



การประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของ
แผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น

โดย

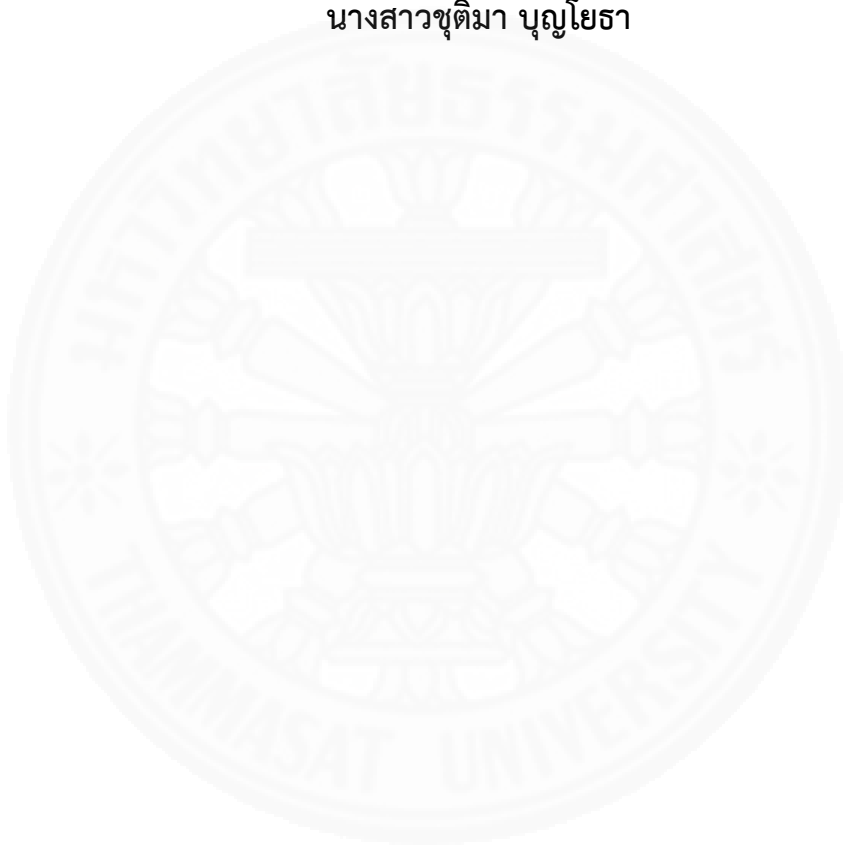
นางสาวชุตติมา บุญโยธา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของ
แผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น

โดย

นางสาวชุตินา บุญโยธา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

APPLICATION OF SIX SIGMA TO IMPROVE QUALITY IN FLEXIBLE
PRINT CIRCUIT PRODUCT

BY

MISS CHUTIMA BOONYOTA



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN
INDUSTRIAL DEVELOPMENT
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2017
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวชุตินา บุญโยธา

เรื่อง

การประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


เมื่อ วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ภาระราช)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศน์เกียรติ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทชัย กานตานันท์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีร์ เจียรพงษ์กุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุง คุณภาพผลิตภัณฑ์ของแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น
ชื่อผู้เขียน	นางสาวชุตินา บุญโยธา
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศน์กร
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของบริษัทผู้ผลิตแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น โดยประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา จากการประเมินด้านคุณภาพพบว่า กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรทำให้เกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์มากที่สุดถึงร้อยละ 49 ของกระบวนการทั้งหมด และยังพบผลิตภัณฑ์ EP-252 มีจำนวนข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์สูงที่สุดถึงร้อยละ 18.33 การดำเนินงานวิจัยมี 5 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดปัญหาเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาศึกษา และคัดเลือกปัญหาที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องหลัก คือ Open Nick Short Protrusion และ Surface etching การวัดและเก็บข้อมูลเป็นวิธีการที่ทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความเหมาะสมพอที่จะเอาไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยวิเคราะห์ความแม่นยำในการตรวจสอบจุดบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ของพนักงานและเครื่องจักร รวมถึงทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ จากขั้นตอนนี้สามารถคัดเลือกปัญหาจากทั้งหมด 52 เหลือ 19 ปัจจัย การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบสมมติฐานจากสาเหตุของปัญหา เพื่อหาตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่องซึ่งสามารถคัดกรองปัญหาเหลือเพียง 9 ปัจจัย การปรับปรุงแก้ไขปัญหาเพื่อปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆ ของกระบวนการโดยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ทำการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการ เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจะไม่ย้อนไปมีปัญหาลikeเดิมอีก โดยจัดทำระบบควบคุมกระบวนการนำสู่การปฏิบัติและสร้างมาตรฐานการทำงานให้เข้าสู่ระบบคุณภาพ ISO 9001 เพื่อให้คงอยู่ในระดับที่ได้ปรับปรุงไว้ จนในที่สุดทำให้สามารถลดปริมาณการเกิดข้อบกพร่องจากร้อยละ 18.33 ให้เหลือเพียงร้อยละ 3.33 ดังนั้น ผลจาก

(2)

การปรับปรุงทำให้สามารถลดข้อบกพร่องได้มากถึงร้อยละ 81.83 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ร้อยละ 50 และสามารถลดต้นทุนในการผลิตรวมทั้งสิ้นคิดเป็นเงิน 84.5 ล้านบาท

คำสำคัญ: ซิกซ์ ซิกมา, แผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น, การออกแบบการทดลอง



Thesis Title	APPLICATION OF SIX SIGMA TO IMPROVE QUALITY IN FLEXIBLE PRINT CIRCUIT PRODUCT
Author	Miss Chutima Boonyota
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Development Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wuthichai Wongthatsaneorn
Academic Years	2017

ABSTRACT

The objective of research is to reduce number of defects from products in Flexible Print Circuit manufacturer by applying Six Sigma technique. After quality evaluation, it is found that circuit forming process has the highest rejection percentage at 49% among all processes and the rejected parts mostly come from product EP-252 or 18.33% of all products. Five steps are conducted in this study. First, define is gathering information for study and select problem that concern defects are Open Nick Short Protrusion and Surface etching. Second, measure as a way to ensure that the gathered data from measurement are appropriate to use in precise analysis for detecting defects on products of employees and machines and defect analysis and impact (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA), after this step selected problems are reduced from 52 factors to 19 factors remain. Third, analyze is to test hypothesis from problem's cause, to find the main variable that it concerned in product defect issues, which could be reduced to 9 factors. Fourth, improvement is adjusting the conditions of the process by using design of experiment's Taguchi method. The final step is to control the quality of the process control system designed to ensure that the process is not going to have the same again. The preparation process control systems implemented and create performance standards into the ISO 9001 quality system to persistence at a level that was maintained. In the

end, the improvement techniques could reduce number of rejection from 18.33% to be 3.33%, so the improvements can reduce defects by as much as 81.83% which was more than 50% of goals and can reduce the cost of production totaling 84.5 million baht.

Keywords: Six Sigma, Flexible Print Circuit, Design of Experiment



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณในความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร ที่สละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ภาวระราช และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทชัย กานตานันทะ คณะกรรมการสอบที่ร่วมให้ข้อคิด และให้คำแนะนำปรับปรุงที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะ ศาสตราจารย์ ดร. ตรีนทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง ผู้จุดประกายความรู้เรื่องการปรับปรุงงานตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการปรับปรุงงานด้านต่างๆ และ ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ ผู้ให้ความรู้ด้านการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม สามารถนำความรู้ที่ได้มาออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ท่านผู้บริหารและวิศวกรกระบวนการ บริษัท พูจิคุระ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (โรงงานอยุธยา) ทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนข้อมูลและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อนิเวทย์และคุณแม่กสิภพภา บุญโยธา คุณศมา ชื่นกุล ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนในด้านต่างๆด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกท่านที่มีส่วนร่วมไม่มากนักน้อยในการช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

นางสาวชุตินา บุญโยธา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในระบบเศรษฐกิจสมัยใหม่	1
1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา	3
1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	4
1.4 วัตถุประสงค์	7
1.5 ขอบเขตการวิจัย	7
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	7
1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน	8
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	8
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 แนวคิดพื้นฐานของ ซิกซ์ ซิกมา	9
2.1.1 การพัฒนาองค์การแบบ ซิกซ์ ซิกมา	9
2.1.2 แนวคิดแบบ ซิกซ์ ซิกมา	9

	(7)
2.1.3 แนวคิดการบริหารแบบ ชิکش ชิกมา	10
2.1.4 หลักการสำคัญของกลยุทธ์ ชิکش ชิกมา	10
2.1.5 องค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทต่อชิکش ชิกมา โครงสร้าง และหน้าที่ รับผิดชอบของชิکش ชิกมา	12
2.1.6 ประโยชน์ในการนำ Six Sigma มาใช้ในองค์กร	13
2.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)	14
2.2.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบด้านการออกแบบ (Design FMEA : DFMEA)	14
2.2.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบด้านกระบวนการผลิต (Process FMEA: PFMEA)	15
2.2.3 ขั้นตอนการจัดทำ FMEA	15
2.2.4 การประยุกต์ใช้ FMEA	15
2.2.5 เกณฑ์การประเมินแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	16
2.3 กลยุทธ์ในการทดลอง	20
2.4 หลักการพื้นฐาน	22
2.5 ข้อเสนอแนะในการออกแบบการทดลอง	25
2.6 การทดลองปัจจัยเชิงเดียว และการวิเคราะห์ความแปรปรวน	27
2.6.1 ตัวอย่าง	28
2.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	29
2.6.3 การวิเคราะห์ตัวแบบปัญหาชนิดผลกระทบคงที่	32
2.6.4 การเปรียบเทียบค่ากลาง	37
2.7 การออกแบบชนิด 2^k แฟคทอเรียล	39
2.7.1 การออกแบบการทดลองกรณี 2^k แฟคทอเรียล	40
2.7.2 การออกแบบการทดลองกรณี 2^3 แฟคทอเรียล กรณีพิเศษ	50
2.8 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ	52
2.8.1 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ	52
2.8.2 ประสิทธิภาพของกลวิธีทากูชิ	55

	(8)
2.8.3 กลวิธีทางกฏซีในการออกแบบพารามิเตอร์	57
2.8.4 วิธีการสร้างการออกแบบแอร์เรย์	58
2.8.5 สถิติที่ใช้ในการทดสอบแบบทางกฏซี	68
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	80
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	88
3.1 จัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหาคุณภาพ	88
3.2 ผลลัพธ์หลักของบริษัทกรณีศึกษา	89
3.2.1 แผนวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่น	89
3.2.2 แผนวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นที่มีการวางตัวอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว	92
3.3 หน่วยงานหลักของบริษัทกรณีศึกษา	92
3.4 รายละเอียดหน่วยงานของกระบวนการสร้างเส้นลวดวงจรของโรงงานกรณีศึกษา	99
3.5 การกำหนดปัญหา	104
3.5.1 ข้อกำหนดของลูกค้า	104
3.5.2 การระบุปัญหา	106
3.6 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา	109
3.6.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด	109
3.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัด	125
3.6.3 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องแต่ละประเภท	131
3.6.4 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ	135
3.6.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ	143
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	156
4.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	156
4.1.1 สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick (Same PT) กระบวนการ RXD	158

	(9)
4.1.2 สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick / Surface Etching (Random)	176
4.1.3 สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องประเภท Short / Protrusion (Random)	182
4.1.4 การคัดกรองสาเหตุหลักของปัญหาในการทำให้เกิดข้อบกพร่อง	193
4.2 การปรับปรุงแก้ไขปัญหา	194
4.2.1 Open / Nick (Same PT)	198
4.2.2 Open / Nick / Surface Etching (Random)	206
4.2.3 Short & Protrusion (Random)	208
4.2.4 การวิเคราะห์จุดเหมาะสมของปัจจัย	213
4.3 การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง	216
 บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	 223
5.1 ผลการศึกษา	223
5.2 สรุปผลการวิจัย	225
5.3 ข้อเสนอแนะ	227
 รายการอ้างอิง	 228
 ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การคำนวณต้นทุนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง	232
 ประวัติผู้เขียน	 233

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนงานการดำเนินการวิจัย	8
2.1	เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรง	17
2.2	เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่เกิดขึ้น	18
2.3	เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับปัญหา	19
2.4	การออกแบบเพื่อการตรวจสอบระยะที่วัดได้จากการปล่อยเฮลิคอปเตอร์ กระดาศ	28
2.5	การออกแบบการทดลองปัจจัยเชิงเดียว	29
2.6	การออกแบบหมายเลขการทดลองเพื่อจัดลำดับการทดลองสุ่ม	30
2.7	การทดลองแบบการทดลองสุ่ม	30
2.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามที่มา หรือสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลมี ความแตกต่าง	34
2.9	ข้อมูลการทดลองสำหรับปัญหาการศึกษาความแข็งแรงของถุงกระดาศ	35
2.10	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัญหาการศึกษาความแข็งแรงของถุง กระดาศ	36
2.11	ข้อมูลการทดลองสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี	40
2.12	สัญลักษณ์ของผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยและความสัมพันธ์ ร่วมกันระหว่างปัจจัย	41
2.13	สัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับของปัจจัย	41
2.14	สัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการ ทางเคมี	41
2.15	สัญลักษณ์ของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ	42
2.16	การคำนวณผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ สำหรับปัญหาการ ศึกษากระบวนการทางเคมี	43
2.17	การคำนวณผลกระทบของปัจจัยหลัก และผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วม กันระหว่างปัจจัยสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี	44
2.18	คอนทราสต์ เพื่อใช้การคำนวณผลกระทบของปัจจัยหลักและผลกระทบจาก ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย	44

2.19	การคำนวณค่าผลรวมกำลังสอง เพื่อใช้ในการหาผลกระทบของปัจจัยหลัก และผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย	45
2.20	การคำนวณผลรวมกำลังสองของปัจจัยหลัก และผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย สำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี	45
2.21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการเคมี	46
2.22	เครื่องหมายคอนทราสต์ ของปัจจัย A	49
2.23	เครื่องหมายคอนทราสต์ ของปัจจัย B	49
2.24	เครื่องหมายคอนทราสต์ ของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย AB	49
2.25	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยรบกวนในปัญหาต่างๆ	53
2.26	การออกแบบการทดลองปัญหาการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุผงซักฟอกอัตโนมัติ	54
2.27	$2^{4-1} \times 2^{3-1}$ ครอสส์แอร์เรย์ ($2^{4-1} \times 2^{3-1}$ Crossed Array)	58
2.28	การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแล 4 (L_4 Orthogonal Array, 2^3) ด้วยสัญลักษณ์ $-/+1$	59
2.29	การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแล 4 (L_4 Orthogonal Array, 2^3) ด้วยสัญลักษณ์ $1/2$	59
2.30	สามเหลี่ยมสำหรับการออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิด แอล 4	60
2.31	การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (L_8 Orthogonal Array, 2^7)	61
2.32	ผลกระทบร่วมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8	61
2.33	การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 (3^4) (L_9 Orthogonal Array, 3^4)	62
2.34	การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 12 (L_{12} Orthogonal Array, 2^{11})	63
2.35	การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L_{16} Orthogonal Array, 2^{15})	64
2.36	ผลกระทบร่วมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16	65

2.37	การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 18 (L18 Orthogonal Array, $2^1 \times 3^7$)	67
2.38	การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 27 (L_{27} Orthogonal Array, 3^{13})	67
2.39	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และระดับที่สนใจพิจารณาของการศึกษา การเชื่อม	70
2.40	ปัจจัยที่สามารถควบคุมไม่ได้ และระดับที่สนใจพิจารณาของการศึกษา การเชื่อม	71
2.41	สรุปผลทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติและสภาวะการณ์ของการศึกษาการเชื่อม	72
2.42	ปัจจัยในการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระต๊าก	74
2.43	การออกแบบการทดลองทางสถิติสำหรับประเภทปัจจัยของการศึกษา เฮลิคอปเตอร์กระต๊าก ด้วย ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9	74
2.44	การออกแบบการทดลองทางสถิติสำหรับปัจจัย (หรือผลกระทบร่วมระหว่าง ปัจจัย) ของการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระต๊าก ด้วย ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ ชนิดแอล 8	75
2.45	สรุปผลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติและสภาวะการณ์ของการศึกษา เฮลิคอปเตอร์กระต๊าก	76
3.1	ข้อกำหนดของลูกค้ำสำหรับ Product EP-252	105
3.2	ลำดับของเสียแต่ละประเภทในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร	106
3.3	เกณฑ์ในการยอมรับสำหรับระบบการวัดของเครื่องจักร	111
3.4	ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 1	111
3.5	ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 2 (หลังการ ปรับเครื่องจักรใหม่)	114
3.6	เกณฑ์ในการยอมรับสำหรับระบบการวัดของเครื่องจักร	117
3.7	ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 1	118
3.8	ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 2 (หลังจาก ฝึกอบรมพนักงานใหม่)	122
3.9	เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิผลจาก AIAG	126
3.10	ผลการทดลองความเห็นพ้องระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน	126
3.11	ดัชนีแสดงประสิทธิผลของพนักงานแต่ละคน	127
3.12	ผลการตัดสินใจของพนักงานแต่ละคน	127

3.13	Bias Factor สำหรับการศึกษาศักยภาพระบบการวัด	128
3.14	กรณีพิเศษในการคำนวณ IB	129
3.15	ผลการวิเคราะห์ความสามารถของพนักงาน	130
3.16	การเปรียบเทียบอัตราการเกิด Rough circuit กับข้อบกพร่องประเภท Surface Etching / Open / Nick (Random)	133
3.17	สาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหา Open / Nick (Same PT)	137
3.18	สาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหา Open / Nick / Surface Etching (Random)	138
3.19	สาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหา Short / Protrusion Random	138
3.20	ผลการวิเคราะห์คะแนน RPN เพื่อบ่งชี้ลำดับความสำคัญของปัญหา	144
4.1	ผลการทดสอบสมมติฐานแสดงค่า P-Value Significant และ Non-Significant	191
4.2	ระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองและเครื่องมือที่ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์	198
4.3	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency ด้วย Minitab 16	199
4.4	ผลการวิเคราะห์ P-Value ของแต่ละปัจจัย และระหว่างปัจจัยร่วมของ RXD process	201
4.5	ผลการวิเคราะห์ P-Value แต่ละปัจจัยของ RXD process (Final model)	203
4.6	ผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value ของแต่ละปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย	206
4.7	ผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value ของ RDES2 และ RSTC process	209
4.8	ผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value ของ RDES2 และ RSTC process	210
4.9	ระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง	214
4.10	การออกแบบการทดลองทางสถิติสำหรับบอร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L16) โดยใช้แบบ Mixed 2-4 level designs	215
4.11	ผลการประเมินคะแนนความเสี่ยง R.P.N. เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	218
5.1	ผลของความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ยตอบสนอง	225

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กราฟเปรียบเทียบ % ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ของแต่ละหน่วยงาน	5
1.2	กราฟเปรียบเทียบ % ข้อบกพร่องของแต่ละผลิตภัณฑ์	5
1.3	กราฟเปรียบเทียบการพยากรณ์ยอดขายของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท	6
1.4	กราฟเปรียบเทียบการพยากรณ์ยอดขายของแต่ละผลิตภัณฑ์	6
2.1	ตัวแบบทั่วไปของกระบวนการหรือระบบใดๆ	22
2.2	ความหมายของค่าในแต่ละช่องตารางแสดง	28
2.3	ผลกระทบอันอาจเกิดจากความแตกต่างของระดับของปัจจัย	32
2.4	บริเวณวิกฤตของสมมติฐานหลักสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน	34
2.5	สัญลักษณ์มาตรฐานของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี	42
2.6	การพล็อตความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายชนิดปกติ	47
2.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าเฉลี่ย	47
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัย	48
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลตอบสนองเฉลี่ยและผลความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย	48
2.10	การจำลองการออกแบบการทดลอง 3^k แฟคทอเรียล	52
2.11	แนวคิดของความสูญเสียในรูปตัวแบบกำลังสอง	56
2.12	$2^2 \times 2^2$ ครอสส์แอเรย์ ($2^2 \times 2^2$ Crossed Array)	57
2.13	กราฟเส้นตรงสำหรับออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับออร์โทโกนอลแอเรย์ชนิดแอล 4	60
2.14	กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอเรย์ชนิดแอล 8	62
2.15	กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับออร์โทโกนอลแอเรย์ชนิดแอล 9	63
2.16	กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับออร์โทโกนอลแอเรย์ชนิดแอล 16	66
2.17	ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้	72

2.18	ความแตกต่างที่เกิดขึ้นแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยพิจารณาจาก SN_S ของการศึกษาการเชื่อม	73
2.19	ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้	77
2.20	ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยพิจารณาจาก SN_L ของการศึกษาคอปเตอร์กระดาษ	78
2.21	ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่สามารถควบคุมและไม่สามารถควบคุมได้ของการศึกษาคอปเตอร์กระดาษ	79
3.1	โครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบด้านเดียว	89
3.2	ลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบด้านเดียว	90
3.3	โครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสองด้าน	90
3.4	ลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสองด้าน	91
3.5	โครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสามชั้นขึ้นไป	91
3.6	ลักษณะแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสามชั้นขึ้นไป	92
3.7	ลักษณะแผงวงจรที่มีการวางตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	92
3.8	ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน LAS Unit	93
3.9	ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน PTH Unit	93
3.10	ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน CFM Unit	93
3.11	ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน COV Unit	94
3.12	ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน SFT Unit	94
3.13	ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน FIN Unit	95
3.14	แสดงการไหลของกระบวนการผลิต (1/3)	96
3.15	แสดงการไหลของกระบวนการผลิต (2/3)	97
3.16	แสดงการไหลของกระบวนการผลิต (3/3)	98
3.17	การพยากรณ์การสูญเสียต้นทุนการผลิตจากการเกิดข้อบกพร่องของ Product EP-252	106
3.18	กราฟแสดงประเภทของการเกิด Reject ของ Product EP-252	107
3.19	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Surface Etching	108
3.20	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open	108
3.21	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Nick	108
3.22	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Protrusion	109
3.23	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Short	109

3.24	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 1	112
3.25	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 2 (หลังการปรับเครื่องจักรใหม่)	115
3.26	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 1	119
3.27	ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 2 (หลังฝึกอบรมพนักงานใหม่)	123
3.28	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่อง Open/Nick same PT จากกระบวนการ RXLV	132
3.29	ลักษณะการเกิดข้อบกพร่อง Open/Nick same PT จากกระบวนการ RXD	132
3.30	การตัดแยกข้อบกพร่องประเภท Open ตามลักษณะการเกิด	132
3.31	การตัดแยกข้อบกพร่องประเภท Nick ตามลักษณะการเกิด	132
3.32	การตัดแยกลักษณะของข้อบกพร่องประเภท Short / Protrusion (Random)	135
3.33	แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภท Short / Protrusion (Random)	140
3.34	แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick / Surface Etching (Random)	141
3.35	แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick (Same PT)	142
3.36	กราฟพาเรโต้แสดงคะแนนระดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN)	153
4.1	ผลการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล โดย Levene's Test	156
4.2	ผลการทดสอบการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล โดยกราฟ Normal Probability Plot	157
4.3	ผลการทดสอบการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล โดยใช้ Residule Plots	157
4.4	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างวิธีการทำความสะอาดเครื่องจักรแบบเก่าและแบบใหม่	159
4.5	ขนาดของการเกิดข้อบกพร่องมีแนวโน้มที่เล็กลง	160
4.6	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความเข้มแสง 60 mJ/cm ² และ 160 mJ/cm ²	161
4.7	ผลการทดสอบสมมติฐาน ชนิดของแม่แบบระหว่าง Film และ Glass mask	162
4.8	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความถี่ในการทำความสะอาดเป็นทุก 360 และ 120 Sheet	163
4.9	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการทำทำความสะอาดด้วยผ้าชุบ IPA และ IPA+Alcohol	164
4.10	การใช้ Film เป็นแม่แบบและลักษณะที่ฝุ่นสามารถเข้าไปติดได้	165

4.11	การใช้ <i>Glass</i> เป็นแม่แบบและลักษณะที่ฝุ่นสามารถเข้าไปติดได้	166
4.12	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการใช้ฟิล์มและกระจกเป็นแม่แบบ	166
4.13	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ ทุกๆ 60 และ 30 แผ่น ของกระบวนการ RXD	168
4.14	วิธีการทำความสะอาดเครื่องจักรบริเวณใต้ฝาครอบด้านบนด้วยผ้าชุบแอลกอฮอล์	169
4.15	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างวิธีการทำความสะอาดแบบปกติและแบบพิเศษ 1	170
4.16	วิธีการทำความสะอาดเครื่องจักรบริเวณใต้ฝาครอบด้านบนด้วย Sticky mat	171
4.17	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างวิธีการทำความสะอาดแบบปกติและแบบพิเศษ	172
4.18	ผลการทดสอบสมมติฐาน Handy roller ที่ใช้ทำความสะอาด Master ระหว่างเก่าและใหม่	173
4.19	การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์จากสันของด้าม Handy roller ลอกเสียหาย	174
4.20	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความถี่ในการทำความสะอาดสันของด้าม Handy roller	175
4.21	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างอุณหภูมิของ Roll laminate ที่ 105 °C และ 95 °C	176
4.22	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความเร็วในการติดทรายฟิล์ม 3.0 และ 4.0 m/min.	178
4.23	ลักษณะการใส่งานเพื่อติดทรายฟิล์มที่เครื่อง DFLV	179
4.24	ลักษณะผิวของทรายฟิล์มที่สีไม่สม่ำเสมอและเส้นลายวงจรถัดจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรถัด	179
4.25	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่าง ด้านในการ Input งาน F-side up และ B-side up	180
4.26	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความเข้มแสงที่ใช้ถ่ายแบบเส้นลายวงจรถัด 40 และ 50 mJ/cm ² ของ RXD process	181
4.27	ผลการทดสอบสมมติฐาน ความถี่ในการทำความสะอาด Roll pass line ที่ Air knife & Dryer ของ RSTC process ระหว่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และสัปดาห์ละ 2 ครั้ง	183
4.28	ความแตกต่างของจำนวน Straight roll ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุง	184
4.29	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติและวิธีการพิเศษ	185

4.30	ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการใช้และไม่ใช้และการแยกทรายฟิล์มออกจากเครื่องจักร	186
4.31	ผลการทดสอบสมมติฐานการทำความสะอาด Roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์มระหว่างก่อนทำและหลังทำ	188
4.32	ผลการทดสอบสมมติฐานของ ค่า %BP ของบ่อ Development ระหว่าง 52% และ 37%	189
4.33	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ในแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency	199
4.34	แผนภาพกล่องแสดงผลในแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency	200
4.35	อิทธิพลหลักของค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency	200
4.36	Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย	202
4.37	Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant	202
4.38	Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป	203
4.39	Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป	204
4.40	ผลกระทบร่วมระหว่าง 4 ปัจจัย RXD Master, RXD Frequency, RXD Weekly Clean และ RXD Clean Handle	204
4.41	ลูกบาศก์แสดงลักษณะการออกแบบการทดลองของปัญหา 4 ปัจจัย	205
4.42	กราฟแสดงการปรับตั้งค่าของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการที่สุด	205
4.43	ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย	207
4.44	แผนภาพกล่องแสดงอิทธิพลของ อุณหภูมิ และด้าน Input ที่มีผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่อง	207
4.45	ผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัย อุณหภูมิ และ ด้าน Input ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง	208
4.46	Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย	209
4.47	Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant	210

4.48	Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป	211
4.49	Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป	211
4.50	อิทธิพลหลักของค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของ 3 ปัจจัย	212
4.51	ผลกระทบร่วมของ 3 ปัจจัย ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง Short/Protrusion (Random)	212
4.52	การออกแบบการทดลองทางกึ่งให้ถูกต้องโดย 1 ปัจจัย มี 4 ระดับ และ 8 ปัจจัย มี 2 ระดับ	215
4.53	กราฟการประเมินคะแนนความเสี่ยง R.P.N. เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	221
4.54	ผลการปรับปรุง 5 ข้อบกพร่องหลักของผลิตภัณฑ์ EP-252	221
4.55	ปริมาณข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังทำการปรับปรุง	222
5.1	ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยพิจารณาค่าเฉลี่ยตอบสนอง	223
5.2	ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาจาก SNs	224
5.3	แนวโน้มต้นทุนในการผลิตของผลิตภัณฑ์ EP-252 ที่ลดลงหลังการปรับปรุง	227

บทที่ 1

บทนำ

1.1 อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในระบบเศรษฐกิจสมัยใหม่

แนวโน้มการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ครึ่งหลังของปี 2556 ต้องเผชิญแรงกดดันจากหลายปัจจัย ซึ่งมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ในครึ่งแรกปี 2556 ต่ำกว่ามูลค่าการส่งออกในช่วงเดียวกันของปีก่อน ร่วงลงมาแตะที่ระดับ 12,677 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งเป็นช่วงหลังเกิดวิกฤตน้ำท่วมที่หลายโรงงานยังไม่กลับมาผลิตระดับปกติแม้ว่าผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เกือบทั้งหมดได้ทยอยกลับมาเริ่มผลิตระดับปกติตั้งแต่ช่วงครึ่งหลังปี 2555 แล้ว แต่ก็ยังเป็นที่ยังกังวลว่าสัญญาณลบดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเนื่องมาจากการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ในช่วงครึ่งหลังปี 2556 (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, 2556)

ฝ่ายวิจัยธุรกิจประเมินสถานการณ์ส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ครึ่งแรกของปี 2556 พร้อมทั้งคาดการณ์แนวโน้มการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี 2556 ในครึ่งปีหลังสรุปได้ดังนี้

1. สถานการณ์ส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ในช่วง 5 เดือนแรกปี 2556 : ลดลงร้อยละ 3.2 เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเดียวกันของปีก่อน มีสาเหตุหลักมาจากจีนซึ่งเป็นตลาดส่งออกสินค้าอันดับ 5 ของไทยชะลอการนำเข้า สังเกตได้จากมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของไทยไปจีน ในช่วง 5 เดือนแรกปี 2556 ลดลงมากที่สุดถึงร้อยละ 33 เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเดียวกันของปีก่อนและเทียบกับคู่ค้าสำคัญอื่นๆ ส่วนหนึ่งเป็นเพราะจีนซึ่งเป็นฐานการผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer; PC) ให้กับแบรนด์ Lenovo ที่เป็นผู้จัดจำหน่ายเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลรายใหญ่ติดอันดับ 1 ใน 3 ของโลกได้สั่งซื้อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive; HDD) ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเครื่องคอมพิวเตอร์ และแผงวงจรไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโรงงานผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในจีนลดลงหลังตลาดโลกส่งสัญญาณชะลอตัว โดยสะท้อนได้จากยอดจำหน่ายเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโลกที่หดตัวลง 2 ไตรมาสติดต่อกันโดยหดตัวร้อยละ 14 เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเดียวกันของปีก่อน ในไตรมาส 1 ปี 2556 และหดตัวร้อยละ 11 เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเดียวกันของปีก่อน ในไตรมาส 2 ปี 2556 ปัจจัยบั่นทอนดังกล่าวส่งผลกระทบต่อเนื่องทำให้จีนลดการนำเข้าผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์จากไทย

2. แนวโน้มการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ในช่วงครึ่งหลังปี 2556 : คาดว่าจะหดตัวต่อเนื่องเนื่องจากเผชิญแรงกดดันจากหลายปัจจัยดังนี้

▪ เศรษฐกิจคู่ค้าสำคัญทั้งสหรัฐอเมริกาและยุโรปยังเปราะบางและมีความไม่แน่นอนสูง (ไทยส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ไปทั้งสองตลาดนี้รวมกันประมาณร้อยละ 35 ของมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด) ล่าสุด กองทุนการเงินระหว่างประเทศ (International Monetary Fund) หรือไอเอ็มเอฟ (IMF) ปรับลดคาดการณ์อัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ปี 2556 ของสหรัฐฯ ลงเหลือร้อยละ 1.7 (เดิมคาดไว้ที่ร้อยละ 1.9) และยุโรปหดตัวร้อยละ 0.6 (เดิมคาดว่าหดตัวร้อยละ 0.4) คาดว่าจะกระทบต่อกำลังซื้อของผู้บริโภค โดยเฉพาะการเลือกซื้อสินค้าเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีราคาจำหน่ายต่อหน่วยค่อนข้างสูง และอาจส่งผลให้คู่ค้าทั้งสองต้องรอราคาหรือชะลอคำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ในระยะถัดไป

▪ เศรษฐกิจจีนชะลอความร้อนแรงลง ล่าสุดไอเอ็มเอฟปรับลดคาดการณ์อัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ปี 2556 ของจีนลงเหลือร้อยละ 7.8 (เดิมคาดไว้ที่ร้อยละ 8.1) ทั้งนี้ ภาคนาการของจีนประสบปัญหาสินเชื่อถึงตัวจนอาจส่งผลต่อการพิจารณาสินเชื่อให้กับโรงงานผลิตสินค้าเทคโนโลยีสารสนเทศและเครื่องใช้ไฟฟ้าในจีน และอาจกระทบต่อเนื่องมาจากการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของไทยซึ่งปัจจุบันเป็นหนึ่งในห่วงโซ่อุปทานที่สำคัญของอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศโลก รวมถึงจีน

▪ ตลาดเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีแนวโน้มหดตัวต่อเนื่อง ล่าสุด Gartner Inc. คาดว่าปริมาณจำหน่ายเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของโลกตลอดทั้งปี 2556 จะมีจำนวน 305 ล้านเครื่อง ลดลงร้อยละ 10.6 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน และจะลดลงต่อเนื่องที่ร้อยละ 5.2 ในปี 2557 สถานการณ์ดังกล่าวคาดว่าจะส่งผลให้ความต้องการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟของโลกมีแนวโน้มปรับลดลง และกระทบต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ของไทยเนื่องจากไทยพึ่งพาการส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 39 ของมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยเกื้อหนุนที่จะช่วยพยุงให้การส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่หดตัวลงมากนัก คือ การที่ตลาดผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ส่งออกบางประเภทโดยเฉพาะ แผงวงจรไฟฟ้าที่ใช้เป็นส่วนประกอบในสินค้าจำพวกโทรศัพท์และเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาหน้าจอสัมผัสยังมีแนวโน้มขยายตัว โดยมีการคาดว่าจะยอดขาย โลก ปี 2556 จะมีจำนวน 919 ล้านเครื่อง และ 191 ล้านเครื่อง ตามลำดับ และคาดว่าภายในปี 2560 จะเพิ่มขึ้นเป็น 1,516 ล้านเครื่อง และ 350 ล้านเครื่อง ตามลำดับ อีกทั้งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในรถยนต์ยังมีแนวโน้มขยายตัวตามปริมาณการผลิตรถยนต์ของโลกที่เพิ่มขึ้น ปัจจัยบวกดังกล่าวคาดว่าจะเอื้อต่อผู้ประกอบการไทยซึ่งเป็นหนึ่งในห่วงโซ่อุปทานผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์สำคัญของโลกให้ได้รับคำสั่งซื้อสินค้าประเภทดังกล่าวเพิ่มขึ้น (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, 2556)

ในสภาวะการของโลกปัจจุบันผู้ผลิตจำนวนมากกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงทางการตลาดและการแข่งขันที่สูงขึ้น ดังนั้น เพื่อตอบสนองความต้องการที่สูงขึ้น หลากหลายขึ้นและการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของลูกค้า ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตจำเป็นต้องวางกลยุทธ์ในการผลิตใหม่ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้สามารถสนองตอบความต้องการลูกค้าได้อย่างทันท่วงที แต่ละองค์กรจะต้องอาศัยความพยายามในการพัฒนาศักยภาพในการแข่งขันในหลายๆ ด้านให้มากขึ้น ทั้งด้านต้นทุน ด้านนวัตกรรมของผลิตภัณฑ์ ด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ด้านการส่งมอบสินค้า ด้านเทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต (ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง, 2552)

การดำเนินงานขององค์กรอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเป็นองค์กรธุรกิจที่มุ่งแสวงหากผลกำไรและความสามารถในการแข่งขันที่ยั่งยืน ผู้ประกอบการจำเป็นต้องมีการปรับรูปแบบการดำเนินงานให้สอดคล้องกับสภาวะการของโลกปัจจุบันซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทั้งยังมีการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาสร้างรายได้เปรียบทางการแข่งขันให้กับองค์กร ในสภาวะการณ์ปัจจุบันมีการแข่งขันทางการตลาดที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และแนวโน้มของการเปิดการค้าเสรี (Asean Economics Community : AEC) ยิ่งทำให้แต่ละองค์กรต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน เพื่อให้สามารถดำเนินธุรกิจต่อไปได้อย่างมีผลกำไร (دنุพันธ์ วิสุวรรณ, 2555)

ซึ่งขณะนี้สภาวะเศรษฐกิจของโลกมีการแข่งขันกันสูง โดยเฉพาะการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งบริษัทกรณีศึกษานั้นเป็นบริษัทที่รับจ้างผลิต (Original Equipment Manufacturer : OEM) แผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่น (Electronic Flexible Printed Circuit: E-FPC) และเพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดได้ในสภาวะปัจจุบันที่มีการแข่งขันสูง เนื่องจากว่าผู้ผลิตไม่สามารถเพิ่มราคาขายสินค้าให้สูงขึ้นได้ ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้มีความพยายามหาทางในการลดต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตนั้นก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญที่ช่วยในการลดต้นทุนในการผลิตและสามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างมีคุณภาพ สร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า และในที่สุดทำให้มีผลกำไรเพิ่มขึ้นอีกด้วย (สุวรรณา โคนสุข, 2553)

1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาก่อตั้งขึ้นในปี 2001 ในสวนอุตสาหกรรมโรจนะอยุธยา และเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2553 มีการควบรวมบริษัทในเครือ 7 บริษัทเข้าด้วยกัน จากการควบรวมนี้เราจะสามารถใช้ทรัพยากรการบริหารจัดการซึ่งรวมถึงทรัพยากรมนุษย์ เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ และเทคโนโลยีการผลิตที่เรามีอยู่ในประเทศไทยได้อย่างเหมาะสมที่สุดในการเสริมความแข็งแกร่งให้แก่รากฐานการบริหารจัดการและพัฒนาปรับปรุงระดับฝีมือในโมโนซึกุริ (Monozukuri) คือ การผลิต

สินค้าของบริษัทอื่นจะช่วยสร้างระบบการบริหารจัดการที่มีความฉับไวและมีประสิทธิภาพในการมอบคุณค่าที่มากยิ่งขึ้นให้แก่ลูกค้า มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 16,000 คน

บริษัทคำนึงถึงความต้องการ ความเชื่อมั่น และความไว้วางใจของลูกค้าที่จะจัดหาผลิตภัณฑ์ที่เป็นประโยชน์ และปลอดภัยด้วยคุณภาพสูงสุด จึงมีนโยบายด้านคุณภาพที่กล่าวว่า "คุณภาพ" ไม่เพียงแต่หมายถึง คุณภาพของผลิตภัณฑ์เท่านั้นแต่ยังรวมถึง คุณภาพของกระบวนการทางธุรกิจที่ใช้ในการผลิตด้วย พร้อมทั้งจะทบทวน เปลี่ยนแปลง ปรับปรุง อบรม เพื่อพัฒนาบุคลากร และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง ให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ตรงความต้องการหรือสูงกว่าความคาดหวังของลูกค้า มีการรณรงค์ส่งเสริมความคิดที่ว่า "คุณภาพต้องมาก่อน" และพร้อมพัฒนา ทั้งกระบวนการทางธุรกิจ วัฒนธรรมองค์กร เพื่อที่จะดำรงไว้ และสร้างความสัมพันธ์อันดีกับลูกค้าให้มากยิ่งขึ้น

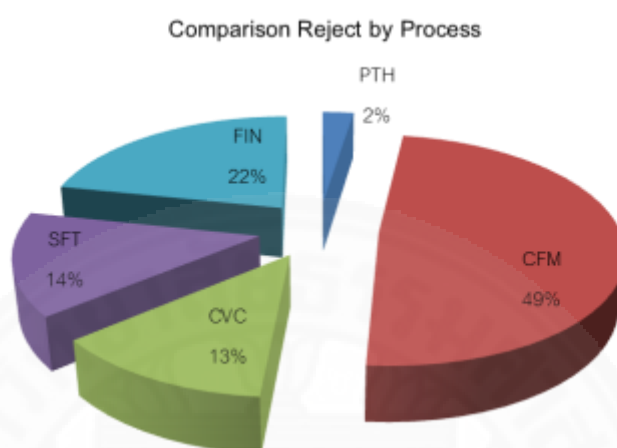
1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ชิ้นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีขนาดเล็กมาก มีการสร้างเส้นลายวงจรในขนาดที่เป็น "ไมครอน" ดังนั้น จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตงานออกมาให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้ามากที่สุด เพื่อให้สามารถผลิตงานที่มีขนาดเล็กและมีความละเอียดสูงได้นั้นทำให้มีการลงทุนการผลิตสูง ทั้งการติดตั้งเครื่องจักรที่ทันสมัย การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพซึ่งส่วนใหญ่จะนำเข้าจากต่างประเทศ รวมทั้งเมื่อผลิตขึ้นออกมาแล้วแต่เกิดของเสียในระหว่างกระบวนการผลิตจำนวนมาก ซึ่งทั้งหมดนี้ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ดังนั้น โรงงานกรณีศึกษาดังกล่าวจึงมีความพยายามที่จะลดของเสียให้ได้มากที่สุด เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงและสามารถทำกำไรให้กับองค์กรได้

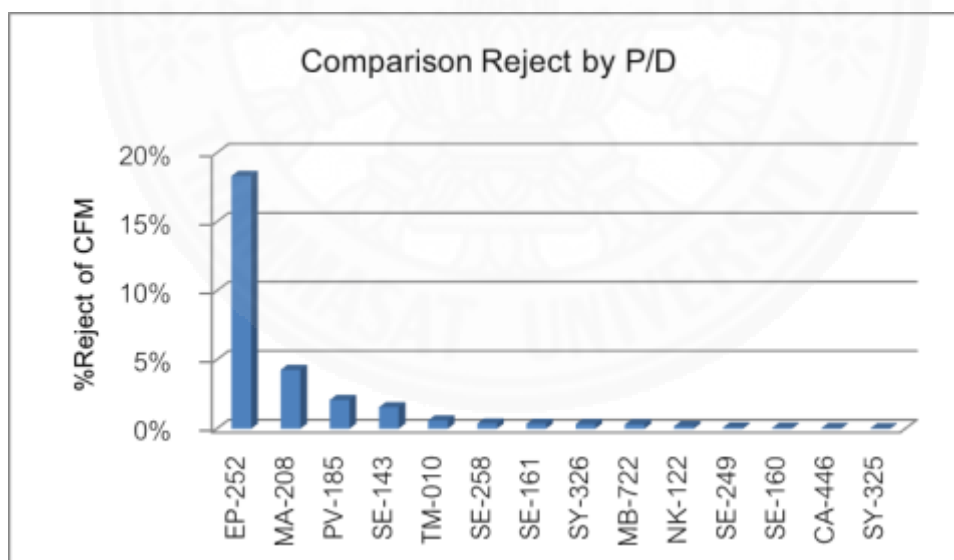
จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา โดยจากการเปรียบเทียบปริมาณของเสียจากแต่ละหน่วยงาน ได้แก่

1. หน่วยงานของกระบวนการเจาะรูด้วยแสงเลเซอร์และการชุบทองแดงเพื่อเชื่อมต่อพื้นที่ภายในรู (Laser และ Plate Through Hole Unit; LAS & PTH)
2. หน่วยงานของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Circuit Forming Unit; CFM)
3. หน่วยงานของกระบวนการติดแผ่นเคลือบผิวบนเส้นลายวงจร (Cover Coat Unit; COV)
4. หน่วยงานของกระบวนการเคลือบผิวเส้นลายวงจรบริเวณที่ลูกค้าใช้งาน (Surface Treatment Unit; SFT)
5. หน่วยงานของกระบวนการผลิตขั้นสุดท้าย (Final Unit ; FIN)

พบว่าที่หน่วยงานของ CFM มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นมากที่สุดถึง 49% ดังภาพที่ 1.1 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ในระดับ Product แต่ละตัว จะพบว่าผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 เป็นผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่องสูงที่สุด ซึ่งมากถึง 18.33% ดังภาพที่ 1.2



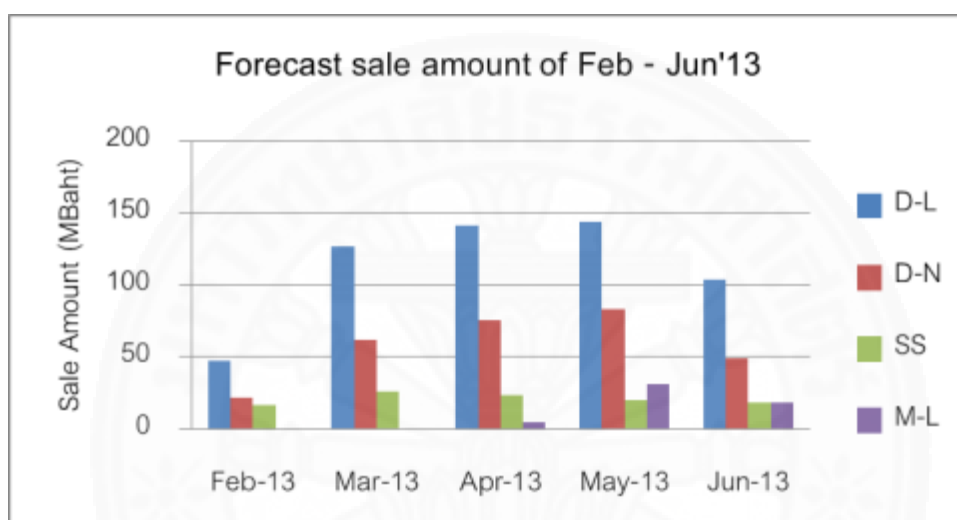
ภาพที่ 1.1 กราฟเปรียบเทียบ % ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ของแต่ละหน่วยงาน



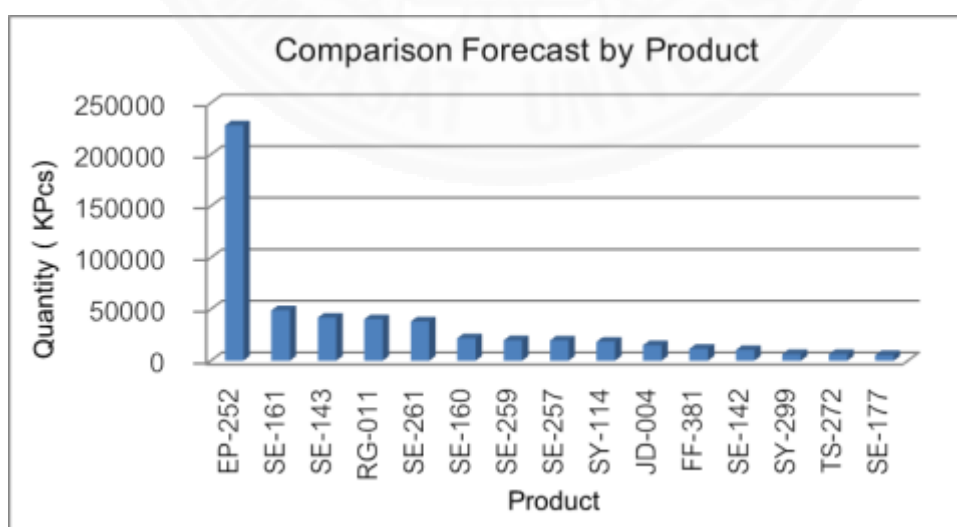
ภาพที่ 1.2 กราฟเปรียบเทียบ % ข้อบกพร่องของแต่ละผลิตภัณฑ์

ประกอบกับการพิจารณาการพยากรณ์ยอดขาย (Forecast sale amount) ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทพบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภท D-L มีการพยากรณ์ยอดขายที่สูงที่สุดใน 5 เดือน

ต่อเนื่อง ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายนดังภาพที่ 1.3 และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ประเภท D-L มา จำแนกออกแล้วพบว่าผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 มีการพยากรณ์ยอดขายที่สูงที่สุด ซึ่งมีการคาดการณ์ ปริมาณการขายสูงเป็น 228,146,000 ชิ้น ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดดังภาพที่ 1.4 ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 จึงมีความสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาอย่างยิ่งในการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ต้นทุนในการ ผลิตต่ำลงและสุดท้ายส่งที่บริษัทผู้ผลิตต้องการก็คือการได้รับความเชื่อมั่นจากลูกค้า สามารถส่งงานให้ ลูกค้าได้ทันเวลา และสุดท้ายทำให้ยอดขายเพิ่มขึ้นและเกิดผลกำไรต่อบริษัท



ภาพที่ 1.3 กราฟเปรียบเทียบการพยากรณ์ยอดขายของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท



ภาพที่ 1.4 กราฟเปรียบเทียบการพยากรณ์ยอดขายของแต่ละผลิตภัณฑ์

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 ศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงเพื่อกำหนดแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรโดยการประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา

1.4.2 เพื่อลดอัตราข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรซึ่งตั้งเป้าหมายว่าจะข้อบกพร่องลงให้ได้ 50%

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 โครงการวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาในสถานประกอบการที่ประกอบกิจการประเภทการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยผลิตภัณฑ์หลักคือชิ้นส่วนแผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน

1.5.2 ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาเรื่องของเสียผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (CFM Unit) เท่านั้น โดยการวิเคราะห์ปัญหาจะประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบซิกซ์ ซิกมาเพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมี 5 ขั้นตอนหลักดังนี้

1.6.1 ระยะเวลาการกำหนดปัญหา (Define; D) ศึกษาข้อกำหนดของลูกค้าจัดตั้งทีมงานและแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ ระบุสภาพปัญหาของกระบวนการ ศึกษากระบวนการไหล (Process Flow) ของผลิตภัณฑ์ และรวบรวมข้อมูลที่อาจมีความเป็นไปได้ในการทำให้เกิดข้อบกพร่องพร้อมทั้งกำหนดเป้าหมายการปรับปรุงแก้ไข

1.6.2 การวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา (Measure; M) การระบุความสามารถของกระบวนการวิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำของระบบ การวัดระดับตัวแปรในการป้อนเข้าที่มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์

1.6.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze; A) ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่เป็นไปได้ระบุสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและทำการตรวจสอบสมมติฐานโดยใช้เครื่องมือทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ เช่น Hypothesis Testing

1.6.4 ระยะเวลาการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement; I) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์มากที่สุด เพื่อปรับตั้งค่าที่ดีที่สุดโดยประยุกต์ใช้

เครื่องมือทางสถิติการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) โดยใช้วิธีการแบบทากูชิ และทดลองยืนยันผลที่ได้

1.6.5 ระยะเวลาตรวจติดตามควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control; C) จัดทำระบบควบคุมกระบวนการนำสู่การปฏิบัติเพื่อรักษาระดับความสามารถของกระบวนการให้คงอยู่ในระดับที่ปรับปรุงไว้

1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1

แผนงานการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2557				2558								
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ระยะเวลาการกำหนดปัญหา (Define ; D)	■	■											
2. ระยะเวลาการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา (Measure ; M)			■	■									
3. ระยะเวลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis ; A)					■	■	■	■					
4. ระยะเวลาการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve ; I)								■	■	■	■		
5. ระยะเวลาการตรวจติดตามควบคุม และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control ; C)										■	■	■	
6. สรุปผลการวิจัยและเสนอแนวทางในการแก้ไข												■	■
7. แก้ไขข้อบกพร่อง													■
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์													■

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.8.1 สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะที่สามารถควบคุมได้และเพื่อให้มีความแปรปรวนต่ำ

1.8.2 ลดปริมาณของเสียของผลิตภัณฑ์ EP-252 ได้อย่างน้อย 50% ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถสร้างผลกำไรให้กับบริษัทมากขึ้น

1.8.3 สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยการส่งสินค้าได้ในปริมาณที่เพียงพอ ทันเวลา และมีคุณภาพ

1.8.4 สร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า และสามารถสร้างสัมพันธภาพที่ดีต่อลูกค้าในระยะ

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดพื้นฐานของ ชิกซ์ ชิกมา

ชิกซ์ ชิกมา เป็นการบริหารที่มุ่งเน้นในการลดความผิดพลาด ลดความสูญเปล่า และลดการแก้ไขตัวชิ้นงาน และสอนให้พนักงานรู้แนวทางในการทำธุรกิจอย่างมีหลักการ และจะไม่พยายามจัดการกับปัญหาแต่จะพยายามกำจัดปัญหาทิ้ง ชิกซ์ ชิกมา จะดีที่สุดในเมื่อทุกคนในองค์กรร่วมมือกัน ตั้งแต่ผู้บริหารระดับสูงไปจนถึงบุคลากรทั่วไปในองค์กร ซึ่ง ชิกซ์ ชิกมา เป็นการรวมกันระหว่างอำนาจแห่งคน (Power of people) และอำนาจแห่งกระบวนการ (Process Power) ซึ่งถ้าตัวชิกซ์ ชิกมา มีค่าสูงหรือมีความผันแปรมากขึ้นเท่าไร ก็เปรียบเสมือนมีการทำข้อผิดพลาดมากขึ้นเท่านั้น ชิกซ์ ชิกมาจึงถูกนำมาใช้เป็นชื่อเรียกของวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการใดๆ โดยมุ่งเน้นการลดความไม่แน่นอน หรือ Variation และการปรับปรุงขีดความสามารถในการทำงานให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด เพื่อนำมาซึ่งความพอใจของลูกค้า และผลที่ได้รับสามารถวัดเป็นจำนวนเงินได้อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มรายได้ หรือลดรายจ่ายก็ตาม

2.1.1 การพัฒนาองค์การแบบ ชิกซ์ ชิกมา

เป็นการพัฒนาที่มุ่งเน้นความเป็นเลิศ ซึ่งได้มีการกำหนดแนวทางในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการสื่อสาร การสร้างกลยุทธ์ และนโยบาย การกระจายนโยบาย การจูงใจ และการจัดสรรทรัพยากรในองค์การให้เหมาะสม เพื่อให้การปรับปรุงองค์การเป็นไปอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ โดยเน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานที่มีความสามารถ มีความตั้งใจที่จะปรับปรุง ต้องได้รับความรู้ที่เพียงพอต่อการปรับปรุง รวมทั้งมีทีมที่มีความสามารถและมีความตั้งใจที่จะปรับปรุง มีทีมที่ปรึกษาที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์สูงคอยให้ความช่วยเหลือสนับสนุน เพื่อให้ความผิดพลาดในการผลิตและการบริการมีน้อยที่สุด แนวความคิดการบริหารปรับปรุงองค์การแบบ ชิกซ์ ชิกมา มีความแตกต่างจากแนวความคิดในการบริหารแบบเดิม ที่เน้นการปรับปรุงการทำงานโดยเริ่มจากผู้บริหาร แล้วจึงกระจายให้หน่วยงานต่าง ๆ ในองค์กรปรับปรุง โดยขาดระบบการให้คำปรึกษาแนะนำและการช่วยเหลือที่เหมาะสม

2.1.2 แนวคิดแบบ ชิกซ์ ชิกมา เน้นให้พนักงานแต่ละคนสร้างผลงานขึ้นมาโดย

1) การตั้งทีมที่ปรึกษา (Counseling groups) เพื่อให้คำแนะนำพนักงานในการกำหนดแผนปรับปรุงการทำงาน

- 2) การให้ทรัพยากรที่จำเป็นต่อการปรับปรุง (Providing resource)
- 3) การสนับสนุนแนวความคิดใหม่ ๆ (Encouraging Ideas) เพื่อให้โอกาสพนักงานในการเสนอแนะความคิดเห็นใหม่ๆ
- 4) การเน้นให้พนักงานสามารถคิดได้ด้วยตัวเอง (Thinking) เพื่อให้พนักงานสามารถกำหนดหัวข้อการปรับปรุงขึ้นเองภายใต้ข้อกำหนดของผู้บริหารองค์กร

2.1.3 แนวคิดการบริหารแบบ ชิکش ชิคมา

- 1) เน้นสร้างทักษะและการเรียนรู้ให้แก่พนักงานอย่างเป็นระบบ และเข้มงวด รู้ปัญหาและกำหนดเป็นโครงการปรับปรุงทั้งระยะสั้นและระยะยาว
- 2) วัดที่ผลการปรับปรุงเป็นหลัก
- 3) ใช้ทีมงานที่มีผลประเมิณการทำงานดี หรือดีเยี่ยม มาทำการปรับปรุงและตัดสินใจให้คนเก่งมีเวลาถึง 100 % เพื่อแก้ปัญหาให้กับองค์กร
- 4) สร้างผู้นำโครงการให้เกิดขึ้นในอนาคต
- 5) ใช้ข้อมูลเป็นตัวตัดสินใจเท่านั้น
- 6) เน้นความรับผิดชอบในการทำโครงการ
- 7) การให้คำมั่นสัญญามาจากผู้บริหาร

2.1.4 หลักการสำคัญของกลยุทธ์ ชิکش ชิคมา

การบรรลุกลยุทธ์ที่สำคัญของ ชิکش ชิคมา ซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอน 5 ขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย Define - Measure – Analyze – Improve – Control

1) **Define** คือ ขั้นตอนการระบุและคัดเลือกหัวข้อเพื่อการดำเนินการตามโครงการ Six Sigma ในองค์กร โดยมีขั้นตอนการคัดเลือกโครงการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 โครงการนั้นต้องสอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร (Business Goal)

ขั้นตอนที่ 2 มอบหมายให้ฝ่ายต่างๆ ที่เสนอโครงการไปพิจารณาหากกลยุทธ์ (Strategy) ในการดำเนินงานที่สอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร (ตามขั้นตอนที่ 1)

ขั้นตอนที่ 3 แต่ละฝ่ายนำเสนอกลยุทธ์ในการดำเนินการให้ผู้บริหารทราบ และเมื่อผู้บริหารเห็นชอบแล้ว ให้กลับไปกำหนดพื้นที่ที่จะดำเนินงาน (High Potential Area)

ขั้นตอนที่ 4 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย หลังจากกำหนดพื้นที่ที่จะดำเนินการได้แล้ว ให้แต่ละฝ่ายกลับไปพิจารณาหัวข้อย่อยที่จะใช้ในการดำเนินการ

2) Measure เป็นขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในปัจจุบัน ขั้นตอนการวัดจะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอน 1 Plan Project with Metric คือ การวางแผนและดำเนินการคัดเลือกตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการดำเนินการโครงการ

ขั้นตอน 2 Baseline Project คือ การวัดค่าความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในปัจจุบัน โดยวัดผ่านตัวชี้วัดต่างๆ ที่เลือกสรรมาจากขั้นตอน Plan Project with Metric

ขั้นตอน 3 Consider Lean Tools คือ วิธีการปรับปรุงกระบวนการด้วยการใช้เทคนิคต่างๆ ของวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ขั้นตอน 4 Measurement System Analysis (MSA) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเป็นขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการทำงานว่ามีความปกติหรือไม่ก่อนจะลงมือปฏิบัติงาน

ขั้นตอน 5 Organization Experience หมายถึง ขั้นการนำประสบการณ์ที่ผ่านมาขององค์กร จะช่วยคิดในการแก้ไขปัญหา

3) Analyze ขั้นตอนนี้คือ การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลัก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในเชิงสถิติเพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหานั้น ซึ่งเรียกสาเหตุหลักนี้ว่า KPIV (Key Process Input Variable) ซึ่งต้องสามารถระบุให้ชัดเจนว่า อะไรคือ KPIV ของปัญหาและต้องสามารถเชื่อมโยงกับ ตัวหลักของกระบวนการ หรือที่เรียกว่า KPOV (Key Process Output Variable) ให้ได้ หลักการสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) ผังการกระจาย (Scattering Diagram) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นต้น

4) Improvement ขั้นตอนนี้คือการปรับตั้งค่าสาเหตุหลัก (KPIV) โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ผลลัพธ์ของกระบวนการเป็นไปตามต้องการ ด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆ ของกระบวนการให้เป็นไปตามความต้องการ

5) Control ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งต้องดำเนินการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจะไม่ย้อนไปมีปัญหามิเหมือนเดิมอีก DMAIC เป็นวิธีการพื้นฐานในกระบวนการ อาจให้คำจำกัดความสั้นๆ ได้ว่า Define: ต้องไม่มีการยอมรับความผิดพลาด Measure: กระบวนการภายนอกที่หาจุดวิกฤตเชิงคุณภาพ Analysis: ทำไมความผิดพลาดจึงเกิดขึ้น Improve: การลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้น Control: ต้องควบคุมให้เป็นไปตามเป้าหมาย

2.1.5 องค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทต่อซิกซ์ ซิกมา โครงสร้างและหน้าที่รับผิดชอบของซิกซ์ ซิกมา ประกอบด้วย

1) Champion เป็นชื่อเรียกผู้ที่มีความรับผิดชอบสูงสุดต่อผลสำเร็จในงาน หรือผู้บริหารระดับสูง (Executive-Level Management) สนับสนุนให้เป้าหมายของงานสำคัญประสบความสำเร็จ รมรงค์และผลักดันให้เกิดองค์การ Six Sigma และเกิดกระบวนการปรับปรุงองค์การอย่างต่อเนื่อง ขจัดอุปสรรค ให้รางวัลหรือค่าตอบแทน ตอบปัญหา อนุมัติโครงการ กำหนดวิสัยทัศน์โครงการ สนับสนุนทรัพยากรในด้านบุคลากร งบประมาณ เวลา สถานที่ กำลังใจ และความชัดเจนในหน้าที่ ผลักดันให้มีจำนวน Black Belt และ Green Belt ที่เหมาะสมในองค์การ มีหน้าที่ติดตามความก้าวหน้าของโครงการปรับปรุง ให้สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์การ ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างวัฒนธรรมในการปรับปรุงให้เกิดขึ้นในองค์การ โดยอาศัยการสื่อสาร การตั้งคำถามเพื่อย้ำให้เกิดแนวความคิดแบบ Six Sigma มีการชมเชยและการให้ประกาศนียบัตรแก่พนักงานในองค์การ มีการคัดเลือกโครงการปรับปรุงที่ดีเยี่ยมและการให้รางวัลเมื่อพนักงานปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ

2) Six Sigma Director มีหน้าที่นำและบริหารองค์การให้สำเร็จบรรลุแนวทาง Six Sigma ภายในหน่วยงานทางธุรกิจตนเอง เป็นผู้กำหนดแนวทางในการปฏิบัติและนโยบายการดำเนินงานของ Six Sigma สนับสนุนกิจกรรมต่างๆ ที่สำคัญในการกระจายนโยบายให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง

3) Master Black Belt คือ ผู้ชำนาญการด้านเทคนิค และเครื่องมือสถิติ เป็นผู้มีความรู้และความเชี่ยวชาญในการทำงานเป็นอย่างดี และสามารถถ่ายทอดและให้การอบรมเพื่อสร้างทีม Black Belt และ Green Belt ตลอดการปรับปรุงได้ เป็นผู้ช่วยเลือกโครงการปรับปรุงให้แก่ Champion และเป็นผู้มีความคิดสร้างสรรค์ในการคัดเลือกโครงการปรับปรุง โดยมองในภาพรวมใหญ่ขององค์การ ได้แก่ การปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐาน และการเสนอโครงการปรับปรุงที่เชื่อมโยงกันระหว่างหน่วยงานต่าง เป็นต้น

4) Black belt คือ ผู้บริหารโครงการ (Project Manager) และผู้ประสานงาน (Facilitator) ได้รับการรับรองว่าเป็นสายดำขั้นครุ Black belt เป็นการบ่งบอกถึงระดับความสามารถสูงสุดของนักกีฬายูโด จะทำหน้าที่เป็นหัวหน้าโครงการ บริหารลูกทีมที่มีลักษณะข้ามสายงาน ซึ่งในการบริหาร Six Sigma จะประกอบไปด้วยการทำโครงการย่อยที่คัดเลือกจากปัญหาที่มีอยู่ในกระบวนการต่างๆ ขององค์การ กระจายกลยุทธ์และนโยบายของบริษัทไปยังระดับปฏิบัติการ ผลักดันความคิดของ Champion ให้เกิดขึ้นและให้ความช่วยเหลือ Master Black Belt Six Sigma Director และ Champion นอกจากนี้ยังเป็นผู้ค้นหาปัญหาและอุปสรรคที่อยู่ในองค์การ และวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความจำเป็นในการทำให้องค์การบรรลุความพึงพอใจของลูกค้า เป็นผู้บริหารโครงการในแต่ละ

ขั้นตอนตามแนวทาง Six Sigma ประกอบด้วย กระบวนการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม โดยให้เกิดการกระจายผลการปรับปรุงไปสู่การปฏิบัติ รายงานความก้าวหน้าของโครงการให้ผู้บริหารระดับสูงทราบ Black Belt จะต้องทำหน้าที่ในการโน้มน้าวทีมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คัดเลือกเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงได้อย่างเหมาะสม เก็บรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ภายในองค์กร ทั้งจากพนักงานจนถึงระดับผู้จัดการ สร้างความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงสามารถคงอยู่ได้ตลอดไป

Black Belt ต้องได้รับการฝึกอบรมเพื่อให้มีความรู้ที่สำคัญในการปรับปรุงการทำงาน ซึ่งความรู้หลัก ๆ ของ Black Belt เพื่อการทำโครงการปรับปรุงที่จะได้รับประกอบด้วย

- ความรู้ทางสถิติ
- ความรู้ทางด้านการบริหารโครงการ
- ความรู้ทางด้านการสื่อสารและการเป็นผู้นำโครงการ
- ความรู้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพอื่น ๆ

5) **Green belt** คือ พนักงานที่ทำหน้าที่โครงการ เป็นผู้ที่ได้รับการรับรองว่ามีความสามารถเทียบเท่ากับกึ่งสายดำในระดับสายเขียว ซึ่งในการบริหาร Six Sigma นั้น ผู้ที่ทำหน้าที่เป็น Green belt จะเป็นผู้ช่วยของ Black belt ในการทำงาน ทำหน้าที่ในการปรับปรุงโดยใช้เวลาส่วนหนึ่งของการทำงานปกติ นำวิธีการปรับปรุงตามแนวทาง Six Sigma ไปใช้ในโครงการได้ สามารถนำเอาแนวความคิดและวิธีการปรับปรุงไปขยายผลต่อในหน่วยงานของตนเองได้

6) **Team Member** ในโครงการทุกโครงการจะต้องมีสมาชิกทำงาน 4-6 คน โดยเป็นตัวแทนของคนที่ทำงานในกระบวนการที่อยู่ในขอบข่ายของโครงการ ส่วนสำคัญที่สุดในการทำ Six Sigma คือ โปรเจ็กต์ แคมเปญ ซึ่งจะมีความสำคัญในการดูแลให้การสนับสนุน และจัดหางบประมาณที่เพียงพอให้แก่ละ Six Sigma และยังคงคอยสนับสนุน แบล็กเบลต์

2.1.6 ประโยชน์ในการนำ Six Sigma มาใช้ในองค์กร

- 1) สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างกลยุทธ์ใหม่ให้ธุรกิจ
- 2) สามารถลดความสูญเสียโอกาสอย่างมีระบบและรวดเร็วโดยการนำกระบวนการทางสถิติมาใช้
- 3) พัฒนาบุคลากรในองค์กรให้มีศักยภาพสูงขึ้นตอบสนองต่อกลยุทธ์ได้อย่างรวดเร็ว และปรับองค์กรให้เป็นองค์กรแห่งการเรียนรู้ (Learning Organization)
- 4) ช่วยหารระดับคุณภาพของอุตสาหกรรม โดยสามารถเทียบเข้ากลุ่มอุตสาหกรรมได้ (Benchmarking) (<http://club.sanook.com/28455/six-sigma>, 2557)

2.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

เป็นเทคนิคหรือกระบวนการอย่างเป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์กิจกรรมในด้านการออกแบบหรือกระบวนการผลิต โดยการชี้บ่งปัญหา หรือข้อบกพร่องใดๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในกิจกรรมนั้น ซึ่งจะพิจารณาถึงคุณลักษณะพิเศษ ระดับความรุนแรง ผลกระทบที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งระบุวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าว และตรวจสอบประสิทธิผลของการป้องกัน (วิชาญ ทองไพรวรรณ, 2548) โดยในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

2.2.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบด้านการออกแบบ (Design FMEA : DFMEA)

เป็นกิจกรรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการออกแบบ เพื่อพิจารณาคุณสมบัติของสินค้าได้ตามเป้าหมาย ค่าใช้จ่าย และผลิตภาพตามที่ต้องการ ประโยชน์ของ DFMEA ได้แก่

- 1) จัดลำดับความสำคัญสำหรับการปรับปรุงการออกแบบ
- 2) ชี้บ่งคุณลักษณะที่วิกฤติและสำคัญ
- 3) ช่วยประเมินผลข้อกำหนดการออกแบบและทางเลือก
- 4) ขจัดข้อห่วงใยด้านความปลอดภัย
- 5) ทำให้ทราบความล้มเหลวที่เป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์

ข้อดีของ DFMEA

1) ช่วยในการบ่งชี้ความผิดพลาดที่อาจจะเกิดในขั้นตอนต่างๆ ของการออกแบบ และกำหนดแนวทางในการป้องกันต่อไป

- 2) ช่วยในการประเมินผลของแบบที่ได้จากการออกแบบ
- 3) ช่วยเพิ่มความมั่นใจและความพอใจให้แก่ลูกค้า

ข้อเสียของ DFMEA

1) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบด้านการออกแบบจะไม่ขึ้นอยู่กับการควบคุมกระบวนการ

2) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบด้านการออกแบบจะขึ้นกับข้อจำกัดด้านเทคนิคและข้อจำกัดทางกายภาพของกระบวนการผลิตและกระบวนการประกอบ

2.2.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบด้านกระบวนการผลิต (Process FMEA: PFMEA)

เป็นกิจกรรมที่สร้างขึ้นเพื่อพิจารณากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนตลอดจนการควบคุมกระบวนการ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าสินค้าที่ผลิตอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของสินค้า ดังนั้น PFMEA จึงมีความสัมพันธ์กันระหว่างขั้นตอนในแต่ละกระบวนการ และปัจจัยนำออกที่ไม่ยอมรับกระบวนการนั้น โดยพิจารณาถึงสาเหตุของการไม่ยอมรับและดำเนินการควบคุมหรือป้องกันสิ่งที่เกิดขึ้นดังกล่าวประโยชน์ของ PFMEA ได้แก่

- 1) ช่วยชี้บ่งข้อบกพร่องของกระบวนการและเสนอแผนการปฏิบัติการแก้ไข
- 2) ชี้บ่งคุณลักษณะที่วิกฤติและสำคัญ และช่วยในการพัฒนาแผนคุณภาพ
- 3) ช่วยจัดลำดับความสำคัญของปฏิบัติการแก้ไข
- 4) ช่วยวิเคราะห์กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

2.2.3 ขั้นตอนการจัดทำ FMEA ได้แก่

- 1) กำหนดขอบเขตของข้อบกพร่อง
- 2) ศึกษาลำดับขั้นตอนของกระบวนการหรือการออกแบบ
- 3) อธิบายลักษณะของงานหรือหน้าที่ของแต่ละขั้นตอน หรือกระบวนการ
- 4) ทบทวนหน้าที่หลักและระบุข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น
- 5) ระบุการควบคุมในปัจจุบัน
- 6) ให้คะแนนระดับความรุนแรง ความถี่ในการเกิดขึ้นและความสามารถในการตรวจจับ
- 7) คำนวณค่าความเสี่ยงชี้้นำ
- 8) กำหนดสาเหตุข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไข จากค่าความเสี่ยงชี้้นำ

2.2.4 การประยุกต์ใช้ FMEA ให้ประโยชน์หลายประการ ดังนี้ คือ

- 1) ช่วยในการประเมินผลของแบบที่ได้จากการออกแบบทั้งความต้องการด้านหน้าที่และทางเลือกในการออกแบบ
- 2) การประเมินการออกแบบเพื่อการผลิตเบื้องต้น
- 3) ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ ความไว้วางใจ ตลอดจนความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ
- 4) ช่วยในการลดต้นทุนที่ซ่อนเร้นของกระบวนการผลิต ทำให้องค์กรสามารถเพิ่มอำนาจในการแข่งขันทางธุรกิจในระยะยาวได้ดี

- 5) ช่วยเพิ่มความมั่นใจและความพอใจให้แก่ลูกค้า
- 6) ช่วยในการลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งมีผลทำให้สามารถวางตลาดผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น
- 7) ช่วยในกระบวนการป้องกันข้อบกพร่อง
- 8) ช่วยเพิ่มศักยภาพด้านเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology)
- 9) ช่วยในการกำหนดถึงลำดับสำคัญของกิจกรรม การปรับปรุงคุณภาพโดยผ่านตัวเลขวิเคราะห์ความเสี่ยง
- 10) ช่วยในการบ่งชี้ถึงความผิดพลาด (Error) ที่อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของการออกแบบและกระบวนการและกำหนดแนวทางในการป้องกันต่อไป
- 11) ช่วยในการบ่งชี้ปัจจัยที่คาดว่าจะสาเหตุสำคัญของปัญหาเพื่อดำเนินการพิสูจน์และแก้ไขต่อไป
- 12) ช่วยในการบ่งชี้ถึงวิธีการวินิจฉัยการออกแบบและกระบวนการ (Diagnostic Procedures)

2.2.5 เกณฑ์การประเมินแนวโน้มที่จะเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

ในการสร้าง DFMEA เป็นเทคนิคเชิงวิเคราะห์ที่ใช้ออกแบบใช้ในการประเมินถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น รวมถึงสาเหตุหรือกลไกที่ทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องดังกล่าวด้วยการพิจารณาถึงสิ่งที่ทำการออกแบบในเชิงสัมพันธ์กับระบบที่เกี่ยวข้องระบบย่อย ตลอดจนองค์ประกอบต่างๆ ดังนั้น DFMEA นี้จึงเป็นบทสรุปของความคิดของคณะทำงานที่มีต่อองค์ประกอบต่างๆ ระบบย่อย ตลอดจนระบบที่ได้รับการออกแบบ DFMEA นี้จะมีส่วนสำคัญต่อการลดความเสี่ยงจากข้อบกพร่องของระบบออกแบบโดย

- 1) ช่วยประเมินผลในเชิงภาวะวิสัยของแบบที่ได้ซึ่งรวมถึงความต้องการของหน้าที่ใช้งานและทางเลือกของแบบ
- 2) การประเมินผลถึงการออกแบบเพื่อการผลิต การประกอบและการบริการเบื้องต้น
- 3) การเพิ่มโอกาสที่จะตรวจพบลักษณะข้อบกพร่องตลอดจนผลกระทบที่มีต่อระบบของการปฏิบัติการในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนา
- 4) การให้สารสนเทศเพิ่มเติมที่ช่วยในการวางแผนอย่างทั่วถึง ตลอดจนโปรแกรมในการออกแบบ การพัฒนาและการตรวจสอบความถูกต้องที่มีประสิทธิภาพ
- 5) ช่วยในการพัฒนา
- 6) การทำให้ได้รับประเด็นสำคัญ

7) การทำให้เกิดการเรียนรู้

ส่วนสำคัญในการจัดทำ FMEA คือ การประเมินค่าความเสี่ยงซึ่งนำ (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งได้แก่การระดมสมองเพื่อประเมินเกณฑ์ความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity: S) โอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่องขึ้น (Occurrence: O) และการประเมินความสามารถในการควบคุมหรือการตรวจพบข้อบกพร่อง (Detection: D) ซึ่งคะแนนจากการประเมินปัจจัยทั้งสามจะนำมาคูณกันเพื่อหาค่าความเสี่ยงซึ่งนำ เพื่อบ่งชี้ลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่ควรได้รับการแก้ไขก่อนหลังตามลำดับ

1) Severity (S) คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1-10 โดย 1 คือ ความรุนแรงน้อยที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น และ 10 คือ ความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น โดยลำดับของความรุนแรงจะพิจารณาอยู่ภายใต้ขอบเขตของ FMEA แต่ละกรณีทีวิเคราะห์ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรงของผลกระทบดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรง

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบ	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มี การเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือ ชัดต่อกฎหมายโดยไม่มี การเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมี การเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือ ชัดต่อกฎหมายโดยมี การเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ (เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก)	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ แต่ระดับของสมรรถนะจะลดลงจนทำให้ ลูกค้าไม่พอใจมาก	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ แต่จะขาดความสะดวกสบายจนทำให้ ลูกค้ามีความไม่พอใจ	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบาย แต่ระดับของ สมรรถนะจะลดลงจนอาจจะทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจจะมีเสียงดังอยู่บ้าง ลูกค้า ส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจจะมีเสียงดังอยู่บ้าง ลูกค้า ประมาณครึ่งหนึ่ง สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจจะมีเสียงดังอยู่บ้าง ลูกค้า ส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	1

2) Occurrence (O) คือ ระดับความถี่ของการเกิดปัญหา ความล้มเหลว หรือ ความผิดพลาด เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1-10 โดย 1 คือ ความถี่น้อยที่สุดของการเกิดความล้มเหลว หรือความผิดพลาด และ 10 คือ ความถี่มากที่สุดของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด โดยทำการ พิจารณาเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดข้อบกพร่องที่เป็นไปได้บนผลิตภัณฑ์เป็นหลัก โดยมี เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสที่เกิดขึ้น

โอกาสการเกิดขึ้นของ ข้อบกพร่อง	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (PPM/รายการ)	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	มากกว่าเท่ากับ 100,000 หรือ 10%	10
	50,000 หรือประมาณ 5%	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องน้อย	20,000 หรือประมาณ 2%	8
	10,000 หรือประมาณ 1%	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้ง คราว	5,000 หรือประมาณ 0.5%	6
	2,000 หรือประมาณ 0.2%	5
	1,000 หรือประมาณ 0.1%	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500 หรือประมาณ 0.05%	3
	100 หรือประมาณ 0.01%	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสจะเกิด ข้อบกพร่อง	น้อยกว่าเท่ากับ 10 หรือ 0.001%	1

3) Detection (D) คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปยังกระบวนการถัดไปหรือส่งไปจนถึงลูกค้า เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1-10 โดย 1 คือ ความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด และ 10 คือ ความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด โดยสามารถใช้เกณฑ์การให้คะแนนการตรวจจับปัญหาดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับปัญหา

การตรวจจับ	ความเป็นไปได้ของการตรวจจับโดยการควบคุมการออกแบบ	คะแนน
มีความไม่แน่นอนเกือบจะทั้งหมด	ระบบการควบคุมการออกแบบจะไม่ และ/หรือ ไม่สามารถตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้เลย (หรืออาจกล่าวได้ว่า ไม่มีระบบการควบคุมการออกแบบเลย)	10
ห่างไกลมาก	มีโอกาสน้อยมากๆ ที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	9
ห่างไกล	มีโอกาสน้อยมากที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	8
ต่างมากๆ	มีโอกาสต่ำมากๆ ที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	7
ต่าง	มีโอกาสต่ำที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	6
ปานกลาง	มีโอกาสปานกลางที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	5
ค่อนข้างสูง	มีโอกาสค่อนข้างสูงที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	4
สูง	มีโอกาสสูงที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	3
สูงมาก	มีโอกาสสูงมากที่ระบบการควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	2
เกือบจะมีความแน่นอน	ระบบการควบคุมสามารถตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอนถึงสาเหตุ/กลไกตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	1

จากนั้นนำทั้ง 3 ค่ามาคำนวณค่าระดับของความเสี่ย (Risk Priority Number : RPN) โดยนำค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวมาคูณกัน คือ $S \times O \times D$ และวิเคราะห์คะแนน RPN (วิชาญทองไพรวรรณ, 2548)

2.3 กลยุทธ์ในการทดลอง (Strategy of Experimentation)

การทดลองโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่มีอยู่ในกระบวนการหรือระบบใดๆ ทั้งนี้การทดลองอาจเป็นการทดสอบเพียงครั้งเดียว หรือเป็นชุดของการทดสอบ เพื่อใช้ในการตรวจจับหรือบ่งชี้เหตุผลของการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรตามหรือผลตอบสนอง (Output Response) ที่ได้รับจากการำหนดระดับ (Level) ของตัวแปรต้นหรือปัจจัยป้อนเข้า (Input Variables or Factors) ของกระบวนการ หรือระบบใดๆ ที่แตกต่างกันออกไป

ดังนั้น ในรายละเอียดของเอกสารคำสอนเล่มนี้ จึงเป็นการกล่าวถึงการวางแผน และการปฏิบัติการทดลอง รวมทั้งการวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้รับเพื่อทำการสรุปผลในขั้นตอนสุดท้าย โดยจะเน้นในการแก้ไขปัญหาของกระบวนการ หรือระบบทางด้านวิศวกรรม กายภาพ และเคมี ในงานด้านวิศวกรรมทดลองได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนา และปรับปรุงกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามวัตถุประสงค์หลักในงานด้านต่างๆ ยังคงเน้นหนักเพื่อพัฒนากระบวนการหรือระบบทำให้มีความทนทาน (Robust) กล่าวคือ ทำให้กระบวนการมีผลกระทบที่ต่ำที่สุดต่ออิทธิพลอันเกิดขึ้นมาจากปัจจัย หรือสิ่งรบกวน (Noise) จากภายนอก

ดังนั้น เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้น จึงขอแนะนำตัวอย่างของการทดลองในงานด้านวิศวกรรมโยธา เพื่อให้ศึกษาความแข็งแรงของซีเมนต์หรือผลตอบสนอง (Response) ที่เกิดขึ้นจากสูตรผสมสองชนิด (Treatment) วัตถุประสงค์หลักของการทดลองนี้ คือ การพัฒนาสูตร หรือวิธีการผสมที่ทำให้ซีเมนต์เกิดความแข็งแรงมากที่สุด วิศวกรจึงได้ตัดสินใจโดยการทดสอบปัญหาดังกล่าว และวัดผลของค่าความแข็งแรงที่เกิดขึ้น ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของชิ้นงานจะถูกใช้ในการพิจารณาถึงวิธีการ หรือสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาระบบต่อไปในอนาคต อย่างไรก็ตามขณะทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงความต่างๆ อันอาจเกิดขึ้นได้ และมีอิทธิพลต่อคำตอบที่ได้รับในขั้นตอนสุดท้าย อาทิ

- จำนวนของสูตรผสมที่เกี่ยวข้องมีเพียงสองสูตรเท่านั้นหรือไม่
- อิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ ที่อาจกระทบต่อความแข็งแรงของซีเมนต์มีหรือไม่ และควรทำการทดสอบหรือควบคุม ขณะทำการทดลองและวัดค่าความแข็งแรงหรือไม่
- จำนวนของชิ้นงานทดสอบที่เหมาะสมในแต่ละสูตรผสมที่กำหนด
- ชิ้นงานควรถูกกำหนดลำดับที่ในการทดสอบ เพื่อรวบรวมผลข้อมูลความแข็งแรงในแต่ละสูตรผสมอย่างไร
- วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่เหมาะสมควรมีลักษณะอย่างไร

ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงที่เกิดขึ้นของสองสูตรผสม ควรกำหนดระยะห่างอย่างไร เพื่อสามารถสรุปผลของสูตรผสมที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนการตัดสินใจ คำถามต่าง ๆ เหล่านี้ รวมทั้งปัญหาอื่นๆ ที่ไม่ได้แจกแจงรายละเอียดควรจะถูกพิจารณาในขั้นตอนก่อนการทดลองดังกล่าวจะเกิดขึ้น ในการทดลองใดๆ ผลลัพธ์และข้อสรุปที่ได้รับมักขึ้นอยู่กับข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้เก็บรวบรวมไว้ระหว่างการทดลองดังเช่นตัวอย่างที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ หากผู้ทำการทดลองได้ใช้ชิ้นงานทดสอบสำหรับทั้งสองสูตรผสมเสร็จสิ้น และนำข้อมูลด้านความแข็งแรงที่วัดได้มาทำการเปรียบเทียบ ผู้ทำการทดลองไม่สามารถสรุปผลความแตกต่างจากสูตรผสมทั้งสองได้อย่างแน่ชัดจากข้อมูลที่มีอยู่ เนื่องจากผลความแตกต่างอาจส่งผลมาจากความร้อนของสภาพแวดล้อมในขณะที่ทำการทดลองอีกทางหนึ่งก็เป็นได้ ดังนั้นวิธีการรวบรวมข้อมูลจึงมีผลกระทบต่อสรุปผลการทดลองอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

โดยทั่วไปการทดลองถูกนำมาใช้ เพื่อประโยชน์ทางด้านการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงด้วยตัวอย่างแบบในรูปภาพที่ 2.1 โดยระบบหมายถึงองค์ประกอบเหล่านี้จะทำการเปลี่ยนปัจจัยเข้า (Input) โดยปรกติมักเป็นวัตถุดิบ ให้เป็นปัจจัยออก (Output) ประสิทธิภาพของปัจจัยออกสามารถพิจารณาได้โดยการใช้ผลตอบสนอง (Responses) ปัจจัยกระบวนการอาจพบปัจจัยต่างๆ นั่นคือ x_1, x_2, \dots, x_p ซึ่งโดยทั่วไปสามารถควบคุมได้อย่างไรก็ตามพบว่าในกระบวนการอาจพบปัจจัยอื่นๆ เช่น z_1, z_2, \dots, z_p ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ (ในสภาพจริงจะสามารถควบคุมได้ในขณะดำเนินการทดลอง) วัตถุประสงค์ต่างๆ ของการทดลองประกอบด้วย

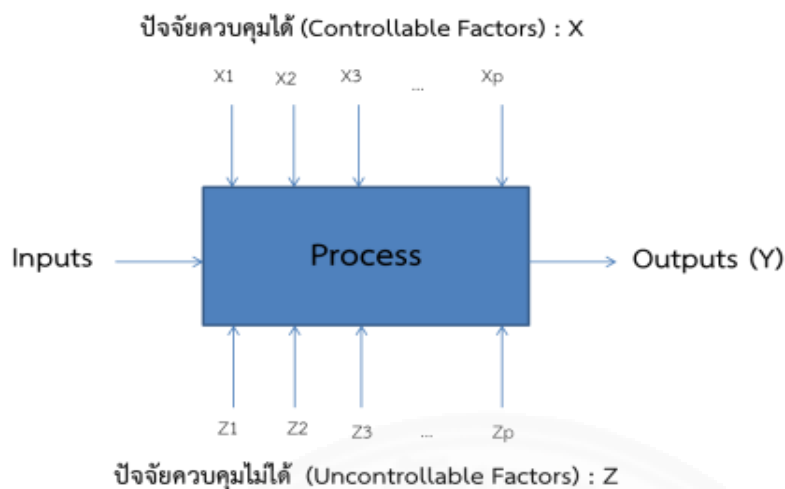
- ตรวจสอบว่าปัจจัยใด (Factor: X) มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง (Response): Y
- มีวิธีการใดที่จะตั้งค่าปัจจัย X เพื่อให้ค่าผลตอบสนอง Y มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่

ต้องการ

- มีวิธีการใดที่จะตั้งค่าปัจจัย X เพื่อให้ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นกับค่าผลตอบสนอง Y

มีค่าต่ำ

- มีวิธีการใดที่จะตั้งค่าปัจจัย X เพื่อให้ผลกระทบเนื่องจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors: Z) มีค่าต่ำ



ภาพที่ 2.1 ตัวแบบทั่วไปของกระบวนการหรือระบบใดๆ ที่มา : การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม (2548)

จากตัวแบบของกระบวนการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการทดลองต้องสัมพันธ์กับหลายๆ ปัจจัย ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการทดลองของผู้ทำการทดลอง (Experimenter) จึงเป็นการพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ว่ามีอิทธิพลต่อผลตอบสนองของระบบหรือไม่นั่นเอง วิธีการโดยทั่วไปในการวางแผนและดำเนินการทดลองเรียกว่า กลยุทธ์ในการทดลอง (Strategy of Experimentation) ซึ่งมีอยู่หลายกลยุทธ์ในการเลือกใช้งาน โดยที่นี้จะอธิบายส่วนหนึ่งซึ่งไม่มีความซับซ้อนมากนักในการทดลอง (พงค์ชนัน เหลืองไพบูรณ์, 2548)

2.4 หลักการพื้นฐาน (Basic Principles)

ในการทดลองเพื่อให้มีประสิทธิภาพ กลยุทธ์ทางด้านวิทยาศาสตร์จึงได้เข้ามามีบทบาทยิ่งขึ้นโดยเฉพาะการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) ซึ่งเป็นกระบวนการของการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงสถิติได้อย่างถูกต้องเหมาะสม อีกทั้งกลวิธีทางด้านสถิติในการออกแบบการทดลองยังมีส่วนช่วยให้การสรุปผลจากข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องยิ่งขึ้นอีกด้วย เนื่องจากกลวิธีทางด้านสถิติมีการพิจารณาถึงความผิดพลาดจากการทดลอง (Experimental Error) มาใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแนวคิดที่สำคัญในปัญหาด้านการทดลองจึงประกอบด้วย การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ โดยแนวคิดทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมากเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้รับจากการออกแบบเอาไว้เบื้องต้น

หลักการพื้นฐานสามประการของการออกแบบการทดลองประกอบด้วย

- จำนวนครั้งของการทดลอง (Replication)
- การทดลองสุ่ม (Randomisation)
- การจัดกลุ่ม (Blocking)

ทั้งนี้ “จำนวนครั้งของการทดลอง” หมายถึง การทำซ้ำที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบเฉพาะของการทดลองดังตัวอย่างการทดสอบซีเมนต์ที่ได้กล่าวในตอนต้น นั่นคือ การศึกษาผลกระทบของกระบวนการแข็งแรงจากสูตรผสมที่ต่างกันสองวิธี ดังนั้น หากขึ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงาน ได้ถูกใช้ในการทดสอบในแต่ละสูตรผสม เราอาจกล่าวได้ว่า การทดลองนี้มีจำนวนครั้งของการทดลองเท่ากับ 5

จำนวนครั้งในการทดลองมีความสำคัญสองประการคือ เป็นตัวช่วยให้ผู้ทำการทดลองสามารถหาค่าประมาณความผิดพลาดจากการทดลอง (An Estimate of the Experimental Error) ได้ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้เป็นตัววัดความแตกต่างของข้อมูลว่ามีความแตกต่างกันในทางสถิติหรือไม่ อีกประการหนึ่งจำนวนครั้งในการทดลองยังสามารถช่วยให้ผู้ทำการทดลองประมาณค่าผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในการทดลองให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น กล่าวคือ ถ้ากำหนดให้ σ^2 เป็นความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละข้อมูลจากการทดลอง และมีจำนวน n ครั้งในการทดลอง ดังนั้นความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Variance of Sample Mean) เท่ากับ

$$\sigma_{\bar{y}}^2 = \frac{\sigma^2}{n}$$

ดังนั้น ถ้ากำหนดให้จำนวนครั้งการทดลองมีค่าเท่ากับ 1 ค่าความแข็งแรงจากสูตรผสม 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 16.76 และ 17.92 ตามลำดับ เราจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การอนุมานผลความแตกต่างของสูตรผสมทั้งสองไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัด เนื่องจากค่าความแตกต่างที่ได้รับอาจเป็นผลสืบเนื่องจากการทดลองได้ อีกนัยหนึ่งหากมีการใช้จำนวนครั้งในการทดลองมากขึ้น และพบว่าค่าความผิดพลาดจากการทดลองมีค่าน้อย เราจึงสามารถใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่มากขึ้น และพบว่าค่าความผิดพลาดจากการทดลองมีค่าน้อย เราจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความแข็งแรงจากสูตรผสมที่ 1 น้อยกว่าค่าความแข็งแรงที่ได้จากสูตรผสมที่ 2

อย่างไรก็ตามมีความแตกต่างที่เกิดขึ้นของจำนวนครั้งในการทดลอง และการวัดซ้ำ (Repeated Measurement) หากการทดลองมีการวัดค่าความแข็งแรงซ้ำกันสามครั้ง การวัดซ้ำดังกล่าวมิใช่จำนวนครั้งในการทดลอง การวัดซ้ำดังกล่าวเป็นตัวช่วยตรวจสอบความหลากหลายจากการวัดที่เกิดขึ้นหลายๆ ครั้งของเครื่องมือหรือระบบที่ใช้วัดแต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้หากขึ้นงานจำนวนมากกว่าหนึ่งได้ถูกกระทำด้วยลักษณะของการทดลองเหมือนๆ กันพร้อมกันเพียงครั้งเดียว การวัดผล

จากชิ้นงานดังกล่าวทั้งหมดมิใช่จำนวนครั้งในการทดลองเช่นเดียวกัน แต่เป็นการวัดความแตกต่างของผลที่เกิดขึ้นระหว่างชิ้นงานจากการทดลองชนิดเดียวกันเท่านั้น

“การทดลองสุ่ม” เป็นหัวใจสำคัญของการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ การทดลองสุ่มหมายถึง การจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็นด้วยลำดับการทดลองอย่างสุ่ม กลวิธีทางด้านสถิติมีความเกี่ยวข้องกับข้อมูลหรือค่าความผิดพลาดอันอาจเกิดขึ้นได้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังตัวอย่างข้างต้น หากการวัดค่าความแข็งแรงด้วยสูตรผสมที่แตกต่างกัน อาจมีผลสืบเนื่องมาจากผู้ปฏิบัติการวัดค่าความแข็งแรงของชิ้นงานซีเมนต์ที่ถูกทดสอบ ดังนั้น ถ้าชิ้นงานจากสูตรผสมที่ 1 ที่ถูกใช้ในการวัดค่าความแข็งแรงถูกกระทำก่อนชิ้นงานจากสูตรผสมที่ 2 ความผิดพลาดในการวิเคราะห์และสรุปผลอาจเกิดขึ้นได้จากความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงานวัดอีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้น การจัดสรรชิ้นงานอย่างสุ่มให้กับการทดลองเพื่อวัดค่าความแข็งแรงจึงเหมาะสมกว่า เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้น

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยผู้ทำการทดลองในการคัดเลือกและสร้างการออกแบบการทดลอง โปรแกรมเหล่านี้ได้แสดงถึงลำดับในการทดลองอย่างสุ่มที่เกิดขึ้นกับวิธีปฏิบัติ หรือองค์ประกอบในการทดลองแบบต่างๆ โดยมีการสุ่มทั้งวัตถุดิบ คนงาน เครื่องมือวัด และอื่นๆ อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์การทดลองสุ่มค่อนข้างยุ่งยาก อาทิเช่น กระบวนการทางเคมี ปัจจัยบางประเภทเช่น อุณหภูมิซึ่งมีความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนในแต่ละครั้ง กลวิธีการออกแบบเชิงสถิติชนิดอื่นๆ ที่เหมาะสมอาจถูกนำมาใช้ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อจำกัดดังกล่าว โดยรายละเอียดจะกล่าวในบทต่อไป

“การจัดกลุ่ม” เป็นเทคนิคการออกแบบเพื่อทำการปรับปรุงความถูกต้องในการพิจารณาเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่สนใจ รวมทั้งถูกนำมาใช้เพื่อลดหรือขจัดความแปรปรวนอันอาจเกิดขึ้นจากปัจจัยรบกวนอื่นๆ (Nuisance Factor) ที่มีอยู่ในระบบหรือกระบวนการผลิต แต่มีได้อยู่ในความสนใจของผู้ทำการทดลองในขณะนั้นๆ อาทิเช่น ในกระบวนการเคมีซึ่งจำเป็นต้องใช้ชิ้นงานในการทดสอบจำนวนหนึ่ง อย่างไรก็ตามชิ้นงานเหล่านั้นอาจมาจากสองรุ่นการผลิต (Batches) ที่มีผู้ผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นระหว่างสองรุ่นการผลิตอาจส่งผลในการทดลองที่กำลังพิจารณาอยู่ อย่างไรก็ตามผู้ทำการทดลองมิได้สนใจพิจารณาเปรียบเทียบผู้ผลิตชิ้นงานที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผู้ผลิตที่แตกต่างกันจึงเป็นปัจจัยรบกวนแต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยทั่วไปการจัดกลุ่มเป็นเซตของเงื่อนไขการทดลองที่มีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้น ในกระบวนการข้างต้นแต่ละรุ่นของวัตถุดิบจะถูกจัดออกเป็นกลุ่ม หรือข้อจำกัดของการทดลอง (Block) ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ความแปรปรวนภายในแต่ละกลุ่มหรือรุ่น (Variable within Batch) มีอิทธิพลต่ำกว่าความแปรปรวนระหว่างรุ่น (Variable between Batch) ดังนั้น ผู้ทำการทดลองจึงสามารถออกแบบการทดลองเชิงสถิติได้โดยที่ วิธีปฏิบัติ (Treatments) หรือองค์ประกอบการทดลองทั้งหมดที่เกี่ยวข้องจะถูก

ดำเนินการภายในกลุ่มเดียวกัน โดยรายละเอียดจะถูกนำเสนอในบทต่อไป (พงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์, 2548)

2.5 ข้อเสนอแนะในการออกแบบการทดลอง (Guidelines for Designing Experiment)

การใช้กลวิธีทางด้านสถิติในการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งจำเป็นที่สุด คนที่มีส่วนเกี่ยวข้องต้องมีความเข้าใจถึงปัญหาที่กำลังพิจารณาอย่างถ่องแท้ เพื่อให้ข้อมูลต่างๆ ที่สามารถรวบรวมได้จากการทดลอง สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ข้อเสนอแนะสำหรับขั้นตอนในการออกแบบการทดลองรวมทั้งรายละเอียดที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

- การกำหนดปัญหาที่กำลังพิจารณา

โดยทั่วไปการกำหนดปัญหาที่สนใจเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยากที่จะกระทำได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ขั้นการพัฒนาและรวบรวมความคิดจากทุกๆ ฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นงานวิศวกร การประกันคุณภาพ การผลิต การตลาด การจัดการ ผู้ปฏิบัติการ กล่าวคือ จะต้องมีการทำงานเป็นกลุ่ม (Team Approach) เพื่อออกแบบการทดลองที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

- การคัดเลือกปัจจัย (Factor: X) และระดับของปัจจัย (Levels)

การพิจารณาปัจจัยซึ่งความว่าจะอิทธิพลต่อกระบวนการ หรือระบบที่สนใจจำเป็นที่จะต้องแยกให้เห็นความแตกต่าง (โดยภาพรวม) ของปัจจัยที่มีอยู่ว่าเป็นปัจจัยการออกแบบ (Design Factor) หรือปัจจัยรบกวน (Nuisance Factors) อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีผู้จำแนกชนิดของปัจจัยออกเป็น 3 ประเภท คือ ปัจจัยของการออกแบบ (ปัจจัยที่ถูกคัดสรรสำหรับการศึกษาในการทดลอง) นอกจากนี้ปัจจัยใดซึ่งส่งอิทธิพลต่อผลตอบสนอง แต่ไม่ได้อยู่ในความสนใจในขณะนั้น มักจะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยคงที่ (Held-Constant Factors) ซึ่งอาจพบได้ทั่วไปในขณะดำเนินการศึกษา อาทิเช่น รุ่นของวัตถุดิบเดียวกันอาจมีความหลากหลาย แต่ไม่สามารถควบคุมได้อย่างไรก็ตามปัจจัยต่างๆ เหล่านี้สามารถถูกขจัดความแปรปรวนได้โดยการใช้การออกแบบการทดลองแบบสุ่มในรุ่นนั้นๆ (Randomized Block Design) เพื่อลดอิทธิพลดังกล่าว ดังนั้นในการทดลองต่างๆ ปัจจัยทั้งสองแบบสุดท้ายจึงไม่ได้ถูกพิจารณาให้มีความสำคัญมากนัก

อย่างไรก็ตามในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการจำแนกออกเป็น 2 ประเภทตามที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ระบบปัญหา ปัจจัยชนิดที่สองคือ ปัจจัยรบกวน (Nuisance Factors) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อผลการวิเคราะห์ข้อมูล และได้ถูกจำแนกออกเป็นประเภทย่อยต่างๆ ได้ดังนี้ คือ ปัจจัยรบกวนที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) ปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable or Noise Factors) ปัจจัยรบกวนที่สามารถควบคุมได้จะถูก

กำหนดโดยผู้ทำการทดลอง อาทิเช่น การกำหนดรุ่นของวัตถุดิบ วันที่ที่แตกต่างกันในการดำเนินการทดลอง เป็นต้น อย่างไรก็ตามปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ เราสามารถนำวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance, ANCOVA) มาใช้ในการศึกษาผลกระทบอีกทางหนึ่งได้

ทั้งนี้ ในการคัดสรรปัจจัยการออกแบบ ข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้น คือ การพิจารณา ระดับของปัจจัยในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดลองเพื่อให้กระบวนการหรือระบบสามารถควบคุม และวัดผลตอบสนองได้ ความรู้ด้านกระบวนการ (Process Knowledge) จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง สำหรับการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลอง ความรู้ด้านกระบวนการเป็นองค์ประกอบร่วมระหว่างประสบการณ์ในการทำงาน และความเข้าใจทางด้านทฤษฎีที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน การพิจารณาตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ในอดีตต่อผลตอบสนองที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ จึงมีส่วนช่วยในการออกแบบระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบได้ดียิ่งขึ้น

- การคัดเลือกผลตอบสนองที่ต้องการ (Response Variable: Y)

ในการคัดเลือกผลตอบสนอง ผู้ทำการทดลองควรตรวจสอบอย่างแน่ชัดว่าปัจจัยตอบสนองดังกล่าว สามารถให้ข้อมูลที่ต้องการของการศึกษาในครั้งนี้ได้ โดยปกติผลตอบสนองที่ต้องการมักอยู่ในรูปแบบสองชนิดดังนี้ คือ

1. ค่าเฉลี่ย (Mean)
2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือความแปรปรวน (Variance)

โดยทั่วไปมักพิจารณาการศึกษากรณีหนึ่งผลตอบสนอง นอกจากนี้ความสามารถในการหาค่าผลตอบสนองเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ หากต้องการลดผลกระทบดังกล่าวสามารถกระทำได้ โดยการใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่เพิ่มขึ้น

- การคัดเลือกวิธีการทดลอง (Replication, Randomization and Blocking) ในการคัดสรรการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม นอกจากการกำหนดขนาดของการทดลองหรือจำนวนครั้งที่เหมาะสม การทดลองแบบสุ่ม และการพิจารณาถึงการจัดกลุ่มแล้ว เรายังต้องกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบที่สอดคล้องกับขนาดของความเปลี่ยนแปลง (Magnitude) อันจะเกิดขึ้นกับผลตอบสนองที่ได้รับจากการทดลองอีกด้วย

- การดำเนินการทดลองและบันทึกข้อมูลการดำเนินการทดลองควบคู่ไปกับการตรวจจับกระบวนการ ให้ตรงตามแผนงานที่ได้วางไว้ล่วงหน้าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ความผิดพลาดในการดำเนินการทดลองจะส่งผลเสียต่อการวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

- การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิธีการทางด้านสถิติได้ถูกนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ผลและบทสรุปต่างๆ ถ้าการออกแบบมีความถูกต้อง การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อีกทั้งโปรแกรมสำเร็จภาพที่เกี่ยวข้องยังสามารถใช้ได้ทั้งการออกแบบ การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการตีความหมาย นอกจากนี้ยังสามารถสร้างความสัมพันธ์ของปัจจัยของการออกแบบและผลตอบสนอง (Empirical Model) เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยของการออกแบบได้อีกทางหนึ่งด้วย

อย่างไรก็ตาม วิธีการทางสถิติเป็นเพียงข้อแนะนำที่มีความน่าเชื่อถือที่เกิดขึ้นจากข้อมูลของการทดลอง มิใช่ข้อสรุปที่ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ของผลกระทบจากปัจจัยของการออกแบบกับผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาศึกษาในขณะนั้น

- การสรุปผลการทดลอง ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ทำการทดลองต้องทำการสรุปผลที่สามารถปฏิบัติจริงได้ วิธีการนำเสนอในรูปแบบกราฟจึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมในการอธิบายต่อผู้ปฏิบัติงานต่อไป นอกจากนี้การทดสอบเพื่อยืนยันผล (Followed-up Runs or Confirmation Testing) ควรจะถูกระงับเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้น

ขั้นตอนต่างๆ ที่เกิดขึ้นของการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการต่างๆ ที่สนใจ ควรกระทำเป็นขั้นตอนต่อเนื่อง (Iterative) การทดลองที่ประสบผลสำเร็จขึ้นอยู่กับความรู้พื้นฐานของปัจจัยช่วงของปัจจัยที่เป็นไปได้ และจำนวนของระดับปัจจัยที่เหมาะสม รวมทั้งการวัดที่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น โดยทั่วไป ไม่มีข้อจำกัดมากมายขณะทำการทดลอง ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าในบางการทดลองอาจต้องการศึกษาปัจจัยของการออกแบบเพียงบางส่วนเท่านั้น หรือการเปลี่ยนแปลงบริเวณของการสำรวจในช่วงของปัจจัยบางตัว หรือมีการเปลี่ยนแปลงผลตอบสนองที่ต้องการก็เป็นไปได้ ทั้งนี้เพื่อให้การทดลองมีความถูกต้องและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ได้วางเอาไว้ล่วงหน้า นั่นคือ การออกแบบการทดลองที่ดีไม่เป็นจำเป็นต้องมีความยุ่งยากซับซ้อน หรือขนาดใหญ่ แต่การออกแบบการทดลองที่ดี ควรจะกระทำเป็นขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง (Sequentially) และสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้วางไว้ โดยอยู่ภายใต้ขอบเขตของทรัพยากรที่ใช้ในการทดลอง (พงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์, 2548)

2.6 การทดลองปัจจัยเชิงเดียว และการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การศึกษาที่ผ่านมา พบว่าในการทดสอบสมมติฐานมักเกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของประชากรสองชุด ตัวอย่างเช่น การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรสองชุด $\mu_1 = \mu_2$ เป็นต้น แต่ในสภาพการทำงานจริงมักมีความสนใจพิเศษพิจารณาถึงการเปรียบเทียบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ด้วยการออกแบบการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

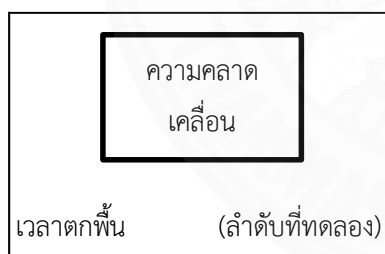
2.6.1 ตัวอย่าง

ในการทดลองเพื่อตรวจสอบระยะที่วัดได้จากการปล่อยเฮลิคอปเตอร์กระดาษ หากมีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกให้กับเฮลิคอปเตอร์กระดาษจำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ตัว (5 ระดับ) โดยมีผู้ปล่อยเฮลิคอปเตอร์กระดาษเป็นบุคคลเดียวกัน และมีระยะความสูงในการปล่อยในระดับที่เท่ากันในทุกๆ ครั้งของการทดลอง มีผลการทดลองแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4

การออกแบบเพื่อการตรวจสอบระยะที่วัดได้จากการปล่อยเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

จำนวน Clips	ครั้งที่ของการทดลอง					$\bar{y}_{ij} = \bar{y}_{.i}$
	1	2	3	4	5	
	<input type="text"/> (15)	<input type="text"/> (19)	<input type="text"/> (25)	<input type="text"/> (12)	<input type="text"/> (6)	
	<input type="text"/> (8)	<input type="text"/> (14)	<input type="text"/> (1)	<input type="text"/> (11)	<input type="text"/> (3)	
	<input type="text"/> (18)	<input type="text"/> (13)	<input type="text"/> (20)	<input type="text"/> (7)	<input type="text"/> (9)	
	<input type="text"/> (22)	<input type="text"/> (5)	<input type="text"/> (2)	<input type="text"/> (24)	<input type="text"/> (10)	
	<input type="text"/> (17)	<input type="text"/> (21)	<input type="text"/> (4)	<input type="text"/> (16)	<input type="text"/> (23)	



ภาพที่ 2.2 ความหมายของค่าในแต่ละช่องตารางแสดง

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้น หากทำการบันทึกระยะเวลาในการตกถึงพื้น หรือผลตอบสนองได้ทุกๆ ข้อมูล การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบสมมติฐานของระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงระดับ หรือน้ำหนักบรรทุกให้กับเฮลิคอปเตอร์กระดาษสามารถกระทำได้อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดการวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องจึงต้องมีการออกแบบลักษณะของการทดลองให้เหมาะสมดังจะได้กล่าวต่อไป

2.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในการพิจารณาปัญหาซึ่งมีเพียง “ปัจจัย” ปัจจัย แต่มีระดับ (Levels) ของปัจจัยทั้งหมด a ระดับ หรืออาจกล่าวได้อีกในหนึ่งคือ มีประชากรจำนวน a ชุด (a -Treatment) เพื่อทำการเปรียบเทียบผลความแตกต่างของพารามิเตอร์ที่น่าสนใจเช่น ค่าเฉลี่ยประชากร ว่าให้ค่าที่เท่าเทียมกันในแต่ละชุดหรือไม่ นอกจากนี้ในการทดลองกำหนดให้มีการทดลองซ้ำกันทั้งหมด n ครั้ง ในแต่ละระดับของปัจจัย ดังนั้น จึงสามารถนำเสนอข้อมูลของการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบระดับแตกต่างของพารามิเตอร์ของประชากรได้ดังนี้

ตารางที่ 2.5

การออกแบบการทดลองปัจจัยเชิงเดียว

ระดับปัจจัย (Treatment)	ครั้งในการทดลองซ้ำ (Replicates)				ผลรวมสำหรับ ระดับ i ใดๆ	ผลเฉลี่ยสำหรับ ระดับ i ใดๆ
	1	2	..j...	n		
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{1j}	Y_{1n}	$Y_{1.}$	$\bar{y}_{1.}$
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{2j}	Y_{2n}	$Y_{2.}$	$\bar{y}_{2.}$
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{3j}	Y_{3n}	$Y_{3.}$	$\bar{y}_{3.}$
:
i	Y_{i1}	Y_{i2}	Y_{ij}	Y_{in}	$Y_{i.}$	$\bar{y}_{i.}$
:
a	Y_{a1}	Y_{a2}	Y_{aj}	Y_{an}	$Y_{a.}$	$\bar{y}_{a.}$
					$Y_{..}$	$\bar{y}_{..}$

ลำดับการทดลองที่เกิดขึ้นมักกำหนดให้เป็นแบบสุ่ม (Randomized Experiment) เพื่อลดผลกระทบอันเกิดขึ้นจากลำดับการทดลองสำหรับปัญหาต่างๆ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การจัดหมายเลขลำดับการทดลอง

ตัวอย่างเช่น การทดลองหนึ่งซึ่งมี 5 ระดับและทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง ดังนั้น สามารถจัดหมายเลขลำดับการทดลองได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6

การออกแบบหมายเลขการทดลองเพื่อจัดลำดับการทดลองสุ่ม

ระดับปัจจัย (Treatment)	หมายเลขการทดลอง (Experimental Run Number)				
1	1	2	3	4	5
2	6	7	8	9	10
3	11	12	13	14	15
4	16	17	18	19	20
5	21	22	23	24	25

2) การเลือกหมายเลขแบบสุ่ม

ตัวอย่างเช่น การเลือกหมายเลขการทดลองแบบสุ่มด้วยเครื่องคิดเลข

ระหว่าง 1-25 จะได้ลำดับของการทดลองคือ

ตารางที่ 2.7

การทดลองแบบการทดลองสุ่ม

ลำดับที่	หมายเลขการทดลอง	ระดับปัจจัย	ลำดับที่	หมายเลขการทดลอง	ระดับปัจจัย	ลำดับที่	หมายเลขการทดลอง	ระดับปัจจัย
1	8	2	11	9	2	21	22	5
2	18	4	12	4	1	22	16	4
3	10	2	13	12	3	23	25	5
4	23	5	14	7	2	24	19	4
5	17	4	15	1	1	25	3	1
6	5	1	16	24	5			
7	14	3	17	21	5			
8	6	2	18	11	3			
9	15	3	19	2	1			
10	20	4	20	13	3			

3) การทดลองตามลำดับ

ตัวอย่างเช่น การทดลองที่ระดับ 2 ได้ผลลัพธ์ของผลตอบสนองใส่ในตาราง

การจัดหมายเลข

ตัวอย่างเช่น การทดลองที่ระดับ 4 ได้ผลลัพธ์ของผลตอบสนองใส่ในตารางการจัดหมายเลข จนกระทั่งครบทุกๆ การทดลอง

4) ขั้นตอนการทดสอบปัญหาด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

- รวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยแปรผันตามระดับของปัจจัยที่ต้องการ (Treatment หรือ Level)

- จำลองข้อมูลของปัญหาดังกล่าวด้วยตัวแบบทางสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model)

$$y_{ij} = \mu_i + e_{ij} \text{ หรือ}$$

$$y_e = \mu + \tau_i + e_{ij} \quad ; \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

โดยที่

y_{ij} แทน ตัวแปรสุ่ม หรือข้อมูลผลการทดลอง ณ ปัจจัยระดับ i ในครั้งที่ j

μ แทน ค่าเฉลี่ย (Overall Mean) ของข้อมูลทั้งหมด

τ_i แทน ผลกระทบเนื่องจากปัจจัยระดับ i

e_{ij} แทน ค่าความผิดพลาดของการทดลองที่เกิดขึ้น

โดยสมมติให้ความผิดพลาดดังกล่าวมีลักษณะการกระจายเป็นแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ “ศูนย์” และค่าความแปรปรวน (Variance) คงที่เท่ากับ σ^2 (Normally and Independently Distributed Random Variables) หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ NID $(0, \sigma^2)$

- การวิเคราะห์ปัญหาโดยแยกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

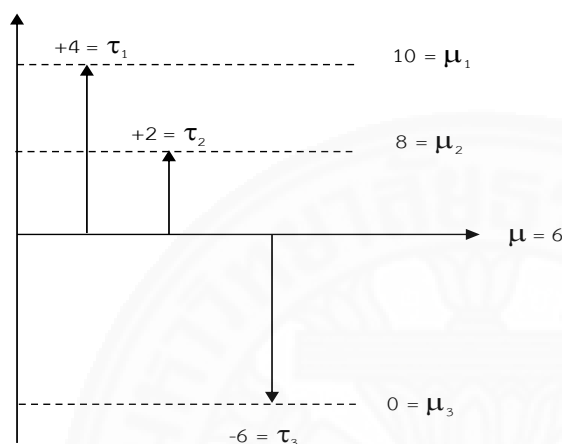
1. ตัวแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) หมายถึง ตัวแบบที่มีการพิจารณา เฉพาะระดับของปัจจัยที่ถูกคัดสรรแต่เพียงอย่างเดียว

2. ตัวแบบผลกระทบอย่างสุ่ม (Random Effect Model) หมายถึง ตัวแบบที่มีการสรุปผลโดยมีการพิจารณาระดับอื่นๆ ของปัจจัย นอกเหนือจากระดับที่ถูกคัดสรรของปัจจัยเพิ่มเติมด้วย

เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากปัจจัยที่ระดับต่างๆ ในเบื้องต้นจะพิจารณาตัวแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model)

2.6.3 การวิเคราะห์ตัวแบบปัญหาชนิดผลกระทบคงที่ (Analysis of the Fixed Effect Model)

สำหรับกรณีผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) ค่าผลกระทบ (τ_i) เนื่องจากระดับ (i) ใดๆ ของปัจจัยจะถูกกำหนดจากความแปรเปลี่ยน (Variation) อันสืบเนื่องมาจากค่ากลางหรือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดของประชากร (Mean, μ) ดังแสดงได้ดังรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.3 ผลกระทบอันอาจเกิดจากความแตกต่างของระดับของปัจจัย

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0$$

เพราะฉะนั้นค่าประมาณของข้อมูลจากการทดลองที่ระดับ i ใดๆ ของปัจจัย คือ

$$\begin{aligned} E(Y_{ij}) &\equiv \mu_i \\ &= \mu + \tau_i \quad ; i = 1, 2, \dots, a \end{aligned}$$

ดังนั้นหากต้องการศึกษาผลกระทบของปัญหาจากปัจจัยที่ระดับต่างๆ ว่ามีผลลัพธ์ที่เหมือนกันหรือไม่ จะเป็นการศึกษาในกรณีที่ว่า ค่าเฉลี่ยของการทดลองที่ระดับ i ใดๆ ของปัจจัยมีค่าเท่ากันหรือไม่ (สมมติฐานหลัก)

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

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \quad \text{อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ [for at least one pair (i, j)]}$$

โดยหากพบว่าสมมติฐานหลักเป็นจริง ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้น ต้องทำการหาปัจจัยใหม่อย่างไรก็ตามจากสมมติฐานเดิมสามารถเขียนได้อีกแบบหนึ่งซึ่งให้ผลเช่นเดียวกัน โดยเป็นการทดสอบสมมติฐาน ในเชิงของการหาค่าผลกระทบ (τ_i) อันเนื่องมาจากระดับ i ใดๆ ของปัจจัย เพื่อทดแทนการใช้สมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของการทดลองที่ระดับ i ใดๆ ของปัจจัย กล่าวคือ

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

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า [for at least one } i]$$

1) ผลรวมกำลังสองของความแตกต่างของข้อมูล (The Total Sum of Square)

ถ้ากำหนดให้

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 &= \text{ผลรวมกำลังสองทั้งหมดของความแตกต่างของข้อมูล} \\ &= \text{Sum Square Total} \\ &= SS_T \end{aligned}$$

สามารถแบ่งแยก (Derive) ออกได้เป็น

$$n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$$

ถ้าให้ พจน์แรกแทนด้วยสัญลักษณ์ $SS_{\text{Treatment}}$

พจน์หลังแทนด้วยสัญลักษณ์ SS_E

$$\begin{aligned} \text{จาก} \\ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 &= n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 \\ &+ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 \end{aligned}$$

จะได้

$$SS_T = SS_{\text{Treatment}} + SS_E$$

2) ทฤษฎีบทของคอรัค-ราน (Cochran's Theorem)

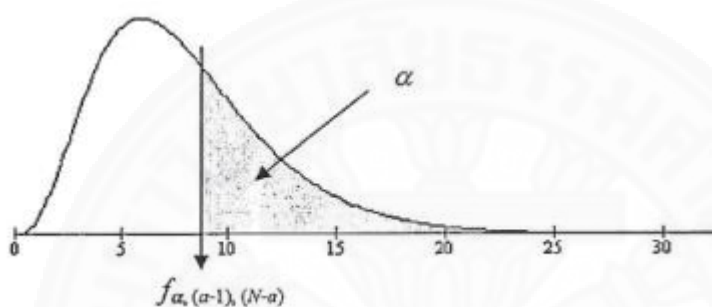
ถ้าสมมติฐานหลักที่ว่า หากค่าเฉลี่ย (โดยประมาณ) ของการทดลองที่ระดับ i ใดๆ จองปัจจัยที่ค่าเท่ากัน เป็นจริง หรือ

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

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ [for at least one pair (i, j)]}$$

พบว่าค่าสถิติที่เหมาะสมในการทดสอบ (Test Statistic) คือ F_0 ซึ่งมีการแจกแจงแบบเอฟ (F-Distribution) ด้วยค่าองศาเสรี (Degree of Freedom, df) เท่ากับ $(a-1), (N-a)$ โดยกำหนดให้

$$f_0 = \frac{SS_{Treatment}/(a-1)}{SS_E/(N-a)} \text{ หรือ } \frac{MS_{Treatment}}{MS_E}$$



การตัดสินใจ : ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ถ้า $f_0 > f_{\alpha, (a-1), (n-1)}$ โดยที่ $N=na$

ภาพที่ 2.4 บริเวณวิกฤตของสมมติฐานหลักสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาสามารถทดสอบปัญหากรณีแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) ได้โดยใช้ตาราง ANOVA ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกตามที่มา หรือสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลมีความแตกต่าง

แหล่งที่มา (Source of Variation)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares)	องศาเสรี (d.f.)	ผลเฉลี่ยกำลังสอง (Mean of Squares)	ค่าสถิติ F_0
Between Treatments	$SS_{Treatment}$	$a-1$	$MS_{Treatment}$	$MS_{Treatment} / MS_E$
Within Treatments(Error)	SS_E	$N-a$	MS_E	
Total	SS_T	$N-1$		

โดยที่

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2$$

$$SS_{\text{Treatments}} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Treatments}}$$

ตัวอย่าง ผู้ผลิตเยื่อกระดาษสำหรับทำถุงได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาความแข็งแรงของถุงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเข้มข้น (Concentration) ที่แตกต่างกันของเนื้อเยื่อซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 20% โดยได้ทำการทดสอบ 6 ครั้ง ในแต่ละระดับของความเข้มข้นที่แตกต่างกันดังมีผลการทดลองแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.9

ข้อมูลการทดลองสำหรับปัญหาการศึกษาความแข็งแรงของถุงกระดาษ

Concentration (%)	การทดลองครั้งที่ (Observations)						ผลรวม (Total)	ค่าเฉลี่ย (Average)
	1	2	3	4	5	6		
5 (i=1)	7	8	15	11	9	10	60	10.00
10 (i=2)	12	17	13	18	19	15	94	15.67
15 (i=3)	14	18	19	17	16	18	102	17.00
20 (i=4)	19	25	22	23	18	20	127	21.17
							383	15.96

สมมติฐาน: ระดับความเข้มข้นของเนื้อเยื่อที่แตกต่างกันมีผลกระทบต่อความแข็งแรงหรือไม่

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

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งค่า [for at least one } i]$$

ถ้ากำหนดระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05

$$SS_T = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^6 y_{ij}^2 - \frac{382^2}{24}$$

$$= 512.96$$

$$SS_{\text{Treatments}} = \sum_{j=1}^4 \frac{y_{.j}^2}{6} - \frac{383^2}{24}$$

$$= 382.79$$

และ

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Treatments}}$$

$$= 130.17$$

สามารถแสดงในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.10

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัญหาการศึกษาความแข็งแรงของถุงกระดาษ

แหล่งที่มา (Source of Variation)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares)	องศาเสรี (d.f.)	ผลเฉลี่ยกำลังสอง (Mean of Squares)	ค่าสถิติ F_0	ค่าพี (P-Value)	ค่าวิกฤต F Crit
Between Treatments	382.79	3	127.6	19.6	0.000	3.10
Within Treatments (Error)	130.17	20	6.5			($\alpha=0.05$)
Total	512.96	23				

จากตารางพบว่า $f_{0.05, 3, 20} = 3.10$ ดังนั้น เราจึงต้องปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) และสามารถสรุปได้ว่า ระดับของความเข้มข้น (Concentration) มีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ และนำไปสู่การวิเคราะห์ความถดถอยเพื่อหาตัวแบบสำหรับปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อการทำนายความแข็งแรงที่ดีที่สุดจากระดับ ของความเข้มข้นที่มีอยู่ในช่วง 5-20%

3) การวิเคราะห์ตัวแบบปัญหาชนิดผลกระทบคงที่ในกรณีจำนวนการทำซ้ำไม่เท่ากัน

ในกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาด้วยตัวแบบผลกระทบคงที่ (Fixed Effect Model) ค่าประมาณ (Estimator) ของข้อมูลจากการทดลองที่ระดับ i ใดๆ ของปัจจัย คือ

$$E(y_{ji}) \equiv \mu_i$$

$$= \mu + \tau_i ; i = 1, 2, \dots, a$$

$$= \bar{y}_{.i}$$

ในบางกรณีอาจพบว่า ข้อมูลในแต่ละระดับมีจำนวนไม่เท่ากัน การวิเคราะห์ปัญหาสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการทดสอบปัญหาเช่นเดิมด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แต่มีการเปลี่ยนแปลงการคำนวณค่า SS_T และ $SS_{\text{Treatment}}$ ดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2$$

$$SS_{\text{Treatments}} = \sum_{i=1}^a \frac{y_i^2}{n}$$

โดยที่

$$N = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^a n_i n_i$$

2.6.4 การเปรียบเทียบค่ากลาง (Multiple Comparisons)

ในกรณีที่เกิดการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) จึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาค่ากลางใดบ้างที่มีความใกล้เคียงกัน เพื่อประโยชน์ในการพิจารณาการใช้งานต่อไป จากสมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาการวิเคราะห์ความแปรปรวน

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

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ [for at least one pair } (i, j) \text{]}$$

หากสมมติฐานหลักฐานหลักข้างต้นถูกปฏิเสธ อาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ขณะนี้มีความสนใจในการเปรียบเทียบว่าคู่ของค่าเฉลี่ยใดที่ก่อให้เกิดการปฏิเสธสมมติฐานหลักดังกล่าว ตัวอย่างเช่น

$$\mu_1 \neq \mu_2? \text{ หรือ}$$

$$\mu_1 \neq \mu_3? \text{ หรือ}$$

$$\mu_1 \neq \mu_4? \text{ เป็นต้น}$$

วิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้างต้นสามารถพิจารณาได้ดังนี้

- การเปรียบเทียบด้วยกราฟค่าเฉลี่ย (Graphical Comparison of Means)
- การวิเคราะห์ออร์โทโกนอลคอนทราสต์ (Orthogonal Contrasts)
- การวิเคราะห์ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญ หรือวิธีแอลเอสดีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference Method, LSD)
- การทดสอบของตุกี (Tukey's Method)

- การทดสอบของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test)

ในที่นี้พิจารณาเพียงวิธีกราฟค่าเฉลี่ย (Graphical Comparison of Means) วิธีแอลเอสดีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference Method, LSD) และวิธีดันแคน (Duncan's Multiple Range Test) ซึ่งมีรายละเอียดของการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้ คือ

1) การเปรียบเทียบด้วยกราฟเฉลี่ย (Graphical Comparison of Means)

วิธีการนี้เป็นวิธีการประมาณค่าความแตกต่างโดยอาศัยกราฟ ซึ่งผลที่ออกมาจะไม่ชัดเจนนัก ดังนั้น จึงมักจะถูกใช้ในการเปรียบเทียบสำหรับกรณีปัญหาที่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเจน

2) วิธีแอลเอสดีของฟิชเชอร์ (Fisher's Least Significant Difference Method, LSD)

$$\begin{aligned} \text{LSD} &= t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \\ t_0 &= \frac{\bar{y}_i - \bar{y}_j}{\sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}} \\ \bar{y}_i - \bar{y}_j &= t_0 \sqrt{MS_E \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \end{aligned}$$

ถ้าออกแบบการทดลองมีจำนวนเท่ากันในทุกๆ ระดับ พบว่า

$$\text{LSD} = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{\frac{2MS_E}{n}}$$

ดังนั้น ถ้า $|\bar{y}_i - \bar{y}_j| > \text{LSD}$ เราสามารถสรุปได้ว่าค่ากลางระหว่าง μ_i และ μ_j มีความแตกต่างกัน

3) วิธีดันแคน (Duncan's Multiple Range Test)

ขั้นตอนวิธีการ

- คำนวณค่า $S_{\bar{y}_i} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$
- เปิดตารางจากภาคผนวก (Appendix) เพื่อหาค่า

$$Rp = r\alpha(p, f) \quad : \quad p = 2, 3, \dots, a$$

α = ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)

f = องศาเสรี (Degree of Freedom)

- เรียงลำดับค่าเฉลี่ยตัวอย่างในแต่ละระดับหรือ \bar{y}_i จากน้อยไปหามาก
- เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตัวอย่างในแต่ละระดับหรือ \bar{y}_i จากค่าที่น้อยสุดกับค่าที่มากที่สุด จนถึงค่าก่อนมากที่สุด
- การตัดสินใจ : ถ้าคูไหนมากกว่า R_p จะได้ว่า $\mu_i \neq \mu_j$ แต่ถ้าคูไหนน้อยกว่า R_p จะได้ว่า $\mu_i = \mu_j$ (พงศชนัน เหลืองไพบูรณ์, 2548)

2.7 การออกแบบชนิด 2^k แฟคทอเรียล

การออกแบบชนิดนี้ได้ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการทดลองต่างๆ ที่ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายๆ ปัจจัย นอกจากนี้ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ร่วมกันของปัจจัยเหล่านั้นต่อผลตอบสนองที่ต้องการด้วย โดยการออกแบบการทดลองกรณีหลายปัจจัยเหล่านั้นต่อผลตอบสนองที่ต้องการด้วย โดยการออกแบบการทดลองกรณีหลายปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาในบทที่แล้วได้นำเสนอวิธีการต่างๆ ไปในการวิเคราะห์การออกแบบและวิเคราะห์ปัจจัยของปัญหาอย่างไรก็ตามพบว่าหลายๆ กรณีงานวิจัยมักเกี่ยวข้องกับ “การออกแบบเฉพาะ” จึงมีการออกแบบการทดลองใน 2 ระดับของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ “การออกแบบเฉพาะ” จึงมีการออกแบบแนวคิดเพื่อให้ง่ายต่อการทำงานจริงต่อไป การออกแบบเฉพาะในที่นี้ หมายถึง การออกแบบการทดลองใน 2 ระดับของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นจำนวน k ปัจจัย โดยระดับนี้อาจแทน “ระดับของปริมาณ(Quantitative Level)” เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา หรือ “ระดับของคุณภาพ(Qualitative Level)” เช่น ประสิทธิภาพ เครื่องจักร คน โดยแบ่งออกเป็นระดับสูง (High) และต่ำ(Low) หรือเป็นระดับที่มี (Yes) หรือไม่มี (No) ของปัจจัยนั้นๆ ในการศึกษาบทนี้จะแสดงถึงวิธีการพิเศษสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ โดยสมมติว่า

- ปัจจัยของผลกระทบที่เป็นแบบคงที่ (Fixed Effect Model)
- การออกแบบเป็นแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)
- ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

การออกแบบชนิด 2^k นี้มักใช้ในงานทดลองเมื่อมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายตัว ซึ่งทำให้จำนวนทดลองที่ต่ำที่สุดใน k ปัจจัยของการออกแบบกรณีหลายปัจจัยสมบูรณ์ ดังนั้นจึงถูกเรียกว่า “การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนปัจจัย (Factor Screening Experiment)” เนื่องจากพิจารณาเพียง 2 ระดับ ในแต่ละปัจจัย นอกจากนี้มีการสมมติให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองเป็นแบบ “เชิงเส้น” ในช่วงของระดับการทดลองที่เลือกไว้

2.7.1 การออกแบบการทดลองกรณี 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial Design)

การออกแบบในอนุกรมของ 2^k คือ ปัจจัยจะประกอบไปด้วย 2 ระดับเท่านั้น จึงเรียกการออกแบบการทดลองชนิดนี้ว่า “การออกแบบการทดลองกรณี 2^2 แฟคทอเรียล” ซึ่งระดับของปัจจัยประกอบไปด้วยระดับต่ำ (Low) และระดับสูง (High) เท่านั้น

ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (Concentration of Reactant) และปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา (Amount of Catalyst) ต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมี (Chemical Conversion) ของกระบวนการทางเคมี โดยมีระดับของแต่ละปัจจัยสำหรับการศึกษาดังกล่าว แสดงดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (Concentration of Reactant):

ปัจจัย A มีระดับ 15% (Low) และ 25% (High)

ปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา (Amount of Catalyst)

ปัจจัย B มีระดับ 2 ถัง (High) และ 1 ถัง (Low)

โดยมีการทดลองจำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้ง และข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11

ข้อมูลการทดลองสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี

วิธีปฏิบัติ (Treatment Combinations)		ครั้งที่ของการทดลอง (Replicates)			ผลรวม (Total)
		1	2	3	
A-Low	B-Low	28	25	27	20
A-High	B-Low	36	32	32	100
A-Low	B-High	18	19	23	60
A-High	B-High	31	30	29	90

โดยขั้นตอนของการวิเคราะห์ห้มักจะกำหนดให้ ผลกระทบของปัจจัยแทนด้วยอักษรลาตินซึ่งสามารถสรุปได้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.12

สัญลักษณ์ของผลกระทบหรืออิทธิพลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยและความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย

	อิทธิพลที่เกิดขึ้นจาก	สัญลักษณ์
ปัจจัยหลักที่ 1	Main Effect of A	A
ปัจจัยหลักที่ 2	Main Effect of B	B
ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย	Interaction of A and B	AB

และกำหนดให้ระดับของปัจจัยแทนด้วยสัญลักษณ์ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.13

สัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับของปัจจัย

ระดับ	สัญลักษณ์
ต่ำ	Low -1
สูง	High +1

ดังนั้น จากตัวอย่างปัญหาการศึกษากระบวนการเคมีข้างต้น สามารถสรุปสัญลักษณ์ และระดับที่เกิดขึ้นจริงได้ในแต่ละปัจจัยดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.14

สัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ(จริง)
A	Low	- 15 %
	High	+ 25 %
B	Low	- 1 ถู
	High	+ 2 ถู

จากตารางด้านบนพบว่า การออกแบบการทดลองประกอบด้วย 4 วิธีปฏิบัติ และเราสามารถเขียนวิธีปฏิบัติทั้งหมดด้วยสัญลักษณ์มาตรฐาน โดยการใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก กล่าวคือ

ถ้าองค์ประกอบทดลอง หรือวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับสูง (High) จะมีการแสดงเป็นตัวอักษรเล็ก

ถ้าองค์ประกอบหรือวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับต่ำ (Low) จะไม่มีการแสดงเป็นตัวอักษร ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

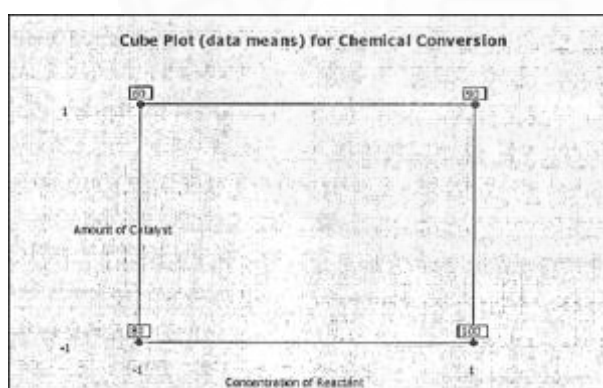
ตารางที่ 2.15

สัญลักษณ์ของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ

ปัจจัย		สัญลักษณ์มาตรฐาน
A	B	
Low	Low	(1)
High	Low	a
High	High	b
High	High	ab

หลักการเขียนสัญลักษณ์มาตรฐานนี้สามารถนำไปใช้ได้ในทุกๆ กรณีของการออกแบบทดลองกรณี 2^k แฟคทอเรียล นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติมกล่าว คือ ผลจากวิธีปฏิบัติ a, b, ab และ (1) หมายถึง “ผลรวมในทุกๆ ครั้งของการทดลอง (n)”

ดังนั้น จากการใช้ข้อมูลตัวอย่างการทดลองที่ผ่านมา สามารถแสดงการคำนวณข้อมูลผลการทดลองด้วยตาราง และสรุปพร้อมสัญลักษณ์มาตรฐานได้ดังต่อไปนี้ คือ



ภาพที่ 2.5 สัญลักษณ์มาตรฐานของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี

ตารางที่ 2.16

การคำนวณผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ สำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี

ปัจจัย		สัญลักษณ์	ครั้งที่ของการทดลอง(Replicates)			ผลรวม
A	B	มาตรฐาน	1	2	3	(Total)
Low	Low	(1)	28	25	27	80
High	Low	a	36	32	32	100
High	High	b	18	19	23	60
High	High	ab	31	30	29	90

ดังนั้น ผลกระทบหลักของปัจจัยหนึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้งหมด (Total Effect) จากวิธีปฏิบัติที่เกิดขึ้น (ซึ่งสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์มาตรฐาน) แต่มีเครื่องหมายบวก และลบที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามมีปริมาตรที่เท่ากันในแต่ละเครื่องหมาย

ตัวอย่างเช่น การหาผลกระทบหลัก (Main Effect) ของปัจจัย A

= ผลเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย A เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระดับจากต่ำไปสูง

$$= \frac{1}{2n} \{[a - (1)] + [ab - a]\}$$

$$= \frac{1}{2n} \{[ab + a - b - (1)]\}$$

การหาผลกระทบหลัก (Main Effect) ของปัจจัย B

= ผลเฉลี่ยของความแตกต่างของผลตอบสนองของปัจจัย B เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าระดับจากต่ำไปสูง

$$= \frac{1}{2n} \{[b - (1)] + [ab - a]\}$$

$$= \frac{1}{2n} \{[ab + b - a - (1)]\}$$

การหาผลกระทบของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A และ B (AB-Interaction)

= ผลความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของปัจจัย A ที่ระดับสูงและต่ำของ B

$$= \frac{1}{2n} \{[ab - b] - [a - (1)]\}$$

ดังนั้น จากการใช้อัตราข้อมูลตัวอย่างการทดลองที่ผ่านมา สามารถแสดงการคำนวณผลกระทบหลัก (โดยเฉลี่ย) ของปัจจัยจากข้อมูลผลการทดลองที่ได้รับ ด้วยตารางดังต่อไปนี้ คือ

ตารางที่ 2.17

การคำนวณผลกระทบของปัจจัยหลัก และผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัยสำหรับ
ปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี

ผลกระทบหลัก/ความสัมพันธ์ ระหว่างปัจจัย	ผลรวมข้อมูล ณ วิธีปฏิบัติ				สูตรที่ใช้ในการคำนวณ	ค่าที่ได้รับ
	(1)	a	b	ab		
A	-1	+1	-1	+1	$\frac{1}{2(3)} [90 + 100 - 60 - 80]$	8.33
B	-1	-1	+1	+1	$\frac{1}{2(3)} [90 + 60 - 100 - 80]$	-5.00
AB	+1	-1	-1	+1	$\frac{1}{2(3)} [90 + 80 - 100 - 60]$	1.67

ถ้าค่าผลกระทบหลักมีค่า

+ หมายความว่า ถ้าเพิ่มระดับปัจจัยจากต่ำไปสูง จะเพิ่มผลตอบสนอง

- หมายความว่า ถ้าเพิ่มระดับปัจจัยจากต่ำไปสูง จะลดผลตอบสนอง

ขั้นตอนไปนี้ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเพื่อใช้ตรวจสอบ

อิทธิพลของปัจจัยต่อผลตอบสนองที่กำลังสนใจ โดยในขั้นตอนแรกจะต้องพิจารณาผลกระทบทั้งหมด (Total Effect) หรืออาจเรียกว่า คอนทราสต์ (Contrast) ซึ่งเป็นผลรวมของผลกระทบอันเกิดจากปัจจัย A และ B รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองคือ A และ B ซึ่งสามารถสรุปได้ในตารางต่อไป

ตารางที่ 2.18

คอนทราสต์ เพื่อใช้ในการคำนวณผลกระทบของปัจจัยหลักและผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมกัน
ระหว่างปัจจัย

ปัจจัย/ความสัมพันธ์ร่วมกัน ระหว่างปัจจัย	(1)	a	b	ab	คอนทราสต์
A	-1	+1	-1	+1	$ab + a - b - (1)$
B	-1	-1	+1	+1	$ab + b - a - (1)$
AB	+1	-1	-1	+1	$ab + (1) - a - b$

และผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares, SS) ของปัจจัยใดๆ มีค่าเท่ากับ

$$\frac{\text{Contrast}^2}{n(\text{จำนวนสมาชิกของ Contrast})}$$

ในที่นี้ซึ่งเป็นการพิจารณาการออกแบบการทดลองกรณี 2^2 แฟคทอเรียล การคำนวณค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.19

ตารางที่ 2.19

การคำนวณค่าผลรวมกำลังสอง เพื่อใช้ในการหาผลกระทบของปัจจัยหลักและผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย

ปัจจัย/ความสัมพันธ์ ร่วมกันระหว่างปัจจัย	(1)	a	b	ab	ผลรวมกำลังสอง
A	-1	+1	-1	+1	$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{n(4)}$
B	-1	-1	+1	+1	$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{n(4)}$
AB	+1	-1	-1	+1	$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{n(4)}$

โดยแต่ละค่ามีองศาเสรี (Degree of Freedom, df) เท่ากับ หนึ่ง ดังนั้น ในตัวอย่างการศึกษากระบวนการเคมีสามารถทำการคำนวณค่าผลรวมกำลังสองและอื่นๆ สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังแสดงในตารางที่ 2.20

ตารางที่ 2.20

การคำนวณผลรวมกำลังสองของปัจจัยหลัก และผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย สำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการทางเคมี

ปัจจัย/ความสัมพันธ์ ร่วมกันระหว่างปัจจัย	(1)	a	b	ab	ผลรวมกำลังสอง
A	-1	+1	-1	+1	$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{n(4)}$ $SS_A = \frac{[90 + 100 - 60 - 80]^2}{3(4)}$ $SS_A = \frac{50^2}{12} = 208.33$

ปัจจัย/ความสัมพันธ์ ร่วมกันระหว่างปัจจัย	(1)	a	b	ab	ผลรวมกำลังสอง
B	-1	-1	+1	+1	$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{n(4)}$ $SS_B = \frac{(-30)^2}{3(4)}$ $SS_B = 75$
AB	+1	-1	-1	+1	$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{n(4)}$ $SS_{AB} = \frac{(10)^2}{3(4)}$ $SS_{AB} = 8.33$

ส่วนค่า SS อื่นๆ ยังคงใช้สูตรตามปกติที่ได้กล่าวมา คือ

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{..}^2}{4n}$$

ซึ่งมีองศาเสรีเท่ากับ $4n-1$ ในขณะที่องศาเสรีสำหรับค่าความผิดพลาด คือ $4(n-1)$

และมีค่า

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

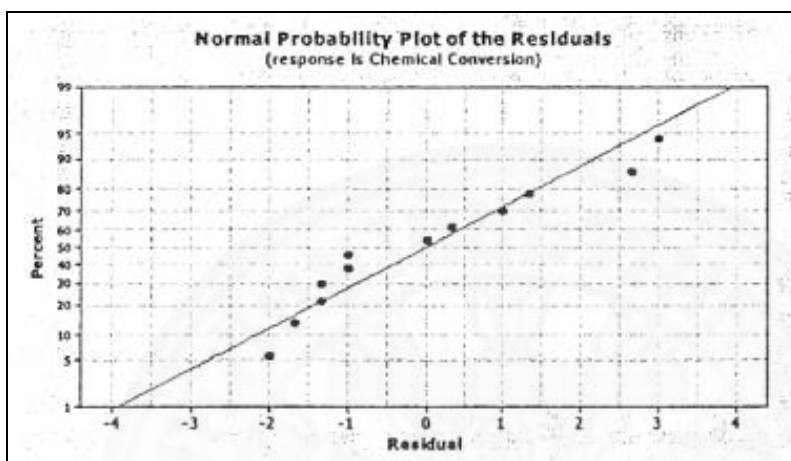
และสามารถแสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับตัวอย่างการศึกษากระบวนการเคมีที่ผ่านมา และกราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effect Plot) ได้ดังนี้ คือ

ตารางที่ 2.21

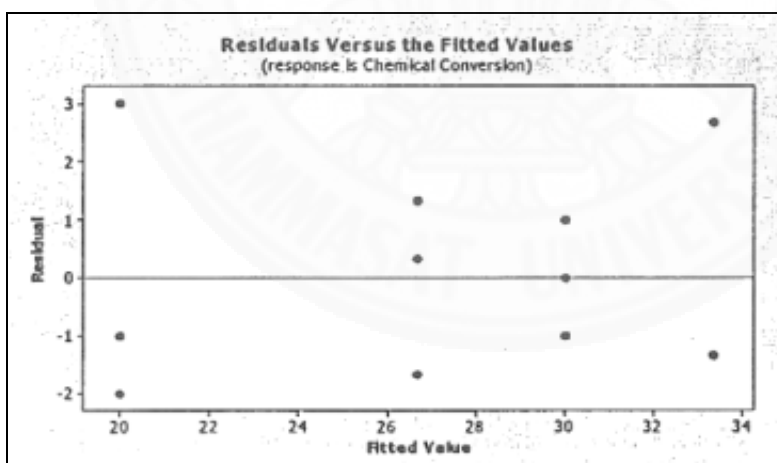
การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัญหาการศึกษากระบวนการเคมี

แหล่งที่มา (Source of Variation)	ผลรวม กำลังสอง (Sum of Squares)	องศา เสรี (d.f.)	ผลเฉลี่ย กำลังสอง (Mean Squares)	ค่าสถิติ F_0	ค่าพี P-Value	ค่าวิกฤต F Crit
ความเข้มข้น Reactant (A)	208.333	1	208.333	53.19	0.000	11.26
ปริมาณ Catalyst (B)	75.000	1	75.000	19.15	0.002	11.26
ความสัมพันธ์ระหว่าง กัน AB	8.333	1	8.333	2.13	0.183	11.26
Within Treatments	31.333	8	3.917			
Total	323.000	11				$\alpha = 0.01$

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้างต้นสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากดำเนินการตรวจสอบข้อสมมติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับค่าความผิดพลาดจากการทดลอง ดังนั้น การตรวจสอบเพื่อหาความเหมาะสมของตัวแบบจำลองจากข้อสมมติข้างต้น สำหรับปัญหานี้สามารถสรุปได้ดังรูปต่อไปนี้ และสามารถศึกษาการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปได้ ในส่วนท้ายของบท

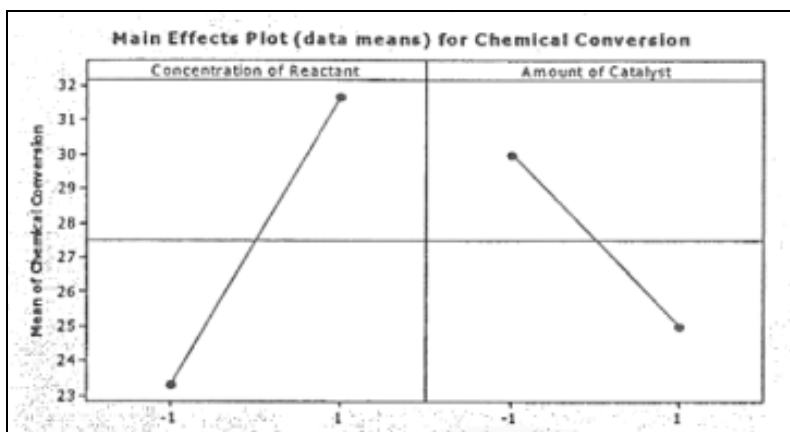


ภาพที่ 2.6 การพล็อตความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายชนิดปกติ

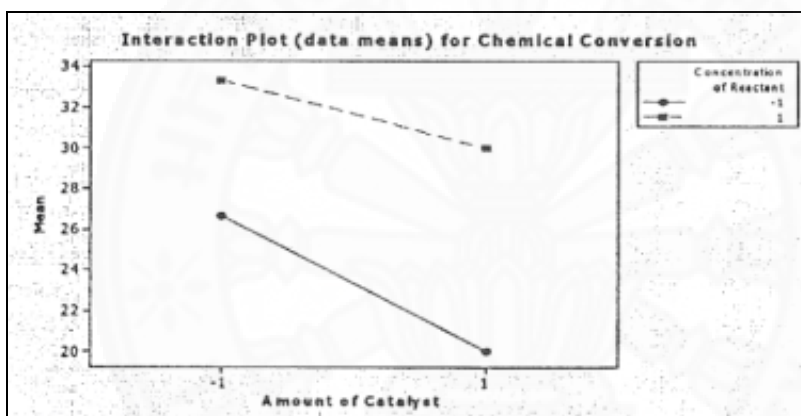


ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าเฉลี่ย

และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของผลตอบสนองเฉลี่ยและปัจจัย หรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ได้ดังนี้



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตอบสนองเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัย



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลตอบสนองเฉลี่ยและผลความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย

ในการแสดงการคำนวณค่าของคอนทราสต์ โดยการใช้รูปภาพดังกล่าวอาจเกิดความสับสนเข้าใจยากหากประยุกต์ใช้ในกรณีตั้งแต่สามปัจจัยขึ้นไป จึงได้ให้มีการนำเสนอวิธีการเพื่อลดความผิดพลาดในการคำนวณคอนทราสต์ โดยอาศัย “วิธีการเขียนองค์ประกอบการทดลอง หรือวิธีปฏิบัติเป็นลำดับมาตรฐาน” และใช้ขั้นตอนดังต่อไปนี้ในการพิจารณาเครื่องหมายหน้าสัญลักษณ์มาตรฐานของวิธีปฏิบัติ

- คอนทราสต์ ของปัจจัยใดๆ จะมีเครื่องหมายหน้าวิธีปฏิบัติเป็นบวกเมื่อมีอักษรตรงกันเช่นกรณี 2 ปัจจัย

ตารางที่ 2.22

เครื่องหมายคอนทราสต์ ของปัจจัย A

วิธีปฏิบัติ	เครื่องหมายกำกับแต่ละวิธีปฏิบัติ สำหรับการคำนวณ Contrast ของปัจจัย A
(1)	-
a	+
b	-
ab	+

ตารางที่ 2.23

เครื่องหมายคอนทราสต์ ของปัจจัย B

วิธีปฏิบัติ	เครื่องหมายกำกับแต่ละวิธีปฏิบัติ สำหรับการคำนวณ Contrast ของปัจจัย B
(1)	-
a	-
b	+
ab	+

- คอนทราสต์ ของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยจะเป็น “ผลคูณ หรือ Product” ของ Contrast ทั้งสองตัว ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.24

เครื่องหมายคอนทราสต์ ของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย AB

วิธีปฏิบัติ	เครื่องหมายกำกับแต่ละวิธีปฏิบัติ สำหรับการคำนวณ		
	A	B	ความสัมพันธ์ ระหว่าง AB
-1	-	-	+
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	+

ดังนั้น ค่าผลกระทบหลัก และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

$$A = \frac{1}{2(3)} [-(-1) + a - b + ab]$$

$$B = \frac{1}{2(3)} [-(-1) - a + b + ab]$$

$$AB = \frac{1}{2(3)} [(1) - a - b + ab]$$

ซึ่งพบว่าให้ผลลัพธ์เท่ากับวิธีที่ผ่านมาโดยอาศัยการวิเคราะห์เบื้องต้นจากธรรมชาติของปัญหา

ในการวิเคราะห์ปัจจัยเหล่านี้สิ่งสำคัญก็คือ การประมาณค่าผลกระทบหลักจากปัจจัยหรือความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาแนวโน้มของผลตอบสนองที่เกิดขึ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยการทดลองอย่าง

ตัวอย่างเช่น

$$\text{ผลกระทบหลักของปัจจัย A} = 8.33$$

$$\text{ผลกระทบหลักของปัจจัย B} = -5.00$$

$$\text{ผลกระทบหลักจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย AB} = 1.67$$

แต่พบว่าในตาราง ANOVA มีค่าของระดับนัยสำคัญ (Significant Level) สำหรับผลกระทบหลักของปัจจัย A และ B เท่านั้น ดังนั้น สมการเชิงเส้นทั่วไปของ 2 ปัจจัยซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_2 + e$$

จึงเปลี่ยนเป็นรูป

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + e$$

ดังนั้น ผู้ทำการทดลองสามารถทำนายผลตอบสนอง (y) ที่เกิดขึ้นจากการกำหนดระดับของปัจจัย (x_1, x_2) ทั้งสองได้

2.7.2 การออกแบบการทดลองกรณี 2^k แฟคทอเรียล กรณีพิเศษ

1) ความไม่สมบูรณ์ในการออกแบบการทดลองกรณี 2^k แฟคทอเรียล (Confounding in the 2^k Factorial Designs)

ในหลายๆ ปัญหา จะพบว่าเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองได้ซ้ำหลายๆ ครั้ง ด้วยการใช้เพียงกลุ่ม (Block) เดียว ซึ่งกลุ่มดังกล่าวอาจหมายถึง วัน วัตถุประสงค์ หรืออื่นๆ ซึ่งจะช่วยในการออกแบบการทดลอง 2^k แฟคทอเรียลที่มีข้อจำกัดนี้โดยจะลดส่วนของการทดลองลง

2) การออกแบบการทดลองกรณี 2^k แฟคทอเรียลแบบสัดส่วน (Two-Level Fractional Factorial Designs)

ในการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล เมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มมากขึ้นย่อมทำให้จำนวนของวิธีปฏิบัติ หรือองค์ประกอบของการทดลองเพิ่มสูงขึ้น เช่น การออกแบบการทดลองแบบ 2^6 แฟคทอเรียล มีความต้องการทั้งสิ้น 64 วิธีปฏิบัติ โดยมี

ผลกระทบของปัจจัยหลัก	จำนวน 6 ตัว
ผลกระทบจากความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย	จำนวน 15 ตัว
ผลกระทบอื่นๆ	จำนวน 42 ตัว

จะเห็นว่า ผลกระทบจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอันดับ (Order) สูงๆ มีอยู่หลายตัวซึ่งถ้าสามารถสมมติว่าไม่เป็นส่วนที่ระบบปัญหาต้องการพิจารณา ผู้ออกแบบสามารถจะทำการทดลองแบบสัดส่วนได้ โดยจะก่อให้เกิดการลดลงของจำนวนวิธีปฏิบัติตามสัดส่วนที่ต้องการคือ

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots, \frac{1}{2^R}$$

3) การออกแบบการทดลองกรณีแฟคทอเรียลอื่นๆ

การออกแบบการทดลองที่มีระดับ 2 ระดับ รวมทั้งการทดลองแบบสัดส่วนได้มีการอธิบายไปก่อนหน้านี้แล้วซึ่งสามารถใช้ได้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยและพัฒนา รวมทั้งการขยายไปสู่การออกแบบที่มีลักษณะเดียวกันเช่น เป็น 3 ระดับ เป็นต้น โดยสามารถใช้ในงานด้าน การปรับปรุงคุณภาพของ Professor Taguchi ในด้านการออกแบบการทดลองได้

4) การออกแบบการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียล

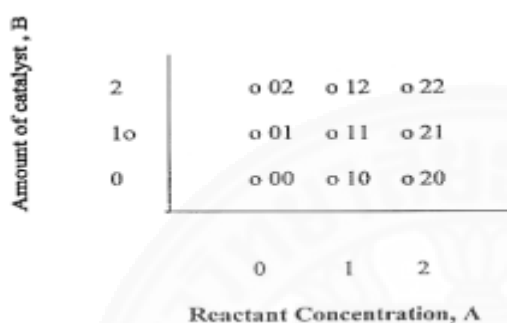
อาศัยนิยามเช่นเดิม คือ เป็นการทดลองกับปัจจัย k ตัว ในแต่ละตัวประกอบไปด้วย 3 ระดับ ดังต่อไปนี้ คือ

- 0 แทน ระดับต่ำ (Low)
- 1 แทน ระดับกลาง (Intermediate)
- 2 แทน ระดับสูง (High)

เช่น การทดลอง 3^2 แฟคทอเรียล

- 00 แทน การทดลองที่ A อยู่ระดับ Low B ระดับ Low
- 01 แทน การทดลองที่ A อยู่ระดับ Low B ระดับ Intermediate
- 02 แทน การทดลองที่ A อยู่ระดับ Low B ระดับ High
- :
- 22 แทน การทดลองที่ A อยู่ระดับ High B ระดับ High

จากที่ได้กล่าวมาใน 2^k แฟคทอเรียลสามารถสร้างเป็นสมการถดถอยได้ ดังนั้น 3^k แฟคทอเรียลสามารถสร้างเป็นสมการถดถอยได้ เช่นกัน แต่จะเป็นเส้นโค้ง นั่นคือ มีความสัมพันธ์กันเป็นแบบควอดราติก (Quadratic Relationship) หรือแบบอื่นตามความเหมาะสมจากการพิจารณา นั่นคือ สามารถดัดแปลงประยุกต์ใช้ออกแบบการทดลองระหว่างกันได้โดยอาศัยนิยามอันเดียวกัน (พงศ์ชนัน เหลืองไพบูรณ์, 2548)



ภาพที่ 2.10 การจำลองการออกแบบการทดลอง 3^k แฟคทอเรียล

2.8 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ

2.8.1 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิ

ในการออกแบบการทดลองวิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวมาเป็นการเน้นหนักสำหรับการใช้ งานเป็นลำดับขั้น เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตรวมทั้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพผ่านกระบวนการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ อย่างไรก็ตามในช่วงเริ่มต้นการออกแบบ การทดลองเชิงสถิติไม่แพร่หลายมากนัก ยกเว้นในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งปี ค.ศ. 1980 อยู่ในช่วงระยะเวลาการพัฒนาประเทศ การออกแบบการทดลองจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในการแก้ไขปัญหาทางด้านวิศวกรรม ทากูชิได้นำเสนอกลวิธีในการพัฒนากระบวนการและผลิตภัณฑ์ โดยอิงรูปแบบจากการออกแบบการทดลองที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ โดยมีข้อเด่นสำหรับกลวิธีของทากูชิ คือ

1. การออกแบบการทดลอง เพื่อให้ทำให้กระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงในขณะนั้นๆ
2. การออกแบบการทดลอง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทนทานต่อความแปรเปลี่ยนอันอาจเกิดขึ้นจากแต่ละองค์ประกอบย่อยของผลิตภัณฑ์
3. การออกแบบการทดลอง เพื่อให้เกิดความแปรเปลี่ยนจากเป้าหมายที่ต่ำที่สุด

ในกลวิธีของทากูชิ มักเกี่ยวข้องกับการออกแบบที่ทำให้เกิดความทนทาน (Robust) ซึ่งหมายถึง การออกแบบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการผลิตมีความสามารถในการกระทำได้ใกล้เคียงกับเป้าหมาย หรือวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และไม่แปรเปลี่ยนได้ง่ายต่อปัจจัยใดๆ ที่ยากต่อการควบคุม ทากูชิได้กล่าวถึงข้อเด่นที่ได้กล่าวมาข้างต้นว่าเป็นกลวิธีของ การออกแบบพารามิเตอร์ (Parameter Design) การออกแบบพารามิเตอร์เป็นหลักการพื้นฐานเพื่อสำรวจทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (ทั้งนี้ทากูชิได้เรียก “ปัจจัย” ว่า “พารามิเตอร์”) ในกระบวนการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (ทั้งในช่วงขณะดำเนินการทดลอง และในช่วงของการออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์) ถูกเรียกว่า ปัจจัยควบคุม (Control Factors) นอกจากนี้ อยู่ภายใต้ข้อสมมติที่ว่า ความแปรเปลี่ยนใดๆ ที่ออกนอกค่าเป้าหมายสืบเนื่องจาก ปัจจัยรบกวน (Noise Variables or Noise Factors) ปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถดำเนินการควบคุมใดๆ ได้ในช่วงของการออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ (แต่สามารถควบคุมในช่วงขณะดำเนินการทดลองได้) ดังนั้น การออกแบบพารามิเตอร์ที่มีความทนทานจึงเกี่ยวข้องกับการออกแบบ (ทั้งนี้การออกแบบที่ใช้งานในกลวิธีของทากูชิอาจไม่ใช่การออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิมทั้งหมดก็ได้) กระบวนการ หรือการคัดสรรระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ให้มีความทนทาน หรือไม่มีความไว (Robustness or Insensitivity) ต่อการเปลี่ยนแปลงอันอาจเกิดขึ้นจากปัจจัยรบกวน อาทิเช่น ความชื้น คุณสมบัติของวัตถุดิบ หรืออายุใช้งานของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยรบกวนสามารถแสดงให้เห็นความสำคัญได้อย่างชัดเจนซึ่งแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.25

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยรบกวนในปัญหาต่างๆ

ปัญหา	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้	ปัจจัยรบกวน
การทำเค้ก	ปริมาณน้ำตาล ปริมาณแป้ง ส่วนผสมอื่นๆ	อุณหภูมิเตาอบ เวลาการอบ
การปรับปรุงน้ำมันเชื้อเพลิง	ส่วนผสม วิธีหรือกระบวนการผสม	ผู้ขับขี่ สภาพจราจรของการขับขี่ ชนิดของเครื่องยนต์
การพัฒนาเครื่องถ่ายเอกสาร	วัตถุดิบ วิธีการผลิต	วิธีการใช้งานที่ถูกรวี้
กระบวนการเคมี	อุณหภูมิ กระบวนการที่คัดสรร	ความแปรเปลี่ยน หรือไม่คงที่ของ อุณหภูมิ หรือกระบวนการ

ปัญหา	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้	ปัจจัยรบกวน
การบรรจุผงชัฟฟอก	พื้นผิว (เฉียง/ตรง) ลักษณะของเครื่องจักร (กลม/เหลี่ยม)	ขนาดของผงชัฟฟอก

ในตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่า ปัจจัยรบกวนไม่สามารถควบคุมได้ ณ สภาวะการณ์จริงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือขณะใช้งานผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามสามารถควบคุมได้ ณ ระยะของการทดลอง นอกจากนี้ปรัชญาของกลวิธีการออกแบบทางทฤษฎียังสามารถกล่าวได้ว่า เป็นการจัดการกระบวนการพัฒนาคุณภาพในทุกๆ ส่วนขององค์กร ไม่เพียงแต่เน้นหนักที่กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีเพียงการใช้การออกแบบการทดลองเชิงสถิติอย่างง่าย และไม่ซับซ้อนโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการมีความทนทานต่อสิ่งรบกวนภายนอก หรือปัจจัยรบกวน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีความทนทาน

ในกระบวนการเดินผงชัฟฟอกลงบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ ซึ่งปัจจัยสามารถควบคุมได้ และกำลังพิจารณาสนใจอยู่ในขณะนี้ประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ และพื้นผิวของเครื่องเติมผงชัฟฟอกซึ่งมีอัตราการเร็วในการเติมอยู่ประมาณ 14 กรัมต่อวินาที ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัจจัย A แทน พื้นผิวซึ่งมีอยู่ 2 ระดับ และปัจจัย B แทนลักษณะทางการภาพซึ่งมีอยู่ 2 ระดับเช่นกัน ทั้งนี้ปัจจัยรบกวนคือ ขนาดของผงชัฟฟอก ซึ่งมีอยู่ 3 ระดับ ดังนั้น การออกแบบการทดลองที่เกิดขึ้นที่ประกอบไปด้วย 2 ประเภทของปัจจัย คือ ปัจจัยที่สามารถควบคุม และไม่สามารถควบคุมได้ สามารถแสดงตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.26

การออกแบบการทดลองปัญหาการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุผงชัฟฟอกอัตโนมัติ

ขนาดผงชัฟฟอก 1			ขนาดผงชัฟฟอก 2			ขนาดผงชัฟฟอก 3		
B			B			B		
A	-1	+1	A	-1	+1	A	-1	+1
-1	13.7	13.7	-1	14.9	14.2	-1	17.4	14.4
+1	14.0	11.9	+1	16.0	11.8	+1	12.0	11.7

ในตารางข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติซึ่งจำแนกตามขนาดของผงชัฟฟอก (สิ่งรบกวนภายนอก หรือปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้) สามารถสรุปได้ คือ เครื่องบรรจุผงชัฟฟอก

ซึ่งปัจจัยถูกกำหนด ณ ระดับ (+1, +1) มีความไวน้อยที่ (ดีที่สุด) ต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของ ผงซักฟอก กล่าวคือ ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนความเร็วที่ 0.1 กันต่อวินาที อย่างไรก็ตามก็ ตามอัตราความเร็วเฉลี่ยโดยรวมทุกๆ ขนาดของผงซักฟอกอยู่ที่ระดับ 11.8 (ค่าเป้าหมายอยู่ที่ระดับ 14)

ส่วนเครื่องบรรจุผงซักฟอกซึ่งปัจจัยถูกกำหนด ณ ระดับ (+1, -1) ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความเร็วที่ 2.0 กรัมต่อวินาที ซึ่งมากกว่ากรณี (+1, +1) แต่สามารถให้ อัตราความเร็วเฉลี่ยโดยรวมทุกๆ ขนาดของผงซักฟอกอยู่ที่ระดับ 14 เท่ากับค่าเป้าหมาย หรืออาจกล่าวได้ว่าเครื่องบรรจุที่ถูกกำหนด ณ ระดับนี้ไม่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของสิ่งรบกวน

ส่วนเครื่องบรรจุผงซักฟอกซึ่งปัจจัยถูกกำหนด ณ ระดับ (-1, +1) ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราความเร็วที่ 0.36 กรัมต่อวินาทีซึ่งมากกว่ากรณี (+1, +1) แต่สามารถให้ อัตราความเร็วเฉลี่ยโดยรวมทุกๆ ขนาดของผงซักฟอกอยู่ที่ระดับ 14.1 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่าเครื่องบรรจุที่กำหนด ณ ระดับนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของ สิ่งรบกวนมากที่สุดในแง่ของให้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำที่สุดทั้งในส่วนของความผิดพลาดจากความลำเอียง (Bias Error) และความแปรปรวน (Variance Error)

2.8.2 ปรัชญาของกลวิธีทากูชิ

ทากูชิได้นำเสนอปรัชญาของวิศวกรรมคุณภาพ ในการพัฒนากระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบระบบ (System Design) การออกแบบพารามิเตอร์ (Parameter Design) และการออกแบบช่วงความกว้าง (Tolerance Design) ในการออกแบบระบบ วิศวกรจะใช้หลักการทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ในการตรวจสอบสภาพที่เหมาะสมในส่วนของการออกแบบพารามิเตอร์ ค่าระดับของพารามิเตอร์ของปัญหาที่สนใจควรถูก กำหนดขึ้น ส่วนการออกแบบช่วงความกว้างใช้ในการตรวจสอบช่วงที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ เพื่อให้กระบวนการหรือผลิตภัณฑ์สามารถทำงานได้ปกติ ทากูชิได้แนะนำกลวิธีในการออกแบบการ ทดลองเชิงสถิติ ในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนของการออกแบบ พารามิเตอร์ และการออกแบบช่วงความกว้าง

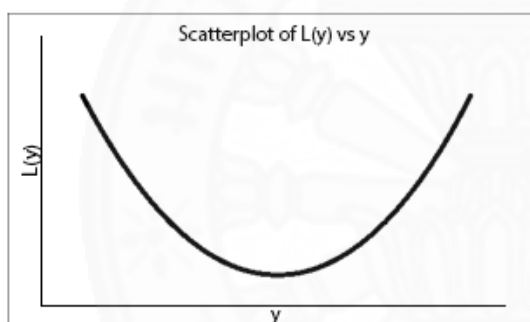
ในการออกแบบพารามิเตอร์ กลวิธีการออกแบบการทดลองสามารถนำมาใช้เพื่อ หาการออกแบบกระบวนการและผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมและทนทานที่สุด กล่าวคือ กระบวนการและ ผลิตภัณฑ์จะมีความทนทาน หรือไม่แปรเปลี่ยนมากมายนักต่อปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้น กระบวนการออกแบบพารามิเตอร์จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก หากกระบวนการผลิตกำลังอยู่ในช่วง

การดำเนินการปกติ (Routine Mode of Operations) ในนิยามของการออกแบบที่มีความทนทาน นั้น หมายถึง ผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการผลิตนั้นจะยังคงสามารถทำงานได้อย่างปกติ ภายใต้สถานการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมได้นั่นเอง

องค์ประกอบที่มีความสำคัญที่สุดของปรัชญาทากูชิ คือ การลดความแปรเปลี่ยนของค่าเป้าหมาย (Target or Nominal Value) ของประสิทธิภาพหรือคุณภาพของกระบวนการผลิต หรือผลิตภัณฑ์โดยทากูชิได้ออกแบบ ตัวแบบของค่าความผิดพลาดที่แตกต่างจากเป้าหมายว่า ฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss Function) ความสูญเสียที่เกิดขึ้น หมายถึง ต้นทุนที่จะเกิดขึ้นต่อสังคม เมื่อลูกค้าใช้ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคุณภาพไม่ถูกต้องตรงตามคุณลักษณะที่ได้กำหนดไว้ แนวคิดของความสูญเสียอยู่ในรูปตัวแบบกำลังสองดังแสดงต่อไปนี้

$$L(y) = k(y - T)^2$$

ซึ่งอาจแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 2.11 แนวคิดของความสูญเสียในรูปตัวแบบกำลังสอง

จากฟังก์ชันข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่าความผิดพลาด หรือความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพ หรือระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริง (y) ที่แตกต่างจากระดับคุณภาพของเป้าหมาย (T) ยิ่งสูงขึ้น ค่าปรับโทษ (Penalty) ยิ่งสูงขึ้นมากขึ้นถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย และจะเพิ่มในลักษณะกำลังสองหากค่าแตกต่างมีระดับสูงขึ้น

ดังนั้น จากตัวอย่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น สำหรับการพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุผงซักฟอกอัตโนมัติ ซึ่งต้องการผลิตภัณฑ์ซึ่งให้ค่าความแปรปรวนที่ต่ำที่สุดอันเกิดขึ้นจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่ยังคงให้ความสำคัญกับค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์อยู่ เช่นเดิมนั้นเราสามารถสร้างความสัมพันธ์ของฟังก์ชันความสูญเสียของตัวอย่างดังกล่าวได้ดังนี้

$$L(y) = \Sigma(y - 14)^2$$

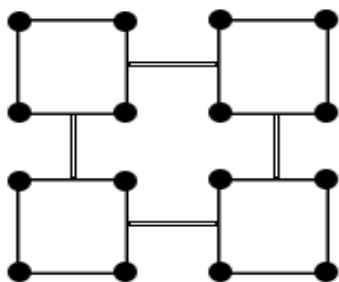
ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวเป็นการพิจารณา เพื่อหาระดับที่เหมาะสมที่สุดที่จะให้เกิดผลรวมค่าความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพที่ได้กับค่าเป้าหมายในทุกๆ ระดับของขนาดผงชักฟอกนั่นเอง

อย่างไรก็ตามแนวคิดดังกล่าวแตกต่างจากแนวคิดของทางด้านโลกตะวันตก ซึ่งจะมีการกำหนดค่าปรับโทษเพียงกรณีซึ่งค่าระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริงออกนอกช่วงขีดจำกัดคุณลักษณะบน (Upper Specification Limit, USL) หรือขีดจำกัดคุณลักษณะล่าง (Lower Specification Limit, LSL) เท่านั้น โดยแนวคิดรวมของทากูชิจึงประกอบด้วย 3 องค์ประกอบที่สำคัญที่สุด คือ

1. ผลผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตจะได้รับการออกแบบ เพื่อให้เกิดความทนทานต่อแหล่งต่างๆ ของความแปรเปลี่ยนภายนอก (สิ่งรบกวน)
2. กลวิธีการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือช่วยสำหรับการบรรลุวัตถุประสงค์
3. กระบวนการใดๆ เพื่อให้เกิดการบรรลุวัตถุประสงค์ หรือเป้าหมายที่ถูกกำหนด มีความสำคัญกว่ากระบวนการเพื่อให้เกิดการคงอยู่ภายใต้ขีดจำกัดคุณลักษณะ

2.8.3 กลวิธีทากูชิในการออกแบบพารามิเตอร์

การออกแบบพารามิเตอร์ของทากูชิเกี่ยวข้องกับ การใช้การออกแบบออกอร์โทโกนอลแอร์เรย์ (Orthogonal Array) ของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้พร้อมๆ กับอออร์โทโกนอลแอร์เรย์ของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบชนิด $2^2 \times 2^2$ ในส่วน 2^2 แรกเป็นแผนการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) เรียกว่า อินเนอร์แอร์เรย์ (Inner Array) ส่วน 2^2 หลังเป็นแผนการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors or Noise Factors) เรียกว่า เอาท์เทอร์แอร์เรย์ (Outer Array) วิธีปฏิบัติทั้ง 16 รูปแบบ เรียกว่า ครอสส์แอร์เรย์ (Crossed Array) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.12 $2^2 \times 2^2$ ครอสส์แอร์เรย์ ($2^2 \times 2^2$ Crossed Array)

ณ จุดมุมมองของอินเนอร์แอ็ร์เรย์สำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้ (+1, +1), (+1, -1), (-1, +1) และ (-1, -1) โดยที่ +1 แทน ปัจจัย ณ ระดับสูง -1 แทนปัจจัย ณ ระดับต่ำเช่นเดียวกับสัญลักษณ์ของการออกแบบการทดลองปกติ นอกจากนี้ เอ๊าท์เทอร์แอ็ร์เรย์สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้แสดง ณ ทุกจุดมุมรอบๆ จุดของอินเนอร์แอ็ร์เรย์ และเป็นจุดที่จะเป็นวิธีปฏิบัติของการทดลอง (รวมทั้งสิ้น 16 วิธีปฏิบัติ) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปนั่นเอง สำหรับตัวอย่างอื่นๆ สำหรับครอสส์แอ็ร์เรย์ (Crossed Array) ประกอบด้วย 32 วิธีปฏิบัติ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.27

$2^{4-1} \times 2^{3-1}$ ครอสส์แอ็ร์เรย์ ($2^{4-1} \times 2^{3-1}$ Crossed Array)

องค์ประกอบ	ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้					ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄		Z ₁	Z ₂	Z ₃
1	-1	-1	-1	-1	→	-1	-1	-1
2	+1	+1	-1	-1	→	+1	+1	-1
3	+1	-1	+1	-1	→	+1	-1	+1
4	+1	-1	-1	+1	→	-1	-1	+1
5	-1	+1	+1	-1	→	-1	+1	-1
6	-1	+1	-1	+1	→	+1	-1	+1
7	-1	-1	+1	+1	→	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	→	-1	+1	+1

ในการออกแบบชนิด $2^{4-1} \times 2^{3-1}$ ครอสส์แอ็ร์เรย์ ในส่วนการออกแบบการทดลอง ชนิดสัดส่วนกึ่งหนึ่งของจำนวน 4 ปัจจัย หรือ 2^{4-1} เป็นแผนการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) เรียกว่า อินเนอร์แอ็ร์เรย์ (Inner Array) ส่วนการออกแบบการทดลองชนิดสัดส่วนกึ่งหนึ่งของจำนวน 3 ปัจจัย หรือ 2^{3-1} เป็นแผนการออกแบบพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors or Noise Factors) เรียกว่า เอ๊าท์เทอร์แอ็ร์เรย์ (Outer Array)

2.8.4 วิธีการสร้างการออกแบบแอ็ร์เรย์

1) การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอ็ร์เรย์ชนิด แอล 4^(2³) กระบวนการออกแบบการทดลองทากูชิ สิ่งที่มีความสำคัญอย่างหนึ่ง คือ การสร้างแอ็ร์เรย์หรือวิธีปฏิบัติที่เกิดขึ้นในแต่ละปัญหา รวมถึงชื่อมาตรฐานของแอ็ร์เรย์ต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการทดลองเป็นต้น อาทิเช่น การออกแบบการทดลองด้วยออร์โทโกนอลแอ็ร์เรย์ชนิดแอล 4(L₄) ซึ่งแสดง

ถึง แอร์เรย์ของการทดลองซึ่งประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 4 วิธี โดยมีจำนวนปัจจัยอย่างมากที่สุด 3 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 4 วิธี โดยมีจำนวนปัจจัยอย่างมากที่สุดจำนวน 3 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ (ระดับสูงแทนด้วย 2 และระดับต่ำแทนด้วย 1 หรืออาจกำหนดให้ระดับสูงแทนด้วย +1 และระดับต่ำแทนด้วย -1 นอกจากนี้ยังพบว่าในคอลัมภ์ที่ 3 เป็นค่าสลับเครื่องหมายผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการคูณสองคอลัมภ์แรกหรือ AB Interaction ถ้าหมายเลข 1 แทน ระดับต่ำ และหมายเลข 2 แทนระดับสูง) ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.28

การออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแล 4 (L_4 Orthogonal Array, 2^3) ด้วยสัญลักษณ์ $-/+1$

No	Col	1	2	3
1		-1	-1	-1
2		-1	+1	+1
3		+1	-1	+1
4		+1	+1	-1

ตารางที่ 2.29

การออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแล 4 (L_4 Orthogonal Array, 2^3) ด้วยสัญลักษณ์ $1/2$

No	Col	1	2	3
1		1	1	1
2		1	2	2
3		2	1	2
4		2	2	1

ตารางการออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแล 4 ได้ถูกพัฒนาจากตารางสามเหลี่ยม (Triangular Table) เพื่อช่วยให้ผู้ดำเนินการทดลองสามารถ

พิจารณาตรวจสอบคอลัมภ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ร่วมกันของสองปัจจัย และผลกระทบหลัก ดังนั้น ตารางสามเหลี่ยมนี้จึงเป็นตัวบ่งชี้ว่า แต่ละคอลัมภ์นั้นมาจากอีกสองคอลัมภ์อย่างไรดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.30

สามเหลี่ยมสำหรับการออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิด แอล 4

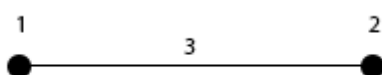
No	Col	1	2	3
1		(1)	3	2
2			(2)	1
3				(3)

จากตารางข้างต้น ในแนวเส้นทแยงมุมมีความหมายดังต่อไปนี้ คือ $(1) \times (2)$ จะก่อให้เกิดคอลัมภ์ที่ 3 นอกจากนี้ $(2) \times (3)$ จะก่อให้เกิดคอลัมภ์ที่ 1 และท้ายสุด $(1) \times (3)$ จะก่อให้เกิดคอลัมภ์ที่ 2 ในตารางการออกแบบการทดลองที่ใช้สัญลักษณ์ของระดับด้วย $-/+1$ เป็นต้น

ในการสร้างตารางการออกแบบการทดลองชนิดออร์โทโกนอลของทฤษฎี ยังได้มีการพัฒนากราฟเส้นตรง (Linear Graph) ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบย่อย นั่นคือ จุด เส้น (เชื่อมระหว่างจุด) และหมายเลข โดยที่

- จุด หมายถึง ผลกระทบของปัจจัยหลัก
- เส้น หมายถึง ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย แต่กลับเครื่องหมาย
- หมายเลข หมายถึง หมายเลขของคอลัมภ์ที่สอดคล้องกับคอนทราสต์ของผลกระทบที่สัมพันธ์กัน

ดังนั้น กราฟเส้นตรงของการออกแบบการทดลองทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 4 สามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 2.13 กราฟเส้นตรงสำหรับออกแบบการทดลองทฤษฎีสำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 4

จากรูปภาพข้างต้นสามารถอธิบายความหมายได้ดังต่อไปนี้ ถ้าตารางการออกแบบการทดลองทฤษฎีของปัญหาที่มีจำนวน 3 ปัจจัย (วิธีปฏิบัติเพียงครั้งหนึ่ง) ดังนั้นการออกแบบนี้จึงเปรียบเสมือนการออกแบบสองระดับชนิดกึ่งหนึ่งของจำนวน 3 ปัจจัย และให้ปัจจัย A B และ C ถูกกำหนดที่คอลัมภ์ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้น ในคอลัมภ์ที่ 3 ซึ่งถูกเชื่อมด้วยจุดที่มี

หมายเลขลำดับ คือ 1 และ 2 จึงอาจกล่าวได้ว่า C เกี่ยวข้องกับผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย -AB นั้นเอง

2) การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (2^7)

การออกแบบการทดลองด้วยออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (L_8) ซึ่งประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 8 วิธี โดยมีจำนวนปัจจัยมากถึง 7 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ

ตารางที่ 2.31

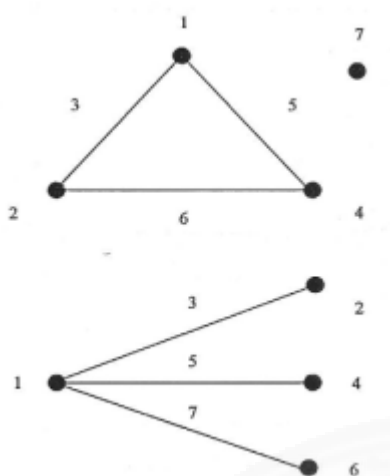
การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (L_8 Orthogonal Array, 2^7)

Col No	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

ตารางที่ 2.32

ผลกระทบร่วมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8

Col No	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2



ภาพที่ 2.14 กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8

3) การออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9

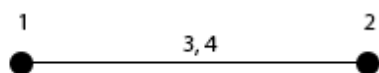
(3⁴) การออกแบบการทดลองด้วยออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 (L_9) ซึ่งแสดงถึง แอร์เรย์ของการทดลองซึ่งประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 9 วิธี โดยมีจำนวน 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ

ตารางที่ 2.33

การออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 (3^4) (L_9 Orthogonal Array, 3^4)

Col No	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

กราฟเส้นตรงของการออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 สามารถแสดงได้ดังรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.15 กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9

4) การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิด แอล 12

(2^{11}) การออกแบบการทดลองด้วยออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 12 (L_{12}) ซึ่งแสดงถึง แอร์เรย์ของการทดลองซึ่งประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 12 วิธี โดยสามารถใช้ในการออกแบบซึ่งมีจำนวนปัจจัยมากที่สุดถึง 11 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ

ตารางที่ 2.34

การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 12 (L_{12} Orthogonal Array, 2^{11})

Col No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

5) การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16

(2^{15}) การออกแบบการทดลองด้วยออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L_{16}) ซึ่งแสดงถึง แอร์เรย์ของ

การทดลองซึ่งประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 16 วิธี โดยมีความสนใจหลักสำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้นเพียง 15 ชนิดเท่านั้น การออกแบบการทดลองชนิดนี้มีความคล้ายคลึงกับการออกแบบของแฟลคเคทท์-เบอร์แมนน์ ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของการออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 ดังตารางที่ 2.35

ตารางที่ 2.35

การออกแบบการทดลองทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L_{16} Orthogonal Array, 2^{15})

Col No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

นอกจากนี้เรายังสามารถพิจารณาค่าผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย ซึ่งเอเลียสกับผลกระทบหลัก ดังแสดงในตารางที่ 2.36

ตารางที่ 2.36

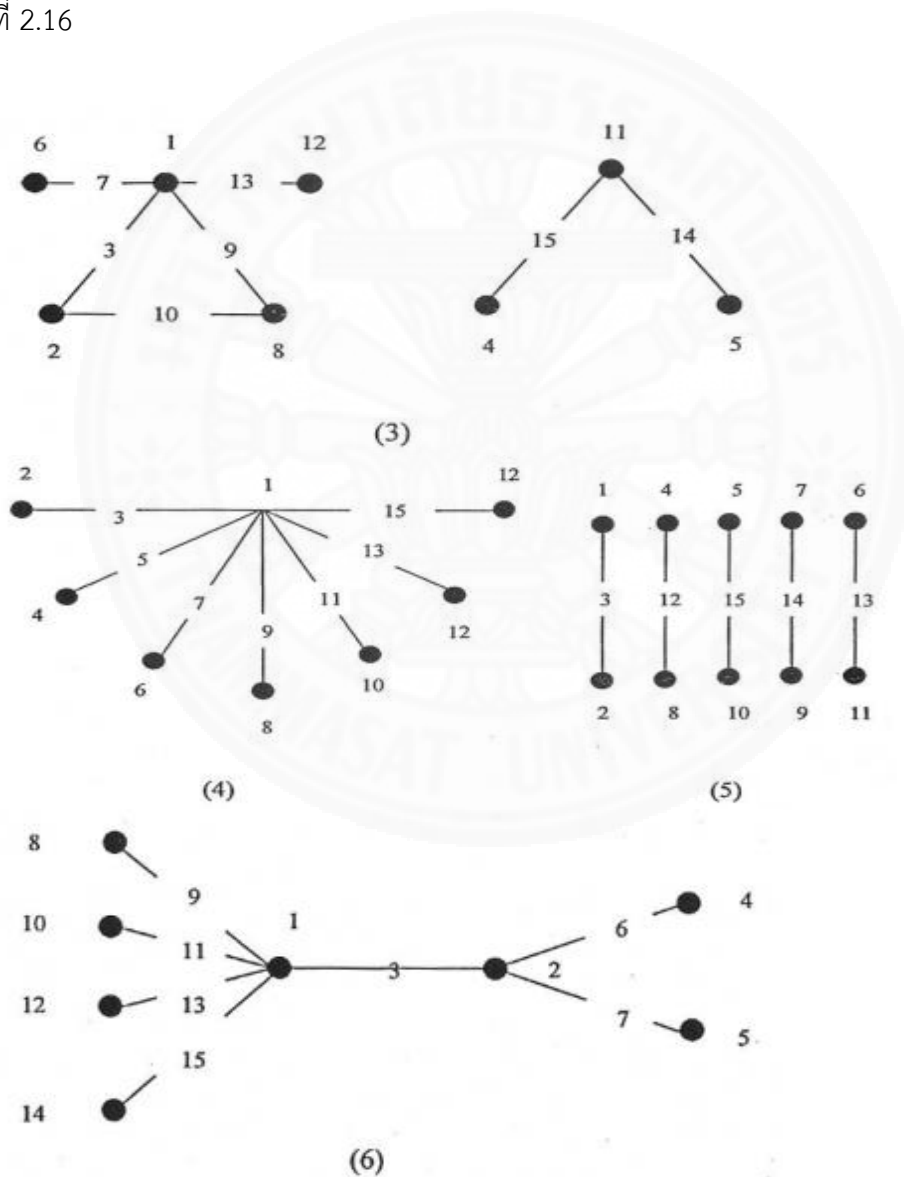
ผลกระทบร่วมสองปัจจัยของการออกแบบการทดลองทางทฤษฎี สำหรับบอร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16

Col No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	(1)	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
2		(2)	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
3			(3)	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
4				(4)	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
5					(5)	3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
6						(6)	1	14	13	12	13	10	11	8	9
7							(7)	15	2	13	12	11	10	9	8
8								(8)	3	2	3	4	5	6	7
9									(9)	3	2	5	4	7	6
10										(10)	1	6	7	4	5
11											(11)	7	6	5	4
12												(12)	1	2	3
13													(13)	3	2
14														(14)	1

ทฤษฎีนี้ได้เสนอกราฟเส้นตรงสำหรับสำหรับบอร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 โดยจำแนกออกเป็น 6 ชนิด คือ

- (1) กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบที่ต้องการให้ผลกระทบร่วมมีความสำคัญเป็นเท่ากัน
- (2) กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบที่ต้องการให้ ผลกระทบจากปัจจัยหลักใดๆ ผลกระทบร่วมจากปัจจัยหลักนั้น และผลกระทบร่วมอื่นๆ นอกเหนือปัจจัยหลักนั้นๆ มีความสำคัญลดหลั่นลงไป
- (3) กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบที่ต้องการให้มีการแบ่งผลกระทบร่วมออกเป็นจำนวน 2 กลุ่ม
- (4) กราฟเส้นตรงสำหรับออกแบบที่ต้องการให้ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักใดๆ และปัจจัยอื่นๆ มีความสำคัญเท่าเทียมกัน
- (5) กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบที่มีข้อจำกัดเช่น ลาติน เกรโก-ลาติน และไฮเปอร์-เกรโก-ลาติน สแควร์

(6) กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบปัจจัยเต็ม ดังนั้น หากพิจารณากราฟเส้นตรงกรณีที่ 1 ซึ่งหมายถึง การทดลองที่มีความต้องการตรวจสอบปัจจัยและไม่มี การพิจารณาผลกระทบร่วมในทุกๆ กรณี หรือเทียบเคียงได้กับการออกแบบการทดลองด้วยวิธีสุ่มชั้น 3 นั้นเอง (โดยในกรณีนี้มักไม่ได้กล่าวถึงกันโดยทั่วไป) หรือหากพิจารณาอีกนัยหนึ่ง คือ การทดลองซึ่งมีความต้องการตรวจสอบเพียง 5 ปัจจัยซึ่งอยู่ ณ จุดมุมของรูป 5 เหลี่ยม และตรวจสอบ 10 ค่าของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย หรือเทียบเคียงได้กับการออกแบบการทดลองชนิด $2y^{5-1}$ (ซึ่งความหมายกรณีที่ 1 ลักษณะนี้มักนำมาใช้งานแพร่หลายมากกว่า) ซึ่งสามารถนำเสนอได้ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 กราฟเส้นตรงสำหรับการออกแบบการทดลองทางทฤษฎีสำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิด แอล 16

ตารางที่ 2.37

การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 18 (L_{18} Orthogonal Array, $2^1 \times 3^7$)

Col No	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	2	3	3	2
12	2	1	3	2	1	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

ตารางที่ 2.38

การออกแบบการทดลองทางสถิติ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 27 (L_{27} Orthogonal Array, 3^{13})

Col No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3

Col No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

2.8.5 สถิติที่ใช้ในการทดสอบแบบทากูชิ

ทากูชิได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละเอาต์เทอร์แอร์เรย์ด้วยค่าสถิติทดสอบ ซึ่งให้ข้อมูลทั้งในส่วนของค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน ตัวอย่างในกรณี $2^2 \times 2^2$ ครอสส์แอร์เรย์ จะพบค่าสถิติทดสอบทั้งสิ้นจำนวน 4 ชุด ซึ่งทำการคำนวณผ่านจำนวน 4 ข้อมูลของเอาต์เทอร์แอร์เรย์ ค่าสถิติที่ทดสอบของทากูชิ เรียกว่า อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (Signal to Noise Ratio, SN) ซึ่งค่าอัตราส่วนนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท โดยจำแนกตามเป้าหมายของการทดลอง ค่าอัตราส่วนทั้ง 3 ประเภทประกอบด้วย

1. การกำหนดให้มีค่าผลตอบสนองต่ำยิ่งเหมาะสม (Smaller the Best, SN_S)
2. การกำหนดให้มีค่าผลตอบสนองสูงยิ่งเหมาะสม (Larger the Best, SN_L)
3. การกำหนดให้ผลตอบสนองมีความใกล้เคียงเป้าหมายมากที่สุด (Nominal is the Best, SN_T)

1) การกำหนดให้มีค่าผลตอบสนองยิ่งต่ำยิ่งเหมาะสม (Smaller the Best, SN_S) กรณีผลตอบสนองยิ่งต่ำยิ่งเหมาะสม ทากูชิได้พิจารณาผ่านฟังก์ชันความสูญเสียกำลังสอง โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายเป็นศูนย์ ดังนั้น ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถหาค่าสถิติทดสอบของทากูชิได้ดังนี้

$$SN_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

ค่าอัตราส่วนข้างต้น หากต้องการหาระดับที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดกำลังสองที่ต่ำที่สุดสามารถกระทำได้โดยการพิจารณาค่าสถิติทดสอบทุกๆ วิธีปฏิบัติ ซึ่งทำการคำนวณรอบจุดทุกจุด (n) ของเอาท์เทอร์แอร์เรย์ นอกจากนี้ เพื่อให้การพิจารณาค่าอัตราส่วนทั้งสามกรณีเหมือนกันทั้งหมด จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนเดิมด้วยผลคูณ $(-10 \log)$ ดังนั้น ในการพิจารณาค่าอัตราส่วนที่ได้ในแต่ละอินเนอร์แอร์เรย์ (แต่ละวิธีปฏิบัติ) ค่าอัตราส่วนที่มากที่สุด (Maximize SN_S) จะนำไปสู่การพิจารณาวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด

2) การกำหนดให้ค่าผลตอบสนองยิ่งสูงยิ่งเหมาะสม (Larger the Best, SN_L)

ในกรณีผลตอบสนองยิ่งสูงยิ่งเหมาะสม สามารถพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ อย่างไรก็ตามต้องทำการแปลงค่าผลตอบสนองที่ได้รับเป็นส่วนกลับ ดังนั้น ฟังก์ชันความสูญเสียกำลังสองของทากูชิสามารถหาค่าสถิติทดสอบได้ดังนี้

$$SN_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

ดังนั้น ในการพิจารณาค่าอัตราส่วนในแต่ละอินเนอร์แอร์เรย์ (แต่ละวิธีปฏิบัติ) ค่าอัตราส่วนที่มากที่สุด (Maximize SN_L) จะนำไปสู่การพิจารณาวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด

3) การกำหนดให้ผลตอบสนองมีความใกล้เคียงเป้าหมายมากที่สุด (Nominal is the Best, SN_T) ในกรณีผลตอบสนองใกล้เคียงเป้าหมาย ทากูชิได้ทำการพิจารณาผ่านฟังก์ชันความสูญเสียกำลังสอง โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายเป็น t ความแปรเปลี่ยนจากค่าเป้าหมายเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสำหรับกรณีนี้มีจำนวน 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรรมชาติของปัญหาดังกล่าว

ถ้าค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของผลตอบสนองเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นอิสระต่อกัน ทากูชิแนะนำให้ใช้ ปัจจัยปรับค่า (Tuning Factor) เพื่อลดความลำเอียงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งปัจจัยปรับค่านี้สามารถให้ผู้ที่ทำการทดลองสามารถเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย โดยคงค่าความแปรปรวน ณ ระดับเดิมได้ในกรณีนี้ค่าสถิติใช้ในการทดสอบของทากูชิ คือ

$$SN_{T1} = -10 \log S^2$$

โดยที่ $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}$ หรือค่าความแปรปรวนของตัวอย่างทุกๆ จุดของเอาท์เทอร์แอร์เรย์นั่นเอง ดังนั้น ในการพิจารณาค่าอัตราส่วนที่ได้ในแต่ละอินเนอร์แอร์เรย์ (แต่ละวิธีปฏิบัติ) ค่าอัตราส่วนที่มากที่สุด (Maximize SN_{T1}) จะนำไปสู่การพิจารณาวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด ถ้าค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของผลตอบสนองเปลี่ยนแปลงอย่างสัมพันธ์กัน ทากูชิได้แนะนำปัจจัยปรับค่าเพื่อลดความลำเอียง แต่ยังคงค่าของสัมประสิทธิ์ของความแปรเปลี่ยน $\frac{\sigma_y}{\mu_y}$ ในเชิงเส้นตรง ในกรณีนี้ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบของทากูชิ คือ

$$SN_{T2} = 10 \log \frac{\bar{y}^2}{S^2}$$

ดังนั้น ในการพิจารณาค่าอัตราส่วนที่ได้ในแต่ละอินเนอร์แอร์เรย์ (แต่ละวิธีปฏิบัติ) ค่าอัตราส่วนที่มากที่สุด (Maximize SN_{T2}) จะนำไปสู่การพิจารณาวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด การออกแบบพารามิเตอร์ด้วยกลวิธีทากูชิ สามารถแสดงได้อย่างชัดเจนขึ้นด้วยตัวอย่างดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง ในการทดลองเพื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการเชื่อม ในโรงงานประกอบแผ่นวงจร (Printed Circuit Board) ด้วยการออกแบบพารามิเตอร์ที่มีความทนทาน ในการพิจารณาโรงงานประกอบ ชิ้นส่วนต่างๆ จะถูกส่งไปเพื่อนการประกอบที่แผ่นวงจรเปล่า แผ่นวงจรและชิ้นส่วนต่างๆ จะถูกนำไปส่งยังเครื่องเชื่อมเพื่อให้ติดกัน ในการลำเลียงผ่านสายพานของแผ่นวงจรเปล่าเพื่อดำเนินการประกอบนั้นมีขั้นตอนต่างๆ ที่สำคัญดังนี้ คือ การขจัดออกไซด์ การให้ความร้อน การเชื่อม การทดลองได้ถูกออกแบบเพื่อการพิจารณาเงื่อนไข หรือสภาวะการดำเนินการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในกรณีปัญหานี้คือ ความต้องการจำนวนข้อบกพร่องต่อล้านจุดของการเชื่อมที่น้อยที่สุดนั่นเอง ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ พร้อมทั้งระดับที่สนใจในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.39

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และระดับที่สนใจพิจารณาของการศึกษาการเชื่อม

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้		ระดับของปัจจัย	
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
A	อุณหภูมิการเชื่อม	480	510
B	ความเร็วของสายพาน	7.2	10
C	ความหนาแน่นของฟลักซ์	0.9	1.0
D	อุณหภูมิเริ่มต้น	150	200
E	ความสูงคลื่นเชื่อม	0.5	0.6

อย่างไรก็ตามในขณะที่ดำเนินการผลิตปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ หรือปัจจัยรบกวนจากภายนอกประกอบด้วยอุณหภูมิของเครื่องเชื่อมความเร็วของสายพาน และชนิดของการประกอบในการสำรวจปัญหาที่ผ่านมา ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในบางครั้งมักเกิดขึ้นจากช่วงที่เกิดขึ้นของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ กล่าวคือ ผู้ทำการทดลองไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนได้ ค่าที่เกิดขึ้นแปรเปลี่ยนจากค่าที่กำหนด (Nominal Value) ในตัวอย่างข้างต้นอุณหภูมิสามารถกำหนดได้เป็นช่วง ± 5 องศาฟาเรนไฮต์ และความเร็วสายพานสามารถกำหนดได้ช่วง ± 0.2 ฟุตต่อนาที จากการดำเนินการผลิตที่ผ่านมาพบว่า ประสิทธิภาพของการผลิตลดลง เนื่องจากไม่สามารถควบคุมปัจจัยทั้งสองที่ได้กล่าวมาให้ได้รับค่าตรงกับที่ถูกกำหนดไว้ ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ปัจจัยท้ายสุด คือ ชนิดของการประกอบ ดังนั้น สิ่งรบกวนภายนอก หรือปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ และระดับที่เกี่ยวข้องสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.40

ปัจจัยที่สามารถควบคุมไม่ได้ และระดับที่สนใจพิจารณาของการศึกษาการเชื่อม

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้		ระดับของปัจจัย	
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
F	ช่วงของอุณหภูมิ	-5	+5
G	ช่วงของความเร็วสายพาน	-0.2	+0.2
H	ชนิดของการประกอบ	2	1

ในตารางของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และสิ่งรบกวนภายนอกที่ถูกกำหนดสามารถดำเนินการออกแบบอินเนอร์ และเอทเทอร์แอร์เรย์ โดยเป็นการใช้การออกแบบชนิดสัดส่วนกล่าวคือ อินเนอร์แอร์เรย์ใช้ลักษณะของการออกแบบสองระดับชนิดสัดส่วน 25-2 ส่วนเอทเทอร์แอร์เรย์ใช้ลักษณะของการออกแบบสองระดับชนิดสัดส่วน 23-1 ครอสส์แอร์เรย์ (Crossed Array) ของการทดลองนี้สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

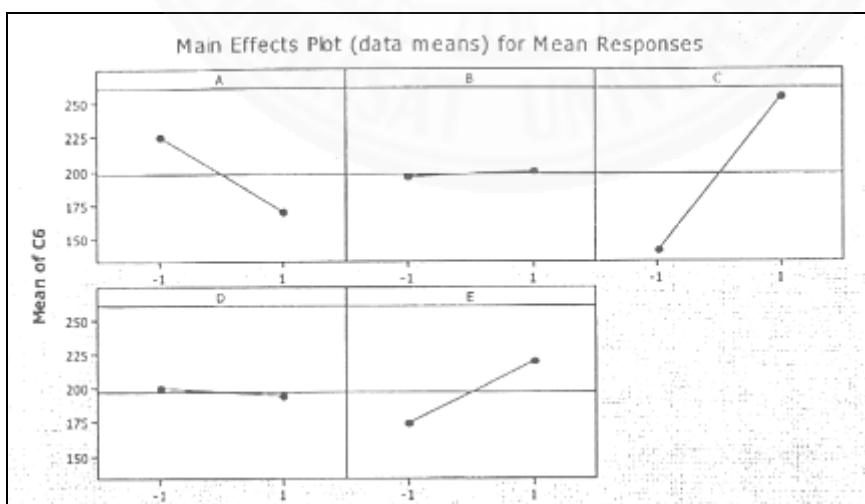
ตารางที่ 2.41

สรุปผลทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติและสภาวะการณ์ของการศึกษาการเชื่อม

อินเนอร์แอร์เรย์					เอาท์เทอร์แอร์เรย์*				SNR _s
A	B	C	D	E	(1)	fg	fh	gh	
+1	+1	+1	-1	-1	194	197	193	275	-46.75
+1	+1	-1	+1	+1	136	136	132	136	-42.61
+1	-1	+1	-1	+1	185	261	264	264	-47.81
+1	-1	-1	+1	-1	47	125	127	42	-39.51
-1	+1	+1	+1	-1	295	216	204	293	-48.15
-1	+1	-1	-1	+1	234	159	231	157	-45.97
-1	-1	+1	+1	+1	328	326	247	322	-45.76
-1	-1	-1	-1	-1	186	187	105	104	-43.59

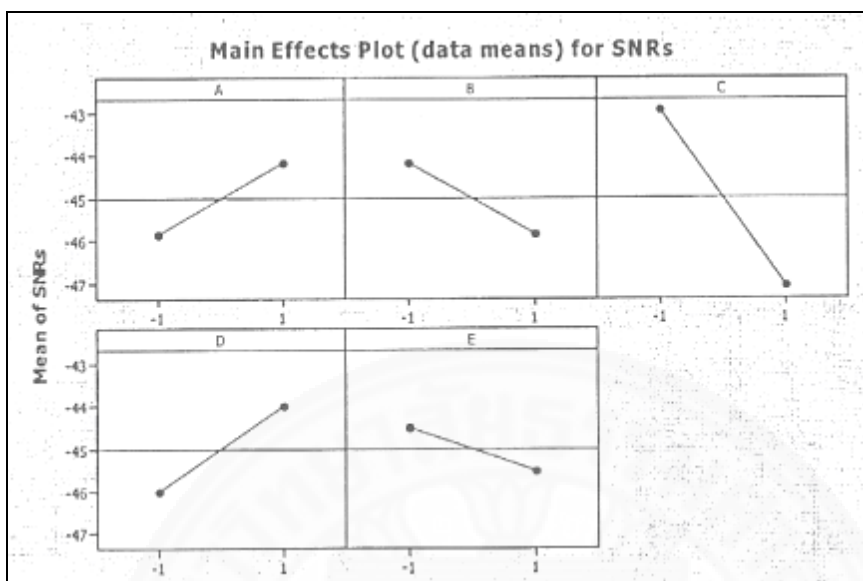
หมายเหตุ * ถ้าวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับสูง (High) จะมีการแสดงเป็นตัวอักษรตัวเล็ก และวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ระดับต่ำ (Low) จะไม่มีการแสดงเป็นตัวอักษร ส่วน (1) หมายถึง ทุกๆ ปัจจัยถูกกำหนดให้อยู่ในระดับต่ำ

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางข้างต้น เพื่อการลดจำนวนข้อบกพร่องของการเชื่อมจะมีการพิจารณาทั้งในคุณภาพด้านอัตราส่วนซิกนอลทวนอยส์ (Signal to Noise Ratio, SN) และค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง (เฉพาะปัจจัยหลักเท่านั้น) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2.17 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยผลตอบแทนของการศึกษาการเชื่อม



ภาพที่ 2.18 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยพิจารณาจาก SN_5 ของการศึกษาการเชื่อม

จากรูปภาพที่ 2.18 อุณหภูมิ และความหนาแน่นของฟลักซ์ เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพที่ต้องการของกระบวนการเชื่อม ทั้งในด้านคุณภาพของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ และค่าเฉลี่ยของผลตอบแทน นอกจากนี้ความสูงคลื่นที่ใช้มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ แต่ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของผลตอบแทน ดังนั้นหากต้องการหาค่าที่สูงที่สุดของอัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์และหาค่าที่ต่ำที่สุดของค่าเฉลี่ยของผลตอบแทนหลัก สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมมีดังนี้คือ 510 0.9 และ 0.5 สำหรับอุณหภูมิการเชื่อม ความหนาแน่นฟลักซ์ และความสูงคลื่นตามลำดับ อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นๆ อาทิ ความเร็วของสายพาน และอุณหภูมิเริ่มต้นควรถูกกำหนด ณ ระดับที่เหมาะสมทางด้านความประหยัด ดังนั้น องค์ประกอบของระดับและปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ตามที่กล่าวมาจึงอาจถือได้ว่าเป็น เงื่อนไขของสภาวะของกระบวนการผลิตที่มีความทนทาน กล่าวคือ มีแปรเปลี่ยนน้อยต่อสิ่งรบกวนซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างการทำงานจริง

ตัวอย่าง ในการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาศซึ่งต้องการทดสอบปัจจัยที่สามารถควบคุมได้จำนวน 4 ปัจจัย และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้จำนวน 3 ปัจจัย เพื่อพิจารณาถึงเวลาในการตกลงพื้นที่ยาวนานที่สุดโดยปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 2.42

ตารางที่ 2.42

ปัจจัยในการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor)	ระดับของปัจจัย		
A = จำนวนคลิป์ที่หนีบเฮลิคอปเตอร์กระดาษ(หน่วย:อัน)	5	10	15
B = ชนิดของกระดาษที่ใช้ทำเฮลิคอปเตอร์(หน่วย:ปอนด์)	1	2	3
C = ความกว้างใบพัดเฮลิคอปเตอร์กระดาษ(หน่วย:นิ้ว)	2.5	3.0	3.5
D = ความยาวเฮลิคอปเตอร์กระดาษ(หน่วย:นิ้ว)	8.5	9.0	9.5
ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้(Noise Factor)			
E = คนปล่อยเฮลิคอปเตอร์กระดาษ	X	Y	
F = ส่วนที่ใช้จับก่อนปล่อยเฮลิคอปเตอร์กระดาษ	บน	ล่าง	
G = หน้าต่างในห้องทดลอง	2	4	

ในการศึกษาเพื่อพิจารณาระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และมีอิทธิพลน้อยที่สุด หากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้มีการเปลี่ยนแปลงระดับ ใดๆก็ตาม จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่สามารถควบคุมได้นั้น แท้จริงแล้วไม่สามารถควบคุมได้ในช่วงของการปฏิบัติงานปกติเท่านั้น แต่สามารถควบคุมได้ในการทดสอบ ในปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ประกอบด้วยจำนวน 4 ปัจจัย และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ประกอบด้วย 3 ปัจจัย

ในกลวิธีเพื่อการออกแบบพารามิเตอร์ของทากูชิ การออกแบบการทดลองแบบดั้งเดิมถูกนำมาใช้ในปัจจัยแต่ละประเภท คือ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ การออกแบบทั้งสองชนิดของประเภทปัจจัยสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2.43

ตารางที่ 2.43

การออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับประเภทปัจจัยของการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ ด้วย ออร์โธโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9

ออร์โธโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 (L ₉ Orthogonal Array)				
วิธีการปฏิบัติ (Run)	ปัจจัย			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1

ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 (L_9 Orthogonal Array)				
วิธีการปฏิบัติ (Run)	ปัจจัย			
	A	B	C	D
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

ตารางที่ 2.44

การออกแบบการทดลองทางสถิติสำหรับปัจจัย (หรือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย) ของการศึกษา
เฮลิคอปเตอร์กระดาษ ด้วย ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8

ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (L_8 Orthogonal Array)							
วิธีปฏิบัติ (Run)	ปัจจัย(หรือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย)						
	E	F	ExF	G	ExG	FxG	e
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

ในตารางข้างต้นส่วนที่ 1 ถูกเรียกว่า ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 (L_9 Orthogonal Array) ซึ่งตัวเลขที่อยู่ในตารางใช้กำกับระดับของแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ในแต่ละแถวของแอร์เรย์ หมายถึง วิธีปฏิบัติ หรือรัน ที่ใช้ในการทดสอบ (Run or Treatment) สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 เป็นแอร์เรย์สำหรับกรณี 4 ปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับผลรวมของรัน หรือวิธีปฏิบัติทั้งหมดที่มีอยู่เป็นจำนวน 9 วิธีปฏิบัติ

ในอีกส่วนหนึ่งถูกเรียกว่า ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 (L_8 Orthogonal Array) ซึ่งตัวเลขที่อยู่ในตารางใช้กำกับระดับของแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ในแต่ละแถวของแอร์เรย์หมายถึง วิธีปฏิบัติ หรือรัน ที่ใช้ในการทดสอบ (Run or Treatment) สำหรับออร์โทโกนอล

แอร์เรย์ชนิดแอล 8 เป็นแอร์เรย์สำหรับกรณีปัญหาที่ประกอบด้วยจำนวนถึง 7 ปัจจัยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ผลรวมของรัน หรือวิธีปฏิบัติทั้งหมดที่ใช้มีอยู่ 8 วิธีปฏิบัติ

อย่างไรก็ตาม กรณีปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่ในขณะนี้จำนวนปัจจัยไม่สามารถควบคุมได้เป็นจำนวนเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้น ดังนั้น ในคอลัมน์อื่นๆ สามารถใช้ในการพิจารณาหาค่าประมาณของผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ (Factor Interactions) วัตถุประสงค์หลักของการใช้ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 8 คือ การสร้างสภาวะการันต์ที่แตกต่างกันในแต่ละกรณีของวิธีปฏิบัติ ผลที่ได้รับคือ การบ่งชี้ถึงระดับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ที่เหมาะสมที่สุด รวมถึงสภาวะการันต์ที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ หรือคุณภาพกระบวนการ หรือผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

สำหรับกรณีปัญหาข้างต้น เราสามารถสร้างตารางสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.45

สรุปผลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติและสภาวะการันต์ของการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

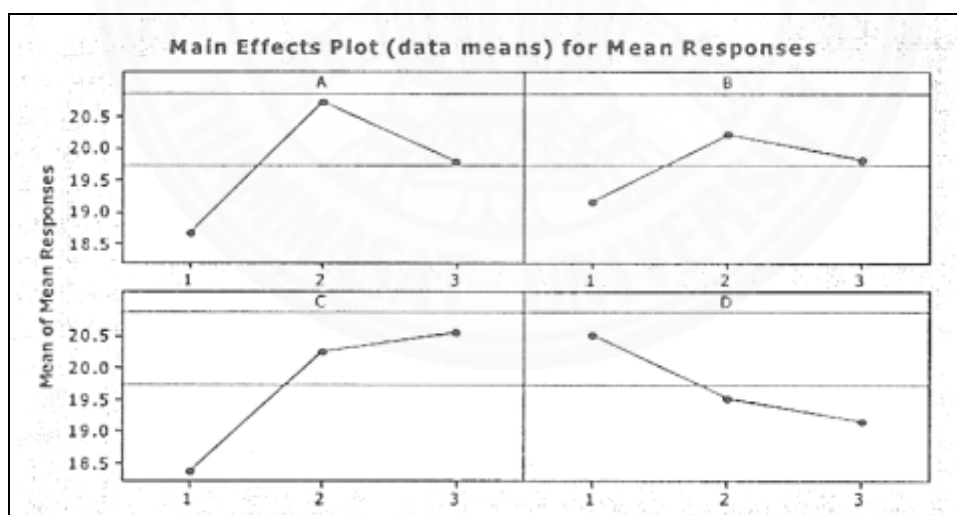
Run	อินเนอร์แอร์เรย์ (L_9)				เอาเทอร์แอร์เรย์ (L_8)								ผลตอบสนอง (Responses)		
	A	B	C	D	E	F	G							\bar{y}	SN_L
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	15.6	9.5
2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	15.0	16.2
3	1	3	3	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	16.3	16.7
4	2	1	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	18.3	17.4
5	2	2	3	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	19.7	18.6
6	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	16.2	16.3
7	3	1	3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	16.4	19.1
8	3	2	1	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	14.2	15.6
9	3	3	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	16.1	19.9

จากทฤษฎีบทที่กล่าวมา ออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9 สำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้จึงเรียกว่า อินเนอร์แอร์เรย์ (Inner Array) ส่วนออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 9

สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (ในสถานการณ์ทำงานจริง) อาจเรียกว่า เอาท์เทอร์แอร์เรย์ (Outer Array) จำนวนการทดลองที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับ 72 ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลด้วยกลวิธีทากูชิ ข้อมูลจากการทดลองที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าสถิติของการทดสอบคือ อัตราส่วนการตรวจจับปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ หรืออัตราส่วนซินอลทูนอยส์ (Signal to Noise Ratio, SN) อัตราส่วนดังกล่าวได้รับมาจากฟังก์ชันความสูญเสียกำลังสอง (Quadratic Loss Function)

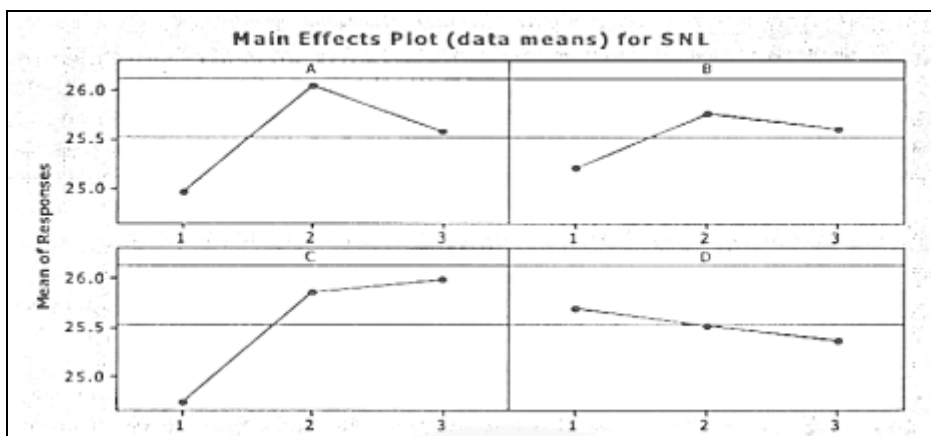
ในการพิจารณาค่าสถิติการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ SN_T ใช้ในกรณีที่ต้องการลดความแปรเปลี่ยนจากเป้าหมายที่กำหนด SN_L ใช้ในกรณีที่ต้องการให้ผลตอบสนองมีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ส่วน SN_S ใช้ในกรณีที่ต้องการให้ผลตอบสนองมีค่าน้อยที่เท่าที่จะทำได้ ดังนั้นในแต่ละค่าสถิติทดสอบที่ได้กล่าวมาจึงเปรียบเทียบ การพิจารณาหาระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ที่ทำให้อัตราส่วน SN ที่สูงที่สุดนั่นเอง

ปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นการพิจารณาค่าสถิติทดสอบกรณี SN_L กล่าวคือ เป็นการหาระยะเวลาในการตกถึงพื้นนานที่สุด ในตารางสรุปผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะพบสองคอลัมน์สุดท้ายซึ่งใช้ในการคำนวณค่าทางสถิติที่ต้องการ นอกจากนี้ค่าทางสถิติดังกล่าวสามารถนำเสนอในลักษณะของกราฟได้เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2.19 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้

โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยผลตอบสนองของการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ



ภาพที่ 2.20 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยพิจารณาจาก SN_L ของ การศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

ในรูปภาพที่ได้ข้างต้น กลวิธีทางสถิติสามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้
กรณีใช้ค่าเฉลี่ยผลตอบสนอง

ปัจจัย A ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 2

ปัจจัย B ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 2

ปัจจัย C ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 2 หรือ 3

ปัจจัย D ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 1

กรณีการใช้ SN_L

ปัจจัย A ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 2

ปัจจัย B ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 2

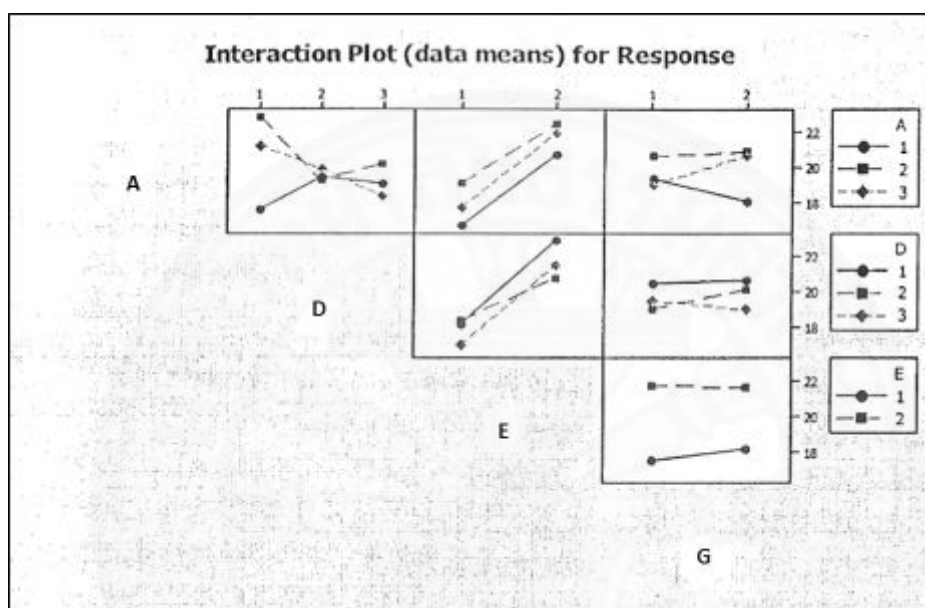
ปัจจัย C ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 2 หรือ 3

ปัจจัย D ควรถูกกำหนด ณ ระดับ 1

จากบทสรุประดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากทั้งค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง และอัตราส่วน SN_L ทำให้เราสามารถกล่าวได้ว่า องค์ประกอบของระดับปัจจัยที่ได้รับข้างต้น ก่อให้เกิดค่าผลตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด พร้อมๆ กับให้ค่าของความแตกต่างจากค่าเป้าหมายที่ต่ำที่สุด

ทางสถิติได้กล่าวว่า การใช้อัตราส่วน SN_L จะลดการใช้ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ (Factor Interactions) ถึงแม้ว่าผลกระทบร่วมที่มีนัยสำคัญนั้นๆ จะสามารถนำไปใช้ในการพิจารณารับการปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือผลิตภัณฑ์ได้ ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้ถูกทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการวิเคราะห์ผลดังกล่าวสามารถสรุปได้

ดังนั้น คือ ปัจจัย A ควรกำหนด ณ ระดับ 2 เนื่องจากไม่ว่าสภาวะการณ์ใดๆ ยังคงให้ค่าเฉลี่ยผลตอบสนองที่สูงที่สุด รวมถึงหากพิจารณาที่ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ คือ หน้าต่างในห้องทดลอง (G) พบว่าจะไม่ส่งอิทธิพลใดๆ เลยต่อเวลาในการตกถึงพื้น หากทำการเลือกปัจจัย A ณ ระดับ 2 นอกจากนี้ปัจจัย D ให้ค่าผลตอบสนองที่สูงที่สุด หากถูกกำหนด ณ ระดับ 1 โดยไม่คำนึงว่าใครจะเป็นผู้ปล่อยเฮลิคอปเตอร์กระดาษ



ภาพที่ 2.21 ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่สามารถควบคุมและไม่สามารถควบคุมได้ของการศึกษาเฮลิคอปเตอร์กระดาษ

ในการพิจารณาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ผู้ทำการอาจต้องสำรวจต้นทุนที่เกิดขึ้น ณ ระดับของปัจจัยที่แตกต่างกันเพิ่มเติม อาทิเช่น ปัจจัย B หรือชนิดของกระดาษที่ใช้ทำเฮลิคอปเตอร์ หากเปลี่ยนแปลงโดยใช้ชนิดที่ 3 ซึ่งมีราคาสูงกว่าชนิดที่ 2 ดังนั้น การตัดสินใจขั้นสุดท้ายอาจเปลี่ยนแปลงไป โดยมีเหตุผลด้านต้นทุนก็อาจเป็นไปได้ นอกจากนี้ปัจจัย C หรือความกว้างใบพัดเฮลิคอปเตอร์กระดาษ ณ ระดับ 3 นี้มีแนวโน้มในการใช้ค่าความแปรเปลี่ยนของเวลาในการตกถึงพื้นที่แตกต่างกันน้อยกว่าการกำหนด ณ ระดับ 3.5 นิ้ว ดังนั้น ในกรณีข้างต้นสำหรับการพิจารณาที่ SN_L มีการกำหนดทั้งระดับ 3 และ 3.5 นิ้ว หากพิจารณาที่ค่าความแปรเปลี่ยนที่น้อย อาจใช้ที่ระดับ 3 นิ้ว แต่เพียงระดับเดียวก็เป็นได้ นอกจากนี้การใช้กำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมเกิดขึ้นในกรณีพิเศษที่ถูกต้องตามที่ได้กล่าวมา คือ ณ ระดับ 2 1 2 และ 1 สำหรับปัจจัย A B C และ D ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าไม่มีลักษณะการทดลองในวิธีปฏิบัติที่เกิดขึ้นจาก อินเนอร์แอร์เรย์ ที่ถูกใช้ในกระบวนการ

ออกแบบการทดลองถูกดำเนินการเลย ดังนั้นอาจจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองเพิ่มเติมสำหรับวิธีการปฏิบัติที่ถูกคัดสรรข้างต้น ณ สภาวะการณ์ของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้เพื่อทำการยืนยันผลเป็นต้น

กลวิธีการออกแบบการทดลองทางทฤษฎี เป็นแนวคิดใหม่สำหรับการปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพ โดยเน้นหนักทางด้านวิธีการในการออกแบบพารามิเตอร์ เพื่อลดอิทธิพลอันเกิดขึ้น และกระทบต่อผลตอบสนองที่ต้องการของกระบวนการผลิต หรือผลิตภัณฑ์ กลวิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างอาทิ เอทีแอนด์ที พอร์ดมอเตอร์ ซีร็อกซ์ รวททั้งอีกหลายๆ บริษัทชั้นนำทั่วโลก ความน่าสนใจของกลวิธีทฤษฎีอยู่ที่การออกแบบพารามิเตอร์ และมีการนำเครื่องมือทางสถิติมาใช้ประโยชน์ร่วมกันในการวิเคราะห์ถึงระดับที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้โดยทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยรบกวน หรือสิ่งรบกวนภายนอก ถึงแม้ว่าจะมีข้อเสียเปรียบของวิธีการวิเคราะห์ที่อาจมีข้อผิดพลาดซึ่งได้ถูกกล่าวในทฤษฎีทางด้านสถิติ รวมทั้งมีการใช้วัตถุประสงค์หลักเพียง ค่าเฉลี่ยของผลตอบสนอง และค่าสถิติทดสอบของทฤษฎี หรือค่าอัตราส่วนสัญญาณรบกวน (Signal to Noise SN) โดยไม่คำนึงถึงค่าความสัมพันธ์กันอาจเกิดขึ้นระหว่างปัจจัย อย่างไรก็ตามกลวิธีการออกแบบของทฤษฎียังคงประโยชน์ในแง่คิดซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้ ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน (พงค์ชนัน เหลืองไพบูรณ์, 2548)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องและนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยในครั้งนี้ โดยมีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา ดังนี้ คือ

กันดา สุวรรณฤทธิ์ (2553) การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา ได้ประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ส่วนบุคคล รุ่นซาสต้า ซึ่งพบว่ามีปัญหาการเกิดของเสีย และของเสียประเภท Drive exceeded time limit เป็นของเสียที่มีจำนวนสูงสุดอันดับแรก โดยใช้ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 5 ขั้นตอน คือ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการตามลำดับ ทำให้สามารถลดจำนวนของเสียประเภท Drive exceeded time limit บนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ส่วนบุคคล รุ่นซาสต้าลงได้ 39,346 DPPM และส่งผลให้ DPPM ของของเสียรวมบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ส่วนบุคคล รุ่นซาสต้าลดลง 45,420 DPPM และสามารถลดเวลาการผลิตจากกิจกรรมที่ไม่เกิดประโยชน์ ได้ประยุกต์ใช้ระบบคัมบังและแนวคิด ECRS อีกด้วย

สุวรรณา โคนสุข (2553) การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์แผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนด้วยเทคนิคซิกซ์ ซิกมา ได้ศึกษาค้นคว้าโดยการนำเอาหลักการของซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์กับบริษัทกรณีศึกษาที่เป็นผู้ผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน โดยได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิพาเรโตในขั้นระบุปัญหาเพื่อค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร จากนั้นเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวัดและตรวจวัดสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนในการกลั่นกรองปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดของเสีย การออกแบบการทดลองในการกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัย และดำเนินการควบคุมปัจจัยหลักและกระบวนการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำอีก ทำให้สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงจากก่อนการปรับปรุงเฉลี่ย 4399 PPM เหลือเพียง 353 PPM ต่อเดือน หรือคิดเป็น 92 เปอร์เซ็นต์ที่สามารถลดของเสียได้ อีกทั้งสามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงจาก 53,567 บาทเหลือ 4,298 บาทต่อเดือน ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

สุวิมล ต้นติวิภาณุวงศ์ (2552) การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางทากูชิเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวริง ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการเคียวริงด้วยการออกแบบการทดลองชนิดสุ่มสมบูรณ์และวิธีของทากูชิเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการเคียวริงที่มีอิทธิพลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว ซึ่งถูกใช้เป็นตัวชี้วัดผลลัพธ์ด้านคุณภาพที่ได้รับจากกระบวนการดังกล่าว ศึกษาเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองชนิดสุ่มสมบูรณ์ เพื่อยืนยันถึงอิทธิพลที่มีต่อค่าผลตอบแทนหรือค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว ทำให้ผลของการทดลองข้างต้นสามารถประยุกต์ใช้วิธีของทากูชิในการกำหนดปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทำให้สามารถกำหนดและเพื่อปรับระดับที่เหมาะสมให้กระบวนการได้ โดยสภาวะที่ได้จากวิจัยสามารถเพิ่มค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวจาก 81.3% เป็น 88.7% และสามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลงได้จาก 3.12 เป็น 2.10 และยังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการได้ 20% โดยการเพิ่มจำนวนชิ้นการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากสภาวะปัจจุบันจากจำนวน 10 ชิ้นเป็น 12 ชิ้นได้อีกด้วย

อัมพวรรณ จิระภาววงศ์ (2551) การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุกษณ์ท์เซรามิกส์ ได้ใช้แนวทางการวิเคราะห์แก้ปัญหาแบบซิกซ์ ซิกมา ตามขั้นตอนที่เรียกว่า DMAIC เพื่อศึกษาและปรับปรุงกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับใช้ขึ้นรูปสุกษณ์ท์เซรามิกส์ โดยต้องการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจึงเลือกศึกษากระบวนการบดทราย โดโลไมท์และพิซเซอร์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นของการผลิตสุกษณ์ท์ จากนั้นใช้เทคนิคการหาสภาวะการบดที่ดีที่สุด (Process optimization) โดยการออกแบบการทดลองทางสถิติ (Design of Experiment) แบบ 2k factorial

with center point และสร้างสมการ Multi-factors linear regression model จนสามารถลดพลังงานในการบดลง 28% และใช้เวลาบดลดลงจากเดิมที่ใช้ 8 ชั่วโมง เหลือเพียง 5.75 ชั่วโมง อีกทั้งการทดลองยังส่งผลให้ได้คุณภาพการบดสูงขึ้นตามมา

ชิวันท์ อมรศรีสัจจะ (2551) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดแขนจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ งานวิจัยนี้ได้หาวิธีการลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาคุณภาพชิ้นงานแขนจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยการค้นหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงานแขนจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความสะอาดมากที่สุด โดยออกแบบการทดลองแบบทากูชิ L8 2 ระดับ 4 ปัจจัย เพื่อกรองปัจจัยเบื้องต้นที่ส่งผลต่อค่าความสะอาดของชิ้นงาน จากนั้นใช้วิธีการหาพื้นผิวของผลตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM) โดยได้ทำการทดลอง 8 การทดลอง ทำซ้ำ 2 ครั้ง ที่สภาวะต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ รวมเป็นการทดลองทั้งหมด 54 การทดลอง จากการวิจัยดังกล่าวทำให้สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตราโซนิกได้

กำชัย ไทยไชยนต์ (2552) การปรับปรุงคุณภาพการฉีดพลาสติก โดยวิธีการของทากูชิ ได้ทำการศึกษาและจัดทำรูปแบบการค้นหากระบวนการปรับตั้งค่าการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ที่เหมาะสม โดยการประเมินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวของผลิตภัณฑ์เทียบกับค่าเป้าหมายของลูกค้า ได้ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมโดยใช้การออกแบบการทดลองชนิดสุ่มสมบูรณ์เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมสำหรับการกำหนดเป็นปัจจัยในขั้นตอนต่อไปด้วยวิธีการของทากูชิ ในการเปรียบเทียบพบว่าค่าเฉลี่ยตัวอย่างของความยาวของชิ้นงานใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายของลูกค้ามากขึ้น และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ภายหลังจากการฉีดพลาสติกด้วยการปรับระดับปัจจัยใหม่จำนวน 1000 ชิ้น ไม่พบชิ้นงานที่เนื้อพลาสติกไม่เต็มแบบอีกทางหนึ่งด้วย

Hilda Cecilia Martinez Leon, Maria del Carmen Temblador Perez, Jennifer A.Farris, Mario G. Beruvides (2012) Integrating Six Sigma tools using team-learning processes การบูรณาการเครื่องมือซิกซ์ ซิกมา โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบทีม ได้นำเสนอว่าประโยชน์หลายๆ อย่างของ ซิกซ์ ซิกมา จะเกิดขึ้นหากมีการใช้งานเครื่องมือต่างๆ อย่างเหมาะสมภายในการปรับปรุงโครงการที่มีระบบทำเป็นทีม อย่างไรก็ตาม หลายๆ ทีมนั้น มักจะติดอยู่ที่การเลือกและการรวบรวมเครื่องมือที่ดีที่สุดที่ใช้ในโครงการของทีมนั้นๆ ที่ไม่เพียงส่งผลให้โครงการเสร็จสิ้นแต่ยังส่งผลถึงกระบวนการดำเนินงานและพัฒนาโครงสร้างอย่างยั่งยืน จุดประสงค์ของวิจัยนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงระบบที่นำมาใช้กับเครื่องมือซิกซ์ ซิกมาโดยขึ้นอยู่กับการเรียนรู้ของทีม เพื่อที่จะ

อำนวยความสะดวกในการเลือกเครื่องมือ การจัดตำแหน่ง การทำงานร่วมกันเป็นทีม และการแก้ปัญหา ทั้งหมดอย่างมีคุณภาพและยั่งยืน สำหรับวิธีการวิจัยนั้นได้ค้นคว้าเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการฝึกฝนการเรียนรู้แบบทีม และการประยุกต์ใช้เครื่องมือ ซึ่งประสมประสานกัน และสะท้อนให้เห็นถึงความสำเร็จของโครงการที่ใช้ ชิکش ชิกมา จากอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัยพบว่าเครื่องมือชิکش ชิกมา จะแสดงผลมากที่สุด หากมันสอดคล้องและบูรณาการเข้ากับการเรียนรู้ของทีมนั้นๆ การร่วมกันอภิปรายและพูดคุยของทีมในการใช้เครื่องมือ ชิکش ชิกมา เป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาการฝึกฝน การตีความ ทำให้ทีมสามารถสร้างความรู้ใหม่ๆ ทำให้เปลี่ยนรูปแบบได้โดยก่อนจะเข้าวิธีการ และทำให้สมาชิกทีมสามารถเลือกและตีความเครื่องมือที่ใช้ไปในทางที่เชื่อมโยงกัน นำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาขั้นสุดท้ายและใช้ชิکش ชิกมาทั้งหมด

Sameer Kumar, Michael Sosnoski (2009) Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shop floor production quality and costs การใช้ DMAIC ชิکشชิกมา ในการปรับปรุงระบบคุณภาพและต้นทุนการผลิตในโรงงาน ได้นำเสนอว่าการวิจัยนี้มุ่งเน้นไปยังวิธีที่ผู้ผลิตชั้นนำของเครื่องมือ ที่มีการเพิ่มพูนการขับเคลื่อนอย่างต่อเนื่องโดยมีการใช้ประโยชน์จากศักยภาพของ DMAIC ชิکش ชิกมา ที่ทำให้ตระหนักถึงการประหยัดราคาและเพิ่มคุณภาพการผลิตภายในโรงงาน งานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบหนึ่งในโรงงานที่รับมือกับการหาวิธีที่จะลดความแปรปรวนใน Amada ในระหว่างขั้นตอนการรักษาความร้อนเพื่อหาข้อดีของการใช้ประโยชน์จากเครื่องมือชิکش ชิกมา เช่น การระดมสมอง การวางแผนกระบวนการ พิชชโบนไดอะแกรม ฮิสโทแกรม และแผนภูมิการควบคุม ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ในจำนวนของงานวิจัยและคำแนะนำทั้งหมดที่ผู้ให้ข้อมูลหลักๆ นั้นได้แสดงไว้เกี่ยวกับการใช้ความแปรปรวนเพื่อแก้ไขปัญหาในส่วนต่างๆ นั้นเป็นวิธีที่ค้นคว้าคำตอบ โดยการใช้ตารางใหม่เพื่อเก็บปริมาณค่าแปรปรวน คำแนะนำหลักๆ นั้นจะเกี่ยวกับการออกแบบวิธีการรักษาความร้อนที่ได้ทำการพิสูจน์แล้ว ซึ่งค่าของตัวแปรที่ถูกออกแบบมาใหม่นั้น จะช่วยให้ประหยัดขึ้นถึง 10000 เหรียญต่อปี ซึ่งเป็นขั้นตอนการบดและกำจัดเศษชิ้นส่วนขยะ ซึ่งทางบริษัทได้ประเมินไว้หลายล้านดอลลาร์ แต่กลับลดลงด้วยการใช้กระบวนการ DMAIC ของชิکش ชิกมาในขั้นตอนการผลิตภายในโรงงาน

Onur Doğan (2017) A Roadmap for Data Driven Decision Making to Improve Quality ได้กล่าวไว้ว่า โปรแกรมต่างๆในการปรับปรุงคุณภาพรวมถึง การตรวจสอบ การควบคุม กระบวนการเชิงสถิติ การควบคุมคุณภาพโดยรวม การลดข้อบกพร่องให้เป็นศูนย์ ไคเซ็น และ ลีน ชิکش ชิกมา ซึ่งเป็นที่รู้จักมากที่สุด การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแก้ปัญหาด้านคุณภาพ โดยใช้ ชิکش ชิกมา เป็นโปรแกรมปรับปรุงคุณภาพ ข้อผิดพลาดในการผลิตลดลงถึงระดับความผิดพลาดที่ 3.4 ส่วนต่อล้าน และมีจุดมุ่งหมายที่จะทำให้ข้อบกพร่องเป็นศูนย์ ด้วยการผลิตแบบลีนระยะเวลาใน

การผลิตจะสั้นลงและคุณภาพจะได้รับการปรับปรุงโดยการกำหนดและกำจัดของเสียทุกประเภทในกระบวนการ การใช้ลีน ซิกซ์ ซิกมา หรือที่เรียกว่า DMAIC ทำให้เราไปถึง คุณภาพของซิกซ์ ซิกมาในระดับที่ข้อบกพร่องน้อยกว่า 3.4 ส่วนต่อล้าน โดยการลดความผันแปรและของเสียภายในกระบวนการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายซึ่งขึ้นอยู่กับการรวบรวมข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพ แม้ว่าหลายเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลแบบดั้งเดิมสามารถนำมาใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ สำหรับอุตสาหกรรม 4.0 ในตอนนี้ ควรรวบรวมข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ข้อมูลเกี่ยวข้องกับเทคนิคที่ใช้ในการสร้างผลลัพธ์ที่มีความหมายจากแต่ละกลุ่มข้อมูล มันเป็นไปได้ที่จะทำให้ประสิทธิภาพและความเร็วในการตัดสินใจโดยการใช้เทคนิค 5 ขั้นตอนของ ลีน ซิกซ์ ซิกมา การจำแนกแยกแยะข้อมูลในทุกขั้นตอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการวัดและวิเคราะห์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ จุดมุ่งหมายของการศึกษาเพื่อการจัดทำแผนงานที่จะช่วยให้ บริษัทที่ใช้ลีน ซิกซ์ ซิกมา ทำได้เร็วขึ้น เชื่อถือได้มากขึ้น และตัดสินใจได้ด้วยข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการ ในทางหนึ่งจะช่วยลดเวลากระบวนการผลิตและผลิตสินค้าที่มีคุณภาพดีขึ้น และอีกทางหนึ่งจะช่วยในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคการจำแนกแยกแยะข้อมูล

Abdalhkeim FA, Flifel, Nebojša Zakić, Aleksandra Tornjanski (2017) Identification and Selection of Six Sigma Projects กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา มีโครงสร้างที่ดีและได้รับการพิสูจน์แล้วสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพขององค์กร ช่วยให้บรรลุเป้าหมายขององค์กร โดยใช้วิธีการขับเคลื่อนด้วยโครงการต่างๆ การใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา ขึ้นอยู่กับการระบุที่ถูกต้องและการเลือกโครงการ ยิ่งไปกว่านั้น การเลือกโครงการซิกซ์ ซิกมาที่ถูกต้องเป็นหนึ่งในปัจจัยความสำเร็จที่สำคัญของความพยายามของซิกซ์ ซิกมา งานวิจัยนี้เป็นแหล่งข้อมูลสำหรับการระบุโครงการที่อาจเกิดขึ้นจากบนลงล่างและล่างขึ้นบน กระบวนการของการเลือกโครงการ แนวทางที่ช่วยในการเลือกโครงการที่เหมาะสม เกณฑ์การคัดเลือกซึ่งจะต้องได้รับการคัดเลือกอย่างถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ ความต้องการและความสามารถขององค์กรตลอดจนเทคนิคที่ซับซ้อน และเครื่องมือสำหรับการเลือกโครงการ การระบุและการเลือกโครงการซิกซ์ ซิกมา เป็นงานที่ซับซ้อนและยังคงเป็นหนึ่งในปัจจัยท้าทายที่สำคัญของบริษัทต่างๆ องค์กรควรใช้วิธีการที่เป็นระบบในการระบุโครงการที่มีศักยภาพและควรใช้เป็นต้นแบบของวิธีการที่ซับซ้อน เทคนิคและเครื่องมือในการคัดเลือกโครงการเพื่อดำเนินโครงการจะก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่องค์กร ซึ่งจะดีที่สุดต่อเป้าหมายและความสามารถของบริษัท

Thanapat Sangkharata, Surangsee Dechjarerna (2017) Spinning Process Design Using Finite Element Analysis and Taguchi Method งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์กระบวนการปั่นด้ายต่อแรงหมุนและการเสียรูป ซึ่งการทดลองและการจำลองเชิงตัวเลข

ของการปั่นด้วยแผ่นโลหะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์ของกระบวนการปั่นเพื่อลดแรงและการเสียรูปที่มีขนาดใหญ่โดยผนังไม่แตกหรือเกิดริ้วรอย โดยใช้วิธีการทดลองแบบทากูชิร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อลดจำนวนของการจำลองเชิงตัวเลข การทดลองการปั่นได้นำมาใช้กับเครื่องกลึงเพื่อให้รองรับกับตัวแปลงพลังงานโครสเลอร์เพื่อวัดกำลังการปั่นของเครื่องปั่นด้าย ชิ้นงานและแกนปั่นถูกปั่นด้วยความเร็วคงที่ 250 รอบต่อนาที ความลึกของการปั่นและอัตราเร็วของการหมุนเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร และ 2.4 มิลลิเมตรต่อวินาทีตามลำดับ ทำการทดลองสามครั้งโดยใช้เงื่อนไขการหมุนเดียวกัน ชิ้นส่วนสำเร็จรูปถูกสร้างขึ้นในทิศทางเดียวของลูกกลึง แรงที่วัดได้โดยเฉลี่ยคือ 800 นิวตัน แบบจำลององค์ประกอบสามมิติของการปั่นด้วยแผ่นโลหะได้รับการพัฒนาโดยใช้พารามิเตอร์การทดลองการปั่นแบบเดียวกัน ชิ้นส่วนโลหะแผ่น SPCC ถูกจำลองเป็นวัสดุพลาสติกที่ยืดหยุ่นรอบทิศทาง แรงเสียดทานเฉลี่ยที่คาดไว้คือ 853 นิวตัน มีความผิดพลาดที่ 6.25% ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่คาดว่าเกี่ยวกับพฤติกรรมรอบทิศทางและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ในแบบจำลอง FE นอกจากนี้ความหนาที่คาดการณ์ไว้ของชิ้นส่วนที่เปลี่ยนรูปถูกนำมาเปรียบเทียบกับความหนาของชิ้นงานทดลองที่วัดได้และความผิดพลาด 6.06% จึงเป็นที่แน่ชัดว่าผลลัพธ์ของแบบจำลององค์ประกอบสอดคล้องกับผลการทดลองปั่น มีการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ 8 ตัว ที่มีผลต่อกำลังปั่นและการเสียรูป ได้แก่ รัศมีลูกกลึง ความเร็วแกน อัตราการปั่น ความลึกของการปั่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ความกว้างของลูกกลึงที่รองรับ เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลึงรองรับ และมุมของความลาดเอียง โดยเลือกการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ มีการวิเคราะห์องค์ประกอบของการทดลองการปั่นจากผลตอบสนองหลัก ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทากูชิ และ ANOVA พบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อแรงปั่น คือ ความลาดเอียงของแกนปั่น ความลึกของการปั่น ความกว้างของลูกกลึงที่รองรับ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นส่วนที่ทำให้รูปร่างผิดปกติ คือ ความลาดเอียงของแกนปั่น ความลึกของการปั่น และรัศมีลูกกลึง และปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูป คือ รัศมีลูกกลึง ความลึกของการปั่น และความกว้างลูกกลึงที่รองรับ

Benson K. Mbithia, Jean B. Byiringiroa. Alphonse Niyibizib (2017) Experimental Investigation and Optimization of Laser Cutting Parameters for Solar Cells Based On Taguchi Method ได้ใช้วิธีการของทากูชิในการออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในปัจจุบันการใช้เลเซอร์นั้นได้รับความนิยมอย่างมากในการประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรขนาดเล็กเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของลำแสงเลเซอร์ เครื่องเลเซอร์ขนาดเล็กจึงถูกนำมาใช้เป็นเลเซอร์ที่ใช้ในการตัดเฉือนวัสดุหลากหลายประเภทรวมทั้งเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม กระบวนการแบบนี้มีความท้าทายเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การเกิดรอยแตกร้าวที่

มีขนาดเล็ก (Microcracking) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการรวมค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเลเซอร์ที่ไม่ถูกต้อง กระบวนการตัดต้องการสัดส่วนที่เหมาะสมของค่าที่กำหนด ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของการตัดนั้นยอดเยี่ยมรวมไปถึงการได้โซลาร์เซลล์ที่มีคุณภาพอีกด้วย และเป็นที่น่าพอใจของค่าที่ใช้ในการตัดนั้นส่วนใหญ่ค่าของผลลัพธ์ทำออกมาได้ไม่ต่ำกว่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การตรวจสอบและเพิ่มประสิทธิภาพของเลเซอร์และค่าของกระบวนการตัดที่มีผลต่อคุณภาพของโซลาร์เซลล์ ตัวแปรที่ได้ถูกเลือกในขาเข้า ได้แก่ ความเร็วในการสแกน ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง และพลังของเลเซอร์ และค่าตัวแปรในขาออก ประกอบด้วย ความลึกของรอยตัด ความกว้างของรอยตัด และอัตราการขจัดเนื้องาน โดยตัวแปรในขาเข้านั้นจะแสดงให้เห็นว่ามีผลกับคุณภาพของโซลาร์เซลล์เป็นอย่างมาก ค่าที่ส่งผลต่อความลึกของรอยตัดที่เพิ่มขึ้น คือ ค่ากำลังของเลเซอร์ ส่วนค่าที่ส่งผลต่อความลึกของรอยตัดที่น้อยลง คือ ค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความเร็วในการสแกน และค่าที่ส่งผลต่อความกว้างของรอยตัดที่เพิ่มขึ้น คือ ค่ากำลังของเลเซอร์และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนค่าที่ส่งผลต่อความกว้างของรอยตัดที่ลดลง คือ ความเร็วในการสแกน ในทางกลับกันพบว่าค่าที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานที่เพิ่มขึ้น คือ ค่ากำลังของเลเซอร์และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนค่าที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานที่น้อยลง คือ ความเร็วในการสแกน ค่าสภาวะที่เหมาะสมในการตัดโซลาร์เซลล์ แสงอาทิตย์ขนาดมาตรฐาน คือ 156 มม. x 156 มม. ใช้กำลังเลเซอร์อยู่ที่ 126.67 วัตต์ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 0.4158 มม. และความเร็วในการสแกนอยู่ที่ 3121 มม./นาที ทำให้ได้ค่าความลึกของรอยตัดที่ 0.1839 มม. และความกว้างของรอยตัดที่ 0.5828 มม. และอัตราการขจัดเนื้องานที่ 1456 มม./นาที ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกับสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ซอฟต์แวร์

Amar Murumkar, S. N. Teli, Sandhya Jadhav, Sagar Dharmadhikari, Manoj Nikam (2018) Integrated approach of Six Sigma and Knowledge Management ได้กล่าวไว้ว่า ทุกวันนี้มีการแข่งขันอย่างสูงของตลาด คุณภาพสูงนั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการรักษาความได้เปรียบในการแข่งขัน ผู้ผลิตสามารถไปยังระดับของคุณภาพที่สูงขึ้นได้โดยการเปลี่ยนกระบวนการผลิต และโดยการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นจุดที่มีการใช้กลยุทธ์ที่แตกต่างกันออกไปซึ่งพบอยู่บ่อย ๆ การปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องนั้นเป็นกุญแจสำคัญของกลยุทธ์ที่ใช้ในการแข่งขัน คุณภาพของต้นทุนนั้นเป็นเครื่องมือหนึ่งจากหลายๆ ตัวที่จะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ในลำดับต่อมาในเพื่อการปรับปรุงคุณภาพนั้นองค์กรจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเพื่อให้บรรลุผลของคุณภาพที่ตั้งเป้าไว้ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่ได้เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าเพียงเท่านั้น แต่มันทำให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดอีกด้วย นักวิจัยส่วนใหญ่จะพบว่าต้นทุนของคุณภาพนั้นจะมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ของผลประกอบการของบริษัท จึงเป็นสาเหตุว่าทำไมสิ่งเหล่านี้

จึงสำคัญในการประเมินและติดตามคุณภาพของต้นทุน งานวิจัยฉบับนี้ได้กล่าวถึงการเรียกคืนยานพาหนะในอินเดียเนื่องจากการออกแบบที่ผิดพลาดนั้นสร้างความสูญเสียอย่างมหาศาลให้กับบริษัท ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเรียกยานพาหนะคืนนั้นจะถูกนับว่าเป็นต้นทุนการผลิตเกี่ยวกับคุณภาพแผนกยานยนต์และบริษัทจะต้องนำกลับมาคิดทบทวนอีกครั้งและใช้เวลาให้มากกว่าเดิมในช่วงของการออกแบบและช่วงของการพัฒนา ซึ่งเป็นจุดที่สามารถมองเห็นปัญหา เพื่อที่จะสามารถหลีกเลี่ยงต้นทุนของคุณภาพได้ โดยนำหลักการซิกซ์ ซิกมาที่สร้างคุณภาพเข้าไปในกระบวนการ การบริการ และผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถลดต้นทุนของคุณภาพได้ และนอกจากนั้นยังลดต้นทุนรวมได้อีกด้วย กฎที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้กล่าวว่า ถ้าต้นทุนของข้อบกพร่อง 100 ดอลลาร์ การที่จะแก้ไขนั้นจะใช้เงินแค่ 10 ดอลลาร์ และ ค่าป้องกันแค่ 1 ดอลลาร์ ในกรณีนี้ แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของการป้องกันนั้นมากกว่าการแก้ไข หมายความว่า กระบวนการผลิตนั้น หากเราต้องการหยุดการเกิดข้อบกพร่องต้องหยุดก่อนที่มันจะถูกสร้างขึ้นมา ความสามารถของซิกส์ซิกมา และเครื่องมือการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistical Process Control) สามารถหยุดการเกิดข้อบกพร่องก่อนที่มันจะถูกสร้างขึ้นได้ และลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดี (Cost of Poor Quality) โดยการให้มีการบำรุงรักษาแบบที่สามารถคาดการณ์ได้แทนที่จะเป็นแบบแก้ไขหลังจากที่เกิดปัญหาขึ้นแล้ว

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

ระยะนี้เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของงานวิจัย โดยเป็นการเข้าไปสำรวจสภาพปัญหาภายในบริษัทกรณีศึกษาจริง และได้เข้าไปทำการศึกษาในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรของผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 อย่างละเอียดเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่มีความเป็นไปได้ในการทำให้เกิดของเสียในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร โดยเบื้องต้นจะศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ที่มีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า จัดตั้งทีมงานเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร และระดมสมอง (Brain Storming) เพื่อค้นหาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการ

3.1 จัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหาคุณภาพ

บริษัทกรณีศึกษาได้มีจัดตั้งทีมงานในการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement Team; CI Team) ซึ่งเป็นหน่วยงานโดยเฉพาะในการปรับปรุงงานที่เกิดปัญหาด้านคุณภาพเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของบริษัทที่ว่า “ความปลอดภัยและคุณภาพต้องทำเป็นอันดับแรก” โดยการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาปรับปรุงนั้นเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตของบริษัทมากที่สุดซึ่งจะมีการผลักดันการดำเนินงานจากผู้บริหารระดับสูง โดยจะเป็นผู้กำหนดนโยบายและรักษาความชัดเจนในระบบการจัดการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ และทำการแจ้งให้พนักงานทุกคนได้ทราบถึงนโยบายของบริษัทและถ่ายทอดลงไปสู่พนักงานระดับกลางและระดับปฏิบัติการ เพื่อให้ทุกคนได้เข้าใจตรงกันและสามารถปฏิบัติงานไปในทิศทางเดียวกันได้ กิจกรรมการปรับปรุงนี้ต้องได้รับการร่วมมือกันจากหลายๆฝ่ายจึงจะสำเร็จได้ และในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

- 1) ที่ปรึกษาการทำกิจกรรมการปรับปรุง ได้แก่ผู้จัดการแผนก และผู้จัดการฝ่าย
- 2) วิศวกรการออกแบบกระบวนการ
- 3) วิศวกรกระบวนการผลิต
- 4) พนักงานฝ่ายผลิต
- 5) วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุงเครื่องจักร
- 6) ผู้วิจัย

โดยส่งเสริมให้สมาชิกในทีมทุกคนมีส่วนร่วมและสามารถแสดงความคิดเห็นในประเด็นต่างๆ ในที่ประชุมได้โดยการจัดแบ่งบทบาทและหน้าที่ ความรับผิดชอบ จะกระจายงานกันตาม

ความรู้ ความสามารถ และความถนัดของสมาชิกแต่ละคน และมีการจัดประชุมเพื่อติดตามผลการดำเนินงานเป็นระยะ

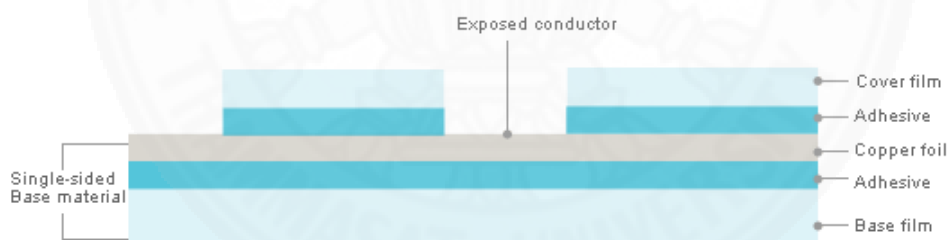
3.2 ผลลัพธ์หลักของบริษัทการศึกษา

สำหรับบริษัทศึกษานั้นมีผลลัพธ์หลัก 2 ประเภท คือ แผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่น และแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นที่มีการวางตัวอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว

3.2.1 แผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่น (Flexible Printed Circuit; FPC)

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1) แผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนมีเส้นลายวงจรแบบด้านเดียว (Single-Side FPC) มีเส้นลายวงจรด้านเดียว เป็นแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถโค้งงอได้ง่ายและเป็นสื่อในการนำไฟฟ้าเพียงแบบชั้นเดียว โดยทั่วไปทำจากแผ่นทองแดง และจะมีจุดเชื่อมต่อกับส่วนที่เป็นสื่อมาจากทั้งสองด้านของชิ้นงาน โดยทั่วไปแล้วจะถูกนำไปใช้ในพื้นที่ขนาดเล็ก หรือในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการพื้นที่ในการเคลื่อนไหวได้โดยมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบด้านเดียวดังภาพที่ 3.1 และลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบด้านเดียว ที่มา : บริษัทการศึกษา

สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ

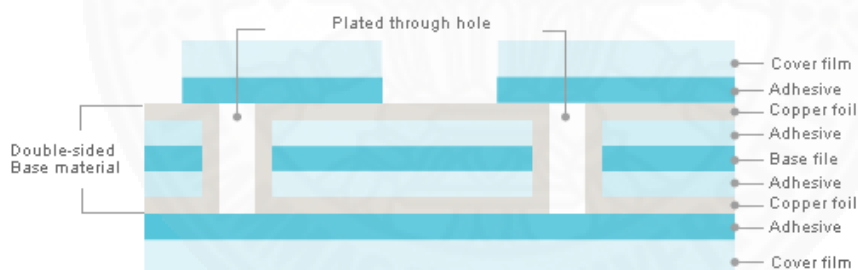
- เป็นสายไฟฟ้าใน DSCs, DVCS และเครื่องคอมพิวเตอร์แล็ปท็อป
- เป็นสายนำไฟฟ้าที่มีความยืดหยุ่นสำหรับ PDPs
- ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องการพื้นที่ในการเคลื่อนไหวได้ (เครื่องพิมพ์

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้)



ภาพที่ 3.2 ลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบด้านเดียว ที่มา : บริษัททรนิตศึกษา

2) แผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนมีเส้นลายวงจรแบบสองด้าน (Double-Side FPC) มีเส้นลายวงจรสองด้านหรือมีทองแดงสองชั้น และมีการนำไฟฟ้าแบบสองชั้น สามารถเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ ซึ่งจากการออกแบบทำให้การนำไปใช้หลากหลายยิ่งขึ้น หากเปรียบเทียบกับแบบด้านเดียวโดยมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสองด้านดังภาพที่ 3.3 และลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสองด้าน ที่มา : บริษัททรนิตศึกษา

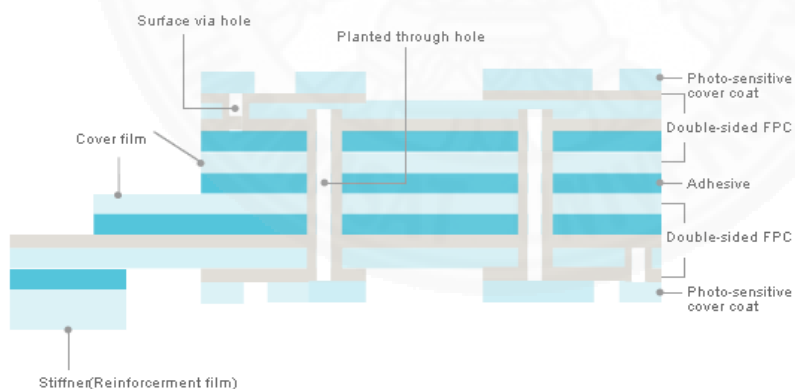
สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ

- เชื่อมต่อแบบอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับ DSCs, DVCs และ Laptop
- ใช้กับจอแสดงผลพลาสมา และ LCD โมดูลส์
- ชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นสูง เช่น โทรศัพท์



ภาพที่ 3.4 ลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสองด้าน ที่มา : บริษัททรนิตศึกษา

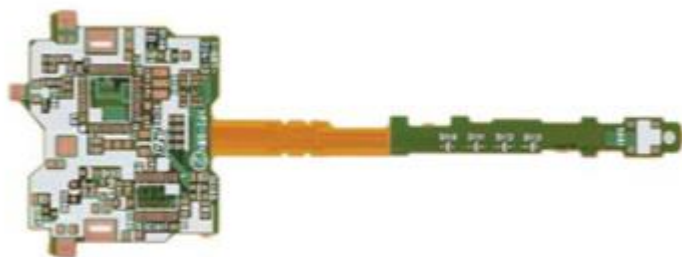
3) แผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนมีเส้นลายวงจรแบบสามชั้นขึ้นไป (Multilayer FPC) มีเส้นลายวงจรสามชั้นขึ้นไป และมีการเชื่อมต่อกระแสไฟฟ้าสามชั้นขึ้นไป ถูกบรรจุรวมกันด้วยความหนาแน่นสูงกับตัวนำไฟฟ้าหลายๆ ชั้น ช่วยกำหนดเส้นทางของวงจรในการประกอบขาของส่วนประกอบจำนวนมากบนชิ้นงาน ประหยัดช่องว่างที่ใช้โดยการจัดการกับชิ้นส่วนแบบคู่ เกิดจากเทคนิคการวางโครงสร้างที่เป็นนวัตกรรมใหม่ เป็นส่วนหนึ่งของการเชื่อมต่อหลายเลเยอร์ประยุกต์ใช้กับสิ่งที่มีความหนาแน่นสูงโดยมีลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสามชั้นขึ้นไปดังภาพที่ 3.5 และลักษณะชิ้นส่วนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดัง



ภาพที่ 3.5 โครงสร้างพื้นฐานของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสามชั้นขึ้นไป ที่มา : บริษัททรนิตศึกษา

สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ

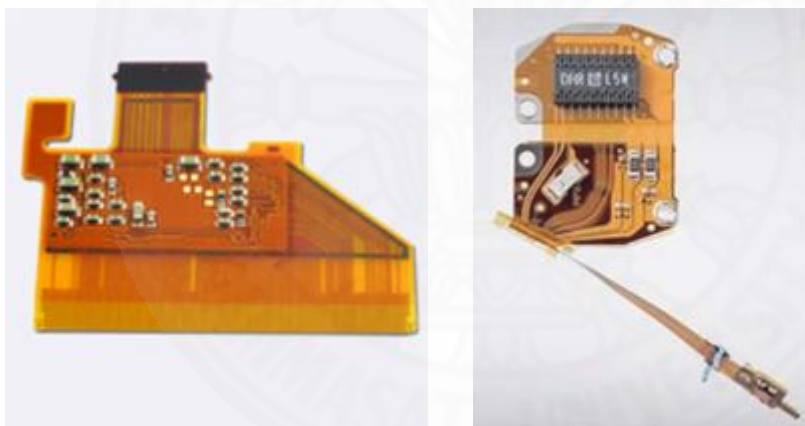
- เชื่อมต่อสายสำหรับ DSCs, DVCs และ laptop
- โทรศัพท์เคลื่อนที่
- ส่วนประกอบบางส่วนของกล้อง



ภาพที่ 3.6 ลักษณะแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบสามชั้นขึ้นไป ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

3.2.2 แผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นที่มีการวางตัวอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว (Surface Mount Technology; SMT)

เป็นการวางตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผงวงจรไฟฟ้าที่ผลิตเรียบร้อยแล้ว ตั้งแต่กระบวนการ PTH จนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ FIN โดยการบัดกรีตัวอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กมาก ลงไป ดังนั้นจึงต้องใช้เทคโนโลยีในการจับวางที่แม่นยำและมีความรวดเร็วสูงด้วยเครื่องจักร



ภาพที่ 3.7 ลักษณะแผงวงจรที่มีการวางตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

3.3 หน่วยงานหลักของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษามีการแบ่งหน้าที่ในแต่ละหน่วยงานการผลิตออกเป็น 5 หน่วยงานหลัก ได้แก่ หน่วยงานของกระบวนการเจาะรูด้วยแสงเลเซอร์และการชุบทองแดงเพื่อเชื่อมต่อพื้นที่ภายในรู หน่วยงานของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร หน่วยงานของกระบวนการติดแผ่นเคลือบผิวบนเส้นลายวงจร หน่วยงานของกระบวนการเคลือบผิวเส้นลายวงจรบริเวณที่ลูกค้าใช้งาน และหน่วยงานของกระบวนการผลิตขั้นสุดท้าย

1) หน่วยงานของกระบวนการเจาะรูด้วยแสงเลเซอร์และการชุบทองแดงเพื่อเชื่อมต่อพื้นที่ภายในรู (Laser และ Plate Through Hole Unit ; LAS & PTH Unit) เป็นกระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงเพื่อเชื่อมต่อบริเวณพื้นผิวภายในรูด้วยน้ำยาเคมีและกระแสไฟฟ้า และเพื่อให้ชิ้นงานสามารถนำไฟฟ้าจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้

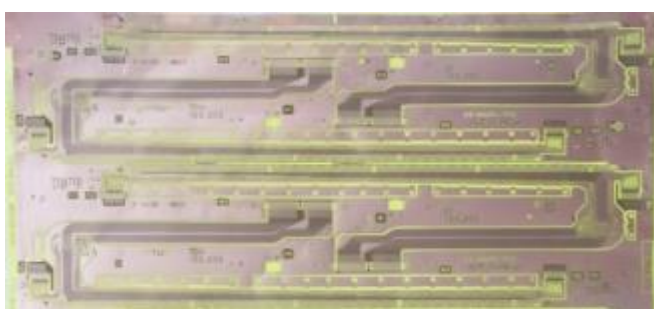


ภาพที่ 3.8 ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน LAS Unit ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา



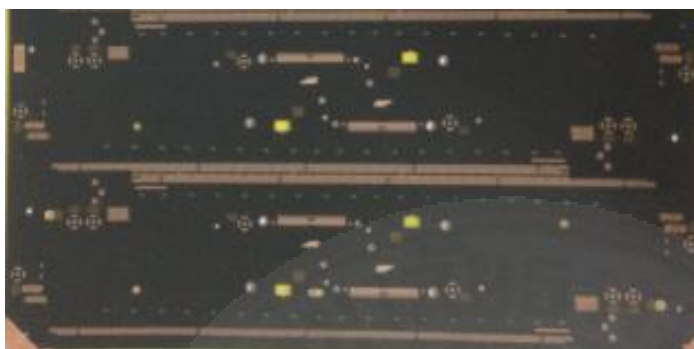
ภาพที่ 3.9 ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน PTH Unit ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

2) หน่วยงานของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Circuit Forming Unit; CFM Unit) เป็นการสร้างเส้นลายวงจรโดยถ่ายแสง UV ผ่านฟิล์มต้นแบบลงบนแผ่นทองแดง (Copper Clad Laminate; CCL) ที่มีการติดทรายฟิล์ม และล้างทรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงออก จากนั้นทำการใช้สารเคมีกัดทองแดงในส่วนที่ไม่ต้องการออกจนเกิดเส้นลายวงจรขึ้น



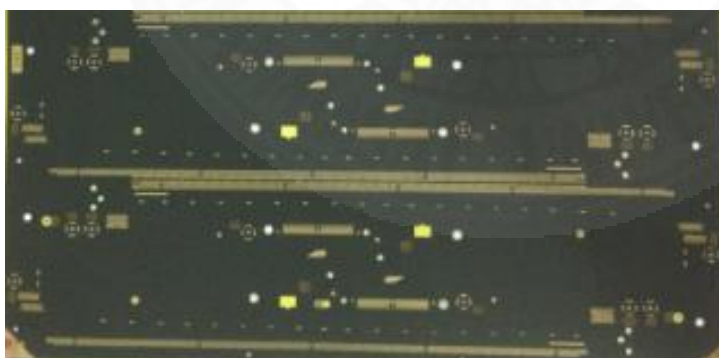
ภาพที่ 3.10 ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน CFM Unit ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

3) หน่วยงานของกระบวนการติดแผ่นเคลือบผิวบนเส้นสายวงจร (Cover Coat Unit; COV Unit) เป็นการติดวัสดุที่มีความทนทานและยืดหยุ่นสูงบนเส้นสายวงจรเพื่อป้องกันสนิมและและป้องกันเส้นสายวงจรชื้อด รวมทั้งสร้างความแข็งแรงให้กับ Product ด้วย



ภาพที่ 3.11 ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน COV Unit ที่มา : บริษัทกรณีสึกษา

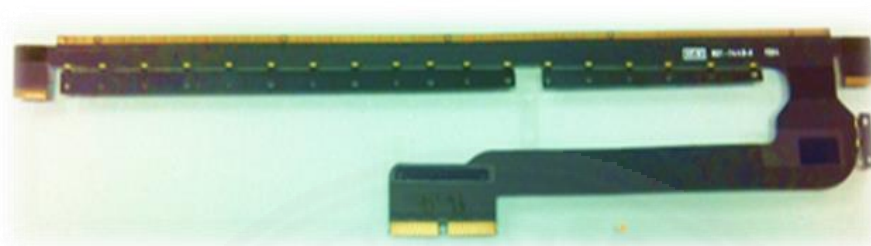
4) หน่วยงานของกระบวนการเคลือบผิวเส้นสายวงจรบริเวณที่ลูกค้าใช้งาน (Surface Treatment Unit; SFT Unit) เป็นการชุบเส้นสายวงจรด้วยทองโดยใช้กระแสไฟฟ้า เพื่อป้องกันผิวทองแดงเกิดการกัดกร่อน เพิ่มความสามารถในการบัดกรี เพิ่มความแข็งแรง และมีความต้านทานหน้าสัมผัสต่ำ



ภาพที่ 3.12 ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน SFT Unit ที่มา : บริษัทกรณีสึกษา

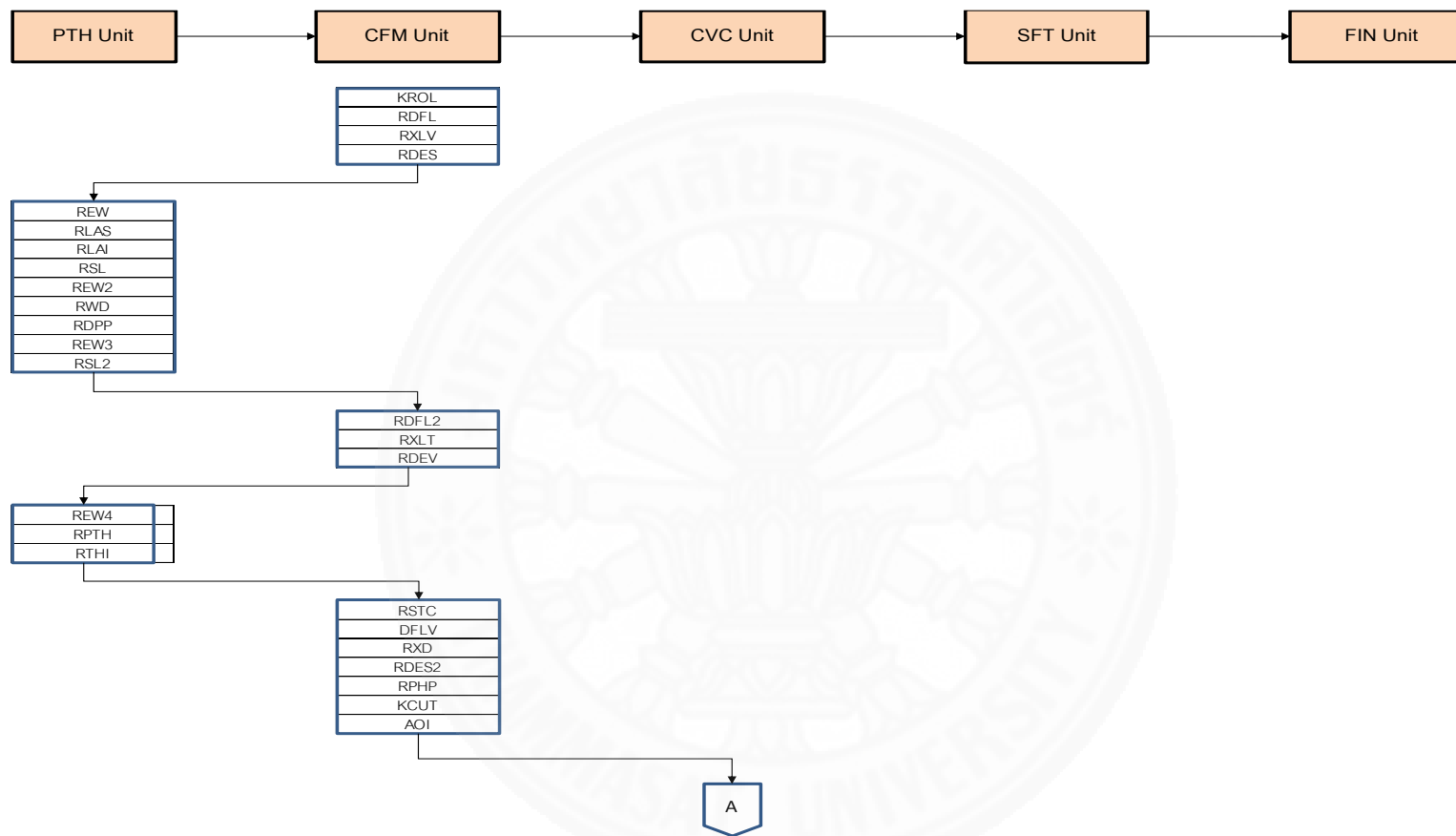
5) หน่วยงานของกระบวนการผลิตขั้นสุดท้าย (Final Unit; FIN Unit) เป็นกระบวนการผลิตขั้นสุดท้าย (Final Process) มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้การตัดแผ่นพิมพ์วงจรขนาดใหญ่ให้ได้ตามขนาดต้องการ (VIC Cut Product) การเจาะรูแผ่นพิมพ์วงจร (Pilot Hole Punching)

การตัดด้วย Piecing การติด Stiffener การไล่ฟองอากาศระหว่างแผ่นวงจรและ Stiffener (Vacuum Curing) การไล่ความชื้นออกจากแผ่นวงจร (Bake) การการตรวจสอบเส้นลายวงจรบนตัวผลิตภัณฑ์ (Open-Short test) การตัดชิ้นวงจรให้ได้ขนาดตามความต้องการของลูกค้า (Blank) และการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection) ก่อนส่งไปยังลูกค้า

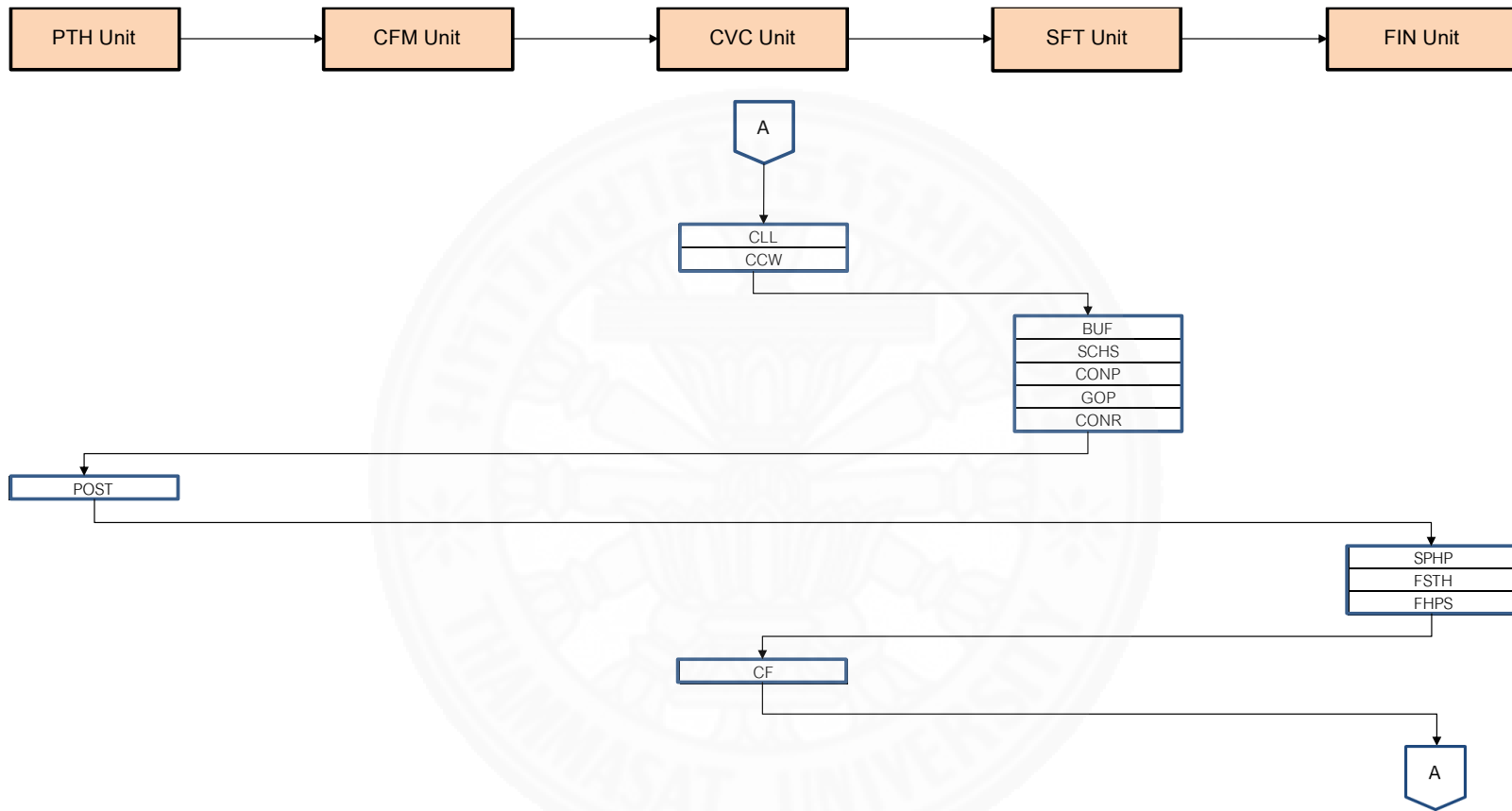


ภาพที่ 3.13 ลักษณะผลิตภัณฑ์หลังจากผ่าน FIN Unit ที่มา : บริษัทกรณีสึกษา

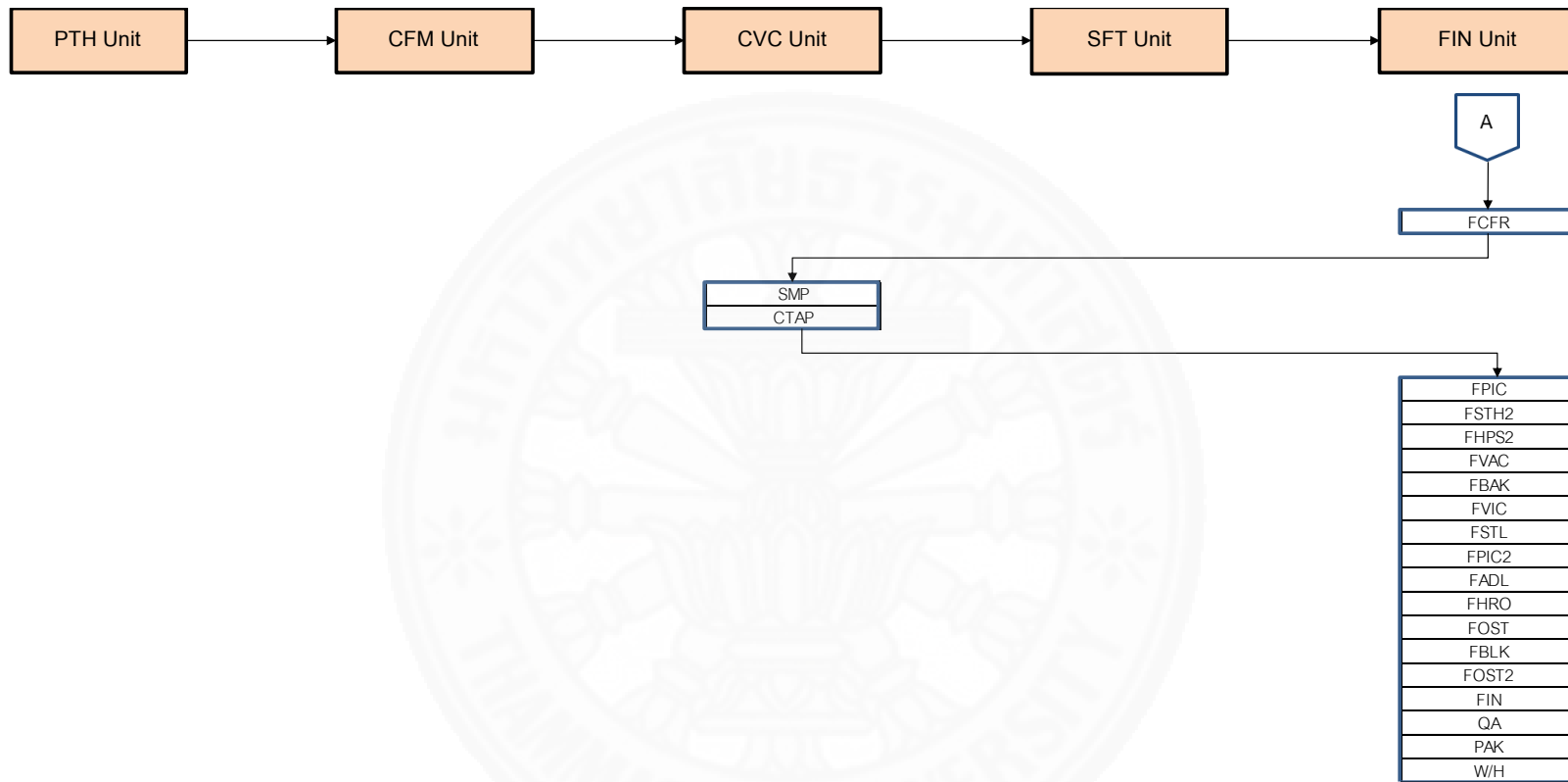
สำหรับแผนภูมิกระบวนการไหลของ Product EP-252 ในแต่ละหน่วยงานการผลิต อธิบายดังภาพที่ 3.14 ซึ่งก็จะมีกระบวนการผลิตย่อยๆ ในแต่ละหน่วยงานหลัก ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต กระบวนการผลิตก็จะแตกต่างกันออกไป และจากที่ได้กล่าวไว้แต่แรกว่า ผู้วิจัยจะทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาเรื่องของเสียผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (CFM Unit) เท่านั้น ซึ่งกระบวนการที่อยู่ในหน่วยงานของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรมีทั้งหมด 14 กระบวนการย่อย ได้แก่ (1) KROL (2) RDFL (3) RXLV (4) RDES (5) RDFL2 (6) RXLT (7) RDEV (8) RSTC (9) DFLV (10) RXD (11) RDES2(12) RPHP (13) KCUT (14) AOI



ภาพที่ 3.14 การไหลของกระบวนการผลิต (1/3)



ภาพที่ 3.15 การไหลของกระบวนการผลิต (2/3)



ภาพที่ 3.16 การไหลของกระบวนการผลิต (3/3)

3.4 รายละเอียดหน่วยงานของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรของโรงงานการศึกษา

เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรของ Product EP-252 ในบริษัทกรณศึกษามากขึ้น ผู้เขียนจึงได้เข้าไปศึกษารายละเอียดของกระบวนการต่างๆ ในสายการผลิต ซึ่งจะอธิบายเกี่ยวกับกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรเท่านั้น เบื้องต้นผู้วิจัยได้ศึกษาว่า Product EP-252 นี้มีราคาชิ้นละ 80 บาท เมื่อขายให้กับลูกค้าแล้ว อีกทั้งลูกค้ายังเป็นลูกค้ารายใหญ่ของบริษัท ดังนั้นเมื่อในกระบวนการผลิตมีของเสียเกิดขึ้นจึงมีความจำเป็นมากในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ส่งงานได้ทันเวลาและเพื่อสนองตอบความต้องการของลูกค้า

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ชื่อ EP-252 นั้นเป็นงานประเภทสร้างเส้นลายวงจรไฟฟ้าแบบสองด้าน มีการผลิตแผ่นแบบงานต่อเนื่อง (Roll to Roll Flow) เพื่อลดการสัมผัสโดยตรงจากมือและป้องกันการยับย่นของงานเนื่องจาก Product EP-252 มีลักษณะที่บางมากและเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเส้นลายวงจรขนาดเล็ก (Fine Line) โดยเส้นที่เล็กที่สุด (Min Line) เท่ากับ 50 ไมครอน และช่องว่างที่เล็กที่สุดระหว่างเส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่ง (Min Space) เท่ากับ 50 ไมครอน มีการผลิตโดยผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Circuit Forming) จำนวน 3 ครั้ง โดยครั้งแรกจะเป็นกระบวนการสร้างรูและจะผ่านกระบวนการผลิตใน PTH Unit ในส่วนของกระบวนการ RLAS RWD และ RDPP จากนั้นจะทำการสร้างวงกลมรอบรู LVH สำหรับสร้างพื้นที่เคลือบผิวทองแดงให้เชื่อมติดกันในกระบวนการผลิตใน PTH Unit อีกครั้ง และสุดท้ายจะทำการถ่ายแบบเพื่อสร้างเส้นลายวงจรจากนั้นจะมีการตรวจสอบคุณภาพของเส้นลายวงจรด้วยเครื่องตรวจจับสิ่งผิดปกติอัตโนมัติก่อนส่งไปยังกระบวนการต่อไปของ COV Unit โดยกระบวนการตั้งแต่เริ่มสร้างรู LVH จนกระทั่งถึงกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรเสร็จสิ้นนั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยงาน 2 หน่วยหลัก ได้แก่ PTH Unit และ CFM Unit ดังนั้น จึงจำเป็นต้องอธิบายกระบวนการย่อยที่เกี่ยวข้องในทั้งสองหน่วยงานเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในกระบวนการผลิตซึ่งมีทั้งหมดดังต่อไปนี้

1. ตัดทองแดง (KROLL) เป็นกระบวนการเตรียมแผ่นทองแดงเข้าม้วน โดยจะนำวัตถุดิบซึ่งเป็นม้วนทองแดง (CCL) มาม้วนเข้าแกนตามจำนวนความยาวที่กำหนด

2. ติดทรายฟิล์มแบบม้วน (Dry Film Laminate 1st; RDFL) เป็นการติดทรายฟิล์มครั้งที่ 1 บนม้วนทองแดงที่ทำความสะอาดแล้วด้วยความร้อน แร้งตั้ง ความเร็ว และแรงกดที่เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท

3. ถ่ายเส้นลายวงจรแบบสร้างรู LVH (Exposure 1st; RXLV) เป็นกระบวนการสร้างลายวงจรครั้งที่ 1 แบบสร้างรูวงกลมที่มีขนาดเล็ก (Laser Via Hole; LVH) โดยฉายแสง UV ผ่านแม่แบบลงบนแผ่นทองแดงที่ติดทรายฟิล์มแล้ว

4. ล้างทรายฟิล์มและกัดเส้นลายวงจครั้งที่ 1 (Development & Etching1st; RDES) เป็นกระบวนการล้างทรายฟิล์มในส่วนที่ไม่โดนแสงออกและทำการกัดทองแดงในส่วนที่ไม่ต้องการออกครั้งที่ 1 ซึ่งจะเกิดลายแบบเป็นรูวงกลม
5. ตัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (Rewinding; REW) เป็นกระบวนการที่ทำการตัดต่อแผ่นนำผลิตภัณฑ์เข้าเครื่องเรียกว่า PET Film ซึ่งจะทำการตัดต่อกับผลิตภัณฑ์ทั้งด้านหัวและท้ายของม้วนผลิตภัณฑ์พร้อมทั้งทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนนำเข้าเครื่องจักร
6. เจาะแผ่นด้วย Laser (Laser ; RLAS) เป็นการเจาะ Product ด้วยแสงเลเซอร์ เพื่อกำจัดชั้นของเบสฟิล์ม (Base Film) ออกไป
7. ตรวจสอบหลังเจาะแผ่นด้วย Laser (Laser Inspection; RLAI) เป็นการสุ่มตรวจสอบลักษณะของรูที่ถูกเจาะแสงเลเซอร์ว่ามีคุณภาพตามที่กำหนดหรือไม่
8. ตัดแบ่ง roll (Slit ; RSL) เป็นกระบวนการตัดแบ่งงานจากขนาดใหญ่เป็นขนาดเล็ก โดยตัดออกเป็นครึ่งหนึ่งจากขนาดเดิม
9. ตัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 2 (Rewinding 2nd; REW2) เป็นกระบวนการที่ตัดเอา PET Film ออกผลิตภัณฑ์ และจากนั้นจะทำการต่อแผ่นตัวแทนผลิตภัณฑ์ซึ่งเรียกว่า CCL Dummy เข้าไปกับผลิตภัณฑ์จริง โดยจะทำการตัดต่อกับผลิตภัณฑ์ทั้งด้านหัวและท้ายของม้วนผลิตภัณฑ์ ที่ต้องเปลี่ยนจาก PET Film เป็น CCL Dummy เนื่องจาก PET Film ไม่สามารถผ่านเครื่องจักรของกระบวนการถัดไปได้ คือ กระบวนการทำความสะอาดในรู (RWD) และเคลือบตัวนำไฟฟ้า (DPP)
10. ทำความสะอาดในรู (Wet Desmear; RWD) เป็นกระบวนการกำจัดเศษเสี้ยนของ Base Film ที่อยู่ภายในรูด้วยสารเคมี
11. เคลือบตัวนำไฟฟ้า (Direct Plating Process; RDPP) เป็นการเคลือบตัวนำกระแสไฟฟ้าบริเวณชั้น Base Film
12. ตัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 3 (Rewinding 3rd; REW3) เป็นกระบวนการที่ตัดต่อ PET Film กลับเข้าผลิตภัณฑ์ดั้งเดิมเพื่อให้นำผลิตภัณฑ์เข้าเครื่อง เนื่องจากกระบวนการที่ 9 นั้นได้ตัด PET Film ออกไปโดยทำการตัดต่อเข้ากับผลิตภัณฑ์ทั้งด้านหัวและท้ายของม้วนผลิตภัณฑ์
13. ติดทรายฟิล์มแบบม้วนครั้งที่ 2 (Dry Film Laminate2nd; RDFL2) เป็นการติดทรายฟิล์มครั้งที่ 2 โดยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 2
14. ถ่ายเส้นลายวงจ Land Though Hole (Exposure 2nd Land Though Hole; RXLT) เป็นกระบวนการสร้างลายวงจครั้งที่ 2 โดยฉายแสงเพื่อเปิดพื้นที่ที่ใหญ่บริเวณรอบรู LVH หรือเรียกว่า Land Though Hole (LTH)
15. ล้างทรายฟิล์มสำหรับ LTH (Development; DEV) เป็นกระบวนการล้างทรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงออก ซึ่งบริเวณนั้นเป็นบริเวณพื้นที่ที่สร้าง LTH มา

16. ตัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์ครั้งที่ 4 (Rewinding 4th ; REW4) เป็นกระบวนการที่ตัดต่อ PET Film ใหม่เนื่องจาก PET Film ที่ติดมากับผลิตภัณฑ์จากกระบวนการก่อนหน้าถูกตัดสั้นลง ทำให้ไม่สามารถนำใส่เครื่องจักรได้ จึงต้องทำการตัดต่อ PET Film ใหม่เข้ากับผลิตภัณฑ์ทั้งด้านหัวและท้ายของม้วนผลิตภัณฑ์พร้อมทั้งทำการตรวจสอบจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นทองแดงภายในม้วนผลิตภัณฑ์ ถ้ามีจุดที่ถูกเชื่อมต่อมาจากกระบวนการก่อนหน้าจะต้องทำการตัดต่องานใหม่และทำการติดแผ่นตัวนำกระแสไฟฟ้า (Cu Tape) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อกันในขณะที่ทำการเคลือบผิวทองแดง

17. เคลือบผิวทองแดง (Plate Though Hole; RPTH) เป็นกระบวนการเคลือบผิวหน้าทองแดงเพื่อเชื่อมต่อบริเวณพื้นผิวภายในรู เพื่อให้ชิ้นงานสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้

18. ตรวจสอบหลังเคลือบ ทองแดง (Though Hole Inspection; RTHI) เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพภายในรูหลังจากการเคลือบทองแดงเรียบร้อยแล้ว

19. ลอกทรายฟิล์มแบบม้วน (Stripping Chemical; RTSC) เป็นการล้างทรายฟิล์มออกและทำความสะอาดพร้อมทั้งกัดผิวหน้าทองแดงด้วยสารเคมีในการเพิ่มความหยาบของผิวทองแดง เพื่อให้ทรายฟิล์มติดดียิ่งขึ้น

20. ติดทรายฟิล์มด้วยสุญญากาศ (Dry Film Vacuum Laminate; RDFV) เป็นการติดทรายฟิล์มครั้งที่ 3 โดยกระบวนการนี้จะใช้การติดทรายฟิล์มด้วยระบบสุญญากาศเพื่อกำจัดฟองอากาศขณะทำการติดทรายฟิล์ม และช่วยให้ทรายฟิล์มสามารถติดบนแผ่นทองแดงได้ดียิ่งขึ้น

21. ถ่ายเส้นลายวงจรตามแม่แบบ (Exposure 3rd; RXD) เป็นกระบวนการสร้างลายวงจรครั้งสุดท้าย โดยฉายแสงเพื่อสร้างเส้นลายวงจรตามแม่แบบ (Master) ที่ถูกค้ำกำหนดโดยขั้นตอนนี้จะสามารถถ่ายเส้นลายวงจรออกมาในรูปแบบที่สมบูรณ์ โดยจะมีลักษณะเป็นหลายๆ ชิ้นในงานหนึ่งแผ่น

22. ล้างทรายฟิล์มและกัดเส้นลายวงจรครั้งที่ 2 (Development & Etching 2nd; RDES2) เป็นกระบวนการล้างทรายฟิล์มในส่วนที่ไม่โดนแสงออกจากนั้นก็ทำการกัดทองแดงในส่วนที่ไม่ต้องการออกครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการกัดเพื่อสร้างเส้นลายวงจรครั้งสุดท้าย

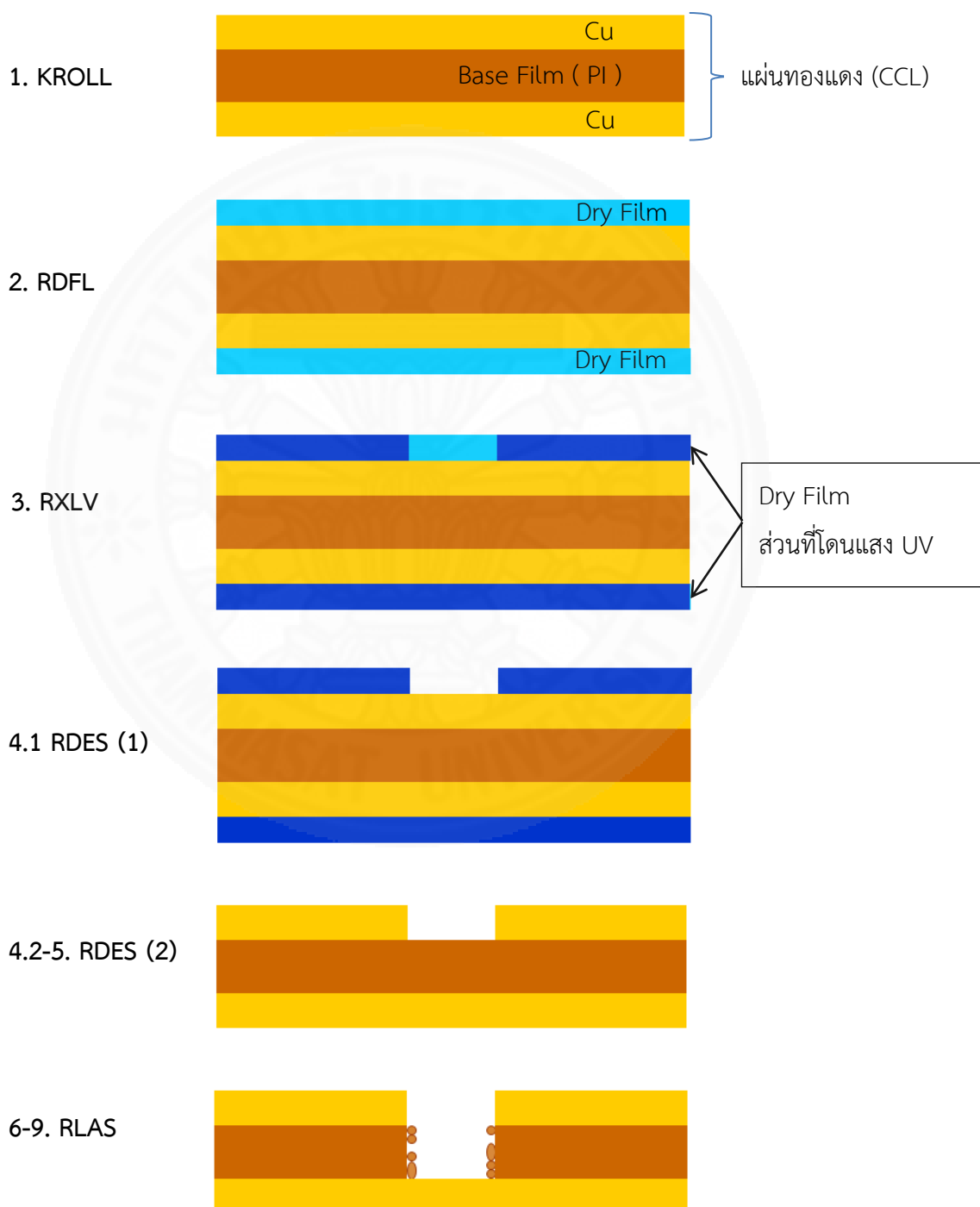
23. เจาะโพลต์โฮล (Pilot Hole Punching; RPHP) เป็นการเจาะรูด้วยเครื่องเจาะอัตโนมัติเพื่อให้กระบวนการถัดไปใช้เป็นรูนำร่องในการใส่ Product กับเครื่องมือต่างๆ

24. ตัดงานอัตโนมัติ (Auto Cutting ; ACUT) เป็นการตัดงานจากแบบม้วน (Roll) ให้กลายเป็นแบบแผ่น (Sheet) โดยจะรวมงานออกเป็นกลุ่มละหลายๆ แผ่น หรือเรียกว่า Lot size ซึ่ง Product EP-252 มี Lot size เท่ากับ 120 Sheet / Lot

25. ตรวจสอบเส้นลายวงจร (Automatic Optical Inspection; AOI) เป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเส้นลายวงจรโดยใช้เครื่องในการตรวจจับสิ่งผิดปกติอัตโนมัติซึ่ง

กระบวนการตรวจสอบเส้นลายวงจรนั้นจะเป็นกระบวนการขั้นตอนสุดท้ายของ CFM Unit ที่ใช้ในการตรวจสอบข้อบกพร่องของเส้นลายวงจรของ CFM Unit เป็นหลัก ก่อนส่งไปยังหน่วยงานถัดไป

เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นจึงได้อธิบายลักษณะการทำงานของแต่ละกระบวนการของการสร้างเส้นลายวงจรดังนี้




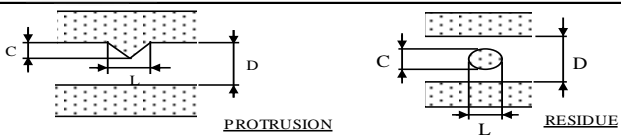
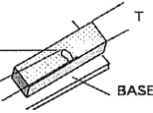
1) ข้อบกพร่องที่ลูกค้าไม่สามารถยอมรับได้เป็นการเกิดข้อบกพร่องขึ้นผลิตภัณฑ์ที่มีระดับความรุนแรงขั้นวิกฤต ลูกค้าไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ได้ ถ้ามีการนำไปใช้งานจะทำให้เกิดผลเสียกับผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าว ได้แก่ ข้อบกพร่องประเภท Open และ Short

2) ข้อบกพร่องที่ลูกค้าสามารถยอมรับได้ เป็นข้อบกพร่องที่ลูกค้ายอมให้เกิดขึ้นได้แต่ต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของลูกค้า (Customer Specification) โดยข้อบกพร่องเหล่านี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผิดไปจากเกณฑ์หรือข้อกำหนดเพียงเล็กน้อย แต่ยังคงภายใต้ข้อกำหนดและลูกค้าสามารถนำไปใช้งานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานกับผลิตภัณฑ์ของลูกค้า ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าว ได้แก่ ข้อบกพร่องประเภท Nick Protrusion และ Surface Etching เป็นต้น

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อกำหนดของลูกค้าสำหรับ Product EP-252 เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการตรวจสอบข้อบกพร่องบนเส้นลายวงจรของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

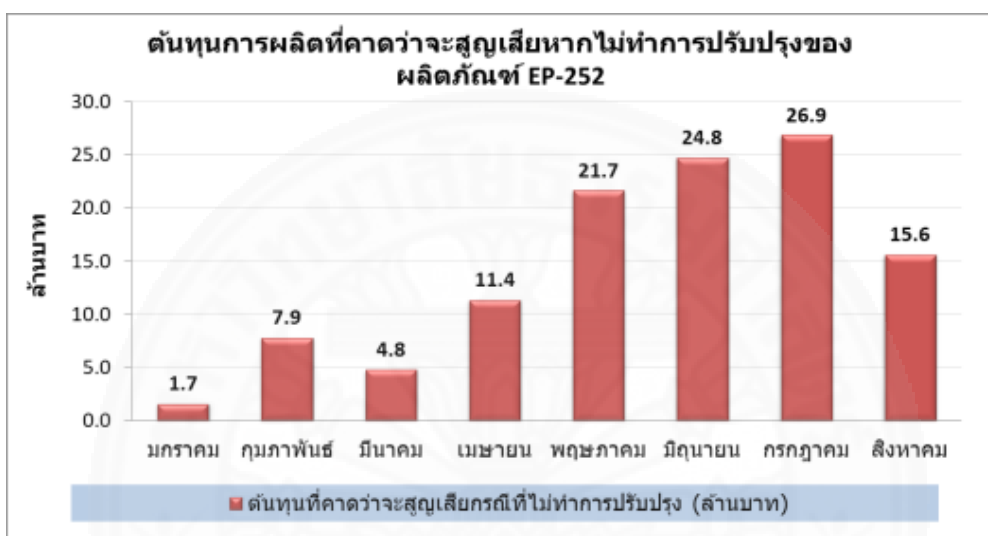
ข้อกำหนดของลูกค้าสำหรับ Product EP-252

ITEM	INSPECTION SPECIFICATION									
Open และ Short - บริเวณเส้นลายวงจร(under CL)	ไม่ยอมให้เกิด									
Nick และ Pin Hole - บริเวณเส้นลายวงจร(under CL)	 <table border="1" data-bbox="774 1422 1204 1512"> <thead> <tr> <th>W</th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$W \leq 0.1 \text{ mm.}$</td> <td>$A \leq 1/2W$</td> <td>$B \leq W$</td> </tr> <tr> <td>$W > 0.1 \text{ mm.}$</td> <td>$A \leq 1/3W$</td> <td>$B \leq W$</td> </tr> </tbody> </table>	W	A	B	$W \leq 0.1 \text{ mm.}$	$A \leq 1/2W$	$B \leq W$	$W > 0.1 \text{ mm.}$	$A \leq 1/3W$	$B \leq W$
W	A	B								
$W \leq 0.1 \text{ mm.}$	$A \leq 1/2W$	$B \leq W$								
$W > 0.1 \text{ mm.}$	$A \leq 1/3W$	$B \leq W$								
Protrusion และ Residue - บริเวณเส้นลายวงจร(under CL)	 <table border="1" data-bbox="774 1668 1204 1758"> <thead> <tr> <th>D</th> <th>C</th> <th>L</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$D \leq 0.1 \text{ mm.}$</td> <td>$C \leq 1/2D$</td> <td>$L \leq D$</td> </tr> <tr> <td>$D > 0.1 \text{ mm.}$</td> <td>$C \leq 1/3D$</td> <td>$L \leq D$</td> </tr> </tbody> </table>	D	C	L	$D \leq 0.1 \text{ mm.}$	$C \leq 1/2D$	$L \leq D$	$D > 0.1 \text{ mm.}$	$C \leq 1/3D$	$L \leq D$
D	C	L								
$D \leq 0.1 \text{ mm.}$	$C \leq 1/2D$	$L \leq D$								
$D > 0.1 \text{ mm.}$	$C \leq 1/3D$	$L \leq D$								
Surface Etching	 <p>$> 1/2 T$ is NG</p> <p>1. เกิดได้ไม่เกิน 1/2 ของความกว้าง Circuit</p>									

ที่มา : บริษัททรนศึกษา

3.5.2 การระบุปัญหา

จากการพยากรณ์ความสูญเสียต้นทุนการผลิต Product EP-252 ตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนมิถุนายน พบว่า ถ้าไม่มีการปรับปรุงคุณภาพจะเกิดความสูญเสียต้นทุนการผลิตจากการเกิดของเสียในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรสูงถึง 61.7 ล้านบาท ดังรูปภาพที่ 3.1 ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือก Product ดังกล่าวนี้มาทำการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพ



ภาพที่ 3.17 การพยากรณ์การสูญเสียต้นทุนการผลิตจากการเกิดข้อบกพร่องของ Product EP-252

จากตารางที่ 3.2 เป็นข้อมูลย้อนหลังเดือนมกราคมซึ่งแสดงถึงของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการสร้างสร้างเส้นลายวงจรของ Product EP-252 โดยเกิดของเสียทั้งหมดรวมร้อยละ 18 ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต โดยเรียงลำดับจากจำนวนของเสียมากไปหาน้อย

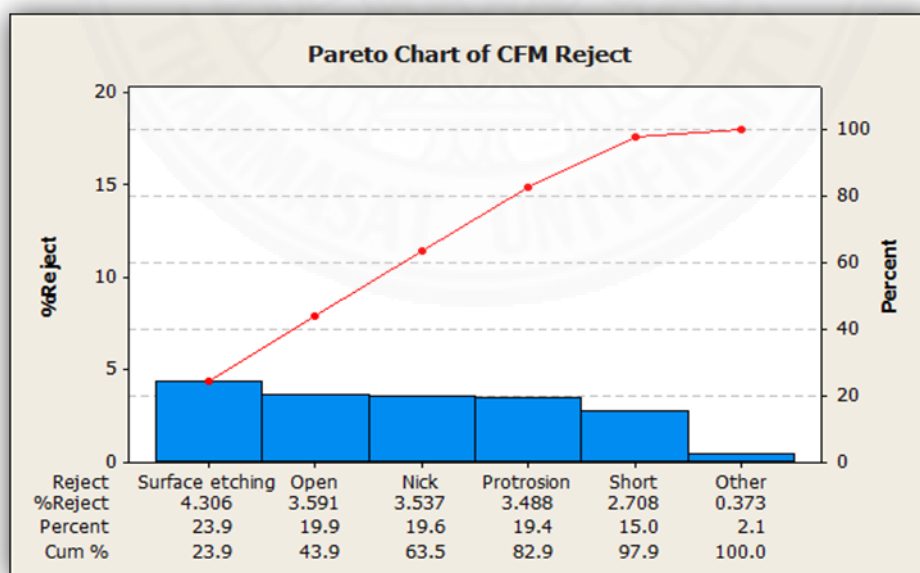
ตารางที่ 3.2

ลำดับของเสียแต่ละประเภทในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร

ลำดับที่	ประเภทของข้อบกพร่อง	%ของเสีย (Reject)
1	Surface Etching	4.31%
2	Open	3.59%
3	Nick	3.54%
4	Protrusion	3.49%
5	Short	2.71%

ลำดับที่	ประเภทของข้อบกพร่อง	%ของเสีย (Reject)
6	Other Circuit	0.20%
7	Residue	0.08%
8	Pin hole	0.06%
9	Scratch	0.02%
10	Cir delamination	0.02%
11	Rust	0.00%
12	Hole misposition	0.00%
รวม		18.00%

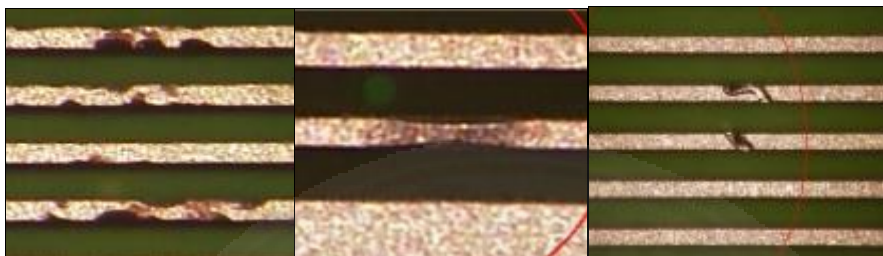
จากการสร้างแผนภูมิพาเรโตเป็นแผนภูมิแท่งที่ใช้แสดงปริมาณของข้อบกพร่องเพื่อแยกตามข้อประเภทของข้อบกพร่องจากจำนวนมากไปหาน้อย ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจการแก้ไขปัญหาของเสียได้ง่ายขึ้นดังรูปภาพที่ 3.2 ถ้าต้องการ %Yield ที่มากกว่า 90% ดังนั้นจะต้องทำการปรับปรุงของเสียที่เกิดขึ้นเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย 5 อันดับ ได้แก่ Surface Etching 4.31% Open 3.59% Nick 3.54% Protrusion 3.49% และ Short 2.71%



ภาพที่ 3.18 กราฟแสดงประเภทของการเกิด Reject ของ Product EP-252

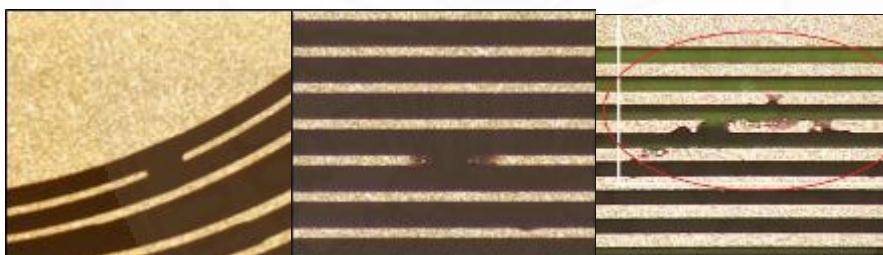
สำหรับลักษณะของการเกิด Reject 5 ลำดับในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้แก่ Surface Etching Open Nick Protrusion และ Shot อธิบายได้ดังนี้

1) Surface Etching คือ การเกิดของเสียจากการที่ผิวของเส้นลายวงจรบางจุดโดนกัดกร่อน ทำให้เส้นไม่สมบูรณ์



ภาพที่ 3.19 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Surface Etching ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

2) Open คือ การเกิดของเสียจากเส้นลายวงจรไม่สมบูรณ์หรือเส้นขาดออกจากกัน



ภาพที่ 3.20 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

3) Nick คือ การเกิดของเสียจากเส้นลายวงจร โดยเส้นลายวงจรจะเกิดการเว้าแหว่งเข้าไป ทำให้เส้นไม่สมบูรณ์ แต่ยังไม่ทำให้เส้นลายวงจรขาดออกจากกัน



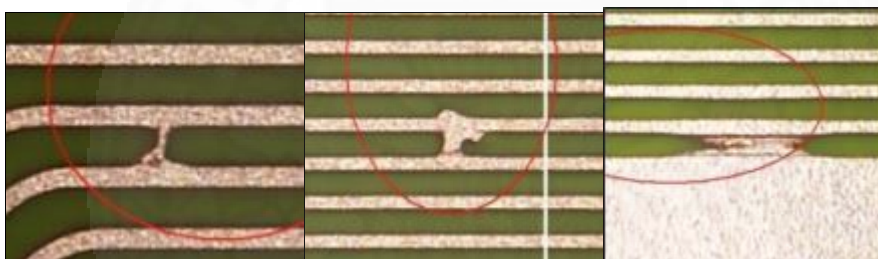
ภาพที่ 3.21 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Nick ที่มา : บริษัทกรณีศึกษา

4) Protrusion คือ การเกิดของเสียจากเส้นลายวงจรที่มีเศษเสี้ยนยื่นออกมา แต่ยังไม่ทำให้เส้นลายวงจรเชื่อมติดกัน



ภาพที่ 3.22 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Protrusion ที่มา : บริษัทกรณีสึกษา

5) Short คือ การเกิดของเสียจากเส้นลายวงจรตั้งแต่สองเส้นขึ้นไปเชื่อมติดกัน



ภาพที่ 3.23 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่องประเภท Short ที่มา : บริษัทกรณีสึกษา

3.6 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

3.6.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis; MSA)

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนั้นเป็นวิธีการที่ใช้ในการชี้บ่งความผันแปรที่เกิดขึ้นในการวัด ซึ่งสามารถที่จะบอกปริมาณผลกระทบของความผิดพลาดในการวัดได้ และทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความเหมาะสมพอที่จะเอาไปใช้ในการวิเคราะห์หรือไม่ โดยบริษัทกรณีสึกษานั้นมีเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบข้อบกพร่องของเส้นลายวงจรเรียกว่าเครื่อง เอโอไอ (Automatic Optical Inspection; AOI) ซึ่งหลักการทำงานของเครื่อง AOI นั้นจะเป็นการตรวจสอบความผิดปกติของเส้นลายวงจรเทียบกับตัวแม่แบบ (Master) โดยแม่แบบนี้จะถูกป้อนข้อมูลใส่ลงไป ในโปรแกรมของเครื่องก่อนที่จะทำการตรวจสอบเส้นลายวงจร และหลักการของเครื่องเอโอไอนั้นจะมี 2 ขั้นตอน คือ

1. เครื่องอ่านเส้นลายวงจรเทียบกับแม่แบบ (Pattern Inspection; PI) ใช้สำหรับตรวจหาข้อบกพร่องบนแผ่นของผลิตภัณฑ์ โดยเครื่อง PI นี้จะมีความสำคัญมากในการตรวจจับข้อบกพร่องเบื้องต้น เป็นการตรวจจับว่าจุดที่เกิดข้อบกพร่องบนชิ้นงานอยู่ที่ตำแหน่งไหนบ้าง เพื่อทำการจดจำตำแหน่งและส่งข้อมูลไปยังเครื่องที่สามารถฉายภาพข้อบกพร่องได้ เนื่องจากเครื่อง PI นี้จะมีความสำคัญมากต่อการตรวจจับ ดังนั้นการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องจะทำการพิจารณาที่เครื่อง PI ในการวิเคราะห์ระบบการวัด

2. เครื่องแสดงผลการตรวจสอบ (Verification Table; VT) ใช้สำหรับการแสดงผลของจุดบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอ่านเทียบกับแม่แบบมาจากเครื่อง PI และการแสดงผลจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของข้อบกพร่องแต่ละประเภท เช่น Open Short และ Nick เป็นต้น โดยจะทำการขยายให้ใหญ่ขึ้นและแสดงออกมาเป็นภาพให้เห็นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากนั้นพนักงานผู้ทำการปฏิบัติงานอยู่ที่หน้าเครื่องจะทำการวัดขนาดของเส้นลายวงจรบริเวณที่พบข้อบกพร่องแล้วเทียบกับข้อกำหนดของลูกค้าว่าอยู่ในข้อกำหนดหรือไม่ก่อนการตัดสินใจยอมรับหรือไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ชิ้นนั้น ถ้าพบว่า ข้อบกพร่องที่จุดนั้นไม่สามารถยอมรับได้หรือไม่ผ่านข้อกำหนดของลูกค้านั่นเอง พนักงานก็ทำสัญลักษณ์บนชิ้นงานนั้นตามลักษณะของข้อบกพร่องที่พบ เพื่อบอกให้กระบวนการถัดไปรับทราบถึงปัญหา ดังนั้น การวิเคราะห์ความแม่นยำที่เครื่อง VT นี้ จะเป็นการวิเคราะห์ความแม่นยำในการตรวจสอบของพนักงานแต่ละคนที่ทำการตรวจสอบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

ดังนั้น จากที่ได้อธิบายข้างต้นถึงขั้นตอนการของการตรวจสอบความผิดปกติของเส้นลายวงจรนั้น ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนี้จึงต้องทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจสอบทั้ง 2 อย่าง คือ เครื่องจักรและพนักงาน

1. การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่อง PI

เนื่องจากเครื่องมีความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องของเส้นลายวงจร ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งค่าต่างๆ ลงไปในซอฟต์แวร์ของเครื่องเพื่อให้สามารถตรวจจับข้อบกพร่องทุกลักษณะที่เกิดขึ้นได้ โดยผู้ผลิตเครื่อง (Maker) นั้นจะทำการสร้างโปรแกรมให้ตรวจจับความบกพร่องของเส้นลายวงจรเท่านั้นจึงจะแจ้งเตือนมายังผู้ปฏิบัติงานให้ทราบ ดังนั้น การทดสอบความถูกต้องในระบบการวัดของเครื่อง PI จึงต้องใช้ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่เกิดข้อบกพร่องทั้งหมดมาทดสอบ โดยกำหนดให้ค่ามาตรฐานของตัวอย่างทั้งหมดที่มีจุดบกพร่องเป็น OK และกำหนดให้ค่าที่เครื่อง PI สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้เป็น OK เช่นกัน ส่วนค่าเครื่องตรวจจับข้อบกพร่องไม่ได้เป็น NG

เกณฑ์ในการยอมรับความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่องจักรโดยอ้างอิงจากบริษัทกรณีศึกษานั้นจะต้องถูกต้อง 100% ทั้งนี้เนื่องจากการป้องกันการส่งผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียไปยังลูกค้า ซึ่งเกณฑ์การยอมรับของบริษัทดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3

เกณฑ์ในการยอมรับสำหรับระบบการวัดของเครื่องจักร

ดัชนี	เกณฑ์ในการยอมรับ
% รีฟิททะเลบิลิตีของเครื่องทดสอบ (% appraiser score)	100%
% ความไม่ไปอัสของเครื่องทดสอบ (% attribute score)	100%
% ประสิทธิภาพด้านรีฟิททะเลบิลิตี (% screen effective score)	100%
% ประสิทธิภาพด้านไปอัส (% attribute % screen effective score)	100%

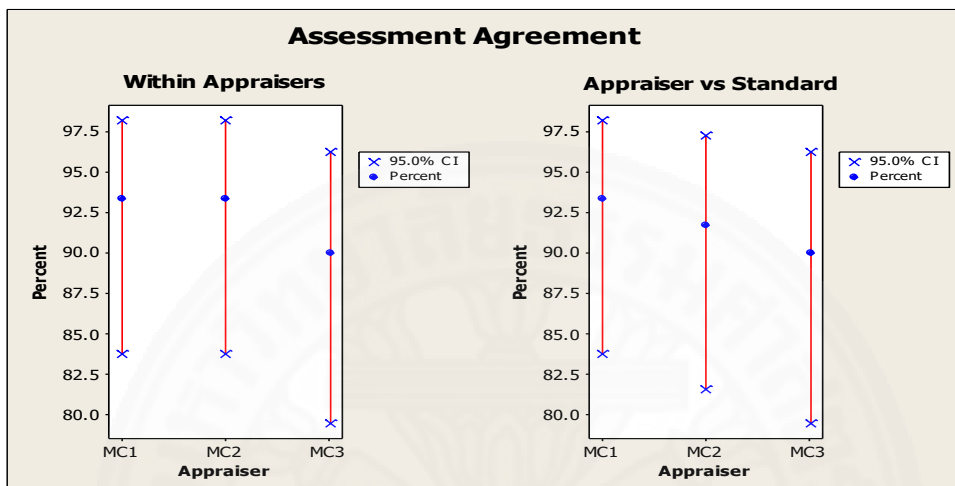
ตารางที่ 3.4

ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 1

ตัวอย่างที่	ลักษณะของข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	มาตรฐาน	เครื่องทดสอบเครื่องที่ 1 (MC1)			เครื่องทดสอบเครื่องที่ 2 (MC2)			เครื่องทดสอบเครื่องที่ 3 (MC3)			เครื่องทดสอบ	เครื่องทดสอบ
			MC1_1st	MC1_2nd	MC1_3rd	MC2_1st	MC2_2nd	MC2_3rd	MC3_1st	MC3_2nd	MC3_2rd	ตรวจจับได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกเครื่อง	ตรวจจับได้เหมือนกันอย่างถูกต้องทุกเครื่อง
1	Protusion	OK	OK	NG	NG	OK	OK	OK	OK	OK	NG	No	No
2	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
3	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
4	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
5	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
6	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	OK	No	No
7	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
8	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
9	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
10	Short	OK	OK	OK	OK	NG	OK	OK	OK	OK	OK	No	No
11	Protusion	OK	OK	OK	OK	NG	OK	OK	OK	NG	OK	No	No
12	Protusion	OK	NG	OK	OK	OK	OK	OK	NG	OK	NG	No	No
13	Protusion	OK	NG	OK	OK	NG	NG	NG	OK	OK	OK	No	No
14	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
15	Protusion	OK	OK	NG	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	No	No
16	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NG	OK	No	No
17	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
18	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
19	Short	OK	OK	OK	OK	OK	NG	NG	NG	OK	NG	No	No
20	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
21	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
22	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
23	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
24	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
25	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
26	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
27	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
28	Open	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
29	Open	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
30	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
31	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
32	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
33	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
34	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
35	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
36	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
37	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
38	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
39	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
40	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
41	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
42	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
43	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
44	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
45	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
46	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
47	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
48	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
49	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
50	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
51	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
52	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
53	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
54	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
55	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
56	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
57	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
58	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
59	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
60	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
%รีฟิททะเลบิลิตีของเครื่องทดสอบ			93.33%			93.33%			90.00%				
%ความไม่ไปอัสของเครื่องทดสอบ			93.33%			91.67%			90.00%				
%ประสิทธิภาพด้านรีฟิททะเลบิลิตีของการตรวจสอบ											85.00%		
%ประสิทธิภาพด้านไปอัสของการตรวจสอบ											85.00%		

จากผลการทดลองดัง

ตารางที่ 3.4 สามารถวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องจักรได้ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ด้วยฟังก์ชัน Control Tools > Attribute Agreement Analysis ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังนี้



ภาพที่ 3.24 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 1

Attribute Agreement Analysis for MC1_1st, MC1_2nd, MC1_3rd, MC2_1st, ...

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	60	56	93.33	(83.80, 98.15)
2	60	56	93.33	(83.80, 98.15)
3	60	54	90.00	(79.49, 96.24)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	60	56	93.33	(83.80, 98.15)
2	60	55	91.67	(81.61, 97.24)
3	60	54	90.00	(79.49, 96.24)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	51	85.00	(73.43, 92.90)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	51	85.00	(73.43, 92.90)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง (Within Appraisers)
 - เครื่องจักรที่ 1 เท่ากับ 93.33%
 - เครื่องจักรที่ 2 เท่ากับ 93.33%
 - เครื่องจักรที่ 3 เท่ากับ 90.00%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าไม่มีเครื่องจักรใดที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 100%
- เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง (Each Appraisers VS Standard)
 - เครื่องจักรที่ 1 เท่ากับ 93.33%
 - เครื่องจักรที่ 2 เท่ากับ 91.67%
 - เครื่องจักรที่ 3 เท่ากับ 90.00%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าไม่มีเครื่องจักรใดที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 100%
- เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers) เท่ากับ 85.00% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ
- เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard) เท่ากับ 85.00% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ

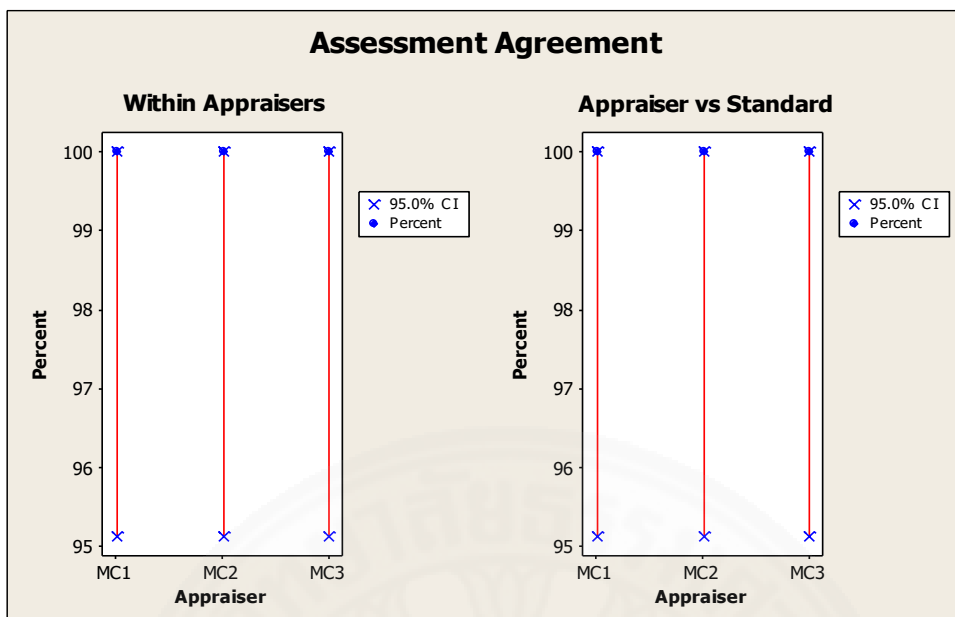
เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้น วิศวกรกระบวนการ AOI และร่วมกับผู้ผลิตเครื่องจักร (Maker) ได้ทำการปรับสถานะ

การทำงานของเครื่องจักรเพื่อให้เครื่องจักรสามารถตรวจจับจุดบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ได้แม่นยำยิ่งขึ้น และได้ทำการทดสอบระบบการวัดใหม่อีกครั้งได้ผลดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 2 (หลังการปรับเครื่องจักรใหม่)

ตัวอย่างที่	ลักษณะของข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	มาตรฐาน	เครื่องทดสอบเครื่องที่ 1 (MC1)			เครื่องทดสอบเครื่องที่ 2 (MC2)			เครื่องทดสอบเครื่องที่ 3 (MC3)			เครื่องทดสอบตรวจจับได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกเครื่อง	เครื่องทดสอบตรวจจับได้เหมือนกันอย่างถูกต้องทุกเครื่อง
			MC1_1st	MC1_2nd	MC1_3rd	MC2_1st	MC2_2nd	MC2_3rd	MC3_1st	MC3_2nd	MC3_3rd		
1	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
2	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
3	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
4	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
5	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
6	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
7	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
8	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
9	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
10	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
11	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
12	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
13	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
14	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
15	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
16	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
17	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
18	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
19	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
20	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
21	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
22	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
23	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
24	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
25	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
26	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
27	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
28	Open	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
29	Open	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
30	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
31	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
32	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
33	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
34	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
35	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
36	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
37	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
38	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
39	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
40	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
41	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
42	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
43	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
44	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
45	Nick	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
46	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
47	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
48	Surface etching	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
49	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
50	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
51	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
52	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
53	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
54	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
55	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
56	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
57	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
58	Short	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
59	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
60	Protusion	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Yes	Yes
%รึพีพีทะบิลิตีของเครื่องทดสอบ			100%			100%			100%				
%ความไม่บ้ลของเครื่องทดสอบ			100%			100%			100%				
						%ประลิตีผลด้ำนรึพีพีทะบิลิตีของการตรวจสอบ			100%				
									%ประลิตีผลด้ำนรึพีพีทะบิลิตีของการตรวจสอบ			100%	



ภาพที่ 3.25 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องจักรครั้งที่ 2 (หลังการปรับเครื่องจักรใหม่)

Results for: After adjust MC

Attribute Agreement Analysis for MC1_1st, MC1_2nd, MC1_3rd, MC2_1st, ...

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	60	60	100.00	(95.13, 100.00)
2	60	60	100.00	(95.13, 100.00)
3	60	60	100.00	(95.13, 100.00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	60	60	100.00	(95.13, 100.00)
2	60	60	100.00	(95.13, 100.00)
3	60	60	100.00	(95.13, 100.00)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	60	100.00	(95.13, 100.00)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
60	60	100.00	(95.13, 100.00)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (Within Appraisers)

พนักงานที่ 1 เท่ากับ 100.00%

พนักงานที่ 2 เท่ากับ 100.00%

พนักงานที่ 3 เท่ากับ 100.00%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าเครื่องจักรทุกเครื่องผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 100%

2. เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน (Each Appraisers VS Standard)

พนักงานที่ 1 เท่ากับ 100.00%

พนักงานที่ 2 เท่ากับ 100.00%

พนักงานที่ 3 เท่ากับ 100.00%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าเครื่องจักรทุกเครื่องผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 100%

3. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers) เท่ากับ 100.00% ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ

4. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard) เท่ากับ 100.00% ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ

2. การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของพนักงาน

เกณฑ์ในการยอมรับความแม่นยำของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบโดยอ้างอิงจากบริษัทกรณีศึกษานั้นจะต้องถูกต้อง 90% ทั้งนี้เนื่องจากการป้องกันการส่งผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียไปยังลูกค้า ซึ่งเกณฑ์การยอมรับของบริษัทดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

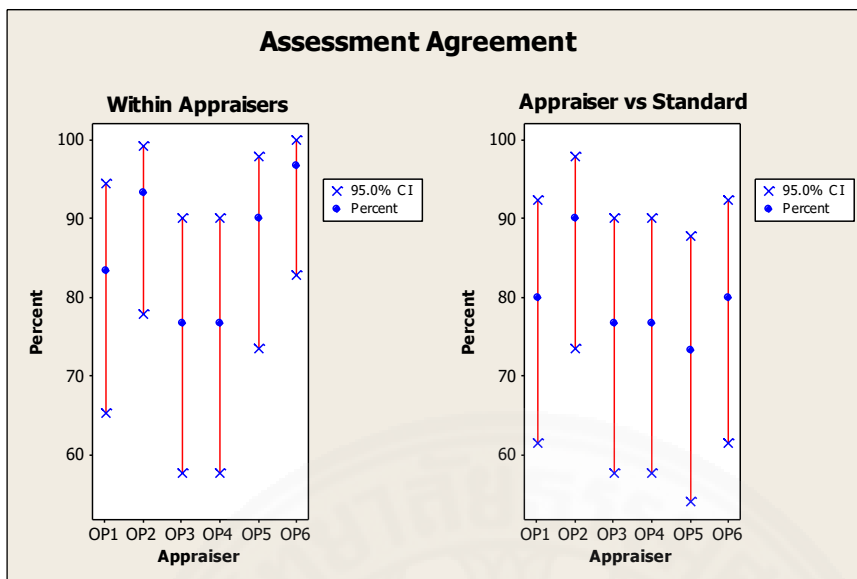
เกณฑ์ในการยอมรับสำหรับระบบการวัดของพนักงาน

ดัชนี	เกณฑ์ในการยอมรับ
% รีพีทอะบิลิตีของเครื่องทดสอบ (% appraiser score)	80%
% ความไม่ไบอัสของเครื่องทดสอบ (% attribute score)	80%
% ประสิทธิภาพด้านรีพีทอะบิลิตี (% screen effective score)	80%
% ประสิทธิภาพด้านไบอัส (% attribute % screen effective score)	80%

ตารางที่ 3.7

ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 1

ตัวอย่างที่	ลักษณะของข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	มาตรฐาน	พนักงานคนที่ 1 (OP1)		พนักงานคนที่ 2 (OP2)		พนักงานคนที่ 3 (OP3)		พนักงานคนที่ 4 (OP4)		พนักงานคนที่ 5 (OP5)		พนักงานคนที่ 6 (OP6)		พนักงานทดสอบตรวจได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน	พนักงานทดสอบตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้องทุกคน
			OP1_1st	OP1_2nd	OP2_1st	OP2_2nd	OP3_1st	OP3_2nd	OP4_1st	OP4_2nd	OP5_1st	OP5_2nd	OP6_1st	OP6_2nd		
1	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Accept	Accept	No	No
2	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
3	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
4	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Yes	Yes
5	Nick	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	No	No
6	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	No	No
7	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
8	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
9	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
10	Residue	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
11	Residue	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	No	No
12	Residue	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	No	No
13	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
14	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	No	No
15	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
16	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Reject	Reject	Reject	No	No
17	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	No	No
18	Nick	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	No	No
19	Pinhole	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	No	No
20	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	No	No
21	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
22	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	No	No
23	Residue	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
24	Residue	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	Accept	No	No
25	Residue	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	No	No
26	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	No	No
27	Nick	Reject	Accept	Accept	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Accept	Reject	Accept	Accept	No	No
28	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
29	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Reject	Reject	No	No
30	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Accept	Reject	Accept	Reject	Reject	Reject	Reject	No	No
%รีพีทหะบิลิตีของพนักงานทดสอบ			83.33%		93.33%		76.67%		76.67%		90.00%		96.67%			
%ความไม่ไยฮัสของพนักงานทดสอบ			80.00%		90.00%		76.67%		76.67%		73.33%		80.00%			
%ประสิทธิภาพด้านรีพีทหะบิลิตีของการตรวจสอบ															40.00%	
%ประสิทธิภาพด้านไยฮัสของการตรวจสอบ															40.00%	



ภาพที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 1

Attribute Agreement Analysis for OP1_1st, OP1_2rd, OP2_1st, OP2_2rd, ...

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	25	83.33	(65.28, 94.36)
2	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
3	30	23	76.67	(57.72, 90.07)
4	30	23	76.67	(57.72, 90.07)
5	30	27	90.00	(73.47, 97.89)
6	30	29	96.67	(82.78, 99.92)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	24	80.00	(61.43, 92.29)
2	30	27	90.00	(73.47, 97.89)
3	30	23	76.67	(57.72, 90.07)
4	30	23	76.67	(57.72, 90.07)
5	30	22	73.33	(54.11, 87.72)
6	30	24	80.00	(61.43, 92.29)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# Reject /		# Accept /		# Mixed	Percent
	Accept	Percent	Reject	Percent		
1	0	0.00	1	16.67	5	16.67
2	1	4.17	0	0.00	2	6.67
3	0	0.00	0	0.00	7	23.33
4	0	0.00	0	0.00	7	23.33
5	5	20.83	0	0.00	3	10.00
6	3	12.50	2	33.33	1	3.33

Reject / Accept: Assessments across trials = Reject / standard = Accept.

Accept / Reject: Assessments across trials = Accept / standard = Reject.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	12	40.00	(22.66, 59.40)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	12	40.00	(22.66, 59.40)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

1. เพอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (Within Appraisers)

พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 83.33%

พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 93.33%

พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 76.67%

พนักงานคนที่ 4 เท่ากับ 76.67%

พนักงานคนที่ 5 เท่ากับ 90.00%

พนักงานคนที่ 6 เท่ากับ 96.67%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า พนักงานคนที่ 1 2 5 และ 6 ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 80% แต่มีพนักงานคนที่ 3 และ 4 ไม่ผ่านเกณฑ์ ดังนั้น จึงทำการฝึกอบรมพนักงานอีกครั้ง

2. เพอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน (Each Appraisers VS Standard)

พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 80.00%

พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 90.00%

พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 76.67%

พนักงานคนที่ 4 เท่ากับ 76.67%

พนักงานคนที่ 5 เท่ากับ 73.33%

พนักงานคนที่ 6 เท่ากับ 80.00%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าพนักงานคนที่ 1 2 และ 6 ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 80% แต่มีพนักงานคนที่ 3, 4 และ 5 ไม่ผ่านเกณฑ์ ดังนั้นจึงทำการฝึกอบรมพนักงานอีกครั้ง

3. เพอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers) เท่ากับ 40.00% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ

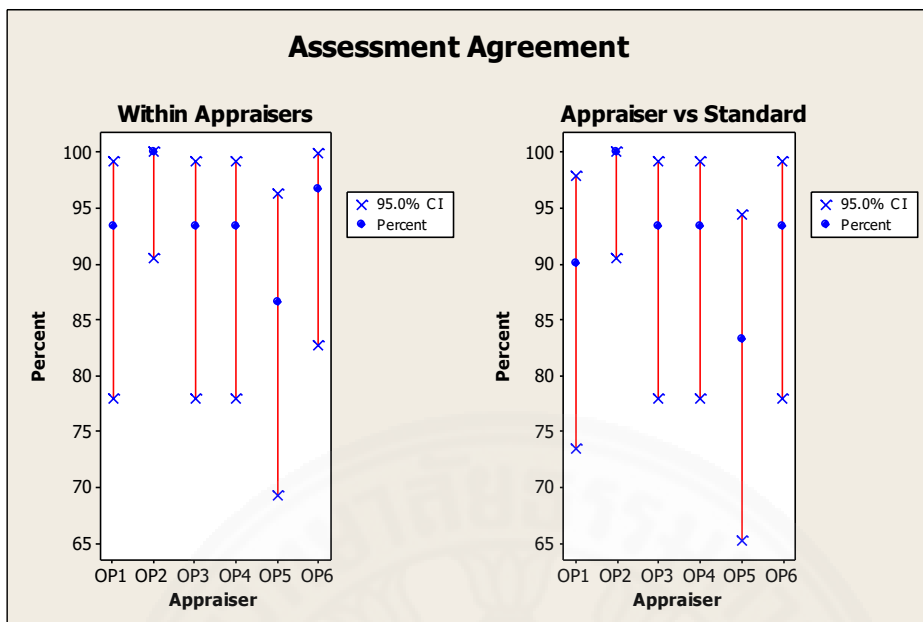
4. เพอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard) เท่ากับ 40.00% ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ

เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้นจึงนำพนักงานเหล่านี้ไปทำการฝึกอบรมเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดทักษะในการปฏิบัติงานมากขึ้น และจากนั้นก็ทำการทดสอบความถูกต้องของระบบการวัดของพนักงานอีกครั้ง และได้ผลตามตารางที่ 3.8 ดังนี้

ตารางที่ 3.8

ผลลัพธ์ของการตรวจวัดจากระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 2 (หลังจากฝึกอบรมพนักงานใหม่)

ตัวอย่างที่	ลักษณะของข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	มาตรฐาน	พนักงานคนที่ 1 (OP1)		พนักงานคนที่ 2 (OP2)		พนักงานคนที่ 3 (OP3)		พนักงานคนที่ 4 (OP4)		พนักงานคนที่ 5 (OP5)		พนักงานคนที่ 6 (OP6)		พนักงานตรวจสอบได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน	พนักงานตรวจสอบได้เหมือนกันอย่างถูกต้องทุกคน
			OP1_1st	OP1_2nd	OP2_1st	OP2_2nd	OP3_1st	OP3_2nd	OP4_1st	OP4_2nd	OP5_1st	OP5_2nd	OP6_1st	OP6_2nd		
1	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Yes	Yes
2	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
3	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
4	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Yes	Yes
5	Nick	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
6	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
7	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
8	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
9	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
10	Residue	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
11	Residue	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Reject	Accept	Accept	Reject	No	No
12	Residue	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
13	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
14	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Yes	Yes
15	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
16	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
17	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Yes	Yes
18	Nick	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
19	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
20	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
21	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
22	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
23	Residue	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
24	Residue	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
25	Residue	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	No	No
26	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Accept	Accept	Accept	No	No
27	Nick	Reject	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Accept	Accept	No	No
28	Pinhole	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Yes	Yes
29	Protrusion	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Accept	Reject	Reject	Accept	Accept	No	No
30	Nick	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Reject	Accept	Reject	Reject	Reject	No	No
%วิธีที่หะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบ			93.33%		100.00%		93.33%		93.33%		86.67%		96.67%			
%ความไม่ไบ้อัสของพนักงานตรวจสอบ			90.00%		100.00%		93.33%		93.33%		83.33%		93.33%			
%ประสิทธิผลด้านวิธีที่หะบิลิตีของการตรวจสอบ															80.00%	
%ประสิทธิผลด้านไบ้อัสของการตรวจสอบ															80.00%	



ภาพที่ 3.27 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานครั้งที่ 2 (หลังจากฝึกอบรมพนักงานใหม่)

Attribute Agreement Analysis for OP1_1st, OP1_2rd, OP2_1st, OP2_2rd, ...

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
3	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
4	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
5	30	26	86.67	(69.28, 96.24)
6	30	29	96.67	(82.78, 99.92)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	27	90.00	(73.47, 97.89)
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
3	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
4	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
5	30	25	83.33	(65.28, 94.36)
6	30	28	93.33	(77.93, 99.18)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# Reject /		# Accept /		# Mixed	Percent
	Accept	Percent	Reject	Percent		
1	0	0.00	1	16.67	2	6.67
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	2	6.67
4	0	0.00	0	0.00	2	6.67
5	1	4.17	0	0.00	4	13.33
6	0	0.00	1	16.67	1	3.33

Reject / Accept: Assessments across trials = Reject / standard = Accept.

Accept / Reject: Assessments across trials = Accept / standard = Reject.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	24	80.00	(61.43, 92.29)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	24	80.00	(61.43, 92.29)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. เปอร์เซ็นต์ความสามารถของการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน (Within Appraisers)

พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 93.33%

พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 100%

พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 93.33%

พนักงานคนที่ 4 เท่ากับ 93.33%

พนักงานคนที่ 5 เท่ากับ 86.67%

พนักงานคนที่ 6 เท่ากับ 96.97%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าพนักงานทุก หลังจากทำการฝึกอบรมพนักงานอีกครั้ง ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 80%

2. เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน (Each Appraisers VS Standard)

พนักงานคนที่ 1 เท่ากับ 90.00%

พนักงานคนที่ 2 เท่ากับ 100.00%

พนักงานคนที่ 3 เท่ากับ 93.33%

พนักงานคนที่ 4 เท่ากับ 93.33%

พนักงานคนที่ 5 เท่ากับ 83.33%

พนักงานคนที่ 6 เท่ากับ 93.33%

จากผลการวิเคราะห์ พบว่าพนักงานทุกคนหลังจากทำการฝึกอบรมพนักงานอีกครั้ง ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 80%

3. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (Between Appraisers) เท่ากับ 80.00% ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ

4. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (All Appraisers VS Standard) เท่ากับ 80.00% ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ

3.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิผลของการวัด

ต้องคำนึงถึงคุณภาพที่แท้จริงของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการวัด จากนั้นจึงศึกษาความพ้องกันระหว่างเครื่องจักรแต่ละเครื่องกับมาตรฐาน โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

■ ความพ้องกันระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน

สามารถวิเคราะห์ได้จากคะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (% attributes score) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

$$\% \text{ ของค่าแอตทริบิวต์} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

■ ประเมินความสามารถของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน

สามารถวิเคราะห์ได้จาก ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคน (Operator effectiveness index: O_E) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (False alarm index: I_{FA}) และดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (index of a miss: I_{MISS}) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

$$O_E = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้ถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}}$$

$$I_{FA} = \frac{\text{จำนวนที่ปฏิเสธผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธผิดพลาด}}$$

$$I_{MISS} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่ยอมรับผิดพลาด}}$$

โดยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจของการวิเคราะห์ประสิทธิผลจาก (AIAG, 2545, หน้า 132) ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.9

เกณฑ์การตัดสินใจดัชนีแสดงประสิทธิผลจาก AIAG

การตัดสินใจ	O _E	I _{FA}	I _{MISS}
ยอมรับได้	≥ 90 %	≤ 5 %	≤ 2 %
ยอมรับแบบกำกวม	≥ 80 %	≤ 10 %	≤ 5 %
ไม่สามารถยอมรับได้	< 80 %	> 10 %	> 5 %

จากผลการทดลองดังตารางที่ 3.8 สามารถสรุปความเห็นพ้องกันกับมาตรฐานได้
ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10

ผลการทดลองความเห็นพ้องระหว่างพนักงานกับมาตรฐาน

พนักงาน คนที่	ตรวจสอบว่า Accept ถูกต้อง	ตรวจสอบว่า Reject ถูกต้อง	รวมจำนวนที่ ตรวจสอบถูก	จำนวนการ ปฏิเสธที่ ผิดพลาด	จำนวนการ ยอมรับที่ ผิดพลาด	รวม
1	46	10	56	2	2	60
2	48	12	60	0	0	60
3	47	11	58	1	1	60
4	47	11	58	1	1	60
5	43	11	54	5	1	60
6	47	10	57	1	2	60

สามารถคำนวณค่าดัชนีที่แสดงถึงความมีประสิทธิผลของพนักงานตรวจสอบแต่ละคนได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11

ดัชนีแสดงประสิทธิผลของพนักงานแต่ละคน

ดัชนี	คะแนนประสิทธิผลของพนักงาน		
	ความมีประสิทธิภาพ (O_E)	อัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาด (I_{FA})*	อัตราการยอมรับที่ผิดพลาด (I_{MISS})**
พนักงานคนที่ 1	$\frac{56}{2 \times 30} \times 100\% = 93.33\%$	$\frac{2}{2 \times 24} \times 100\% = 4.17\%$	$\frac{2}{2 \times 6} \times 100\% = 16.67\%$
พนักงานคนที่ 2	$\frac{60}{2 \times 30} \times 100\% = 100.00\%$	$\frac{0}{2 \times 24} \times 100\% = 0.00\%$	$\frac{0}{2 \times 6} \times 100\% = 0.00\%$
พนักงานคนที่ 3	$\frac{58}{2 \times 30} \times 100\% = 96.67\%$	$\frac{1}{2 \times 24} \times 100\% = 2.08\%$	$\frac{1}{2 \times 6} \times 100\% = 8.33\%$
พนักงานคนที่ 4	$\frac{58}{2 \times 30} \times 100\% = 96.67\%$	$\frac{1}{2 \times 24} \times 100\% = 2.08\%$	$\frac{1}{2 \times 6} \times 100\% = 8.33\%$
พนักงานคนที่ 5	$\frac{54}{2 \times 30} \times 100\% = 90.00\%$	$\frac{5}{2 \times 24} \times 100\% = 10.42\%$	$\frac{1}{2 \times 6} \times 100\% = 8.33\%$
พนักงานคนที่ 6	$\frac{57}{2 \times 30} \times 100\% = 95.00\%$	$\frac{1}{2 \times 24} \times 100\% = 2.08\%$	$\frac{2}{2 \times 6} \times 100\% = 16.67\%$

* ใช้สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี (Accept) ในการทดสอบรวม 24 ชิ้น

** ใช้สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี (Reject) ในการทดสอบรวม 6 ชิ้น

สามารถนำค่าดัชนีที่แสดงถึงประสิทธิภาพของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ตารางที่ 3.11 มาเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.9 เกณฑ์การตัดสินใจของการวิเคราะห์ประสิทธิผลจาก (AIAG, 2545, หน้า 132) และได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.12

ผลการตัดสินใจของพนักงานแต่ละคน

ดัชนี	ผลการตัดสินใจของพนักงานแต่ละคน		
	ความมีประสิทธิภาพ (O_E)	อัตราการปฏิเสธที่ผิดพลาด (I_{FA})*	อัตราการยอมรับที่ผิดพลาด (I_{MISS})**
พนักงานคนที่ 1	ยอมรับได้	ยอมรับได้	ไม่สามารถยอมรับได้
พนักงานคนที่ 2	ยอมรับได้	ยอมรับได้	ยอมรับได้
พนักงานคนที่ 3	ยอมรับได้	ยอมรับได้	ยอมรับได้
พนักงานคนที่ 4	ยอมรับได้	ยอมรับได้	ยอมรับได้
พนักงานคนที่ 5	ยอมรับได้	ไม่สามารถยอมรับได้	ยอมรับได้
พนักงานคนที่ 6	ยอมรับได้	ยอมรับได้	ไม่สามารถยอมรับได้

นอกจากดัชนีทั้งสามแล้ว ยังอาจพิจารณาถึงดัชนีไบอัส (Bias index (I_B)) ได้ โดยที่ค่าไบอัสหมายถึงค่าวัดแนวโน้มที่พนักงานตรวจสอบจะกำหนดผลิตภัณฑ์ทดสอบเป็นดีหรือไม่ดี โดยดัชนีดังกล่าวจะเป็นฟังก์ชันของ I_{MISS} และ I_{FA} กล่าวคือ

$$I_B = \frac{B_{FA}}{B_{MISS}}$$

โดยดัชนี B_{FA} และ B_{MISS} หาได้จากตารางที่ 7.14 (Fasser and Brettner, 2535, หน้า 208)

ตารางที่ 3.13

Bias Factor สำหรับการศึกษาศักยภาพระบบการวัด

I_{FA} หรือ I_{MISS}	B_{FA} หรือ B_{MISS}	I_{FA} หรือ I_{MISS}	B_{FA} หรือ B_{MISS}
0.01	0.0264	0.26	0.3251
0.02	0.0488	0.27	0.3312
0.03	0.0681	0.28	0.3372
0.04	0.0863	0.29	0.3429
0.05	0.1040	0.30	0.3485
0.06	0.1200	0.31	0.3538
0.07	0.1334	0.32	0.3572
0.08	0.1479	0.33	0.3621
0.09	0.1626	0.34	0.3668
0.10	0.1758	0.35	0.3712
0.11	0.1872	0.36	0.3739
0.12	0.1989	0.37	0.3778
0.13	0.2107	0.38	0.3814
0.14	0.2227	0.39	0.3836
0.15	0.2323	0.40	0.3867
0.16	0.2444	0.41	0.3885
0.17	0.2541	0.42	0.3910
0.18	0.2613	0.43	0.3925
0.19	0.2709	0.44	0.3945
0.20	0.2803	0.45	0.3961
0.21	0.2874	0.46	0.3970
0.22	0.2966	0.47	0.3977
0.23	0.3034	0.48	0.3984
0.24	0.3103	0.49	0.3989
0.25	0.3187	0.50	0.3989

ในกรณีที่ I_{FA} หรือ I_{MISS} มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า 0.50 ให้ใช้เกณฑ์ตามตารางที่ 3.15 (Fasser and Brettner, 2535, หน้า 208)

ตารางที่ 3.14

กรณีพิเศษในการคำนวณ I_B

I_{FA}	I_{MISS}	I_B	การตัดสินใจ
0	มากกว่า 0	0	ไม่สามารถยอมรับได้
มากกว่า 0	0	ไม่มีค่า	ใช้ $O_E = I_{FA}$ และ I_{MISS} โดยตรง สามารถยอมรับได้
0	0	ไม่มีค่า	ไม่สามารถยอมรับได้
มากกว่า 0.5	ไม่เกิน 0.5	มากกว่า 1.5	ไม่สามารถยอมรับได้
ไม่เกิน 0.5	มากกว่า 0.5	น้อยกว่า 0.5	ค่าไบอัสไม่มีความสำคัญ ไม่สามารถ ยอมรับได้เนื่องจาก I_{FA} และ I_{MISS} มากกว่า 0.50
มากกว่า 0.5	มากกว่า 0.5	ไม่มีค่า	

ในการตัดสินใจเกี่ยวกับค่าไบอัสของระบบการวัดนี้ จะตัดสินใจโดยกฎเกณฑ์ดังนี้

- ถ้า
- $I_B = 1$ ไม่มีค่าไบอัส
 - $I_B > 1$ มีแนวโน้มที่จะปฏิเสธชิ้นงาน (สรุปว่า NG)
 - $I_B < 1$ มีแนวโน้มยอมรับชิ้นงาน (สรุปว่า G)

ตัวอย่างเช่น ในการวิเคราะห์ค่าไบอัสของพนักงาน A จากตารางที่ 3.14 จะ

ทราบว่า $B_{FA} = 0.3910$ เนื่องจาก $I_{FA} = 0.42$ และ $B_{MISS} = 0.2107$ เนื่องจาก $I_{MISS} = 0.13$

$$\text{ดังนั้น } I_B = \frac{0.3910}{0.2107} = 1.85$$

แสดงว่า A มีแนวโน้มที่จะปฏิเสธชิ้นงาน จึงพบว่ามีค่าดัชนีที่จะปฏิเสธงานที่

ผิดพลาดสูงมากเป็นต้น

ตารางที่ 3.15

ผลการวิเคราะห์ความสามารถของพนักงาน

IFA	IMISS	BFA	BMISS	IB	เกณฑ์ IB	การตัดสินใจของพนักงาน
0.04	0.17	0.0863	0.2541	0.34	< 1	มีแนวโน้มที่จะยอมรับของเสีย
0	0	0	0	1	= 1	เที่ยงตรง
0.02	0.08	0.0488	0.1497	0.33	< 1	มีแนวโน้มที่จะยอมรับของเสีย
0.02	0.08	0.0488	0.1497	0.33	< 1	มีแนวโน้มที่จะยอมรับของเสีย
0.10	0.08	0.1758	0.1497	1.17	> 1	มีแนวโน้มที่จะปฏิเสธของดี
0.02	0.17	0.0488	0.2541	0.19	< 1	มีแนวโน้มที่จะยอมรับของเสีย

จากการวิเคราะห์ความสามารถของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน สามารถสรุปได้ดังนี้

- ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคน (Operator Effectiveness Index: O_E) พบว่าพนักงานทุกคนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้
- ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA}) พบว่าพนักงานทุกคนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ยกเว้นพนักงานคนที่ 5 ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งพนักงานอาจมีการตรวจสอบที่เข้มงวดเกินไป จึงทำการปฏิเสธงานที่ดีไป ดังนั้น ต้องนำพนักงานไปอบรมเพิ่มเติมให้เข้าใจในมาตรฐานการตรวจสอบเพิ่มขึ้น
- ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับผิดพลาด (Index of a miss: I_{MISS}) พบว่าพนักงานคนที่ 2 3 4 และ 5 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ แต่พนักงานคนที่ 1 และ 6 ไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งพนักงานอาจมีการตรวจสอบที่ผ่อนคลายเป็นเกินไป ต้องนำพนักงานไปอบรมเพิ่มเติมให้เข้าใจในมาตรฐานการตรวจสอบ โดยดัชนีนี้ควรเกิดขึ้นน้อยที่สุดหรือมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากส่งผลต่อความเชื่อถือต่อลูกค้าในอนาคต

และแนวโน้มการตัดสินใจของพนักงานพบว่า พนักงานคนที่ 2 มีความเที่ยงตรงที่สุด ส่วนพนักงานคนที่ 1 3 4 และ 6 มีแนวโน้มที่จะยอมรับของเสีย ในขณะที่พนักงานคนที่ 5 มีแนวโน้มที่จะปฏิเสธของดี

จากผลการประเมินคุณภาพการตรวจสอบด้วยข้อมูลแบบนับของพนักงานงาน พบว่าความมีประสิทธิภาพของพนักงานทุกคนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และพนักงานคนที่ 2 3 และ 4 มีความสามารถในการตรวจสอบดีที่สุดใน ดังนั้นเบื้องต้นจึงสามารถให้พนักงานทั้ง 3 คนทำการตรวจสอบข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์ได้ และพนักงานคนที่ 1 5 และ 6 ควรมีการฝึกอบรมเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดทักษะ

มากยิ่งขึ้นและทำการทดสอบความสามารถในระบบการวัดของพนักงานอีกครั้งก่อนนำไปปฏิบัติงาน ในการบวนการตรวจสอบข้อบกพร่อง

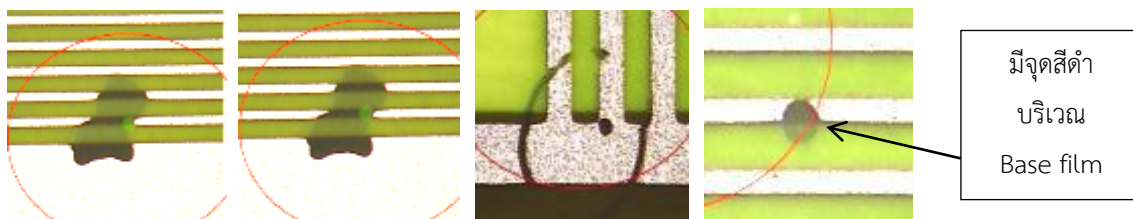
3.6.3 การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องแต่ละประเภท (Defect characteristic)

การเกิดข้อบกพร่องนั้นสามารถเกิดได้จากหลากหลายที่มาในกระบวนการผลิต ดังนั้นทางทีม CI และผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบเพิ่มมากขึ้นโดยการตรวจสอบและเปรียบเทียบว่า ลักษณะภายนอกของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์นั้นเป็นลักษณะแบบใดและสามารถเกิดจากกระบวนการไหนได้บ้าง

1. Open/Nick same PT จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การเกิดข้อบกพร่องลักษณะนี้สามารถเกิดได้จากกระบวนการ RXLV และ RXD และสำหรับผลิตภัณฑ์ EPP-252 นั้นจะมีลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นแตกต่างกันระหว่าง 2 กระบวนการนี้ ซึ่งการตัดแยกข้อบกพร่อง หรือเรียกว่า การตัดแยก Defect mode แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ Same PT จากกระบวนการ RXLV และ Same PT จากกระบวนการ RXD รวมถึงการเกิดแบบไม่มีทิศทางจากกระบวนการ RXLV หรือ RXD ก็ได้ตามสภาวะการใดๆ ซึ่งการเกิดแบบนี้มีความยากและซับซ้อนในการแก้ปัญหา ดังนั้นเบื้องต้นทางทีมและผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขปัญหา Same PT เป็นอันดับแรก สำหรับการลักษณะการเกิดข้อบกพร่องจาก RXLV แสดงตาม

ภาพที่ 3.28 ซึ่งจะเห็นว่าบนพื้นผิวด้านล่าง หรือเรียกว่า Base film นั้นเป็นจุดสีดำเข้มกว่าสีของพื้นผิวปกติ และ ส่วนลักษณะการเกิดข้อบกพร่องจาก RXD แสดงไว้ในภาพที่ ซึ่งเส้นลายวงจรจะแหวก หรือ ขาด ไป โดย Base film ด้านที่เกิดข้อบกพร่องดังกล่าวจะเป็นสีปกติ ที่เห็นว่ามีสีดำ เป็นสีที่เกิดจากเส้นลายวงจรของอีกด้านเท่านั้น

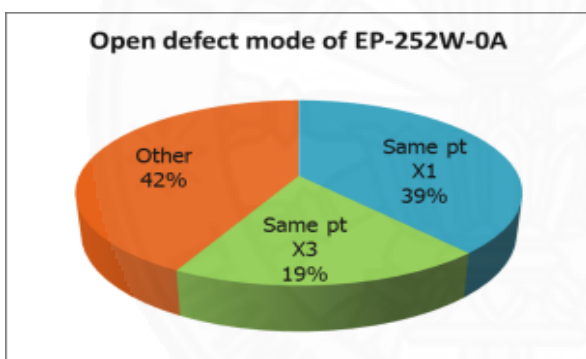
จากนั้นสามารถแยกสามารถแยกประเภทและเปรียบเทียบอัตราการเกิดของจากแต่ละที่มา ได้ตาม ภาพที่ 3.30 จะพบว่าปริมาณการเกิดข้อบกพร่องของกระบวนการ RXLV และ RXD พบว่า Open Same PT เกิดมากที่สุดจาก RXLV และรองลงมา คือ RXD และภาพที่ 3.31 จะพบว่า ปริมาณการเกิดข้อบกพร่อง Nick Same PT เกิดมากที่สุดจาก RXD และรองลงมา คือ RXLV ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วสมควรปรับปรุงทั้ง 2 กระบวนการ คือ RXLV และ RXD



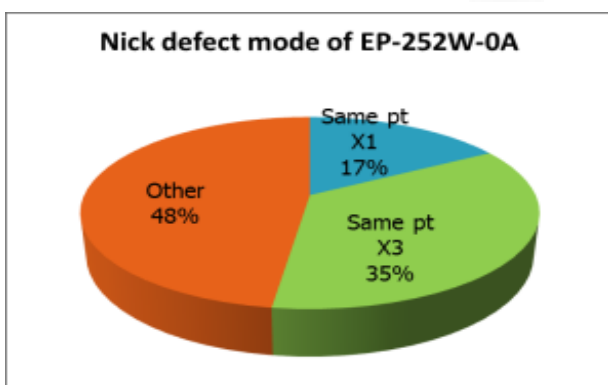
ภาพที่ 3.28 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่อง Open/Nick same PT จากกระบวนการ RXLV



ภาพที่ 3.29 ลักษณะการเกิดข้อบกพร่อง Open/Nick same PT จากกระบวนการ RXD



ภาพที่ 3.30 การตัดแยกข้อบกพร่องประเภท Open ตามลักษณะการเกิด



ภาพที่ 3.31 การตัดแยกข้อบกพร่องประเภท Nick ตามลักษณะการเกิด

2. Surface Etching / Open / Nick (Random) จากการตัดแยก Defect mode ของข้อบกพร่องดังกล่าว พบว่ามีลักษณะรูปร่างที่คล้ายกัน คือ มีรอยขรุขระที่ผิวของเส้นลายวงจร (Rough circuit) โดยเกิดขึ้นกับข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภทนี้ และเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดยังพบว่า

- การเกิดข้อบกพร่องประเภท Nick มี Rough circuit สูงถึงร้อยละ 76 ของจำนวนการเกิด Nick ทั้งหมด

- การเกิดข้อบกพร่องประเภท Surface Etching มี Rough circuit สูงถึงร้อยละ 89 ของจำนวนการเกิด Surface Etching ทั้งหมด


- การเกิดข้อบกพร่องประเภท Open มี Rough circuit สูงถึงร้อยละ 89 ของจำนวนการเกิด Open ทั้งหมด

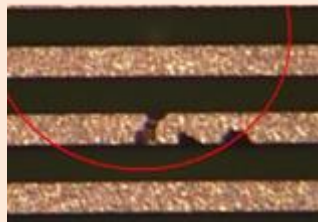
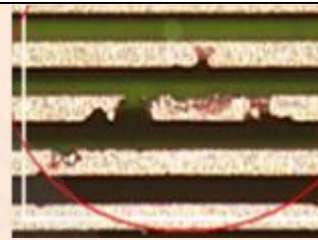
ซึ่งถือว่ามีปริมาณ Rough circuit ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเกิดข้อบกพร่องในลักษณะอื่นๆ ดังแสดงใน

ตารางที่ 3.16 ลักษณะนี้จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ตารางที่ 3.16

การเปรียบเทียบอัตราการเกิด Rough circuit กับข้อบกพร่องประเภท Surface Etching / Open / Nick (Random)

CTQ item	Character	Ratio (%)	Picture
Nick	1. Nick (rough)	76	
	2. Nick (Same pattern)	22	-
	3. Nick (Dent)	1	-
	4. Nick (other)	1	-

CTQ item	Character	Ratio (%)	Picture
Surface Etching	1. Sur. Etc (rough)	89	
	2. Sur. Etc (Other)	11	-
Open	1. Open (rough)	72	
	2. Open(same pattern)	23	-
	3. Open(Dent)	5	-

3. Short / Protrusion (Random) การเกิดข้อบกพร่องประเภทนี้เมื่อนำแต่ละลักษณะมาทำการคัดแยก Defect mode และเปรียบเทียบอัตราการเกิด ดังแสดงในภาพที่ 3.32 ได้ผลดังนี้ คือ

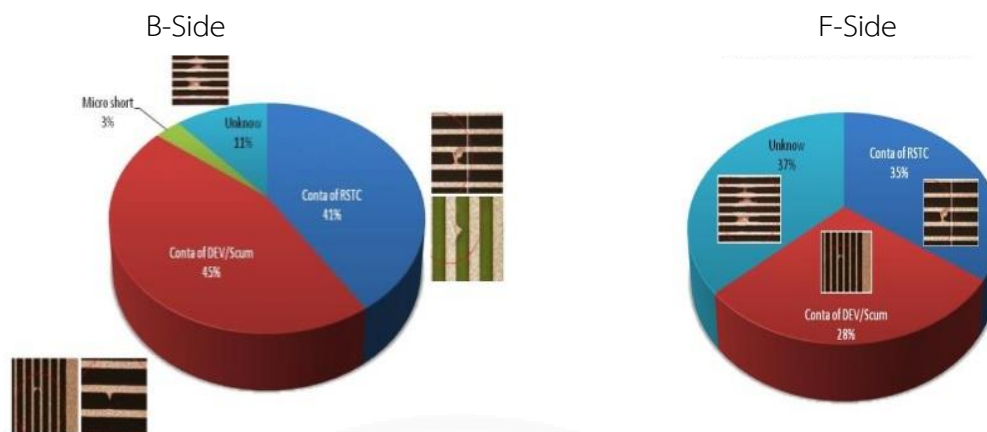
- การเกิดข้อบกพร่องจากคราบสกปรกจากกระบวนการ RDES2 โดยเกิด B-side ร้อยละ 45 และ F-side ร้อยละ 28 ของจำนวนการเกิดทั้งหมด

- การเกิดข้อบกพร่องจากคราบสกปรกจากกระบวนการ RSTC โดยเกิด B-side ร้อยละ 41 และ F-side ร้อยละ 35 ของจำนวนการเกิดทั้งหมด

- การเกิดข้อบกพร่องที่มีเส้นขนาดเล็กยื่นออกมาหรือเรียกว่า “Micro Short” ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการ RDES2 RSTC หรือกระบวนการอื่นๆ ก็ได้ตามสภาวะการ โดยพบที่ B-side เพียงร้อยละ 3 ของจำนวนการเกิดทั้งหมด

- การเกิดข้อบกพร่องแบบอื่นๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจน โดยเกิด B-side ร้อยละ 11 ของจำนวนการเกิดทั้งหมด และ F-side ร้อยละ 37

จากการวิเคราะห์ลักษณะของ Defect mode พบว่ากระบวนการที่ควรปรับปรุงแก้ไข คือ กระบวนการ RDES2 และ RSTC เพราะสามารถทราบปัญหาที่ชัดเจนและแก้ไขกระบวนการได้รวดเร็ว



ภาพที่ 3.32 การตัดแยกลักษณะของข้อบกพร่องประเภท Short / Protrusion (Random) ด้าน B และ F Side

3.6.4 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause and effect)

จากการระบุปัญหาการเกิดข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์จากรูปภาพที่ 3.3 ซึ่งจะปรับปรุงของเสียที่เกิดขึ้นใน 5 อันดับแรก ได้แก่ Surface Etching Open Nick Protrusion และ Short ซึ่งการเกิดข้อบกพร่องแต่ละลักษณะนั้นจะแตกต่างกันออกไป โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้น 2 ลักษณะ คือ เกิดขึ้นโดยมีรูปแบบและลักษณะของข้อบกพร่องที่เหมือนกันหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Same pattern defect และการเกิดอีกประเภทหนึ่งเป็นการเกิดขึ้นโดยไม่มีรูปแบบตายตัว สามารถเกิดได้โดยทั่วไปบนแผ่นของผลิตภัณฑ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Random defect ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการแยกประเภทของข้อบกพร่องตามลักษณะการเกิด ดังนี้

1. Same pattern defect สามารถเกิดได้กับข้อบกพร่องลักษณะ Surface Etching Open Nick Protrusion และ Short แต่จากการทำการศึกษาในกระบวนการผลิตร่วมกับทีมงาน จึงสามารถสรุปได้ว่าการเกิด Same PT defect นั้น มีโอกาสเกิดกับข้อบกพร่องประเภท Open และ Nick มากที่สุด ดังนั้น จึงทำการศึกษาปัญหาที่กระบวนการที่เกี่ยวข้อง 2 กระบวนการของ CFM Unit คือ กระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรแบบสร้างรู LVH (RXLV process) และ กระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรตามแม่แบบ (RXD process)

2. Random defect สามารถเกิดได้กับข้อบกพร่องลักษณะ Surface Etching Open Nick Protrusion และ Short ได้ทั้งหมด แต่จะขึ้นอยู่กับว่าจะเกิดขึ้นกับกระบวนการใดเท่านั้น และจากการทำการศึกษาในกระบวนการผลิตร่วมกับทีมงาน ได้ทำการแบ่งลักษณะของข้อบกพร่องกับกระบวนการที่สามารถทำให้เกิดได้ดังนี้

■ Protrusion และ Short random ; สามารถเกิดได้จากกระบวนการลอกทรายฟิล์มแบบม้วน (RTSC process) และกระบวนการล้างทรายฟิล์มและกัดเส้นลายวงจรครั้งที่ 2 (RDES2 process)

■ Open Nick และ Surface etching random; สามารถเกิดขึ้นได้กับกระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรแบบสร้างรู LVH (RXLV process) กระบวนการติดทรายฟิล์มด้วยสุญญากาศ (RDFV process) และกระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรตามแม่แบบ (RXD process) แต่จากการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมทำให้สามารถลดกระบวนการที่ทำให้เกิดปัญหาได้ 1 กระบวนการคือ กระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรแบบสร้างรู LVH (RXLV process) เนื่องจากลักษณะการเกิด reject ส่วนมากนั้นจะเกิดในรูปแบบ Same pattern มากกว่า ดังนั้น ในกรณีศึกษาจึงไม่ได้นำกระบวนการนี้มาพิจารณา และจะทำการศึกษาปัญหาเพียง 2 กระบวนการของ CFM Unit คือ กระบวนการติดทรายฟิล์มด้วยสุญญากาศ (RDFV process) และกระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรตามแม่แบบ (RXD process) เท่านั้น

จากการระบุกระบวนการที่จะศึกษาปัญหานั้นพบว่ากระบวนการที่จะทำการศึกษารับปรุงเพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ EP-252 สามารถสรุปได้ทั้งหมด 5 กระบวนการที่จะศึกษาดังนี้คือ

- 1) กระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรแบบสร้างรู LVH (RXLV process)
- 2) กระบวนการลอกทรายฟิล์มแบบม้วน (RTSC process)
- 3) กระบวนการติดทรายฟิล์มด้วยสุญญากาศ (RDFV process)
- 4) กระบวนการถ่ายเส้นลายวงจรตามแม่แบบ (RXD process)
- 5) กระบวนการล้างทรายฟิล์มและกัดเส้นลายวงจรครั้งที่ 2 (RDES2 process)

และทำการศึกษาแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาโดยจะทำการศึกษาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับลักษณะข้อบกพร่องแต่ประเภท และสามารถค้นหาสาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหาได้ดังนี้

ตารางที่ 3.17

สาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหา Open / Nick (Same PT)

กระบวนการผลิต	Define mode	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)
RXLV	Method	แสงในการถ่ายเส้นลายวงจรต่ำทำให้เกิด reject ง่าย
RXLV	Method	ไม่มีการสลับ Master ออกมา inspect
RXLV	Method	Master ที่ใช้ในการถ่ายเส้นลายวงจรไม่สะอาด
RXLV	Method	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ไม่ครอบคลุม
RXLV	Method	มีการเปิดพื้นที่สำหรับถ่ายแสงไม่เพียงพอในด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า (ไม่มีการสร้างเส้นลายวงจร)
RXLV	Man	พนักงานใช้ Handy roller ทำความสะอาด Master ไม่สมบูรณ์
RXLV	Man	มีฝุ่นติดบริเวณรางเลื่อนของกรอบใส่แม่แบบ
RXLV	Man	บริเวณพื้นของเครื่องจักรสกปรก มีฝุ่นจับ
RXLV	Man	พนักงานไม่ทำความสะอาดมือก่อนจับอุปกรณ์
RXLV	Man	พนักงานทำตามขั้นตอนการทำความสะอาด Master ไม่ถูกต้อง
RXLV	Machine	ในเครื่องจักรมีฝุ่นฟุ้งกระจายจำนวนมาก
RXLV	Machine	รถวาง Frame มีฝุ่นเกาะ
RXD	Material	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์
RXD	Method	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานไม่เหมาะสม
RXD	Method	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ไม่ครอบคลุม
RXD	Method	สันด้าม handy roller ที่ใช้ clean แม่แบบ มีเศษเสี้ยนหลุดออกมาและไม่มีการ clean
RXD	Machine	Cleaning roll ของเครื่องถ่ายแบบสำหรับทำความสะอาดผลิตภัณฑ์หมุนไม่สม่ำเสมอ
RXD	Method	วิธีการทำความสะอาดผ้า savina ไม่ถูกต้อง
RXD	Machine	Pass line ที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านไม่สะอาด
RXD	Material	แขนของเครื่องดูดฝุ่นเสื่อมคุณภาพ ทำให้มีเศษเสี้ยนฝุ่นหลุดออก
RXD	Material	Handy roller สำหรับทำความสะอาดแม่แบบแตกเสียหาย
RXD	Material	Bobbin สำหรับม้วนใส่ผลิตภัณฑ์มีฝุ่นเกาะเป็นจำนวนมาก
RXD	Machine	ด้านบนของเครื่องจักรสกปรก มีฝุ่นเกาะเป็นจำนวนมาก
RXD	Material	กล่องเก็บผ้าสำหรับทำความสะอาดเครื่องจักรมีฝุ่นเกาะ
RXD	Material	Handy roller สำหรับทำความสะอาดแม่แบบมีฝุ่นเกาะจำนวนมาก
RXD	Man	Film ด้าที่ใช้บังแสงจากการถ่ายแบบมีฝุ่นเกาะ พนักงานไม่มีการทำความสะอาด

ตารางที่ 3.18

สาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหา Open / Nick / Surface Etching (Random)

กระบวนการผลิต	Define mode	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)
DFLV	Method	ความเร็วในการติดทรายฟิล์มไม่เหมาะสมกับงานประเภทนี้
DFLV	Machine	อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์มผิดปกติ
DFLV	Method	ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้นด้านบน และด้านล่างต่างกันหรือไม่
RXD	Method	ความเข้มของแสงในการถ่ายเส้นลายวงจรต่ำ
DFLV	Man	พนักงานไม่ทำความสะอาด Roll laminate ก่อน run งาน
DFLV	Man	พนักงานไม่ตรวจสอบอุณหภูมิ Roll laminate ก่อน run งาน
RXD	Method	ด้านที่ถ่ายเส้นลายวงจรก่อน-หลังได้รับปริมาณแสงไม่เท่ากัน
DFLV	Material	ผิว Roll laminate มีสภาพขรุขระ ไม่ราบเรียบ
DFLV	Material	ผ้าสำหรับทำความสะอาด Roll laminate ไม่สะอาด

ตารางที่ 3.19

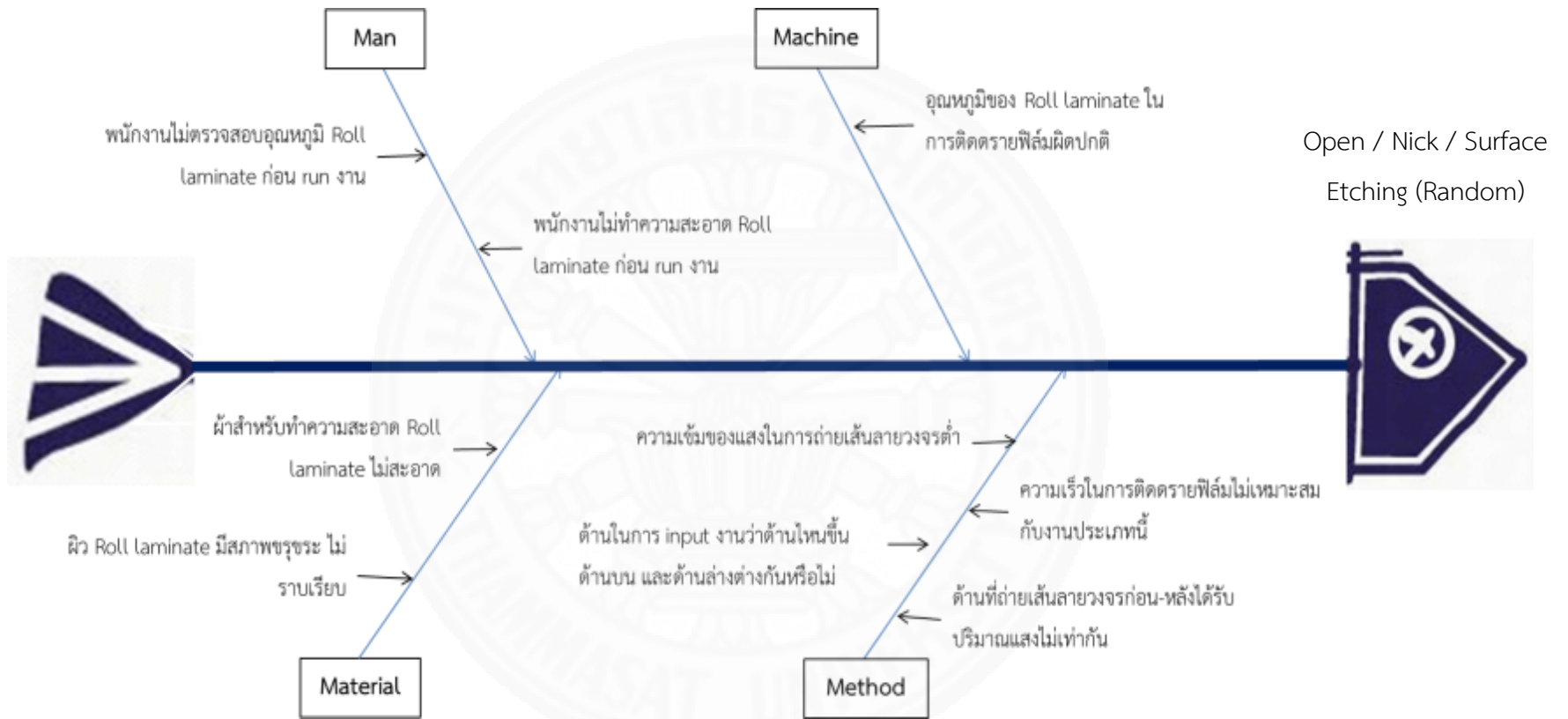
สาเหตุที่มีโอกาสจะทำให้เกิดปัญหา Short / Protrusion Random

กระบวนการผลิต	Define mode	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)
RSTC	Man	Roll pass line หน้าบ่อ Stripping1 มีฝุ่นและคราบสารเคมีติดอยู่ เนื่องจากพนักงานไม่ทำการทำความสะอาด
RSTC	Machine	บ่อน้ำล้างบ่อที่ 1 (water rinse 1) มีฝุ่นลอยอยู่ใน Tank เนื่องจากค่าอัตราการไหลของน้ำที่ตั้งไว้ต่ำ
RSTC	Material	Roll pass line ในบริเวณที่ไม่โดนสารเคมีฉีดมาถึงของบ่อ Stripping มีคราบเหนียวและฝุ่นสีดำติด
RSTC	Machine	หัว spray ที่บ่อ drain spay หน้าบ่อ Stripping ดัน เนื่องจากรูของหัว spray เล็กเกินไป
RSTC	Method	Roll pass line ในบ่อน้ำทุกบ่อ (All water rinse) มีฝุ่นติดอยู่
RSTC	Method	วิธีการทำความสะอาด Straight roll pass line ของเครื่องจักรไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน straight roll บริเวณส่วน Air knife และ ส่วน Dryer มีมากเกินไปจนจำเป็น

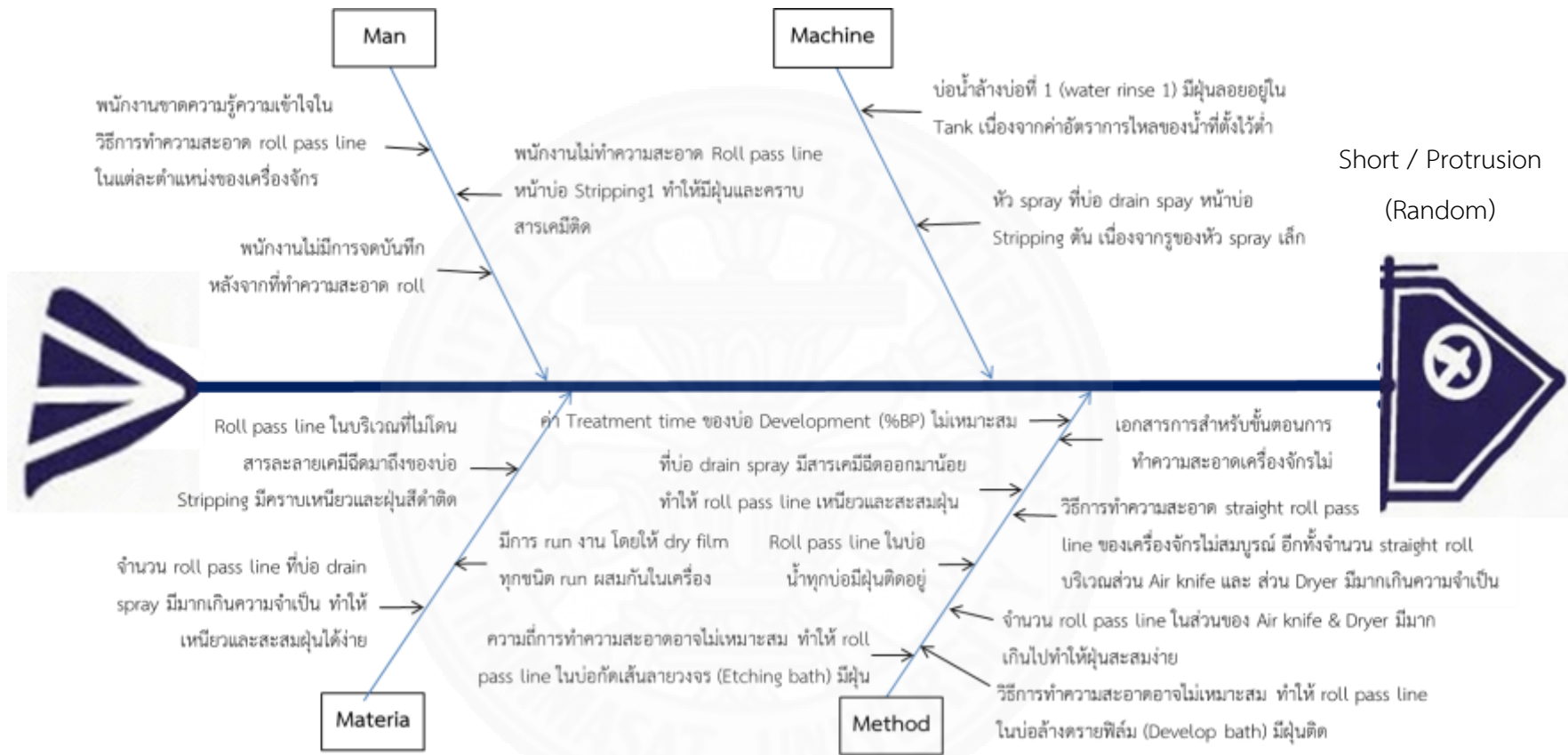
กระบวนการผลิต	Define mode	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)
RSTC	Method	ความถี่ในการทำความสะอาด roll pass line ที่ Air knife & Dryer ไม่เหมาะสม
RDES2	Method	ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) ไม่เหมาะสม
RDES2	Material	มีการ run งาน โดยให้ dry film ทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องเดียวกัน
RDES2	Method	มีฝุ่นติดที่ roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม (Develop bath) เนื่องวิธีการทำความสะอาดอาจไม่เหมาะสม
RDES2	Method	มีฝุ่นติดที่ roll pass line ในบ่อกัดเส้นลายวงจร (Etching bath) เนื่องความถี่ในการทำความสะอาดไม่เหมาะสม
RDES2	Method	ที่บ่อ drain spray มีสารเคมีฉีดออกมาน้อยทำให้ roll pass line เหนียวและสะสมฝุ่น
RDES2	Man	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในวิธีการทำความสะอาด roll pass line ในแต่ละตำแหน่งของเครื่องจักร
RDES2	Material	จำนวน roll pass line ที่บ่อ drain spray มีมากเกินไปจนจำเป็น ทำให้เหนียวและสะสมฝุ่นได้ง่าย
RDES2	Man	พนักงานไม่มีการจดบันทึกหลังจากที่ทำความสะอาด roll pass line
RDES2	Method	เอกสารการสำหรับขั้นตอนการทำความสะอาดเครื่องจักรไม่ชัดเจน



ภาพที่ 3.33 แผนภูมิก้างปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick (Same PT)



ภาพที่ 3.34 แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick / Surface Etching (Random)



ภาพที่ 3.35 แผนภูมิแก๊งปลาแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องประเภท Short / Protrusion (Random)

3.6.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

ส่วนสำคัญในการจัดทำ FMEA คือการประเมินค่าความเสี่ยงชี้หน้า (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งได้แก่ การระดมสมองเพื่อประเมินเกณฑ์ความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity: S) โอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่องขึ้น (Occurrence: O) และการประเมินความสามารถในการควบคุมหรือการตรวจพบข้อบกพร่อง (Detection: D) ซึ่งคะแนนจากการประเมินปัจจัยทั้งสามจะนำมาคูณกันเพื่อหาค่าความเสี่ยงชี้หน้า โดยนำค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวมาคูณกัน คือ $S \times O \times D$ และวิเคราะห์คะแนน RPN เพื่อบ่งชี้ลำดับความสำคัญของปัญหาที่ควรได้รับการแก้ไขก่อนหลังตามลำดับ



ตารางที่ 3.20

ผลการวิเคราะห์คะแนน RPN เพื่อบ่งชี้ลำดับความสำคัญของปัญหา

หมายเลข No.	กระบวนการ Process	ลักษณะของ ข้อบกพร่องที่ เกิดขึ้น (Potential failure mode : Defect)	สาเหตุของความล้มเหลวที่อาจ เกิดขึ้น (Potential cause of failure)	วิธีการควบคุมในปัจจุบัน (Current process control)	ความ รุนแรง ของผล กระทบ (SEV)	ความถี่ ของการ เกิด ปัญหา (OCC)	ความ สามารถ ในการ ตรวจจับ ปัญหา (DET)	R.P.N.	แนะนำวิธีการดำเนินการ (Action recommend)
1	RSTC	Short & Protrusion (random)	Roll pass line หน้าบ่อ Stripping1 มีฝุ่นและคราบสารเคมีติดอยู่ เนื่องจากพนักงานไม่ทำการทำความสะอาด	การทำความสะอาดทุกสัปดาห์	4	5	6	120	กำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาด roll pass line ก่อน input งาน
2	RSTC	Short & Protrusion (random)	บ่อน้ำล้างบ่อที่ 1 (water rinse 1) มีฝุ่นลอยอยู่ใน Tank เนื่องจากค่าอัตราการไหลของน้ำที่ตั้งไว้ต่ำ	ทำการปรับค่าอัตราการไหลให้อยู่ในค่าควบคุม	3	2	4	24	ปรับค่าให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดโดยปรับจากค่า 5 เป็น 8 L/min
3	RSTC	Short & Protrusion (random)	Roll pass line ในบริเวณที่ไม่โดนสารเคมีติดมาถึงของบ่อ Stripping มีคราบเหนียวและฝุ่นสีดำติด	ทำการฉีดน้ำล้างทุกวัน	4	4	5	80	เปลี่ยนชนิดของ roll pass line เป็น Teflon เพื่อให้ง่ายต่อการทำความสะอาด และทำการฉีดน้ำล้างทุกกะ
4	RSTC	Short & Protrusion (random)	หัว spray ที่บ่อ drain spay หน้าบ่อ Stripping ตัน เนื่องจากรูของหัว spray เล็กเกินไป	ทำการล้างหัว spray ทุกเดือน	4	3	4	48	เปลี่ยนหัว spray แบบใหม่ที่มีรู spray ใหญ่ขึ้น

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
5	RSTC	Short & Protrusion (random)	Roll pass line ในบ่อน้ำทุกบ่อ (All water rinse) มีฝุ่นติดอยู่	ทำความสะอาดด้วยสารเคมีล้างออกทุกเดือน	6	5	7	210	เพิ่มการทำความสะอาด Roll pass line โดยใช้ผ้าชุบน้ำสกอต และล้างคราบออกด้วยน้ำสะอาด
6	RSTC	Short & Protrusion (random)	วิธีการทำความสะอาด straight roll pass line ของเครื่องจักรไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน straight roll บริเวณส่วน Air knife และ ส่วน Dryer มีมากเกินความจำเป็น	ไม่มีมาตรฐานการควบคุม	8	7	8	448	ทำการลดจำนวน straight roll ลง 50% เพื่อลดการสัมผัสผิวของผลิตภัณฑ์
7	RSTC	Short & Protrusion (random)	ความถี่ในการทำความสะอาด roll pass line ที่ Air knife & Dryer ไม่เหมาะสม	ทำความสะอาดสัปดาห์ละครั้ง	8	9	7	504	กำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาดใหม่จาก 1 ครั้ง/สัปดาห์ เป็น 2 ครั้ง/สัปดาห์
8	RDES2	Short & Protrusion (random)	ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	กำหนดให้ใช้ 40-60 %BP ซึ่งค่าที่ใช้คือ 52 %BP	7	8	8	448	เปลี่ยนจาก 52 %BP เป็น 37%BP
9	RDES2	Short & Protrusion (random)	มีการ run งาน โดยให้ dry film ทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องเดียวกัน	ไม่มีมาตรฐานการควบคุม	8	8	8	512	กำหนดให้แต่ละเครื่องสามารถ run กับ dry film ชนิดเดียวกัน

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
10	RDES2	Short & Protrusion (random)	มีฝุ่นติดที่ roll pass line ในบ่อล้างดรายฟิล์ม (Develop bath) เนื่องวิธีการทำความสะอาดอาจไม่เหมาะสม	ทำความสะอาดด้วยสารเคมีล้างออกทุกเดือน	8	9	7	504	เพิ่มการทำความสะอาด Roll pass line โดยใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์ และล้างคราบออกด้วยน้ำสะอาด
11	RDES2	Short & Protrusion (random)	มีฝุ่นติดที่ roll pass line ในบ่อกัดเส้นลายวงจร (Etching bath) เนื่องความถี่การทำทำความสะอาดไม่เหมาะสม	ทำความสะอาดจาก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง	6	5	6	180	เพิ่มความถี่การทำทำความสะอาดจาก สัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นสัปดาห์ละ 2 ครั้ง
12	RDES2	Short & Protrusion (random)	ที่บ่อ drain spray มีสารเคมีฉีดออกมา น้อยทำให้ roll pass line เหนียวและสะสมฝุ่น	ทำความสะอาดโดยการฉีดน้ำล้าง สัปดาห์ละครั้ง	4	4	5	80	เปลี่ยนหัวฉีดสารละลายให้ใหญ่ขึ้น
13	RDES2	Short & Protrusion (random)	พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในวิธีการทำความสะอาด roll pass line ในแต่ละตำแหน่งของเครื่องจักร	ฝึกอบรมพนักงานให้ปฏิบัติงานได้เฉพาะตอนเข้าทำงาน	5	4	6	120	ฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการทำความสะอาด และติดตามผลการทำงานของพนักงาน
14	RDES2	Short & Protrusion (random)	จำนวน roll pass line ที่บ่อ drain spray มีมากเกินไปจนทำให้ เหนียวและสะสมฝุ่นได้ง่าย	ทำการทำความสะอาดโดยใช้น้ำฉีดล้าง แต่ส่วนที่เหนียวติด roll ออกไม่หมด	5	5	6	150	ลดจำนวน straight rolls โดยถอดบาง roll ที่ไม่จำเป็นในบ่อ DEV-WR 1 ออก เพื่อลดพื้นที่ผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์กับ roll pass line

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
15	RDES2	Short & Protrusion (random)	พนักงานไม่มีการจดบันทึกหลังจากที่ทำ ความสะอาด roll pass line	ทำความสะอาดโดยไม่มีกรจดบันทึก ไม่ สามารถตรวจสอบย้อนกลับได้เมื่อเกิด ปัญหาว่าทำจริงหรือไม่	3	4	3	36	จัดทำเอกสาร check sheet ในการลงบันทึก และสอน พนักงานให้มีความเข้าใจ
16	RDES2	Short & Protrusion (random)	เอกสารสำหรับขั้นตอนการทำงาน สะอาดเครื่องจักรไม่ชัดเจน	มีเอกสารแต่ยังระบุขั้นตอนไม่ครบถ้วน ทุกจุด	6	5	6	180	จัดทำมาตรฐานการทำงาน สะอาดเครื่องจักรที่ถูกต้อง
17	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	ความเร็วในการติดทรายฟิล์มไม่เหมาะสม กับงานประเภทนี้	ตรวจสอบความเร็วตามมาตรฐานที่ กำหนดไว้เท่านั้น	8	8	9	576	ทำการทดลองหาความเร็วใน การติดที่เหมาะสม
18	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติด ทรายฟิล์มผิดปกติ	ตรวจสอบอุณหภูมิตามมาตรฐานที่ กำหนดไว้เท่านั้น	8	9	9	648	ทำการทดลองหาอุณหภูมิที่ เหมาะสม
19	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้น ด้านบน และด้านล่างต่างกันหรือไม่	input งานตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เท่านั้น	7	8	8	448	ทำการทดลองเปรียบเทียบ ด้านการ input งานที่ เหมาะสม
20	RXD	Open / Nick / Surface Etching (Random)	ความเข้มของแสงในการถ่ายเส้นลาย วงจรต่ำ	ตั้งค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้เท่านั้น	6	6	7	252	ทำการทดลองเปรียบเทียบ แสงระดับต่างๆในการถ่าย เส้นลายวงจร

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
21	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	พนักงานไม่ทำความสะอาด Roll laminat ก่อน run งาน	มี check sheet แต่ไม่มีช่องให้ลงบันทึก การทำความสะอาด roll laminat	4	3	4	48	จัดทำเอกสาร check sheet ในการลงบันทึกให้ชัดเจน และฝึกอบรมพนักงาน
22	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	พนักงานไม่ตรวจสอบอุณหภูมิ Roll laminat ก่อน run งาน	ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดงานในการ run จะต้องทำการตรวจสอบอุณหภูมิทุก ครั้ง	5	4	5	100	จัดทำเอกสาร check sheet ในการลงบันทึกให้ชัดเจน และฝึกอบรมพนักงาน
23	RXD	Open / Nick / Surface Etching (Random)	ด้านที่ถ่ายเส้นลายวงจรก่อน-หลังได้รับ ปริมาณแสงไม่เท่ากัน	มีการตรวจสอบเฉพาะกลุ่มงานที่เริ่มทำ การผลิตเท่านั้น	4	5	6	120	ตรวจสอบเส้นลายวงจรของ dry film หลังกระบวนการ ล้าง dry film
24	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	ผิว Roll laminat มีสภาพขรุขระ ไม่ ราบเรียบ	ไม่มีมาตรฐานในการตรวจสอบผิว roll laminat	5	3	4	60	จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ และทำการตรวจสอบ Roll laminat ก่อน run งานทุก ครั้ง
25	DFLV	Open / Nick / Surface Etching (Random)	ผ้าสำหรับทำความสะอาด Roll laminat ไม่สะอาด	มีการทำความสะอาดผ้า แต่ไม่ถูกต้อง จึงทำให้ผ้าไม่สะอาด	5	6	6	180	สร้างมาตรฐานการทำความสะอาด ผ้าก่อนนำมาใช้งาน และควรจัดทำขั้นตอนการทำ ความสะอาดให้ชัดเจน

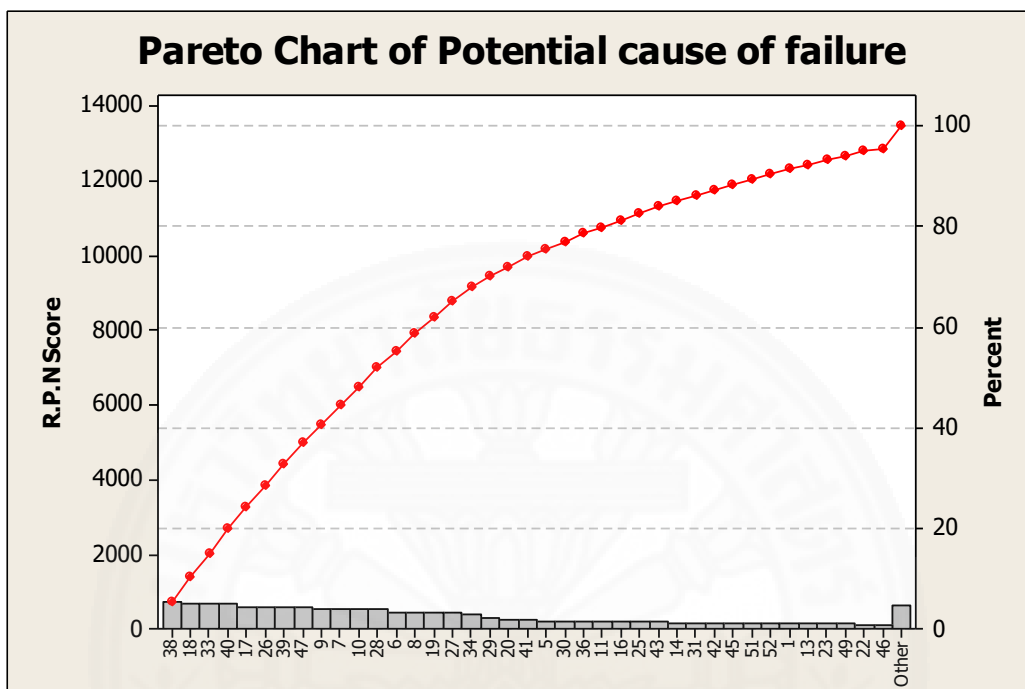
No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
26	RXLV	Open / Nick (Same PT)	ด้านที่ไม่ต้องการสร้างเส้นลายวงจหรือ ด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า (ไม่มีการสร้าง เส้นลายวงจ) มีการใช้แสงในการ ถ่ายภาพต่ำทำให้เกิด reject ง่าย	ใช้แสงตามมาตรฐานที่มีอยู่	8	8	9	576	ทำการทดลองเพิ่มแสงในด้าน ที่ถ่ายแสงเปล่า
27	RXLV	Open / Nick (Same PT)	ไม่มีการสลับ Master ออกมา inspect หรือความถี่ในการตรวจสอบน้อย	ทำการ Inspect ทุก 360 sheet	7	8	8	448	เปลี่ยนความถี่การ Inspect ทุก 360 sheet เป็น 120 sheet
28	RXLV	Open / Nick (Same PT)	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	เพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ	8	9	7	504	เปลี่ยน Material ในการทำ Master
29	RXLV	Open / Nick (Same PT)	Master ที่ใช้ในการถ่ายเส้นลายวงจไม่ สะอาด มีคราบขาวติด	ทำความสะอาด ตัว Master โดยใช้ ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol : IPA) เท่านั้น	6	7	7	294	ทำความสะอาดตัว Master โดยใช้ Alcohol clean เพิ่ม
30	RXLV	Open / Nick (Same PT)	มีการเปิดพื้นที่สำหรับถ่ายแสงไม่เพียงพอ ในด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า(ด้านที่ไม่มี การสร้างเส้นลายวงจ)	O/P ไม่มีความเข้าใจในการ set master โดยการเปิดพื้นที่ในด้านที่ถ่ายแสงเปล่า ให้ได้มากที่สุด	6	7	5	210	จัดทำมาตรฐานการถ่าย สำหรับด้านที่ทำการถ่ายแสง เปล่า(ไม่มีการสร้างเส้นลาย วงจ)
31	RXLV	Open / Nick (Same PT)	พนักงานใช้ Handy roller ทำความ สะอาด Master ไม่สมบูรณ์	มีมาตรฐานแต่ไม่ครอบคลุม จึงทำให้ พนักงานทำความสะอาดไม่ถูกต้อง	5	5	6	150	จัดทำวิธีการทำความสะอาด ที่ถูกต้อง

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
32	RXLV	Open / Nick (Same PT)	มีฝุ่นติดบริเวณรางเลื่อนของกรอบใส่แม่แบบ	ไม่มีมาตรฐานในการทำความสะอาด	2	3	3	18	กำหนดการทำความสะอาดทุกสัปดาห์
33	RXLV	Open / Nick (Same PT)	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมาก	มีวิธีการทำความสะอาด แต่รายละเอียดต่างๆยังไม่สมบูรณ์ และความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องอย่างจริงจัง	8	9	9	648	จัดทำมาตรฐานการทำความสะอาดเครื่องจักรที่ถูกต้อง กำหนดการทำความสะอาดทุกสัปดาห์ และอบรมพนักงานเกี่ยวกับขั้นตอนในการทำความสะอาด
34	RXLV	Open / Nick (Same PT)	เครื่องจักรที่ใช้ในการถ่ายแบบเส้นลายวงจรมีฝุ่นจับทั้งด้านในและบริเวณรอบเครื่อง	ไม่มีการกำหนดมาตรฐานและความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องอย่างจริงจัง	7	6	9	378	กำหนดการทำความสะอาดทุกสัปดาห์
35	RXLV	Open / Nick (Same PT)	พนักงานไม่ทำความสะอาดมือก่อนหยิบจับอุปกรณ์	ไม่มีมาตรฐานการทำความสะอาด	4	3	6	72	กำหนดการทำความสะอาดทุกครั้งก่อนเริ่มงานและมีการจับอุปกรณ์
36	RXLV	Open / Nick (Same PT)	พนักงานทำตามขั้นตอนการทำความสะอาด Master ไม่ถูกต้อง	มีมาตรฐานการทำความสะอาด แต่พนักงานขาดความเข้าใจ	7	5	6	210	ทำการฝึกอบรมพนักงาน และมีการตรวจติดตามผล
37	RXLV	Open / Nick (Same PT)	รถวาง Frame มีฝุ่นเกาะ	ไม่มีมาตรฐานในการทำความสะอาด	2	3	3	18	กำหนดการทำความสะอาดทุกสัปดาห์
38	RXD	Open / Nick (Same PT)	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	เพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ	9	10	8	720	เปลี่ยน Material ในการทำ Master

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
39	RXD	Open / Nick (Same PT)	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ ระหว่างการ run งานไม่เหมาะสม	ทำความสะอาดทุก 60 แผ่น	8	8	9	576	เปลี่ยนความถี่ในการ clean ทุก 60 เป็น 30 แผ่น
40	RXD	Open / Nick (Same PT)	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบ เส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่อง มีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมาก	มีวิธีการทำความสะอาด แต่รายละเอียด ต่างๆยังไม่สมบูรณ์ และความถี่ในการทำ ความสะอาดเครื่องอย่างจริงจัง	8	9	9	648	จัดทำมาตรฐานการทำความสะอาด เครื่องจักรที่ถูกต้อง โดยสะอาดทุกสัปดาห์ และ อบรมพนักงาน
41	RXD	Open / Nick (Same PT)	สันด้าม handy roller ที่ใช้ clean แม่แบบ มีเศษเสี้ยนหลุดออกมาและไม่มี การทำความสะอาด	ไม่มีกำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาด	7	7	5	245	กำหนดมาตรฐานในการทำ ความสะอาดทุก 2 ชั่วโมง
42	RXD	Open / Nick (Same PT)	Cleaning roll ของเครื่องถ่ายแบบ สำหรับทำความสะอาดผลิตภัณฑ์หมุนไม่ สม่ำเสมอ	มีการตรวจสอบตอนเริ่มงาน roll แรก ของแต่ละกะเท่านั้น จึงไม่ได้ทำการ ตรวจสอบงานทุก roll	6	5	5	150	ทำการแจ้งแผนกซ่อมบำรุง เครื่องจักร ทำการแก้ไข และ จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบ
43	RXD	Open / Nick (Same PT)	วิธีการทำความสะอาดผ้า savina ไม่ ถูกต้อง	มีการทำความสะอาดผ้า แต่ไม่ถูกต้อง สมบูรณ์ จึงทำให้ผ้าไม่สะอาด	5	5	7	175	กำหนดขั้นตอนการทำความสะอาด สะอาดผ้าให้ถูกต้องชัดเจน และจัดอบรมพนักงาน
44	RXD	Open / Nick (Same PT)	Pass line ของเครื่องจักรที่ผลิตภัณฑ์ ไหลผ่านไม่สะอาด	ทำความสะอาดทุกวัน วัน 2 ครั้ง	4	3	5	60	กำหนดให้มีการทำความสะอาด สะอาดถี่มากขึ้น โดยทำความสะอาด สะอาดทุก roll product

No.	Process	Defect	Potential cause of failure	Current process control	S	O	D	R.P.N.	Action recommend
45	RXD	Open / Nick (Same PT)	แขนของเครื่องดูดฝุ่นเสื่อมคุณภาพ ทำให้มีเศษเสี้ยนฝุ่นหลุดออก	ไม่มีการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้	5	6	5	150	เปลี่ยนไปใช้ material ชนิดอื่นที่ทนต่อการเสียดสี
46	RXD	Open / Nick (Same PT)	ฝิว Handy roller สำหรับทำความสะอาดแม่แบบแตกเสียหาย ฉีกขาด	ไม่มีการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ก่อนนำมาใช้	6	2	7	84	ทำการเปลี่ยนใหม่ทันที และจัดทำ check sheet ในการตรวจสอบเป็นประจำ
47	RXD	Open / Nick (Same PT)	Handy roller ที่ใช้ทำความสะอาด master ไม่เหนียวทำให้ทำความสะอาดฝุ่นได้ไม่หมด	ใช้งานจนกว่าจะไม่เหนียวเลยจึงจะทำการเปลี่ยน	9	8	8	576	เปลี่ยน handy roller ใหม่ และกำหนดระยะเวลาในการเปลี่ยนตามรอบให้ชัดเจน
48	RXD	Open / Nick (Same PT)	Bobbin สำหรับม้วนใส่ผลิตภัณฑ์มีฝุ่นเกาะเป็นจำนวนมาก	ไม่มีการทำความสะอาดก่อนนำมาใช้	2	4	3	24	กำหนดให้มีการทำความสะอาดก่อนส่งเข้ามาในห้อง clean room
49	RXD	Open / Nick (Same PT)	ด้านบนของเครื่องจักรสกปรก มีฝุ่นเกาะเป็นจำนวนมาก	ไม่มีการทำความสะอาด	4	6	5	120	ทำความสะอาดตามระยะเวลาที่กำหนด
50	RXD	Open / Nick (Same PT)	กล่องเก็บผ้าสำหรับทำความสะอาดเครื่องจักรมีฝุ่นเกาะ	ไม่มีการทำความสะอาด	2	4	6	48	ทำความสะอาดทุกสัปดาห์
51	RXD	Open / Nick (Same PT)	ด้าม Handy roller สำหรับทำความสะอาดแม่แบบมีฝุ่นเกาะจำนวนมาก	ทำความสะอาดทุกสัปดาห์	5	6	5	150	กำหนดให้ทำความสะอาดก่อนเริ่มงานทุกวัน
52	RXD	Open / Nick (Same PT)	Film ดาที่ใช้บังแสงจากการถ่ายแบบมีฝุ่นเกาะ พนักงานไม่มีการทำความสะอาด	ไม่มีการทำความสะอาด	6	5	5	150	ทำความสะอาดทุกครั้งก่อนนำไปใช้งาน

จากนั้นจึงทำการถ่วงน้ำหนักให้เหลือปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษาด้วยแผนภาพพาเรโตเพื่อช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของความเสี่ยงดังภาพที่ 3.36



ภาพที่ 3.36 กราฟพาเรโตแสดงคะแนนระดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN)

จากกราฟพาเรโตสามารถเรียงระดับของความเสี่ยงโดยการแบ่งตามลักษณะการเกิดและเปรียบเทียบกับต่ออัตราส่วน 1000 คะแนน โดยพิจารณาที่ 20 กรณีแรก การเรียงคะแนนระดับของความเสี่ยง แยกประเภทของการเกิดข้อบกพร่องและกระบวนการ จากมากไปหาน้อยได้ดังนี้

Open / Nick (Same PT)

การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของ Open / Nick (Same PT) มีกระบวนการผลิตหลักที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องดังกล่าว คือ กระบวนการ RXD และ กระบวนการ RXLV จึงพิจารณาการปรับปรุงแยกส่วนกันดังนี้

กระบวนการ RXLV

1. วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมากของกระบวนการ RXLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 648 คะแนน และสามารถนำมาพิจารณาร่วมกับปัญหาเรื่องเครื่องจักรที่

ใช้ในการถ่ายแบบเส้นลายวงจรมีฝุ่นจับทั้งด้านในและบริเวณรอบเครื่อง ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 378 คะแนน ได้อีกด้วย ซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องที่ใกล้เคียงกัน

2. ด้านที่ไม่ต้องการสร้างเส้นลายวงจรหรือด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า (ด้านที่ไม่มีการสร้างเส้นลายวงจร) มีการใช้แสงในการถ่ายภาพต่ำ ทำให้เกิด Reject ง่ายของกระบวนการ RXLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 576 คะแนน

3. ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ RXLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 504 คะแนน

4. ไม่มีการสลับ Master ออกมา Inspect หรือความถี่ในการตรวจสอบน้อยของกระบวนการ RXLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 448 คะแนน

5. Master ที่ใช้ในการถ่ายเส้นลายวงจรไม่สะอาด มีคราบกวาดติดของกระบวนการ RXLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 294 คะแนน

กระบวนการ RXD

1. ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ RXD ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 720 คะแนน

2. วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมากของกระบวนการ RXD ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 648 คะแนน

3. ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานไม่เหมาะสมของกระบวนการ RXD ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 576 คะแนน

4. Handy Roller ที่ใช้ทำความสะอาด Master ไม่เหนียวทำให้ทำความสะอาดฝุ่นได้ไม่หมด ของกระบวนการ RXD ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 576 คะแนน

5. สันด้าม Handy roller ที่ใช้ Clean แม่แบบ มีเศษเสี้ยนหลุดออกมาและไม่มีการ clean ของกระบวนการ RXD ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 245 คะแนน

Open / Nick / Surface Etching (Random)

1. อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์มปิดกั้นของกระบวนการ DFLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 648 คะแนน

2. ความเร็วในการติดทรายฟิล์มไม่เหมาะสมกับงานประเภทนี้ของกระบวนการ DFLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 576 คะแนน

3. ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้นด้านบน และด้านล่างต่างกันหรือไม่ของกระบวนการ DFLV ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 448 คะแนน

4. ความเข้มของแสงในการถ่ายเส้นลายวงจรต่ำ ของกระบวนการ RXD ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 252 คะแนน

Short / Protrusion (Random)

1. มีการ run งาน โดยให้ Dry film ทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องเดียวกันของกระบวนการ RDES2 ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 512 คะแนน

2. ความถี่ในการทำความสะอาด roll pass line ที่ Air knife & Dryer ไม่เหมาะสมของกระบวนการ RSTC ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 504 คะแนน

3. มีฝุ่นติดที่ Roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม (Develop bath) เนื่องจากถี่ในการทำความสะอาดอาจไม่เหมาะสมของกระบวนการ RDES2 ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 504 คะแนน

4. วิธีการทำความสะอาด Straight roll pass line ของบ่อน้ำทุกบ่อ (All water rinse) Air knife และ Dryer ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน straight roll บริเวณ Air knife & Dryer ของเครื่องจักรมีมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 448 คะแนน

5. ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ RDES2 ซึ่งมีระดับคะแนนของความเสี่ยง 448 คะแนน

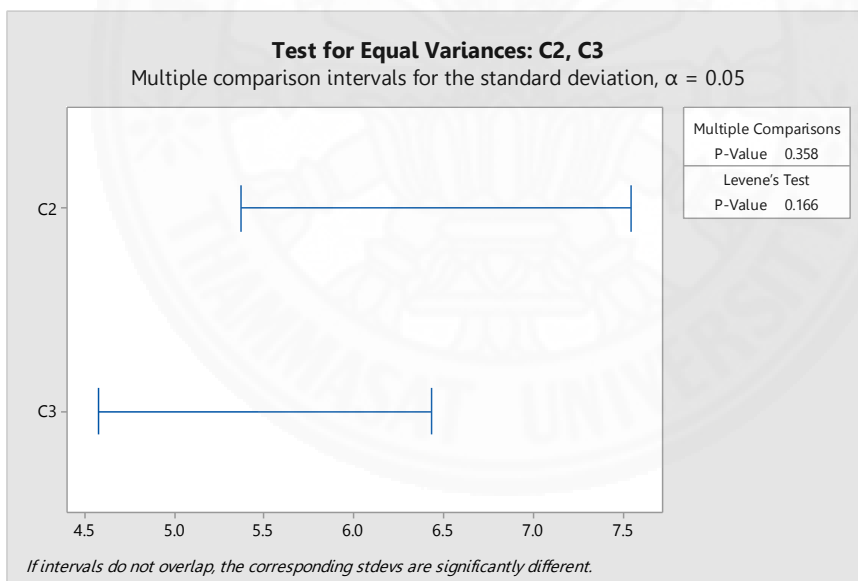
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

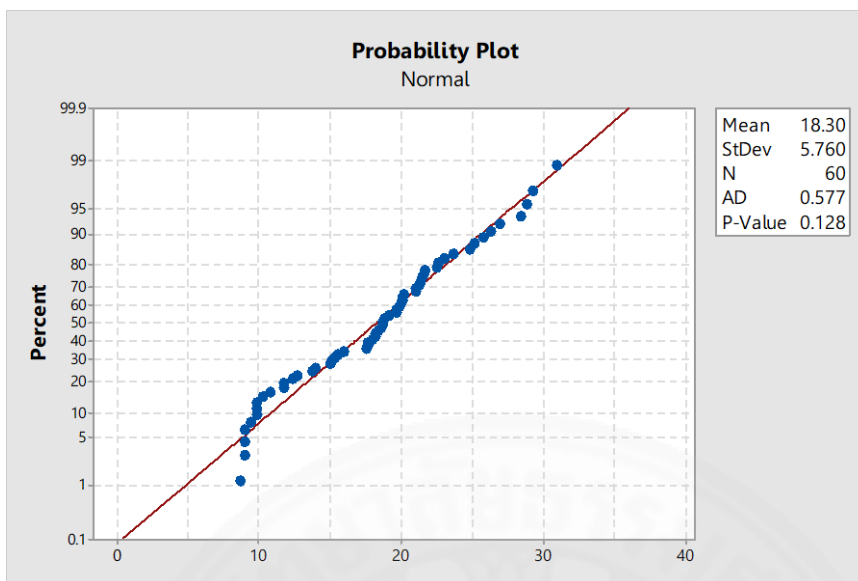
ในการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยจะต้องตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ข้อมูลมีความแปรปรวนที่ค่าเท่ากันหรือไม่และข้อมูลที่มีเป็นการกระจายตัวแบบปกติ (การแจกแจงแบบปกติ) หรือไม่ โดยในระดับความเชื่อมั่น 95% ค่า P-value ที่ได้จากการประมวลผลทาง Minitab และจะต้องมากกว่า 0.05

จากภาพที่ 4.xxx เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่ โดย Levene's Test ได้ค่า P-value = 0.166 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงแสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนที่ค่าเท่ากัน และสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้



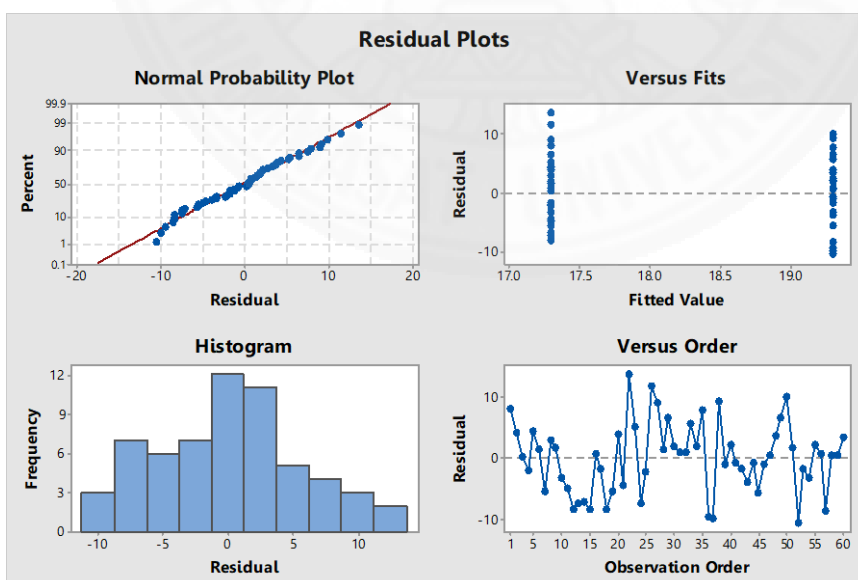
ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล โดย Levene's Test

และจากภาพที่ 4.1 เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่าเป็นการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยการ Plot กราฟ Normal Probability Plot โดยในระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่า P-value = 0.128 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงแสดงว่าข้อมูลเป็นลักษณะของการกระจายแบบปกติ



ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล โดยกราฟ Normal Probability Plot

หรือสามารถตรวจสอบข้อมูลจากกราฟ Residual Plots โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับ 4 ลักษณะหลักของข้อมูล ดังนี้ (บริษัทเทรคอน จำกัด, 2549)



ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล โดยใช้ Residual Plots

1) Normality Probability Plot เพื่อตรวจสอบลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นแบบปกติ (Nonnormality) การที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงแสดงว่าเศษเหลือ (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด

2) Histogram of the Residuals เพื่อตรวจสอบจุดโด่ง (Peak) หลายๆ จุด Outliers และลักษณะการกระจายที่ไม่เป็นปกติ ฮิสโตแกรมควรจะมีรูปทรงสมมาตรเป็นรูประฆังคว่ำ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด

3) Residuals Versus the Fitted Values เพื่อตรวจสอบ การกระจายตัวของเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูล ความสัมพันธ์ในเชิงเส้น (Higher-order terms) และ Outliers ลักษณะของกราฟควรมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่า 0 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด

4) Residuals versus order เพื่อตรวจสอบว่าค่าเศษเหลือขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงในการเก็บข้อมูลหรือไม่ บนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด

จะพบว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบนั้นมีคุณสมบัติตาม 4 ลักษณะดังกล่าว จึงถือว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อได้ และเนื่องจากการเก็บข้อมูลมีวิธีการเก็บที่เหมือนกันทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงอ้างอิงจากการทดสอบนี้ว่าข้อมูลทั้งหมดเป็นการแจกแจงแบบปกติเช่นเดียวกัน

ต่อไปจะเป็นการทดสอบสมมติฐานจากสาเหตุของปัญหา เพื่อหาตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง ซึ่งจาก 19 กรณี และสามารถคัดกรองตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดปัญหาจริงได้ทั้งหมด 11 กรณี โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบค่า P-Value ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และได้ $\alpha = 0.05$ ถ้าค่า P-Value $< \alpha$ ถือว่าตัวแปรนั้นมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ และถ้า P-Value $> \alpha$ ถือว่าตัวแปรนั้นไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ (วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร, 2555)

4.1.1 สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick (Same PT)

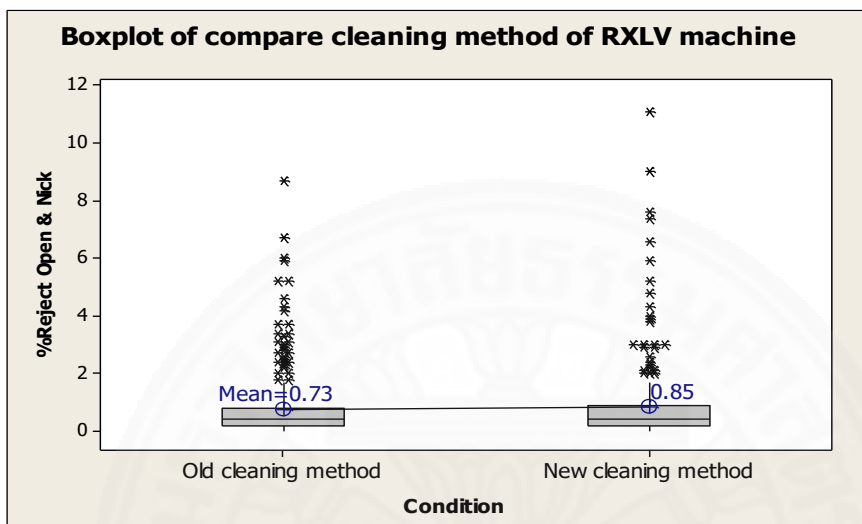
กระบวนการ RXLV

1) เครื่องจักรที่ใช้ในการถ่ายแบบเส้นลายวงจรไม่สะอาด ซึ่งมีฝุ่นจับทั้งด้านในและบริเวณรอบเครื่อง จึงจัดทำวิธีการทำความสะอาดประจำสัปดาห์ (Weekly clean) และกำหนดสมมติฐานว่าวิธีการทำความสะอาดแบบเก่าและแบบใหม่ที่จัดทำขึ้นนั้น มีผลกระทบต่อการศึกษาข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{Old cleaning method}} = \mu_{\text{New cleaning method}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{Old cleaning method}} \neq \mu_{\text{New cleaning method}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



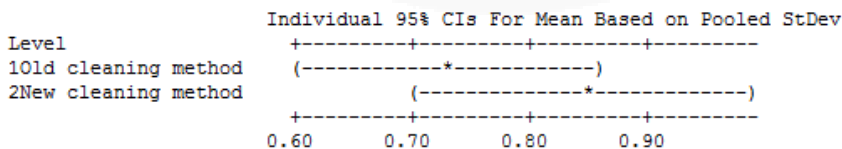
ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างวิธีการทำความสะอาดเครื่องจักรแบบเก่าและแบบใหม่

One-way ANOVA: Old versus New cleaning method of RXLV

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	1.91	1.91	1.29	0.257
Error	607	898.48	1.48		
Total	608	900.39			

S = 1.217 R-Sq = 0.21% R-Sq(adj) = 0.05%

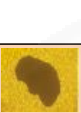
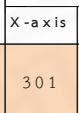
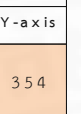



Level	N	Mean	StDev
1Old cleaning method	351	0.732	1.068
2New cleaning method	258	0.846	1.394

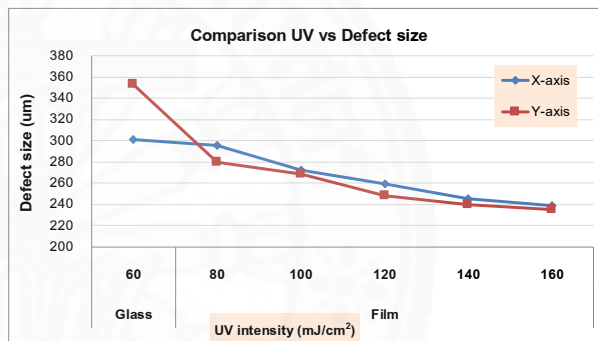


Pooled StDev = 1.217

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minatab พบว่า P-Value = 0.257 ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าวิธีการทำความสะอาดแบบเก่าและแบบใหม่ที่จัดทำขึ้น ไม่มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

2) ด้านที่ไม่ต้องการสร้างเส้นลายวงจรหรือด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า (ด้านที่ไม่มี การสร้างเส้นลายวงจร) มีการใช้แสงในการถ่ายภาพต่ำ ทำให้เกิด Reject ง่าย ซึ่งปกติการถ่ายแบบจะ ใช้ความเข้มแสง 60 mJ/cm² โดยมีการทดสอบเพิ่มความเข้มแสงแล้วพบว่า ขนาดของการเกิด ข้อบกพร่องมีแนวโน้มที่เล็กลงตามภาพที่ 4.5 และได้ทำการทดสอบเพิ่มความเข้มแสงเป็น 160 mJ/cm² เพื่อเปรียบเทียบ ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าความเข้มแสงที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

Master	UV (mJ/cm ²)	Picture	Size (um.)	
			X-axis	Y-axis
Glass	60		301	354
F ilm	80		296	280
	100		273	269
	120		259	248
	140		245	239
	160		239	235
Diff. of UV 60-160 mJ/cm ²			62	119

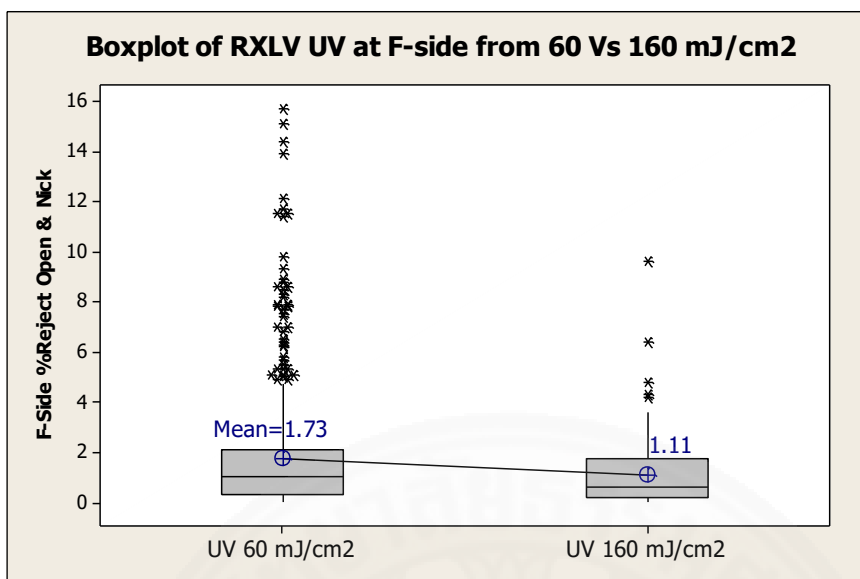


ภาพที่ 4.5 ขนาดของการเกิดข้อบกพร่องมีแนวโน้มที่เล็กลงเมื่อเพิ่มแสง UV

$$H_0 : \mu_{60mJ/cm^2} = \mu_{160mJ/cm^2}$$

$$H_1 : \mu_{60mJ/cm^2} \neq \mu_{160mJ/cm^2}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความเข้มแสง 60 mJ/cm² และ 160 mJ/cm²

One-way ANOVA: EXP1 Increase UV at F-side from 60 versus 160 mJ/cm²

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	47.08	47.08	9.92	0.002
Error	664	3151.19	4.75		
Total	665	3198.28			

S = 2.178 R-Sq = 1.47% R-Sq(adj) = 1.32%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
UV 60 mJ/cm ²	501	1.730	2.393	(-----+-----+-----+-----+-----+)
UV 160 mJ/cm ²	165	1.114	1.322	(-----*-----)

0.90 1.20 1.50 1.80

Pooled StDev = 2.178

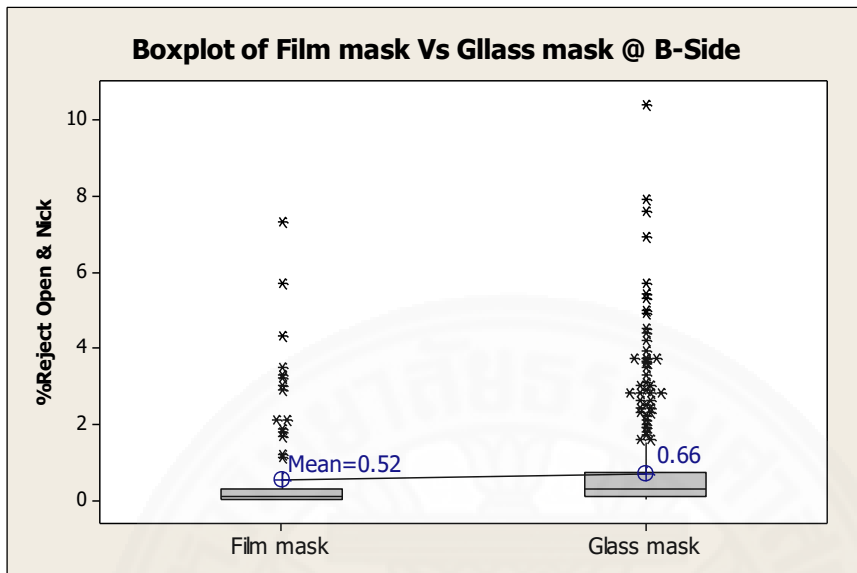
จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.002 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H₀) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าความเข้มแสงในการถ่ายแบบกระบวนการ RXLV ที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

3) ชนิดของแม่แบบที่ใช้ผลิตงาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ RXLV โดยกำหนดสมมติฐานว่าชนิดของแม่แบบที่ใช้ผลิตงานที่แตกต่างกันระหว่าง Film และ Glass มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{RXLV Film}} = \mu_{\text{RXLV Glass}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{RXLV Film}} \neq \mu_{\text{RXLV Glass}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบสมมติฐาน ชนิดของแม่แบบระหว่าง Film และ Glass mask

One-way ANOVA: Film mask versus Apply glass mask B-Side

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	1.93	1.93	1.53	0.217
Error	617	780.15	1.26		
Total	618	782.07			

S = 1.124 R-Sq = 0.25% R-Sq(adj) = 0.08%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Film mask	117	0.519	1.136	(-----*-----)
Glass mask	502	0.662	1.122	(-----*-----)

0.36 0.48 0.60 0.72

Pooled StDev = 1.124

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.217 ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าชนิดของแม่แบบที่ใช้ผลิตงานที่แตกต่างกันระหว่าง Film และ Glass ของกระบวนการ RXLV ไม่มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

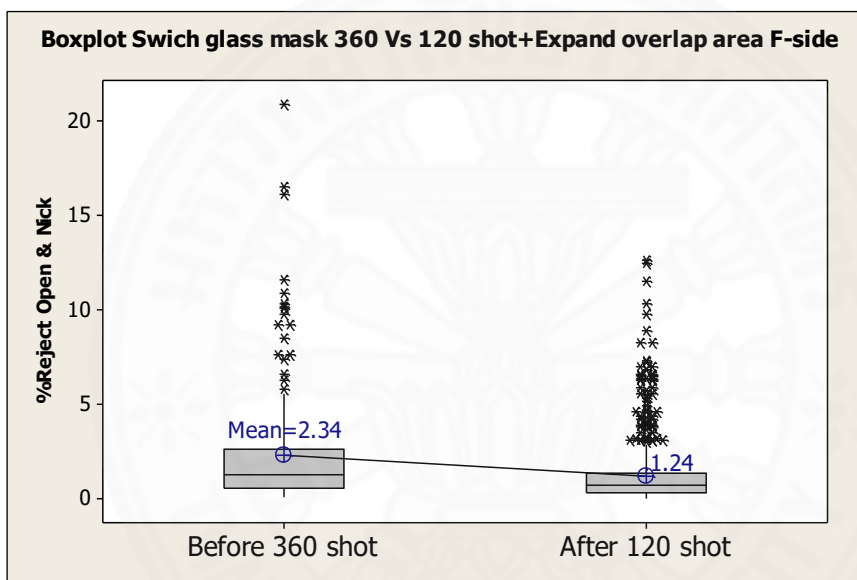
4) ไม่มีการสลับแม่แบบที่ใช้ถ่ายแบบที่อยู่ในเครื่องออกมาทำการตรวจสอบ หรือ ความถี่ในการตรวจสอบและทำความสะอาดแม่แบบนี้บ่อยนั่นเอง ซึ่งปกติการทำความสะอาดแม่แบบ

จะทำทุกๆ 360 Sheet ดังนั้น จึงทดสอบโดยเพิ่มความถี่ในการความสะอาดเป็นทุก 120 Sheet โดยกำหนดสมมติฐานว่าความถี่ในการตรวจสอบและทำความสะอาดแม่แบบที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{360 \text{ sheet}} = \mu_{120 \text{ sheet}}$$

$$H_1 : \mu_{360 \text{ sheet}} \neq \mu_{120 \text{ sheet}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

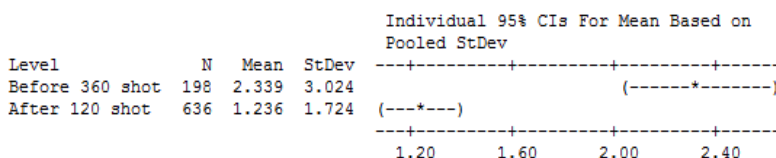


ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความถี่ในการความสะอาดเป็นทุก 360 และ 120 Sheet

One-way ANOVA: Swich glass mask 360 versus 120 shot+Expand overlap area F-side

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	183.68	183.68	41.43	0.000
Error	832	3688.45	4.43		
Total	833	3872.13			

S = 2.106 R-Sq = 4.74% R-Sq(adj) = 4.63%



Pooled StDev = 2.106

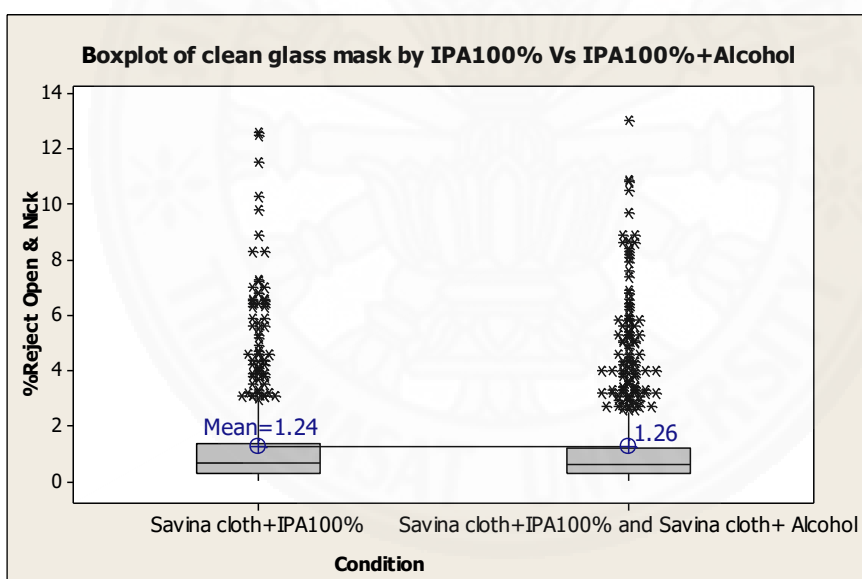
จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.000 ดังนั้น สรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าความถี่ในการตรวจสอบและทำความสะอาดแม่แบบ มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

5) แม่แบบที่ใช้ในการถ่ายเส้นลายวงจรมีสะอาด มีคราบกาวติดของกระบวนการ RXLV ซึ่งปกติวิธีการทำความสะอาดจะใช้ผ้าชุบ IPA 100% เช็ด แต่วิธีการที่ทดสอบมีการใช้ผ้าชุบ แอลกอฮอล์เพิ่มเข้าไปด้วย ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าอุปกรณ์ และวัสดุในการทำความสะอาดแม่แบบที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{IPA}} = \mu_{\text{IPA+Alcohol}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{IPA}} \neq \mu_{\text{IPA+Alcohol}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



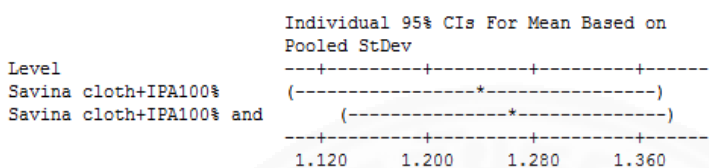
ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการทำความสะอาดด้วยผ้าชุบ IPA และ IPA+Alcohol

One-way ANOVA: Clean glass mask from IPA100% versus IPA100%+Alcohol

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	0.24	0.24	0.08	0.783
Error	1403	4364.56	3.11		
Total	1404	4364.80			

S = 1.764 R-Sq = 0.01% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev
Savina cloth+IPA100%	636	1.236	1.724
Savina cloth+IPA100% and Savina cloth+Alcohol	769	1.263	1.796



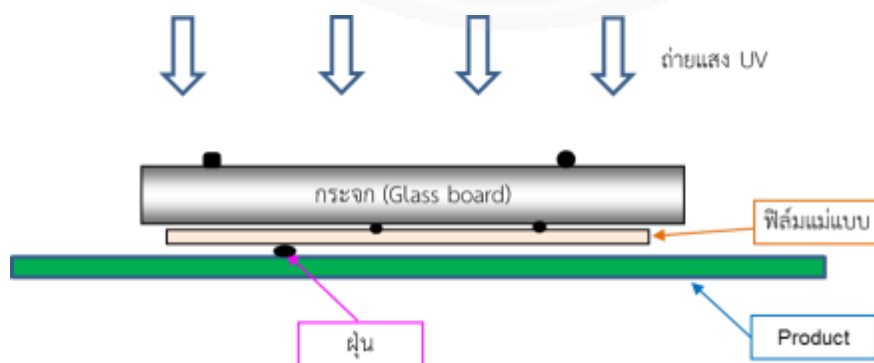
Pooled StDev = 1.764

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.783 ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าการเพิ่มอุปกรณ์และวัสดุในการทำความสะอาดแม่แบบ (ผ้าชุบแอลกอฮอล์) ไม่มีผลกระทบต่อการศึกษาข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

กระบวนการ RXD

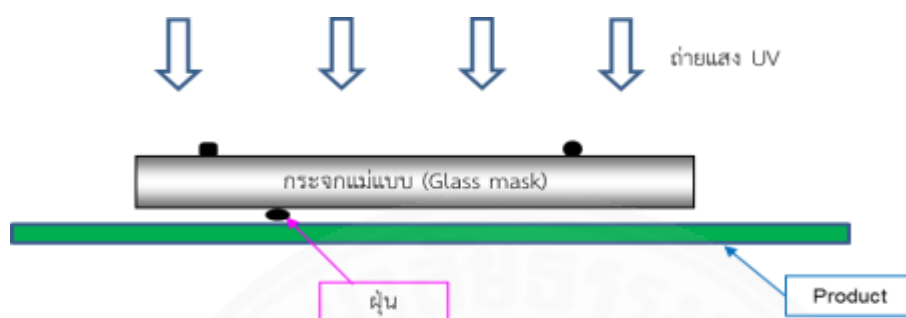
1) ชนิดของแม่แบบที่ใช้ถ่ายแสงของกระบวนการ RXD จากการวิเคราะห์พบว่าการติดตั้งแม่แบบก่อนนำไปถ่ายแสง 2 ชนิด คือ

- การพิมพ์ลายแบบลงบนแผ่นฟิล์ม (Film mask) แม่แบบก่อน แล้วนำแผ่นฟิล์มมาติดบนกระจกก่อนนำไปถ่ายแสง ทำให้ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกต่างๆ ติดได้ 3 บริเวณ คือ ติดกระจกด้านบน ติดระหว่างแผ่นฟิล์มกับกระจก และติดบนฟิล์มแม่แบบ ตามภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 การใช้ Film เป็นแม่แบบและลักษณะที่ฝุ่นสามารถเข้าไปติดได้

■ การพิมพ์ลายแบบลงบนกระจก (Glass mask) โดยตรงทำให้ไม่ต้องติดฟิล์ม และสามารถลดความเสี่ยงในการมีฝุ่นไปติดระหว่างการฉายแสง ซึ่งฝุ่นติดได้ 2 บริเวณ คือ ติดกระจกด้านบน และติดกระจกด้านล่างดังภาพที่ 4.11



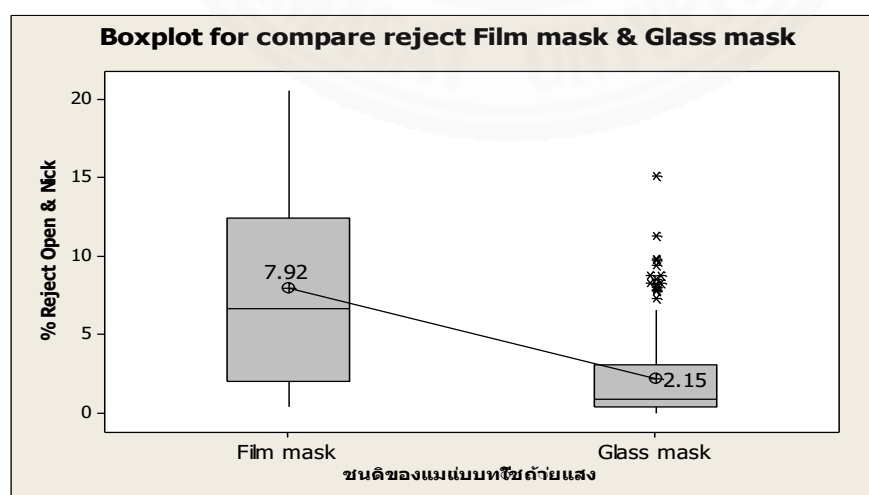
ภาพที่ 4.11 การใช้ Glass เป็นแม่แบบและลักษณะที่ฝุ่นสามารถเข้าไปติดได้

ดังนั้น จึงมีการทดลองเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ฟิล์มเป็นแม่แบบและกระจกเป็นแม่แบบ โดยกำหนดสมมติฐานว่าชนิดของแม่แบบที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{Film}} = \mu_{\text{Glass}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{Film}} \neq \mu_{\text{Glass}}$$

ซึ่งผลการทดลองได้ดังนี้

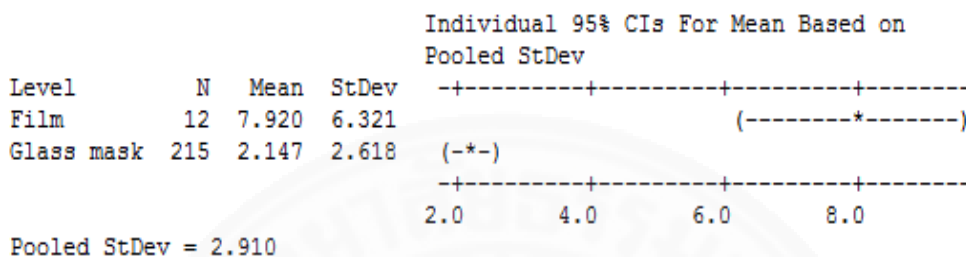


ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการใช้ฟิล์มและกระจกเป็นแม่แบบ

One-way ANOVA: Open+Nick Reject by compare Film & Glass mask

Source	DF	SS	MS	F	P
Mask	1	378.83	378.83	44.72	0.000
Error	225	1905.84	8.47		
Total	226	2284.67			

S = 2.910 R-Sq = 16.58% R-Sq(adj) = 16.21%



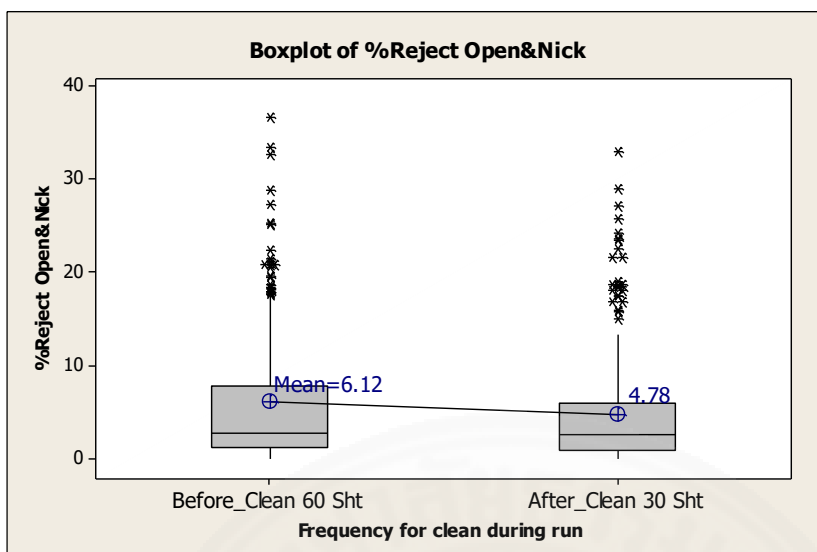
ดังนั้น สรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ One-way ANOVA นี้สามารถอธิบายเกี่ยวกับข้อมูลได้เป็นอย่างดี และจากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.000 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าชนิดของแม่แบบที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

2) ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานไม่เหมาะสมของกระบวนการ RXD โดยการเปลี่ยนความถี่ในการทำความสะอาด ทุก 60 เป็น 30 แผ่น เนื่องจากต้องการตรวจสอบว่าการที่ลดความถี่ในการทำความสะอาดลงจะสามารถลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องได้หรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่าความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{60 \text{ sheet}} = \mu_{30 \text{ sheet}}$$

$$H_1 : \mu_{60 \text{ sheet}} \neq \mu_{30 \text{ sheet}}$$

โดยได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ ทุกๆ 60 และ 30 แผ่น ของกระบวนการ RXD

One-way ANOVA: %Reject Open&Nick versus Frequency for clean

Source	DF	SS	MS	F	P
Frequency clean	1	219.5	219.5	5.05	0.025
Error	490	21311.5	43.5		
Total	491	21531.1			

S = 6.595 R-Sq = 1.02% R-Sq(adj) = 0.82%

Level	N	Mean	StDev
1Before_Clean 60 Sht	221	6.124	7.265
2After_Clean 30 Sht	271	4.781	5.993

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

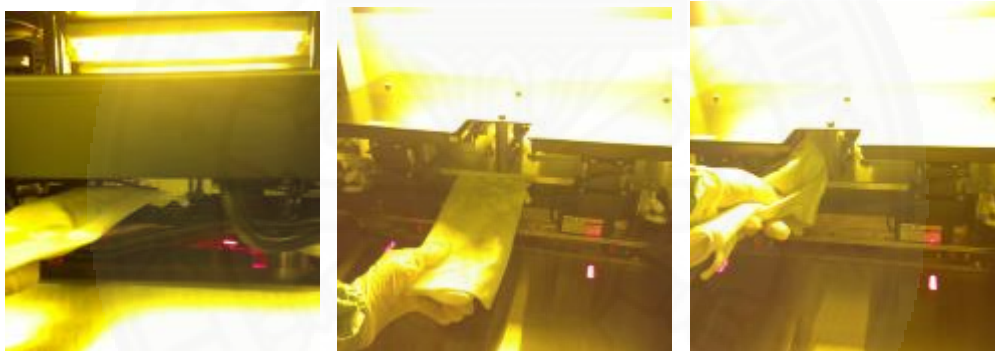
Level	Lower CI	Upper CI
1Before_Clean 60 Sht	4.80	6.40
2After_Clean 30 Sht	4.00	5.60

Pooled StDev = 6.595

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.025 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ ทุกๆ 60 และ 30 แผ่น ของกระบวนการ RXD ที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

3) วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายภาพเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ของกระบวนการ RXD

เนื่องจากเครื่องถ่ายภาพเพื่อสร้างเส้นลายวงจรมีจุดอับหลายจุด จึงทำให้การทำความสะอาดของพนักงานไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะจุดที่เป็นส่วนสำคัญซึ่งอยู่ด้านบนกระจกแม่แบบ และสามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ตลอดเวลาในระหว่างที่เครื่องจักรทำการถ่ายภาพ ซึ่งบริเวณนี้เรียกว่า ฝาครอบด้านบน หรือเรียกว่า Under cover mask frame ดังนั้นบริเวณจุดนี้จึงเป็นจุดสำคัญที่จะทำให้เกิดการสะสมของฝุ่น และรวมทั้งจุดสำคัญอื่นๆ ของเครื่องจักรอีกด้วย ในการทำความสะอาดจะใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์แล้วเช็ดตามจุดต่างๆ ในเครื่องจักร ตามภาพที่ 4.14 โดยได้กำหนดวิธีการทำความสะอาดบริเวณดังกล่าวให้เป็นการทำความสะอาดแบบพิเศษ 1 (Weekly & Special clean 1) ที่เพิ่มมาจากวิธีการทำความสะอาดแบบปกติ (Weekly Clean) ที่พนักงานปฏิบัติ



ภาพที่ 4.14 วิธีการทำความสะอาดเครื่องจักรบริเวณใต้ฝาครอบด้านบนด้วยผ้าชุบแอลกอฮอล์

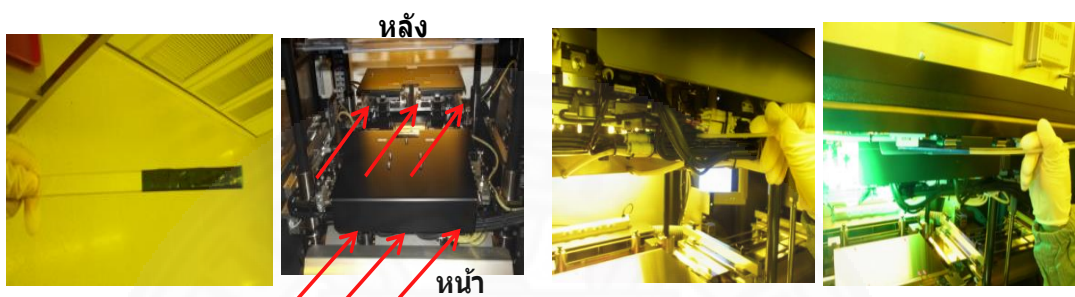
โดยการกำหนดสมมติฐานว่าวิธีการทำความสะอาดแบบปกติ (Weekly clean) และแบบพิเศษ (Weekly & Special clean 1) ที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{weekly clean}} = \mu_{\text{weekly+specisl clean 1}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{weekly clean}} \neq \mu_{\text{weekly+specisl clean 1}}$$

โดยได้ผลลัพธ์ดังนี้

แต่เนื่องจากที่มีการติดตามผลการทำความสะอาดของพนักงาน พบว่ายังมีฝุ่นหลงเหลืออยู่ ซึ่งเป็นฝุ่นที่หลุดออกจากผ้าที่ใช้ทำความสะอาดแล้วกลับไปติดเครื่องจักรเหมือนเดิม ดังนั้น จึงทำการเปลี่ยนวิธีการจากการใช้ผ้าทำความสะอาดใต้ฝาครอบเครื่องจักรมาเป็นการใช้แผ่นเทปกาว หรือเรียกว่า Sticky mat ซึ่งมีความเหนียวเพียงเล็กน้อยเท่านั้นมาพันกับแท่ง Acrylic แล้วใช้ทำความสะอาดแทน อีกทั้งสามารถทำความสะอาดในจุดที่แคบได้ดียิ่งขึ้นด้วย



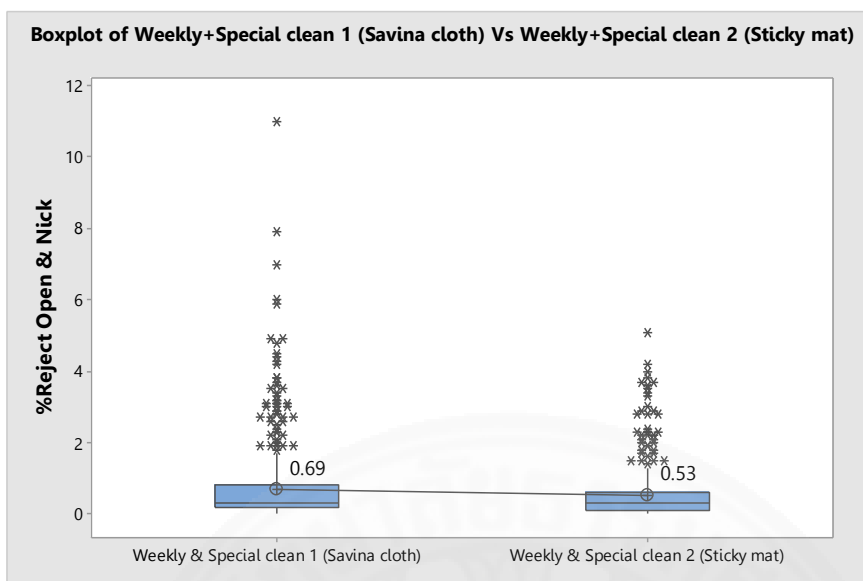
ภาพที่ 4.16 วิธีการทำความสะอาดเครื่องจักรบริเวณใต้ฝาครอบด้านบนด้วย Sticky mat

โดยการกำหนดสมมติฐานว่าวิธีการทำความสะอาดแบบปกติโดยใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เป็นแบบพิเศษ 1 (Weekly & Special clean 1) และโดยใช้ Sticky mat แบบพิเศษ 2 (Weekly & Special clean 2) ซึ่งเป็นวัสดุที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่ออาการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{Weekly \& Special clean 1}} = \mu_{\text{Weekly \& Special clean 2}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{Weekly \& Special clean 1}} \neq \mu_{\text{Weekly \& Special clean 2}}$$

โดยได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.17 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างวิธีการทำความสะอาดแบบปกติและแบบพิเศษ

One-way ANOVA: Compare method clean by Savina cloth Vs Sticky mat

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	6.104	6.104	6.58	0.010
Error	965	895.541	0.928		
Total	966	901.645			

S = 0.9633 R-Sq = 0.68% R-Sq(adj) = 0.57%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Savina cloth	563	0.6909	1.0823	(-----*-----)
Sticky mat	404	0.5298	0.7672	(-----*-----)

0.50 0.60 0.70 0.80

Pooled StDev = 0.9633

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.010 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าวิธีการทำความสะอาดโดยวัสดุที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

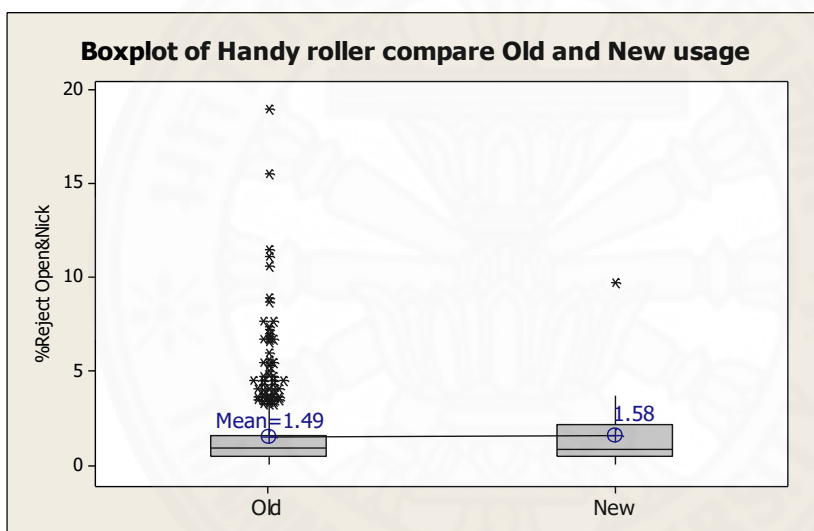
และเนื่องจากวิธีการทำความสะอาดแบบพิเศษ 2 ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการทำความสะอาดแบบพิเศษ 1 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการทำความสะอาดแบบพิเศษ 2 นี้ในขั้นตอนต่อไปของการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆ ของกระบวนการให้เหมาะสมและเป็นไปตามความต้องการ

4) Handy roller ที่ใช้ทำความสะอาด Master ไม่เหนียวทำให้ทำความสะอาด
 ฝุ่นได้ไม่หมด ของกระบวนการ RXD จึงทำการเปรียบเทียบระหว่าง Handy roller เก่า (ซึ่งที่มีอายุการใช้งาน
 ผ่านไปเป็นระยะเวลา 1 เดือน) และ Handy roller ใหม่ ซึ่งผิวของลูกกลิ้งจะมีความเหนียวกว่า
 ลูกกลิ้งที่ถูกใช้งานไปแล้ว โดยกำหนดสมมติฐานว่าความเหนียวของ handy roller เก่ากับใหม่ มี
 ผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{Old} = \mu_{New}$$

$$H_1 : \mu_{Old} \neq \mu_{New}$$

ได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบสมมติฐาน Handy roller ที่ใช้ทำความสะอาด Master ระหว่างเก่า
 และใหม่

One-way ANOVA: %Reject Open&Nick versus Handy roller time usage

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	0.16	0.16	0.04	0.838
Error	502	1911.34	3.81		
Total	503	1911.50			

S = 1.951 R-Sq = 0.01% R-Sq(adj) = 0.00%

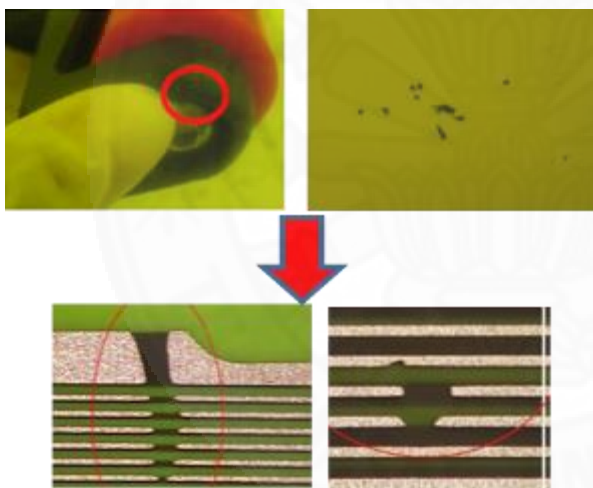
Level	N	Mean	StDev
1Old	480	1.492	1.947
2New	24	1.575	2.044

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 1.951

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.838 ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าความเหนียวของ handy roller เก่ากับใหม่ ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

5) สันด้าม Handy roller ที่ใช้ clean แม่แบบ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำความสะอาดแม่แบบทุกๆ รอบที่ครบกำหนดการถ่ายแบบ เช่น การใช้ Handy roller ทำความสะอาดแม่แบบทุกๆ 30 sheet และเมื่อใช้บ่อยขึ้น สันด้าม Handy roller มีโอกาสไปชนกับชิ้นส่วนที่อยู่ภายในเครื่องจักรขณะทำความสะอาดจึงเกิดเศษเสี้ยนขึ้นที่สันด้ามได้ง่ายและมีเศษเสี้ยนหลุดออกมา ซึ่งปกติในที่กระบวนการ RXD จะมีรอบการทำความสะอาดทุกวัน และเนื่องจากพบว่าลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นมีขนาดใหญ่ จึงมีการตรวจสอบกลับและพบว่า สันด้าม Handy roller มีเศษเสี้ยนหลุดออกมา ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่เกิดข้อบกพร่อง จึงทำการทดลองโดยการกำหนดความถี่ของการทำความสะอาดลดลงทุก 2 ชั่วโมง



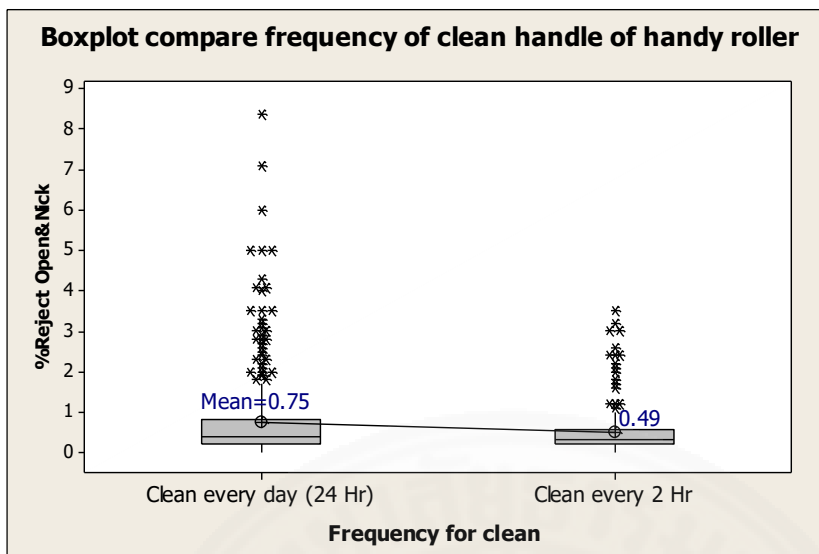
ภาพที่ 4.19 การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์จากสันของด้าม Handy roller ลอกเสียหาย

โดยกำหนดสมมติฐานว่าความถี่ของการทำความสะอาดสันของด้าม Handy roller มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{24 \text{ hr}} = \mu_{2 \text{ hr}}$$

$$H_1 : \mu_{24 \text{ hr}} \neq \mu_{2 \text{ hr}}$$

ได้ผลลัพธ์ดังนี้



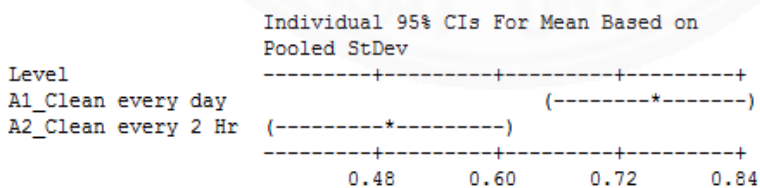
ภาพที่ 4.20 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความถี่ในการทำความสะอาดสันของด้าม Handy roller

One-way ANOVA: %Reject Open&Nick versus Frequency for clean

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	8.716	8.716	10.32	0.001
Error	559	471.912	0.844		
Total	560	480.628			

S = 0.9188 R-Sq = 1.81% R-Sq(adj) = 1.64%

Level	N	Mean	StDev
A1_Clean every day	348	0.7503	1.0715
A2_Clean every 2 Hr	213	0.4934	0.5888



Pooled StDev = 0.9188

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.001 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าความถี่ของการทำความสะอาดสันด้าม Handy roller มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

4.1.2 สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องประเภท Open / Nick / Surface Etching (Random)

1) อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์มปิดปกติ ของกระบวนการ DFLV ซึ่งสภาวะปกติในการผลิต คือ 100 °C

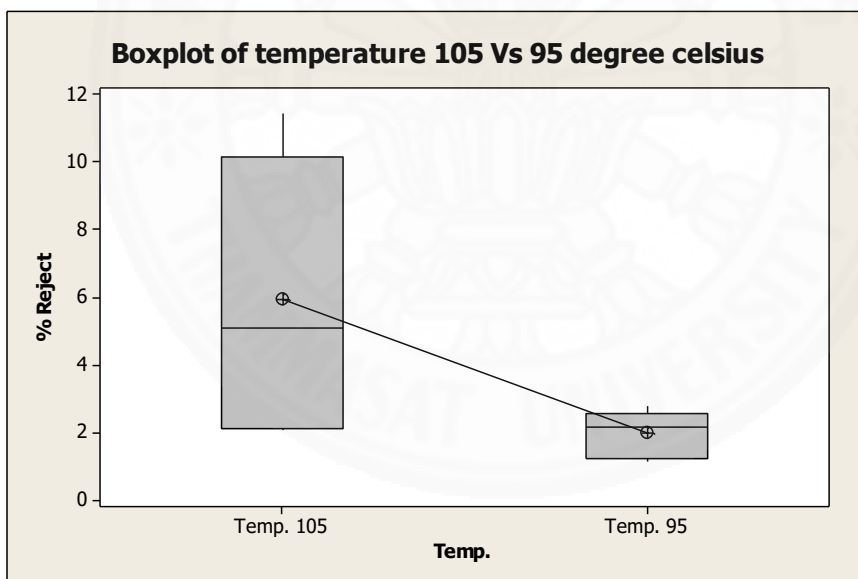
- Roll temp. 105 °C
- Roll temp. 95 °C

ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{105} = \mu_{95}$$

$$H_1 : \mu_{105} \neq \mu_{95}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

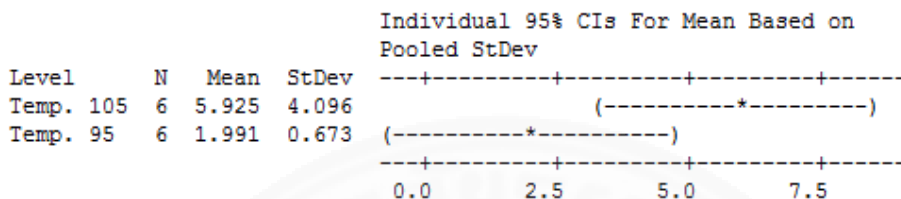


ภาพที่ 4.21 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างอุณหภูมิของ Roll laminate ที่ 105 °C และ 95 °C

One-way ANOVA: Reject versus Temp.

Source	DF	SS	MS	F	P
Temp.	1	46.44	46.44	5.39	0.043
Error	10	86.16	8.62		
Total	11	132.61			

S = 2.935 R-Sq = 35.02% R-Sq(adj) = 28.53%



Pooled StDev = 2.935

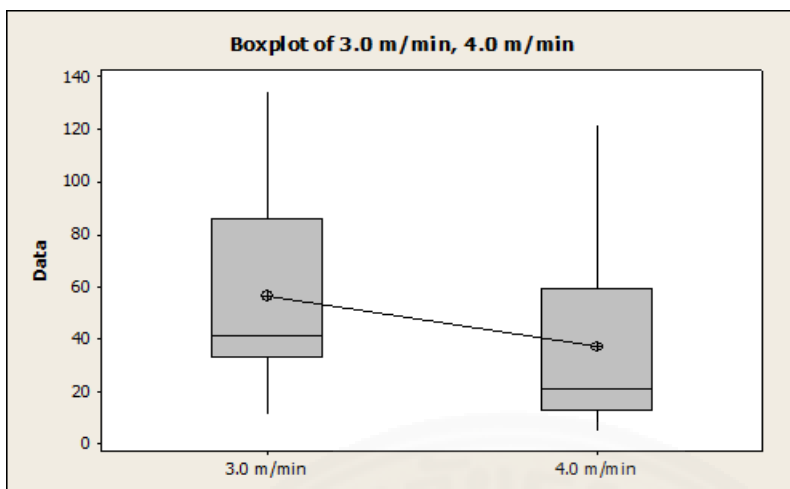
จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.043 ดังนั้น สรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

2) ความเร็วในการติดทรายฟิล์มไม่เหมาะสมกับงานประเภทนี้ของกระบวนการ DFLV ซึ่งปกติความเร็วของลูกกลิ้งที่ทำการติดทรายฟิล์มนั้นใช้ 3.0 m/min และต้องการทดสอบว่า ถ้าใช้ความเร็วเป็น 4.0 m/min สามารถลดปริมาณการเกิดข้อบกพร่องได้หรือไม่ ดังนั้นจึงกำหนดสมมติฐานว่าความเร็วของลูกกลิ้งที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{3.0 \text{ m/min}} = \mu_{4.0 \text{ m/min}}$$

$$H_1 : \mu_{3.0 \text{ m/min}} \neq \mu_{4.0 \text{ m/min}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.22 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความเร็วในการติดทรายฟิล์ม 3.0 และ 4.0 m/min.

One-way ANOVA: 3.0 m/min, 4.0 m/min

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	1121	1121	0.61	0.453
Error	10	18434	1843		
Total	11	19556			

S = 42.94 R-Sq = 5.73% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev
3.0 m/min	6	56.50	42.74
4.0 m/min	6	37.17	43.13

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

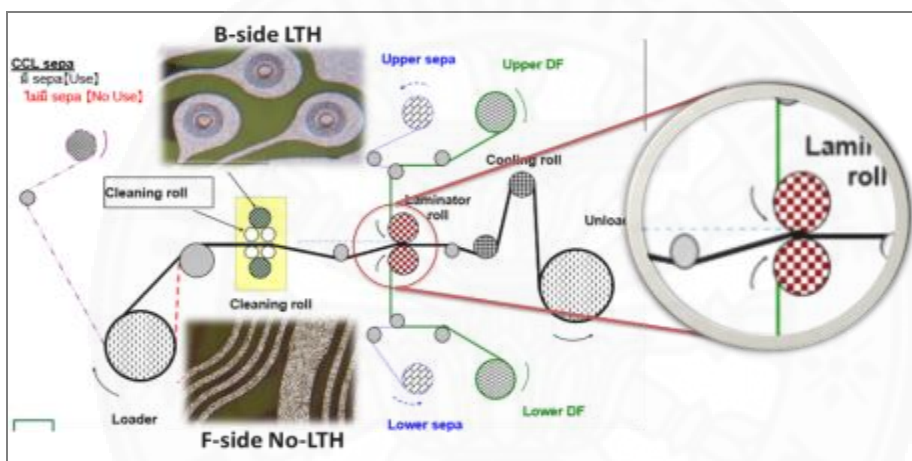
Pooled StDev = 42.94

Boxplot of 3.0 m/min, 4.0 m/min

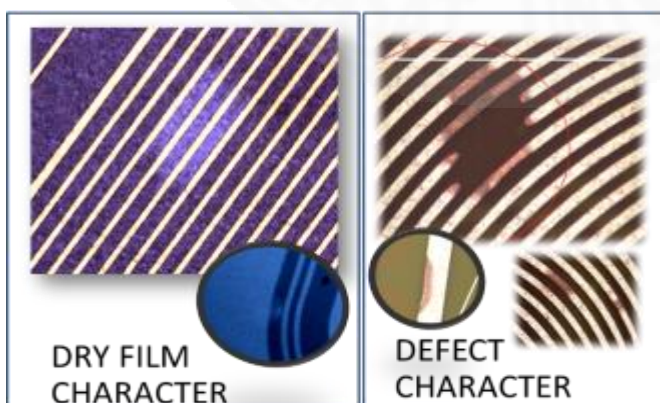
จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.453 ดังนั้น สรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าความเร็วของลูกกลิ้งที่แตกต่างกัน ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

3) ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้นด้านบน และด้านล่างต่างกันหรือไม่ของกระบวนการ DFLV ซึ่งสภาวะปกติในการผลิต คือ B-side up แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ EP-252 มีโครงสร้างด้าน B-side และ F-side ไม่เหมือนกัน โดยด้าน B-side จะเป็นด้านที่หนากว่า และมีการชุบเคลือบ Copper บนพื้นผิวและลงในรูเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้เมื่อลูกค่านำไปใช้งาน ส่วนด้าน F-Side เป็นด้านที่สร้างเส้นลายวงจรถูกตโดยด้านนี้จะมีเส้นลายวงจรถายเป็นจำนวนมากและบาง เนื่องจากไม่มีการชุบเคลือบ Copper จึงเกิดข้อสันนิษฐาน คือ การติดทรายฟิล์มโดยใส่งานให้ด้าน

F-side อยู่ด้านล่างจะถูกแรงการกดทับของ Roll laminate มากกว่าด้าน B-side ที่ใส่ด้านบน ดังนั้น ขณะติดทรายฟิล์มด้าน F-side ที่มีเส้นลายวงจรถายเป็นจำนวนมากจึงมีความเสี่ยงในการเกิดข้อบกพร่อง บนผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าด้าน B-side ลักษณะการใส่งานเพื่อติดทรายฟิล์มตามภาพที่ 4.23 และ นอกจากนี้ได้ทำการสุ่ม Product ที่นำไปล้างทรายฟิล์มในส่วนที่ไม่โดนแสงออกและนำกลับมา Inspect ด้วยกล้องไมโครสโคป พบว่า บนผิวทรายฟิล์มเป็นรอยต่างสีจางไม่สม่ำเสมอและเมื่อนำไป ผ่านกระบวนการกัด Copper ด้วยสารเคมีเพื่อสร้างเส้นลายวงจรถที่สมบูรณ์ พบว่าเส้นลายวงจรถขาดออกจากกัน ตามภาพที่ 4.24 ดังนั้น จึงทำการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับด้านในการใส่งานขณะทำการติดทรายฟิล์ม



ภาพที่ 4.23 ลักษณะการใส่งานเพื่อติดทรายฟิล์มที่เครื่อง DFLV



ภาพที่ 4.24 ลักษณะผิวของทรายฟิล์มที่สีไม่สม่ำเสมอและเส้นลายวงจรถหลังจบกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรถ

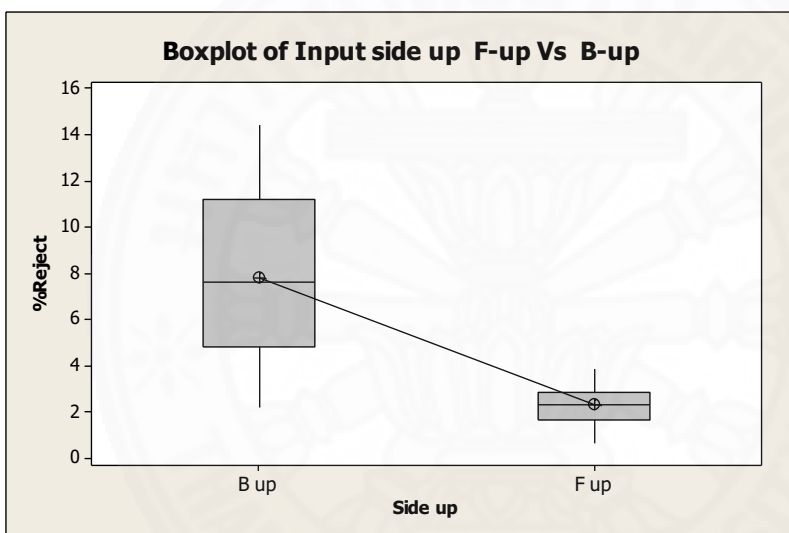
- Input F-side up
- Input B-side up

ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าด้านในการใส่งานขึ้นด้านบนที่แตกต่างกันมีผล
กระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{F\text{-side up}} = \mu_{B\text{-side up}}$$

$$H_1 : \mu_{F\text{-side up}} \neq \mu_{B\text{-side up}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

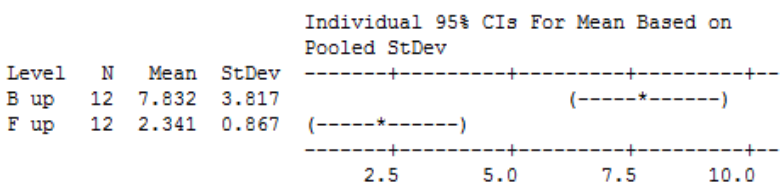


ภาพที่ 4.25 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่าง ด้านในการ Input งาน F-side up และ B-side up

One-way ANOVA: %Reject versus Side up

Source	DF	SS	MS	F	P
Side up	1	180.91	180.91	23.61	0.000
Error	22	168.57	7.66		
Total	23	349.48			

S = 2.768 R-Sq = 51.77% R-Sq(adj) = 49.57%



Pooled StDev = 2.768

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.000 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าด้านในการใส่งานขึ้นด้านบนที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

4) ความเข้มของแสงในการถ่ายเส้นลายวงจรต่ำของกระบวนการ RXD ซึ่งสถานะปกติในการผลิต คือ 40 mJ/cm^2

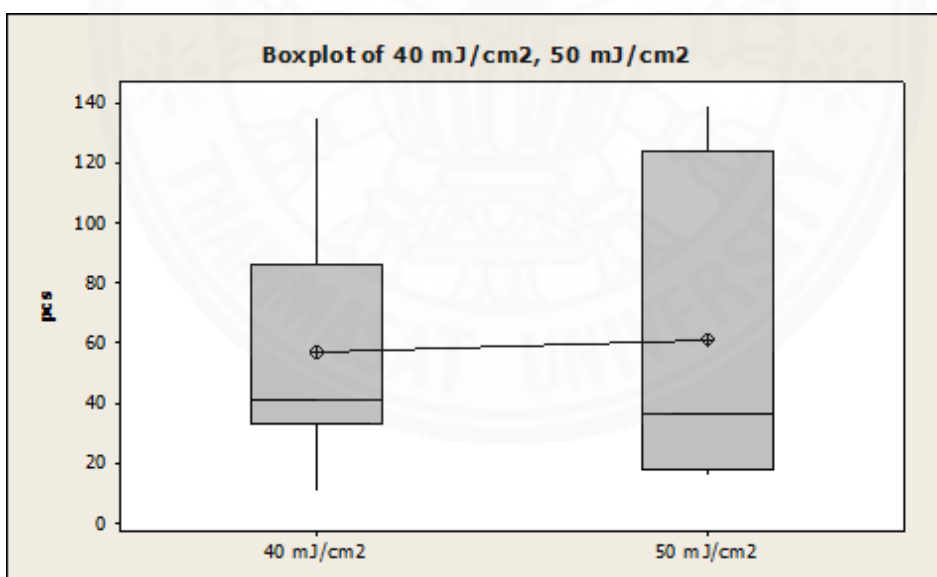
- UV intensity 50 mJ/cm^2
- UV intensity 40 mJ/cm^2

ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าความเข้มแสงที่ใช้ถ่ายแบบเส้นลายวงจรที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{40 \text{ mJ/cm}^2} = \mu_{50 \text{ mJ/cm}^2}$$

$$H_1 : \mu_{40 \text{ mJ/cm}^2} \neq \mu_{50 \text{ mJ/cm}^2}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

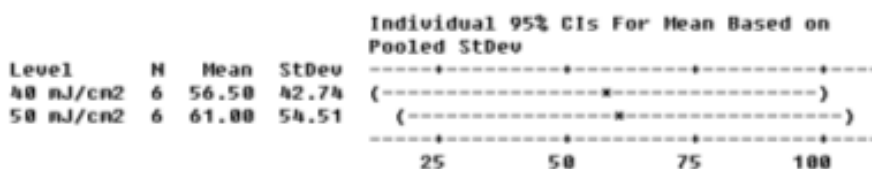


ภาพที่ 4.26 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างความเข้มแสงที่ใช้ถ่ายแบบเส้นลายวงจร 40 และ 50 mJ/cm^2 ของ RXD process

One-way ANOVA: 40 mJ/cm2, 50 mJ/cm2

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	61	61	0.03	0.877
Error	10	23994	2399		
Total	11	24054			

S = 48.98 R-Sq = 0.25% R-Sq(adj) = 0.00%



จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.877 ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าการความเข้มแสงที่ใช้ถ่ายแบบเส้นลายวงจรถัดกัน ไม่มีผลกระทบต่อการศึกษาการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

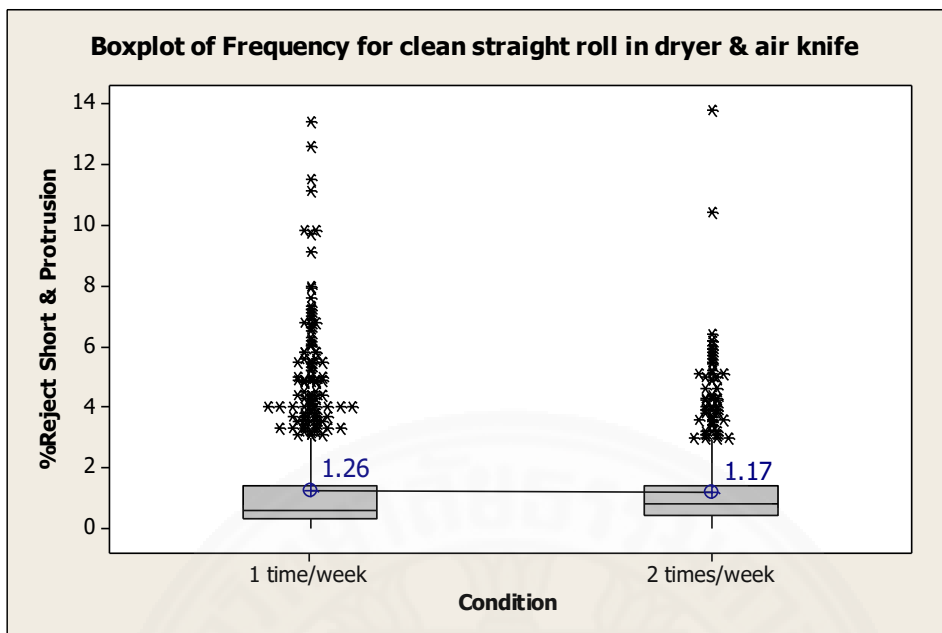
4.1.3 สาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องประเภท Short / Protrusion (Random)

1) ความถี่ในการทำความสะอาด roll pass line ที่ Air knife & Dryer ไม่เหมาะสมของกระบวนการ RSTC ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าการเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาด มีผลกระทบต่อการศึกษาการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{1 \text{ time/week}} = \mu_{2 \text{ time/week}}$$

$$H_1 : \mu_{1 \text{ time/week}} \neq \mu_{2 \text{ time/week}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



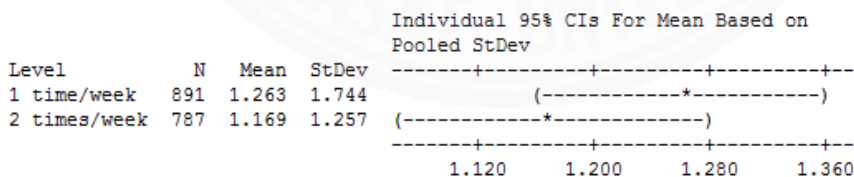
ภาพที่ 4.27 ผลการทดสอบสมมติฐาน ความถี่ในการทำความสะอาด Roll pass line ที่ Air knife & Dryer ของ RSTC process ระหว่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และสัปดาห์ละ 2 ครั้ง

One-way ANOVA: Frequency for clean straight roll in dryer & air knife

[1 time/week & 2 times/week]

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	3.68	3.68	1.56	0.211
Error	1676	3947.89	2.36		
Total	1677	3951.58			

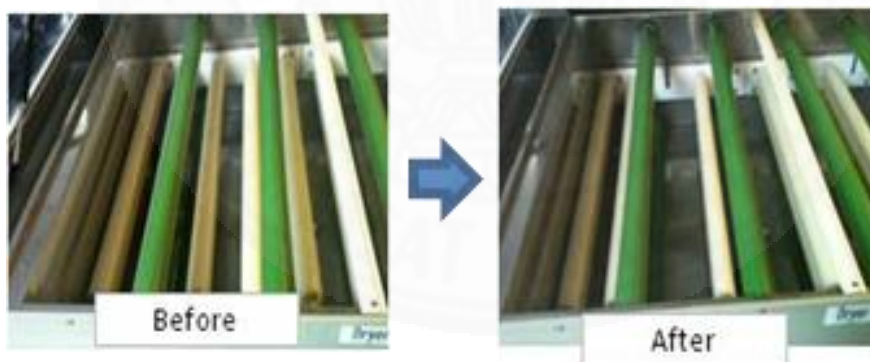
S = 1.535 R-Sq = 0.09% R-Sq(adj) = 0.03%



Pooled StDev = 1.535

จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.211 ดังนั้นสรุปได้ว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Do not reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าการเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาด ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

2) วิธีการทำความสะอาด Straight roll pass line ของเครื่องจักรและการลดจำนวน Straight roll บริเวณส่วน Air knife และ Dryer เมื่อเครื่องจักรใช้ run งานมากขึ้นจะเกิดคราบสกปรกติดตามบริเวณ Straight roll และสะสมเพิ่มมากขึ้น และเมื่อผลิตภัณฑ์ไหลผ่านนั้นจะทำให้คราบสกปรกเหล่านี้ติดตามผลิตภัณฑ์ไปด้วย ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ได้ การทำความสะอาดเครื่อง RSTC นั้นเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งวิศวกรกระบวนการได้เข้าตรวจสอบเครื่องจักรหลังทำความสะอาดแล้วพบว่า วิธีการทำความสะอาด Straight roll pass line ของเครื่องจักรยังไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน Straight roll บริเวณส่วน Air knife และ ส่วน Dryer มีมากเกินไปจนทำให้อัตราการมีคราบสกปรกติดที่ Straight roll สูงกว่าการมี Straight roll จำนวนน้อย และทำความสะอาดได้ไม่ทั่วถึง จึงทำการปรับเปลี่ยนวิธีการทำความสะอาดโดยเพิ่มการใช้ผ้าชุบน้ำล้างทุกบ่อ ส่วน Air knife และ ส่วน Dryer และส่วนอื่นๆ ที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านแล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง และในช่วงเวลาเดียวกันได้นำเอา Straight roll บางตำแหน่งที่ไม่จำเป็นในส่วนของ Air knife และ Dryer ออกซึ่งปริมาณที่เอาออกคิดเป็นร้อยละ 50 ของ Straight roll ทั้งหมดใน 2 ส่วนดังกล่าวเพื่อให้การทำความสะอาดได้ทั่วถึงและลดเวลาในการทำความสะอาด อีกทั้งยังลดอัตราการมีคราบสกปรกติดที่ Straight roll ด้วย



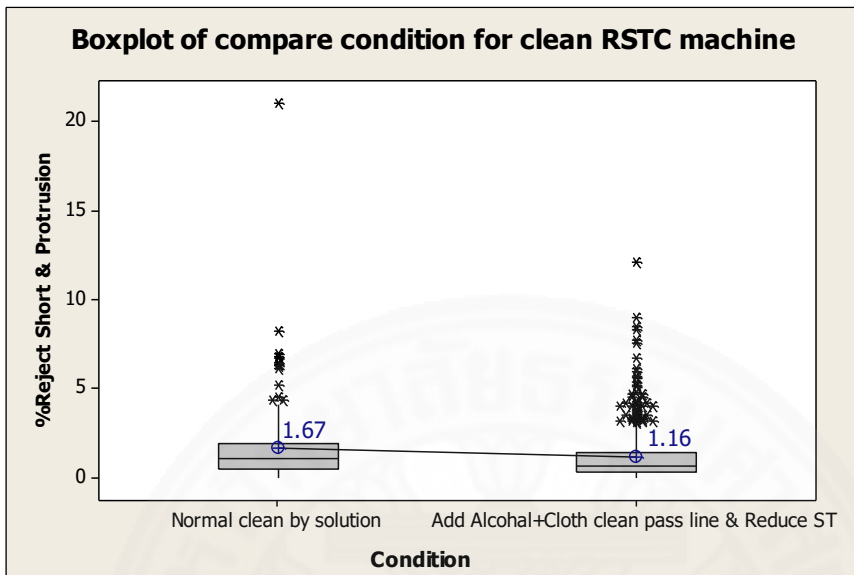
ภาพที่ 4.28 ความแตกต่างของจำนวน Straight roll ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุง

ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าวิธีการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{N-Clean} = \mu_{S-Clean}$$

$$H_1 : \mu_{N-Clean} \neq \mu_{S-Clean}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



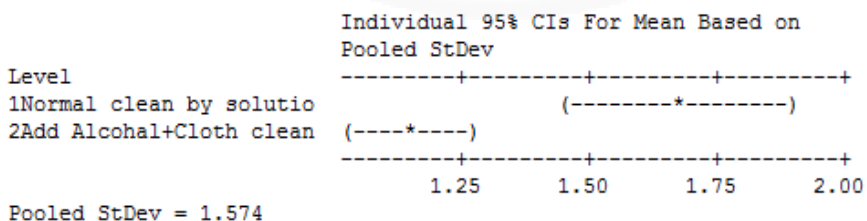
ภาพที่ 4.29 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติและวิธีการพิเศษ

One-way ANOVA: Clean pass line & reduce ST roll RSTC

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	36.40	36.40	14.69	0.000
Error	777	1924.63	2.48		
Total	778	1961.03			

S = 1.574 R-Sq = 1.86% R-Sq(adj) = 1.73%

Level	N	Mean	StDev
1Normal clean by solutio	185	1.666	2.094
2Add Alchohal+Cloth clean	594	1.158	1.373



จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.000 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าวิธีการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

3) มีการ run งาน โดยให้ดรายฟิล์มทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน เนื่องจากบริษัทมีการผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ชนิดของดรายฟิล์มจึงหลากหลายตามไปด้วย แต่เนื่องจากกระบวนการนี้มีจำนวนเครื่องจักรจำกัดจึงต้องทำการ run ดรายฟิล์มทุกชนิดรวมกัน และทำการตั้งโหมดการ run ตามชนิดของดรายฟิล์มที่ติดบนผลิตภัณฑ์ จึงมีการสันนิษฐานว่าการ run ดรายฟิล์มรวมกันอาจทำให้เครื่องเกิดความสกปรกมากขึ้นจึงทำการทดลองโดยการแยกผลิตภัณฑ์ที่ติดดรายฟิล์มชนิดเดียวกับ EP-252 เท่านั้นที่สามารถ run เครื่องจักรนี้ได้ เช่น

- เครื่องหมายเลข 01 : ผลิตภัณฑ์ EP-252 ที่ติดดรายฟิล์ม A และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ติดดรายฟิล์ม A

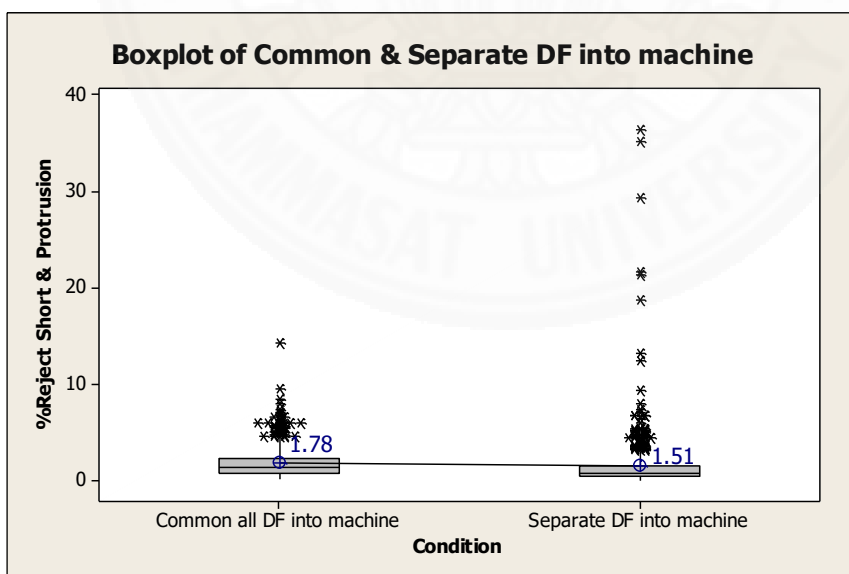
- เครื่องหมายเลข 02 : ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ติดดรายฟิล์มชนิด B

ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าการแยกดรายฟิล์มหลายชนิดออกจากกันเพื่อให้เหลือเพียง 1 ชนิด ต่อ 1 เครื่องจักร มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{\text{Non Sepa. DF}} = \mu_{\text{Sepa. DF}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{Non Sepa. DF}} \neq \mu_{\text{Sepa. DF}}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



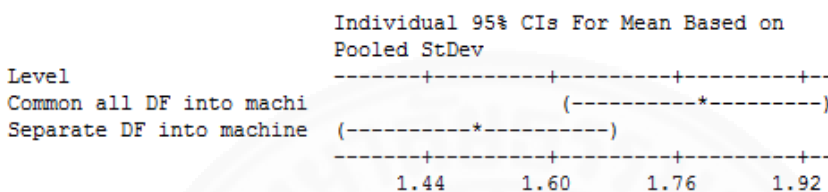
ภาพที่ 4.30 ผลการทดสอบสมมติฐานระหว่างการไม่แยกและการแยกดรายฟิล์มออกจากเครื่องจักร

One-way ANOVA: Common all DF & Separate DF into machine

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	26.52	26.52	5.06	0.025
Error	1369	7177.05	5.24		
Total	1370	7203.57			

S = 2.290 R-Sq = 0.37% R-Sq(adj) = 0.30%

Level	N	Mean	StDev
Common all DF into machi	710	1.785	1.496
Separate DF into machine	661	1.506	2.910



Pooled StDev = 2.290

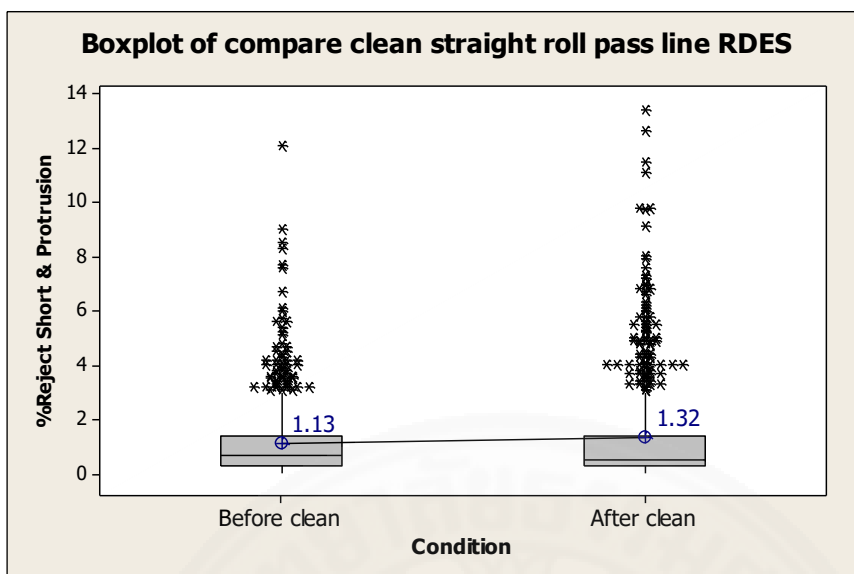
จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.025 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าการแยกทรายฟิล์มหลายชนิดออกจากกันเพื่อให้เหลือเพียง 1 ชนิด ต่อ 1 เครื่องจักร มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

4) มีผู้คนที่ Roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม (Develop bath) เนื่องจากวิธีการทำความสะอาดอาจไม่เพียงพอที่กระบวนการ RDES2 โดยที่สภาวะการทำความสะอาดปกติ (Normal Clean : N-Clean) พนักงานจะทำความสะอาดเครื่องจักรและ Roll pass line โดยการใช้สารเคมีไหลวน (Circulate) ภายในเครื่องจักรและล้างออกด้วยน้ำสะอาดเท่านั้น ซึ่งสันนิษฐานว่าการทำความสะอาดแบบนี้อาจไม่เพียงพอ จึงทดลองทำความสะอาด Roll pass line ด้วยผ้าชุบแอลกอฮอล์เพิ่ม แล้วนำไปล้างด้วยน้ำอีกรอบ ซึ่งเป็นวิธีพิเศษเพิ่มเข้าไป (Special Clean : S-Clean) ดังนั้น จึงกำหนดสมมติฐานว่าวิธีการทำความสะอาด Roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{N-Clean} = \mu_{S-Clean}$$

$$H_1 : \mu_{N-Clean} \neq \mu_{S-Clean}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.31 ผลการทดสอบสมมติฐานการทำความสะอาด Roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม ระหว่างก่อนทำและหลังทำ

One-way ANOVA: Clean pass line straight roll in RDES

Source	DF	SS	MS	F	P
Condition	1	13.13	13.13	5.11	0.024
Error	1433	3681.27	2.57		
Total	1434	3694.40			

S = 1.603 R-Sq = 0.36% R-Sq(adj) = 0.29%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
Before clean	766	1.129	1.301
After clean	669	1.321	1.890

1.08 1.20 1.32 1.44

Pooled StDev = 1.603

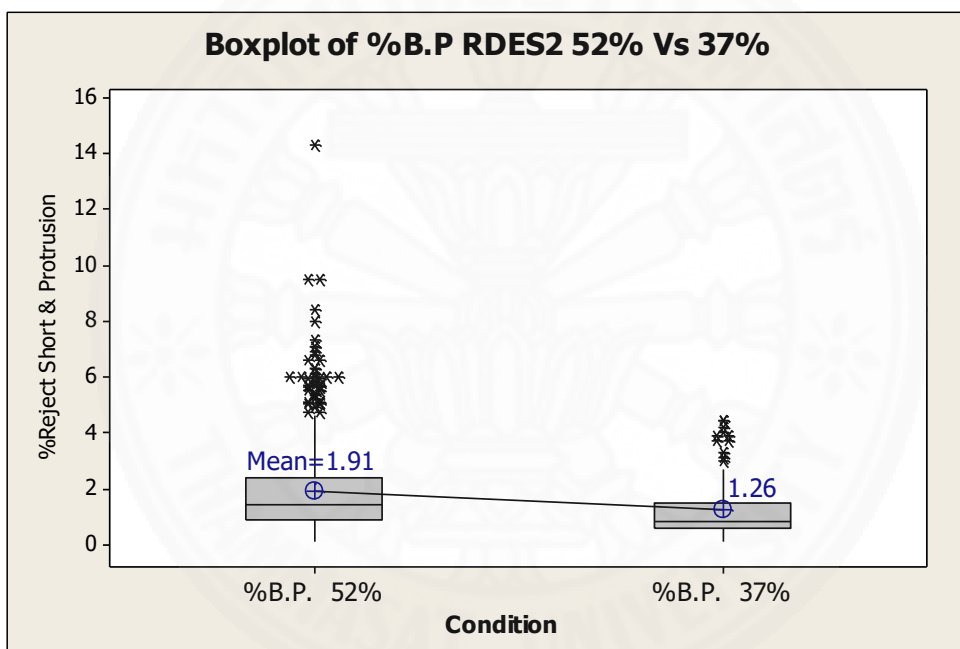
จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า P-Value = 0.024 ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสรุปได้ว่าวิธีการทำความสะอาด Roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากว่าปริมาณการเกิดข้อบกพร่องเพิ่มสูงขึ้นหรือหมายถึงผลการทดลองเป็นไปในทางที่แยกลง ดังนั้น การทดลองนี้จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาอีกในขั้นตอนต่อไป

5) ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%Break Point: %BP) ไม่เหมาะสม ซึ่ง %B.P. เป็นการคำนวณจุดที่ทรายฟิล์มถูกลอกออกจากตัวผลิตภัณฑ์เมื่อเทียบกับความยาวของบ่อสารเคมี อาจมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ของกระบวนการ RDES2 โดยกำหนดสมมติฐานว่า %BP ที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์หรือไม่

$$H_0 : \mu_{52\%} = \mu_{37\%}$$

$$H_1 : \mu_{52\%} \neq \mu_{37\%}$$

ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้



ภาพที่ 4.32 ผลการทดสอบสมมติฐานของ ค่า %BP ของบ่อ Development ระหว่าง 52% และ 37%

ตารางที่ 4.1

ผลการทดสอบสมมติฐานแสดงค่า P-Value Significant และ Non- Significant

ลักษณะของข้อบกพร่อง ที่เกิดขึ้น (Potential failure mode : Defect)	กระบวนการ Process	สาเหตุของความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น (Potential cause of failure)	R.P.N.	P-Value	ผลลัพธ์
Open / Nick (Same PT)	RXLV	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมาก	648	0.257	Non Significant
	RXLV	เครื่องจักรที่ใช้ในการถ่ายแบบเส้นลายวงจรมีฝุ่นจับทั้งด้านในและบริเวณรอบเครื่อง	378		
	RXLV	ด้านที่ไม่ต้องการสร้างเส้นลายวงจรหรือด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า (ด้านที่ไม่มีการสร้างเส้นลายวงจร) มีการใช้แสงในการถ่ายภาพต่ำ ทำให้เกิด reject ง่าย	576	0.002	Significant
	RXLV	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	504	0.217	Non Significant
	RXLV	ไม่มีการสลับ Master ออกมา inspect หรือความถี่ในการตรวจสอบน้อย	448	0.000	Significant
	RXLV	Master ที่ใช้ในการถ่ายเส้นลายวงจรไม่สะอาด มีคราบขาวติด	294	0.783	Non Significant
	RXD	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	720	0.000	Significant
	RXD	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานไม่เหมาะสม	576	0.025	Significant
	RXD	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมาก	648	0.010	Significant

	RXD	Handy roller ที่ใช้ทำความสะอาด master ไม่เหนียวทำให้ทำความสะอาดฝุ่นได้ไม่หมด	576	0.838	Non Significant
	RXD	สันด้าม handy roller ที่ใช้ clean แม่แบบ มีเศษเสี้ยนหลุดออกมาและไม่มีกร clean	245	0.001	Significant
Open / Nick / Surface Etching (Random)	DFLV	อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์มผิดปกติ	648	0.043	Significant
	DFLV	ความเร็วในการติดทรายฟิล์มไม่เหมาะสมกับงานประเภทนี้	576	0.453	Non Significant
	DFLV	ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้นด้านบน และด้านล่างต่างกันหรือไม่	448	0.000	Significant
	RXD	ความเข้มของแสงในการถ่ายเส้นลายวงจรต่ำ	252	0.877	Non Significant
Short & Protrusion (random)	RSTC	ความถี่ในการทำความสะอาด roll pass line ที่ Air knife & Dryer ไม่เหมาะสม	504	0.211	Non Significant
	RSTC	วิธีการทำความสะอาด straight roll pass line ของเครื่องจักรไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน straight roll บริเวณส่วน Air knife และ ส่วน Dryer มีมากเกินไปจนความจำเป็น	448	0.000	Significant
	RDES2	มีการ run งาน โดยให้ dry film ทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องเดียวกัน	512	0.025	Significant
	RDES2	มีฝุ่นติดที่ roll pass line ในบ่อล้างทรายฟิล์ม (Develop bath) เนื่องจากวิธีการทำความสะอาดอาจไม่เหมาะสม	504	0.024	Non-Significant (เพราะ After reject สูงขึ้น)
	RDES2	ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อการเกิด ข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	448	0.000	Significant

4.1.4 การคัดกรองสาเหตุหลักของปัญหาในการทำให้เกิดข้อบกพร่อง

จากการวิเคราะห์โดยการทดสอบสมมติฐานข้อ 4.1.1 ถึง 4.1.3 สามารถคัดกรองปัจจัยหลักตามประเภทของการเกิดข้อบกพร่องได้ดังนี้

1) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Open และ Nick (Same PT) มี 6 ปัจจัย คือ

- ด้านที่ไม่ต้องการสร้างเส้นลายวงจรหรือด้านที่ทำการถ่ายแสงเปล่า (ด้านที่ไม่มีการสร้างเส้นลายวงจร) มีการใช้แสงในการถ่ายภาพต่ำ ทำให้เกิด Reject ง่าย ของกระบวนการ RXLV คำนวณค่า P-Value = 0.002

- ไม่มีการสลับ Master ออกมา inspect หรือความถี่ในการตรวจสอบน้อย ของกระบวนการ RXLV คำนวณค่า P-Value = 0.000

- แม่แบบที่ใช้ run งาน ง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ของกระบวนการ RXD คำนวณค่า P-Value = 0.000

- ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานไม่เหมาะสม ของกระบวนการ RXD คำนวณค่า P-Value = 0.025

- วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมาก ของกระบวนการ RXD คำนวณค่า P-Value = 0.010

- สันด้าม handy roller ที่ใช้ clean แม่แบบ มีเศษเสี้ยนหลุดออกมาและไม่มีการ clean ของกระบวนการ RXD คำนวณค่า P-Value = 0.001

2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Open Nick และ Surface Etching (Random) มี 2 ปัจจัย คือ

- อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์มปิดปกติ ของกระบวนการ DFLV คำนวณค่า P-Value = 0.043

- ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้นด้านบน และด้านล่างต่างกันหรือไม่ ของกระบวนการ DFLV คำนวณค่า P-Value = 0.000

3) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเกิด Short และ Protrusion (Random) มี 3 ปัจจัย คือ

- วิธีการทำความสะอาด straight roll pass line ของเครื่องจักรไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน straight roll บริเวณส่วน Air knife และ ส่วน Dryer มีมากเกินไปจนความจำเป็น ของกระบวนการ RSTC คำนวณค่า P-Value = 0.000

- มีการ run งาน โดยให้ dry film ทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องเดียวกัน ของกระบวนการ RDES2 คำนวณค่า P-Value = 0.025
- ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ของกระบวนการ RDES2 คำนวณค่า P-Value = 0.000

4.2 การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement Phase)

ขั้นตอนนี้เป็น การปรับปรุงแก้ไข โดยการปรับตั้งค่าสาเหตุหลัก (Key Process Input Variable; KPIV) ด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆ ของกระบวนการให้เป็นไปตามความต้องการ หลังจากที่สามารถจับตัวแปรที่มีผลมากหรือสำคัญมากได้แล้ว ก็ลงมือแก้ไขปรับปรุงกระบวนการเพื่อขจัดหรือควบคุมตัวแปรที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละกระบวนการนั้นมีข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นด้านการเพิ่มผลผลิต (Productivity) ความยากง่ายในการปฏิบัติงานของพนักงาน แม้กระทั่งการทำสมดุลของสายงานผลิต เป็นการทำให้เวลา(เฉลี่ย) ที่ใช้หรือกำลังการผลิตในแต่ละกระบวนการในสายการผลิตให้มีความสมดุลกัน เพื่อให้สายงานผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด ไม่เกิดกระบวนการคอขวด (Bottleneck process) โดยอธิบายข้อจำกัดในการปรับตั้งค่าสภาวะของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

- **RXLV UV** การใช้ความเข้มแสงในการถ่ายแบบที่กระบวนการ RXLV ค่าตั้งแต่การติดตั้งเครื่องจักรถูกเซทไว้คือ 60 mJ/cm^2 แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละตัวมีโครงสร้างและขนาดเส้นลายวงจรใหญ่หรือเล็กแตกต่างกัน โดยเฉพาะ EP-252 ซึ่งมีขนาดเส้นลายวงจรที่เล็กมาก จึงต้องเพิ่มความเข้มแสงขึ้นไปเพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง แต่หากใช้ความเข้มแสงที่สูงเกินไป จะทำให้ใช้เวลาในการถ่ายแสงนานไปด้วย ส่งผลให้ Productivity ไม่ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ดังนั้นวิศวกรกระบวนการจึงตั้งค่ามากที่สุดที่สามารถผลิตได้โดยไม่ทำให้สายงานผลิตติดขัด คือ 160 mJ/cm^2

- **RXLV Frequency** ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งาน เนื่องจากลักษณะการผลิต Product เป็นแบบต่อเนื่องเรียกว่า โรลทูโรล (Roll to Roll) โดยงาน 1 roll มีทั้งหมด 3 lot จำนวน 360 sheet นั้นหมายความว่า 1 lot มี 120 sheet โดยสภาวะก่อนการปรับปรุงได้เซทความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบคือทุกๆ 360 sheet แต่เนื่องจากการสำรวจสภาพฝุ่นที่ติดอยู่บนแม่แบบหลังจากนำออกมาตรวจสอบแล้วพบว่ายังมีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยปกติจะมีการสลับแม่แบบเพื่อนำออกมาตรวจสอบสภาพและทำความสะอาดเพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่องต่อเนื่องทั้ง Roll และขณะที่ตรวจสอบก็จะทำการใส่แม่แบบอีกแผ่นเข้าไปเพื่อถ่ายแบบแทน โดยไม่ทำให้เสียเวลาในการผลิต แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงว่าระยะเวลาที่นำแม่แบบออกมาตรวจสอบและทำ

ความสะอาดนั้นต้องเสร็จทันเวลาพอดีกับการทำงานของเครื่องถ่ายแบบในแต่ละรอบการ run งาน โดยไม่เกิดการสูญเสียการรูดคอยของเครื่องจักร ดังนั้น วิศวกรกระบวนการจึงตั้งค่าความถี่ที่น้อยที่สุดที่สามารถผลิตได้โดยไม่ทำให้สายงานผลิตติดขัดคือทุกๆ 120 sheet

- **RXD Master** ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งานของกระบวนการ RXD เนื่องจากวัสดุที่ใช้ถ่ายแบบมี 2 ชนิด คือ फिल्म (Film mask) และ กระจก (Glass mask) ซึ่งทางบริษัททรนศึกษาที่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถผลิต Glass mask เองได้ โดยต้องใช้เวลาในการสั่งทำจากต่างประเทศ จึงต้องใช้ Film mask ในการผลิตก่อน จากการอธิบายในข้อ 4.1.1 ว่าการใช้ Film mask จะมีความเสี่ยงทำให้ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกต่างๆ สะสมได้มากกว่า ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนมาใช้ Glass mask เป็นแม่แบบแทน

- **RXD Frequency** ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานของกระบวนการ RXD ลักษณะการควบคุมจะคล้ายกับ RXLV Frequency แต่เนื่องจากที่กระบวนการนี้เป็นการสร้างเส้นลายวงจร จึงมีความเข้มงวดในการตรวจสอบแม่แบบมากขึ้น โดยสภาวะก่อนการปรับปรุงมีการตรวจสอบและทำความสะอาดแม่แบบทุกๆ 60 sheet (ครึ่ง lot) แต่เนื่องจากพบว่าหลังจากถ่ายแบบแต่ละรอบและนำแม่แบบออกมาตรวจสอบพบว่าบนแม่แบบยังมีฝุ่นติดอยู่และอัตราข้อบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการ RXD ยังสูงอยู่ ดังนั้น จึงทำการป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง (Open & Nick same PT) วิศวกรกระบวนการจึงลดความถี่ในการตรวจสอบแม่แบบเป็นทุกๆ 30 sheet

- **RXD Weekly Clean** วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจร ปกติจะมีการทำความสะอาดเครื่องจักรประจำทุกๆ สัปดาห์อยู่แล้ว แต่เนื่องจากเครื่องจักรมีบางจุดที่เป็นส่วนที่แคบและทำความสะอาดยาก จากการตรวจสอบหลังจากพนักงานทำความสะอาดเครื่องจักรพบว่าจุดที่แคบและทำความสะอาดยากนั้นยังมีฝุ่นและความสกปรกเหลืออยู่ ทางวิศวกรกระบวนการจึงหาวิธีในการทำความสะอาดเพิ่มขึ้นมา แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องคำนึงถึงการปฏิบัติงานของพนักงานด้วยว่าง่ายต่อการทำความสะอาดหรือไม่ มีอุปกรณ์ต่างๆ ในการนำมาใช้ทำความสะอาดหรือไม่ ดังนั้นจึงกำหนดใช้แผ่น Sticky mat ที่มีไข้อยู่ในห้องถ่ายแบบอยู่แล้วเพื่อมาทำเป็นอุปกรณ์และแปะเอาฝุ่นออกเพิ่มเติม หลังจากการทำความสะอาดเครื่องจักรประจำสัปดาห์เสร็จ

- **RXD Clean Handle** การทำความสะอาดสันด้าม Handy roller ปกติพนักงานจะทำความสะอาดประจำวัน (ทุก 24 ชม.) แต่เนื่องจากทางวิศวกรกระบวนการพบว่าสันด้าม Handy roller เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ จึงทำการเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดให้บ่อยขึ้น แต่ทั้งนี้เป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าต่อการผลิต ดังนั้น จึงพิจารณาให้พนักงานทำความสะอาดในช่วงเริ่มการทำงานทุกๆ ครั้งหลังจากพักเบรก เพื่อให้ง่ายต่อการปฏิบัติงาน

ของพนักงาน ดังนั้นรอบของการทำความสะอาดจึงกำหนดให้เป็นทุกๆ 2 ชม. ตัวอย่างรอบการทำงาน
 ความสะดวกเช่น 8:00 น., 10:15 น., 13:00 น., 15.15 น., 17.00 น. เป็นต้น

- **DFLV Temp.** การควบคุมอุณหภูมิของ Roll laminate ขณะติดทรายฟิล์ม การตั้ง
 ค่าอุณหภูมิในการติดทรายฟิล์มนั้น ในการติดตั้งเครื่องจักรได้มีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการติดทราย
 ฟิล์มเพื่อให้ครอบคลุมกับทุกๆผลิตภัณฑ์และง่ายต่อการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยก่อนการปรับปรุง
 ที่กระบวนการ DFLV ได้มีการทดสอบใช้อุณหภูมิ 90, 100 และ 110 องศาเซลเซียส โดยควบคุมค่า
 ด้านต่ำและค่าด้านสูง (Minimum-Maximum) อยู่ที่ +/- 5 องศาเซลเซียส โดยค่าก่อนปรับปรุงที่ตั้ง
 ไว้ คือ 100°C (95 - 105) เนื่องจากค่าการยึดติดของทรายฟิล์มบนตัวผลิตภัณฑ์ (Dry Film
 Adhesion) สามารถยึดติดได้ตามค่าเป้าหมาย รวมทั้งขนาดของเส้นลายวงจรถือสามารถสร้างได้ตาม
 ค่าที่ต้องการเช่นกัน แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ EP-252 มีพื้นผิวลักษณะพิเศษและเส้นลายวงจรถือขนาด
 เล็กจึงพบปัญหาข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ดังนั้น จึงทำการทดสอบ
 อุณหภูมิในช่วงของอุณหภูมิแคบลงกว่าเดิม คือ ใช้อุณหภูมิ 90, 95, 100 และ 105 องศาเซลเซียส
 โดยควบคุมค่าด้านต่ำและค่าด้านสูงที่ +/- 3 องศาเซลเซียส และค่าที่ควบคุมในด้านต่ำและค่าด้านสูง
 ถือเป็นค่าที่แคบที่สุดแล้วในการตั้งค่าความแม่นยำของเครื่องจักร DFLV

- **DFLV Input Side** ด้านในการใส่งานขณะทำการติดทรายฟิล์ม ผลิตภัณฑ์นั้นมี 2
 ด้าน เรียกว่าด้าน B-Side และ F-Side ก่อนปรับปรุงวิธีการปกติที่เครื่อง DFLV จะกำหนดให้การใส่
 ผลิตภัณฑ์ทุกตัวเป็นด้าน B-Side up เพื่อให้ง่ายการทำงานของพนักงาน แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์
 EP-252 มีโครงสร้างที่พิเศษกว่าผลิตภัณฑ์อื่นๆ ดังนั้นด้านให้การใส่ขณะติดทรายฟิล์มจึงถูกนำมา
 พิจารณาด้วย

- **RSTC Clean** วิธีการทำความสะอาด Straight roll pass line ของเครื่องจักรและ
 การลดจำนวน Straight roll บริเวณ Air knife และ Dryer เนื่องจากเป็นเครื่องจักรใหญ่จึงมีรอบการ
 ทำความสะอาดประจำทุกเดือนโดยใช้สารเคมีในการทำความสะอาดและล้างออกด้วยน้ำเปล่า แต่
 หลังจากการทำทำความสะอาดเสร็จวิศวกรกระบวนการได้ตรวจพบว่ายังไม่สะอาดเพียงพอและมีคราบ
 สกปรกบางส่วนติดอยู่ จึงเพิ่มวิธีการทำความสะอาดโดยใช้ผ้า Savina ชุบแอลกอฮอล์เช็ดอีกครั้งและ
 ตามด้วยการล้างออกด้วยน้ำสะอาด แต่ข้อจำกัดในการทำกิจกรรมนี้จะใช้เวลาในการทำสะอาด
 นาน จึงทำให้สูญเสียเวลาในการผลิตเป็นอย่างมาก ดังนั้นควรพิจารณาเรื่องความถี่ในการทำความสะอาด
 สะอาดที่เหมาะสมและสามารถทำได้กับกระบวนการนี้ จึงกำหนดให้การทำความสะอาด Straight
 roll แบบพิเศษนี้ตามรอบการทำงานทำความสะอาดประจำทุกเดือน สำหรับการลดจำนวน straight roll
 บริเวณ Air knife และ Dryer การเข้าไปตรวจสอบ ณ สถานที่ปฏิบัติงานจริงพบว่าฝุ่นเกาะตาม
 straight roll อยู่มากเนื่องจากบริเวณนี้เป็นจุดที่ใช้ลมเป่าและอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งก่อนม้วนเก็บเข้า

Roll เพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไป เนื่องจากบริเวณ Air knife และ Dryer ต้องใช้ลมร้อนเป่าเข้าไป ดังนั้น ตอนที่ทำการติดตั้งเครื่องจักรจึงใส่ straight roll เป็นจำนวนมากเพื่อผุ่ยให้ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านได้โดยที่ไม่ยับหรือเกิดการฉีกขาดซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดของส่วนนี้ ดังนั้นวิศวกรกระบวนการจึงได้ทำการทดลองลดจำนวน Straight roll ให้น้อยที่สุดโดยที่ผลิตภัณฑ์ไหลต้องผ่านโดยไม่เกิดปัญหาใดๆ ซึ่งการลดจำนวนลง 50% เป็นจำนวนที่เหมาะสม

- **RDES2 DF Sepa** การ run งาน โดยให้ทรายฟิล์มทุกชนิด run ผสมกันในเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน แต่ข้อจำกัดของกระบวนการนี้ คือ จำนวนเครื่องจักรมีจำกัด ดังนั้นวิศวกรกระบวนการจะต้องคำนวณปริมาณงาน (Capacity) ที่ run กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องให้สมดุลย์กันด้วย จึงไม่ยุ่งยากที่ Fix เครื่องจักรหากปริมาณการผลิตไม่มากพอ แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ EP-252 มีปริมาณมากจึงสามารถทำได้ แต่หากต้องทำในระยะยาวจริงจะต้องมีวางแผนการผลิตอย่างครอบคลุมถี่ถ้วนเพื่อให้การไหลของงานในแต่ละเครื่องจักรเกิดความสมดุลย์

- **RDES2 %BP** เป็นค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) หรือเป็นจุดเริ่มต้นที่สามารถล้างทรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงออกได้นั่นเอง การคำนวณ %BP เป็นไปตามเงื่อนไขของความยาวบ่อแต่ละบ่อ และทำการปรับ %BP โดยจะทำการควบคุมแรงดันของท่อ Spray สารเคมีในแต่ละบ่อเป็นหลัก ปกติจะคำนวณให้ล้างทรายฟิล์มออกบริเวณจุดกึ่งกลางของความยาวบ่อ Development ที่เปิดใช้ ถ้าต้องการให้ล้างออกเร็วก็จะทำการเพิ่มแรงดันของท่อ Spray ขึ้นอีก ถ้าต้องการให้ล้างออกช้าก็ปรับแรงดันท่อ Spray ให้น้อยลง แต่ข้อจำกัดของการทำวิธีนี้ คือ หากทรายฟิล์มถูกล้างออกเร็วเกินไปจะทำให้ ทรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงเพื่อนำไปสร้างเส้นลายวงจรเกิดความเสียหาย และทำให้ผลิตภัณฑ์มีรอยยับได้เนื่องจากการใช้แรงดัน Spray สูงเกินไป และหากทรายฟิล์มถูกล้างออกช้าเกินไปการล้างก็จะไม่สมบูรณ์ ทำให้อาจมีเศษของทรายฟิล์มเหลือติดไปบนผลิตภัณฑ์ได้ ก่อให้เกิดปัญหาตามมา ซึ่งก่อนการปรับปรุงได้ใช้ %BP ที่ 52% จากนั้นได้ทำการทดลองโดยการปรับแรงดัน Spray เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ %BP ที่ 37% ซึ่งนั่นหมายถึงทรายฟิล์มจะถูกล้างออกก่อนที่จะถึงกลางบ่อ ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาว่ามีรอยยับหรือไม่และเส้นลายวงจรมีความสมบูรณ์หรือไม่หลังการสร้างเสร็จ เพื่อยืนยันว่าเส้นลายวงจรไม่เกิดความเสียหาย จึงจะสามารถทำวิธีนี้ได้ ซึ่งจากการทดลองนี้ได้ผ่านการตรวจสอบเส้นลายวงจรแล้วและไม่เกิดปัญหาใดๆ จึงสามารถทำได้

การทดลองงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยประยุกต์ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ คือ Two-Way ANOVA สำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของข้อบกพร่องประเภท Open และ Nick (Same PT) ของกระบวนการ RXLV และข้อบกพร่องประเภท Open Nick และ Surface Etching (Random) ของกระบวนการ DFLV และการออกแบบ 2^{k-1} (Haft factorial design) สำหรับวิเคราะห์

ข้อบกพร่องประเภท Open และ Nick (Same PT) ของกระบวนการ RXD และข้อบกพร่องประเภท Short และ Protrusion ของกระบวนการ RSTC & RDES2 รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ทั้งหมด อธิบายตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองและเครื่องมือที่ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์

1	Open and Nick (Same PT)	RXLV 2 ปัจจัย	RXLV UV	ความเข้มแสงที่ใช้ในการถ่ายแบบ	2	60 mJ/cm ²	160 mJ/cm ²			Two-Way ANOVA
2			RXLV Frequency	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ	2	120 shts	360 shts			
3	Open and Nick (Same PT)	RXD 4 ปัจจัย	RXD Master	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน	2	Film	Glass			2 ⁴ (Full Factorial design)
4			RXD Frequency	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ	2	30 shts	60 shts			
5			RXD Weekly Clean	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นสายวงจร	2	Weekly Clean	Weekly + Special			
6			RXD clean Handle	ความถี่ในการทำความสะอาดส้นตาม handy roller	2	2 hrs	24 hrs			
7	Open Nick and Surface Etching	DFLV 2 ปัจจัย	DFLV Temp	อุณหภูมิของ Roll laminate	4	90	95	100	105	Two-Way ANOVA
8			DFLV Input Side	ด้านในการ input งาน	2	F-side up	B-side up			
9	Short and Protrusion (Radom)	RDES2 & RSTC 3 ปัจจัย	RSTC Clean	วิธีการทำความสะอาด และการลดจำนวน straight roll	2	Normal-Clean	Special-Clean			2 ³ (Full Factorial design)
10			RDES2 DF Sepa	การกำหนด dry film 1 ชนิดต่อเครื่องจักร 1 เครื่อง	2	Non-Separat	Separate			
11			RDES2 %BP	ค่า Treatment time ของป้อ Development (%BP)	2	37 %BP	52 %BP			

4.2.1 Open / Nick (Same PT)

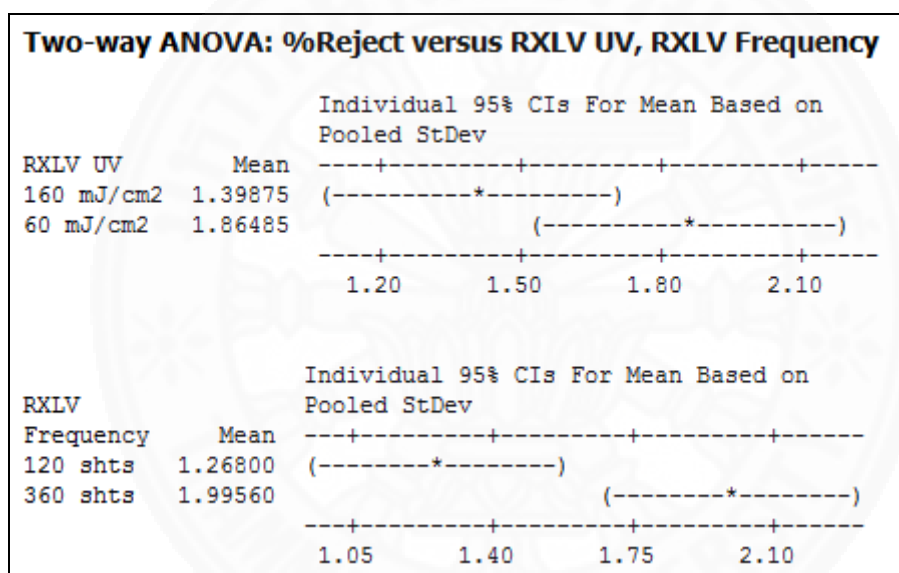
เนื่องจากลักษณะการเกิดข้อบกพร่องของกระบวนการ RXLV และ RXD แตกต่างกัน ดังนั้น จึงทำการแยกพิจารณาของแต่ละกระบวนการดังนี้

1) RXLV process มี 2 ปัจจัย คือ RXLV UV และ RXLV Frequency โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังนั้น จึงใช้ Two-Way ANOVA ในการวิเคราะห์ ผลที่ได้ตามตารางที่ 4.3

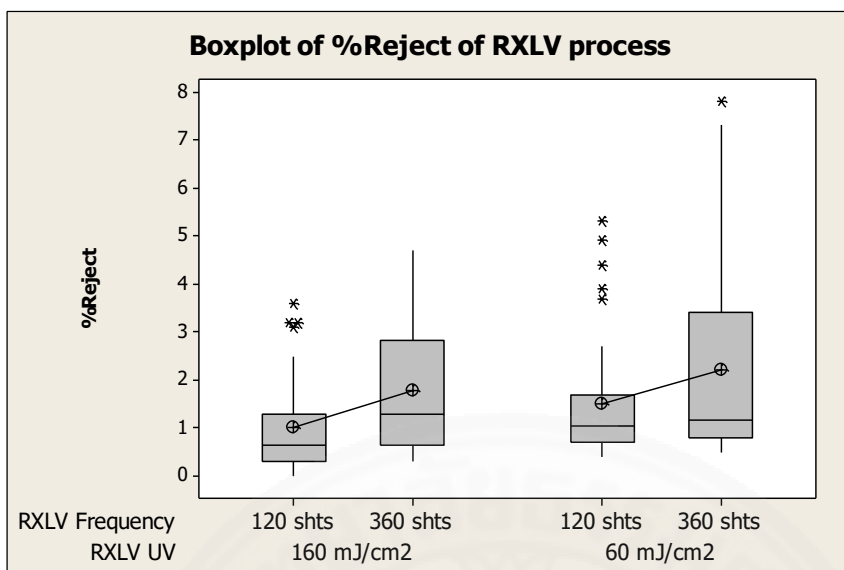
ตารางที่ 4.3

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency ด้วย Minitab 16

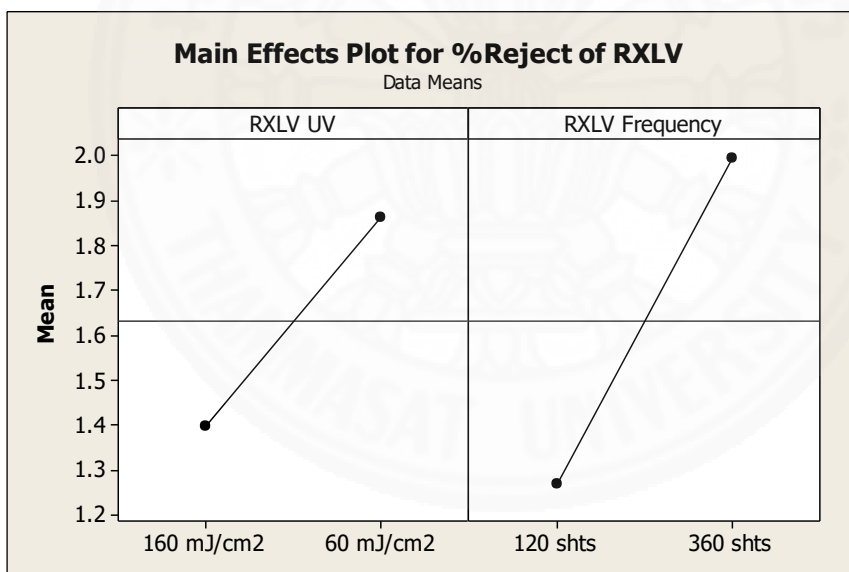
Source	DF	Sum of Squares	Mean Squares	F-Statistic	P-Value
RXLV UV	1	8.69	8.69	4.06	0.046
RXLV Frequency	1	21.176	21.1762	9.89	0.002
Interaction	1	0.025	0.0248	0.01	0.914
Error	156	333.944	2.1407		
Total	159	363.835			



ภาพที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ในแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency



ภาพที่ 4.34 แผนภาพกล่องแสดงผลในแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency



ภาพที่ 4.35 อิทธิพลหลักของค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของ 2 ปัจจัย RXLV UV และ RXLV Frequency

จากภาพที่ 4.31 ถึง ภาพที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ของกระบวนการ RXLV ระดับที่ทำให้ข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์เกิดน้อยกว่า ดังนี้คือ

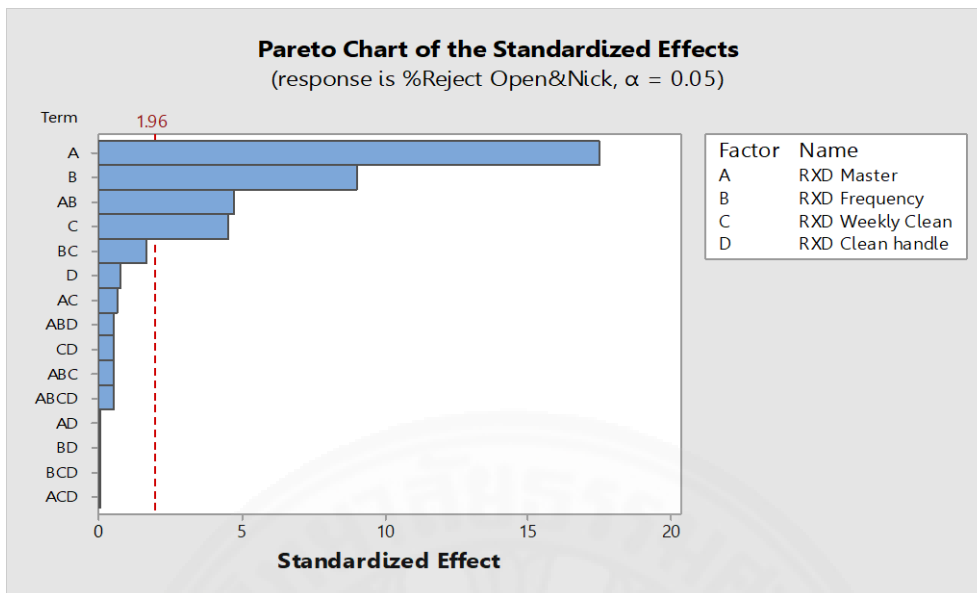
- ความเข้มแสง ณ ระดับที่ 1 คือ UV 160 mJ/cm²
- ความถี่ในการทำสะอาด ณ ระดับที่ 1 คือ ทุก 120 sheet

2) RXD process มี 4 ปัจจัย คือ RXD Master, RXD Frequency, RXD Weekly Clean และ RXD clean Handle โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังนั้น จึงใช้ 2^{4-1} Haft factorial design ในการวิเคราะห์ Design of Experiment (DOE) และได้ผลดังนี้

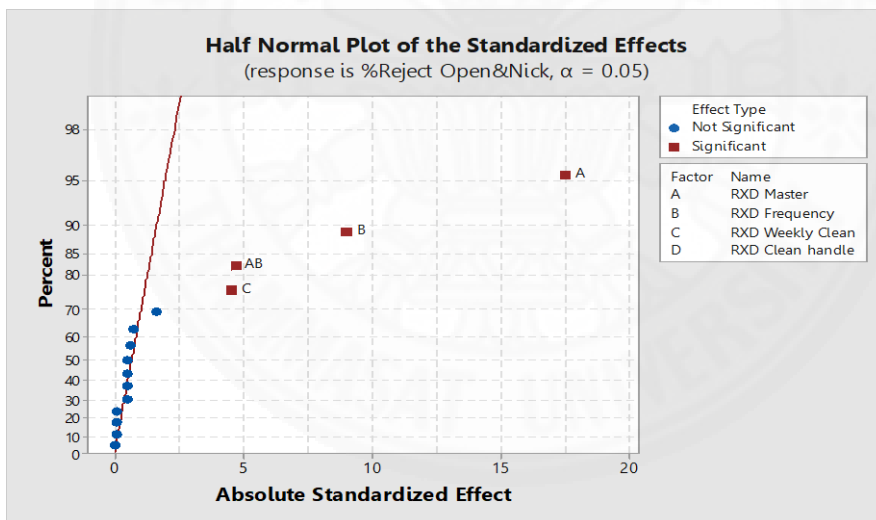
ตารางที่ 4.4

ผลการวิเคราะห์ P-Value ของแต่ละปัจจัย และระหว่างปัจจัยร่วมของ RXD process

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	15	11579.9	771.99	108.59	0.000
Linear	4	2967.7	741.92	104.36	0.000
RXD Master	1	2174.6	2174.58	305.89	0.000
RXD Frequency	1	578.7	578.75	81.41	0.000
RXD Weekly Clean	1	147.8	147.82	20.79	0.000
RXD Clean handle	1	4.2	4.19	0.59	0.443
2-Way Interactions	6	230.6	38.43	5.41	0.000
RXD Master*RXD Frequency	1	157.5	157.49	22.15	0.000
RXD Master*RXD Weekly Clean	1	2.9	2.87	0.4	0.525
RXD Master*RXD Clean handle	1	0.1	0.05	0.01	0.931
RXD Frequency*RXD Weekly Clean	1	19.3	19.31	2.72	0.099
RXD Frequency*RXD Clean handle	1	0.1	0.05	0.01	0.932
RXD Weekly Clean*RXD Clean handle	1	2	2	0.28	0.596
3-Way Interactions	4	4.1	1.04	0.15	0.965
RXD Master*RXD Frequency*RXD Weekly Clean	1	1.9	1.92	0.27	0.603
RXD Master*RXD Frequency*RXD Clean handle	1	2.1	2.06	0.29	0.591
RXD Master*RXD Weekly Clean*RXD Clean handle	1	0	0.01	0	0.971
RXD Frequency*RXD Weekly Clean*RXD Clean handle	1	0	0.03	0	0.945
4-Way Interactions	1	1.8	1.83	0.26	0.612
RXD Master*RXD Frequency*RXD Weekly Clean*RXD Clean handle	1	1.8	1.83	0.26	0.612
Error	5944	42256.7	7.11		
Total	5959	53836.6			



ภาพที่ 4.36 Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย



ภาพที่ 4.37 Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant

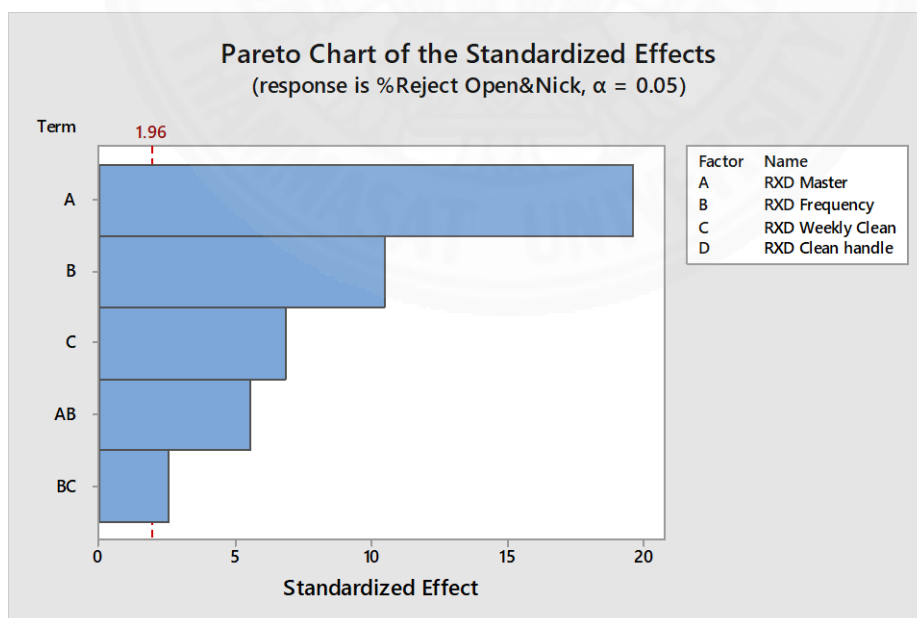
จากนั้นเราจึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาโมเดลสุดท้าย (Final Model) โดยการตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก แล้วทำการวิเคราะห์ผลใหม่อีกครั้ง พบว่าในแบบ Linear มี RXD Master, RXD Frequency, RXD Weekly Clean เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณค่า P-Value ได้ 0.000 เหมือนกันทั้ง 3 ปัจจัย และแบบ 2-Way Interaction มี RXD Master*RXD Frequency และ RXD Frequency*RXD Weekly Clean มีอิทธิพลร่วมกัน โดย

คำนวณค่า P-Value ได้ 0.000 และ 0.012 ตามลำดับ และจากโมเดลสุดท้ายนี้ทำให้ RXD Frequency*RXD Weekly Clean กลับมามีอิทธิพลร่วมกันมากขึ้น เหล่านี้จึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ผลที่ได้ตามตารางที่ 4.5

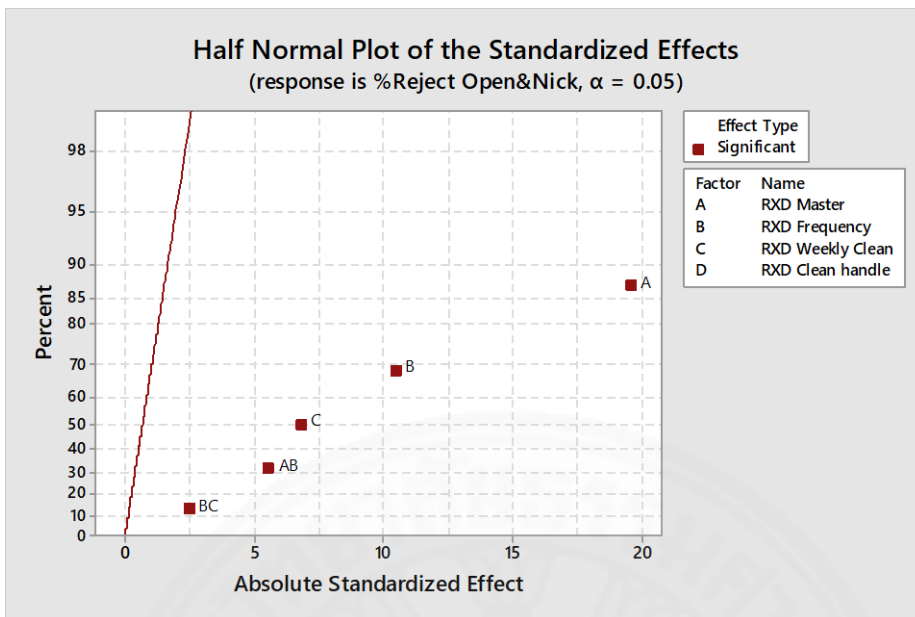
ตารางที่ 4.5

ผลการวิเคราะห์ P-Value แต่ละปัจจัยของ RXD process (Final model)

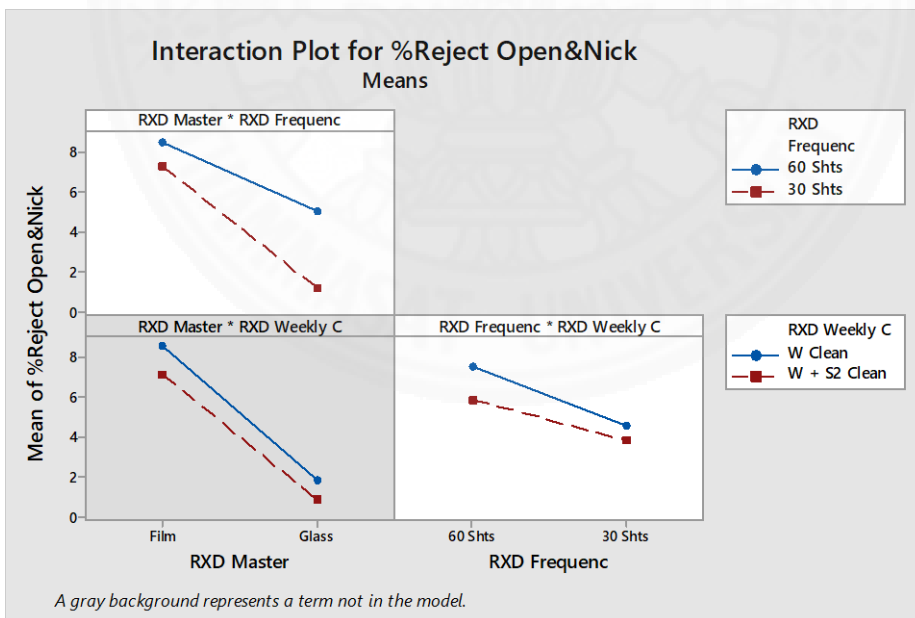
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	11565	2312.9	325.78	0.000
Linear	3	4076.7	1358.9	191.4	0.000
RXD Master	1	2730.1	2730.1	384.54	0.000
RXD Frequency	1	781.4	781.43	110.06	0.000
RXD Weekly Clean	1	331.4	331.44	46.68	0.000
2-Way Interactions	2	341.4	170.72	24.05	0.000
RXD Master*RXD Frequency	1	219.5	219.53	30.92	0.000
RXD Frequency*RXD Weekly Clean	1	44.6	44.57	6.28	0.012
Error	5954	42272	7.1		
Lack-of-Fit	10	15.2	1.52	0.21	0.995
Pure Error	5944	42257	7.11		
Total	5959	53837			



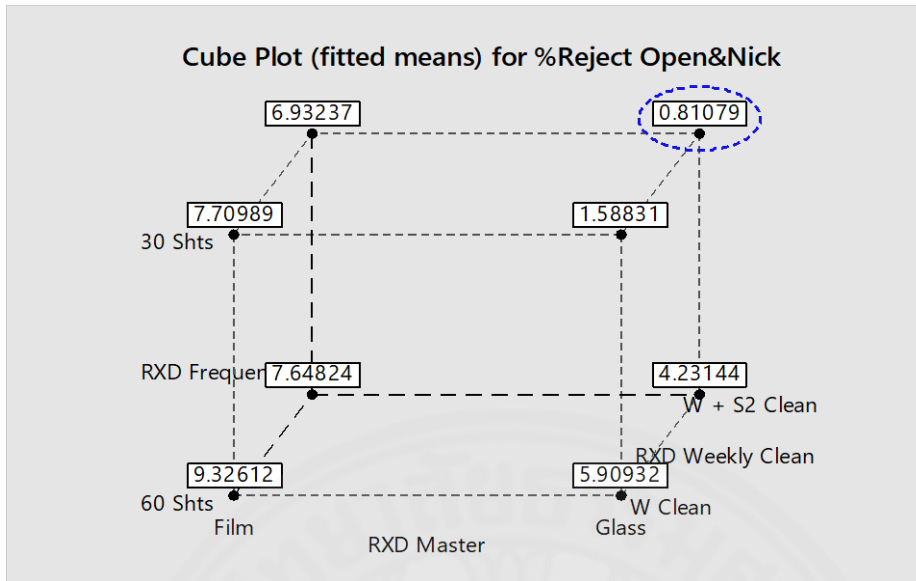
ภาพที่ 4.38 Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป



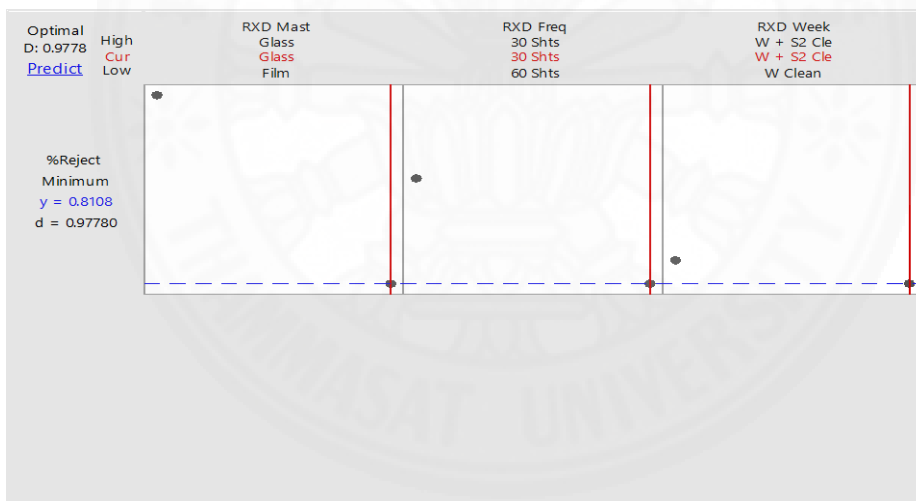
ภาพที่ 4.39 Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป



ภาพที่ 4.40 ผลกระทบร่วมระหว่าง 4 ปัจจัย RXD Master, RXD Frequency, RXD Weekly Clean และ RXD Clean Handle



ภาพที่ 4.41 ลูกบาศก์แสดงลักษณะการออกแบบการทดลองของปัญหา 4 ปัจจัย



ภาพที่ 4.42 กราฟแสดงการปรับตั้งค่าของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการที่สุด

จากภาพที่ 4.38 ถึง ภาพที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ของกระบวนการ RXD มี 1 ปัจจัยที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ส่งผลกระทบต่อขอบพร่องบนผลิตภัณฑ์ คือ ความถี่ในการทำความสะอาดตาม Handy roller และมี 3 ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อขอบพร่องบนผลิตภัณฑ์เกิดน้อยกว่า ดังนี้

- ชนิดของแม่แบบ ณ ระดับที่ 2 คือ Glass

- การทำความสะอาดเครื่องจักร ณ ระดับที่ 2 คือ Weekly clean + Special Clean 2 (Sticky mat)

- ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ ณ ระดับที่ 2 คือ ทุก 30 sheet

- Master และ Frequency มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

- Frequency และ Weekly clean มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

การปรับตั้งค่าเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยในการทำให้การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด โดยแม่แบบในการถ่ายแสง (RXD Master) ควรเป็น Glass mask ส่วนความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ (RXD Frequency) ควรมีความถี่ทุกๆ 30 Sheet โดยการทำความสะอาดเครื่องจักรประจำสัปดาห์ (RXD Weekly Clean) ให้เพิ่มการทำความสะอาดแบบพิเศษ 2 โดยใช้ Sticky Mat แปะฝุ่นในเครื่องจักรออกด้วย โดยที่ความถี่ในการทำความสะอาดด้วย Handy roller (RXD Clean handle) ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงถูกคัดกรองออกอีกครั้งหลังจากวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของหลายปัจจัย และผลการวิเคราะห์ตามภาพที่ 4.41 และ 4.42

4.2.2 Open / Nick / Surface Etching (Random)

DFLV process 2 ปัจจัย คือ DFLV Input side up มี 2 ระดับ และ DFLV Temperature มี 4 ระดับ ดังนั้นจึงใช้ Two-Way ANOVA ในการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ปัจจัยของ DFLV process 2 ปัจจัย คือ DFLV Input side up และ DFLV Temperature เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณค่า P-Value ได้ 0.000 เหมือนกันทั้ง 2 ปัจจัย ในแบบ Linear และ DFLV Input side up*DFLV Temperature คำนวนค่า P-Value ได้ 0.023 ดังนั้นมีอิทธิพลร่วมกันแบบ 2-Way Interaction ผลที่ได้ตาม

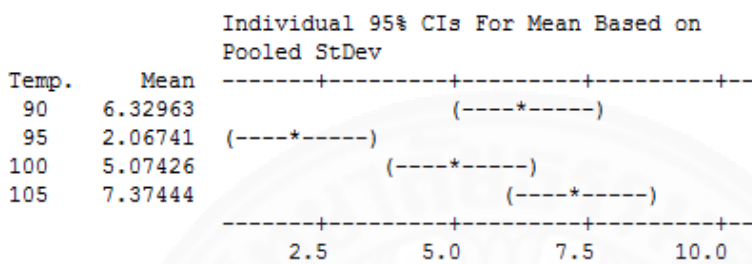
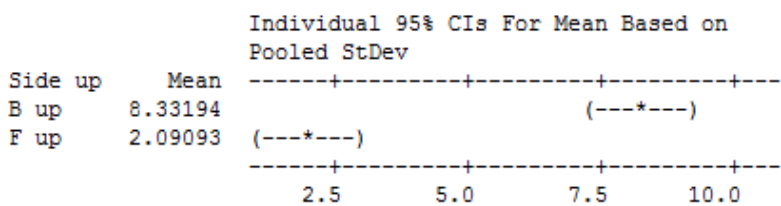
ตารางที่ 4.6 แสดงกราฟอิทธิพลร่วมของค่าเฉลี่ย (Interaction plot) ได้ดังภาพที่ 4.45

ตารางที่ 4.6

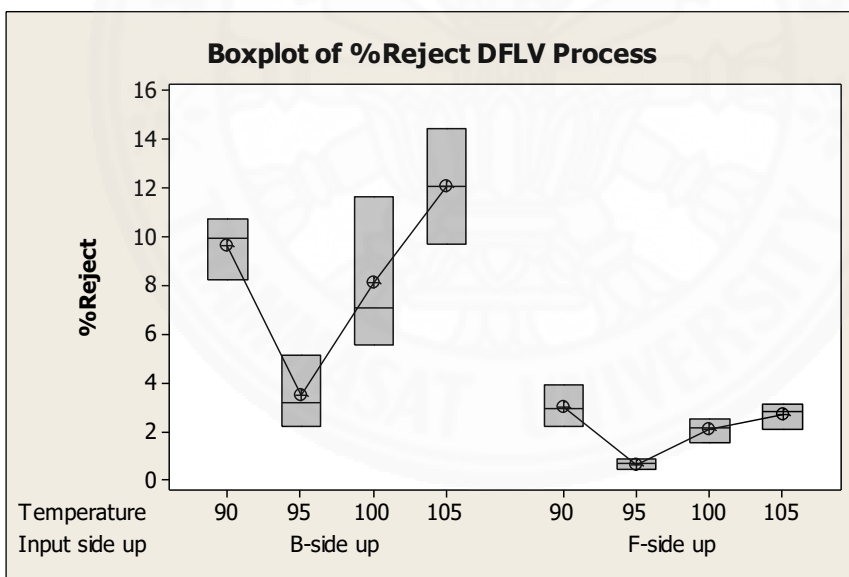
ผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value ของแต่ละปัจจัย และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย

Source	DF	Sum of Squares	Mean Squares	F-Statistic	P-Value
DFLV Side up	1	233.702	233.702	90.67	0.000
DFLV Temp.	3	94.996	31.665	12.29	0.000
Interaction	3	32.481	10.827	4.2	0.023
Error	16	41.238	2.577		
Total	23	402.418			

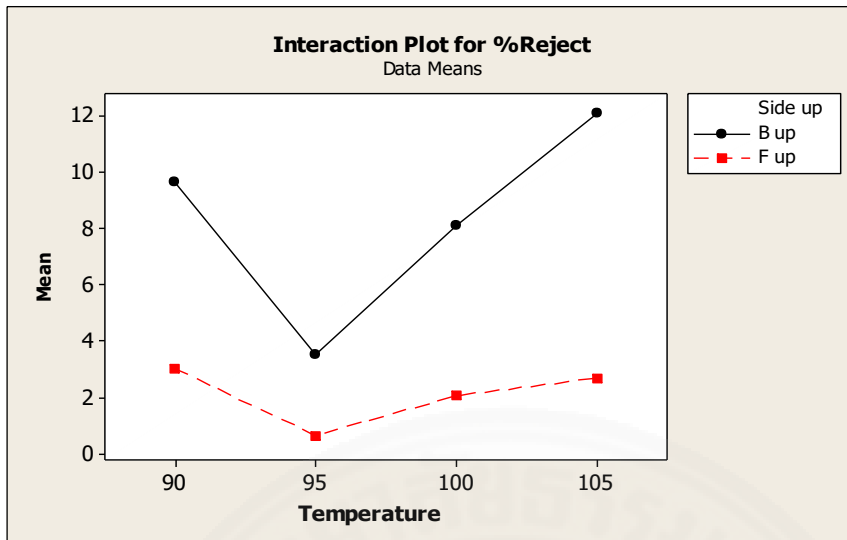
Two-way ANOVA: %Reject versus Side up, Temp.



ภาพที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวนโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 4.44 แผนภาพกล่องแสดงอิทธิพลของ อุณหภูมิ และด้าน Input ที่มีผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่อง



ภาพที่ 4.45 ผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัย อุณหภูมิ และ ด้าน Input ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง

จากภาพที่ 4.41 ถึง ภาพที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ของกระบวนการ RXD ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบ คือ Input side up และ Temperature แต่ละระดับของปัจจัยที่ทำให้ข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์เกิดน้อยกว่า ดังนี้คือ

- Input side up ณ ระดับที่ 2 คือ F-side up
- Temperature ณ ระดับที่ 2 คือ 95 องศาเซลเซียส
- Input side up และ Temperature มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยในการทำให้การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดที่ DFLV process โดยดำเนินการ Input งาน (DFLV Input Side) เป็นด้าน F อยู่ด้านบน และควรใช้อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์ม (DFLV Temperature) ที่ 95 องศาเซลเซียส

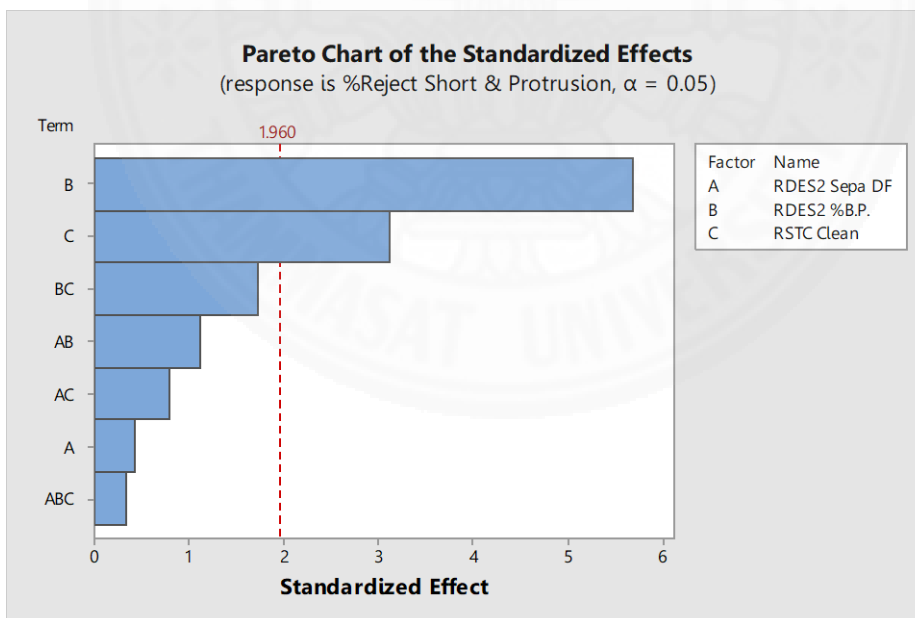
4.2.3 Short & Protrusion (Random)

มีทั้งหมด 3 ปัจจัย โดย RSTC process มี 1 ปัจจัย คือ RSTC Clean และ RDES2 process มี 2 ปัจจัย คือ RDES2 DF Sepa. และ RDES2 %BP โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังนั้นจึงใช้ 2^{3-1} Haft factorial design ในการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์ปัจจัยของ RDES2 และ RSTC process มีเพียง 2 ปัจจัย คือ RSTC Clean และ RDES2 %BP เป็นปัจจัยที่ส่งผลการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณค่า P-Value ได้ 0.000 และ 0.002 ตามลำดับในแบบ Linear และไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 และ 3 ปัจจัย ผลที่ได้ตามตารางที่ 4.7

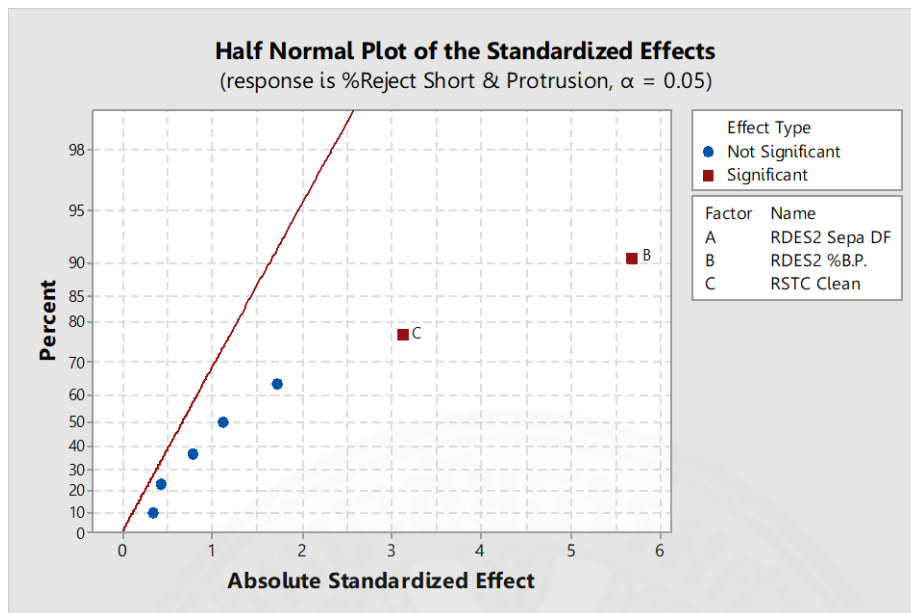
ตารางที่ 4.7

ผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value ของ RDES2 และ RSTC process

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	2212.4	316.06	74.09	0.000
Linear	3	368	122.66	28.75	0.000
RDES2 Sepa DF	1	0.8	0.778	0.18	0.669
RDES2 %B.P.	1	138.3	138.3	32.42	0.000
RSTC Clean	1	41.6	41.628	9.76	0.002
2-Way Interactions	3	29.6	9.87	2.31	0.074
RDES2 Sepa DF*RDES2 %B.P.	1	5.4	5.376	1.26	0.262
RDES2 Sepa DF*RSTC Clean	1	2.7	2.667	0.63	0.429
RDES2 %B.P.*RSTC Clean	1	12.8	12.802	3	0.083
3-Way Interactions	1	0.5	0.494	0.12	0.734
RDES2 Sepa DF*RDES2 %B.P.*RSTC Clean	1	0.5	0.494	0.12	0.734
Error	6504	27744	4.266		
Total	6511	29957			



ภาพที่ 4.46 Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย



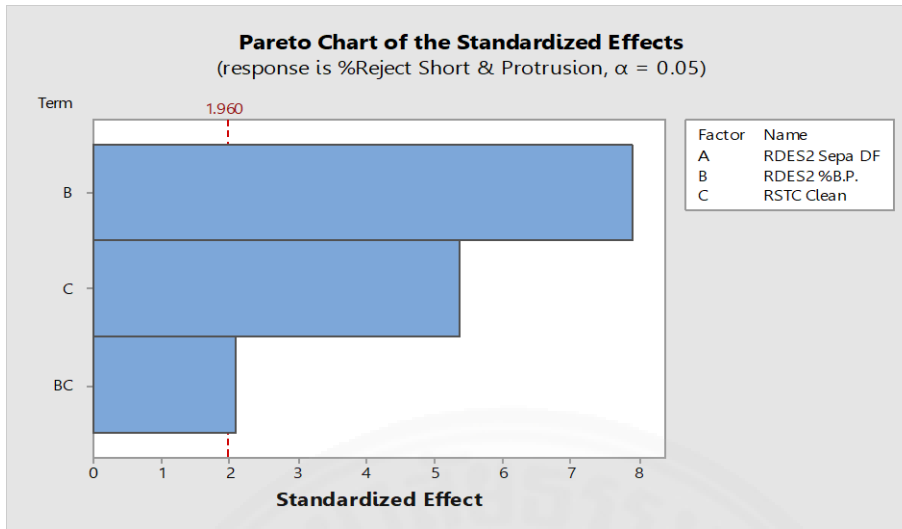
ภาพที่ 4.47 Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant

จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาโมเดลสุดท้าย (Final Model) โดยการตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก แล้วทำการวิเคราะห์ผลใหม่อีกครั้ง พบว่าในแบบ Linear มี RSTC Clean และ RDES2 %BP เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง โดยคำนวณค่า P-Value ได้ 0.000 เหมือนกันทั้ง 2 ปัจจัย และแบบ 2-Way Interaction มี RSTC Clean*RDES2 %BP มีอิทธิพลร่วมกัน โดยคำนวณค่า P-Value ได้ 0.037 ซึ่งจากโมเดลสุดท้ายนี้ทำให้ RSTC Clean*RDES2 %BP กลับมามีอิทธิพลร่วมกันมากขึ้น ผลที่ได้ตามตารางที่ 4.8

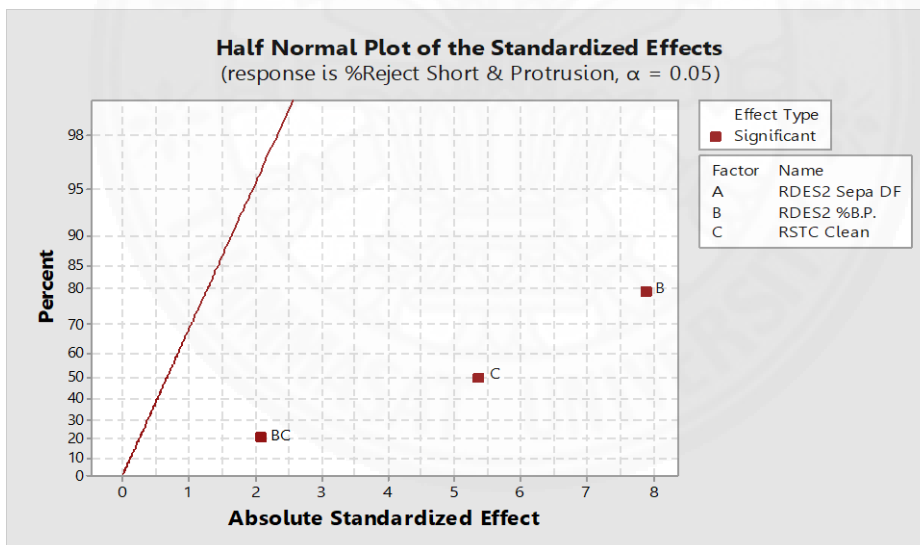
ตารางที่ 4.8

ผลการวิเคราะห์ ค่า P-Value ของ RDES2 และ RSTC process

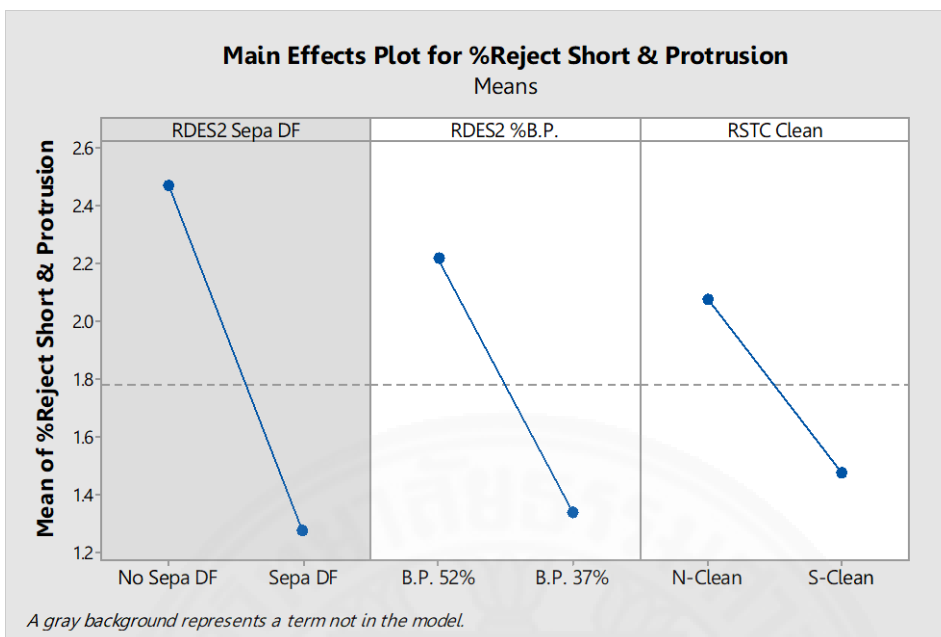
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	2200	733.33	171.94	0.000
Linear	2	2199.3	1099.6	257.83	0.000
RDES2 %B.P.	1	265.6	265.64	62.28	0.000
RSTC Clean	1	123.7	123.74	29.01	0.000
2-Way Interactions	1	18.5	18.5	4.34	0.037
RDES2 %B.P.*RSTC Clean	1	18.5	18.5	4.34	0.037
Error	6508	27757	4.27		
Lack-of-Fit	4	12.4	3.11	0.73	0.572
Pure Error	6504	27744	4.27		
Total	6511	29957			



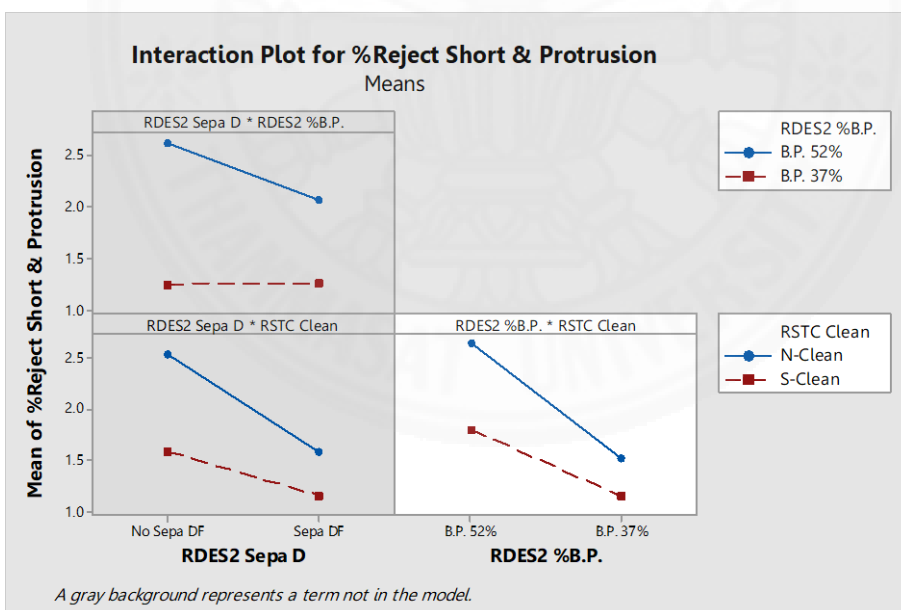
ภาพที่ 4.48 Pareto Chart of the Standardized Effect เรียงลำดับผลกระทบจากมากไปหาน้อย หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป



ภาพที่ 4.49 Normal Plot of the Standardized Effect แสดงผลกระทบหลักที่ Significant หลังจากตัดบางปัจจัยออกไป



ภาพที่ 4.50 อิทธิพลหลักของค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของ 3 ปัจจัย



ภาพที่ 4.51 ผลกระทบร่วมของ 3 ปัจจัย ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง Short/Protrusion (Random)

จากภาพที่ 4.48 ถึง ภาพที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์ของกระบวนการ RSTC & RDES2 พบว่าการแยกทรายฟิล์มแต่ละชนิดออกคนละเครื่องไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ และปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบคือ RSTC S-clean และ RDES2 %B.P. แต่ละระดับของปัจจัยที่ทำให้ข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์เกิดน้อยกว่า ดังนี้คือ

- RSTC S-Clean ณ ระดับที่ 2 คือ S-Clean หรือเป็นวิธีการทำความสะอาดโดยเพิ่มการใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาด Pass line ของทุกส่วนของเครื่องจักร ได้แก่ บ่อสารเคมี บ่อน้ำล้างทุกบ่อ ส่วน Air knife และ ส่วน Dryer นิ่งเอง

- RDES2 %B.P. ณ ระดับที่ 1 คือ B.P. 37 %

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยในการทำให้การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์น้อยที่สุดที่ RDES2 process ควรทำการปรับค่า Treatment time ของบ่อ Development เป็น 37 %BP (RDES2 %BP) และ RSTC process การทำความสะอาดเครื่องจักร (RSTC clean) ควรเพิ่มการใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาด Straight roll pass line ของทุกส่วนในเครื่องจักรที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านแล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง รวมถึงการนำเอา Straight roll บางตำแหน่งที่ไม่จำเป็นในส่วนของ Air knife และ Dryer ออกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านได้เท่านั้น โดยการแยก Dry Film แต่ละชนิดในการ run คนละเครื่องจักร (RDES2 Sepa DF) ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงถูกคัดกรองออกอีกครั้งหลังจากวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของปัจจัย

ดังนั้น มีปัจจัยทั้งหมด 9 ปัจจัยหลัก คือ RXLV UV, RXLV Frequency, RXD Master, RXD Frequency, RXD Weekly Clean, DFLV Input side up, DFLV Temperature, RSTC Clean และ RDES2 %BP ที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์

4.2.4 การวิเคราะห์จุดเหมาะสมของปัจจัย

เป็นการปรับตั้งค่าสถานะต่างๆ ของกระบวนการให้เป็นไปตามความต้องการด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) ด้วยวิธีการทดลองแบบทากูชิ สำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L16) โดยใช้แบบ Mixed 2-4 level designs และการออกแบบมีทั้งหมด 9 ปัจจัย ซึ่งมี 1 ปัจจัยที่มี 4 ระดับ และ 8 ปัจจัยมี 2 ระดับ ดังตารางที่ 4.9 และแสดงถึง แอร์เรย์ของการทดลองซึ่งประกอบด้วยวิธีปฏิบัติจำนวน 16 วิธี โดยมีความสนใจหลักสำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้น 9 ชนิด ดังตารางที่ 4.10 และได้เลือกค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบแบบทากูชิ หรือเรียกว่า อัตราส่วนซิกนอลทูนอยส์ (Signal to Noise Ratio, SN) ซึ่งค่าอัตราส่วนนี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท โดยจำแนกตามเป้าหมายของการทดลอง ประกอบด้วย การกำหนดให้มี

ค่าผลตอบแทนต่ำยิ่งเหมาะสม (Smaller the Best, SNS) การกำหนดให้มีค่าผลตอบแทนสูงยิ่งเหมาะสม (Larger the Best, SNL) และการกำหนดให้ผลตอบแทนมีความใกล้เคียงเป้าหมายมากที่สุด (Nominal is the Best, SNT) สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ จึงเลือกวิเคราะห์ตามแบบการกำหนดให้มีค่าผลตอบแทนต่ำยิ่งเหมาะสม (Smaller the Best, SNS) เท่านั้น เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายกรณีผลตอบแทนยิ่งต่ำยิ่งเหมาะสม ทากูชิได้พิจารณาผ่านฟังก์ชันความสูญเสียกำลังสอง โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายเป็น ศูนย์ ดังนั้น ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถหาค่าสถิติทดสอบของทากูชิได้ดังนี้

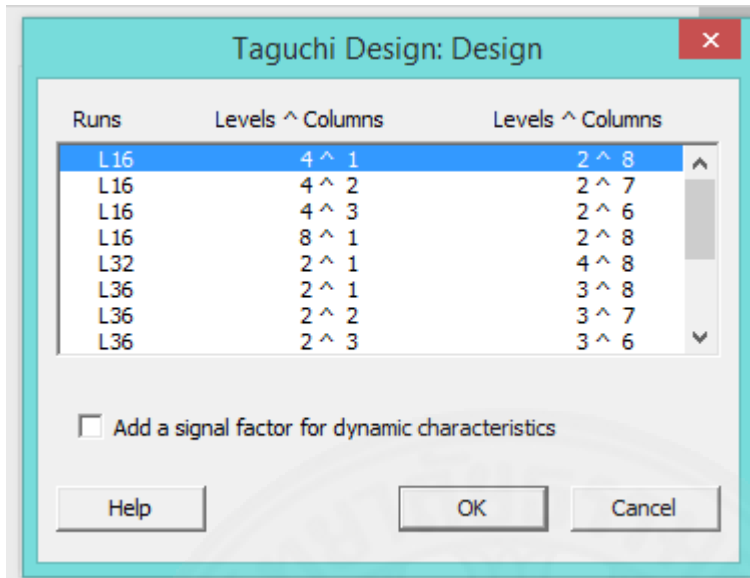
$$SN_s = -10 \log\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n y_i^2$$

ในการพิจารณาค่าอัตราส่วนที่ได้ในแต่ละอินเนอร์แอร์เรย์ (แต่ละวิธีปฏิบัติ) ค่าอัตราส่วนที่มากที่สุด (Maximize SN_s) จะนำไปสู่การพิจารณาวิธีปฏิบัติที่เหมาะสมที่สุด (ฟังก์ชันน เหลืองไพบุลย์, 2548)

ตารางที่ 4.9

ระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

No.	รหัสชื่อ (Code Name)	ปัจจัยของปัญหา (KPIV)	ระดับปัจจัย	1	2	3	4
1	RXLV UV	ความเข้มแสงที่ใช้ในการถ่ายแบบ	2	60 mJ/cm ²	160 mJ/cm ²		
2	RXLV Frequency	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งาน	2	120 shts	360 shts		
3	RXD Master	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งาน	2	Film	Glass		
4	RXD Frequency	ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งาน	2	30 shts	60 shts		
5	RXD Weekly Clean	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจร	2	Weekly Clean	Weekly + Speacial 2 Clean		
6	DFLV Temp	อุณหภูมิของ Roll laminate	4	90	95	100	105
7	DFLV Input Side	ด้านในการ input งาน	2	F-side up	B-side up		
8	RSTC Clean	วิธีการทำความสะอาด และการลดจำนวน straight roll pass line ของเครื่องจักร	2	Normal-Clean	Special-Clean		
9	RDES2 %BP	ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP)	2	37 %BP	52 %BP		



ภาพที่ 4.52 การออกแบบการทดลองทางสถิติให้ถูกต้องโดย 1 ปัจจัย มี 4 ระดับ และ 8 ปัจจัย มี 2 ระดับ

ตารางที่ 4.10

การออกแบบการทดลองทางสถิติสำหรับออร์โทโกนอลแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L16) โดยใช้แบบ Mixed 2-4 level designs

Column	1	2	3	4	5	6	7	8	9
No.	RXLV UV	RXLV Frequency	RXD Master	RXD Frequency	RXD Weekly	DFLV Temp	DFLV Input Side	RSTC Clean	RDES2 %BP
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	1	2	2	2
3	2	2	2	2	1	1	1	1	1
4	2	2	2	2	2	1	2	2	2
5	1	1	2	2	1	2	1	2	2
6	1	1	2	2	2	2	2	1	1
7	2	2	1	1	1	2	1	2	2
8	2	2	1	1	2	2	2	1	1
9	1	2	1	2	1	3	2	1	2
10	1	2	1	2	2	3	1	2	1
11	2	1	2	1	1	3	2	1	2
12	2	1	2	1	2	3	1	2	1
13	1	2	2	1	1	4	2	2	1
14	1	2	2	1	2	4	1	1	2
15	2	1	1	2	1	4	2	2	1
16	2	1	1	2	2	4	1	1	2

4.3 การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายซึ่งต้องดำเนินการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจะไม่ย้อนไปมีปัญหามิเหมือนเดิมอีก ผู้วิจัยจึงได้ทำการประเมินคะแนนความเสี่ยง R.P.N. อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่าคะแนนความเสี่ยงหลังการปรับปรุงมีค่าต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

ลำดับที่ 1 : RXD Master ใช้แม่แบบในการถ่ายแสงเป็น Glass Mask ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 720 เหลือเพียง 24 คะแนน

ลำดับที่ 2 : RXD Weekly Clean วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ เพิ่มการทำความสะอาดตามวิธีการแบบพิเศษ 2 โดยใช้ sticky mat แปะฝุ่นที่ติดอยู่ในเครื่องฉายแสงออก ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 648 เหลือเพียง 45 คะแนน

ลำดับที่ 3 : DFLV Temp อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์ม ได้ทำการทดลองและหาอุณหภูมิที่เหมาะสมใหม่ โดยใช้อุณหภูมิในการผลิตงานที่ 95 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งใส่งานโดยให้ด้าน F อยู่ด้านบน ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 648 เหลือเพียง 6 คะแนน

ลำดับที่ 4 : RXLV UV ทำการทดลองเพิ่มแสงในด้านที่ถ่ายแสงเปล่า โดยกำหนดให้ใช้ UV 160 mJ/cm² ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 576 เหลือเพียง 60 คะแนน

ลำดับที่ 5 : RXD Frequency เปลี่ยนความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างการ run งานเป็นทุกๆ 30 sheet ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 576 เหลือเพียง 18 คะแนน

ลำดับที่ 6 : RXLV Frequency มีการสลับ Master ออกมา inspect ทุกๆ 120 sheet ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 448 เหลือเพียง 48 คะแนน

ลำดับที่ 7 : DFLV Input Side เปลี่ยนด้านในการ input งานโดยให้ด้าน F อยู่ด้านบน ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 448 เหลือเพียง 12 คะแนน

ลำดับที่ 8 : RSTC Clean โดยเพิ่มการใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาด straight roll pass line ของทุกส่วนในเครื่องจักรที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านแล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง อีกทั้งนำเอา straight roll บางตำแหน่งที่ไม่จำเป็นในส่วนของ Air knife และ Dryer ออกคิดเป็นร้อยละ 50 ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 448 เหลือเพียง 80 คะแนน

ลำดับที่ 9 : RDES2 %BP ทำการปรับค่า Treatment time ของบ่อ Development เป็น 37 %BP ส่งผลให้คะแนนความเสี่ยง R.P.N. ลดลงจาก 448 เหลือเพียง 27 คะแนน

โดยได้สรุปผลไว้ในตารางที่ 4.11 อีกทั้งยังแสดงผลเป็นกราฟเปรียบเทียบคะแนนความเสี่ยง R.P.N ก่อนและหลังการปรับปรุงตามภาพที่ 4.53 เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้น รวมทั้งได้จัดทำระบบควบคุมกระบวนการนำไปสู่การปฏิบัติเพื่อรักษาระดับความสามารถของกระบวนการการให้คงอยู่ในระดับที่ได้ปรับปรุงไว้ และยังทำการแก้ไขและสร้างมาตรฐานการทำงานเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบคุณภาพ ISO 9001 สำหรับผลลัพธ์ของการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์ตามภาพที่ 4.54 และ 4.55 จะพบว่าก่อนการปรับปรุงในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์มีปริมาณข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์เฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 18.33 แต่หลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถลดข้อบกพร่องได้ตั้งแต่เดือนมีนาคมจนกระทั่งถึงปัจจุบันพบว่าข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์เฉลี่ยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 3.33 ทั้งนี้การปรับปรุงกระบวนการให้มีความยั่งยืนยังคงดำเนินกิจกรรมไปอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์เหลือน้อยที่สุด



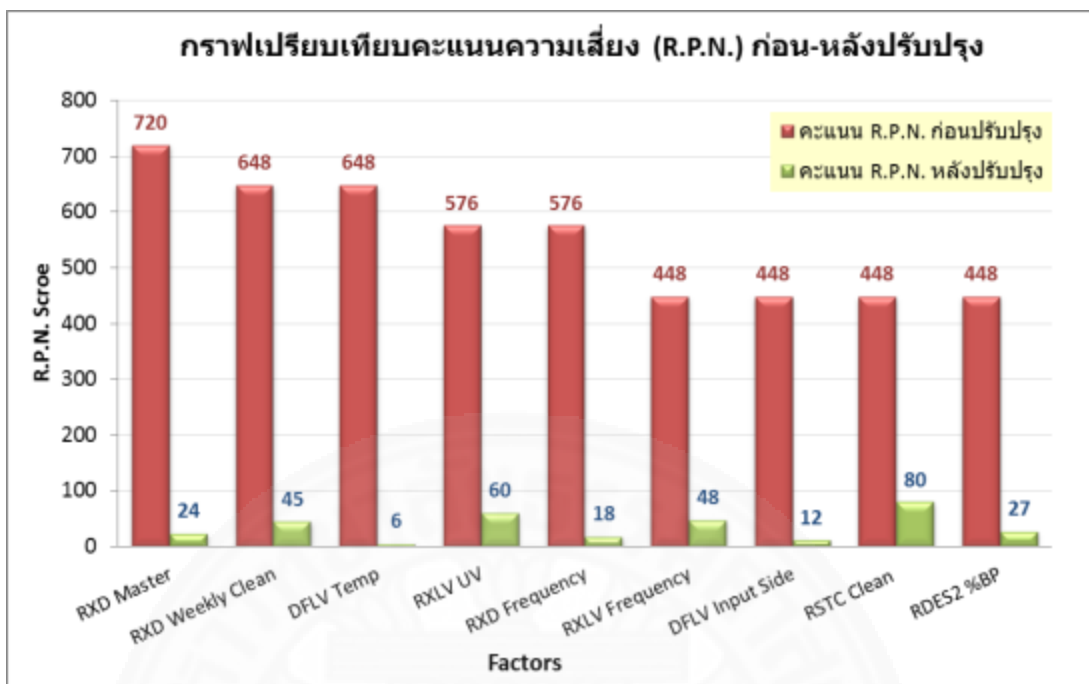
ตารางที่ 4.11

ผลการประเมินคะแนนความเสี่ยง R.P.N. เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

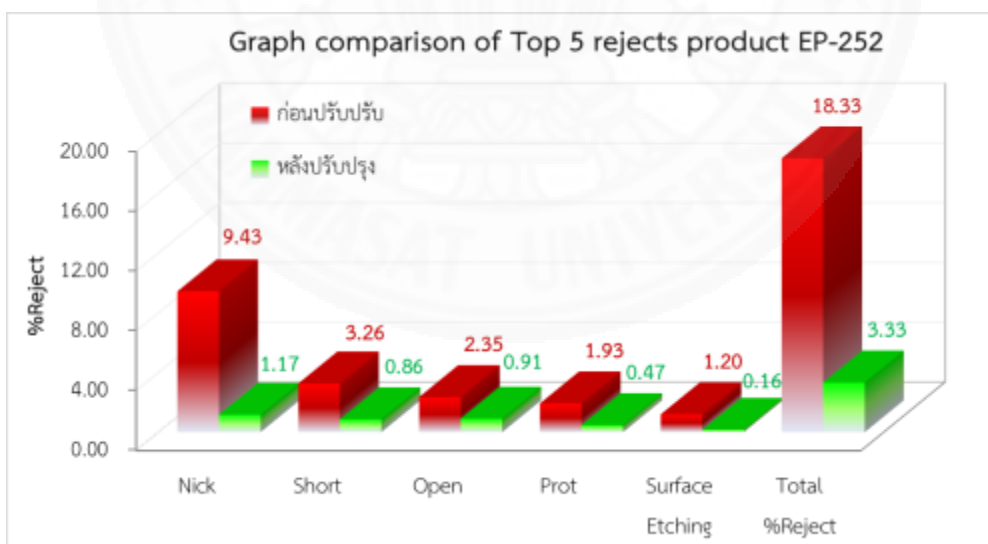
ลำดับ	ลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (Potential failure mode : Defect)	กระบวนการ Process	สาเหตุของความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น (Potential cause of failure)	วิธีการควบคุมปัจจุบันก่อนการปรับปรุง (Current process control after Improvement)	คะแนน R.P.N. ก่อนปรับปรุง	คะแนน R.P.N. หลังปรับปรุง	วิธีการควบคุม หลังปรับปรุง (Process control after Improvement)
1	Open / Nick (Same PT)	RXD Master	ชนิดของแม่แบบที่ใช้ run งานง่ายต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	เพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบ	720	24	กำหนดให้ใช้แม่แบบในการถ่ายแสงเป็น Glass Mask
2	Open / Nick (Same PT)	RXD Weekly Clean	วิธีการทำความสะอาดเครื่องถ่ายแบบเส้นลายวงจรประจำสัปดาห์ (Weekly clean) ไม่ครอบคลุม ทำให้ภายในเครื่องมีฝุ่นฟุ้งกระจายในปริมาณมาก	มีวิธีการทำความสะอาด แต่รายละเอียดต่างๆ ยังไม่สมบูรณ์ ควรมีการกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องอย่างจริงจัง	648	45	ควรทำการเพิ่มการทำความสะอาดตามวิธีการแบบพิเศษ 2 โดยใช้ sticky mat แปะฝุ่นที่ติดอยู่ในเครื่องฉายแสง

3	Open / Nick / Surface Etching (Random)	DFLV Temp	อุณหภูมิของ Roll laminate ในการติดทรายฟิล์มผิดปกติ	ตรวจสอบอุณหภูมิตาม มาตรฐานที่กำหนดไว้เท่านั้น	648	6	ทำการทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมใหม่ โดยใช้อุณหภูมิ ในการผลิตงานที่ 95 องศา เซลเซียส พร้อมทั้งใส่งาน โดยให้ด้าน F อยู่ด้านบน
4	Open / Nick (Same PT)	RXLV UV	ด้านที่ไม่ต้องการสร้างเส้นลาย วงจรหรือด้านที่ทำการถ่ายแสง เปล่า (ด้านที่ไม่มีการสร้าง เส้นลายวงจร) มีการใช้แสงใน การถ่ายภาพต่ำ ทำให้เกิด reject ง่าย	ใช้แสงตามมาตรฐานที่มีอยู่ คือใช้แสง UV 60 mJ/cm ²	576	60	ทำการทดลองเพิ่มแสงใน ด้านที่ถ่ายแสงเปล่า โดยถูก กำหนดให้ใช้ UV 160 mJ/cm ²
5	Open / Nick (Same PT)	RXD Frequency	ความถี่ในการทำความสะอาด แม่แบบระหว่างการ run งานไม่ เหมาะสม	ทำความสะอาดทุก 60 แผ่น	576	18	เปลี่ยนความถี่ในการทำ ความสะอาดแม่แบบทุก 30 sheet
6	Open / Nick (Same PT)	RXLV Frequency	ไม่มีการสลับ Master ออกมา inspect หรือความถี่ในการ ตรวจสอบน้อย	ทำการ Inspect ทุก 360 sheet	448	48	เปลี่ยนความถี่การ Inspect ทุก 360 sheet เป็น 120 sheet

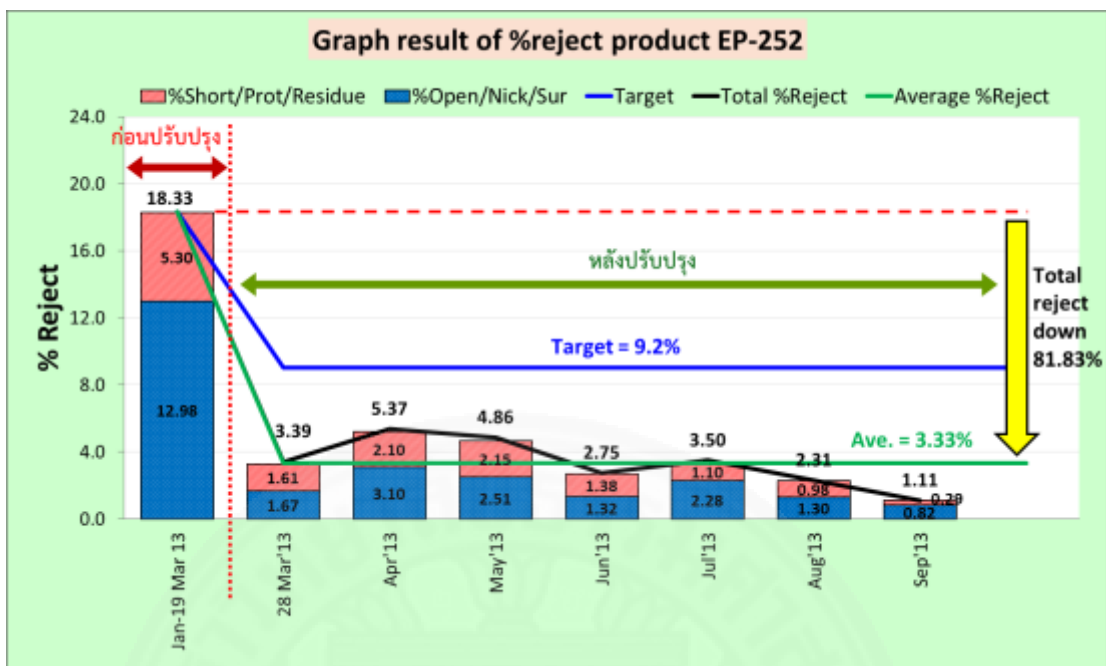
7	Open / Nick / Surface Etching (Random)	DFLV Input Side	ด้านในการ input งานว่าด้านไหนขึ้นด้านบน และด้านล่าง ต่างกันหรือไม่	ใส่งานตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยใส่งานด้าน B อยู่ด้านบน	448	12	ใส่งานโดยให้ด้าน F อยู่ด้านบน
8	Short & Protrusion (random)	RSTC Clean	วิธีการทำความสะอาด straight roll pass line ของเครื่องจักร ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งจำนวน straight roll บริเวณส่วน Air knife และ ส่วน Dryer มีมากเกินไปจนความจำเป็น	ไม่มีมาตรฐานการควบคุม	448	80	- เพิ่มการใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาด straight roll pass line ของทุกส่วนในเครื่องจักรที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านแล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง - เอา straight roll บางตำแหน่งที่ไม่จำเป็นในส่วน ของ Air knife และ Dryer ออกคิดเป็นร้อยละ 50
9	Short & Protrusion (random)	RDES2 %BP	ค่า Treatment time ของบ่อ Development (%BP) ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อการเกิด ข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์	ใช้ค่า Treatment time ของบ่อ Development คือ 52 %BP	448	27	ใช้ค่า Treatment time ของบ่อ Development คือ 37 %BP



ภาพที่ 4.53 กราฟการประเมินคะแนนความเสี่ยง R.P.N. เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ



ภาพที่ 4.54 ผลการปรับปรุง 5 ข้อบกพร่องหลักของผลิตภัณฑ์ EP-252



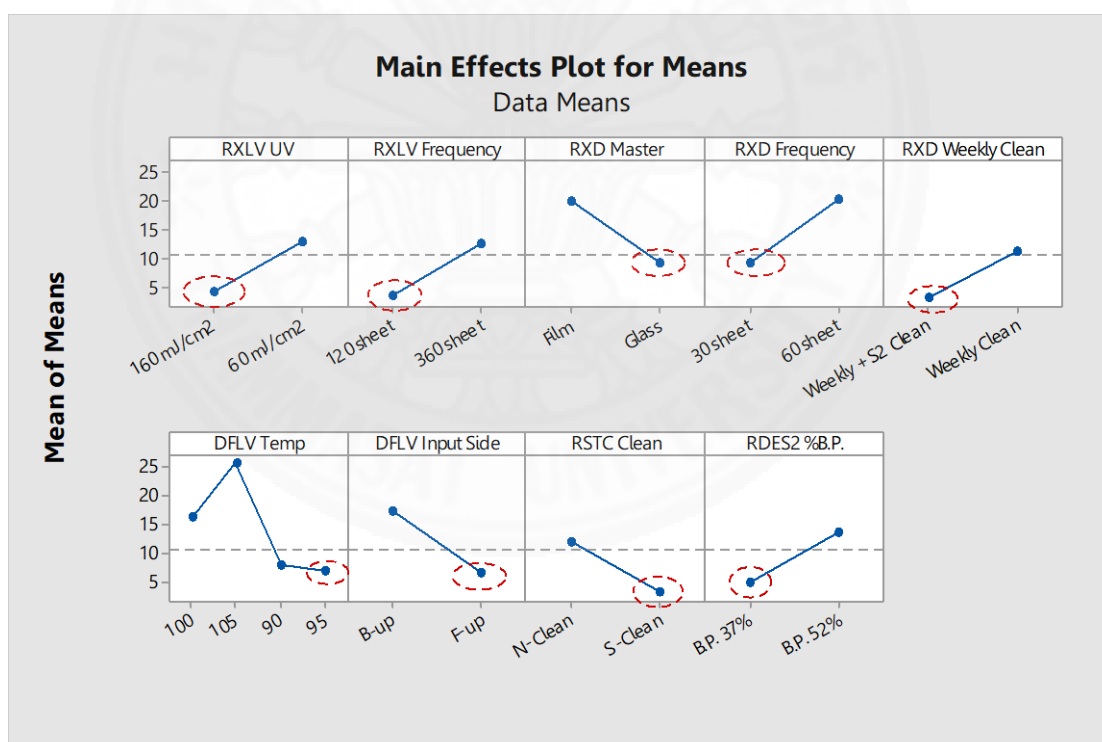
ภาพที่ 4.55 ปริมาณข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังทำการปรับปรุง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษา

จากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ทำให้ผู้วิจัยสามารถกำหนดปัจจัยที่สำคัญทั้งหมด 11 ปัจจัย การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูจิ โดยใช้โปรแกรมที่สามารถช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ Minitab และแสดงผลในภาพที่ 5.1 เป็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับของปัจจัยพิจารณาค่าเฉลี่ยตอบสนอง จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงแต่ละระดับของทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อ การทำให้เกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าเฉลี่ยจะต้องเป็นค่าที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งแสดงผลดังนี้



ภาพที่ 5.1 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยพิจารณาค่าเฉลี่ยตอบสนอง

จากภาพที่ 5.1 สามารถระบุได้ว่า

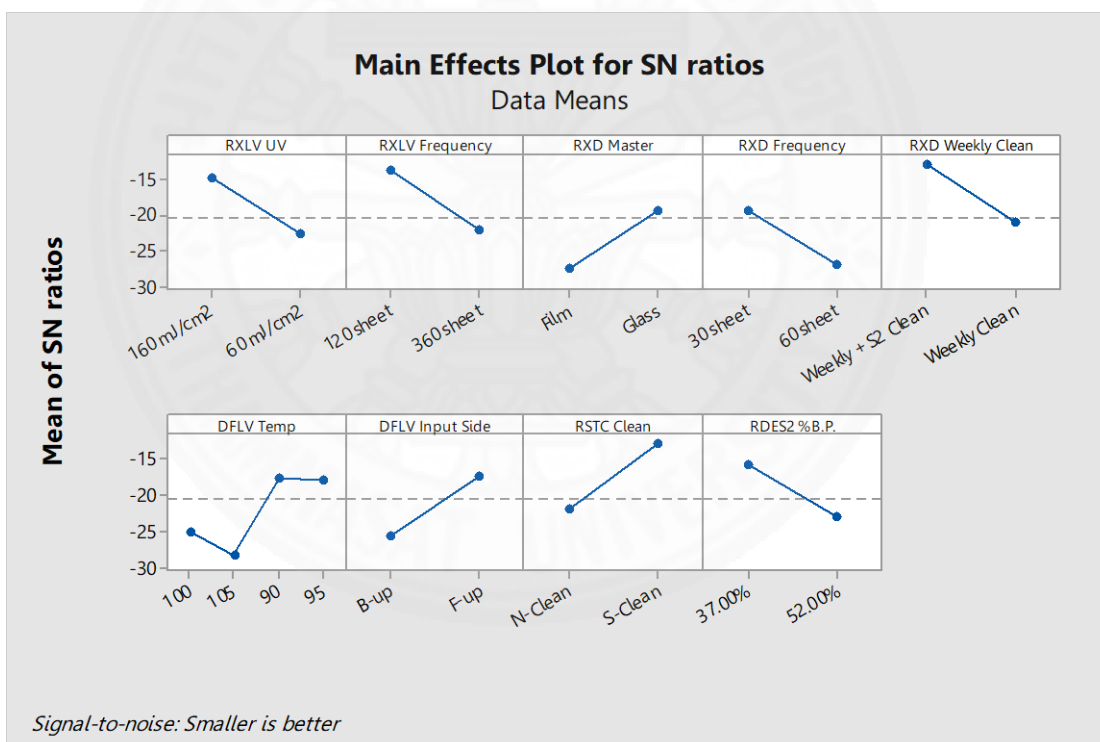
1) กระบวนการ RXLV ควรถูกกำหนดให้ใช้ UV 160 mJ/cm² และความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบทุก 120 sheet

2) กระบวนการ RXD ควรถูกกำหนดให้ใช้แม่แบบในการถ่ายแสงเป็น Glass ความถี่ในการทำความสะอาดแม่แบบทุก 30 sheet ควรทำการเพิ่มการทำความสะอาดตามวิธีการแบบพิเศษ 2 โดยใช้ sticky mat แปะฝุ่นที่ติดอยู่ในเครื่องฉายแสง

3) กระบวนการ DFLV ควรใช้อุณหภูมิในการผลิตงานที่ 95 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งใส่งานโดยให้ด้าน F อยู่ด้านบน

4) กระบวนการ RSTC ควรทำความสะอาดด้วยวิธีการแบบพิเศษเพิ่มเติม เช่นการทำความสะอาด roll pass line ด้วยผ้าชุบแอลกอฮอล์

5) กระบวนการ RDES2 ควรถูกกำหนดให้ใช้ค่าในการ Treatment 37 %B.P.



ภาพที่ 5.2 ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาจาก SNs

จากภาพที่ 5.2 SNs ใช้ในกรณีที่ต้องการให้ผลตอบสนองมีค่าน้อยเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นในแต่ละค่าสถิติทดสอบที่ได้กล่าวมาจึงเปรียบเสมือน การพิจารณาหาระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ที่ทำให้อัตราส่วน SN สูงที่สุดนั่นเอง และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับภาพที่ 5.1 จะ

พบว่ามีความสอดคล้องกัน ดังนั้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จึงถือว่ามีผลกระทบต่อการทำให้เกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ได้จริง (ชีวันนัท อมรศรีสัจจะ, 2551 และ สุวิมล ตันติวิภาณุวงศ์, 2552)

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาสาเหตุที่สำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ การคัดเลือกสาเหตุของปัญหาเบื้องต้นได้จัดทำ FMEA คือการประเมินค่าความเสี่ยงขึ้น (Risk Priority Number: RPN) และเปรียบเทียบคะแนนที่สูงที่สุดจากทั้งหมด 52 กรณี เหลือเพียง 19 กรณี จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดย One-Way Anova พิจารณาเปรียบเทียบหาว่าการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสภาวะมีผลทำให้เกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งได้ทำการคัดกรองจนเหลือเพียง 11 ปัจจัย และนำมาออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตของแต่ละปัจจัย และตารางที่ 5.1 ได้แสดงความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย การพิจารณาผลกระทบหลักสามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ DFLV Temp. > RXD Frequency > RXD Master > DFLV Input side > RXLV Frequency > RXLV UV > RSTC Clean > RDES2 %BP > RXD Weekly Clean ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1

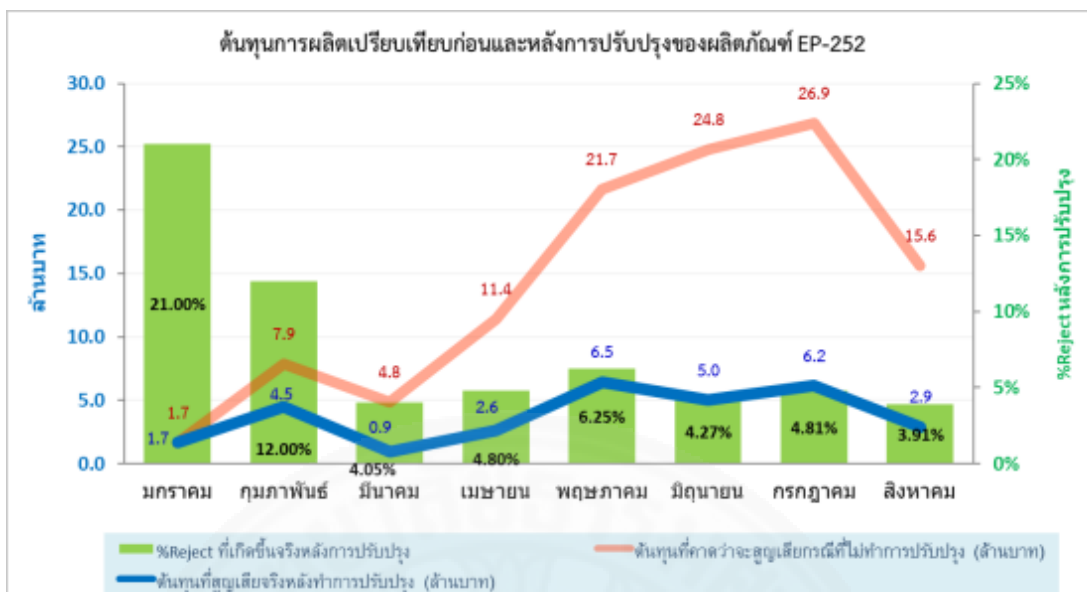
ผลของความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัยโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ยตอบสนอง

Level	RXLV UV	RXLV Frequency	RXD Master	RXD Frequency	RXD Weekly Clean	DFLV Temp	DFLV Input Side	RSTC Clean	RDES2 %BP
1	4.147	3.54	20.036	9.153	3.155	16.073	17.059	11.801	4.882
2	12.992	12.407	9.187	20.256	11.168	25.694	6.349	3.045	13.509
3						7.847			
4						6.727			
Delta	8.845	8.867	10.849	11.103	8.013	18.967	10.710	8.756	8.627
Rank	6	5	3	2	9	1	4	7	8

จากงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการลดปริมาณการเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์แผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น โดยประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งได้ดำเนินการวิจัยมี 5 ขั้นตอนหลัก คือ **การกำหนดปัญหา**เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาและคัดเลือกปัญหาที่พบในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องหลัก คือ Open Nick Short Protrusion และ Surface etching โดยผ่านการระดมสมองคัดเลือกร่วมกันจากทุกคนในทีม **การวัดและเก็บข้อมูล**เพื่อตรวจสอบความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องของเส้นลายวงจร ของพนักงาน

เครื่องจักรโดยวิเคราะห์ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคน (Operator Effectiveness Index: O_E) ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธผิดพลาด (False Alarm Index: I_{FA}) และดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับผิดพลาด (Index of a miss: I_{MISS}) จากนั้นวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause and effect matrix) โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา และทำการการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) ส่วนสำคัญในการจัดทำ FMEA คือการประเมินค่าความเสี่ยงซึ่งนำ (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งได้แก่ การระดมสมองเพื่อประเมินเกณฑ์ความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Severity: S) โอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่องขึ้น (Occurrence: O) และการประเมินความสามารถในการควบคุมหรือการตรวจพบข้อบกพร่อง (Detection: D) ซึ่งคะแนนจากการประเมินปัจจัยทั้งสามจะนำมาคูณกันเพื่อหาค่าความเสี่ยงซึ่งนำ เพื่อบ่งชี้ลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่ควรได้รับการแก้ไขก่อนหลังตามลำดับ จากขั้นตอนนี้สามารถคัดเลือกปัญหาจากทั้งหมด 52 เหลือ 19 ปัจจัย **การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา** ขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบสมมติฐานจากสาเหตุของปัญหา เพื่อหาตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องในการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดข้อบกพร่อง โดยใช้การวิเคราะห์แบบ One Way ANOVA เพื่อเปรียบเทียบค่า P-Value ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และได้ $\alpha = 0.05$ ถ้าค่า P-Value $< \alpha$ ถือว่าตัวแปรนั้นมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ และถ้า P-Value $> \alpha$ ถือว่าตัวแปรนั้นไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถคัดกรองปัญหาเหลือเพียง 11 ปัจจัย **การปรับปรุงแก้ไขปัญหา** ใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment: DOE) ด้วยวิธีการแบบทากูชิ เพื่อปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆ ของกระบวนการให้เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกการออกแบบการทดลองทากูชิสำหรับออร์โทโกนอนแอร์เรย์ชนิดแอล 16 (L16) โดยใช้แบบ Mixed 2-4 level designs และการออกแบบมีทั้งหมด 9 ปัจจัย ซึ่งมี 1 ปัจจัยที่มี 4 ระดับ และ 8 ปัจจัยมี 2 ระดับ **การควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง** เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ทำการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการจะไม่ย้อนไปมีปัญหาเหมือนเดิมอีก ซึ่งจากการตรวจสอบผลของการเกิดข้อบกพร่องเป็นระยะๆ นั้น ถือว่าสามารถควบคุมการเกิดซ้ำได้เป็นเป็นอย่างดี

จากการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ EP-252 ในครั้งนี้ทำให้สามารถลดปริมาณการเกิดข้อบกพร่องจากร้อยละ 18.33 ให้เหลือเพียงร้อยละ 3.33 ดังนั้น ผลจากการปรับปรุงทำให้สามารถลดข้อบกพร่องได้มากถึงร้อยละ 81.83 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ร้อยละ 50 และตามภาพที่ 5.3 หากเราไม่ทำการปรับปรุงจากการคาดการณ์จะส่งผลให้บริษัทสูญเสียต้นทุนการผลิตมากถึง 113 ล้านบาท และเมื่อทำการปรับปรุงและประเมินความสูญเสียอีกครั้งลดลงเหลือเพียง 28.5 ล้านบาท ดังนั้น บริษัทสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้รวมทั้งสิ้นคิดเป็นเงิน 84.5 ล้านบาท



ภาพที่ 5.3 แนวโน้มต้นทุนในการผลิตของผลิตภัณฑ์ EP-252 ที่ลดลงหลังการปรับปรุง

5.3 ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงคุณภาพคุณภาพผลิตภัณฑ์ของแผงวงจรไฟฟ้าแบบยึดหุ่ยนั้น มีหลากหลายวิธีในการแก้ปัญหาและปรับปรุงคุณภาพ การออกแบบการทดลองโดยใช้ ANOVA one way, ANOVA two way, 2^{k-1} Haft factorial design และวิธีการทางทฤษฎีเป็นวิธีหนึ่งที่ผู้วิจัยเลือกนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องบนผลิตภัณฑ์ ความเหมาะสมในการเลือกใช้เครื่องมือวิเคราะห์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตเป็นสิ่งสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพงานขึ้นอยู่กับ การไหลไปตามกระบวนการ (Process flow) ต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ใดๆ ณ เวลานั้น ดังนั้นในแต่ละสภาวะการทำงานใดๆ การระบุปัญหาหรือปัจจัยต่างๆ อาจมีความแตกต่างไปจากงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาสาเหตุของการเกิดปัญหากับกระบวนการที่กล่าวมาข้างต้นได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับกระบวนการผลิตที่มีความสอดคล้องกันได้ไม่มากนัก

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. "การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม." มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548
วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร. "การจัดการและการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุตสาหกรรม."

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2555

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. "การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)." สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
(ไทย-ญี่ปุ่น), 2542

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. "การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB."

สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. "ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma." สำนักพิมพ์สถาบันเพิ่ม
ผลผลิตแห่งชาติ, 2548

ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง. "กลยุทธ์การผลิต/ปฏิบัติการเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน." พิมพ์
ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552

دنุพันธ์ วิสุวรรณ. "การพัฒนางานการอุตสาหกรรม." พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2555

สุเมธ คงสำราญ. "การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments), การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ
โดยใช้โปรแกรม Minitab." บริษัท เทรคอน จำกัด, 2559

บทความวารสาร

ทรงพล รติตพงศ์. "การแปลงข้อมูลผลการวิจัยโดยวิธีทางสถิติ." วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ปีที่
60. ฉบับที่ 189. ประจำเดือน พฤษภาคม, 2555

วิทยานิพนธ์

กันตา สุวรรณฤทธิ์, การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยใช้แนวคิดลีน
ซิกซ์ ซิกมา, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

- สุวรรณมา โคนสุข, การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์แผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนด้วยเทคนิคซิกซ์
ซิกมา, สาขาวิชาพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553
- สุวิมล ตันติวิภาณวงศ์, การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางทากูชิเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่า
เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวริง, สาขาวิชาพัฒนางานอุตสาหกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2552
- อัมพวรรณ จิระภาววงศ์, การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสุขภัณฑ์
เซรามิกส์, สาขาวิชาพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2551
- ชีวันนัท อมรศรีสัจจะ, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการทำความสะอาดแขนจับยึด
หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เทคโนโลยีคลื่นอัลตราโซนิกโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ
ทากูชิ, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
2551
- กำชัย ไทยไชยนต์, การปรับปรุงคุณภาพการฉีดพลาสติก โดยวิธีการของทากูชิ, สาขาวิชาพัฒนางาน
อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
2552
- Hilda Cecilia Martinez Leon, Maria del Carmen Temblador Perez, Jennifer A.Farris,
Mario G. Beruvides, Integrating Six Sigma tools using team-learning processes,
International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 3 No. 2, page 133-156, 2012
- Sameer Kumar, Michael Sosnoski, Using DMAIC Six Sigma to systematically improve
shop floor production quality and costs, Vol. 58 No. 3, page 254-273, 2009
- Onur Doğan, A Roadmap for Data Driven Decision Making to Improve Quality,
<https://www.researchgate.net/publication/318926881>, 2017
- Abdalkheim FA. Flifel, Nebojša Zakić, Aleksandra Tornjanski, Identification and
Selection of Six Sigma Projects, Vol. 5, No 2, 2017
- Thanapat Sangkharata, Surangsee Dechjarerna, Spinning Process Design Using Finite
Element Analysis and Taguchi Method, Page 1713–1718, 2017
- Benson K. Mbithia, Jean B. Byiringiroa. Alphonse Niyibizib, Experimental Investigation
and Optimization of Laser Cutting Parameters for Solar Cells Based On

Taguchi Method, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, Page 41-51, 2017

Amar Murumkar, S. N. Teli, Sandhya Jadhav, Sagar Dharmadhikari, Manoj Nikam, Integrated approach of Six Sigma and Knowledge Management, <https://www.researchgate.net/publication/322498823>, 2018

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย, แนวโน้มการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์
ครึ่งหลังปี 2556, ฉบับวันที่ 26 กรกฎาคม, 2556

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรม เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์,
ฉบับเดือน เมษายน, 2556

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมรายไตรมาส, ไตรมาสที่ 2
(เมษายน - มิถุนายน 2556), อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์, 84-90, 2556

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบ. "การแปลงข้อมูล."

<http://www.watpon.in.th/regression/chap3.pdf>

ปรัชญา พลະพันธ์. "วิดีโอพิเศษ แนะนำการใช้งานและประสบการณ์การใช้งาน Minitab กับหัวข้อ
Normality Test and Transformation", 2559.

<https://www.youtube.com/watch?v=KMrsEhiweww>



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณต้นทุนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

เดือน	จำนวน ข้อบกพร่อง (ล้านชิ้น)	ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง	
		%Reject ที่ คาดการณ์	ต้นทุนที่คาดว่าจะ สูญเสียกรณี ที่ไม่ทำการ ปรับปรุง (ล้านบาท)	%Reject ที่ เกิดขึ้นจริงหลัง การปรับปรุง	ต้นทุนที่สูญเสีย จริงหลังทำการ ปรับปรุง (ล้านบาท)
มกราคม	0.08	21.00%	1.7	21.00%	1.7
กุมภาพันธ์	0.36	21.00%	7.9	12.00%	4.5
มีนาคม	0.22	21.00%	4.8	4.05%	0.9
เมษายน	0.59	21.00%	11.4	4.80%	2.6
พฤษภาคม	1.29	21.00%	21.7	6.25%	6.5
มิถุนายน	1.47	21.00%	24.8	4.27%	5.0
กรกฎาคม	1.60	21.00%	26.9	4.81%	6.2
สิงหาคม	0.93	21.00%	15.6	3.91%	2.9
ต้นทุนที่คาดว่าจะสูญเสียกรณีที่ไม่ทำการปรับปรุง			113.0		
			ต้นทุนที่สูญเสียจริงหลังทำการปรับปรุง		28.6
ต้นทุนการผลิตที่สามารถลดได้จากการ ปรับปรุงทั้งสิ้น (ล้านบาท)			84.5		

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวชุตติมา บุญโยธา
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2524
ตำแหน่ง	ผู้จัดการแผนกอาวุโส ความเป็นเลิศทางธุรกิจ

ผลงานทางวิชาการ

เรื่อง “การประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของแผงวงจรไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น” จากการประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติครั้งที่ 9 ประจำปี 2561

ประสบการณ์ทำงาน	2557 - ปัจจุบัน : ผู้จัดการแผนกอาวุโส ความเป็นเลิศทางธุรกิจ Tata Steel Thailand Co., Ltd.
	2549 - 2557 : วิศวกรฝ่ายผลิตอาวุโส Fujikura Electronics (Thailand) Ltd. (Ayutthaya-Factory 1)
	2548 - 2549 : วิศวกรควบคุมคุณภาพ TOSTEM THAI CO., LTD.