0.1	B	C		
Signal to Noise Ratios (Larger is better)					
Result	TransVia	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.73	B	C		
Logit	0.1	B	C		
Signal to Noise Ratios (Nominal is the best)					
Result	TransVia	1	2	3	4
Natural	1	B	A	C	
Parabolic	500	B	C	D	A
Yeo&Johnson	0.73	B	A	C	
Logit	0.1	B	C	A	D
Analysis of Mean (Nominal is the best)					
Result	TransVia	1	2	3	4
Natural	1	B	C		
Parabolic	500	B	C		
Yeo&Johnson	0.73	B	C		
Logit	0.1	B	C		

ตารางที่ 4.251

ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (Treatment) ของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Signal to Noise Ratio (Smaller is better)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	6	4	5	9	7	2	8	3	1
Parabolic	500	6	4	5	9	7	1	8	3	2
Yeo&Johnson	1.05	6	4	5	9	7	2	8	3	1
Logit	500	4	6	5	2	3	9	1	7	8
Signal to Noise Ratio (Larger is better)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	3	6	5	2	4	9	1	7	8
Parabolic	500	4	6	5	1	3	9	2	7	8
Yeo&Johnson	1.05	3	6	5	2	4	9	1	7	8
Logit	500	6	4	5	9	7	1	8	3	2
Signal to Noise Ratio (Nominal is the best)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	2	4	6	7	3	9	1	5	8
Parabolic	500	3	5	7	9	6	8	1	2	4
Yeo&Johnson	1.05	2	4	6	7	3	9	1	5	8
Logit	500	5	6	8	9	7	4	3	1	2

ตารางที่ 4.252

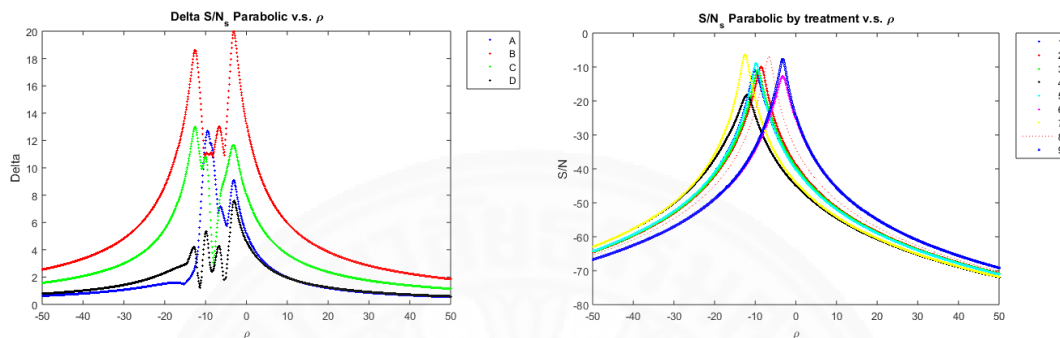
ผลลัพธ์การเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (treatment) ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Signal to Noise Ratio (Smaller is better)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	3	5	6	4	2	9	1	7	8
Parabolic	500	3	5	6	4	2	9	1	7	8
Yeo&Johnson	0.73	3	5	6	4	2	9	1	7	8
Logit	0.1	3	5	6	4	2	9	1	7	8
Signal to Noise Ratio (Larger is better)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	7	5	4	6	8	1	9	3	2
Parabolic	500	7	5	4	6	8	1	9	3	2
Yeo&Johnson	0.73	7	5	4	6	8	1	9	3	2
Logit	0.1	7	5	4	6	8	1	9	3	2
Signal to Noise Ratio (Nominal is the best)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	8	5	4	7	9	2	6	3	1
Parabolic	500	3	6	7	2	5	9	1	8	4
Yeo&Johnson	0.73	8	5	4	7	9	2	6	3	1
Logit	0.1	6	4	5	8	9	2	7	3	1

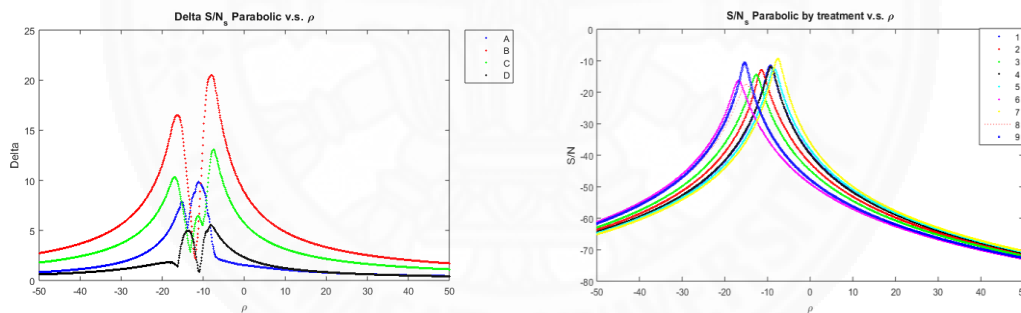
จากตารางที่ 4.241 ถึง 4.248 เป็นตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ทั้ง 3 กรณี รวมถึงการจัดอันดับพารามิเตอร์ (ปัจจัย) (ตารางที่ 4.249 และ 4.250) และวิธีปฏิบัติ (ตารางที่ 4.251 และ 4.252) ของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงลบและเชิงบวกชุดที่ 101 ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก โดยที่ TransVia (Transformed Variable) คือ ตัวแปรในสมการแปลงข้อมูลซึ่งหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation, MLE) ซึ่งผลลัพธ์การวิเคราะห์เหล่านี้จะถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล

อย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนซินอลทูนอยส์กับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้

กรณีผลตอบสนองยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is Better)



ภาพที่ 4.170 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



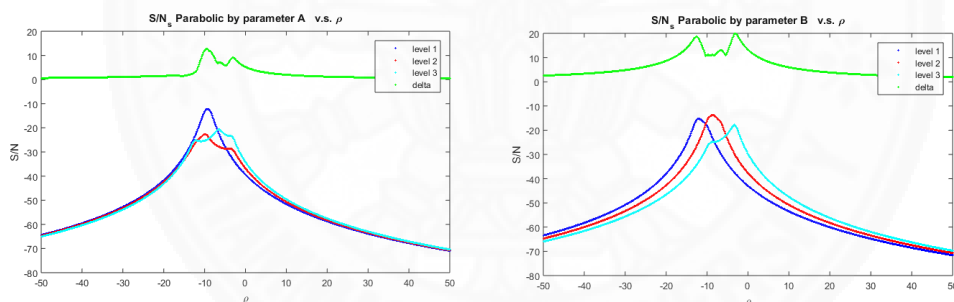
ภาพที่ 4.171 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_S$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.170 และ 4.171 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_S$ กับค่าโรการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาโบลิกของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

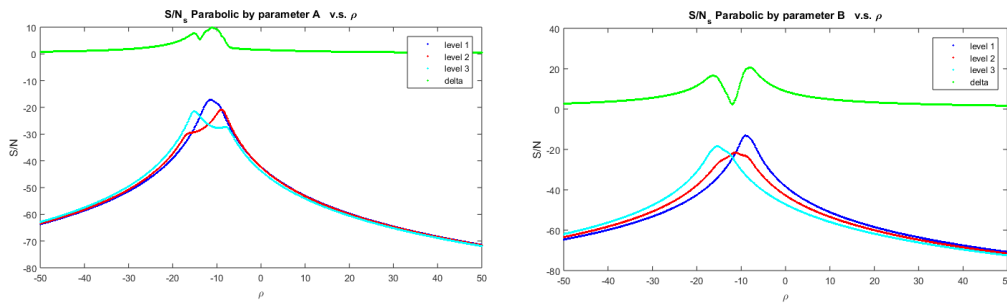
กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซินอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งตัดกันและมีการขึ้นลงของกราฟที่ไม่คงที่ในช่วงของค่าโรที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมี

การลู่เข้าหากันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C, D, A ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายรูปแบบพาราโบลาโดยในช่วงของค่าโรที่ประมาณ -20 ถึง 0 กราฟของวิธีปฏิบัติเกิดการตัดกัน และนอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีการเรียงตัวในแต่ละเส้นและลู่เข้าหากันเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งบวกและลบ เมื่อพิจารณาค่าโรทั้งค่าบวกและลบแล้ว จะเห็นได้ว่า การเรียงลำดับของกราฟในแต่ละวิธีปฏิบัตินั้นจะมีการเรียงตัวที่ตรงข้ามกัน ผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติให้ผลที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับกราฟในกรณีเชิงลบ แต่ให้ผลลัพธ์ของการคัดเลือกการจัดอันดับของปัจจัยที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 และผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติให้ผลที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

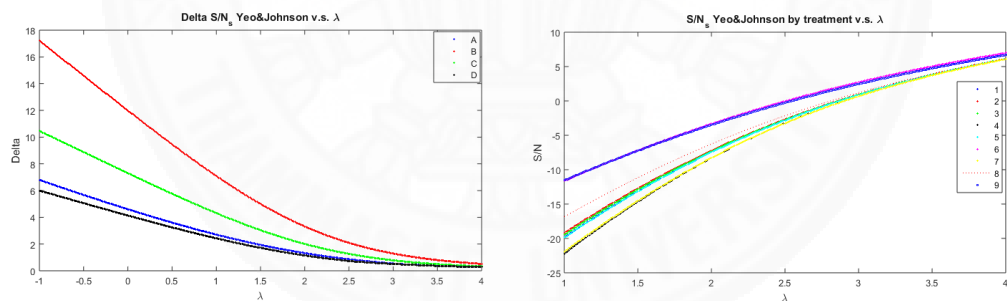


ภาพที่ 4.172 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_5 ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

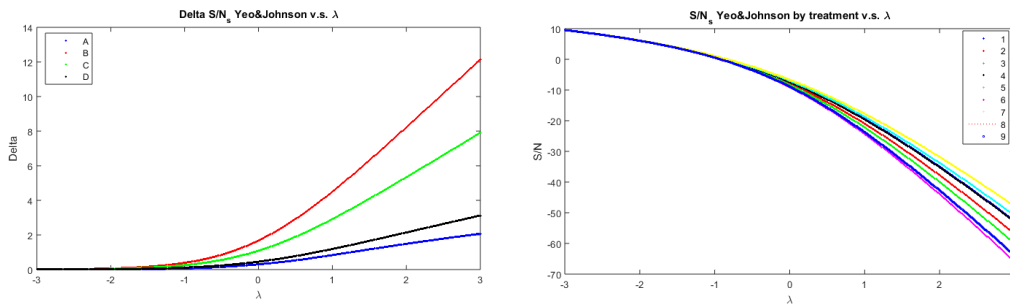


ภาพที่ 4.173 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_5 ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_5 ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_5 ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_5 ที่แต่ละระดับกับค่าโร และผลต่างของ S/N_5 ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.172 และ 4.173 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.174 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_5$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

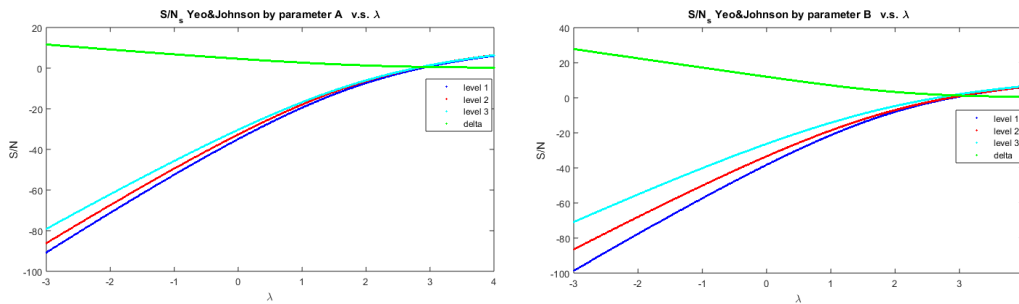


ภาพที่ 4.175 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_y$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

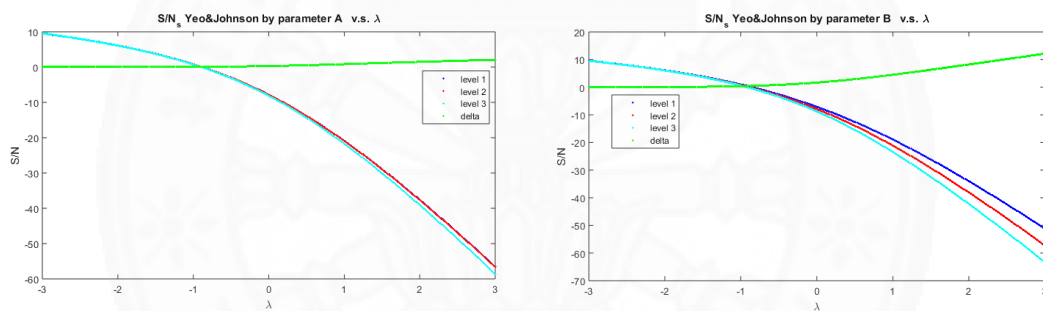
จากภาพที่ 4.174 และ 4.175 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_y$ กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงข้อมูลแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่ไม่เกิดจุดกั้นของเส้นกราฟและมีการเรียงตัวของกราฟที่ลู่ออกจากกันเมื่อค่าแลมบ์ดาลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C, A, D ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 1.05 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่เรียงตัวกันและไม่เกิดจุดตัดกันระหว่างกราฟ ซึ่งจะลู่ออกจากกันเมื่อค่าแลมบ์ดาลดลง ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติให้ผลที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย และกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่การลู่ออกของทั้ง 2 กราฟ จะลู่ออกจากกันเมื่อค่าแลมบ์ดาเพิ่มขึ้น ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถให้ผลตรงกับข้อมูลธรรมชาติเหมือนกรณีข้อมูลเชิงลบ

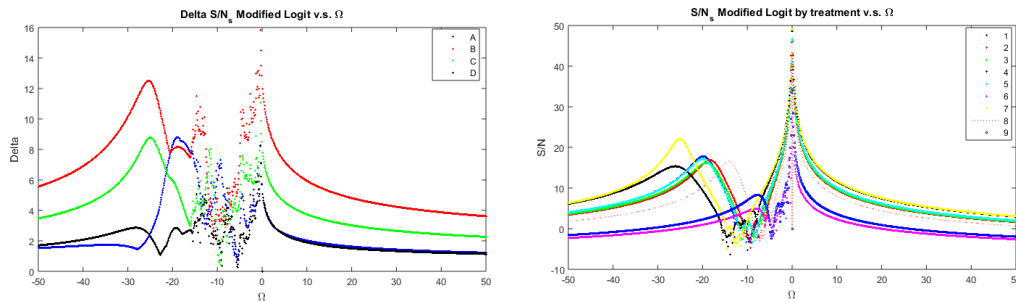


ภาพที่ 4.176 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

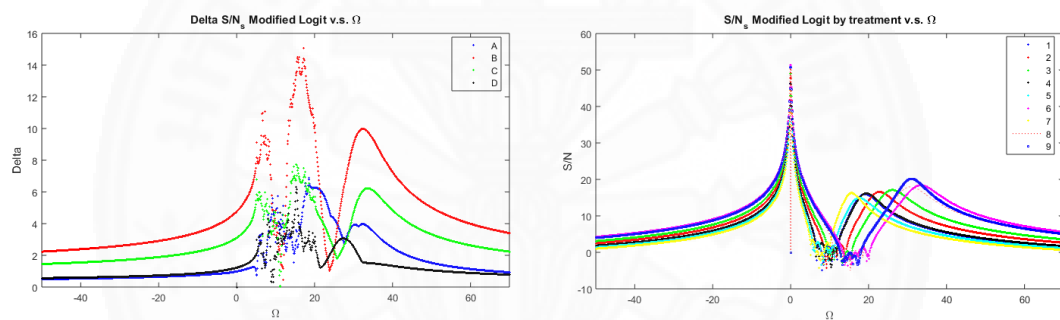


ภาพที่ 4.177 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_S ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_S ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_S ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_S ที่แต่ละระดับกับค่าแลมบ์ดา และผลต่างของ S/N_S ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.176 และ 4.177 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.178 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_5$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



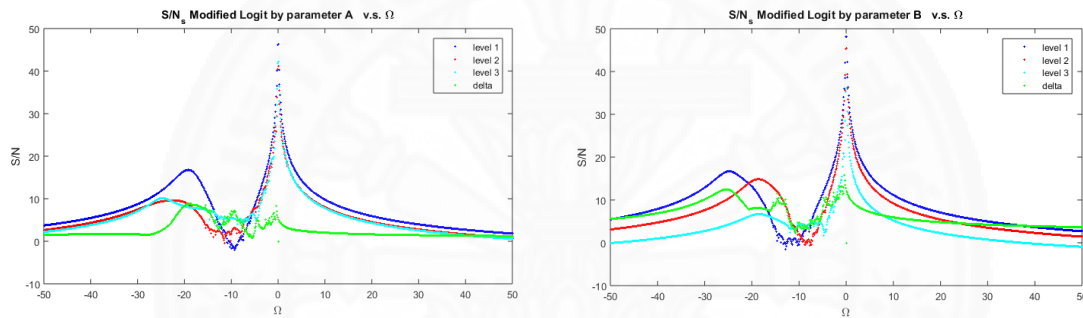
ภาพที่ 4.179 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_5$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.178 และ 4.179 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_5$ กับค่าโอเมก้าของการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

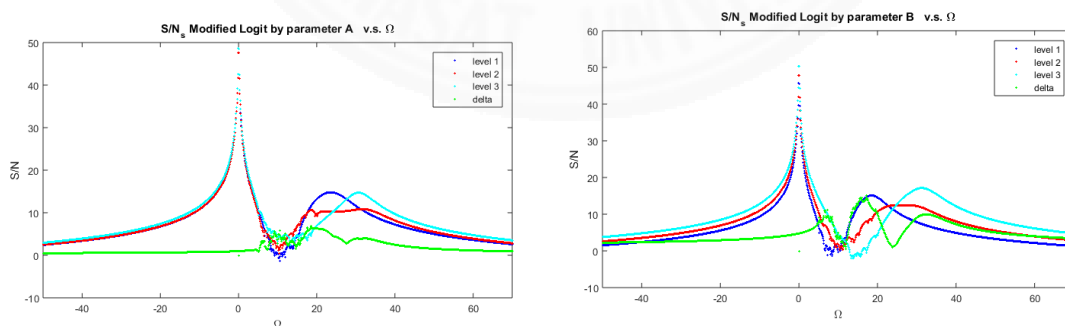
กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะของกราฟที่ไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบในช่วงโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีการเรียงตัวอย่างชัดเจนและมีการลู่ออกกันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C, A, และ D ที่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโอเมก้าที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ส่วนกราฟของแต่ละวิธี

ปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะไม่คงที่และมีการตัดกันของกราฟเกิดขึ้นซึ่งอยู่ในช่วงของโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกเหนือจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีการเรียงตัวกันอย่างชัดเจนของแต่ละวิธีปฏิบัติและลู่เข้าหากันเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติให้ผลที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่กราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะของกราฟที่ตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงลบ โดยรูปแบบที่ไม่คงที่ของกราฟอยู่ในช่วงของโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง 20 ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถให้ผลตรงกับข้อมูลธรรมชาติเหมือนกรณีข้อมูลเชิงลบ



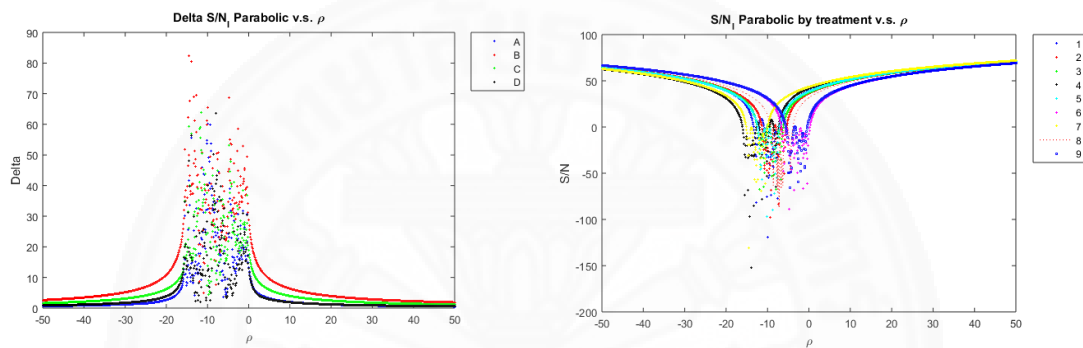
ภาพที่ 4.180 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_5 ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



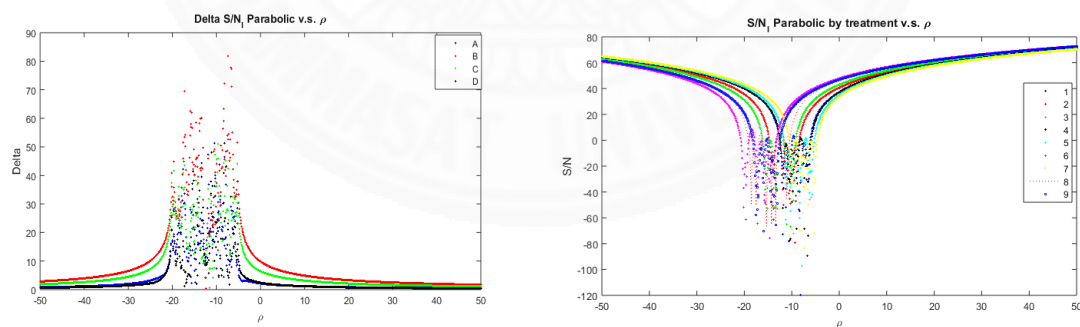
ภาพที่ 4.181 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_5 ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_S ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_S ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_S ที่แต่ละระดับกับค่าโอเมก้า และผลต่างของ S/N_S ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.180 และ 4.181 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ

กรณีผลตอบสนองยิ่งมากยิ่งดี (Larger is Better)



ภาพที่ 4.182 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลของเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

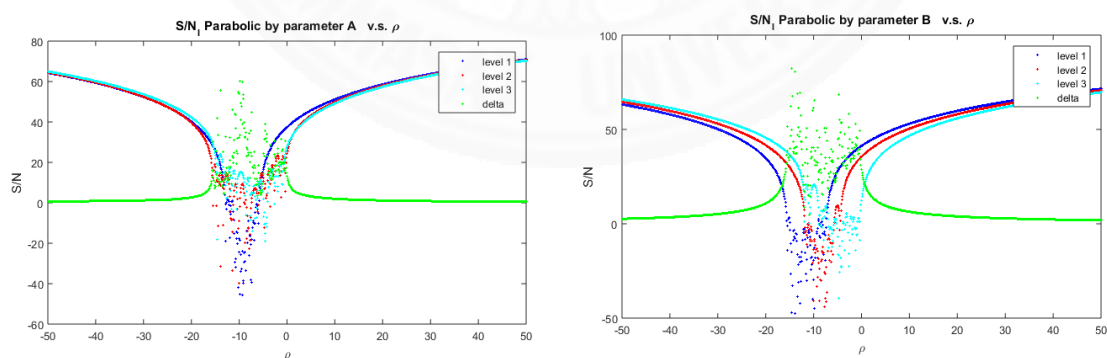


ภาพที่ 4.183 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลของเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

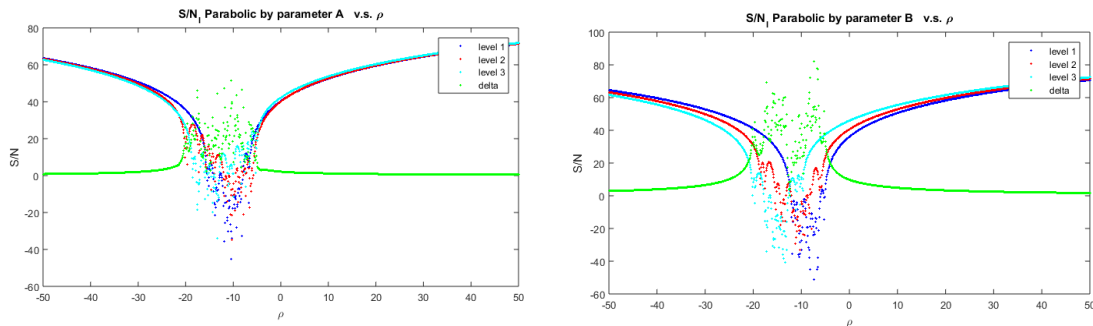
จากภาพที่ 4.182 และ 4.183 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ย และวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_L$ กับค่าโรของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะไม่คงที่และไม่มีรูปแบบซึ่งต่างจากกรณียิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better) โดยอยู่ในช่วงค่าโรที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมีการลู่ออกกันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C ที่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบของกราฟเกิดขึ้นซึ่งอยู่ในช่วงของค่าโรที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกเหนือจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งและมีการเรียงตัวกันอย่างชัดเจน ซึ่งจะลู่ออกกันเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ เช่นเดียวกับกราฟทางซ้ายมือที่ได้กล่าวไว้ ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติให้ผลที่ไม่ตรงตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) และกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ อีกทั้งผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นให้ผลที่เหมือนกันกับกรณีข้อมูลเชิงลบ

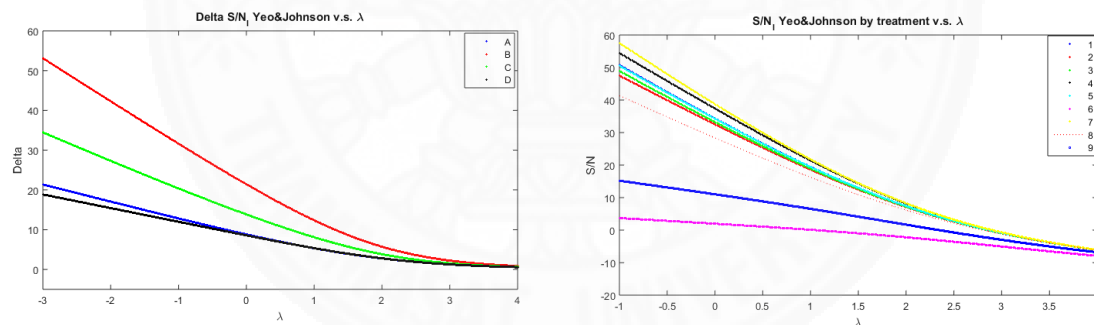


ภาพที่ 4.184 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

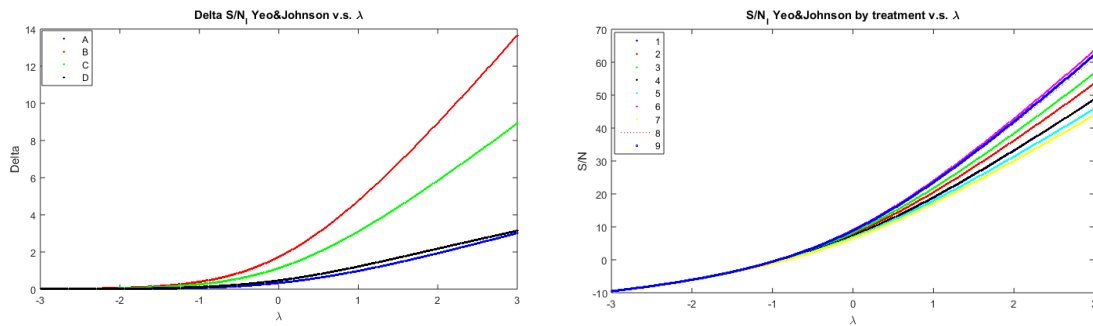


ภาพที่ 4.185 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_L ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_L ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_L ที่แต่ละระดับกับค่าโร และผลต่างของ S/N_L ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.185 และ 4.186 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.186 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

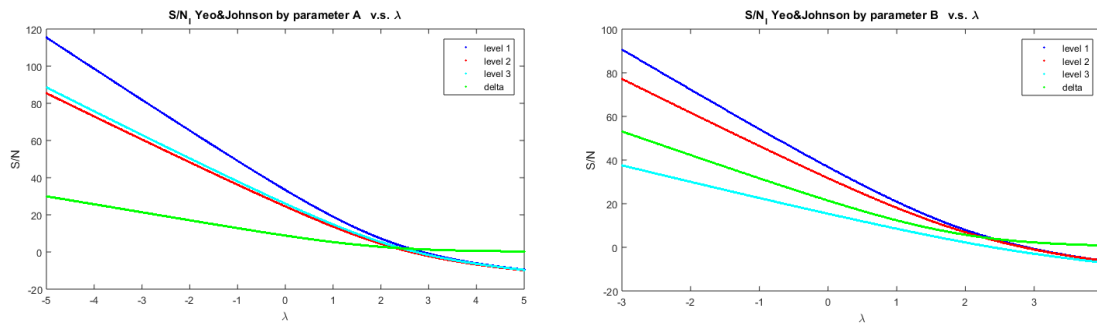


ภาพที่ 4.187 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยอว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

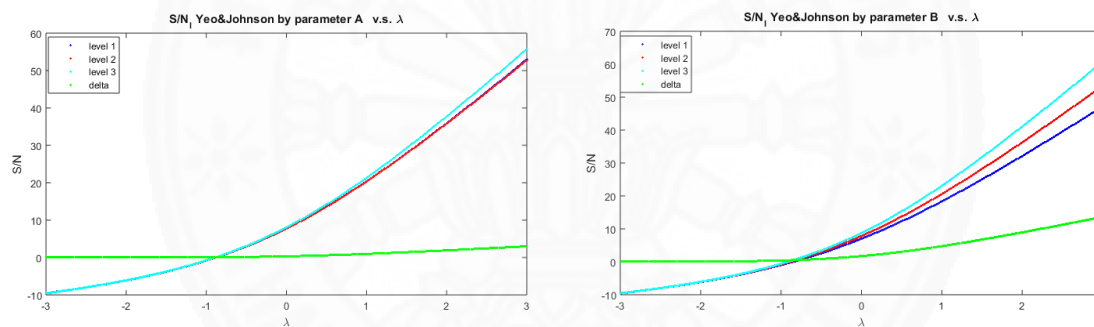
จากภาพที่ 4.186 และ 4.187 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_L$ กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงข้อมูลแบบเยอว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่ไม่เกิดจุดกั้นของเส้นกราฟและมีการเรียงตัวของกราฟที่ลู่ออกจากกันเมื่อค่าแลมบ์ดาลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าแลมบ์ดาที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.73 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่เรียงตัวกันและไม่เกิดจุดตัดกันระหว่างกราฟ ซึ่งจะลู่ออกจากกันเมื่อค่าแลมบ์ดาลดลง ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติให้ผลที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย และกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยด์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่การลู่ออกของทั้ง 2 กราฟ จะลู่ออกจากกันเมื่อค่าแลมบ์ดาเพิ่มขึ้น

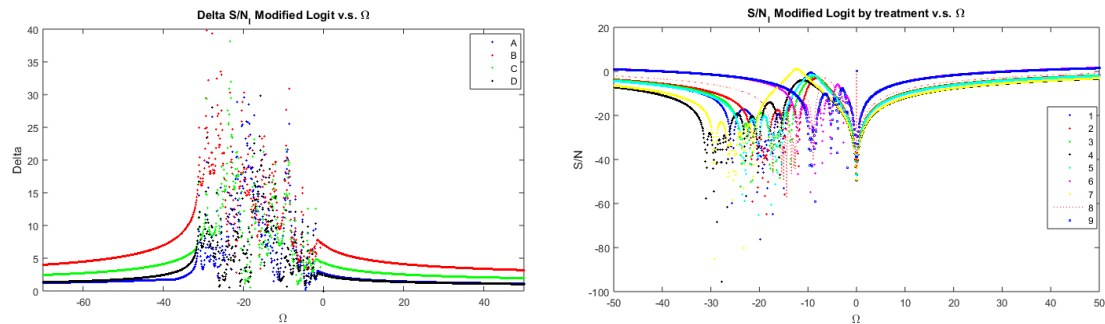


ภาพที่ 4.188 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

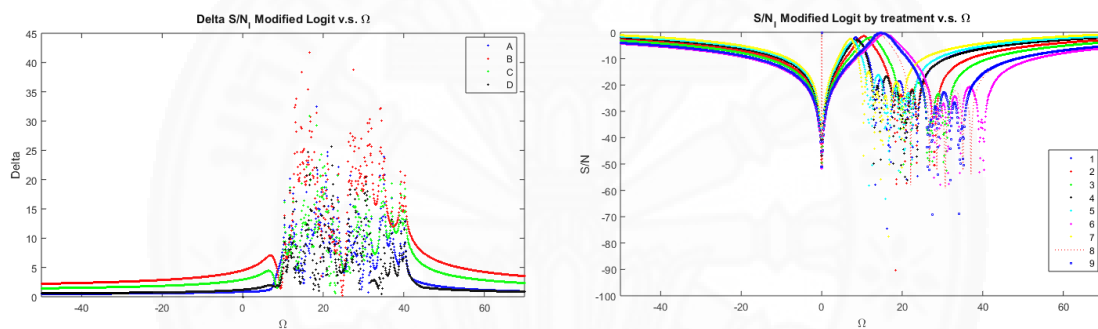


ภาพที่ 4.189 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_L ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_L ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_L ที่แต่ละระดับกับค่าแลมบ์ดา และผลต่างของ S/N_L ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.188 และ 4.189 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.190 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



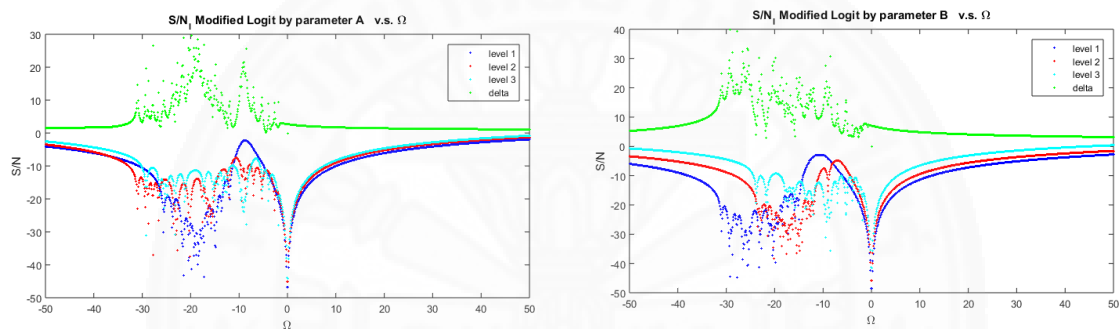
ภาพที่ 4.191 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_L$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.190 และ 4.191 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_L$ กับค่าโอเมก้าของการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

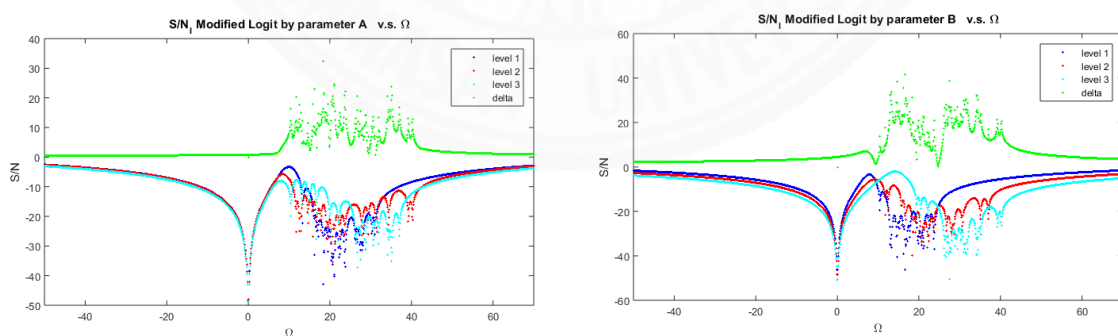
กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนซิกนอลทวนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) มีลักษณะการเรียงตัวไม่เป็นรูปแบบที่ชัดเจนในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง -40 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมีการลู่อเข้าหากันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการคัดเลือกการจัดอันดับคือ B, C, A, D ที่ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ณ ค่าโรที่เหมาะสมที่สุดจากการประมาณค่าภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 500 ส่วนกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติ (รูปทางขวามือ) มีลักษณะไม่คงที่และไม่เป็นรูปแบบของกราฟเกิดขึ้นซึ่งอยู่ในช่วงของค่าโรที่ประมาณ -400 ถึง 0

นอกเหนือจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งและมีการเรียงตัวกันอย่างชัดเจน ซึ่งจะลู่เข้าหากันเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ เช่นเดียวกับกราฟทางซ้ายมือที่ได้กล่าวไว้ ซึ่งผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติซึ่งให้ผลที่ไม่ตรงตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟของผลต่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย (รูปทางซ้ายมือ) และกราฟของแต่ละวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์มีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่มีรูปแบบของกราฟที่มีการเรียงตัวที่ไม่คงที่ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ตรงข้ามกันกับกรณีข้อมูลเชิงลบอยู่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง 40 แต่ให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ



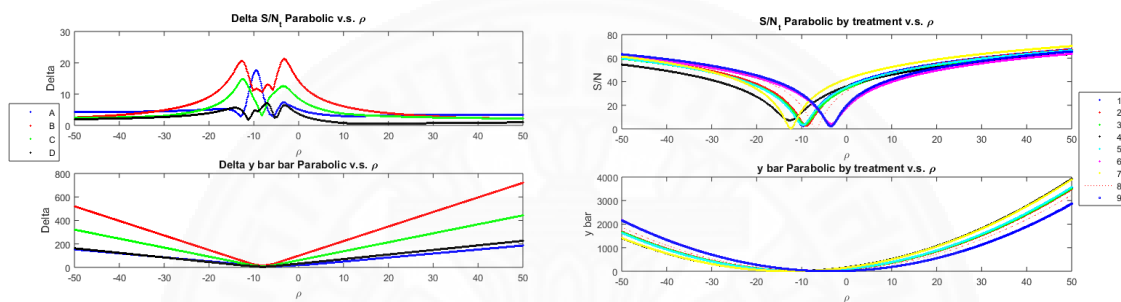
ภาพที่ 4.192 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



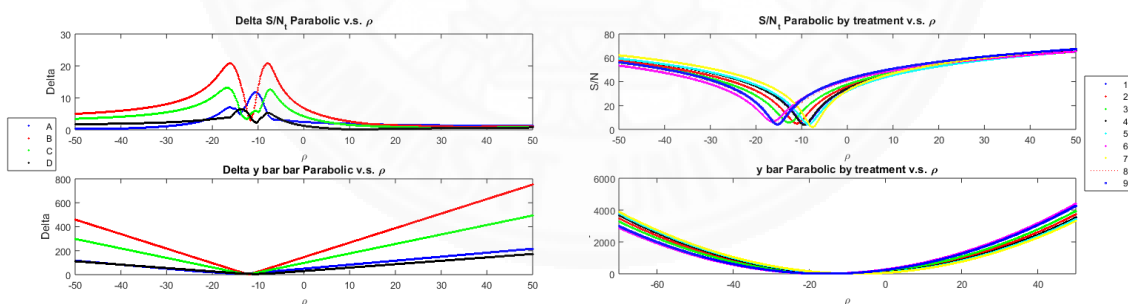
ภาพที่ 4.193 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_L ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_L ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_L ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_L ที่แต่ละระดับกับค่าโอเมก้า และผลต่างของ S/N_L ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.192 และ 4.193 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ

กรณีผลตอบสนองตรงเป้าหมายดีที่สุด (Normal is The best)



ภาพที่ 4.194 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

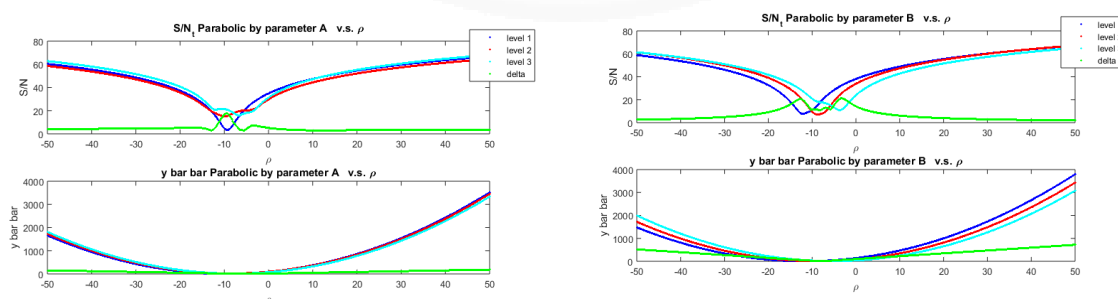


ภาพที่ 4.195 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

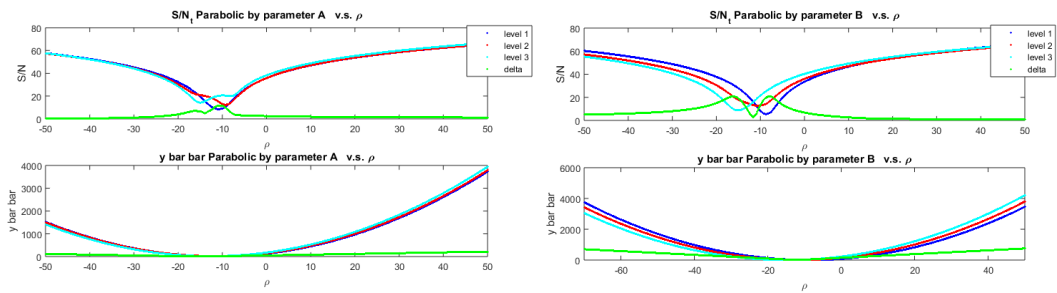
จากภาพที่ 4.194 และ 4.195 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_T$ กับค่าโรของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟผลต่างอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กราฟบนซ้าย) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งตัดกันและมีการขึ้นลงของกราฟที่ไม่คงที่ในช่วงของค่าโรที่ประมาณ -20 ถึง 0 ซึ่งคล้ายกับ กรณียิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better) นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมีการลู่ออกเข้าหากันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ส่วนกราฟผลต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย (กราฟซ้ายล่าง) มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่ค่อนข้างสมมาตรกันซึ่งในช่วงตรงกลางของกราฟ เส้นตรงแต่ละเส้น เกิดการตัดกันในช่วงสั้นๆ ที่เป็นจุดเปลี่ยนในการจัดลำดับ จากนั้นเส้นตรงแต่ละเส้นเกิดการเรียงตัวกันด้วยระยะห่างที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ส่วนกราฟทางขวามือคือ กราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์และกราฟวิธีปฏิบัติของค่าเฉลี่ย โดยกราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์มีลักษณะเป็นเส้นโค้งคล้ายรูปแบบพาราโบลาโดยในช่วงของค่าโรที่ประมาณ -20 ถึง 0 กราฟของวิธีปฏิบัติเกิดการตัดกัน และนอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีการเรียงตัวในแต่ละเส้นและลู่ออกเข้าหากันเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทั้งบวกและลบ ส่วนกราฟวิธีปฏิบัติของค่าเฉลี่ย มีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งค่าของเฉลี่ยของแต่ละวิธีปฏิบัติมีลักษณะเป็นเส้นโค้งขนานกันเมื่อพิจารณาค่าโรที่เป็นบวก แต่เมื่อค่าโรในช่วงประมาณ 0 ถึง -20 เกิดการตัดกันของเส้นโค้งในแต่ละวิธีปฏิบัติและเกิดการเรียงตัวของวิธีปฏิบัติในทิศทางตรงข้ามกันกับช่วงค่าโรที่เป็นบวกเมื่อผ่านช่วงดังกล่าวที่กราฟเกิดการตัดกัน ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า การคัดเลือกการจัดอันดับของผลต่าง S/N คือ A, D, C, B และการคัดเลือกการจัดอันดับของผลต่างค่าเฉลี่ยคือ B, C, D, A ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งผลลัพธ์ของการการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติ S/N ซึ่งให้ผลที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟทั้งหมดมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติเหมือนกับกรณีข้อมูลเชิงลบ

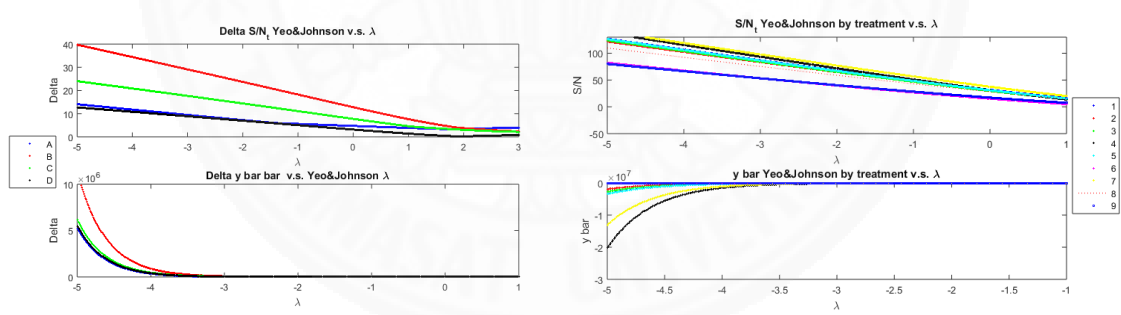


ภาพที่ 4.196 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

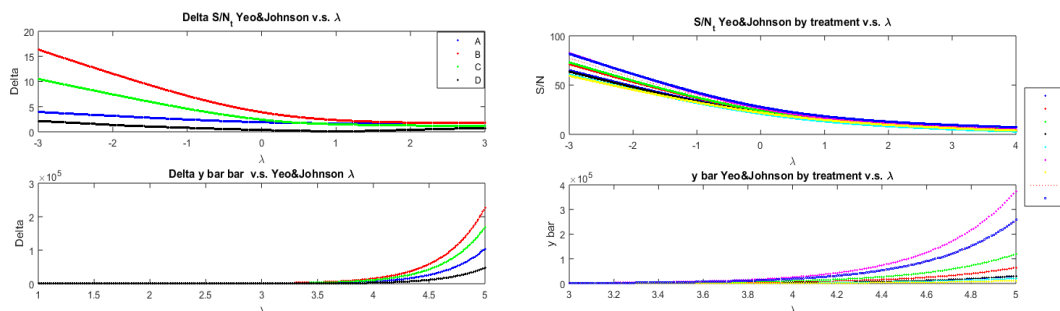


ภาพที่ 4.197 กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลิก ของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_T และ \bar{y} ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_L และ \bar{y} ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_T และ \bar{y} ที่แต่ละระดับกับค่าโร และผลต่างของ S/N_T และ \bar{y} ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.196 และ 4.197 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ



ภาพที่ 198 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

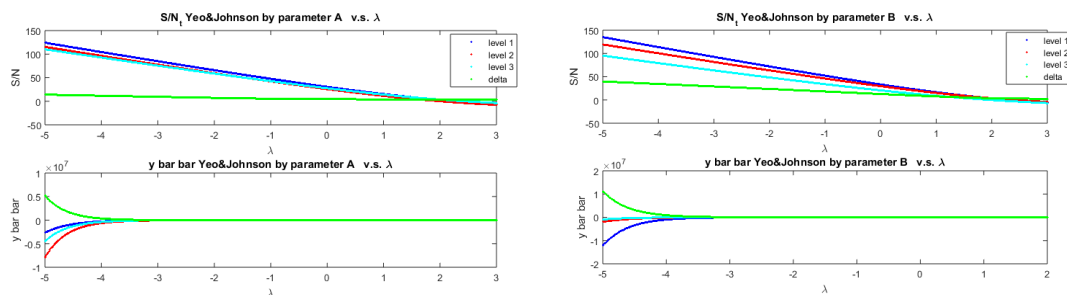


ภาพที่ 4.199 กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.198 และ 4.199 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_T$ กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงข้อมูลแบบเยาร์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

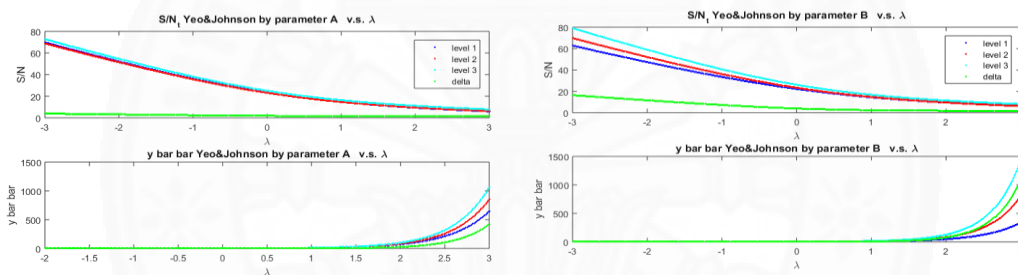
กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟผลต่างอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กราฟบนซ้าย) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่เรียงตัวและไม่มีจุดตัดกันของกราฟซึ่งจะลู่ออกเข้าหากันเมื่อค่าแลมบ์ดาเพิ่มขึ้น ส่วนกราฟผลต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย (กราฟซ้ายล่าง) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่เรียงตัวและไม่มีจุดตัดกันของกราฟเช่นกัน ซึ่งกราฟจะลู่ออกเข้าหากันเมื่อค่าแลมบ์ดาลดลง ส่วนกราฟทางขวามือคือ กราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์และกราฟวิธีปฏิบัติของค่าเฉลี่ย โดยกราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่เรียงตัวและไม่มีจุดตัดกันของกราฟซึ่งจะลู่ออกเข้าหากันเมื่อค่าแลมบ์ดาเพิ่มขึ้น ส่วนกราฟวิธีปฏิบัติของค่าเฉลี่ยก็มีลักษณะที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงให้เห็นว่า การคัดเลือกการจัดอันดับของผลต่าง S/N คือ B, C, A และการคัดเลือกการจัดอันดับของผลต่างค่าเฉลี่ยคือ B, C, D, A ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังให้ผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติ S/N ซึ่งให้ผลที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัยมีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนกราฟผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยนั้นมีลักษณะของกราฟที่ตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติเหมือนกับกรณีข้อมูลเชิงลบ



ภาพที่ 4.200

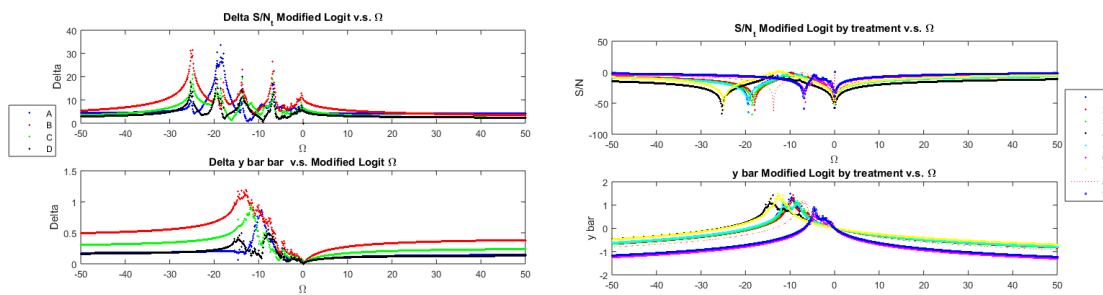
กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยอร์วิ และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.201

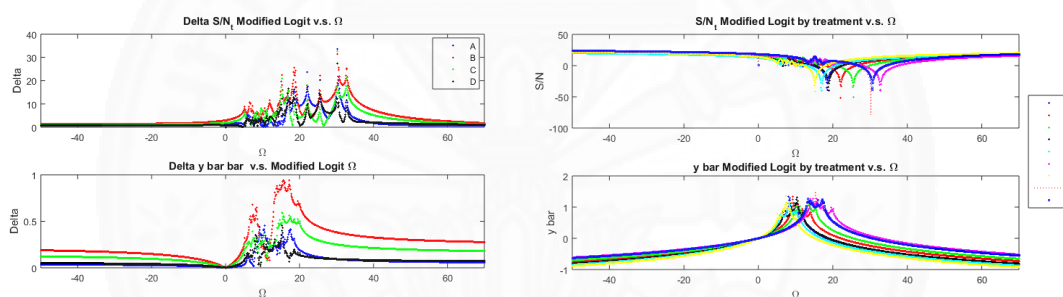
กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยอร์วิ และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_T และ \bar{y} ข้างต้นที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_L และ \bar{y} ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_T และ \bar{y} ที่แต่ละระดับกับค่าแลมบ์ดา และผลต่างของ S/N_T และ \bar{y} ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.200 และ 4.201 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.202

กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.203

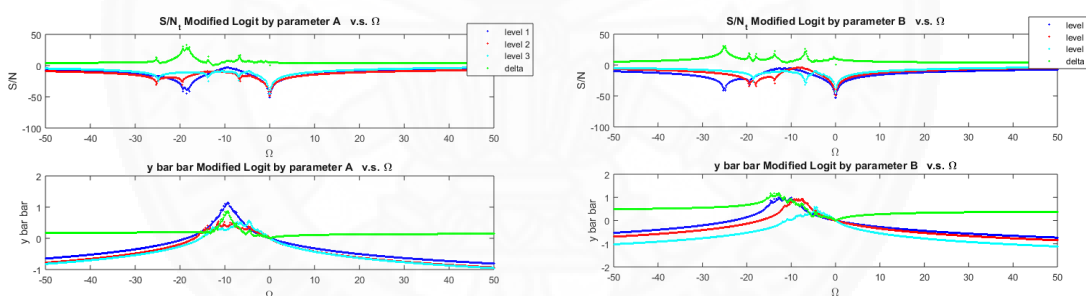
กราฟความสัมพันธ์ $\Delta S/N_T$ ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติกับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.202 และ 4.203 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลต่างค่าเฉลี่ยและวิธีปฏิบัติของ $\Delta S/N_T$ กับค่าโอเมก้าของการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบและบวกชุดที่ 101 พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ กราฟผลต่างอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กราฟบนซ้าย) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่ตัดกันและมีรูปแบบที่ไม่คงที่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีรูปแบบและมีการลู่ออกเข้าหากันของแต่ละปัจจัยเมื่อค่าโอเมก้าเพิ่มขึ้นทั้งด้านบวกและลบ ส่วนกราฟผลต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย (กราฟซ้ายล่าง) มี

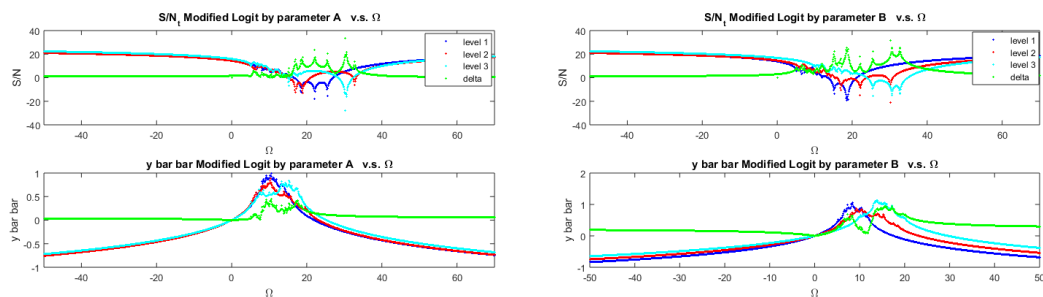
ลักษณะของกราฟที่มีการเรียงตัวที่ไม่เป็นรูปแบบและเกิดการตัดกันในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟของแต่ปัจจัยเกิดการเรียงกันอย่างชัดเจนตลอดช่วงค่าโอเมก้า ส่วนกราฟทางขวามือคือ กราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์และกราฟวิธีปฏิบัติของค่าเฉลี่ย โดยกราฟวิธีปฏิบัติของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ โดยทั้งสองกราฟเกิดจุดตัดของเส้นกราฟในแต่ละปัจจัยเกิดขึ้นในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟของแต่ปัจจัยเกิดการเรียงกันอย่างชัดเจนและลู่เข้าหากันตลอดช่วงค่าโอเมก้า ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูล แสดงให้เห็นว่า การคัดเลือกการจัดอันดับของผลต่าง S/N คือ B, C, A, D และการคัดเลือกการจัดอันดับของผลต่างค่าเฉลี่ยคือ B, C, A, D ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และผลลัพธ์ของการเรียงลำดับจากมากไปน้อยของวิธีปฏิบัติ S/N ซึ่งให้ผลที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

กรณีข้อมูลเชิงบวก กราฟทั้งหมดมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่ต่างกันที่ส่วนของกราฟที่เกิดจุดตัดกันของกราฟซึ่งจะอยู่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง 20 ส่วนผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติเหมือนกับกรณีข้อมูลเชิงลบ



ภาพที่ 4.204

กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก



ภาพที่ 4.205

กราฟความสัมพันธ์ของค่า S/N_T และ \bar{y} ของปัจจัย A และ B กับค่าโอเมก้าของการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากค่า S/N_T และ \bar{y} ข้างต้นที่นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ S/N_T และ \bar{y} ของแต่ละระดับของปัจจัย จะได้ความสัมพันธ์ของ S/N_T และ \bar{y} ที่แต่ละระดับกับค่าแลมบ์ดา และผลต่างของ S/N_T และ \bar{y} ของทั้ง 4 พารามิเตอร์ดังภาพที่ 4.204 และ 4.205 แสดงตัวอย่างของปัจจัย A และ B (ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบ) ตามลำดับ

2. ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 4.253

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

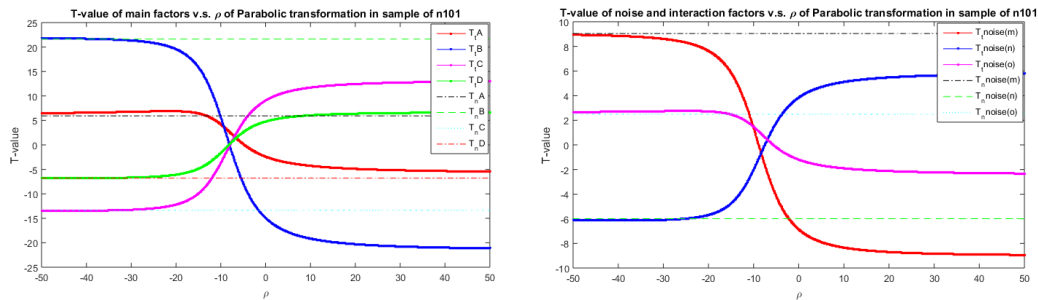
Natural	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	-8.50229	0.85035	3.09942	-1.91198	-0.97332	1.05723	-0.7006	0.29145
	SE of Co-efficient	0.11696	0.14325	0.14325	0.14325	0.14325	0.11696	0.11696	0.11696
	T-test	-72.6924	5.93617	21.63657	-13.3472	-6.79461	9.03904	-5.98997	2.49186
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	258,587.1	-858.391	-3149.5	1942.403	989.2633	-1075.98	711.0814	-294.734
	SE of Co-efficient	119.0968	145.8632	145.8632	145.8632	145.8632	119.0968	119.0968	119.0968
	T-test	2171.235	-5.8849	-21.5922	13.31661	6.78213	-9.03447	5.97061	-2.47474
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	-7.8516	0.77807	2.78617	-1.71907	-0.87584	0.94739	-0.63345	0.26702
	SE of Co-efficient	0.10486	0.12843	0.12843	0.12843	0.12843	0.10486	0.10486	0.10486
	T-test	-74.8742	6.05829	21.69385	-13.3851	-6.8195	9.03454	-6.04066	2.54632
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	-1.83914	-0.07776	-0.21224	0.13164	0.06976	-0.07462	0.062647	-0.03802
	SE of Co-efficient	0.01657	0.02029	0.02029	0.02029	0.02029	0.01657	0.01657	0.01657
	T-test	-110.966	-3.83063	-10.4556	6.48511	3.43697	-4.50236	3.77986	-2.29417
	P-value	0.000	0.0002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0003	0.025

ตารางที่ 4.254

ผลลัพธ์การคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

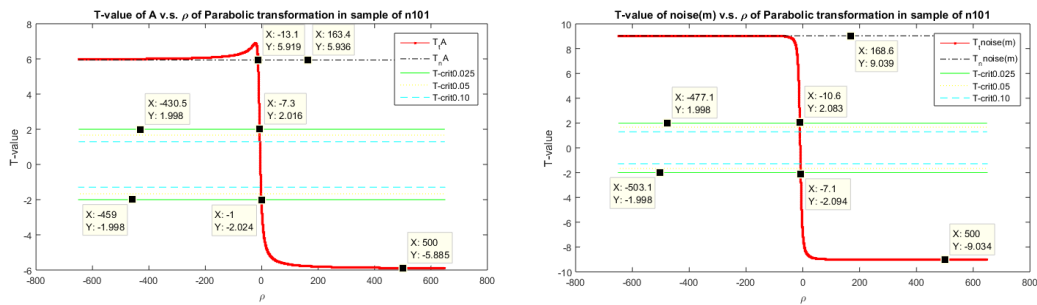
Natural	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	11.70169	0.83231	3.02955	-1.97931	0.710562	1.21267	-0.8408	0.2117
	SE of Co-efficient	0.14216	0.17411	0.17411	0.17411	0.17411	0.14216	0.14216	0.14216
	T-test	82.3126	4.78030	17.4001	-11.3681	4.08107	8.53027	-5.91438	1.48915
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.141
Parabolic	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	261,851.7	857.2618	3102.577	-2028.1	725.6997	1241.831	-862.328	218.7376
	SE of Co-efficient	145.7225	178.4729	178.4729	178.4729	178.4729	145.7225	145.7225	145.7225
	T-test	1796.92	4.80331	17.38401	-11.3636	4.06616	8.52189	-5.91761	1.50105
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.138
Yeo&Johnson	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	7.31996	0.39918	1.52637	-0.99387	0.36863	0.61422	-0.41953	0.09637
	SE of Co-efficient	0.0717	0.08782	0.08782	0.08782	0.08782	0.0717	0.0717	0.0717
	T-test	102.0887	4.45451	17.3814	-11.3175	4.1977	8.56632	-5.85097	1.34409
	P-value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.184
Logit	Result of MLR	Mean	A	B	C	D	m	n	o
	Co-efficient	-0.00409	0.00011	0.00107	-0.0007	0.00031	0.00047	-0.0003	0.000005
	SE of Co-efficient	0.000072	0.000088	0.000088	0.000088	0.000088	0.000072	0.000072	0.000072
	T-test	-56.9926	1.2896	12.16733	-8.01127	3.5352	6.5941	-4.1772	0.0793
	P-value	0.000	0.202	0.000	0.000	0.0007	0.000	0.000	0.936

จากตารางที่ 4.253 และ 4.254 เป็นตารางเปรียบเทียบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและเชิงลบชุดที่ 101 ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าสถิติ T-test ของสมการข้อมูลในแต่ละวิธีการแปลงข้อมูลและถูกรวบรวมในแต่ละสถานการณ์เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวน ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลอย่างไรและสามารถแสดงรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณกับตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของแต่ละวิธีซึ่งแสดงในภาพดังต่อไปนี้

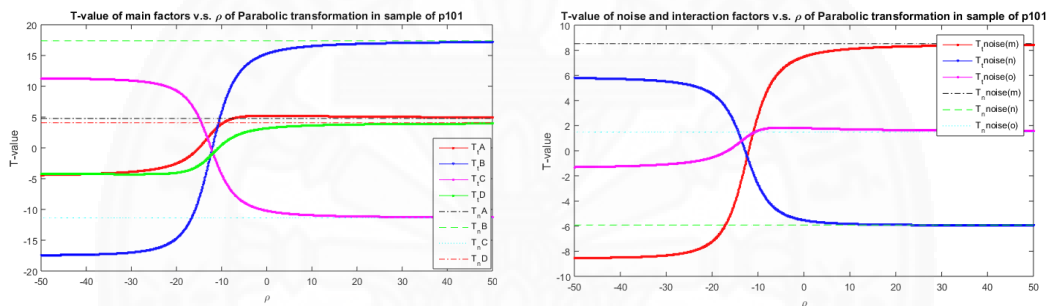


ภาพที่ 4.206 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.206 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยจะลู่อเข้าหาเข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านลบและให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านบวก ส่วนค่าโรที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ซึ่งทำให้ค่า T-test ของทุกปัจจัยมีผลลัพธ์ที่ตรงข้ามกับข้อมูลธรรมชาติแต่มีค่าใกล้เคียงกันในเชิงปริมาณเนื่องจาก ค่าโรมีผลต่อเครื่องหมายในการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งมีผลต่อเนื่องในการหาค่าสถิติ T-test ของสมการ อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติของแต่ละปัจจัยนั้นจะถูกรวบรวมเพื่อไปทำการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกอย่างไร อีกทั้งยังทำการทดสอบสมมติฐานของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสเพื่อดูว่าตรงกับข้อมูลธรรมชาติหรือไม่ และรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังในภาพที่ 4.207 ซึ่งแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าสถิติของปัจจัยหลัก A และ ปัจจัยรบกวน m กับค่าโรของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิก



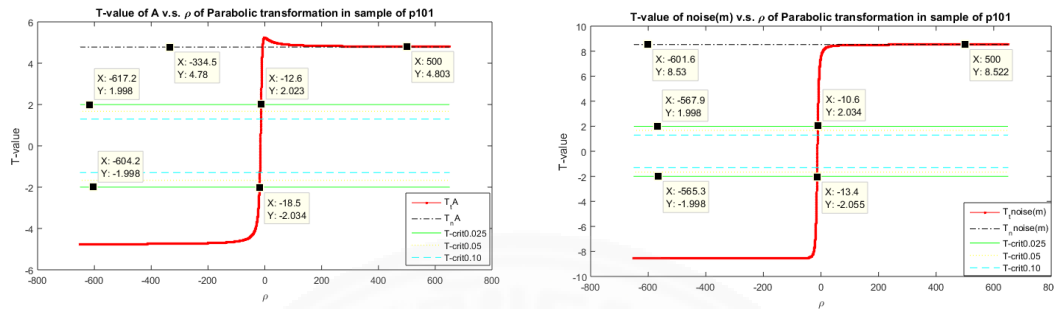
ภาพที่ 4.207 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงลบบปัจจัยหลัก A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลา



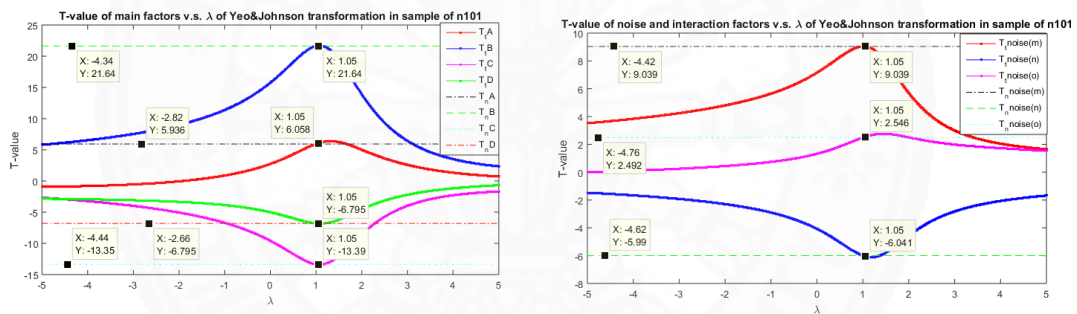
ภาพที่ 4.208 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.208 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยจะลู่เข้าหาเข้าหาค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านบวกและให้ค่าที่มีแนวโน้มค่าตรงข้ามกับค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติเมื่อค่าโรเพิ่มขึ้นทางด้านลบ ส่วนค่าค่าโรที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ซึ่งทำให้ค่า T-test ของทุกปัจจัยมีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติของแต่ละปัจจัยนั้นจะถูกรวบรวมไปทำการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลาอย่างไร อีกทั้งยังทำการทดสอบสมมติฐานของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสเพื่อดูว่าตรงกับข้อมูลธรรมชาติหรือไม่และรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังในภาพที่

4.209 ซึ่งแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าสถิติของปัจจัยหลัก A และ ปัจจัยรบกวน m กับค่าโรของการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลา



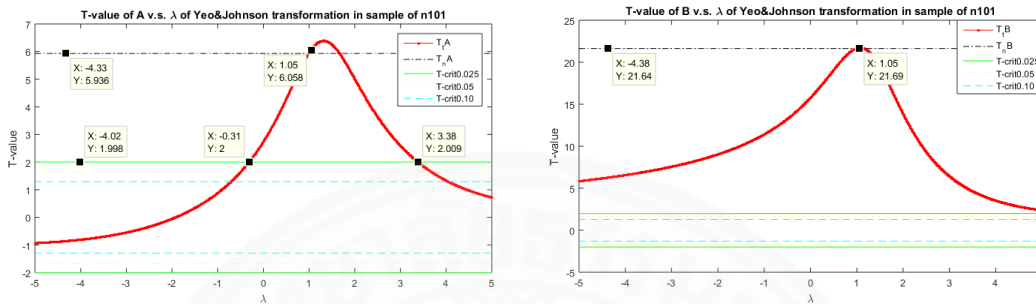
ภาพที่ 4.209 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงบวกปัจจัยหลัก A และ B กับค่าโรของการแปลงแบบพาราโบลา



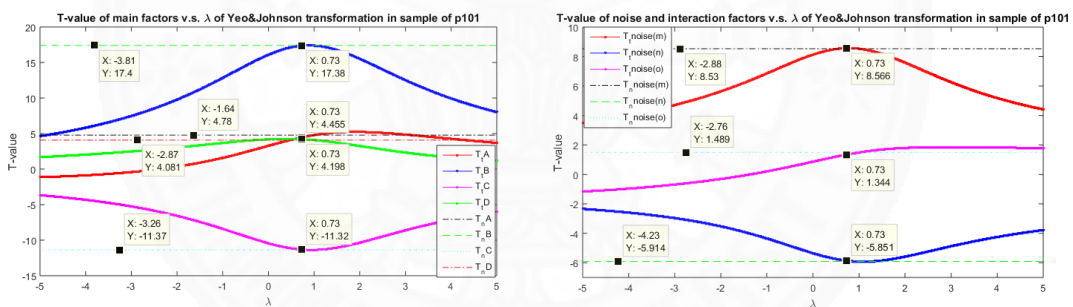
ภาพที่ 4.210 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยวี่และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.210 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบเยวี่และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A, B, C, และ D มีลักษณะเป็นเส้นโค้งและมีจุดตัดกับค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติในแต่ละปัจจัยโดยยิ่งค่าแลมบ์เข้าใกล้ 1 ผลลัพธ์ของค่า T-test ของแต่ละปัจจัยจะมีค่าเข้าใกล้ผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.05 ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับ 1 ทำให้ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ออกมามีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติของแต่ละปัจจัยนั้นจะถูกรวบรวมเพื่อไปทำการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อการแปลงข้อมูลแบบเยวี่และจอห์น

สั้นอย่างไร อีกทั้งยังทำการทดสอบสมมุติฐานของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสเพื่อดูว่าตรงกับข้อมูลธรรมชาติหรือไม่และรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังในภาพที่ 4.211 ซึ่งแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าสถิติของปัจจัยหลัก A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสัน



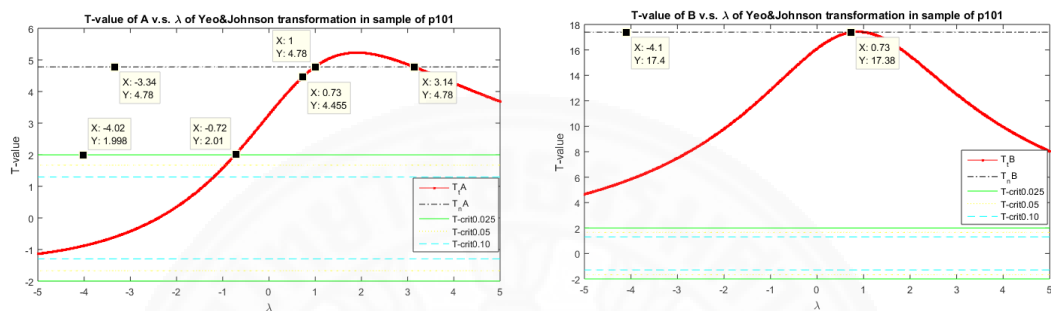
ภาพที่ 4.211 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงลบบปัจจัยหลัก A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสัน



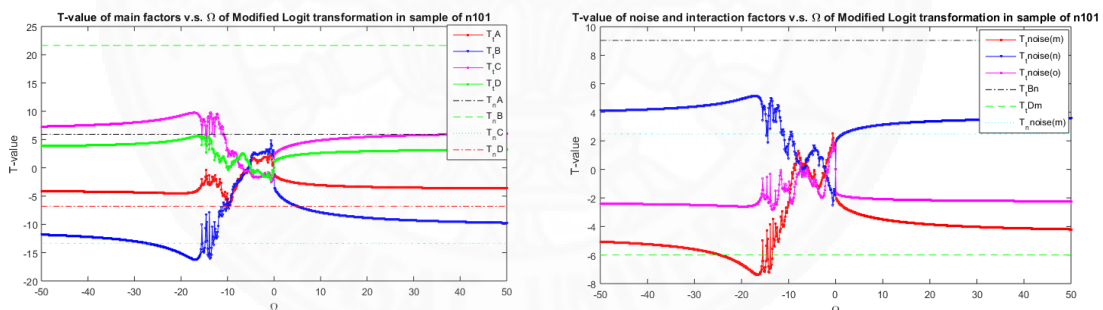
ภาพที่ 4.212 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.213 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าโรในการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ของปัจจัย A ,B ,C ,และ D มีลักษณะเป็นเส้นโค้งและมีจุดตัดกับค่า T-test ของข้อมูลธรรมชาติในแต่ละปัจจัยโดยยิ่งค่าแลมบ์ดาเข้าใกล้ 1 ผลลัพธ์ของค่า T-test ของแต่ละปัจจัยจะมีค่าเข้าใกล้ผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าแลมบ์ดาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.73 ซึ่งไม่ใกล้เคียงกับค่า 1 ทำให้ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ออกมา นั้นมีค่าค่อนข้างต่างกับข้อมูลธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติของแต่ละปัจจัยนั้นจะถูกรวบรวมเพื่อไปทำ

การทดสอบประสิทธิภาพของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันอย่างไร อีกทั้งยังทำการทดสอบสมมติฐานของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสเพื่อดูว่าตรงกับข้อมูลธรรมชาติหรือไม่และรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังในภาพที่ 4.213 ซึ่งแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าสถิติของปัจจัยหลัก A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสัน



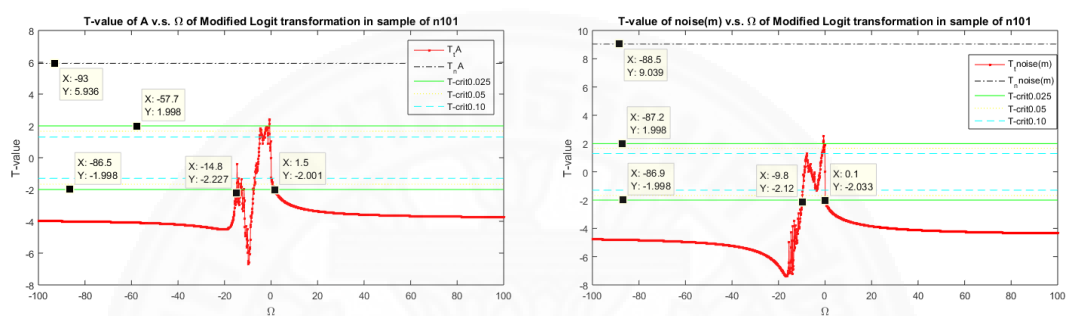
ภาพที่ 4.213 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงบวกปัจจัยหลัก A และ B กับค่าแลมบ์ดาของการแปลงแบบเยว์และจอห์นสัน



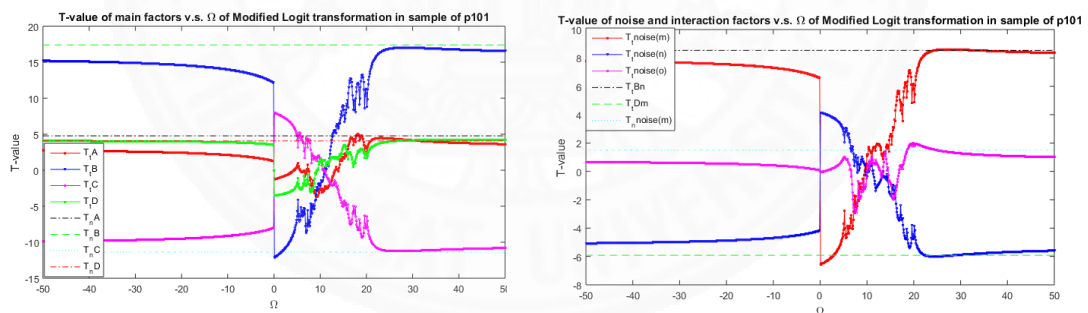
ภาพที่ 4.214 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.214 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงลบชุดที่ 101 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยมีลักษณะไม่คงที่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ -20 ถึง 0 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะค่อนข้างเป็นตรงที่ไม่ลู่เข้าหาค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติตลอดช่วงค่าโอเมก้าทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าโอเมก้าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 500 ให้

ผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ออกมา นั้นมีค่าแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติของแต่ละปัจจัยนั้นจะถูกรวบรวมเพื่อไปทำการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อการแปลงข้อมูลแบบโลจิทอย่างไร อีกทั้งยังทำการทดสอบสมมติฐานของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสเพื่อดูว่าตรงกับข้อมูลธรรมชาติหรือไม่และรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังในภาพที่ 4.215 ซึ่งแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าสถิติของปัจจัยหลัก A และปัจจัยรบกวน กับค่าโอเมก้าของการแปลงข้อมูลแบบโลจิท



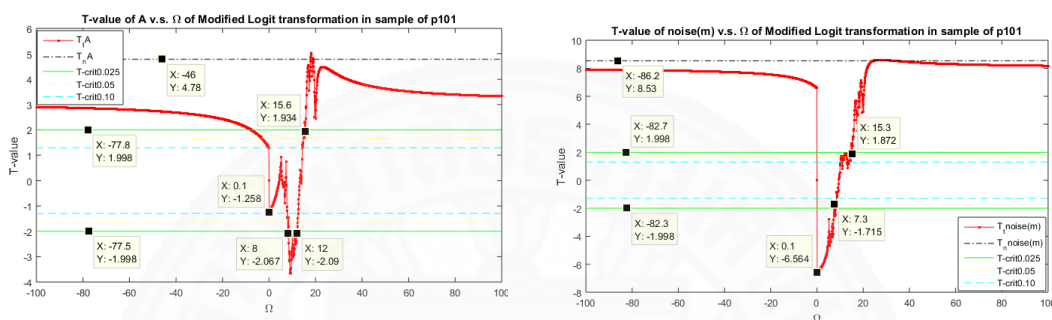
ภาพที่ 4.215 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงลบปัจจัยหลัก A และ m กับค่าโอเมก้าในการแปลงแบบโลจิท



ภาพที่ 4.216 กราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test กับตัวแปรการแปลงแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.216 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติ T-test กับค่าในการแปลงข้อมูลแบบโลจิทของข้อมูลเชิงบวกชุดที่ 101 พบว่า เส้นกราฟของค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยมีลักษณะไม่คงที่ในช่วงของค่าโอเมก้าที่ประมาณ 0 ถึง 20 นอกจากช่วงดังกล่าว กราฟมีลักษณะค่อนข้างเป็นตรงที่ลู่ออกค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติตลอดช่วงค่าโอเมก้าทั้งด้านบวกและลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าโอเมก้าที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีภาวะน่าจะเป็นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.1 ให้ผลลัพธ์

ของแต่ละปัจจัยที่ออกมา นั้นมีค่าแตกต่างกับข้อมูลธรรมชาติเป็นอย่างมาก มาก อย่างไรก็ตาม ค่าสถิติของแต่ละปัจจัยนั้นจะถูกรวบรวมเพื่อไปทำการทดสอบอรรถิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนว่ามีผลต่อการแปลงข้อมูลแบบโลจิทอย่างไร อีกทั้งยังทำการทดสอบสมมติฐานของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสเพื่อดูว่าตรงกับข้อมูลธรรมชาติหรือไม่และรวบรวมผลการทดสอบเพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังในภาพที่ 4.217 ซึ่งแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าสถิติของปัจจัยหลัก A และปัจจัยรบกวน กับค่าโอเมก้าของการแปลงข้อมูลแบบโลจิท



ภาพที่ 4.217 ความสัมพันธ์ค่า T-test ของข้อมูลเชิงบวกปัจจัยหลัก A และ B กับค่าโอเมก้าในการแปลงแบบโลจิท

4.2.2.3 ผลการดำเนินการทดลอง

หลังจากยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้การหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมด้วยวิธีการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าสถิติ T-test และอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ กับตัวแปรของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี ในส่วนของการดำเนินการทดลองได้รวบรวมผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณและการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์จากการรันโปรแกรมคำนวณแมทแลปในทุกสถานการณ์ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกแล้ว ได้นำผลลัพธ์เพื่อทำการวัดประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี ซึ่งแบ่งการวัดผลออกตามวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ทั้ง 3 กรณี จะทำการวัดประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลจากจำนวนผลลัพธ์ของคัดเลือกการจัดอันดับและการเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ รวมถึงการศึกษาอรรถิพลของแต่ละปัจจัยที่กำหนดไว้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบอย่างไร

2. ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพหุคูณ จะทำการวัดประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลจากการเปรียบเทียบความแม่นยำ (Accuracy) ได้จากค่าเฉลี่ยของ (ΔT_0) และสัดส่วนผล

ค่าต่างของ $(\Delta T_0/T_n)$ ของค่าสถิติ T-test ของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ และในด้านความเที่ยงตรง (Precision) ซึ่งพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ อีกทั้งยังเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติ รวมถึงศึกษาขนาด อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่กำหนดไว้ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบอย่างไร

1. การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์

ตารางที่ 4.255

จำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Negative Number				Positive Number			
ANOM	PB	YJ	LG	ANOM	PB	YJ	LG
Treatment (1)	0	127	25	Treatment (1)	113	128	82
Parameter (2)	107	117	47	Parameter (2)	108	119	44
All (1 & 2)	0	116	23	All (1 & 2)	103	119	32
S/N_S	PB	YJ	LG	S/N_S	PB	YJ	LG
Treatment (1)	98	118	0	Treatment (1)	108	122	0
Parameter (2)	60	126	96	Parameter (2)	53	125	95
All (1 & 2)	44	116	0	All (1 & 2)	45	119	0
S/N_L	PB	YJ	LG	S/N_L	PB	YJ	LG
Treatment (1)	65	125	0	Treatment (1)	59	123	0
Parameter (2)	47	127	85	Parameter (2)	40	126	81
All (1 & 2)	32	124	0	All (1 & 2)	22	121	0
S/N_T	PB	YJ	LG	S/N_T	PB	YJ	LG
Treatment (1)	0	110	27	Treatment (1)	0	107	16
Parameter (2)	1	120	58	Parameter (2)	2	123	51
(3) = (1 & 2)	0	105	15	(3) = (1 & 2)	0	102	9
All = (3) & ANOM	0	98	6	All = (3) & ANOM	0	95	5

จากตารางที่ 4.255 แสดงถึง การเปรียบเทียบจำนวนผลการคัดเลือกการจัดอันดับของวิธีปฏิบัติ (Treatment) และ ปัจจัย (Parameter) ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ รวมถึงผลการคัดเลือกทั้งวิธีปฏิบัติและปัจจัยทั้งสองอย่าง (All) ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์

อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ ที่ได้รวบรวมทั้งหมด 128 สถานการณ์ ทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและเชิงลบ พบว่า

1) กรณียิ่งน้อยยิ่งดี

ทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของจำนวนครั้งการคัดเลือกการจัดอันดับทั้งวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด รวมถึงเมื่อพิจารณาการจัดอันดับของทั้งสองอย่าง (วิธีปฏิบัติและปัจจัย (All)) นั้นให้ผลลัพธ์ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดเช่นกัน ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่รองลงมา และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่มากที่สุดและไม่เหมาะที่จะใช้เข้ารหัสข้อมูลซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติแค่ในส่วนของปัจจัยเท่านั้น ส่วนที่เหลือให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติเท่ากับ 0

2) กรณียิ่งมากยิ่งดี

ทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของจำนวนครั้งการคัดเลือกการจัดอันดับทั้งวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด รวมถึงเมื่อพิจารณาการจัดอันดับของทั้งสองอย่าง (วิธีปฏิบัติและปัจจัย (All)) นั้นให้ผลลัพธ์ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดเช่นกัน ซึ่งให้ผลลัพธ์โดยรวมที่ดีกว่ากรณียิ่งน้อยยิ่งดี ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์โดยรวมที่รองลงมาและมีผลลัพธ์โดยรวมที่น้อยกว่ากรณียิ่งน้อยยิ่งดี และการแปลงแบบโลจิตยังคงให้ผลลัพธ์ที่แย่มากที่สุดเหมือนกับกรณียิ่งน้อยยิ่งดี และไม่เหมาะที่จะใช้เข้ารหัสข้อมูลซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติแค่ในส่วนของปัจจัยเท่านั้น ส่วนที่เหลือให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติเท่ากับ 0

3) กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด

ในส่วนของกรณีนี้จะมีการพิจารณาการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่เพิ่มเข้าไปในการเปรียบเทียบ จากกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของจำนวนครั้งการคัดเลือกการจัดอันดับทั้งวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด รวมถึงเมื่อพิจารณาการจัดอันดับของทั้งสามอย่าง (วิธีปฏิบัติและปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและอัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (All)) นั้นให้ผลลัพธ์ตรงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดเช่นกัน ส่วนการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาแต่มีผลลัพธ์โดยรวม (All) ตรงกับข้อมูลธรรมชาติที่น้อยมาก และการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่มากที่สุดคือให้ผลลัพธ์โดยรวม (All) ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติเลย

จากผลการเปรียบเทียบการจัดอันดับที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 กรณี นั้น แสดงให้เห็นว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีประสิทธิภาพเข้ารหัสข้อมูลมากที่สุดในทุกกรณี ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคมีประสิทธิภาพที่รองลงมาเฉพาะให้กรณียิ่งน้อยยิ่งดีและยิ่งมากยิ่งดีเท่านั้น และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาเฉพาะกรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด

จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนขึ้นในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 2 ระดับและผลตอบสนอง (Response) คือสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ในแต่ละปัจจัย $\left(\left| \frac{\Delta S/N_n - \Delta S/N_t}{\Delta S/N_n} \right| \right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 128 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติ ในทุกปัจจัย ดังนั้น จึงเลือกใช้การทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-Parametric test) ในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 3 กรณี เพื่อดูว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยมีผลต่อวิธีการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.256, 4.257, และ 4.258

ตารางที่ 4.256

ผลการทดสอบสมมติฐานของจำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Kruskal-Walis Summary Result : P-Value (Negative Number)								
Case: S/N (Smaller is Better)								
	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
Main Effect	1	0.001	0.232	0.454	A	0.579	0.683	0.706
	2	0.091	0.283	0.943				
	3	0.001	0.568	0.425	B	0.920	0.411	0.949
	4	0.034	0.216	0.884				
	5	0.252	0.310	0.355	C	0.985	0.563	0.776
	6	0.195	0.324	0.530				
	7	0.956	0.292	0.466	D	0.762	0.493	0.493
	8	0.930	0.331	0.841				
	9	0.001	0.419	0.419				
Noise Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.000	0.000	0.000	A	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000				
	3	0.000	0.000	0.000	B	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.000				
	5	0.000	0.000	0.000	C	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000				
	7	0.000	0.000	0.000	D	0.000	0.000	0.000
	8	0.000	0.000	0.000				
9	0.000	0.000	0.000					
Kruskal-Walis Summary Result : P-Value (Positive Number)								
Case: S/N (Smaller is Better)								
	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
Main Effect	1	0.409	0.259	0.885	A	0.715	0.475	0.715
	2	0.237	0.191	0.602				
	3	0.465	0.201	0.556	B	0.958	0.484	0.693
	4	0.651	0.191	0.642				
	5	0.942	0.189	0.971	D	0.964	0.477	0.813
	6	0.254	0.175	0.621				
	7	0.567	0.205	0.761	D	0.973	0.418	0.611
	8	0.077	0.151	0.781				
	9	0.066	0.066	0.842				
Noise Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.000	0.000	0.000	A	0.000	0.001	0.000
	2	0.000	0.000	0.000				
	3	0.000	0.000	0.000	B	0.000	0.001	0.000
	4	0.000	0.001	0.000				
	5	0.000	0.001	0.000	C	0.000	0.001	0.000
	6	0.000	0.001	0.000				
	7	0.000	0.001	0.000	D	0.000	0.003	0.000
	8	0.000	0.001	0.000				
9	0.000	0.001	0.000					

ตารางที่ 4.257

ผลการทดสอบสมมติฐานของจำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งมากยิ่งดี) ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Kruskal-Walis Summary Result : P-Value (Negative Number)								
Case: S/N (Larger is Better)								
Main Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.001	0.708	0.182	A	0.419	0.271	0.533
	2	0.109	0.359	0.802				
	3	0.001	0.208	0.690	B	0.830	0.325	0.873
	4	0.032	0.718	0.319				
	5	0.291	0.437	0.513	C	0.979	0.349	0.956
	6	0.178	0.328	0.599				
	7	0.956	0.443	0.708	D	0.977	0.320	0.837
	8	0.992	0.350	0.536				
	9	0.001	0.209	0.833				
Noise Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.000	0.000	0.000	A	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000				
	3	0.000	0.000	0.000	B	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.000				
	5	0.000	0.000	0.000	C	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000				
	7	0.000	0.000	0.000	D	0.000	0.000	0.000
	8	0.000	0.000	0.000				
	9	0.000	0.000	0.000				
Kruskal-Walis Summary Result : P-Value (Positive Number)								
Case: S/N (Larger is Better)								
Main Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.001	0.190	0.382	A	0.336	0.212	0.877
	2	0.111	0.221	0.699				
	3	0.001	0.319	0.072	B	0.894	0.148	0.651
	4	0.045	0.351	0.824				
	5	0.235	0.261	0.660	C	0.935	0.154	0.466
	6	0.209	0.478	0.476				
	7	0.998	0.293	0.839	D	0.945	0.217	1.000
	8	0.888	0.534	0.560				
	9	0.001	0.636	0.340				
Noise Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG
	1	0.000	0.000	0.000	A	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	0.000				
	3	0.000	0.000	0.000	B	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.000				
	5	0.000	0.000	0.000	C	0.000	0.000	0.000
	6	0.000	0.000	0.000				
	7	0.000	0.000	0.000	D	0.000	0.000	0.000
	8	0.000	0.000	0.000				
	9	0.000	0.000	0.000				

ตารางที่ 4.258

ผลการทดสอบสมมติฐานของจำนวนครั้งของผลการคัดเลือกและจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในการวิเคราะห์ S/N (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Kruskal-Walis Summary Result : P-Value (Negative Number)									
Case: S/N (Nominal is the Best)									
Main Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG	
	1		0.001	0.135	0.004	A	0.614	0.787	0.747
		2	0.161	0.187	0.612				
	3		0.001	0.869	0.003	B	0.565	0.159	0.897
		4	0.017	0.262	0.225				
	5		0.343	0.320	0.533	C	0.306	0.238	0.479
		6	0.280	0.497	0.602				
	7		0.678	0.199	0.945	D	0.383	0.869	0.901
		8	0.802	0.597	0.832				
	9		0.001	0.629	0.030				
Noise Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG	
	1		0.000	0.000	0.000	A	0.325	0.135	0.001
		2	0.000	0.000	0.000				
	3		0.000	0.000	0.000	B	0.000	0.041	0.000
		4	0.000	0.000	0.000				
	5		0.000	0.000	0.000	C	0.000	0.875	0.000
		6	0.000	0.001	0.000				
	7		0.000	0.006	0.000	D	0.065	0.827	0.015
		8	0.000	0.000	0.000				
	9		0.000	0.000	0.000				
Kruskal-Walis Summary Result : P-Value (Positive Number)									
Case: S/N (Nominal is the Best)									
Main Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG	
	1		0.001	0.429	0.001	A	0.326	0.794	0.822
		2	0.189	0.697	0.460				
	3		0.001	0.073	0.028	B	0.817	0.720	0.845
		4	0.036	0.845	0.113				
	5		0.131	0.207	0.729	C	0.272	0.968	0.914
		6	0.275	0.579	0.718				
	7		0.832	0.268	0.833	D	0.856	0.342	0.994
		8	0.541	0.579	0.395				
	9		0.002	0.220	0.04				
Noise Effect	Treatment	PB	YJ	LG	Parameter	PB	YJ	LG	
	1		0.000	0.011	0.000	A	0.001	0.086	0.000
		2	0.000	0.012	0.000				
	3		0.000	0.055	0.000	B	0.000	0.923	0.000
		4	0.000	0.068	0.000				
	5		0.000	0.005	0.000	C	0.000	0.300	0.000
		6	0.000	0.034	0.000				
	7		0.000	0.020	0.000	D	0.001	0.004	0.001
		8	0.000	0.011	0.000				
	9		0.000	0.023	0.000				

จากตารางที่ 4.256, 4.257, และ 4.258 แสดงค่า P-value ของการทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ของวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) ในการทดลอง Taguchi ทั้งกรณียิ่งน้อยยิ่งดี กรณียิ่งมากยิ่งดี และกรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด ตามลำดับ และพิจารณาทั้งกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ สามารถสรุปได้ว่า

การทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองในการแปลงแบบเขี้ยวและจอห์นสัน พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า S/N ทั้งในส่วนของวิธีปฏิบัติและปัจจัยทั้งหมดซึ่งให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันทั้ง 3 กรณีในข้อมูลเชิงบวกและลบ ส่วนอิทธิพลของปัจจัยรบกวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ทั้งในส่วนของวิธีปฏิบัติและปัจจัยทั้งกรณียิ่งน้อยยิ่งดี และกรณียิ่งมากยิ่งดี แต่ในกรณีตรงเป้าหมายดีที่สุดอิทธิพลของปัจจัยรบกวนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ใน ปัจจัย A, C, D สำหรับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนกรณีข้อมูลเชิงบวกอิทธิพลของปัจจัยรบกวนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ในวิธีปฏิบัติที่ 3, 4 และ ปัจจัย A, B, C

การทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองในการแปลงแบบพาราโบลิค พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า S/N ในวิธีปฏิบัติที่ 1, 3, 4, และ 9 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันทั้ง 3 กรณีในข้อมูลเชิงบวกและลบ ส่วนอิทธิพลของปัจจัยรบกวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ทั้งในส่วนของวิธีปฏิบัติและปัจจัยทั้งหมดในกรณียิ่งน้อยยิ่งดี และกรณียิ่งมากยิ่งดี แต่ในกรณีตรงเป้าหมายดีที่สุดอิทธิพลของปัจจัยรบกวนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ใน ปัจจัย A และ D สำหรับกรณีข้อมูลเชิงลบ ส่วนกรณีข้อมูลเชิงบวกอิทธิพลของปัจจัยรบกวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ใน ทุกปัจจัย

การทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองในการแปลงแบบโลจิท พบว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า S/N ในวิธีปฏิบัติที่ 1, 3, และ 9 ในกรณีตรงเป้าหมายดีที่สุดทั้งในข้อมูลเชิงบวกและลบ ส่วนอิทธิพลของปัจจัยรบกวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า S/N ทั้งในส่วนของวิธีปฏิบัติและปัจจัยทั้งหมด ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันทั้ง 3 กรณีในข้อมูลเชิงบวกและลบ

ตารางที่ 4.259

ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติในการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ กรณีที่ปฏิเสหสมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Patabolic Transformation (Larger is better)									
Kruskal-Wallis test on PB_At_4 (Negative)					Kruskal-Wallis test PB_At_4 (Positive)				
Main effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	256	4.732	270.5	2.14	1	256	4.323	244.5	-1.84
2	256	4.401	242.5	-2.14	2	256	4.609	268.5	1.84
Overall	512		256.5		Overall	512		256.5	
H =	DF = 1	P = 0.032			H =	DF = 1	P = 0.045		
Kruskal-Wallis test on PB_At_4 (Negative)					Kruskal-Wallis test PB_At_4 (Positive)				
Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z	Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	192	4.032	150.6	-7.40	1	192	5.287	233.5	7.24
2	192	5.236	234.4	7.40	2	192	4.027	151.5	-7.24
Overall	384		192.5		Overall	384			
H =	DF = 1	P = 0.000			H =	DF = 1	P = 0.000		
Yeo&Johnson Transformation (Target is the Best)									
Kruskal-Wallis test on Parabolic YJ_B (Negative)					Kruskal-Wallis test YJ_D (Positive)				
Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z	Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	192	0.02089	204.0	2.04	1	192	0.01813	208.6	2.85
2	192	0.01669	181.0	-2.04	2	192	0.01323	176.4	-2.85
Overall	384		192.5		Overall	384		192.5	
H =	DF = 1	P = 0.041			H =	DF = 1	P = 0.004		
Logit Transformation (Target is the Best)									
Kruskal-Wallis test on LG_At_3 (Negative)					Kruskal-Wallis test LG_At_3 (Positive)				
Main effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	256	0.6196	236.9	-3.00	1	256	0.6854	270.8	2.19
2	256	0.7167	276.1	3.00	2	256	0.5984	242.2	-2.19
Overall	512		256.5		Overall	512		256.5	
H =	DF =	P = 0.003			H =	DF = 1	P = 0.028		
Kruskal-Wallis test on LG_At_3 (Negative)					Kruskal-Wallis test LG_At_3 (Positive)				
Main effect	N	Median	Ave Rank	Z	Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	192	0.06121	146.2	-8.17	1	192	0.81671	240.7	8.51
2	192	0.81421	238.8	8.17	2	192	0.03943	144.3	-8.51
Overall	384		192.5		Overall	384		192.5	
H =	DF = 1	P = 0.000			H =	DF = 1	P = 0.000		

จากตารางที่ 4.259 ตัวอย่างตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติในการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ กรณีที่ปฏิเสหสมมติฐาน เมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานจากผลการทดสอบของครัสคัล-วัลลิส พบว่า

การแปลงแบบพาราโบลิก (จากตัวอย่างการทดสอบสมมติฐาน วิธีปฏิบัติของ S/N ที่ 4 กรณียิ่งมกยิ่งดี) ในกรณีข้อมูลเชิงลบ เมื่อค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักเปลี่ยนเครื่องจากกลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของ S/N มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมาก

ขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงบวกที่การเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าอิทธิพลทำให้สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติลดลง ส่วนอิทธิพลของปัจจัยรบกวนในกรณีข้อมูลเชิงลบเมื่อเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของ S/N มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติลดลง ซึ่งตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงบวกที่การเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าอิทธิพลทำให้สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น

การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (จากตัวอย่างการทดสอบสมมติฐาน ค่า S/N ของปัจจัย B และ D กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ เมื่ออิทธิพลของปัจจัยรบกวนเมื่อเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของ S/N มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น

การแปลงแบบโลจิต (จากตัวอย่างการทดสอบสมมติฐาน วิธีปฏิบัติของ S/N ที่ 4 กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ในกรณีข้อมูลเชิงลบ เมื่อค่าอิทธิพลของปัจจัยหลักเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของ S/N มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติลดลง ซึ่งตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงบวกที่การเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าอิทธิพลทำให้สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ส่วนอิทธิพลของปัจจัยรบกวนในกรณีข้อมูลเชิงลบ เมื่อเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของ S/N มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติลดลง ซึ่งตรงข้ามกับกรณีข้อมูลเชิงบวกที่การเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าอิทธิพลทำให้สัดส่วนผลต่างของค่าเฉลี่ยมีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การแปลงข้อมูลในทุกวิธีที่กำหนดไว้ ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ของค่า S/N ที่ตรงหรือใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติได้ ดังนั้นไม่ว่าการทดลอง จะกำหนดปัจจัย และปัจจัยรบกวนไว้เท่าไรก็ตาม ให้เลือกวิธีการแปลงข้อมูลที่ให้ผลลัพธ์การจัดอันดับและคัดเลือกที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

2.การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 4.260

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างค่าสถิติในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ของข้อมูลเชิงบวกและลบในการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน

SD and Mean in Result of Negative Number												
Factor (T ₀)	Abs(T _{0_natural} - T _{0_coded})						(Abs(T _{0_natural} - T _{0_coded})/F _{0_natural})					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	14.79	0.21	10.13	3.82	0.31	2.17	1.99	0.03	1.40	0.09	0.04	0.27
B	42.35	0.19	33.10	6.21	0.25	5.11	1.96	0.01	1.54	0.11	0.01	0.17
C	28.72	0.18	22.12	3.53	0.22	3.16	1.97	0.01	1.52	0.10	0.02	0.17
D	15.17	0.18	12.35	0.14	0.21	2.67	1.95	0.02	1.61	0.14	0.03	0.26
m	17.34	0.06	11.07	2.83	0.07	3.41	1.95	0.01	1.58	0.13	0.01	0.20
n	13.73	0.07	13.96	4.20	0.10	2.77	1.96	0.01	1.57	0.12	0.01	0.20
o	4.46	0.09	3.38	1.80	0.10	1.89	2.14	0.3	1.65	0.47	2.69	9.5

SD and Mean in Result of Positive Number												
Factor (T ₀)	Abs(T _{0_natural} - T _{0_coded})						(Abs(T _{0_natural} - T _{0_coded})/F _{0_natural})					
	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}	AV _{PB}	AV _{YJ}	AV _{LG}	SD _{PB}	SD _{YJ}	SD _{LG}
A	0.67	0.26	3.41	1.53	0.33	2.16	0.09	0.04	0.47	0.21	0.05	0.29
B	1.46	0.19	9.37	3.22	0.27	3.93	0.06	0.01	0.44	0.14	0.01	0.16
C	1.06	0.16	6.27	2.36	0.22	2.84	0.71	0.01	0.43	0.15	0.02	0.17
D	0.57	0.16	3.14	1.39	0.24	1.82	0.08	0.02	0.43	0.19	0.03	0.22
m	0.71	0.07	3.75	1.45	0.10	1.89	0.07	0.01	0.42	0.15	0.01	0.18
n	0.49	0.07	2.77	1.03	0.12	1.51	0.07	0.01	0.42	0.14	0.02	0.19
o	0.22	0.08	1.12	0.44	0.09	0.85	0.14	0.25	1.23	0.40	2.27	6.39

จากตารางที่ 4.260 แสดงถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างและสัดส่วนของค่าสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่าง (ΔT_0) และสัดส่วนของผลต่าง ($\Delta T_0/T_n$) ในทุกปัจจัย โดยกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงข้อมูลแบบเขาวัวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดแสดงให้เห็นถึงความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด ส่วนการแปลงแบบ

พาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิทในกรณีข้อมูลเชิงลบ แต่ในกรณีข้อมูลเชิงบวกการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค

ตารางที่ 4.261

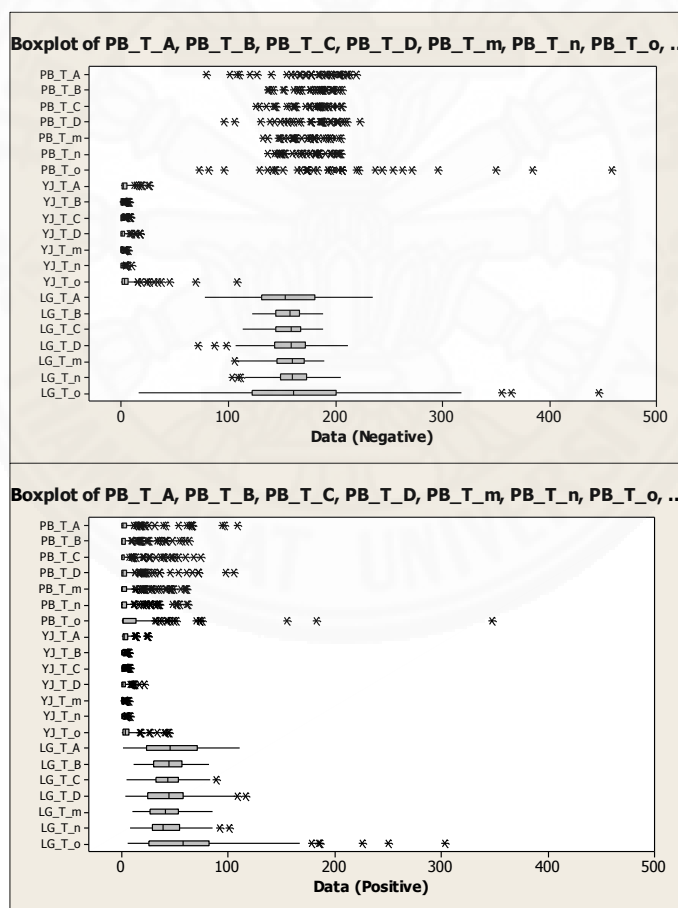
ตารางเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมติฐาน T -test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสเชิงบวกและลบในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Factor (T_0)	H_0 reject (Negative Number)											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	128	128	128	122	122	124	128	128	128	101	106	112
B	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
C	128	128	128	128	128	128	128	128	128	127	128	128
D	128	128	128	126	126	126	128	128	128	115	120	122
m	128	128	128	128	128	128	128	128	128	122	124	124
n	128	128	128	128	128	128	128	128	128	116	118	121
o	74	87	96	70	82	95	75	87	96	36	46	65
Factor (T_0)	H_0 reject (Positive Number)											
	Natural			Parabolic			Yeo&Johnson			Logit		
	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10	0.025	0.05	0.10
A	128	128	128	128	128	128	128	128	128	96	101	108
B	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
C	128	128	128	128	128	128	128	128	128	127	128	128
D	128	128	128	126	126	126	128	128	128	113	118	122
m	128	128	128	128	128	128	128	128	128	124	125	127
n	128	128	128	128	128	128	128	128	128	114	119	120
o	74	87	96	62	78	91	75	87	97	25	37	60

จากตารางที่ 4.261 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานค่าสถิติ T -test ของข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในกรณีเชิงลบและบวกภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบและบวกให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญยกเว้นปัจจัย ๐ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาโดยให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกปัจจัยที่ทุกระดับนัยสำคัญยกเว้นปัจจัย D และ ๐ และการแปลงโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่งที่สุดโดยใช้ผลลัพธ์ของปัจจัย B เท่านั้นที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐาน T-test ในทุกสถานการณ์ทั้งข้อมูลเชิงบวกและลบที่ทุกระดับนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลที่มีความทนทานต่อปัจจัยต่างๆมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกและโลจิต ส่วนการแปลงข้อมูลที่มีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุดคือการแปลงแบบโลจิต



ภาพที่ 4.218 การเปรียบเทียบสัดส่วนของผลต่างค่า T_0 ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

จากภาพที่ 4.219 แสดงถึงผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสภายใต้เงื่อนไขทุกสถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟ Box-plot พบว่า

กรณีข้อมูลเชิงลบ การแปลงแบบยาวและจอห์นสัน (YJ) มีสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ของทุกปัจจัยที่มีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากที่สุด และมีการกระจายตัวของข้อมูลที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในด้านของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T-test ระหว่างข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสของทุกปัจจัยที่มีศูนย์กลางข้อมูลของ %Diff อยู่ประมาณ 150% แต่การกระจายตัวของข้อมูลมีค่ามากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ของสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F-test ที่แย่ที่สุดในทุกปัจจัย โดยมีศูนย์กลางข้อมูลของ %Diff อยู่ที่ประมาณ 190% แต่มีการกระจายตัวที่น้อยกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค

กรณีข้อมูลเชิงบวก การแปลงยาวและจอห์นสัน (YJ) ยังคงมีสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test แนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล (Central tendency) ใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากที่สุดและมีการกระจายตัวที่น้อยที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิค (PB) มีผลลัพธ์ของแนวโน้มศูนย์กลางข้อมูลที่ใกล้เคียงศูนย์น้อยกว่าและการกระจายตัวของข้อมูลที่มากกว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสัน และการแปลงแบบโลจิทมีผลลัพธ์ที่แย่ที่สุดในด้านแนวโน้มศูนย์กลางข้อมูลซึ่งอยู่ประมาณ 50% แต่มีการกระจายตัวที่น้อยกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค

จากรูปแบบสมการจำลองข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบของการออกแบบการทดลองแบบ Taguchi กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกที่ได้กำหนดขึ้นซึ่งมีการกำหนดขนาดของอิทธิพลของปัจจัยหลักในสมการว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร จึงได้ทำการทดสอบสมมติฐานของการทดลองทั้งหมด โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลของแต่ละปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัยเป็นวิธีปฏิบัติ (Treatment) ซึ่งมีระดับ (Level) ของขนาดอิทธิพลในแต่ละปัจจัย 2 ระดับและผลตอบสนอง (Response) คือเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test $\left(\left|\frac{T_n - T_t}{T_n}\right|\right)$ ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีโดยแบ่งเป็นกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ โดยแต่ละกรณีมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 128 สถานการณ์ จากการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่มีการแจกแจงแบบปกติในทุกปัจจัยดังนั้น จึงเลือกใช้การทดสอบครัสคัล-วัลลิส (Kruskal-Wallis test) ซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-Parametric test) ในการทดสอบสมมติฐานเพื่อดูว่าอิทธิพลของแต่ละปัจจัยมีผลต่อวิธีการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีอย่างไร ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.262

ตารางที่ 4.262

ผลการทดสอบครัสคัล-วัลลิส ของค่าสถิติ T-test ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ในการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Kruskal-Walis Summary Result: P-Value (Negative Number)				
T-test for Multiple Linear Regression				
Main Effect	Parameter	PB	YJ	LG
	A	0.763	0.371	0.534
	B	0.170	0.662	0.756
	C	0.302	0.631	0.894
	D	0.695	0.983	0.774
	m	0.394	0.815	0.826
	n	0.214	0.606	0.465
	o	0.928	0.964	0.568
Noise Effect	Parameter	PB	YJ	LG
	A	0.003	0.827	0.000
	B	0.000	0.718	0.000
	C	0.000	0.703	0.000
	D	0.000	0.319	0.000
	m	0.000	0.209	0.000
	n	0.000	0.289	0.000
	o	0.048	0.679	0.243
Kruskal-Walis Summary Result: P-Value (Positive Number)				
T-test for Multiple Linear Regression				
Main Effect	Parameter	PB	YJ	LG
	A	0.747	0.469	0.449
	B	0.658	0.164	0.586
	C	0.941	0.502	0.611
	D	0.612	0.490	0.583
	m	0.930	0.479	0.503
	n	0.794	0.202	0.616
	o	0.994	0.555	0.403
Noise Effect	Parameter	PB	YJ	LG
	A	0.000	0.517	0.000
	B	0.000	0.714	0.000
	C	0.000	0.747	0.000
	D	0.000	0.798	0.000
	m	0.000	0.755	0.000
	n	0.000	0.503	0.000
	o	0.000	0.695	0.919

จากการทดสอบสมมติฐานของผลตอบสนองสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของข้อมูลเชิงบวกและลบ พบว่า ทั้งในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ การแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสัน ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ในทุกปัจจัยซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนในรูปแบบการทดลองนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลาและลอจิท อิทธิพลของปัจจัยรบกวน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัย และการแปลงแบบโลจิท อิทธิพลของปัจจัยรบกวน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติ T-test ในทุกปัจจัยยกเว้นปัจจัย ๐

ตารางที่ 4.263

ตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ T-Test กรณีที่ปฏิเสธสมมติฐาน ของการออกแบบการทดลอง Taguchi กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก

Negative Number									
Kruskal-Wallis test on Parabolic (T_C)					Kruskal-Wallis test on Logit (T_C)				
Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	192	199.9	222.0		1	192	161.8	226.3	5.96
2	192	196.8	163.0		2	192	151.2	158.7	-5.96
Overall	384		192.5		Overall	384		192.5	
H = 27.04	DF = 1	P = 0.000			H = 35.54	DF = 1	P = 0.000		
Positive Number									
Kruskal-Wallis test on Parabolic (T_C)					Kruskal-Wallis test on Logit (T_C)				
Noise effect	N	Median	Ave Rank	Z	Main effect	N	Median	Ave Rank	Z
1	192	0.4435	227.8	6.23	1	192	50.8	226.5	6.00
2	192	0.1936	157.2	-6.23	2	192	36.83	158.5	-6.00
Overall	384		192.5		Overall	384		192.5	
H = 38.87	DF = 1	P = 0.000			H =	DF = 1	P = 0.000		

จากตารางที่ 4.263 ตัวอย่างตัวอย่างการทดสอบครัสคัล-วัลลิสของค่าสถิติ ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ กรณีที่ปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อพิจารณาค่ามัธยฐานจากผลการทดสอบของครัสคัล-วัลลิส พบว่า การแปลงแบบพาราโบลาและการแปลงแบบโลจิท (ตัวอย่างการทดสอบสมมติฐานของสถิติ T-test ของปัจจัย C) ทั้งในกรณีข้อมูลเชิงบวกและลบ เมื่ออิทธิพลของปัจจัยรบกวนเปลี่ยนเครื่องจากลบเป็นบวก สัดส่วนผลต่างของค่าสถิติมีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น

จากผลการทดสอบ Kruskal-Walis สรุปได้ว่า การแปลงแบบเยอร์วิและจอห์นสันมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนมากที่สุด รองลงมาคือ การแปลงแบบโลจิตทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกเล็กน้อย

4.3 การทดสอบและเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลอง

หลังจากการทดสอบและเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลที่จำลองขึ้นโดยโปรแกรมคำนวณแมทแลป ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจริงมาทดสอบการแปลงข้อมูลเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของผลลัพธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการจำลองและข้อมูลจริง โดยข้อมูลจริงที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลจากงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการกระจายของค่าหมุนหนีศูนย์ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรองรับของสปินเดิลมอเตอร์ฮาร์ดดิสก์” (จินตนา ภักดีกุล, 2552, น. 69-70) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิแบบครอสอาเรย์ $L_9 \times L_4$ ที่ใช้การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลต่อนอยด์กรณียิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is Better) เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ผลตอบสนอง (ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์) ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงข้อมูลจากการทดลองดังตารางที่ 4.264

ตารางที่ 4.264

ข้อมูลของการทดลองจริงที่ได้จากงานวิจัย

Cross Array $L_9 \times L_4$					Outer Array				
					D	-1	1	1	-1
Inner Array					E	-1	1	-1	1
					F	-1	-1	1	1
Run	A	B	C	D					
1	-1	-1	-1	-1	0.001010	0.000560	0.002312	0.00055	
2	-1	0	0	0	0.000850	0.001020	0.000702	0.00070	
3	-1	1	1	1	0.000720	0.001220	0.000902	0.00107	
4	0	-1	0	1	0.000400	0.001610	0.000503	0.00149	
5	0	0	1	-1	0.000750	0.000930	0.001803	0.00127	
6	0	1	-1	0	0.000610	0.000200	0.000896	0.00069	
7	1	-1	1	0	0.000260	0.000380	0.000700	0.00040	
8	1	0	-1	1	0.000150	0.001780	0.000210	0.00011	
9	1	1	0	-1	0.000150	0.000850	0.002264	0.00081	

จากตารางที่ 4.264 เป็นตารางข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริงซึ่งใช้การออกแบบการทดลองด้วยกลวิธีของทากูชิในการกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Inner Array) ประกอบด้วย

- ปัจจัย A คือ มุมกัดของใบมีดกลึง มี 3 ระดับคือ 38, 40, และ 42 องศา
- ปัจจัย B คือ มุมหลบของใบมีดกลึง มี 3 ระดับคือ 55, 60, และ 65 องศา
- ปัจจัย C คือ ความหนาของสารเคลือบผิวมีดกลึง มี 3 ระดับคือ น้อย, ปานกลาง, มาก (ความหนาของสารเคลือบเป็นมาตรฐานของผู้ผลิต)
- ปัจจัย D คือ ความเร็วของมีดกลึง มี 3 ระดับคือ 3,250, 3,450, และ 3,650 รอบต่อนาที

2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Outer Array) ประกอบด้วย

- ปัจจัย E คือ ตำแหน่งสารหล่อเย็น มี 2 ระดับคือ 20, 30 มิลลิเมตร
- ปัจจัย F คือ อุณหภูมิสารหล่อเย็น (ซึ่งไม่สามารถวัดโดยตรงได้จึงทำการเก็บข้อมูลเมื่อเครื่องจักรเปลี่ยนสารหล่อเย็นใหม่และหลังจากใช้งานสารหล่อเย็นไปแล้ว 1 เดือน) มี 2 ระดับคือ อุณหภูมิสารหล่อเย็นใหม่, อุณหภูมิสารหล่อเย็นเก่า
- ปัจจัย G คือ แรงสั่นสะเทือนของเครื่องจักร มี 2 ระดับคือ ไกล่ และ ไกล (เก็บข้อมูลจากเครื่องจักรประเภทเดียวกันที่อยู่ไกล่และไกลจากเครื่องจักรขนาดใหญ่)

4.3.1 การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี)

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์กรณียิ่งน้อยยิ่งดีของข้อมูลธรรมชาติที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.265

ตารางที่ 4.265

ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหาคูณย์ของแต่ละพารามิเตอร์ ณ ระดับปัจจัยต่างๆ

Level	A	B	C	D
1	59.75099	61.02873	60.74195	57.82934
2	60.204	60.19101	59.44908	64.0129
3	61.81492	60.55019	61.5789	59.92768
Delta	2.063929	0.837714	2.129822	6.183567
Rank	3	4	2	1

เมื่อนำข้อมูลของการทดลองจริงมาทดสอบการแปลงข้อมูลด้วยโปรแกรมคำนวณแมทแลป ซึ่งได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธี ดังแสดงตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.266

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลจากการทดลองจริง

Parabolic transformation				
Level	A	B	C	D
1	-108.294	-108.253	-108.223	-108.343
2	-108.28	-108.256	-108.287	-108.172
3	-108.194	-108.259	-108.258	-108.253
Delta	0.099471	0.005551	0.064252	0.170506
Rank	2	4	3	1
Yeo&Johnson transformation				
Level	A	B	C	D
1	59.78459	61.06333	60.78068	57.87591
2	60.23592	60.22618	59.48622	64.03179
3	61.85178	60.58278	61.60539	59.96459
Delta	2.067198	0.837153	2.119178	6.155885
Rank	3	4	2	1

ตารางที่ 4.266 (ต่อ)

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลจากการทดลองจริง

Logit transformation				
Level	A	B	C	D
1	-15.1932	-15.3723	-15.5548	-15.1985
2	-15.2757	-15.414	-15.2925	-15.4968
3	-15.6711	-15.3537	-15.2927	-15.4446
Delta	0.477901	0.060343	0.262214	0.298311
Rank	1	4	3	2

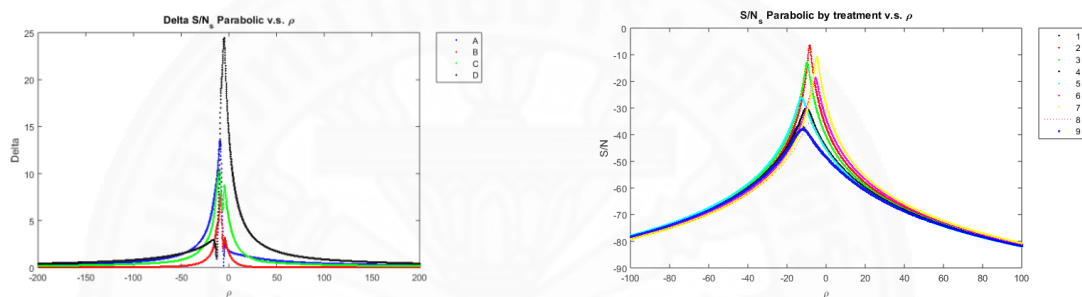
ตารางที่ 4.267

ผลลัพธ์การจัดอันดับของปัจจัย (Parameter) และการเรียงลำดับของวิธีปฏิบัติ (Treatment) ของการวิเคราะห์ S/N (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลจากการทดลองจริง

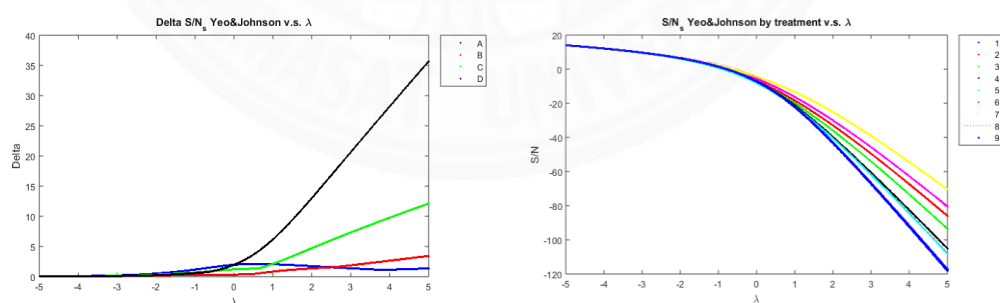
Rank of Parameter in Signal to Noise Ratios (Smaller is better)					
Result	Transformed Variable	1	2	3	4
Natural	1	D			
Parabolic	500	D	A	C	
Yeo&Johnson	0.96	D			
Logit	0.1	A	D	C	

Rank of Treatment in Signal to Noise Ratios (Smaller is better)										
Result	Transformed Variable	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Natural	1	9	3	5	6	7	2	1	4	8
Parabolic	500	8	4	5	6	9	3	1	2	7
Yeo&Johnson	0.96	9	3	5	6	7	2	1	4	8
Logit	0.1	3	4	2	5	1	7	8	9	6

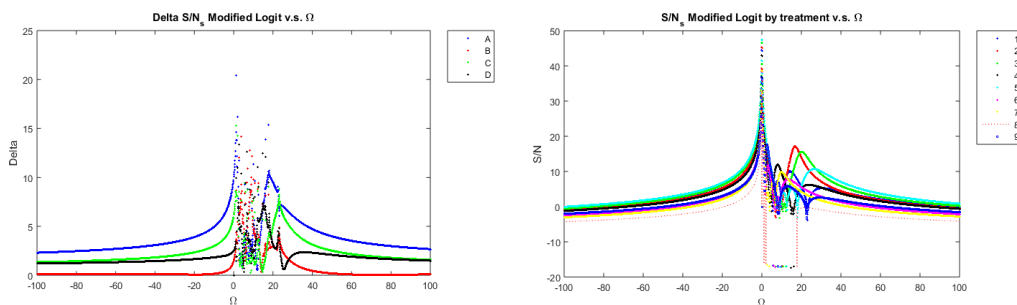
จากตารางที่ 4.266 และ 4.267 แสดงถึงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) และการจัดอันดับของปัจจัยและวิธีปฏิบัติของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี พบว่า การแปลงแบบเฮอร์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ S/N ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุดรวมถึงการจัดอันดับของปัจจัยและวิธีปฏิบัติที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกและการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า S/N กับตัวแปรการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี (ภาพที่ 4.219 – 4.221) รวมถึงผลลัพธ์การหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดและผลลัพธ์การวิเคราะห์ส่วนซินอลทูนอยส์ข้างต้นซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของข้อมูลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 4.219 กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) การแปลงแบบพาราโบลิกของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์



ภาพที่ 4.220 กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) การแปลงแบบเฮอร์และจอห์นสันของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์



ภาพที่ 4.221 กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี)
การแปลงแบบโลจิทของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์

4.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

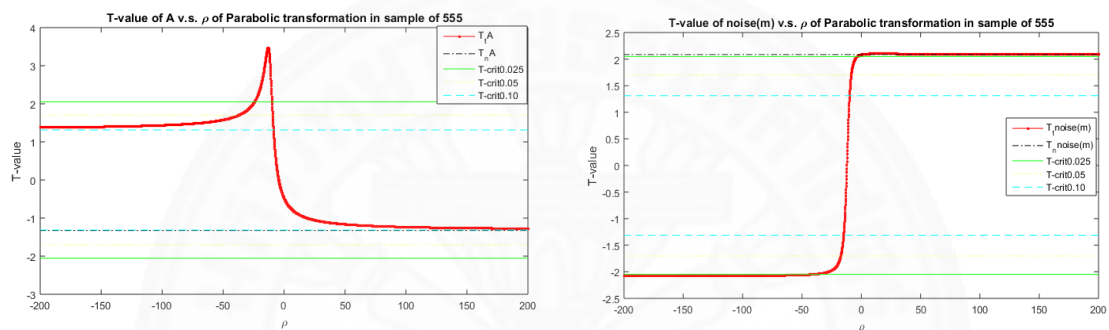
ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลธรรมชาติที่ได้จากการทดลอง
ดังแสดงในตารางที่ 4.268

ตารางที่ 4.268

ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลจากการทดลองจริง

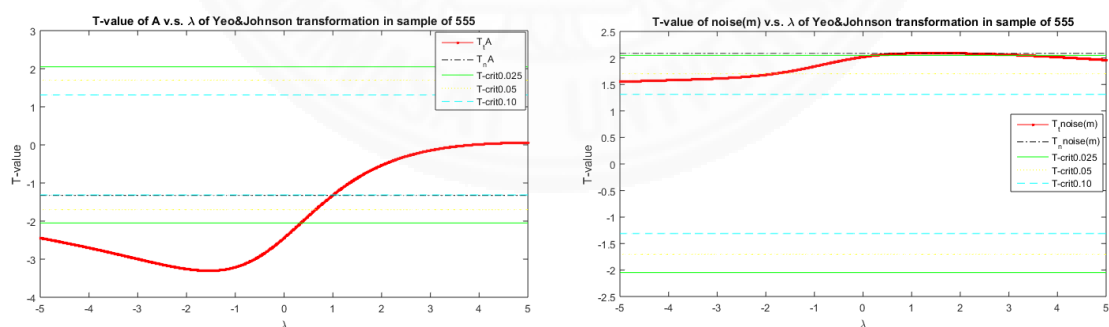
Result	Natural	Parabolic	Yeo&Johnson	Logit
Transformed Variable	1	500	0.96	0.1
T_A	-1.32446	-1.30542	-1.31245	-2.65131
T_B	0.077186	0.0722	0.07623	0.133428
T_C	0.49481	0.480616	0.48862	1.427907
T_D	-1.15369	-1.15422	-1.15322	-1.4022
T_E	2.086119	2.097528	2.0864	2.01153
T_F	0.136395	0.145442	0.136224	0.537518
T_G	1.197114	1.189142	1.198245	1.114182

จากตารางที่ 4.268 แสดงถึงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ และการจัดอันดับของปัจจัยและวิธีปฏิบัติของการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี พบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากกว่าการแปลงแบบโลจิท เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติกับตัวแปรการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธี (ภาพที่ 4.222 – 4.224) รวมถึงผลลัพธ์การหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดและผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณข้างต้นข้างต้นซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลองของข้อมูลที่ได้จากการจำลอง



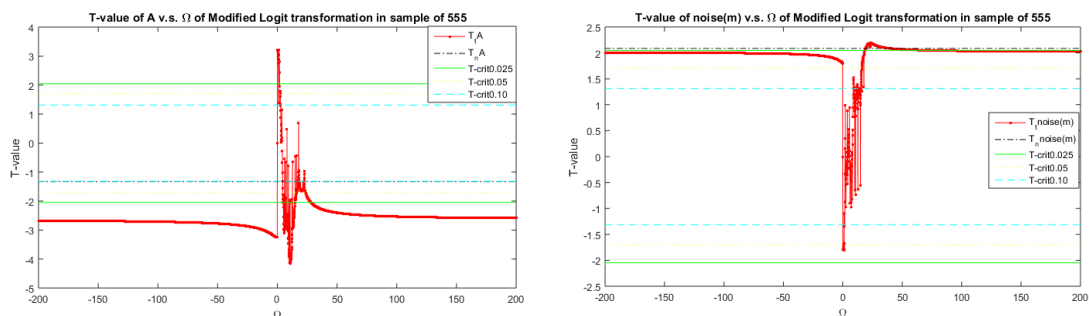
ภาพที่ 4.222

กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบพาราโบลิคของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์



ภาพที่ 4.223

กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันของข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์



ภาพที่ 4.224

กราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณการแปลงแบบโลจิทของ
ข้อมูลค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าหมุนหนีศูนย์

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของข้อมูลจากการทดลองจริง สรุปได้ว่า ผลลัพธ์ของข้อมูลจำลองที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปและข้อมูลจากการทดลองจริงมีความสอดคล้องกันคือ การแปลงแบบยาวและจอห์นสันเหมาะสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน) มากที่สุด ดังนั้น โปรแกรมคำนวณที่ผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้นสามารถนำไปใช้กับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นในการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้นำไปใช้และศึกษาค้นคว้าต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบการแปลงข้อมูลสมมาตรสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลและทากูชิ ซึ่งข้อมูลที่ถูกทดสอบเป็นข้อมูลทางด้านผลตอบสนองจากการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม (Natural Response) ที่มีรูปแบบข้อมูลทั้งเชิงบวกและลบได้ถูกเปลี่ยนค่าเป็นข้อมูลเชิงรหัส (Coded Response) โดยการแปลงข้อมูล 3 วิธี ได้แก่ การแปลงแบบพาราโบลา (Parabolic transformation) การแปลงแบบเยว์และจอห์นสัน (Yeo & Johnson Transformation) และการแปลงแบบโลจิท (Logit Transformation) ภายใต้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลและทากูชิ โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณีตามรูปแบบของการออกแบบการทดลองคือ กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก (Not Considering Noise Factor) และกรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก (Considering Noise Factor) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลในแต่่วิธีตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และจากผลลัพธ์ของการทดลองที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลปภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดไว้ซึ่งได้เปรียบเทียบผลลัพธ์โดยแบ่งตามรูปแบบการวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลทั้งกรณีมีปัจจัยรบกวนภายนอกและไม่มีปัจจัยภายนอกมารบกวน ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ความเท่ากันและความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบและผลการทดสอบสมมติฐานโดยแบ่งตามรูปแบบของการวิเคราะห์ข้อมูลคือ 1) การวิเคราะห์ความแปรปรวน 2) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ อีกทั้งเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล

การออกแบบการทดลองแบบทากูชิทั้งกรณีมีปัจจัยรบกวนภายนอกและไม่มีปัจจัยภายนอกมารบกวน ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์ตามกรณีของการออกแบบการทดลองคือ 1) กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอกได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผลการจัดอันดับและคัดเลือกในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบผลลัพธ์ความเท่ากันและความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบและผลการทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ 2) กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอกได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของผลการจัดอันดับและคัดเลือกในการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ และเปรียบเทียบผลลัพธ์ความเท่ากันและความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบและผลการทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ อีกทั้งเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล

โดยผลลัพธ์ในแต่ละรูปแบบของการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลทั้ง 3 วิธีภายใต้ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของค่าโร ($\rho_{optimum}$) แลมป์ดา ($\lambda_{optimum}$) และโอเมก้า ($\Omega_{optimum}$) สามารถสรุปแนวทางการวัดผลการทดลองได้ดังนี้

1. ความเที่ยงตรงและความแม่นยำ พิจารณาค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และการวิเคราะห์อัตราส่วนชிகนอลทูนอยส์ ในทุกสถานการณ์ โดยถ้าค่าของผลลัพธ์ยิ่งเข้าใกล้ศูนย์หมายถึงประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลยิ่งดี ดัง

ตัวอย่างเช่น ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F_0 ($\bar{X}_{F_0} = \frac{\sum \frac{\Delta F}{F_{0n}}}{N}$) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของค่าสถิติ F_0 ($\sqrt{\frac{\sum [(\frac{\Delta F}{F_{0n}}) - \bar{X}_{F_0}]^2}{N}}$)

2. การทดสอบสมมติฐาน พิจารณาผลรวมของจำนวนครั้งของผลการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติทุกระดับนัยสำคัญจากทุกสถานการณ์ที่ได้กำหนดไว้ โดยพิจารณาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ถ้าความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างข้อมูลธรรมชาติกับข้อมูลเชิงรหัสเข้าใกล้ศูนย์หมายถึงประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลยิ่งดี

3. การจัดอันดับและคัดเลือก พิจารณาจำนวนครั้งของการจัดอันดับและการคัดเลือกทั้งวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชีที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติในทุกสถานการณ์ โดยถ้าผลลัพธ์ยิ่งเข้าใกล้จำนวนการทดลองทั้งหมดในแต่ละกรณีหมายถึงประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลยิ่งดี

4. การเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ (Effect from Changing Magnitude of Factor) โดยที่

4.1 ลูกศรคือทิศทางของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของขนาดปัจจัย (Magnitude of Factor) ที่มีผลต่อค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสมีค่าเข้าใกล้ค่าสถิติของข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น

4.2 “-” ขนาดของปัจจัยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัส

4.3 ค่าความทนทาน (Robustness) ต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยที่ใช้กำหนดสถานการณ์ในการจำลองข้อมูล โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ของการทดสอบครัสคัล-วัลลิส

5.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)

จากการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยแบ่งออกเป็นข้อมูลเชิงบวกและลบ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังตารางต่อไปนี้

5.1.1 ข้อมูลเชิงลบ

ตารางที่ 5.1

ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)

Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Mean ($\Delta F/F_{0n}$)	S.D. ($\Delta F/F_{0n}$)	Reject H_0	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D. ($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	0.039	0.006	0/243	1.99	0.091	0/243
Yeo&Johnson	0.356	0.378	4/243	0.203	0.036	6/243
Logit	1.956	5.860	16/243	1.706	0.067	9/243
The Best	0	0	0/243	0	0	0/243
Effect from Changing Magnitude of Factor						
Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Main Effect	Interaction Effect	Robustness	Main Effect	Interaction Effect	Robustness
Parabolic	↓ (AB)	-	83.33%	-	-	100%
Yeo&Johnson	-	-	100%	-	↑ (All)	50%
Logit	-	-	100%	↓ (A, B)	-	66.67%
The Best	-	-	100%	-	-	100%

จากตารางที่ 5.1 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสัน ส่วนการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F ของการแปลงแบบพาราโบลิกมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่รองลงมา ในขณะที่การแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด ส่วนค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T ของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิตมีประสิทธิภาพโดยรวมที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 0, 4, 16 ครั้ง ตามลำดับ และโดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 0, 6, 9 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 243 ครั้ง (27 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 3 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยวิเคราะห์จากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การแปลงแบบพาราโบลิกจะมีค่า F ของปัจจัยร่วม AB ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีค่าลดลง ในขณะที่การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิตมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยมากกว่าโดยที่ขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันจะมีค่า T ของทุกปัจจัยที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีค่าเพิ่มขึ้น และการแปลงแบบโลจิตจะมีค่า T ของปัจจัยหลัก A และ B ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีค่าลดลง ในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยมากกว่าโดยที่ขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล

5.1.2 ข้อมูลเชิงบวก

ตารางที่ 5.2

ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)

Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Mean ($\Delta F/F_{0n}$)	S.D. ($\Delta F/F_{0n}$)	Reject H_0	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D. ($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	0.056	0.013	1/81	0.009	0.005	0/243
Yeo&Johnson	0.506	1.123	1/81	0.086	0.310	4/243
Logit	1.013	1.176	23/81	0.566	0.400	4/243
The Best	0	0	0/81	0	0	0/243
Effect from Changing Magnitude of Factor						
Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Main Effect	Interaction Effect	Robustness	Main Effect	Interaction Effect	Robustness
Parabolic	↓ (AB)	-	83.33%	-	-	100%
Yeo&Johnson	-	-	100%	-	-	100%
Logit	-	-	100%	-	-	100%
The Best	-	-	100%	-	-	100%
Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Main Effect	Interaction Effect	Robustness	Main Effect	Interaction Effect	Robustness
Parabolic	-	-	100%	-	-	100%
Yeo&Johnson	-	-	100%	-	-	100%
Logit	↓ (A, B)	-	66.67%	-	-	100%
The Best	-	-	100%	-	-	100%

จากตารางที่ 5.2 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบยัวร์และจอห์นสัน ส่วนการแปลงแบบโลจิสให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F ของการแปลงแบบพาราโบลิกมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่รองลงมา ในขณะที่การแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด ส่วนค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิตให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิตมีประสิทธิภาพโดยรวมที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 1, 1, 23 ครั้ง ตามลำดับ และโดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 0, 4, 4 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 243 ครั้ง (27 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 3 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยวิเคราะห์จากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การแปลงแบบพาราโบลิกจะมีค่า F ของปัจจัยร่วม AB ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีค่าลดลง ในขณะที่การแปลงแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิตมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยมากกว่าโดยที่ขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงแบบโลจิตจะมีค่า T ของปัจจัยหลัก A และ B ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีค่าลดลง ในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกและการแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยมากกว่าโดยที่ขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล

สรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก) การแปลงแบบพาราโบลิกโดยรวมดีกว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสันเล็กน้อย โดยการแปลงแบบพาราโบลิกเหมาะที่จะแปลงข้อมูลเชิงบวกดีกว่าเชิงลบ ส่วนการแปลงแบบโลจิตมีประสิทธิภาพที่แย่ที่สุด

5.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

จากการทดสอบโปรแกรมคำนวณเมทแลปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยแบ่งออกเป็นข้อมูลเชิงบวกและลบ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังตารางต่อไปนี้

5.2.1 ข้อมูลเชิงลบ

ตารางที่ 5.3

ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Mean ($\Delta F/F_{0n}$)	S.D.($\Delta F/F_{0n}$)	Reject H_0	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D.($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	0.312	0.248	213/13122	1.815	0.170	20/13122
Yeo&Johnson	0.017	0.021	0/13122	0.008	0.009	0/13122
Logit	0.877	0.484	1512/13122	1.320	0.122	797/13122
The Best	0	0	0/13122	0	0	0/13122
Effect from Changing Magnitude of Factor						
Method	Analysis of Variance					
	Main Effect	Interaction Effect	Noise Effect	Robustness		
Parabolic	↓ (All)	↓ (AB)	-	61.11%		
Yeo&Johnson	↑ (AB)	↑ (AB)	↓ (A, m, n, o)	66.67%		
Logit	↓ (A, B, m, n, o)	-	-	72.22%		
The Best	-	-	-	100%		
Method	Multiple Linear Regression					
	Main Effect	Interaction Effect	Noise Effect	Robustness		
Parabolic	↑ (All)	↑ (AB)	-	66.67%		
Yeo&Johnson	↓ (AB)	↑ (AB)	↓ (B, m, n)	72.22%		
Logit	↑ (All)	↑ (A, AB)	-	55.56%		
The Best	-	-	-	100%		

จากตารางที่ 5.3 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด ส่วนค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T ของการแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกอย่างชัดเจน ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพโดยรวมที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 213, 0, 1,513 ครั้ง ตามลำดับ และโดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 20, 0, 797 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 13,122 ครั้ง (729 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 6 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยวิเคราะห์จากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การแปลงแบบพาราโบลิกมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีขนาดลดลงซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใจข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้น, และปัจจัยรบกวนมีขนาดลดลงซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใจข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักที่มีขนาดลดลงซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใจข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบโลจิทมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบยาวจอห์นสันมีความทนทานมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก ในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงแบบพาราโบลิกมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ T ที่เข้าใจข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีแนวโน้มของ

การเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักที่มีขนาดลดลง, ปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้น, และปัจจัยรบกวนที่มีขนาดลงซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ T ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบเพาราโบลิกมีความทนทานมากกว่าการแปลงแบบโลจิท

5.2.2 ข้อมูลเชิงบวก

ตารางที่ 5.4

ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Method	Analysis of Variance			Multiple Linear Regression		
	Mean ($\Delta F/F_{0n}$)	S.D.($\Delta F/F_{0n}$)	Reject H_0	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D.($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	0.293	0.232	184/13122	0.174	0.150	13/13122
Yeo&Johnson	0.019	0.024	0/13122	0.009	0.011	0/13122
Logit	0.877	0.584	1513/13122	0.681	0.122	865/13122
The Best	0	0	0/13122	0	0	0/13122
Effect from Changing Magnitude of Factor						
Method	Analysis of Variance					
	Main Effect	Interaction Effect	Noise Effect	Robustness		
Parabolic	↓ (All)	↓ (AB)	-	61.11%		
Yeo&Johnson	↓ (AB)	↑ (B, AB, m, n, o)	-	66.67%		
Logit	↓ (All)	↓ (A, AB)	-	55.56%		
The Best	-	-	-	100%		
Method	Multiple Linear Regression					
	Main Effect	Interaction Effect	Noise Effect	Robustness		
Parabolic	↓ (All)	↑ (AB)	-	66.67%		
Yeo&Johnson	↓ (AB)	↑ (AB, m, n, o)	-	72.22%		
Logit	↓ (All)	↑ (A, AB)	-	55.56%		
The Best	-	-	-	100%		

จากตารางที่ 5.4 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) พบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ F และ T ของการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกอย่างชัดเจน ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพโดยรวมที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 184, 0, 1,513 ครั้ง ตามลำดับ และโดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 13, 0, 865 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 13,122 ครั้ง (729 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 6 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยวิเคราะห์จากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า ในส่วนของการวิเคราะห์ความแปรปรวน การแปลงแบบพาราโบลิกมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีขนาดลดลงซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักที่มีขนาดลดลงและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีขนาดลดลงซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ F ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกมีความทนทานมากกว่าการแปลงแบบโลจิท ในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงแบบพาราโบลิกมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักที่มีขนาดลดลงและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ T ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น การแปลงแบบเยาว์และ

จอห์นสันมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักที่มีขนาดลดลงและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ T ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักที่มีขนาดลดลงและปัจจัยร่วมที่มีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสถิติ T ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้น ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกมีความทนทานมากกว่าการแปลงแบบโลจิท

สรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียล (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าการแปลงแบบโลจิทยกเว้นในส่วนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณกรณีข้อมูลเชิงลบที่การแปลงแบบโลจิทมีผลลัพธ์ความเที่ยงตรงและแม่นยำมากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก

5.3 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)

จากการทดสอบโปรแกรมคำนวณแมทแลปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยแบ่งออกเป็นข้อมูลเชิงบวกและลบ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังตารางต่อไปนี้

5.3.1 ข้อมูลเชิงลบ

ตารางที่ 5.5

ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)

Method	Analysis of Mean			Multiple Linear Regression		
	Mean ($\Delta\text{ANOM}/\text{ANOM}_n$)	S.D. ($\Delta\text{ANOM}/\text{ANOM}_n$)	Ranking	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D. ($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	1018.467	7.164	0/16	1.999	0.0085	0/192
Yeo&Johnson	0.211	1.055	14/16	0.070	0.0682	5/192
Logit	0.964	2.038	0/16	1.794	0.588	22/192
The Best	0	0	16/16	0	0	0/192
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor					
	Analysis of Mean		Multiple Linear Regression			
	Main Effect	Robustness	Main Effect	Robustness		
Parabolic	↑ (Treatment 1,3)	84.6%	↑ (D)	75%		
Yeo&Johnson	-	100%	-	100%		
Logit	↓ (Treatment 1)	92.3%	↑ (B)	75%		
The Best	-	100%	-	100%		

จากตารางที่ 5.5 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่ดึกว่าการแปลงแบบพาราโบลิคเล็กน้อย โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ และสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่าการแปลงแบบพาราโบลิคมีประสิทธิภาพที่ดีว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการ

แปลงแบบโลจิสมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิสเท่ากับ 0, 5, 22 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 192 ครั้ง (16 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 4 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ) และผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) พบว่า การแปลงแบบยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคและการแปลงแบบโลจิสมีประสิทธิภาพที่เท่ากัน โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิสเท่ากับ 0, 14, 0 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 16 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลจากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า ในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การแปลงแบบพาราโบลิคจะมีค่า T ของปัจจัยหลัก D ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีค่าเพิ่มขึ้น และการแปลงแบบโลจิสจะมีค่า T ของปัจจัยร่วม B ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยหลักมีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแปลงแบบยาว์และจอห์นสันปัจจัยหลักไม่ผลต่อการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาว์และจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิคและแปลงแบบโลจิสมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่เท่ากัน ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย การแปลงแบบพาราโบลิคสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1 และ 3 (Treatment 1 และ 3) มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดเพิ่มขึ้น และการแปลงแบบโลจิสสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1 (Treatment 1) มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดลดลง ในขณะที่การแปลงแบบยาว์และจอห์นสันการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักไม่มีผลต่อการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาว์และจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบโลจิสมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค

5.3.2 ข้อมูลเชิงบวก

ตารางที่ 5.6

ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก)

Method	Analysis of Mean			Multiple Linear Regression		
	Mean ($\Delta\text{ANOM}/\text{ANOM}_n$)	S.D. ($\Delta\text{ANOM}/\text{ANOM}_n$)	Ranking	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D. ($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	1019.533	7.164	16/16	0.0057	0.0057	0/192
Yeo&Johnson	0.867	2.503	14/16	0.0825	0.0745	6/192
Logit	0.977	0.031	6/16	0.4842	0.4475	29/192
The Best	0	0	16/16	0	0	0/192
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor					
	Analysis of Mean		Multiple Linear Regression			
	Main Effect	Robustness	Main Effect	Robustness		
Parabolic	↓ (Treatment 1,3)	84.6%	-	100%		
Yeo&Johnson	-	100%	-	100%		
Logit	↑ (Treatment 1)	92.3%	-	100%		
The Best	-	100%	-	100%		

จากตารางที่ 5.5 ซึ่งเปรียบเทียบผลการทดลองของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด และค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิตมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 0, 6, 29 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 192 ครั้ง (16 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 4 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ) และผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติ (Treatment) และปัจจัย (Parameter) พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิต โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 16, 14, 6 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 16 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลจากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า ในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ การเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักไม่มีผลต่อการแปลงข้อมูลในทุกวิธีซึ่งหมายถึงการแปลงข้อมูลทุกวิธีมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่เท่ากัน ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย การแปลงแบบพาราโบลิกสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยวิธีปฏิบัติที่ 1 และ 3 (Treatment 1 และ 3) มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดลดลง และการแปลงแบบโลจิตสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1 (Treatment 1) มีค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยหลักไม่มีผลต่อการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบโลจิตมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก

สรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยภายนอก) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดถึงแม้ว่าผลลัพธ์การทดสอบสมมติฐานและการจัดอันดับการคัดเลือกของปัจจัยในการออกแบบการทดลองนี้ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิกในบางกรณี ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิต

5.4 การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

จากการทดสอบโปรแกรมคำนวณเมทแลปเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังตารางต่อไปนี้

5.4.1 ข้อมูลเชิงลบ

5.4.1.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 5.7

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Multiple Linear Regression			
Method	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D. ($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	1.9886	0.1657	32/2688
Yeo&Johnson	0.0557	0.4015	1/2688
Logit	1.5529	1.5386	246/2688
The Best	0	0	0/2688
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor		
	Main Effect	Noise Effect	Robustness
Parabolic	-	↑ (All)	50%
Yeo&Johnson	-	-	100%
Logit	-	↑ (All Main) + (m, n)	57.14%
The Best	-	-	100%

จากตารางที่ 5.7 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การ

วิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 32, 1, 246 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 2,688 ครั้ง (128 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 7 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ จากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิคจะมีค่า T ของปัจจัยหลักทุกปัจจัยที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้น และการแปลงแบบโลจิทจะมีค่าสถิติ T ของปัจจัยทุกปัจจัย (ยกเว้นปัจจัย ๐) ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยรบกวนมีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแปลงแบบยาวและจอห์นสันปัจจัยหลักไม่ผลต่อการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโลจิทมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่มากกว่าแปลงแบบพาราโบลิค

5.4.1.2 การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี)

ตารางที่ 5.8

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Smaller is Better			
Method	Mean ($\Delta SN/SN_0$)	S.D. ($\Delta SN/SN_0$)	Ranking
Parabolic	0.9608	0.4627	44/128
Yeo&Johnson	0.0092	0.1330	116/128
Logit	0.4076	0.3941	0/128
The Best	0	0	128/128
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor		
	Main Effect	Noise Effect	Robustness
Parabolic	↑ Treatment (1, 3, 9)	↓ (All Treatment + Parameter)	46.15%
Yeo&Johnson	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
Logit	-	↓ (All Treatment + Parameter)	50%
The Best	-	-	100%

จากตารางที่ 5.8 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) พบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด
2. ผลการทดสอบสมมติฐานของผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิท โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัด

อันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิตเท่ากับ 44, 126, 0 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 128 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์พบว่า ปัจจัยรบกวนมีผลต่อประสิทธิภาพการอันดับและการคัดเลือกในทุกปัจจัย (Parameter) และทุกวิธีปฏิบัติ (All Treatment) ในการแปลงข้อมูลทุกวิธี และปัจจัยหลักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลแบบยาว์และจอห์นสันและการแปลงข้อมูลแบบโลจิต ยกเว้นการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิกที่ปัจจัยหลักมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล สัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1, 3, 9 (Treatment 1, 3, 9) ที่ค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาว์และจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิตมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่เท่ากัน ในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิกมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่แย่มากที่สุด

5.4.1.3 การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี)

ตารางที่ 5.9

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบ สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทางภูมิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Larger is Better			
Method	Mean ($\Delta SN/SN_0$)	S.D. ($\Delta SN/SN_0$)	Ranking
Parabolic	0.9671	0.1229	32/128
Yeo&Johnson	0.0084	0.1442	124/128
Logit	0.5287	0.0889	0/128
The Best	0	0	128/128
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor		
	Main Effect	Noise Effect	Robustness
Parabolic	↑ Treatment (1, 3, 4, 9)	↓ (All Treatment + Parameter)	42.30%
Yeo&Johnson	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
Logit	-	↓ (All Treatment + Parameter)	50%
The Best	-	-	100%

จากตารางที่ 5.9 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการแปลงแบบโลจิท โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 32, 126, 0 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 128 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์พบว่า ปัจจัยรบกวนมีผลต่อประสิทธิภาพการอันดับและการคัดเลือกในทุกปัจจัย (Parameter) และทุกวิธีปฏิบัติ (All Treatment) ในการแปลงข้อมูลทุกวิธี และปัจจัยหลักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงข้อมูลแบบโลจิท ยกเว้นการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคที่ปัจจัยหลักมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล สัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1, 3, 4, 9 (Treatment 1, 3, 4, 9) ที่ค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิทมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่เท่ากัน ในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่แย่ที่สุด

5.4.1.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด)

ตารางที่ 5.10

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Nominal is The Best							
Method	Analysis of Mean			Signal to Noise Ratio			
	Mean ($\Delta ANOM/ANOM_n$)	S.D. ($\Delta ANOM/ANOM_n$)	Ranking (ANOM)	Mean ($\Delta SN/SN_l$)	S.D. ($\Delta SN/SN_l$)	Ranking (S/N)	Ranking (ANOM) & (S/N)
Parabolic	981.588	113.925	0/128	0.3384	0.6531	0/128	0/128
Yeo&Johnson	0.0484	0.4650	116/128	0.0071	0.0522	105/128	98/128
Logit	0.9536	0.0461	23/128	0.0356	0.3564	15/128	6/128
The Best	0	0	128/128	0	0	128/128	128/128
Effect from Changing Magnitude of Factor							
Method	Main Effect		Noise Effect		Robustness		
Parabolic	↑ Treatment (1, 3, 4, 9)		↓ (All Treatment + B, C)		42.30%		
Yeo&Johnson	-		↑ (All Treatment + B)		61.34%		
Logit	↓ Treatment (1, 3, 9)		↓ (All Treatment + Parameter)		38.46%		
The Best	-		-		100%		

จากตารางที่ 5.10 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการแปลงข้อมูลเชิงลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมากยิ่งขึ้น) พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลา ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบ พาราโบลาให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิท โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 0, 98, 6 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 128 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์พบว่า ปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงแบบพาราโบลิคและโลจิท ส่วนการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีปัจจัยรบกวนเท่านั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่มากที่สุด ในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่มากกว่าการแปลงแบบโลจิท

5.4.2 ข้อมูลเชิงบวก

5.4.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

ตารางที่ 5.11

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Multiple Linear Regression			
Method	Mean ($\Delta T/T_{0n}$)	S.D.($\Delta T/T_{0n}$)	Reject H_0
Parabolic	0.1917	0.2971	32/2688
Yeo&Johnson	0.0500	0.983	2/2688
Logit	0.5486	1.0857	285/2688
The Best	0	0	0/2688
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor		
	Main Effect	Noise Effect	Robustness
Parabolic	-	↑ (All)	50%
Yeo&Johnson	-	-	100%
Logit	-	↑ (All Main) + (m, n)	57.14%
The Best	-	-	100%

จากตารางที่ 5.11 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ พบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างค่าสถิติ T สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณพบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพที่น้อยที่สุด โดยจำนวนครั้งของการทดสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ไม่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 32, 1, 285 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 2,688 ครั้ง (128 สถานการณ์, 3 ระดับนัยสำคัญ, 7 ปัจจัยที่ใช้ทดสอบค่าสถิติ)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ จากการทดสอบครัสคัล-วัลลิสพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิคจะมีค่า T ของปัจจัยหลักทุกปัจจัยที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้น และการแปลงแบบโลจิทจะมีค่าสถิติ T ของปัจจัยทุกปัจจัย (ยกเว้นปัจจัย α) ที่เข้าใกล้ข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อขนาดของปัจจัยรบกวนมีเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันปัจจัยหลักไม่ผลต่อการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีความทนทานมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิคมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่มากกว่าแปลงแบบโลจิท

5.4.2.2 การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี)

ตารางที่ 5.12

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Smaller is Better			
Method	Mean ($\Delta SN/SN_s$)	S.D. ($\Delta SN/SN_s$)	Ranking
Parabolic	0.9611	0.1608	45/128
Yeo&Johnson	0.0054	0.1422	119/128
Logit	0.3885	0.4032	0/128
The Best	0	0	128/128
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor		
	Main Effect	Noise Effect	Robustness
Parabolic	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
Yeo&Johnson	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
Logit	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
The Best	-	-	100%

จากตารางที่ 5.11 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดี) พบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด
2. ผลการทดสอบสมมติฐานของผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบ

พาราโบลิกประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิท โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิก, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 45, 119, 0 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 128 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์พบว่า ปัจจัยรบกวนมีผลต่อประสิทธิภาพการอันดับและการคัดเลือกในทุกปัจจัย (Parameter) และทุกวิธีปฏิบัติ (All Treatment) ในการแปลงข้อมูลทุกวิธีโดยทำให้ผลลัพธ์มีค่าเข้าใกล้ผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยหลักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลทุกรูปแบบ ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสัน การแปลงแบบพาราโบลิก และการแปลงแบบโลจิทมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่เท่ากัน

5.4.2.3 การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี)

ตารางที่ 5.13

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวก สำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Larger is Better			
Method	Mean ($\Delta SN/SN_i$)	S.D. ($\Delta SN/SN_i$)	Ranking
Parabolic	0.9678	0.4196	22/128
Yeo&Johnson	0.0062	0.2177	121/128
Logit	0.5241	0.3841	0/128
The Best	0	0	128/128
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor		
	Main Effect	Noise Effect	Robustness
Parabolic	↓ Treatment (1, 3, 4, 9)	↑ (All Treatment + Parameter)	42.30%
Yeo&Johnson	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
Logit	-	↑ (All Treatment + Parameter)	50%
The Best	-	-	100%

จากตารางที่ 5.13 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) พบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบยาวและจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิคประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการแปลงแบบโลจิท โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, ยาวและจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 22, 121, 0 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 128 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์พบว่า ปัจจัยรบกวนมีผลต่อประสิทธิภาพการอันดับและการคัดเลือกในทุกปัจจัย (Parameter) และทุกวิธีปฏิบัติ (All Treatment) ในการแปลงข้อมูลทุกวิธีโดยทำให้ผลลัพธ์มีค่าเข้าใกล้ผลลัพธ์ของข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยหลักไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงข้อมูลแบบโลจิท ยกเว้นการแปลงข้อมูลแบบพาราโบลิคที่ปัจจัยหลักมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล สัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ 1, 3, 4, 9 (Treatment 1, 3, 4, 9) ที่ค่าลดลงซึ่งหมายถึงผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นเมื่อปัจจัยหลักมีขนาดลดลง ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบยาวและจอห์นสันและการแปลงแบบโลจิทมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่เท่ากัน ในขณะที่การแปลงแบบพาราโบลิคมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่แย่ที่สุด

5.4.2.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด)

ตารางที่ 5.14

ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก)

Nominal is The Best							
Method	Analysis of Mean			Signal to Noise Ratio			
	Mean ($\Delta ANOM/ANOM_n$)	S.D. ($\Delta ANOM/ANOM_n$)	Ranking (ANOM)	Mean ($\Delta SN/SN_t$)	S.D. ($\Delta SN/SN_t$)	Ranking (S/N)	Ranking (ANOM) & (S/N)
Parabolic	980.6849	117.995	103/128	0.1656	4.8526	0/128	0/128
Yeo&Johnson	0.1452	0.7854	119/128	0.0192	0.1834	102/128	95/128
Logit	0.9541	0.0466	32/128	0.1375	2.3589	9/128	5/128
The Best	0	0	128/128	0	0	128/128	128/128
Method	Effect from Changing Magnitude of Factor						
	Main Effect		Noise Effect			Robustness	
Parabolic	↓ Treatment (1, 3, 4, 9)		↑ (All Treatment + Parameter)			34.62%	
Yeo&Johnson	-		↑ (Treatment (1, 2, 5, 6, 7, 8, 9) + B)			69.23%	
Logit	↑ Treatment (1, 3, 9)		↑ (All Treatment + Parameter)			38.46%	
The Best	-		-			100%	

จากตารางที่ 5.14 ซึ่งเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการแปลงข้อมูลเชิงบวกสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) สรุปได้ว่า

ประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล ณ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการประมาณค่าด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimation) ภายใต้การวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งมามากยิ่งดี) พบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันให้ผลลัพธ์ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิค ส่วนการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด โดยเปรียบเทียบจาก

1. ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วนผลต่างของผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมีค่าน้อยที่สุด

และการแปลงแบบโลจิทให้ผลลัพธ์ที่รองลงมาในขณะที่การแปลงแบบ พาราโบลิคให้ผลลัพธ์ที่แย่ที่สุด

2. ผลการทดสอบสมมติฐานของผลการคัดเลือกการจัดอันดับของการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพบว่า การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิท โดยจำนวนครั้งของการคัดเลือกและการจัดอันดับที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติของการแปลงแบบพาราโบลิค, เยาว์และจอห์นสัน, และโลจิทเท่ากับ 0, 98, 6 ครั้ง ตามลำดับ จากจำนวนการทดลองทั้งหมด (N) เท่ากับ 128 ครั้ง

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดสถานการณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลโดยการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์พบว่า ปัจจัยหลักและปัจจัยรบกวนมีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงแบบพาราโบลิคและโลจิท ส่วนการแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีปัจจัยรบกวนเท่านั้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงข้อมูล ดังนั้นจากเปอร์เซ็นต์ความทนทานการเปลี่ยนแปลงปัจจัย (Robustness) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่มากที่สุด ในขณะที่การแปลงแบบโลจิทมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยที่มากกว่าการแปลงแบบพาราโบลิคเล็กน้อย

สรุปได้ว่า การแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบสำหรับการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยภายนอก) การแปลงแบบเยาว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดในทุกรูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลของการออกแบบการทดลอง และการแปลงแบบพาราโบลิคมีประสิทธิภาพโดยการแปลงข้อมูลที่ดีกว่าการแปลงแบบโลจิทในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณและการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณียิ่งน้อยยิ่งดีและกรณียิ่งมากยิ่งดี) ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลที่ดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิคในการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) เล็กน้อย

5.5 สรุปผลการทดลอง

การสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของการแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบในแต่ละวิธีสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลและทากูชิซึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเข้ารหัสข้อมูลสำหรับทุกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง
(กรณีไม่พิจารณาการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ)

Method	General Factorial Design (GFD)			
	Without Noise Factors	With Noise Factors		
Parabolic	1	2		
Yeo&Johnson	2	1		
Logit	3	3		
Method	Taguchi Design			
	Without Noise Factors	With Noise Factors		
		S	L	T
Parabolic	2	2	2	3
Yeo&Johnson	1	1	1	1
Logit	3	3	3	2

จากตารางที่ 5.15 การสรุปผลการทดลองของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบที่แบ่งตามรูปแบบการทดลอง พบว่า การแปลงข้อมูลแบบเยว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพโดยรวมในการแปลงข้อมูลดีที่สุดในทุกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง ยกเว้นการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน) ซึ่งการแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพโดยรวมในการแปลงที่ดีกว่าการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันเล็กน้อย ส่วนการแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพโดยรวมของการแปลงข้อมูลที่ดีที่สุด ในทุกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง ยกเว้นในการวิเคราะห์อัตราส่วนชิกนอลทูนอยส์ (กรณีตรงเป้าหมายดีที่สุด) ของการออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน) ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการแปลงแบบพาราโบลิก

ตารางที่ 5.16

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการเข้ารหัสข้อมูล
สำหรับทุกรูปแบบการออกแบบการทดลอง

Method	General Factorial Design (GFD)	
	Without Noise Factors	With Noise Factors
Parabolic	1	2
Yeo&Johnson	2	1
Logit	3	3
Method	Taguchi Design	
	Without Noise Factors	With Noise Factors
Parabolic	1	2
Yeo&Johnson	2	1
Logit	3	3

จากตารางที่ 5.16 การสรุปผลการทดลองของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณของการแปลงข้อมูลเชิงบวกและลบที่แบ่งตามรูปแบบการทดลองพบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกมีประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลดีที่สุดในรูปแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลและทากูชิ (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน) และการแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูลดีที่สุดในรูปแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลและทากูชิ (กรณีพิจารณาปัจจัยรบกวน) ในขณะที่การแปลงแบบโลจิทมีประสิทธิภาพที่แย่ที่สุดในทุกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลสรุปของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลทั้งหมดทั้งด้าน ความแม่นยำและเที่ยงตรง การทดสอบสมมติฐานและการจัดอันดับและการคัดเลือกความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของปัจจัยสรุปได้ว่า การแปลงแบบเยว์และจอห์นสันมีความเหมาะสมที่สุดในการเข้ารหัสข้อมูลในทุกการออกแบบการทดลอง ส่วนการแปลงแบบพาราโบลิกมีความเหมาะสมในการแปลงข้อมูลในการออกแบบการทดลองกรณีไม่มีปัจจัยรบกวน ในขณะที่การแปลงแบบโลจิทไม่เหมาะสมในการแปลงข้อมูลในทุกการออกแบบการทดลอง

5.6 ข้อสังเกตที่ได้รับระหว่างการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการวิจัยนี้ได้พบข้อสังเกตระหว่างการทดลองซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การกำหนดช่วงของค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลเริ่มต้น ควรกำหนดให้มีความเหมาะสมกับการแปลงข้อมูลในแต่ละวิธีซึ่งดูจากกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติกับตัวแปรการแปลงข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแมทแลป เนื่องจากกำหนดช่วงของตัวแปรนั้นมีผลต่อเวลาในการคำนวณผลลัพธ์ของการทดลอง

2. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณที่ถูกใช้ทดสอบประสิทธิภาพการแปลงข้อมูลเชิงลบ พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกให้ผลลัพธ์ของค่าสถิติ T ที่ตรงกันข้ามกับข้อมูลธรรมชาติแต่ให้ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติ และจากการทดสอบค่าสถิติ T เป็นการทดสอบที่นัยสำคัญแบบ 2 ทาง (Two – sided p-value) จึงใช้การทดสอบสมมติฐานเป็นหลักในการทดสอบประสิทธิภาพของการแปลงข้อมูล

3. จากกราฟความสัมพันธ์ของค่าสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (กรณีไม่พิจารณาปัจจัยรบกวน) พบว่า การแปลงแบบพาราโบลิกและการแปลงแบบโลจิทมีจุดตัดระหว่างค่าสถิติของข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติขึ้น แต่ค่าของตัวแปรของการแปลงข้อมูลของทั้ง 2 วิธีที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดคือ 500 ในทุกสถานการณ์ซึ่งค่าสูงสุดของช่วงตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ที่ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดของตัวแปรในช่วงที่กำหนดไว้ ในส่วนของการแปลงแบบโลจิทที่มีการศึกษาจากงานวิจัยก่อนหน้า (กิริติ จินดา. (2556). *การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเชิงรหัสในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงวิศวกรรม*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม.) ซึ่งใช้วิธีการหาค่าตัวแปรการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดโดยหลักเกณฑ์ผลรวมของผลต่างค่าสถิติระหว่างข้อมูลเชิงรหัสและข้อมูลธรรมชาติที่มีค่าน้อยที่สุด จากผลลัพธ์ของการทดสอบสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด

4. จากทุกการออกแบบการทดลอง ตัวแปรแลมบ์ดา (λ) ของการแปลงแบบยาวัว และจอห์นสันพบว่า ยิ่งการประมาณค่ามีค่าเข้าใกล้ 1 มากขึ้นจะทำให้ค่าสถิติของการออกแบบการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากเมื่อนำค่า 1 ไปแทนในสมการแปลงข้อมูลทำให้สมการถูกเปลี่ยนเป็นสมการแปลงข้อมูลเชิงเส้นตรงที่ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกับข้อมูลธรรมชาติซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของงานวิจัยก่อนหน้า (วิจิต ชำนาญนา (2553) *การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง*. การศึกษา

ค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาโทบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชา การพัฒนางานอุตสาหกรรม.)

5. การวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยพิจารณาจาก ประสิทธิภาพโดยรวมของการแปลงข้อมูลทั้งความแม่นยำและเที่ยงตรง การทดสอบสมมติฐาน การจัดอันดับและการคัดเลือก ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดปัจจัยเพื่อนำมาสรุปผลการทดลอง

5.7 ข้อเสนอแนะ

5.7.1 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์

การศึกษานี้แสดงให้เห็นการแปลงข้อมูลเพื่อปกปิดความลับของข้อมูลที่สำคัญซึ่งได้เสนอการแปลงข้อมูลทั้งหมด 3 วิธีที่มีความสามารถการแปลงข้อมูลที่แตกต่างกันพบว่าการแปลงแบบยาวและจอห์นสันเป็นวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดที่จะนำไปใช้ในการแปลงข้อมูลเนื่องจากมีความคงทนต่อปัจจัยรบกวนมากที่สุด และการแปลงแบบพาราโบลิกน่าจะเหมาะสมกับการออกแบบการทดลองที่ไม่มีการรบกวนของปัจจัยในระบบและมีความแปรปรวนของข้อมูลที่ไม่สูงมาก ส่วนการแปลงแบบโลจิทไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการแปลงข้อมูลในทุกการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้

อย่างไรก็ตามการประมาณค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลของการแปลงแบบพาราโบลิกและการแปลงโลจิทด้วยวิธีภาวะความน่าจะเป็นสูงสุดที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพไม่ได้ให้คำตอบค่าตัวแปรที่ดีที่สุดที่ทำให้ค่าสถิติใกล้เคียงกับข้อมูลธรรมชาติเมื่อดูจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสถิติกับตัวแปรการแปลงข้อมูลจึงควรหาวิธีหาค่าตอบที่เหมาะสมกว่ามาทำการประมาณค่าของตัวแปร และโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นโปรแกรมที่มีข้อจำกัดที่สามารถคำนวณผลลัพธ์ของการแปลงข้อมูลได้เฉพาะการออกแบบการรูปแบบเดียวเท่านั้นและใช้เวลาคำนวณค่อนข้างมากทำให้เกิดความล่าช้าในการวิเคราะห์ผลโดยรวมของการทดลอง ซึ่งถ้าหากผู้สนใจในงานวิจัยสามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพในการคำนวณและรองรับการออกแบบการทดลองที่มากขึ้นจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานต่อไป

5.7.2 ด้านการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยนี้ ควรมีขยายการศึกษารูปแบบการออกแบบการทดลองใหม่ และรูปแบบการแปลงข้อมูลในรูปแบบอื่นๆ เพิ่มมากขึ้นรวมถึงรูปแบบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ข้อมูลอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณแบบขั้นบันได การวิเคราะห์การถดถอยแบบ โลจิสติกส์ เพื่อหารูปแบบการแปลงข้อมูลที่เหมาะสมกับชนิดของการออกแบบการทดลองที่สถานะ ต่างกัน



รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

ปารเมศ ชูติมา, (2545), การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ:

ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, (2551), การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป)

ปริญญา สงวนสัตย์, (2555), คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์, นนทบุรี: บริษัท ไอทีซี พรีเมียม จำกัด

Jason O. Rawlings, Sastry G. Pantula, and David A. Dickey, (1998), Applied Regression Analysis: A Research tool, Second Edition. North Carolina: Springer Text in Statistics.

S.J. Chapman, (2012), MATLAB Programming for Engineers, Pacific Grove.CA: Wadsworth.

Douglas C. Montgomery, (2013), Design and Analysis of Experiments (Eighth Edition). New York: John Wiley & Sons, Inc.

บทความวารสาร

G.E.P.Box and D.R. Cox, (1964), An Analysis of Transformations. Journal of the Royal Statistical Society. Series B 26: 211-252.

J.A. John and N.R. Draper, (1980), An Alternative Family of Transformations. Journal of The Royal Statistical Society Series C (Applied Statistics). Vol. 29: 190-197.

Leo Breiman and Jerome H. Friedman, (1985), Estimating Optimal Transformations Multiple Regression and Correlation. Journal of American Statistical Association. Vol 80. No. 391.

Mathew J. Gurka, (2005), Extending the Box-Cox transformation to the linear mixed model. Journal of Royal Statistical Society: Series A. Vol.169: 273-288.

- S.T. Akhavan and S.E. Sevedan, (2011), A Simple Transformation Method in Skewness Reduction. International Journal of Engineering, Transaction A: Basic, Vol.24, No.2: 169-175
- K. Chinda and P. Luangpaiboon, (2012), Comparative Study of Transformed and Concealed Data in Experimental Designs and Analyzes. World Academy of Science, Engineering and Technology 72: 559-567.
- Jason W. Osborne, (2014), Improving your data transformation: Applying the Box-Cox transformation. Practical Assessment Research & Evaluation. Vol.15. No.12.
- Lakhana Watthanacheewakul, (2014), A New Family of Transformations for Lifetime Data. World Congress on Engineering. Vol I: 116-121.
- P. Luangpaiboon and K. Chinda, (2014), Computer-based management of interactive Data transformation Systems using Taguchi's robust parameter design. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. Vol 28: 1030-1045.
- E. Charitidou, D. Fouskakis, and I. Ntzoufras, (2015), Bayesian transformation family selection: moving towards transformed Gaussian universe. The Canadian Journal of Statistics. Vol 43: 600-623.
- Nattapat Imsap and Pongchanun Luangpaiboon, (2015), Comparative Study of Analysing Transformed and Noisy Data in Taguchi Orthogonal Arrays. International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists. Vol II: 860-865

วิทยานิพนธ์

- นพรัตน์ กระต่ายทอง, (2542), การแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, คณะพาณิชยการและการบัญชี, สาขาวิชาสถิติ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จินตนา ภักดิ์กุล, (2552), การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการกระจายของค่าหมุนหนีศูนย์ใน
กระบวนการผลิตชิ้นส่วนรองรับของสปินเดิลมอเตอร์ฮาร์ดดิสก์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง
ปริญญามหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม,
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- วิชิต ชำนาญนาวา, (2553), การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลธรรมชาติและข้อมูลเชิงรหัสในการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญามหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จิรวรรณ ไพบูลย์วรชาติ, (2554), การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการแปลงกำลังของบ็อกซ์-ค็อกซ์และวิธีการแปลงกำลังแบบใหม่ สำหรับการแจกแจงเลขชี้กำลัง. โครงการปัญหาพิเศษปริญญาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาคณิตศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ธัญภรณ์ โชติรัตน์, (2554), การเปรียบเทียบวิธีการแปลงข้อมูล 4 วิธี สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบไวบูลล์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาสถิติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
- กীরติ จินดา, (2556), การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลเชิงรหัสในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงวิศวกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาพัฒนาอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Scott Hyde, (1999), Likelihood based on inference on Box-cox family of transformation: SAS and MATLAB programs. A Writing Project, Master of Science in Statistics Montana state University.



ภาคผนวกทั้งหมดได้แสดงไว้ในแผ่นซีดีแนบท้ายเล่ม ประกอบด้วย

ภาคผนวก ก. โปรแกรมคำนวณแมทแลปต้นแบบ

ภาคผนวก ข. ผลลัพธ์การคำนวณที่ได้จากโปรแกรมแมทคำนวณแลป

ภาคผนวก ค. ผลการทดลอง



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย ณัฐพัชร์ อิมทรัพย์
วันเดือนปีเกิด 29 ธันวาคม พ.ศ. 2529
วุฒิการศึกษา ปริญญาตรี
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชาการ

Comparative Study of Analysing Transformed and Noisy Data in Taguchi Orthogonal Arrays. *International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists 2015* . Vol II: 860-865.

