



การลดของเสียแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบ
การทดลอง

โดย

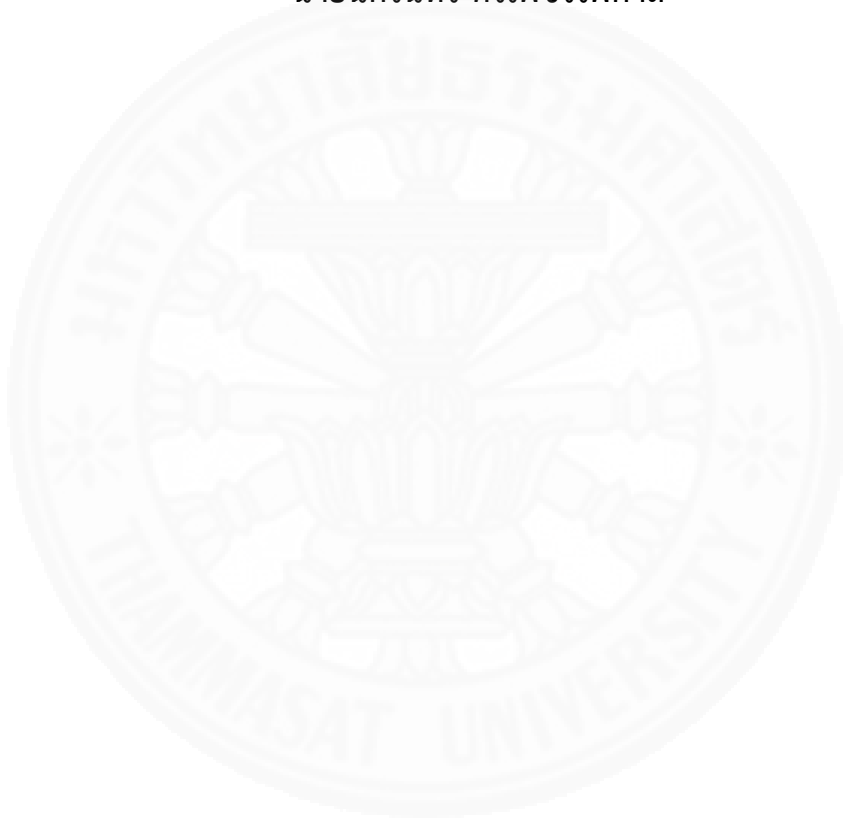
นายนครินทร์ ตรีเพชรไพศาล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การลดของเสียแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบ
การทดลอง

โดย

นายนครินทร์ ตรีเพชรไพศาล



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

REDUCTION OF TORQUE DEFECT NON-CONFORMING FROM
SPECIFICATION USING DESIGN OF EXPERIMENT

BY

MR. NAKARIN TRIPETCHPISAL



AN INDEPENDENT STUDY 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

การค้นคว้าอิสระ

ของ

นายนครินทร์ ตรีเพชรไพศาล

เรื่อง

การลดของเสียแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบการทดลอง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ



(รองศาสตราจารย์ ดร. เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(รองศาสตราจารย์ ดร. บุชบา พฤษชาพันธุ์รัตน์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีร เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การลดของเสียแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การ ออกแบบการทดลอง
ชื่อผู้เขียน	นายนครินทร์ ตรีเพชรไพศาล
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รองศาสตราจารย์ ดร.เสมอจิตร หอมรสสุนทร
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ไฟวอตด้วยการออกแบบการทดลอง การศึกษาเริ่มจากการหาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดโดยใช้การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จากนั้นจึงหาระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ในข้อกำหนด ($0.15 - 0.25 \text{ gf.cm}$) ตามที่ลูกค้าต้องกำหนดโดยการใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงานเข้าใกล้ 0.2 gf.cm คือ ปริมาณกาวที่ $0.25 - 30$ มิลลิกรัม ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง 4 วินาที และน้ำหนักลูกกลิ้ง 100 กรัม จากการประยุกต์ใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมพบว่าอัตราการทิ้งของเสียแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงจาก 0.8% เหลือเพียง 0.05%

คำสำคัญ: ไฟวอต, ค่าเฉลี่ยแรงบิด, การออกแบบการทดลอง, ปัจจัย, ระดับของปัจจัย, ปริมาณกาว, ลูกกลิ้ง, ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง, น้ำหนักลูกกลิ้ง

Independent Study Title	REDUCTION OF TORQUE DEFECT NON-CONFORMING FROM SPECIFICATION USING DESIGN OF EXPERIMENT
Author	Mr. Nakarin Tripetchpisal
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Development Faculty of Engineering Thammasat University
Independent Study Advisor	Assoc. Prof. Dr. Samerjit Homrossukon
Academic Years	2017

ABSTRACT

This independent study aims to reduce the defect of pivot product having an average torque out of specification using the design of experiment (DOE). The study started from determining the factors affecting the average torque using complete randomized design. Then, the suitable level of the affecting factor was determined referring to the customer specification of torque (0.15 – 0.25 gf.cm) by general factorial design. The study shows that factors and their suitable levels that make average torque to be as closed to 0.2 gf.cm are (1) the adhesive amount of 0.25 – 0.30 milligram, (2) wave buster time at 4 second and (3) wave buster weight at 100 grams. After using these conditions for mass production, it was found that the scrap from average torque being out of specification was reduced from 0.8% to 0.05%.

Keywords: Pivot, Average torque, Design of experiment, Factor, Level, Adhesive amount, Wave buster, Wave buster time, Wave buster weight.

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำในการค้นคว้าที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้วิจัย ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่อง และข้อเสนอแนะต่าง ๆ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการสอบ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ ที่ร่วมให้ข้อคิดและคำแนะนำที่ดี ทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือของทุกส่วนงานที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ระดับผู้บริหาร หัวหน้างานฝ่ายผลิต พนักงานในสายการผลิต วิศวกรกระบวนการ และวิศวกรออกแบบ ที่สนับสนุนข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงการมีส่วนช่วยให้การปรับปรุงนี้ดำเนินไปตามแผนงานที่ผู้วิจัยได้วางแผนไว้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้การสนับสนุนทางด้านทุนทรัพย์ในการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้

นายนครินทร์ ตรีเพชรไพศาล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	4
1.5 แผนการดำเนินงาน	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์	6
2.1 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง	6
2.1.1 หลักการการออกแบบการทดลอง	6
2.1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง	6
2.1.3 พื้นฐานในการออกแบบการทดลอง	6
2.2 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)	7
2.3 แผนการทดลองแบบ General full factorial design (GFD)	7
2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)	8

2.5 แผนภูมิพาเรโต้	10
2.6 แผนภาพกล่อง	12
2.7 วรรณกรรมปริทรรศน์	13
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	15
3.1 ขั้นตอนการผลิตไพวอตในภาพรวม	15
3.1.1 กระบวนการรับวัตถุดิบ (Material receiving process)	15
3.1.2 กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ (Material inspection process)	15
3.1.3. กระบวนการล้างชิ้นงาน (Washing process)	15
3.1.4 การทำความสะอาดลับลูกปืน (Clean bearing process)	15
3.1.5 การประกอบชุดประกอบย่อย (Sub assembly process)	15
3.1.6 การประกอบชิ้นสุดท้าย (Final assembly process)	16
3.1.7 การอบชิ้นงาน (Oven process)	16
3.1.8 กระบวนการตรวจสอบการทำงานของชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบ อัตโนมัติ (Auto functional inspection process)	16
3.1.9 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope inspection process)	16
3.1.10 กระบวนการบรรจุชิ้นงานลงไปถุงพลาสติก (Sealing process)	16
3.1.11 กระบวนการบรรจุชิ้นงานลงในกล่อง (Packing process)	16
3.2 ระบุปัญหาและตัวแปรตอบสนองของงานวิจัย	17
3.3 ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง	20
3.4 รวบรวมข้อมูลระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน	22
3.5 การออกแบบการทดลอง (DOE)	23
3.5.1 ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างลับลูกปืนตัวบน	23
3.5.2 ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	23
3.5.3 ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในคั่งน้ำหนักร	23
3.5.4 การใช้หรือไม่ใช้ลูกกลิ้ง	23
3.6 ปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกควบคุม	24
3.7 การกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยการใชแผนการทดลอง CRD	25

3.8 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ด้วยแผนการทดลอง General full factorial design (GFD)	25
3.9 ความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	27
4.1 การทดลองเพื่อกรองปัจจัยด้วยแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)	27
4.1.1 การทดลองหาอิทธิพลของชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบนที่มีต่อ ค่าเฉลี่ยแรงบิด	28
4.1.2 การทดลองหาอิทธิพลของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงานที่มีต่อค่า เฉลี่ยแรงบิด	30
4.1.3 การทดลองหาอิทธิพลของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนักที่มีต่อ ค่าเฉลี่ยแรงบิด	32
4.1.4 การทดลองหาอิทธิพลของการใช้หรือไม่ใช้ลูกกิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	34
4.1.5 การทดลองหาอิทธิพลของระยะเวลาการทำงานของลูกกิ้งที่มีต่อค่า เฉลี่ยแรงบิด	37
4.1.6 การทดลองหาอิทธิพลของน้ำหนักของลูกกิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	40
4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ด้วยแผนการทดลอง General full factorial design (GFD)	42
4.3 ผลิตชิ้นงาน XXX โดยใช้ระดับของปัจจัยตามผล GFD	47
4.4 การติดตามผล	49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	50
5.1 สรุปผลการวิจัย	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	50

(7)

รายการอ้างอิง

51

ประวัติผู้เขียน

52



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	4
2.1 สูตรในตาราง Anova	10
3.1 วัตถุประสงค์สำหรับขั้นตอนการประกอบชิ้นสุดท้ายของโมเดล XXX	18
3.2 ขั้นตอนการประกอบชิ้นสุดท้ายของโมเดล XXX	18
3.3 ปัจจัยแปรผันและปัจจัยคงที่	22
3.4 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน XXX ในปัจจุบัน	22
3.5 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะถูกใช้ในการทดลอง	24
4.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง CRD	27
4.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยของลูกกลิ้งที่ใช้ในการทดลอง CRD	36
4.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ถูกใช้ในแผนการทดลอง GFD	42
4.4 รูปแบบการทดลอง GFD	43
4.5 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยแรงบิดของแต่ละการทดลอง	45
4.6 ระดับในปัจจุบันและระดับที่ได้จากงานวิจัย	47

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 อัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของโมเดล XXX ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2560 ถึง กุมภาพันธ์ 2561	1
1.2 ผังพาเรโตของอัตราการทิ้งของเสียของโมเดล XXX ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2560 ถึง กุมภาพันธ์ 2561	2
1.3 CPK ของค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX	3
2.1 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต	11
2.2 ส่วนประกอบของแผนภาพกล่อง	12
3.1 แผนภูมิ Pareto การทิ้งของเสียของโมเดล XXX	17
3.2 ลักษณะการกดทับของขอบในตลับลูกปืนที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดต่ำ/สูง	21
3.3 ตัวอย่าง Residual plots	26
4.1 ผลการวิเคราะห์ Anova ของชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดตลับลูกปืนตัวบน	28
4.2 แผนภาพกล่องของชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดตลับลูกปืนตัวบน	28
4.3 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดสารเคมี	29
4.4 ผลการวิเคราะห์ Anova ของปริมาณการที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	30
4.5 แผนภาพกล่องของปริมาณการที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	30
4.6 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ อิทธิพลของปริมาณการที่ทาลงไปบนชิ้นงานที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	31
4.7 ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนัก	32
4.8 แผนภาพกล่องของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนัก	32
4.9 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนักที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	33
4.10 ผลการวิเคราะห์ Anova ของการไม่ใช้และใช้ลูกกิ้ง	34
4.11 แผนภาพกล่องของการไม่ใช้และใช้ลูกกิ้ง	34
4.12 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของการไม่ใช้และใช้ลูกกิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	35
4.13 ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาการทำงานของลูกกิ้ง	37
4.14 แผนภาพกล่องของระยะเวลาการทำงานของลูกกิ้ง	38

4.15 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพล ของระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	39
4.16 ผลการวิเคราะห์ Anova ของน้ำหนักของลูกกลิ้ง	40
4.17 แผนภาพกล่องของน้ำหนักของลูกกลิ้ง	40
4.18 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพล ของน้ำหนักลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด	41
4.19 ผลการวิเคราะห์ GFD	43
4.20 แผนภาพอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งกับน้ำหนักลูกกลิ้ง	44
4.21 แผนภูมิกล่องจากข้อมูล GFD	45
4.22 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ GFD	46
4.23 แผนภาพกล่องการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างระดับในปัจจุบัน และระดับจากงานวิจัย	47
4.24 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าแรงบิดที่ผลิตด้วย ระดับปัจจุบัน	48
4.25 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าแรงบิดที่ผลิตด้วย ระดับจากงานวิจัย	48
4.26 ผลการสุ่มวัดค่าแรงบิดในแต่ละวันของโมเดล XXX	49
4.27 อัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของโมเดล XXX	49

บทที่ 1

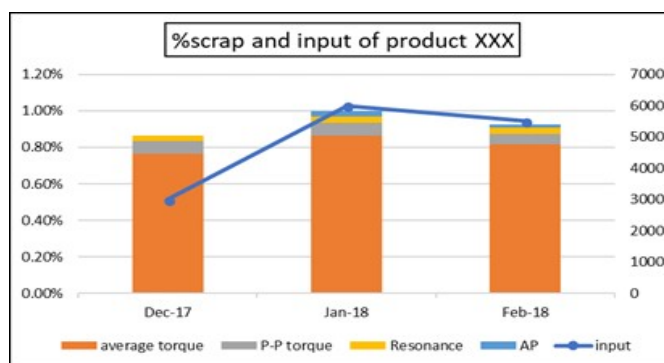
บทนำ

เนื่องจากการแข่งขันทางธุรกิจที่มีมากขึ้น ส่งผลให้แต่ละบริษัทพยายามลดต้นทุนทางการผลิตให้มากที่สุด และการลดของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต เป็นดัชนีชี้วัดผลงานหรือความสำเร็จของงาน (KPI) ที่ทุกบริษัทนั้นให้ความสำคัญ ซึ่งแผนกที่เป็นกำลังสำคัญและถูกแต่งตั้งให้เป็นผู้ดำเนินการลดของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตคือ วิศวกรกระบวนการ (Process engineer)

เหตุผลที่ทำให้วิศวกรกระบวนการเป็นกำลังสำคัญนั้น เพราะวิศวกรกระบวนการเป็นผู้ที่มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการมากที่สุด และส่วนมากดัชนีชี้วัดผลงานหรือความสำเร็จของงานของแผนกนี้ก็คือการลดของเสียที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิต ซึ่งการศึกษานี้จะกล่าวถึงวิธีการลดของเสียจากการผลิตโดยใช้วิชาการออกแบบการทดลอง (Design of experiment (DOE)) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแรงบิด (Average torque) โดยมีเป้าหมายคือ การลดการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากค่าเฉลี่ยการบิดไม่ได้ตามข้อกำหนด

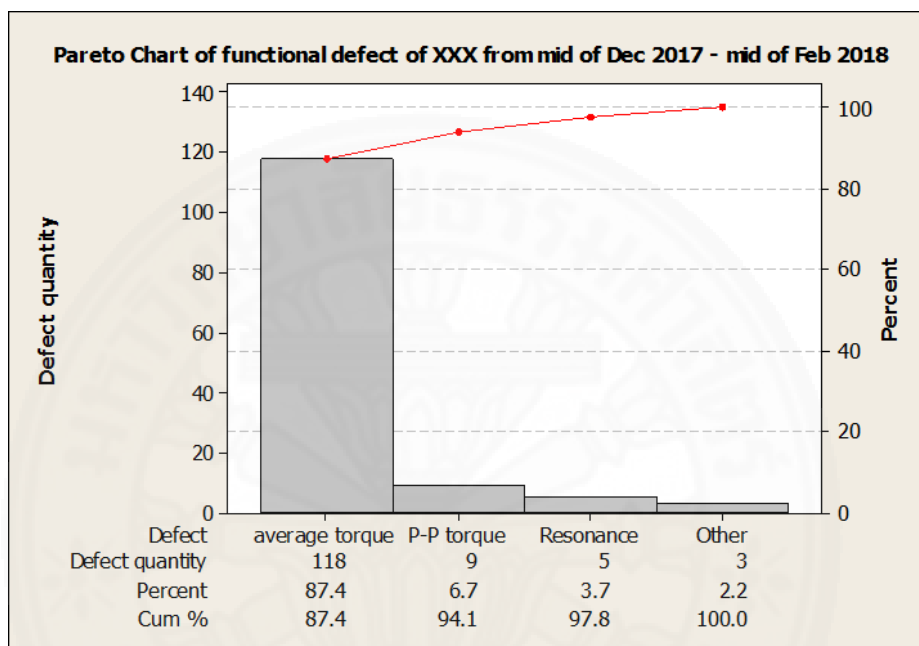
1.1 ความสำคัญของปัญหา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตไพวอท ซึ่งมีหลายโมเดล เนื่องด้วยดัชนีชี้วัดผลงานหรือความสำเร็จของงานของแผนกวิศวกรกระบวนการนั้นคือ การทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานต้องน้อยกว่า 0.5% ในแต่ละโมเดล และจากข้อมูลปัจจุบันพบว่าผลิตภัณฑ์โมเดล XXX เป็นโมเดลที่ยังไม่สามารถทำตามเป้าหมายได้ โดยอัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของโมเดล XXX ของเดือนธันวาคม 2560 ถึง กุมภาพันธ์ 2561 แสดงดังภาพที่ 1.1



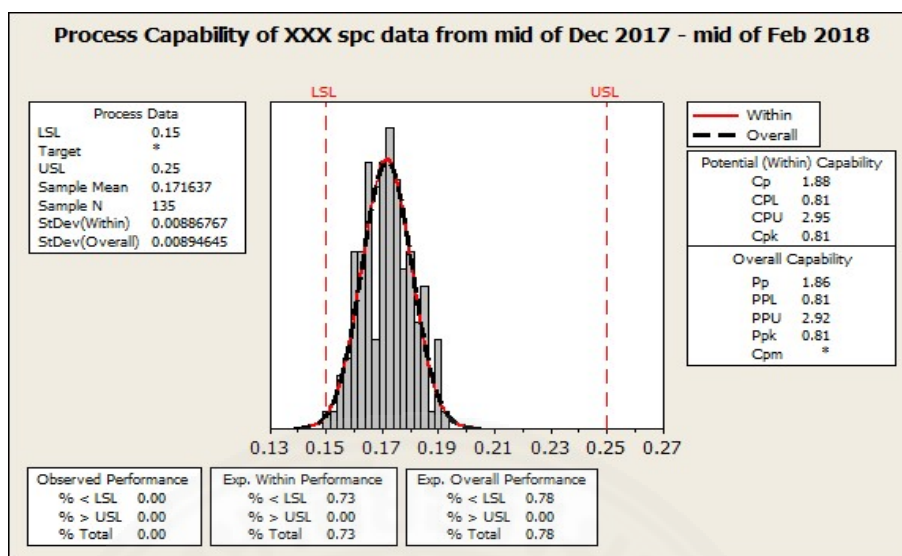
ภาพที่ 1.1 อัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของโมเดล XXX ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2560 ถึง กุมภาพันธ์ 2561

เมื่อพิจารณาข้อมูลอัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของ โมเดล XXX จะพบว่าอัตราการทิ้งของเสียมีมากถึง 0.9% จึงนำข้อมูลของเสียมาทำการวิเคราะห์ต่อ โดยใช้ผังพาเรโต้ดังแสดงดังภาพที่ 1.2 และพบว่ากว่า 87% ของอัตราการทิ้งของเสียทั้งหมดนั้นมาจากค่าเฉลี่ยของแรงบิด



ภาพที่ 1.2 ผังพาเรโต้ของอัตราการทิ้งของเสียของโมเดล XXX ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2560 ถึง กุมภาพันธ์ 2561

ค่าแรงบิดนี้เป็นคุณสมบัติที่วิกฤตต่อการทำงาน (Critical to function) ของไพอทซึ่งลูกค้ามีข้อกำหนดของแรงบิดอยู่ที่ 0.15 – 0.25 gf.cm. เมื่อนำมาข้อมูลการสุ่มวัดค่าแรงบิดมาในช่วงกลางเดือนธันวาคม 2560 – กลางเดือนกุมภาพันธ์ 2561 มาพิจารณาค่าความสามารถของกระบวนการ (Process capability) ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 1.3 พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ผลิตด้วยกระบวนการปัจจุบันมีค่าอยู่ที่ 0.171 gf.cm ซึ่งเป็นค่าที่เข้าใกล้ข้อกำหนดด้านต่ำ (lower spec limit) นอกจากนี้ยังพบว่าโอกาสที่ค่าแรงบิดจะออกนอกข้อกำหนดด้านต่ำมีมากถึง 0.73%



ภาพที่ 1.3 CPK ของค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX

ดังนั้น การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้จึงมีเป้าหมายที่จะลดของเสียแรงบิดโดยการเพิ่มค่าเฉลี่ยแรงบิดให้เข้าใกล้ค่ากลางที่ลูกค้ากำหนด (0.20 gf.cm)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อลดการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากค่าเฉลี่ยแรงบิดไม่ได้ตามข้อกำหนด (<0.15 gf.cm หรือ > 0.25 gf.cm) โดยการเพิ่มค่าเฉลี่ยแรงบิดให้เข้าใกล้ค่ากลางของข้อกำหนด (0.2 gf.cm)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาปัจจัยของกระบวนการประกอบไพลอท (Pivot)

1.3.2 ชนิดของ Pivot เป็นประเภทไม่มีเปลือกหุ้ม (Sleeve)

1.3.3 เครื่องจักรที่ใช้สำหรับการผลิตเป็นประเภทกึ่งอัตโนมัติ (Semi auto machine)

1.3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาตั้งแต่เดือนธันวาคม 2560 ถึง กุมภาพันธ์ 2561 รวมทั้งสิ้น

3 เดือน

1.3.5 ศึกษากระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย (Final assembly process) เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดและเป็นกระบวนการที่วิศวกรกระบวนการรับผิดชอบโดยตรง

1.3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจในการศึกษา คือ ค่าเฉลี่ยแรงบิด (Average torque) แรงบิดจะถูกเก็บค่าทุก ๆ 0.5 วินาที เป็นระยะเวลา 30 วินาทีและจะถูกคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยเครื่องมือวัด

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ระบุปัญหาและกำหนดตัวแปรตอบสนองของงานวิจัย
- 1.4.2 ระบุปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง
- 1.4.3 รวบรวมข้อมูลระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- 1.4.4 ออกแบบการทดลอง
- 1.4.5 ทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
- 1.4.6 ทำการหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ด้วยแผนการทดลองแบบ General full factorial design (GFD)
- 1.4.7 ผลิตชิ้นงาน XXX โดยใช้ปัจจัยและระดับของปัจจัยตามผลจากแผนการทดลองแบบ GFD
- 1.4.8 การติดตามผลและสรุปผลการดำเนินการ
- 1.4.9 ส่งเล่มการค้นคว้าอิสระฉบับสมบูรณ์

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1

แผนการดำเนินงาน

หัวข้อที่ดำเนินการศึกษาค้นคว้า	ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน)						
	พ.ศ. 2561						
	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
ระบุปัญหาและกำหนดตัวแปรตอบสนองของงานวิจัย							
ระบุปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง							
รวบรวมข้อมูลระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน							
ออกแบบการทดลอง							
ทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์							

หัวข้อที่ดำเนินการศึกษาค้นคว้า	ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน)						
	พ.ศ. 2561						
	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.
ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ด้วยแผนการทดลองแบบ General full factorial design (GFD)							
ผลิตชิ้นงาน XXX โดยใช้ปัจจัยและระดับของปัจจัยตามผล GFD							
ติดตามผลและสรุปผลการดำเนินการ							
ส่งการศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองฉบับสมบูรณ์							

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX อยู่ที่ 0.2 gf.cm
- 1.6.2 การทิ้งของเสียแรงบิดเหลือน้อยกว่า 0.4%
- 1.6.3 ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดเมื่อถูกประกอบไปพอทชนิดไม่มีเปลือกหุ้มด้วยเครื่องกึ่งอัตโนมัติ

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

2.1.1 หลักการการออกแบบการทดลอง

หมายถึง การออกแบบเพื่อหาว่าปัจจัยหรือตัวแปรนำเข้า (Input variable) ใดที่มีผลต่อผลตอบสนอง (Output respond) โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factor) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าให้ เป็นไปตามที่ต้องการได้ เช่น ปริมาณสาร แรงดัน อุณหภูมิของหัวแร่ เป็นต้น
2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factor) คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม ค่าได้ ส่วนมากจะเป็นสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิในอากาศ แรงสั่นสะเทือนของ เครื่องจักร เป็นต้น

2.1.2 วัตถุประสงค์การทดลอง

1. ปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนอง
2. ปัจจัยต้องอยู่ที่ระดับใดที่ทำให้ผลตอบสนองสูงที่สุด
3. ปัจจัยต้องอยู่ที่ระดับใดที่ทำให้ผลตอบสนองต่ำที่สุด
4. ปัจจัยต้องอยู่ที่ระดับใดที่ทำให้ผลตอบสนองใกล้เคียงค่าที่ต้องการมากที่สุด

2.1.3 พื้นฐานในการออกแบบการทดลอง

พื้นฐานการออกแบบการทดลองมี 3 อย่าง คือ

1. การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองแบบเดิมมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อที่จะกำจัดผลกระทบจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้มีผลน้อยที่สุดและเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะเป็น ตัวแทนของผลการทดลองนั้น ๆ
2. การทำแบบสุ่ม (Randomization) ทำเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ให้กับผลการทดลองในแต่ละแบบเท่า ๆ กัน
3. การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มเก็บข้อมูลเพื่อลดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ควบคุมหรือควบคุมไม่ได้

2.2 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

เป็นแผนการทดลองที่ศึกษาปัจจัย (Factor) เดียวแต่มีได้หลายระดับเพื่อดูว่าเมื่อระดับ (Level) ของปัจจัยนั้น ๆ เปลี่ยนไปจะมีผลต่อผลตอบสนอง (Respond) อย่างไรบ้าง แผนการทดลองนี้สามารถนำไปใช้ในการลดปัจจัย ที่จะถูกนำไปใช้ในแผนการทดลองลำดับถัดไปได้เช่น ในการทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการทำให้กาวแห้ง ปัจจัยเริ่มต้นที่จะใช้ในการทดลอง คือ 1. ความร้อน ซึ่งมี 3 ระดับ 2. ปริมาณตัวเร่ง 2 ระดับ 3. ความเข้มแสง UV 3 ระดับ และ 4. ความชื้นในอากาศ 2 ระดับ ถ้าการทดลองนี้เริ่มด้วยวิธีการทดลองแบบ General full factorial design จะมีการทดลองทั้งหมด 36 การทดลอง แต่ถ้าการทดลองนี้เริ่มจากการกรองปัจจัยด้วยแผนการทดลองแบบ CRD และได้ผลออกมาว่า ความเข้มแสง UV และความชื้นไม่ส่งผลต่อระยะเวลาในการทำให้กาวแห้ง จำนวนการทดลองที่เหลือในการทดลอง GFD จะเหลือเพียง 4 การทดลอง ซึ่งเกิดจากปัจจัยที่ 1 ปริมาณตัวเร่ง 2 ระดับ และ ปัจจัยที่ 2 ความชื้นในอากาศ 2 ระดับ เป็นต้น

สมการต้นแบบของ CRD คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

โดยที่

Y_{ij} คือ ค่าสังเกตจากหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์ที่ i เป็นซ้ำที่ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย i

ϵ_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตจากหน่วยทดลองที่ j ซึ่งได้รับทรีทเมนต์ที่ i

2.3 แผนการทดลองแบบ General full factorial design (GFD)

แผนการทดลองแบบ General full factorial design (GFD) เป็นการทดลองที่ทรีทเมนต์ประกอบด้วยปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปมารวมกันในรูปของทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment combination) การทดลองแบบ GFD สามารถสรุปผล ของผลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ การวิเคราะห์หาเรียนซ์ของการทดลองจะมี การแยกผล จากแต่ละปัจจัยและผลร่วม จะจัดทรีทเมนต์ในรูปแบบของ ทรีทเมนต์คอมบิเนชันจะประกอบด้วยปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปมารวมกัน และแต่ละปัจจัยจะมีตั้งแต่ 2 ระดับขึ้นไป เช่น การทดลองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการทำให้กาวแห้ง มีปัจจัยที่สนใจทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ 1. ปริมาณตัวเร่ง 2 ระดับ (สูง,ต่ำ) และปัจจัยที่

2 ความชื้นในการอากาศ 2 ระดับ (สูง, ต่ำ) ทรีทเมนต์คอมบิเนชันที่เกิดขึ้นจะมีทั้งหมด 4 ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน ซึ่งได้แก่ 1) ปริมาณตัวเร่งระดับสูง ความชื้นในอากาศระดับสูง 2) ปริมาณตัวเร่งระดับสูง ความชื้นในอากาศระดับต่ำ 3) ปริมาณตัวเร่งระดับต่ำ ความชื้นในอากาศระดับสูง 4) ปริมาณตัวเร่งระดับต่ำ ความชื้นในอากาศระดับต่ำ เป็นต้น

สมการต้นแบบของ GFD ที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่

Y_{ijk} คือ ค่าสังเกตในลักษณะที่ศึกษา

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

α_i คือ ผลจากปัจจัย A ที่ประกอบด้วย i ระดับ

β_j คือ ผลจากปัจจัย B ที่ประกอบด้วย j ระดับ

$(\alpha\beta)_{ij}$ คือ ผลจาก ผลรวม ของปัจจัย A ที่ i และปัจจัย B ที่ j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนที่ผู้ทำที่ k ของปัจจัย A ที่ i และปัจจัย B ที่ j

2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนคือเทคนิคที่ใช้ในการจัดสรรความแปรปรวนหรือความแปรผัน (Variance) ที่เกิดในข้อมูลออกเป็นส่วนย่อย ๆ ตามแหล่งที่คาดว่าทำให้เกิดความแปรผัน ความแปรผันที่เกิดขึ้นในข้อมูล เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

ความแปรผันทั้งหมด = ความแปรผันเนื่องจากปัจจัย + ความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล

สมการดังกล่าวได้จากข้อคิดที่ว่า ความแตกต่างกันของข้อมูลนั้นไม่อาจจะมาจาก สาเหตุของความแปรผันโดยธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า ความผิดพลาดแบบสุ่มของข้อมูลแต่เพียง อย่างเดียว แต่น่าจะมาจากปัจจัยหนึ่งปัจจัยหรือหลาย ๆ ปัจจัยทำให้เกิดความแปรผัน ดังนั้น ความแปรผันทั้งหมดที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจึงเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยและธรรมชาติของข้อมูล ปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อความแปรผันของข้อมูลถือได้ว่าเป็นตัวแปรอิสระซึ่งมี ผลต่อตัวแปรตาม โดยเป็นข้อมูลที่วัดผลหรือเก็บรวบรวมมา ตัวแปรอิสระดังกล่าวมักจะไม่ได้มีแค่ค่าเดียว แต่จะมีหลาย ๆ ค่าซึ่งเรียกว่า ระดับของ

ปัจจัย ถ้าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อตัวแปรตามจริง ๆ แต่ระดับก็จะมีผลต่อตัวแปรตามไม่เหมือนกัน การวิเคราะห์จึงทำโดยการทำการทดลองกำหนดค่าตัวแปรอิสระที่ระดับต่าง ๆ เพื่อหาตัวแปรตามที่เกิดขึ้นจากการทดลองนั้น ๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ดู ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของการทดลองนั้นมีนัยสำคัญหรือไม่ เมื่อเทียบกับความแปรผันโดยธรรมชาติของตัวแปรตาม และเพื่อที่จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์มีความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง จึงมักจะต้องทำการทวนซ้ำให้ได้จำนวนข้อมูลที่แต่ละการทดลองมากพอ การเลือกระดับของปัจจัยถ้าเป็นการเจาะจงรูปแบบของการทดลองจะถูกรเรียกว่าแบบ ผลกระทบคงที่ผลที่ได้จากการทดสอบจะสรุปได้เฉพาะอิทธิพลของปัจจัยที่ระดับที่นำมาทดสอบ แต่ถ้าเลือกระดับของปัจจัยเป็นการเลือกแบบสุ่มรูปแบบของการทดสอบจะเป็นแบบสุ่ม ผลที่ได้จากการทดสอบจะสรุปอิทธิพลโดยรวมของปัจจัย จาก

ความแปรผันทั้งหมด = ความแปรผันเนื่องจากปัจจัย + ความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล

หรือเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้

$$SS_T = SS_{Tr} + SS_E$$

โดยที่

SS_T คือ ผลบวกกำลังสองทั้งหมด

SS_{Tr} คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัย

SS_E คือ ผลบวกกำลังสองเนื่องจากความผิดพลาดแบบสุ่ม

การวัดความแปรผันจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรผัน (Variance) ที่ดีที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง (MS - Mean Square) โดยที่ค่าเฉลี่ย ผลบวกกำลังสองสามารถคำนวณได้จาก

$$MS = SS / DF$$

โดยที่

SS คือ ผลบวกกำลังสอง (Sum of Square)

DF คือ ชั้นของความอิสระ (Degree of freedom)

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่ใช้นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรผัน คือ

$$F = MS_{Tr} / MS_E$$

โดยที่

MS_{Tr} คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของปัจจัย

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม

การเปรียบเทียบค่าสถิติสำหรับทดสอบ F กับค่า F_{α, V_1, V_2}

ถ้า $F > F_{\alpha, V_1, V_2}$ ปฏิเสธ H_0

ถ้า $F < F_{\alpha, V_1, V_2}$ ยอมรับ H_0

โดย α คือ ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)

V_1 คือ ชั้นของความอิสระของปัจจัย

V_2 คือ ชั้นของความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) หรือการจำแนกทางเดียว (One Way ANOVA) สามารถเขียนตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง และค่าคาดคะเนของค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง E (MS) ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

สูตรในตาราง Anova

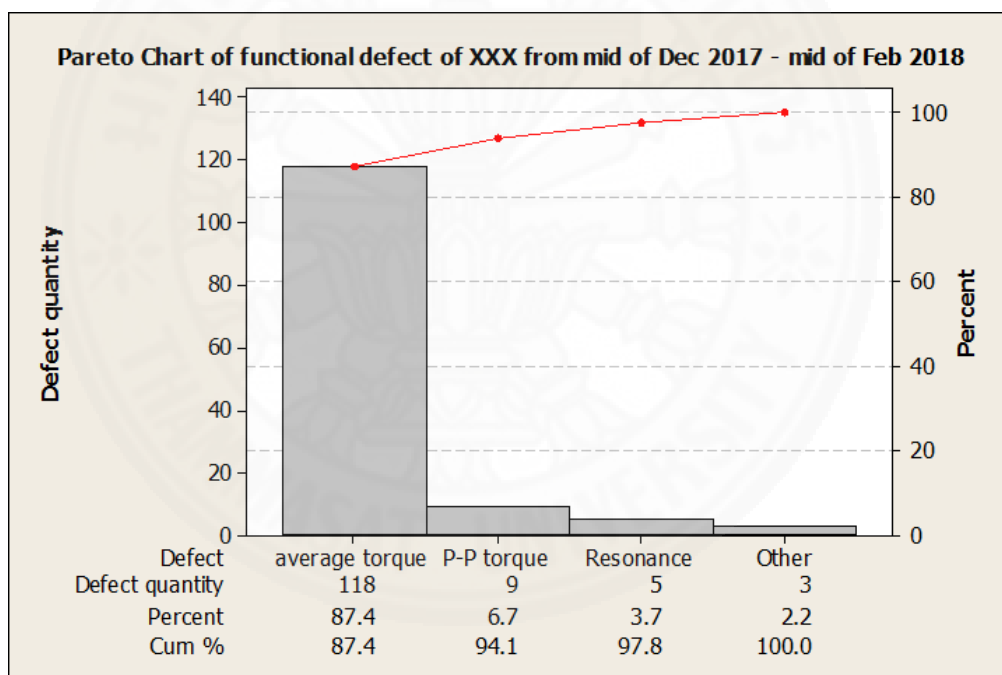
แหล่งที่มา (Source)	องศาเสรี (D.F.)	ผลบวกกำลังสอง (Sum Square)	ค่าเฉลี่ย SS (Mean Square)	ค่าสถิติ (F)
Treatment	a-1	SSA	MSA=SSA/(a-1)	F=MSA/MSE
Error	N-a	SSE=SST-SSA	MSE=SSE/(N-a)	
Total	N-1	SST		

2.5 แผนภูมิพาร์เรโต้ (Pareto chart)

พาร์เรโต้ หรือ เพอร์โต้ (Pareto) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้แสดงรายละเอียดของสิ่งที่สนใจในรูปแบบของกราฟผสมระหว่างกราฟแท่ง กับกราฟเส้น โดยเรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อตามลำดับความถี่มากไปหาถี่ที่น้อยกว่า ตามหลักของกฎ 80:20 หรือ กฎของเพอร์โต้ ที่ว่า สาเหตุหลัก

20% ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ 80% เช่น ปัญหางานแตก เกิดจากการขนย้ายซึ่งเป็นปัญหาหลัก ถ้าแก้ไขปัญหการขนย้ายได้ โอกาสที่ของเสียจะลดลงถึง 80% ดังนั้น ต้องหาสาเหตุหรือต้นตอของปัญหาหลักให้เจอ และแก้ไขโดยเร็วที่สุด สำหรับรายละเอียดส่วนใหญ่ที่นำเสนอมีหลายประเภท เช่น ปริมาณของเสีย คุณภาพสินค้า อุบัติเหตุ ความปลอดภัย การส่งมอบ ค่าใช้จ่าย ซึ่งหัวข้อเหล่านี้จะนำไปสู่การแก้ไขปัญหา หรือวางแผนการดำเนินงานต่อไป และพาวเรโตนี้นิยามใช้ประกอบการดำเนินกิจกรรมควิซีซีเป็นอย่างมาก

สำหรับประโยชน์ที่ได้รับของพาวเรโตนี้นี้ มีหลายประการ ได้แก่ 1) ทำให้ทราบถึงหัวข้อที่มีความถี่สูงสุด เช่น ปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุด ชนิดของปัญหาที่มีความถี่มากที่สุด 2) ทำให้ทราบอัตราส่วนของปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาอื่น ๆ 3) ทำให้ทราบลำดับ และความสำคัญของปัญหา เป็นต้น ตัวอย่างแผนภูมิพาวเรโตนี้นี้แสดงดังภาพที่ 2.1

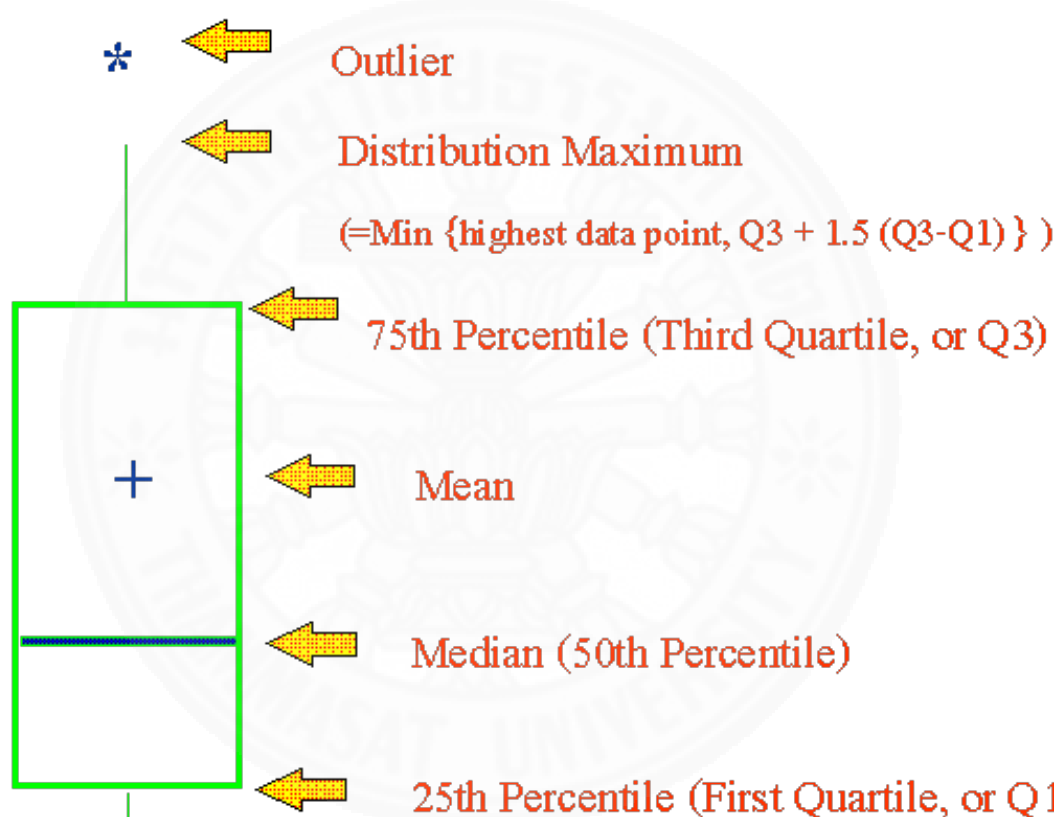


ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างแผนภูมิพาวเรโตนี้นี้

จากตัวอย่างจะเห็นว่าปัญหาหลักที่พบ คือ Average torque ดังนั้น ถ้าสามารถลดของเสียจาก Average torque ให้เป็น 0 ได้จะสามารถลดของเสียได้ถึง 87.4% ของของเสียทั้งหมด

2.6 แผนภาพกล่อง (Box whisker plot)

แผนภาพที่ใช้สรุปลักษณะของข้อมูล โดยใช้ค่าที่คำนวณได้ในข้อมูล มาสร้างแผนภาพ ดังนั้นแผนภาพกล่องจะแสดงลักษณะที่สำคัญของข้อมูลชุดนั้น ๆ เช่น ค่ากลาง ค่าการกระจาย ลักษณะการแจกแจงข้อมูล และค่าผิดปกติของข้อมูล โดยส่วนประกอบของแผนภาพกล่องแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบของแผนภาพกล่อง

Box plot จะแสดงข้อมูลทั้งหมดออกมา 3 Quartiles โดยมีการจัดเรียงอันดับของข้อมูลแล้ว ข้อมูลที่ตกอยู่ภายใต้ Q1 (Quartile 1) คือ ข้อมูล 25% แรกจากค่าต่ำขึ้นมา จะแสดงในรูปเส้นตรง หนึ่งเส้น (Whisker) ข้อมูลที่ตกอยู่ภายใต้ Q2 คือ ข้อมูลตัวที่มากกว่า 25% จนถึงตัวที่ 75% โดยแสดงออกมาในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายใน Q3 นี้ จะมีค่าที่ 50% ของข้อมูลอยู่ เขียนแทนด้วยเส้นตรงอยู่ภายในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่านี้คือ ค่าค่ากลางของข้อมูลทั้งหมด (Median) และตรงค่าเฉลี่ย

(Mean) จะแทนด้วยเครื่องหมายบวก โดยที่ค่าอาจจะเท่าหรือต่างกับค่า Median ก็ได้ ส่วนค่าที่ตกอยู่ภายใต้ Q3 คือ ตัวที่มากกว่า 75% ขึ้นไป จะเขียนแทนด้วยเส้นตรง เช่นเดียวกับ Q1

วิธีหาจุดเริ่มต้นของ Q1 และจุดสุดท้ายของ Q3 จะหาจากสมการตามที่ปรากฏอยู่ในรูป ดังนั้น ค่าที่ต่ำกว่า ค่าเริ่มต้นของ Q1 และค่าสุดท้ายของ Q3 จะเรียกว่า Outlier เขียนสัญลักษณ์แทนด้วย *

2.7 วรรณกรรมปริทรรศน์

โสภิตา ท้วมมี (2550) ทำการศึกษาในหัวข้อ การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้ การออกแบบการทดลอง โดยมีจุดประสงค์ที่จะลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ คือ จำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตารางเมตร ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการหลอม PVC compound ที่ Mixing rolls อุณหภูมิในการหลอม PVC compound ที่ Warming roll และปริมาณเศษพลาสติกพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing rolls โดยทั้ง 3 ปัจจัยมีระดับของปัจจัยอยู่ที่ 2 ระดับ แผนการทดลองที่ใช้ คือ 2k Factorial design

ผลการทดลองสรุปได้ว่าปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตารางเมตรออกมาน้อยที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิในการหลอม PVC compound ที่ Mixing rolls 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพลาสติกพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing rolls 30 กิโลกรัม/Batch

สุวิมล ต้นติวิภาณุวงศ์ (2552) ทำการศึกษาในหัวข้อ การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางทฤษฎีเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวริงจุดประสงค์เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการ ตัวแปรตอบสนอง คือ เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวริงของกาว ชนิด Halogen และ Non Halogen ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา และจำนวนชั้นนำเข้า แผนการทดลองที่ใช้ คือ การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และทฤษฎี

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวริง คือ อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียสสำหรับกาวชนิด Halogen และ Non Halogen, เวลา 60 นาทีสำหรับกาวชนิด Halogen และ 70 นาทีสำหรับกาวชนิด Non Halogen จำนวนชั้น 12 ชั้น สำหรับกาวทั้ง 2 ชนิด

กฤษติกา โพธิเกษม (2552) ทำการศึกษาในหัวข้อ การปรับปรุงค่าแรงบิดของไพวอตคาร์ทริดส์ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง จุดประสงค์เพื่อ ศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการผลิตไพวอตซึ่งก่อให้เกิด ค่าแรงบิดที่เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด ตัวแปรตอบสนองคือ ค่าแรงบิด ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาพักก่อนนำงานเข้าตู้อบ, แรงดันตู้อบ ปริมาณกาว และการผสมตัวเร่งที่น้ำยาทำความสะอาดแบริง โดยทุกปัจจัยมีทั้งหมด 2 ระดับ แผนการทดลองที่ใช้ คือ การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์และทาภูเขา

ผลการทดลองสรุปได้ว่าปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ให้ค่าแรงบิดเข้าใกล้เป้าหมายหมายคือ แรงดันตู้อบที่ 760 torr ปริมาณ 0.27 – 0.30 มิลลิกรัม และใช้การผสมตัวเร่งที่น้ำยาทำความสะอาดแบริงที่ 1%

ชยาภรณ์ พร้อมมูล (2553) การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดไม่เต็มแบบ ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปไม่เต็มแบบ และเพื่อกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัยและที่ทำให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลงอย่างน้อย 20% ตัวแปรตอบสนอง คือ จำนวนของผลิตภัณฑ์บกพร่อง ประเภทฉีดขึ้นรูปไม่เต็มแบบ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิแม่พิมพ์ในการฉีดพลาสติก ความเร็วในการฉีดพลาสติก และความดันในการฉีดพลาสติก โดยทุกปัจจัยมีปัจจัยละ 3 ระดับ แผนการทดลองที่ใช้ คือ แฟคทอเรียลแบบ 3k

ผลการทดลองสรุปได้ว่าปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ให้จำนวนของผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดขึ้นรูปไม่เต็มแบบ น้อยที่สุด คือ อุณหภูมิที่ 305 องศาเซลเซียส ความเร็ว 100 mm/s และแรงดัน 1500 kg./cm²

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการผลิตไฟวอตในภาพรวม

3.1.1 กระบวนการรับวัตถุดิบ (Material receiving process)

คือ กระบวนการรับวัตถุดิบเข้ามาในการผลิตโดยมีวัตถุดิบทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ แกนหมุน (Shaft) ตัวคั่น (Spacer) และตลับลูกปืน (Bearing) โดยมีการตรวจสอบฉลากที่ระบุรหัสของวัตถุดิบ (Material part number) และจำนวนของวัตถุดิบนั้น ๆ เทียบกับใบสั่งงาน ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก เป็นกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบเท่านั้น

3.1.2 กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ (Material inspection process)

คือ กระบวนการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก เป็นกระบวนการตรวจสอบรับวัตถุดิบเท่านั้น

3.1.3 กระบวนการล้างชิ้นงาน (Washing process)

คือ การล้างชิ้นงานให้สะอาดก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตซึ่งวัตถุดิบที่ถูกล้างของโมเดล XXX คือ แกนหมุน และตัวคั่น ซึ่งกระบวนการนี้มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก ส่งผลต่อความสะอาดและความไวในการแก้งของกาว แต่เนื่องด้วยเป็นกระบวนการที่ถูกคัดระดับของปัจจัยเป็นตัวเลยที่แน่นอนจึงไม่สามารถนำมาศึกษาได้

3.1.4 การทำความสะอาดตลับลูกปืน (Clean bearing process)

คือ การทำความสะอาดตลับลูกปืนโดยใช้ผ้าชุบสารเคมี ซึ่งกระบวนการนี้มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก ส่งผลต่อความสะอาดและความไวในการแก้งของกาว แต่เนื่องด้วยเป็นกระบวนการที่ถูกคัดระดับของปัจจัยเป็นตัวเลยที่แน่นอนจึงไม่สามารถนำมาศึกษาได้

3.1.5 การประกอบชุดประกอบย่อย (Sub assembly process)

คือ การทากาวที่ร่องด้านล่างของแกนหมุนจากนั้นสวมด้วยตลับลูกปืนตัวล่าง ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจากค่าแรงบิดจะเกิดจากตลับลูกปืนตัวบน

3.1.6 การประกอบขั้นสุดท้าย (Final assembly process)

คือ การนำตัวคั่นมาใส่ในชุดประกอบย่อย ทากาวที่ร่องของแกนหมุน สวมด้วย ตลับลูกปืน นำชิ้นงานเข้าตุ่มน้ำหนักร เมื่อครบเวลาที่กำหนดจึงนำชิ้นงานออกจากตุ่มน้ำหนักร ซึ่ง กระบวนการนี้มีผลต่อแรงบิดโดยตรงเนื่องจาก เป็นกระบวนการให้น้ำหนักกับตลับลูกปืนตัวบนและ ยึดขอบในของตลับลูกปืนด้วยกาว

3.1.7 การอบชิ้นงาน (Oven process)

คือ การให้ความร้อนชิ้นงานเพื่อให้กาวแห้งโดยสมบูรณ์ ซึ่งกระบวนการนี้มีผล ต่อแรงบิดโดยตรงเนื่องจาก ความร้อนทำให้แกนหมุนขยายตัวและเบียดกับขอบในของตลับลูกปืนตัว ปั่น จึงทำให้ค่าแรงบิดสูงขึ้น แต่เนื่องจากลูกค้ำไม่ได้กำหนดระดับของการอบไว้เป็นช่วงจึงไม่สามารถ ปรับระดับได้

3.1.8 กระบวนการตรวจสอบการทำงานของชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ (Auto functional inspection process)

คือ การตรวจสอบการทำงานของชิ้นงานหลังจากผลิตโดยการใช้เครื่องจักรในการ ตรวจสอบ ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก เป็นกระบวนการตรวจสอบ

3.1.9 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope inspection process)

คือ การตรวจภายลักษณะภายนอกของชิ้นงานโดยใช้กล้องไมโครสโคป ซึ่ง กระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก เป็นกระบวนการตรวจสอบ

3.1.10 กระบวนการบรรจุชิ้นงานลงไปถุงพลาสติก (Sealing process)

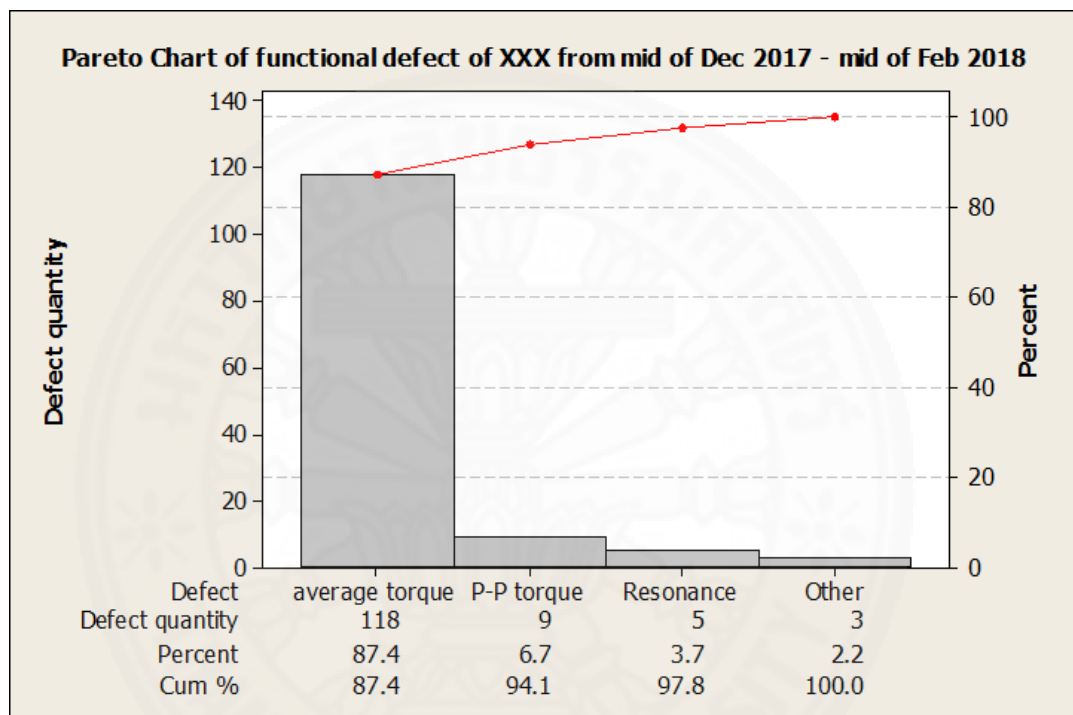
คือ การนำชิ้นงานบรรจุรวมกัน ใส่ลงในถุงพลาสติกและปิดผนึกโดยใช้ความร้อน ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก เป็นการบรรจุชิ้นงาน

3.1.11 กระบวนการบรรจุชิ้นงานลงในกล่อง (Packing process)

คือ การนำชิ้นงานที่ถูกปิดผนึกแล้วเรียงต่อกันและบรรจุลงไปในกล่องเพื่อรอการ จำหน่าย ซึ่งกระบวนการนี้ไม่มีผลต่อแรงบิดเนื่องจาก เป็นการบรรจุชิ้นงาน

3.2 ระบุปัญหาและตัวแปรตอบสนองของงานวิจัย

ตัวแปรตอบสนองในการทดลองครั้งนี้ คือ ค่าเฉลี่ยแรงบิด (Average torque) เนื่องจากอัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากค่าเฉลี่ยแรงบิดไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดนั้นมีมากที่สุดดังแผนภูมิ Pareto ในภาพที่ 3.1

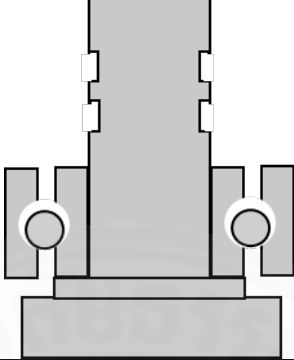




ภาพที่ 3.1 แผนภูมิ Pareto การทิ้งของเสียของโมเดล XXX

กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ยแรงบิดนั้น คือ กระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย (Final assembly) ซึ่งกระบวนการประกอบขั้นสุดท้ายนี้ใช้วัตถุดิบดังตารางที่ 3.1 และขั้นตอนการประกอบขั้นสุดท้ายแสดงในตารางที่ 3.2

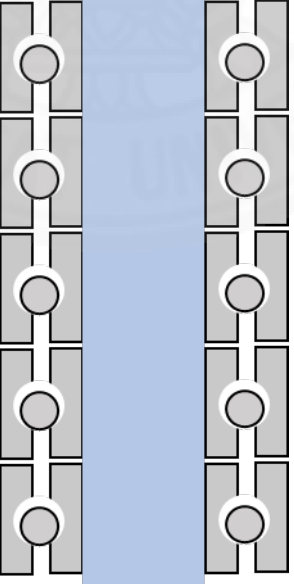
ตารางที่ 3.1

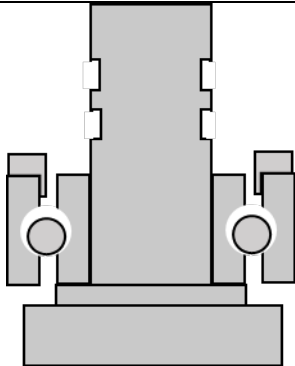
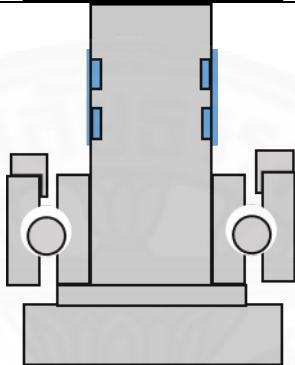
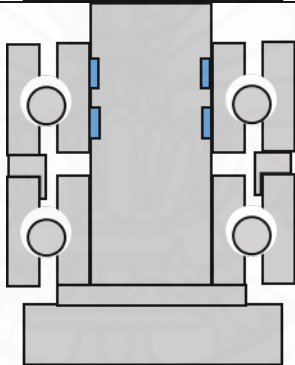
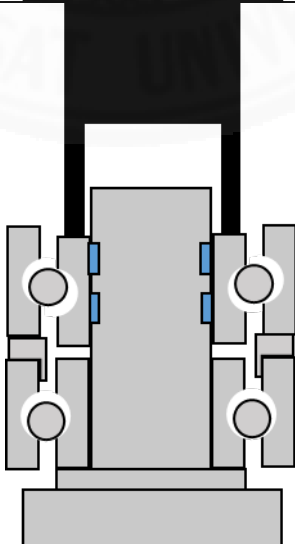
วัตถุดิบสำหรับขั้นตอนการประกอบขั้นสุดท้ายของโมเดล XXX

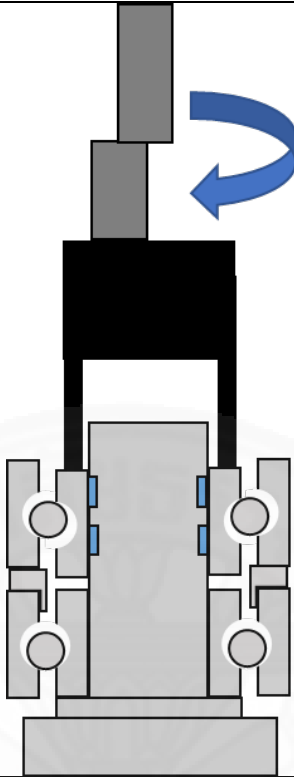
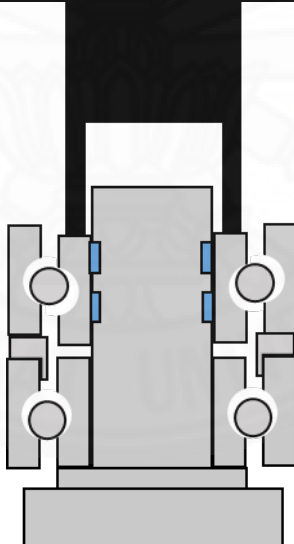
ลำดับ	ภาพประกอบ	ชื่อวัตถุดิบ
1		ชุดประกอบย่อย (Sub assembly)
2		ตัวคั่น (Spacer)
3		ตลับลูกปืน (bearing)

ตารางที่ 3.2

ขั้นตอนการประกอบขั้นสุดท้ายของโมเดล XXX

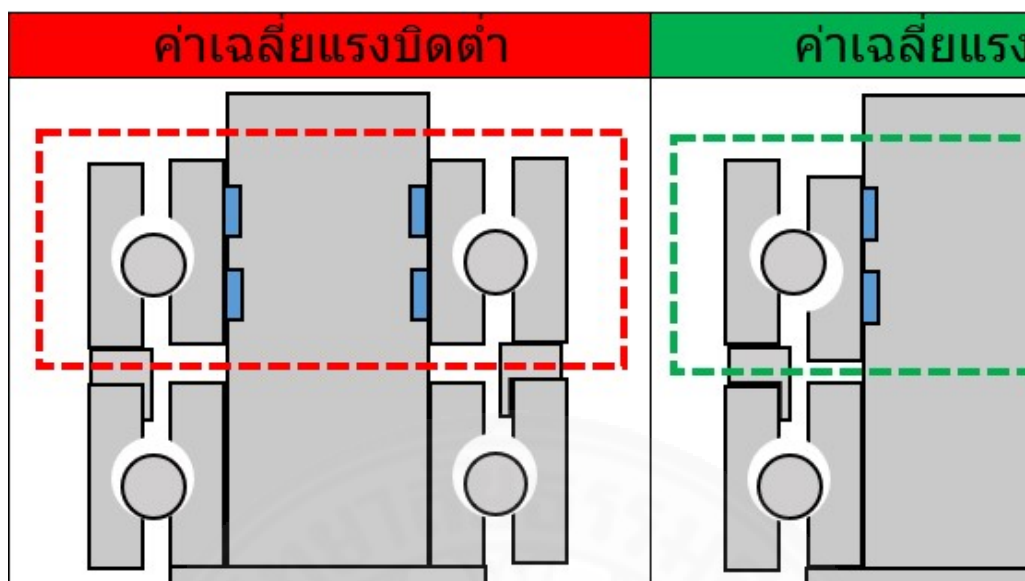
ลำดับขั้นตอน	ภาพประกอบ	คำอธิบาย
1		ทำความสะอาดตลับลูกปืนตัวบนด้วยผ้าชุบสารเคมี

2		นำตัวคั่นใส่ไปในชุดประกอบย่อย
3		தாகาวที่ร่องของแกนหมุน
4		ใส่ตลับลูกปืนตัวบน
5		ทับชิ้นงานที่ประกอบเสร็จด้วย ตุ้มน้ำหนัก

6		<p>ลูกกลิ้งลงกลิ้งบนตุ้มน้ำหนัก ชั้นตอนนี้เป็นชั้นตอนเสริมซึ่ง จะมีหรือไม่มีชั้นตอนนี้ก็ได้ ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบวิธีการ ผลิตของวิศวกรกระบวนการ</p>
7		<p>ลูกกลิ้งยกออกและทิ้งชิ้นงาน ไว้ตุ้มน้ำหนักตอนระยะเวลาที่ กำหนด หลังจากนั้นเอาชิ้นงาน ออกจากตุ้ม</p>

3.3 ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ค่าเฉลี่ยแรงบิดนั้นเกิดจากขอบในของตลับลูกปืนตัวบนกดทับลูกปืนตัวบน ถ้าการกดทับมากจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าการกดทับลูกปืนตัวล่างจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดต่ำ ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการกดทับของขอบในตลับลูกปืนที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดต่ำ/สูง

ขอบในของตลับลูกปืนถูกกดโดยตุ้มน้ำหนักและทำให้คงสภาพเหมือนถูกกดแม้ว่าออกจากตุ้มน้ำหนักแล้วโดยก้าว ดังนั้น ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง คือ

1. ในขั้นตอนย่อยที่ 1 การทำความสะอาดตลับลูกปืนด้วยผ้าชุบสารเคมี ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบนเป็นปัจจัยหลักเนื่องจากถ้าชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดไม่เหมาะสมจะทำให้เหลือสิ่งแปลกปลอมซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความไวในการแก้งของก้าว ลูกค้าไม่ได้กำหนดชนิดสารเคมีอย่างเจาะจง ในกรณีพิจารณาถึงสารเคมีอีกตัวหนึ่งที่น่าจะนำมาใช้ได้ ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน
2. ในขั้นตอนย่อยที่ 3 การทาขาวที่ร่องของแกนหมุน ปริมาณขาวที่ทาลงไปบนชิ้นงานมีหน้าที่ในการยึดขอบในของตลับลูกปืนให้อยู่ในสภาพเหมือนโดนตุ้มน้ำหนักทับ ลูกค้าให้ช่วงการยอมรับของปริมาณขาวที่กว้าง วิศวกรจึงสามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณขาวได้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน
3. ในขั้นตอนย่อยที่ 5 การทับชิ้นงานด้วยตุ้มน้ำหนัก น้ำหนักของตุ้มน้ำหนักเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดโดยตรงเพราะตุ้มน้ำหนักมีหน้าที่กดขอบในของตลับลูกปืนตัวบนจนครบระยะเวลาที่ทำให้ขาวแห้งตามที่วิศวกรกำหนด แต่ปัจจัยนี้ลูกค้าเป็นคนกำหนด ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงกำหนดเป็นปัจจัยคงที่
4. ในขั้นตอนย่อยที่ 5 – 7 ตุ้มน้ำหนักจะกดทับขอบในของตลับลูกปืนช่วงระยะเวลาหนึ่ง ระยะเวลาที่เหมาะสมจำเป็นต่อการแห้งตัวของขาวดังนั้นระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนักจึงส่งผลต่อการคงสภาพเหมือนขอบในของตลับลูกปืนถูกตุ้มน้ำหนักกดอยู่ถึงแม้ชิ้นงานจะถูกเอาออก

จากตุ่มน้ำหนักร ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนักไม่ได้มีข้อกำหนดจากลูกค้ำดั่งนั้น วิศวกรสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปรผัน

5. การใช้ลูกกลิ้งชั้นตอนย่อยที่ 6 อาจจะมีผลหรือไม่มีผล เนื่องจากก่อนที่จะสวมตลับลูกปืนตัวบนนั้น แกนหมุนจะถูกทาากวก่อน เมื่อสวมตลับลูกปืนจะส่งผลให้กาวเริ่มแห้งตัวทำให้มีแรงต้านตุ่มน้ำหนักเกิดขึ้น ลูกกลิ้งนี้มีส่วนช่วยเพิ่มแรงให้ตุ่มน้ำหนักกดขอบในของตลับลูกปืนลงไป ในตำแหน่งที่ควรจะเป็น ลูกกลิ้งเป็นปัจจัยที่ลูกค้ำไม่ได้ควบคุมจึงสามารถเลือกได้ว่าจะใช้หรือไม่ใช้ จึงกำหนดให้เป็นปัจจัยแปร

ปัจจัยแปรผันและปัจจัยคงที่สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3

ปัจจัยแปรผันและปัจจัยคงที่

ลำดับที่	ปัจจัย	ชนิดของปัจจัย
1	น้ำหนักของตุ่มน้ำหนัก	คงที่
2	ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน	แปรผัน
3	ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	แปรผัน
4	ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนัก	แปรผัน
5	การไม่ใช้/ใช้ ลูกกลิ้ง	แปรผัน

3.4 รวบรวมข้อมูลระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

รวบรวมข้อมูลระดับของแต่ละปัจจัยที่ใช้อยู่ปัจจัยของโมเดล XXX แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4

ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน XXX ในปัจจุบัน

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
น้ำหนักของตุ่มน้ำหนัก	150 กรัม
ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน	A
ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	0.25 - 0.30 มิลลิกรัม
ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนัก	13 นาที
การไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้ง	ไม่ใช้

3.5 การออกแบบการทดลอง (DOE)

หลังจากทราบถึงปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดและระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแล้ว จึงได้ออกแบบการทดลอง

3.5.1 ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตั้บถูกปืนตัวบน สามารถปรับได้ 2 ระดับ คือ

- 1) A (ชนิดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน)
- 2) B

สารเคมี 2 ชนิดนี้เป็นสารเคมีที่วิศวกรสามารถเลือกใช้ได้ในทุกโมเดล

3.5.2 ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน สามารถปรับระดับได้ 3 ระดับ คือ

- 1) 0.10 – 0.15 มิลลิกรัม
- 2) 0.25 – 0.30 มิลลิกรัม(ระดับปัจจุบันที่ใช้อยู่)
- 3) 0.35 – 0.40 มิลลิกรัม

เหตุผลที่วิศวกรสามารถปรับระดับของปริมาณกาวได้ 3 ระดับนี้ เนื่องจากข้อกำหนดของลูกค้าระบุไว้ว่า ปริมาณกาวต้องอยู่ในช่วง 0.10 – 0.40 มิลลิกรัม ฝ่ายผลิตไม่สามารถปรับปริมาณกาวให้ได้ค่าที่แน่นอนได้จึงถูกกำหนดเป็นช่วง ๆ แทน เลือกทดสอบที่ปริมาณกาวที่ 0.10 – 0.15 มิลลิกรัม และ 0.35 – 0.40 เพราะอยากทราบค่าเฉลี่ยแรงบิดเมื่อปริมาณอยู่ติดขอบเขตล่างและขอบเขตบนของข้อกำหนด

3.5.3 ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก สามารถปรับได้ 3 ระดับ คือ

- 1) 11 นาที
- 2) 13 นาที (ระดับปัจจุบันที่ใช้อยู่)
- 3) 15 นาที

เหตุผลที่วิศวกรสามารถปรับระดับของปริมาณกาวได้ 3 ระดับนี้นั้น เนื่องจากพนักงานไม่สามารถทำงานให้ไวกว่า 11 นาทีได้ ส่วน 15 นาทีนั้นคิดจากยอดการผลิตขั้นต่ำที่ส่วนงาน Production control ต้องการต่อ 1 เครื่องจักร

3.5.4 การใช้หรือไม่ใช้ลูกกลิ้ง สามารถปรับได้ 2 ระดับ คือ

- 1) ไม่ใช้ลูกกลิ้ง (ระดับปัจจุบันที่ใช้อยู่)

2) ใช้ลูกกลิ้ง
 น้ำหนักของลูกกลิ้งไม่สามารถปรับระดับได้ดังนั้นจึงสามารถเลือกได้แค่จะใช้
 หรือไม่ใช้ลูกกลิ้ง
 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะถูกใช้ในการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะถูกใช้ในการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
		ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1	สารเคมีที่ใช้ล้างตัลลึงเป็นตัวบน (ชนิด)	A	B	
2	ปริมาณการที่ทาลงไปบนชิ้นงาน (มิลลิกรัม)	0.10 – 0.15	0.25 – 0.30	0.35 - 0.40
3	ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก (นาที)	11	13	15
4	การไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้ง	ไม่ใช้	ใช้	

3.6 ปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกควบคุม

นอกจากปัจจัยทั้ง 4 ที่ถูกกล่าวมาข้างต้นแล้ว ปัจจัยที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ย
 แรงบิดอื่น ๆ ที่ถูกควบคุมมีดังนี้

1) ใช้พนักงานเพียงคนเดียวในการประกอบชิ้นงาน XXX ของการทดลองนี้เพื่อลดปัจจัย
 อันเนื่องมาจากความสามารถของพนักงาน

2) กำหนดให้ใช้เครื่องจักรเดียวกันในการทดลองทั้งหมดเพื่อตัดปัจจัยเรื่อง
 แรงสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

3) กำหนดวัตถุดิบทุกตัวมาจากชุด (Lot) เดียวกันในการทดลองทั้งหมดเพื่อลดปัจจัย
 อันเนื่องมาจากความผันแปรของวัตถุดิบ

3.7 การกรองปัจจัยที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองโดยการใช่แผนการทดลอง CRD

การกรองปัจจัยทำเพื่อลดจำนวนการทดลอง โดยจะทำการทดลองที่ละปัจจัยให้ครบทุกระดับก่อนจะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ GFD ซึ่งการตัดสินใจว่าปัจจัยไหนจะถูกกรองออกนั้นจะดูจาก P Value ของตาราง Anova โดยใช้ α ที่ 0.05 ดังนั้น ถ้า P Value น้อยกว่า 0.05 ปัจจัยนั้นจะไม่ถูกนำไปใช้ในขั้นตอน GFD

จากการกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยในข้อ 3.1 จะเห็นว่า ถ้าทำการทดลอง GFD โดยไม่มีการทำการกรองปัจจัยก่อนการทดลองจะมีทั้งหมด 36 การทดลอง ซึ่งยังไม่รวมการทำซ้ำ (replicate) แต่ถ้าสมมุติว่าเริ่มจากการทำ CRD และได้ P Value ของปัจจัยสารเคมีที่ใช้ล้างตลับ ลูกปืนตัวบนและปัจจัยปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน มากกว่า 0.05 ปัจจัย 2 ปัจจัยนี้จะถูกกรองออกและปัจจัยเหลือไว้ทำ GFD จะเหลือ 2 ปัจจัย คือ การใช้หรือไม่ใช้ลูกกลิ้ง 2 ระดับ และระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก 3 ระดับ ดังนั้น การทดลอง GFD จะเหลือ 6 การทดลองจาก 36 การทดลอง ซึ่งยังไม่รวมการทำซ้ำ

3.8 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ด้วยแผนการทดลอง General full factorial design (GFD)

หลังจากกรองปัจจัยด้วยวิธีทาง CRD จะได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้น การทำ GFD จะได้ผลของอันตรกิริยา (Interaction effect) และอิทธิพลหลัก (Main effect) รวมถึงระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm โดยการดูว่า Interaction effect และ Main effect ตัวไหนนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ให้ดูที่ค่า P Value ของตาราง Anova การเลือกระดับของปัจจัยต่าง ๆ นั้นจะดูจากระดับไหนที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ใกล้เคียง 0.2 gf.cm มากที่สุด

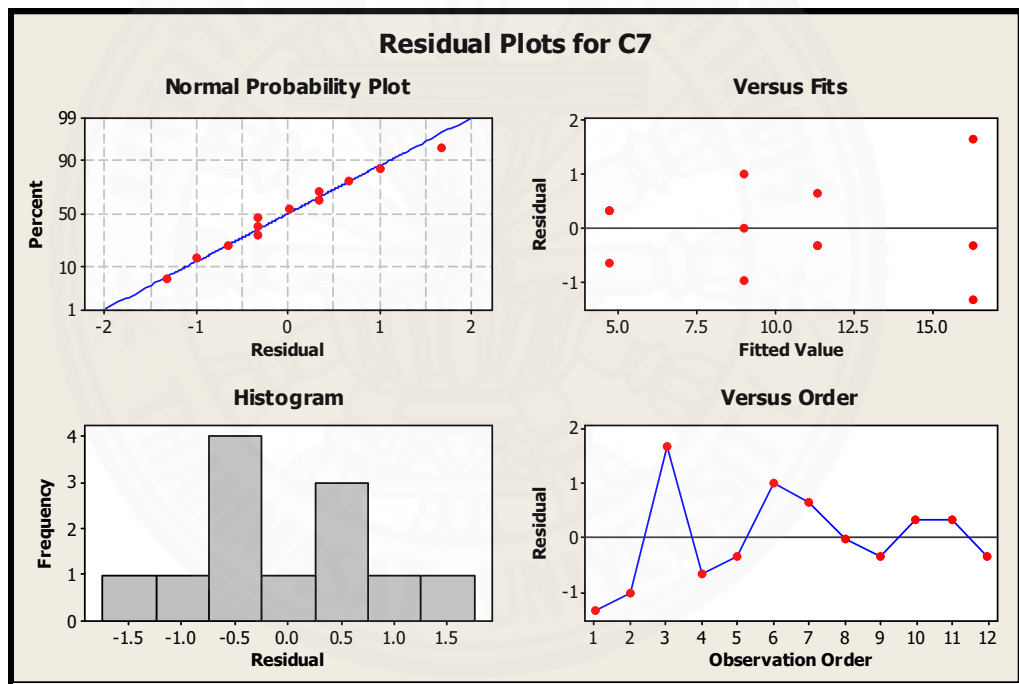
3.9 ความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง

ผลจากตาราง Anova จะสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่ได้นั้นจะดูได้จากการนำข้อมูลมาทำ residual plot โดยสิ่งที่ต้องทำการตรวจสอบมีอยู่ 3 อย่างคือ

1) การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ ด้วย Normal Probability plot ซึ่งการตัดสินใจว่าการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่นั้นให้ดูว่ามีจุดใดอยู่นอกเส้นอย่างชัดเจนหรือไม่ ถ้าทุกจุดอยู่ใกล้เส้นถือว่าการแจกแจงของข้อมูลนั้นมีการแจกแจงแบบปกติ

2) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนสม่ำเสมอหรือไม่ ด้วย Residual vs Fitted value การตัดสินใจว่าความแปรปรวนมีความสม่ำเสมอหรือไม่นั้นให้ดูว่ากราฟมีแนวโน้มหรือไม่ ถ้ากราฟไม่มีแนวโน้ม ถือว่าข้อมูลมีความแปรปรวนสม่ำเสมอ

3) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลว่าเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ ด้วย Residual vs Observation order การตัดสินใจว่าข้อมูลเป็นอิสระหรือไม่นั้นให้ดูจากกราฟว่ามีแนวโน้มหรือไม่ ถ้ากราฟไม่มีแนวโน้มถือว่าข้อมูลมีอิสระต่อกัน



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่าง Residual plots

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

4.1 การทดลองเพื่อรองรับปัจจัยด้วยแผนการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

การทดลองด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) นั้นจะช่วยให้จำนวนการทดลองในขั้นตอนถัดไป (GFD) น้อยลง เนื่องจากปัจจัยบางปัจจัยนั้นจะถูกกรองออกด้วยวิธี CRD โดยปัจจัยและระดับปัจจัยที่จะทำการทดลองด้วยวิธีการ CRD นั้นแสดงในตาราง 4.1 การทดลองนี้เป็นการทดลองใหม่ทั้งหมด

ตารางที่ 4.1

ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง CRD

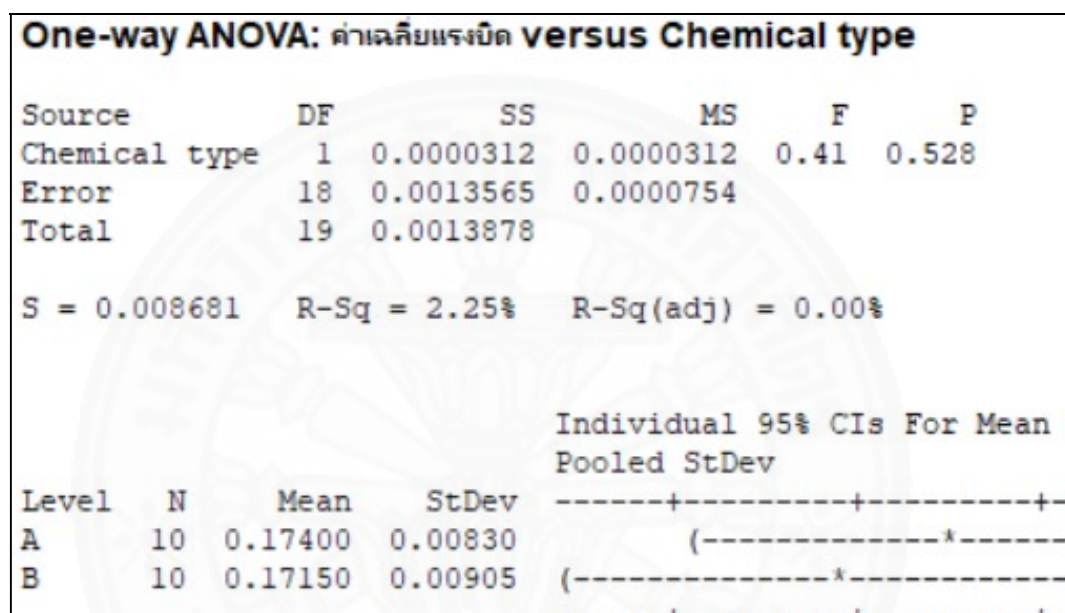
ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
		ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1	สารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน (ชนิด)	A	B	
2	ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน (มิลลิกรัม)	0.10 – 0.15	0.25 – 0.30	0.35 - 0.40
3	ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ่มน้ำหนัก (นาที)	11	13	15
4	การไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้ง	ไม่ใช้	ใช้	

ปัจจัยอื่น ๆ ที่ถูกควบคุมเพื่อลดความแปรปรวนระหว่างการทดลอง ได้แก่

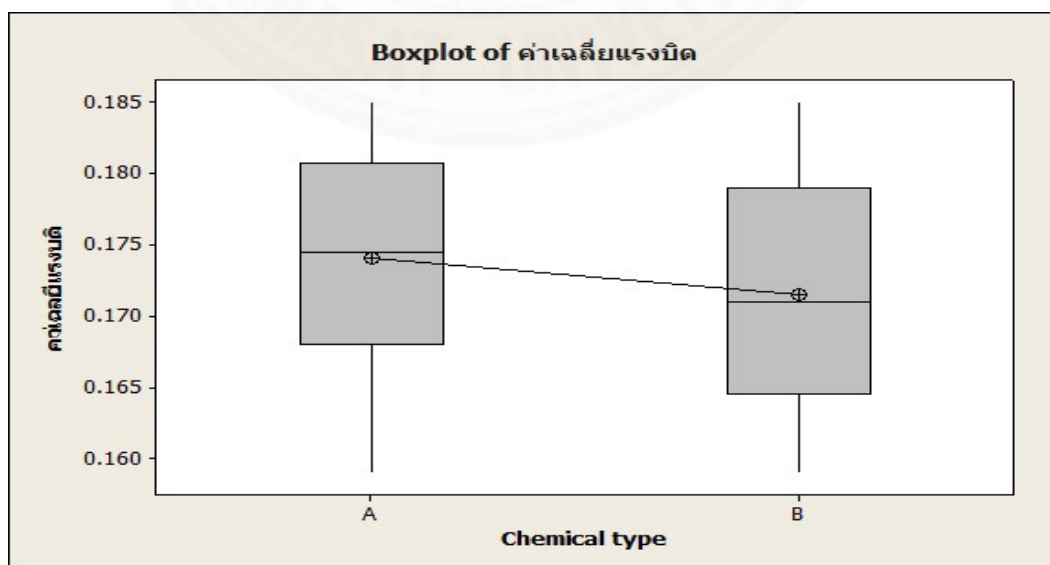
- 1) ใช้พนักงานทำการทดลองเพียงคนเดียว
- 2) ใช้วัสดุกลุ่มมาจากชุดเดียวกันทั้งหมด
- 3) ใช้เครื่องจักรที่ทำการทดลองเพียงเครื่องเดียว

4.1.1 การทดลองหาอิทธิพลของชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบนที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

ปัจจัยที่สนใจมีทั้งหมด 2 ระดับ คือ สารเคมีชนิด A และ B โดยปัจจัยอื่น ๆ จะใช้ระดับปัจจุบัน การทดลองนี้จะผลิตชิ้นงานระดับละ 10 ตัว ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.1 และแผนภาพกล่องแสดงดังภาพที่ 4.2



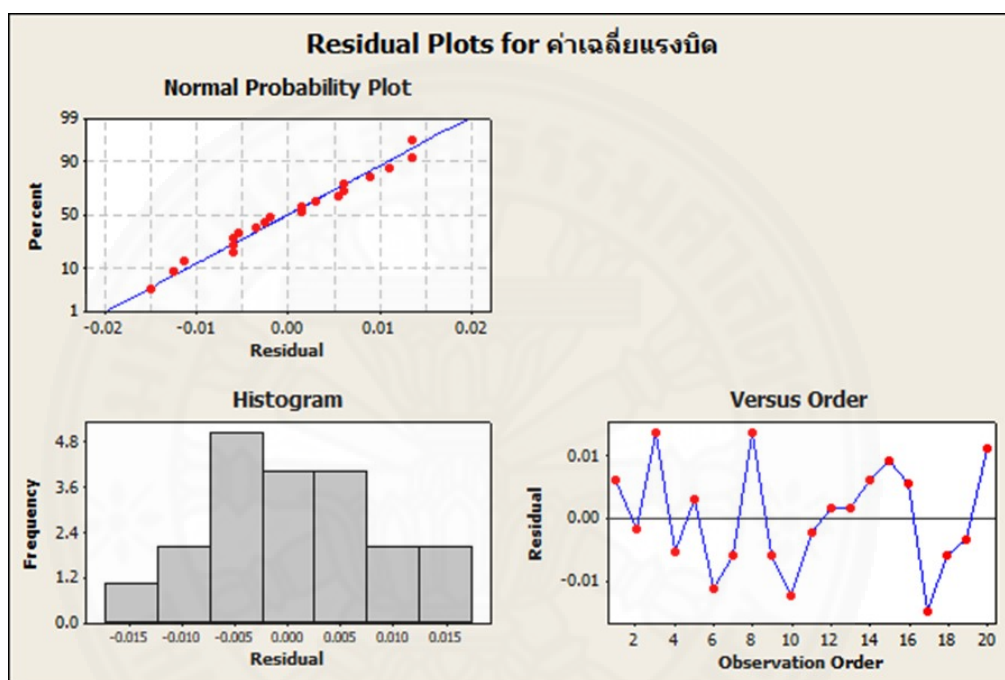
ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ Anova ของชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดตลับลูกปืนตัวบน



ภาพที่ 4.2 แผนภาพกล่องของชนิดสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดตลับลูกปืนตัวบน

ผลการวิเคราะห์ Anova ของสารเคมีชนิด A และ B ที่ใช้ทำความสะอาดตลับลูกปืนตัวบนพบว่า P Value มีค่า 0.528 ซึ่งมากกว่า α ดังนั้น สารเคมีชนิด A และ B ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบนที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.3



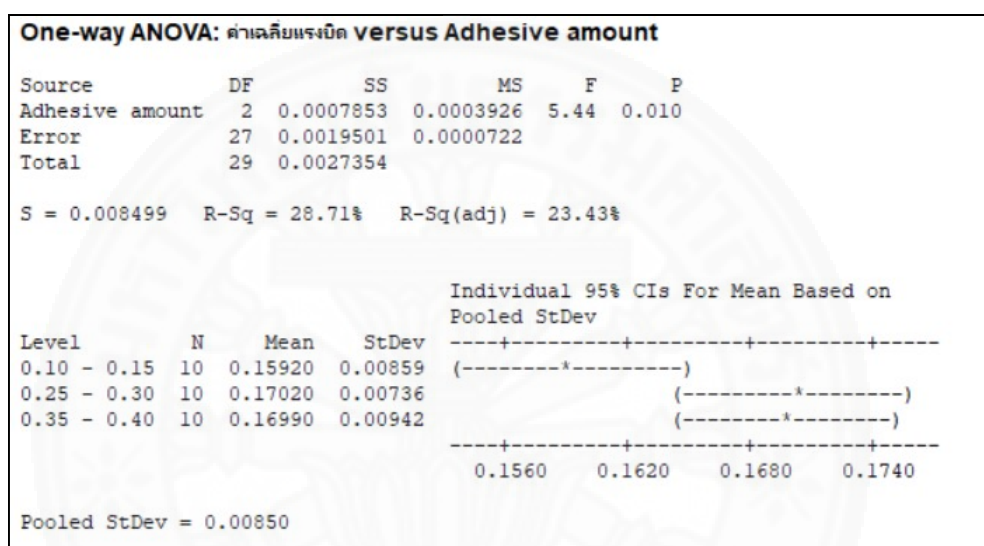
ภาพที่ 4.3 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดสารเคมี

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่า

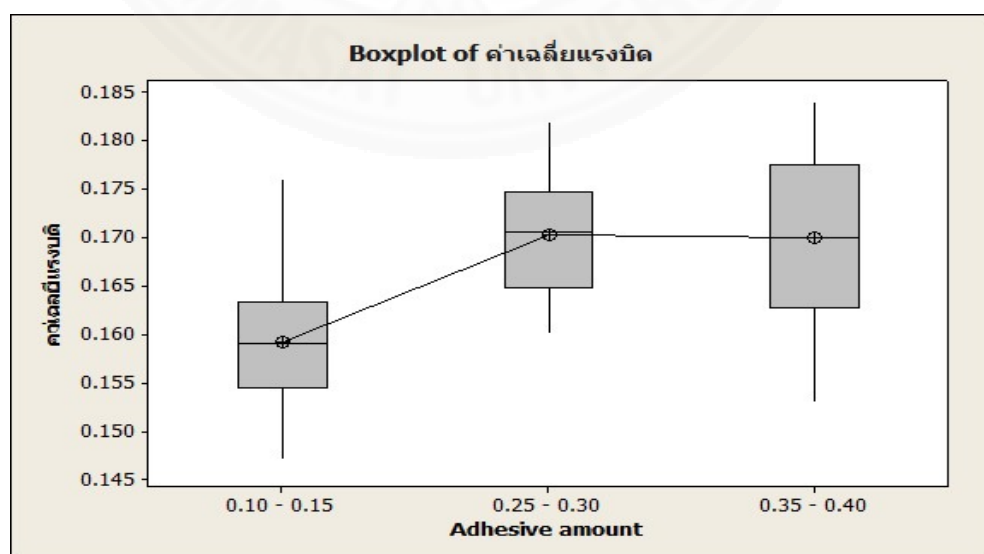
1. กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เคียงเส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
2. ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value
3. ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

4.1.2 การทดลองหาอิทธิพลของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงานที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

การทดลองปัจจัยนี้มีทั้งหมด 3 ระดับ คือ 0.10 – 0.15 มิลลิกรัม 0.25 – 0.30 มิลลิกรัม และ 0.35 - 0.40 มิลลิกรัม โดยปัจจัยอื่น ๆ จะใช้ระดับปัจจุบัน การทดลองนี้จะผลิตชิ้นงานระดับละ 10 ตัวงาน รวมทั้งหมด 30 ตัวงาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ Anova แสดงดังภาพที่ 4.4 และแผนภูมิกล่องแสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ Anova ของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน

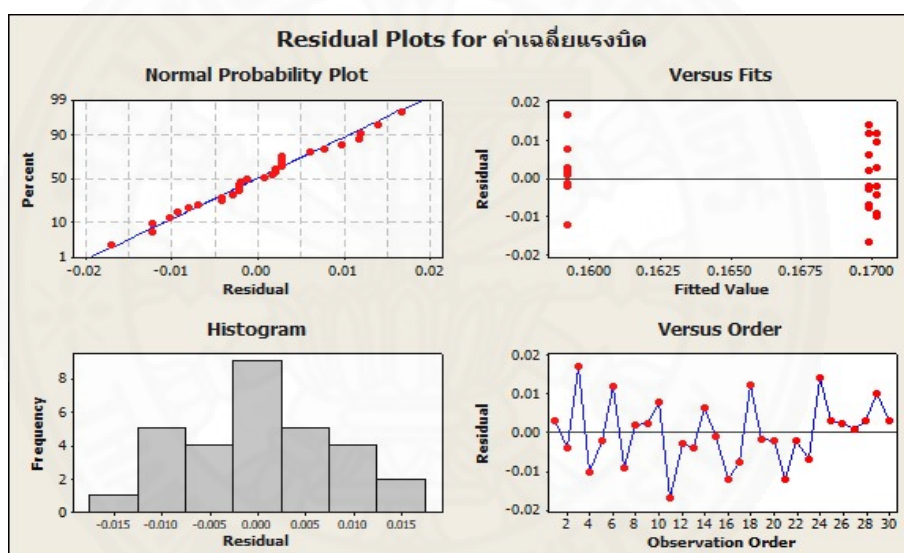


ภาพที่ 4.5 แผนภาพกล่องของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน

ผลการวิเคราะห์ Anova ของปริมาณกาวที่ทาลงบนชิ้นงานพบว่า P Value มีค่า 0.010 ซึ่งน้อยกว่า α ดังนั้น ปริมาณกาวที่ทาลงบนชิ้นงานมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

จากแผนภาพกล่องพบว่าเมื่อปริมาณกาวอยู่ที่ 0.10 – 0.15 มิลลิกรัม จะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.159 gf.cm ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยแรงบิดเมื่อใช้ปริมาณกาวอยู่ที่ 0.25 – 30 มิลลิกรัม และ 0.35 – 0.40 มิลลิกรัม ที่ให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.17 gf.cm อย่างมีนัยสำคัญ

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงานที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.6



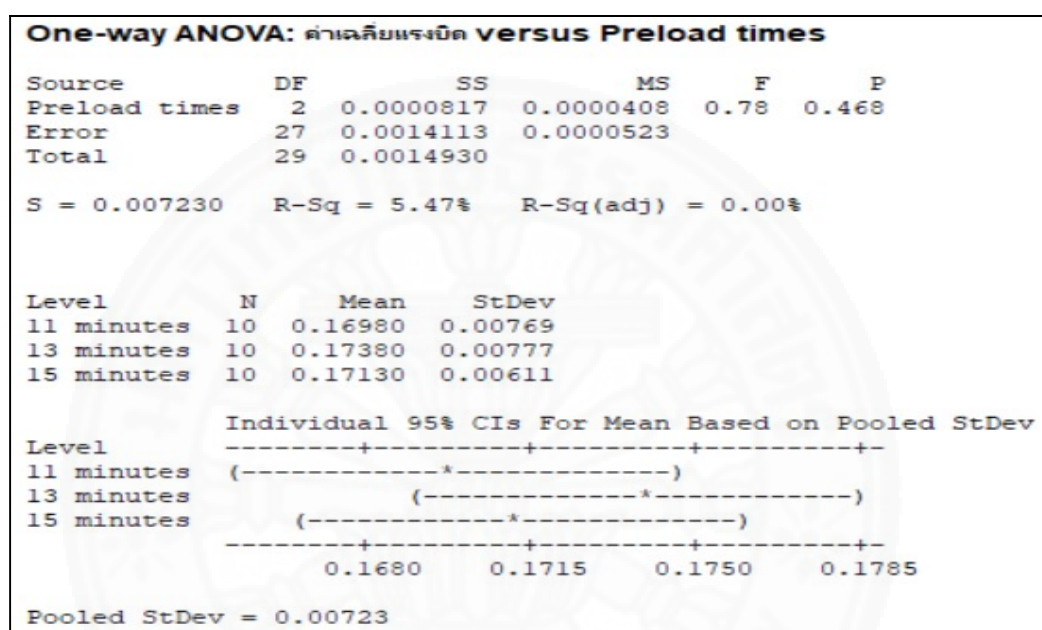
ภาพที่ 4.6 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ อิทธิพลของปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงานที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการ

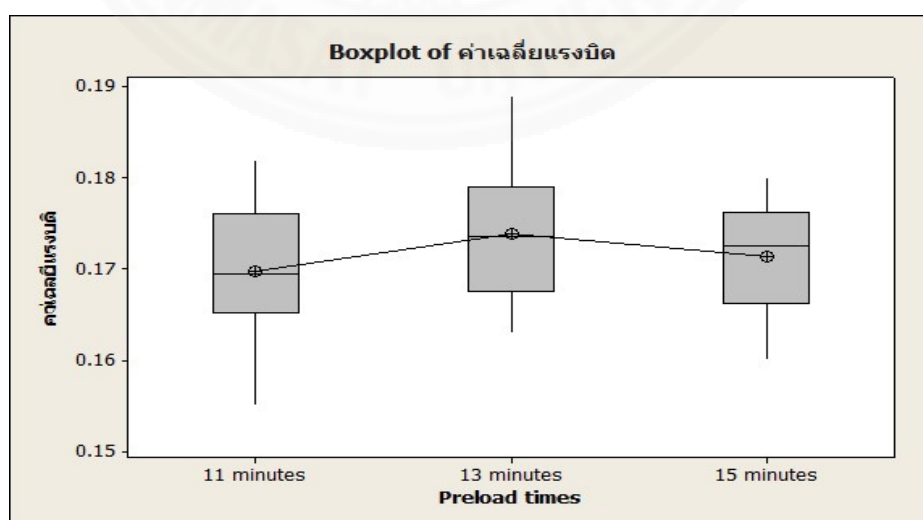
1. กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เคียงเส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
2. ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value
3. ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

4.1.3 การทดลองหาอิทธิพลของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนักที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

การทดลองปัจจัยนี้มีทั้งหมด 3 ระดับ คือ 11 นาที 13 นาที และ 15 นาที โดยปัจจัยอื่น ๆ จะใช้ระดับปัจจุบัน การทดลองนี้จะผลิตชิ้นงานระดับละ 10 ตัวงาน รวมทั้งหมด 30 ตัวงาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ Anova แสดงดังภาพที่ 4.7 และแผนภาพกล่องแสดงดังภาพที่ 4.8



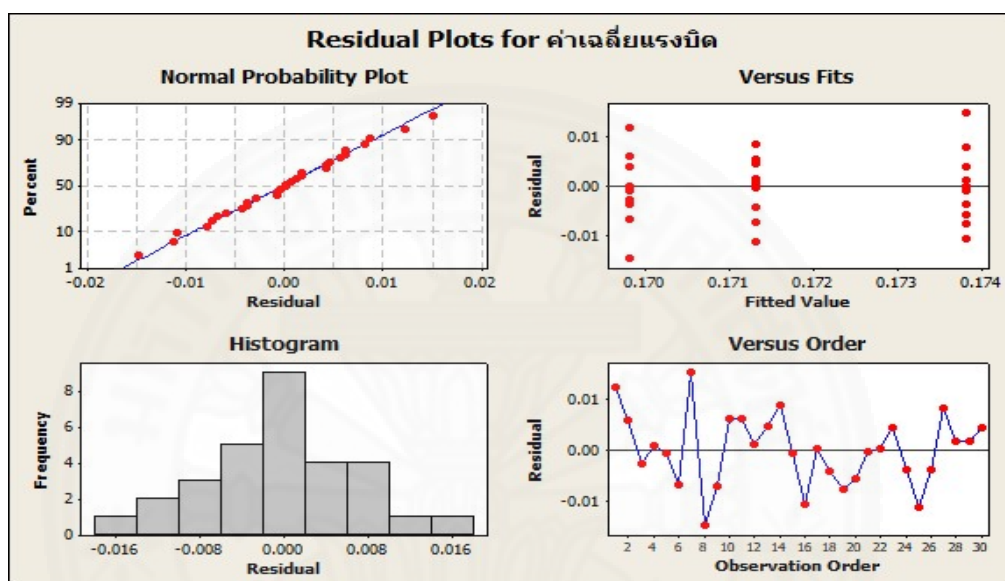
ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก



ภาพที่ 4.8 แผนภาพกล่องของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก

ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาการทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนักพบว่า P Value มีค่า 0.468 ซึ่งมากกว่า α ดังนั้น ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนักไม่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนักที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.9



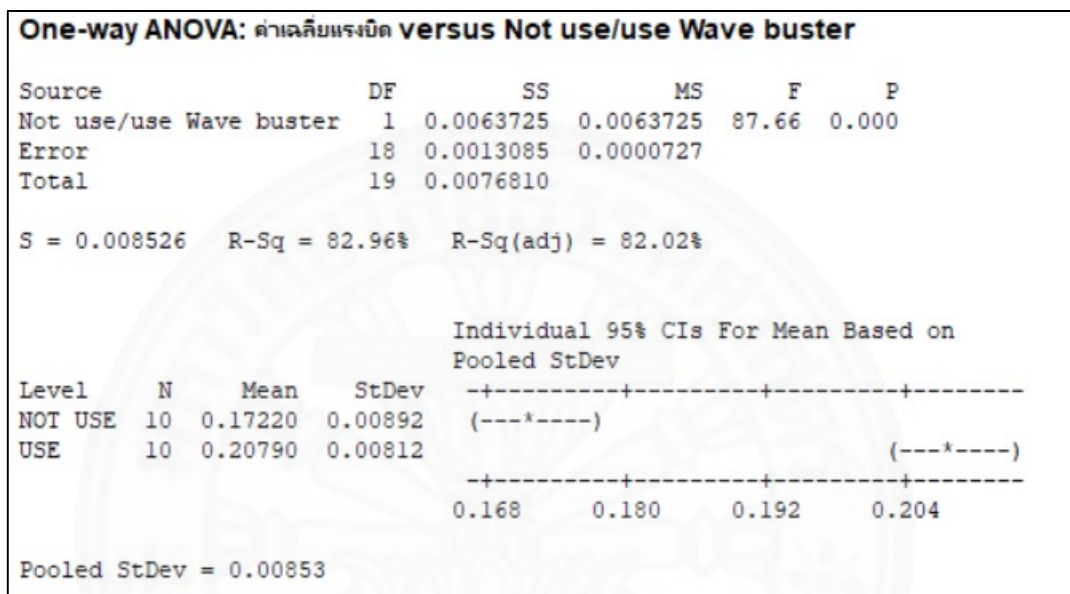
ภาพที่ 4.9 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนักที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการ

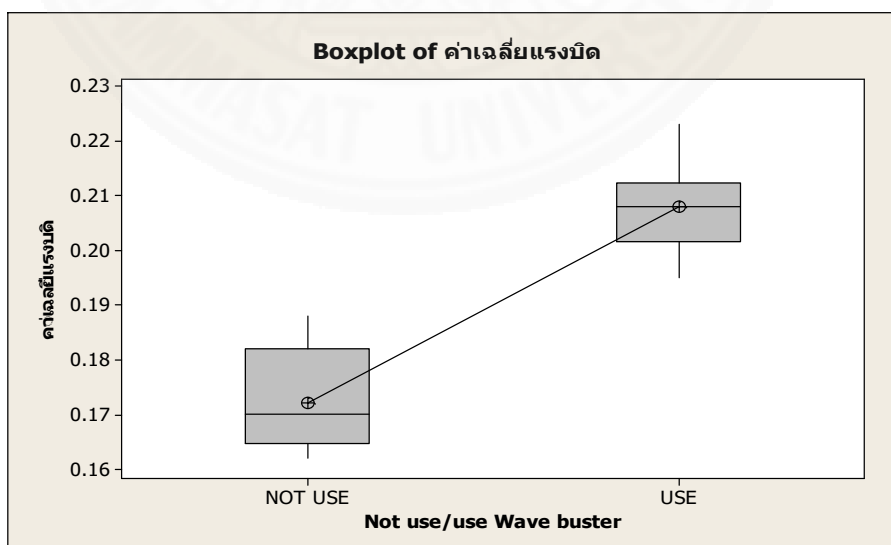
- 1) กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
- 2) ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value
- 3) ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

4.1.4 การทดลองหาอิทธิพลของการใช้หรือไม่ใช้ลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

การทดลองปัจจัยนี้มีทั้งหมด 2 ระดับ คือ ไม่ใช้ และใช้ลูกกลิ้ง โดยปัจจัยอื่น ๆ จะใช้ระดับปัจจุบัน การทดลองนี้จะผลิตชิ้นงานระดับละ 10 ตัวงาน รวมทั้งหมด 20 ตัวงาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ Anova แสดงดังภาพที่ 4.10 และแผนภาพกล่องแสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ Anova ของการไม่ใช้และใช้ลูกกลิ้ง

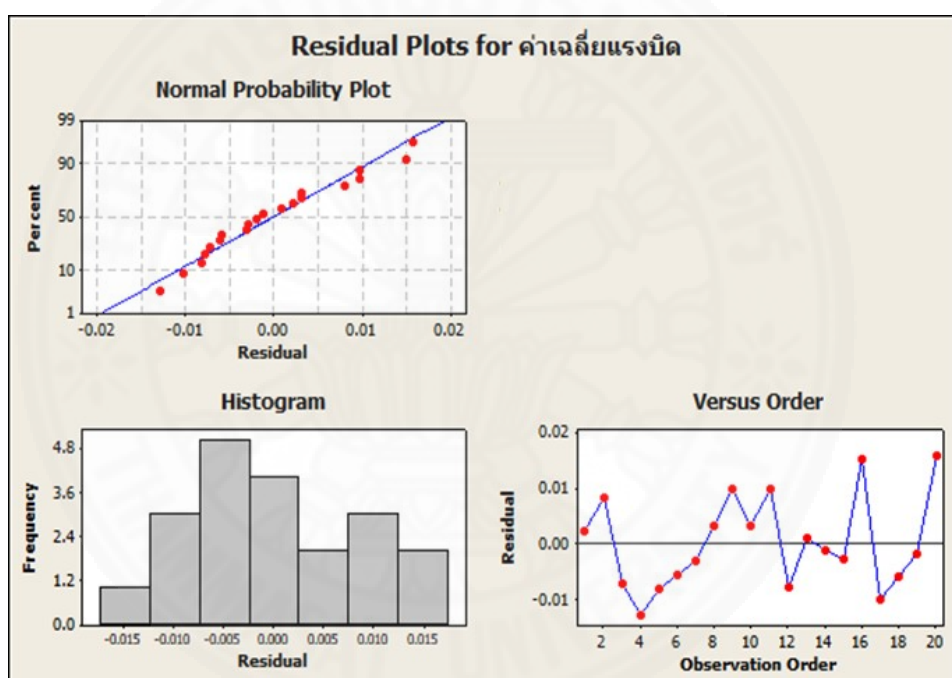


ภาพที่ 4.11 แผนภาพกล่องของการไม่ใช้และใช้ลูกกลิ้ง

ผลการวิเคราะห์ Anova ของการไม่ใช้และใช้ลูกกอล์ฟพบว่า P Value มีค่า 0.00 ซึ่งน้อยกว่า α ดังนั้น การไม่ใช้และใช้ลูกกอล์ฟมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

จากแผนภาพกล่องพบว่า เมื่อไม่ใช้ลูกกอล์ฟค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.172 gf.cm ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยแรงบิดเมื่อใช้ลูกกอล์ฟ ที่ให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.208 gf.cm อย่างมีนัยสำคัญ

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของการไม่ใช้และใช้ลูกกอล์ฟที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของการไม่ใช้และใช้ลูกกอล์ฟที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการ

- 1) กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เคียงเส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
- 2) ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value

3) ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

ผลการทดลองการไม่ใช้/ใช้ลูกกลิ้งพบว่า เมื่อใช้ลูกกลิ้งร่วมกับและปัจจัยอื่น ๆ ในระดับปัจจุบันจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.209 gf.cm ซึ่งเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด

ในกรณีนี้จึงพิจารณาปัจจัยที่จะมีผลในกระบวนการเมื่อมีการใช้ลูกกลิ้ง ได้แก่

- น้ำหนักของลูกกลิ้ง เป็นปัจจัยคงที่เพราะมีอยู่น้ำหนักเดียว แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนน้ำหนักจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ดังนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลอิทธิพลของการ ไม่ใช้/ใช้ ลูกกลิ้งที่มีต่อค่าแรงบิดช่วยสนับสนุน

- ระยะเวลาการหมุนของลูกกลิ้ง เป็นปัจจัยคงที่ไม่สามารถปรับระยะเวลาได้ แต่ถ้าต้องการเปลี่ยนระยะเวลาจำเป็นต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ดังนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลอิทธิพลของการ ไม่ใช้/ใช้ ลูกกลิ้งที่มีต่อค่าแรงบิดช่วยสนับสนุน

เมื่อตรวจสอบชิ้นงานที่ใช้ปริมาณกาวที่ 0.10 – 0.15 มิลลิกรัม พบว่าแรงยึดเหนี่ยวของกาวที่ยึดระหว่างขอบในของตลับลูกปืนตัวบนกับแกนหมุนน้อยกว่าข้อกำหนดจึงทำให้มีโอกาสสูงที่ตลับลูกปืนตัวบนหลุดออกจากแกนหมุนเมื่อใช้งาน ดังนั้นปริมาณกาวระดับนี้ถูกตัดออกเนื่องจากไม่ตรงข้อกำหนดที่ห้ามให้ตลับลูกปืนหลุดออกจากแกนหมุน

เมื่อตรวจสอบชิ้นงานที่ใช้ปริมาณกาวที่ 0.35 – 0.40 มิลลิกรัม พบว่ามีกาวล้นขึ้นมาบนตลับลูกปืนซึ่งทำให้ปริมาณกาวระดับนี้ถูกตัดออกเนื่องจากไม่ตรงข้อกำหนดที่ห้ามมีกาวติดอยู่บนชิ้นงาน

ดังนั้น ลูกกลิ้งจึงถูกพัฒนาต่อโดยพิจารณาระดับน้ำหนักและระยะเวลาการทำงาน ได้ ทั้ง 2 ปัจจัยจะถูกทำการกรองด้วยแผนการทดลอง CRD เหมือนปัจจัยอื่น ๆ ระดับของทั้ง 2 ปัจจัย แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ปัจจัยและระดับของปัจจัยของลูกกลิ้งที่ใช้ในการทดลอง CRD

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
		ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1	ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง (วินาที)	6	4	2
2	น้ำหนักของลูกกลิ้ง (กรัม)	50	100	150

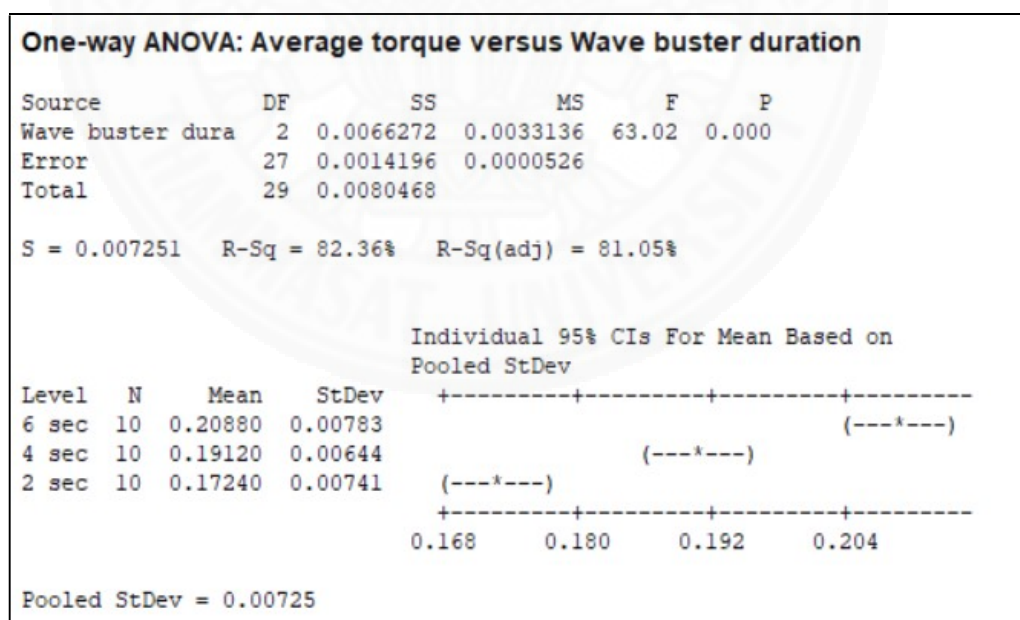
ที่มาของแต่ละระดับมีดังนี้

1. ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง แบ่งเป็น 3 ระดับ โดย 6 วินาที ได้มาจาก ระยะเวลาที่นานที่สุดที่จะไม่กระทบกับรอบเวลา (Cycle time) ของการผลิต 2 วินาที มาจาก ระยะเวลาน้อยที่สุดที่ลูกกลิ้งจะทำงานครบ 1 รอบ และ 4 วินาที มาจากค่ากลางของ 6 วินาที กับ 2 วินาที

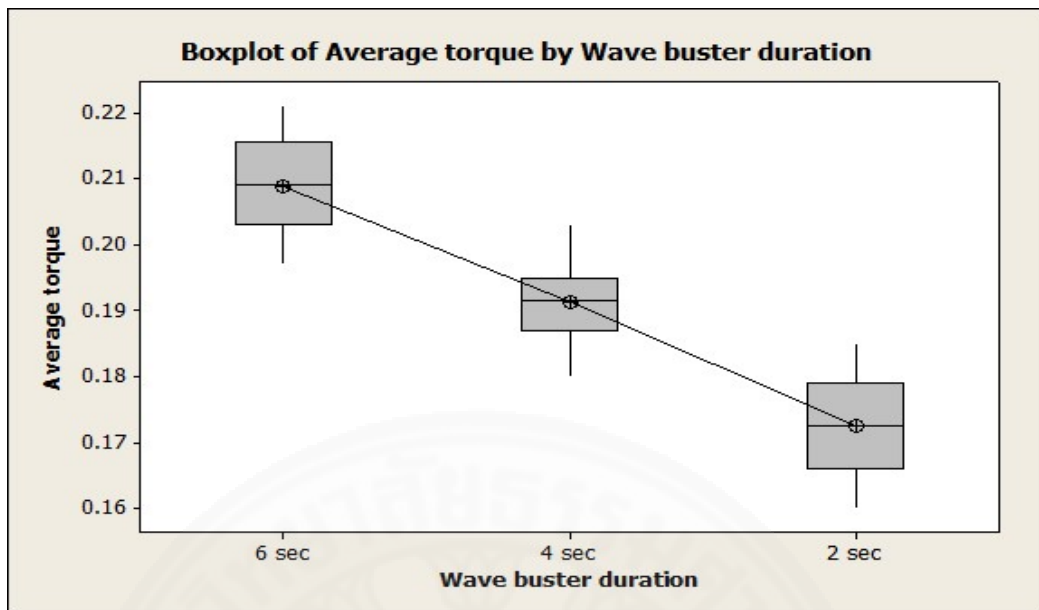
2. น้ำหนักของลูกกลิ้ง แบ่งเป็น 3 ระดับ โดย 50 กรัม คือ ลูกกลิ้งที่ไม่ได้เพิ่ม น้ำหนัก เป็นค่าน้อยที่สุดที่ทำได้ 150 กรัม มาจาก ค่าสูงสุดที่เพิ่มน้ำหนักได้ และ 100 มาจากค่ากลาง ระหว่าง 50 กรัม และ 150 กรัม

4.1.5 การทดลองหาอิทธิพลของระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ย แรงบิด

การทดลองปัจจัยนี้มีทั้งหมด 3 ระดับ คือ 6 วินาที 4 วินาที และ 2 วินาที โดย ปัจจัยอื่น ๆ จะใช้ระดับปัจจุบัน การทดลองนี้จะผลิตชิ้นงานระดับละ 10 ตัวงาน รวมทั้งหมด 30 ตัวงาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ Anova แสดงดังภาพที่ 4.13 และแผนภาพกล่องแสดงดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง

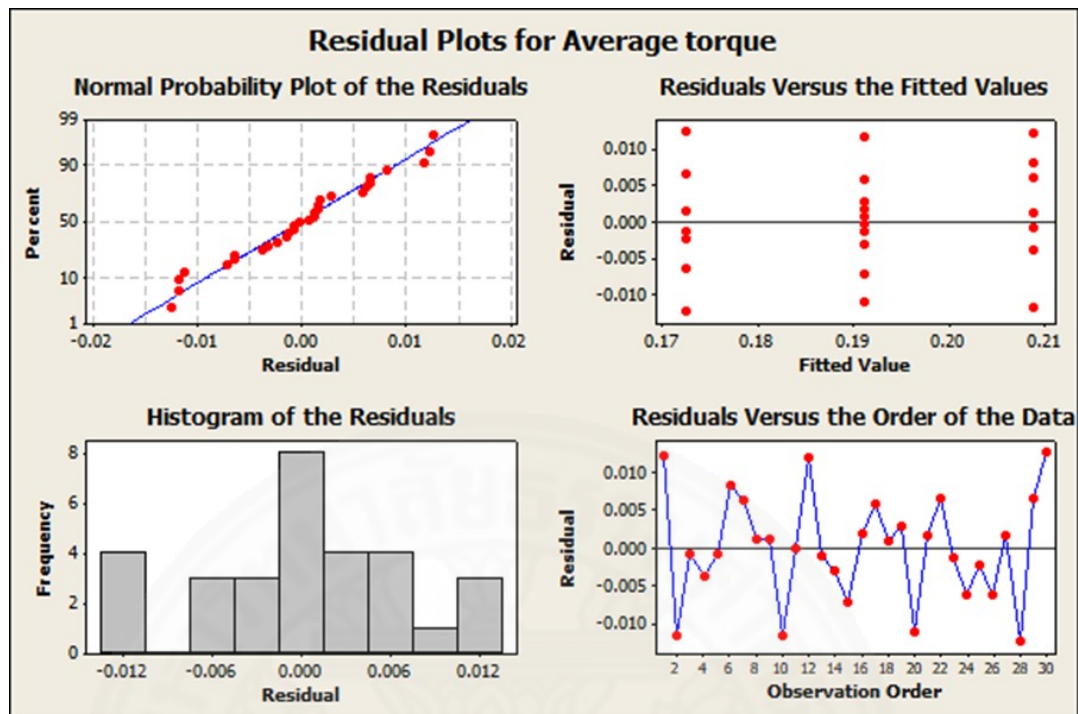


ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง

ผลการวิเคราะห์ Anova ของระยะเวลาทำงานของลูกกลิ้งพบว่า P Value มีค่า 0.00 ซึ่งมากกว่า α ดังนั้น ระยะเวลาทำงานมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงาน XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

แผนภาพกล่องแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการทำงานของที่ 6 วินาทีจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.209 gf.cm 4 วินาที จะได้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.191 gf.cm และ เมื่อลูกกลิ้งทำงานที่ 2 วินาที จะได้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.172 gf.cm

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของระยะเวลาทำงานที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.15



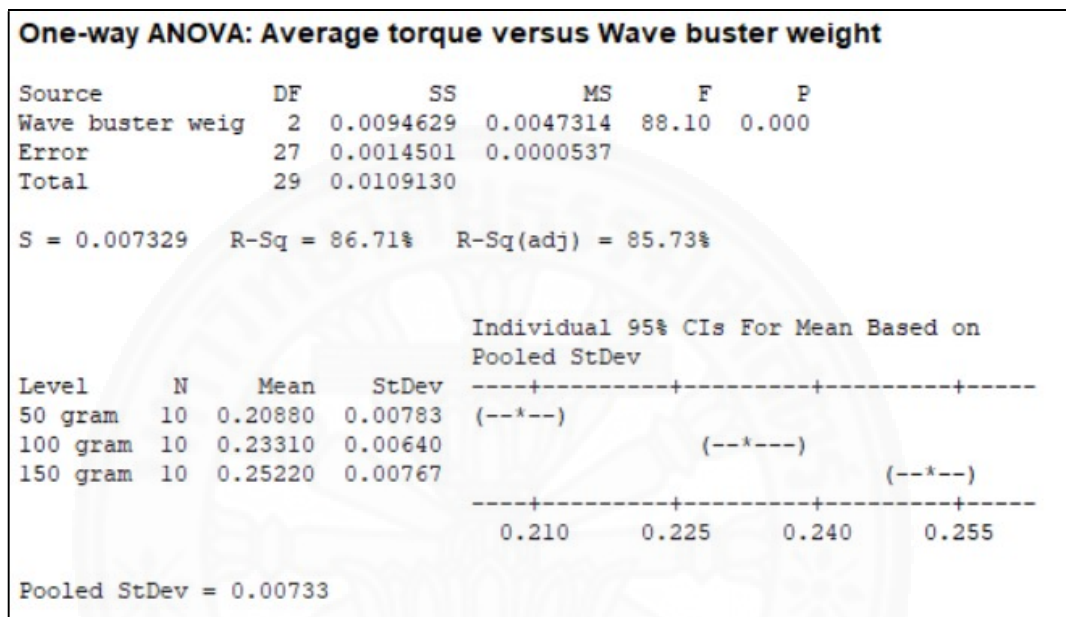
ภาพที่ 4.15 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการ

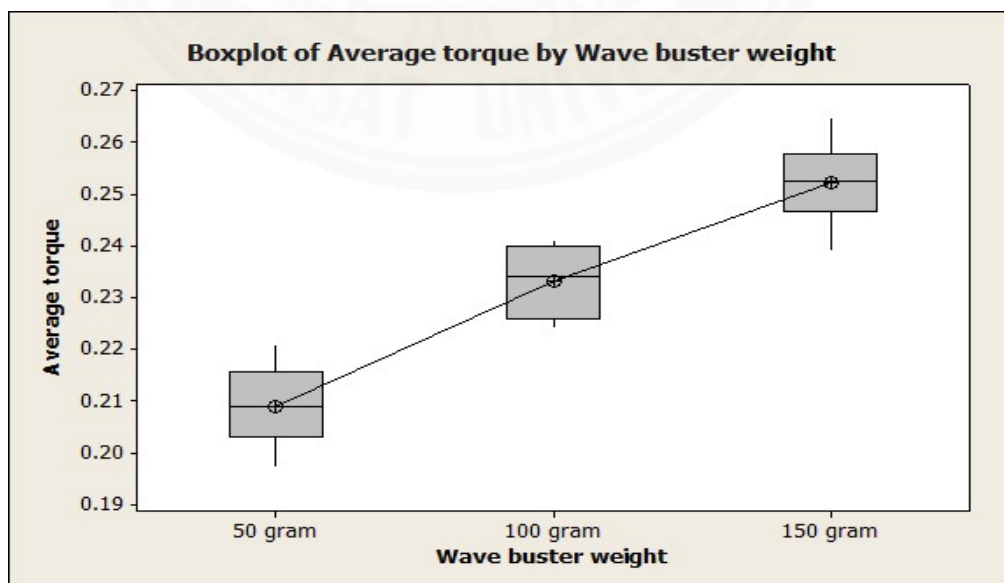
- 1) กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
- 2) ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value
- 3) ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

4.1.6 การทดลองหาอิทธิพลของน้ำหนักของลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

การทดลองปัจจัยนี้มีทั้งหมด 3 ระดับ คือ 50 กรัม 100 กรัม และ 150 กรัม โดยปัจจัยอื่น ๆ จะใช้ระดับปัจจุบัน การทดลองนี้จะผลิตชิ้นงานระดับละ 10 ตัวงาน รวมทั้งหมด 30 ตัวงาน ซึ่งผลการวิเคราะห์ Anova แสดงดังภาพที่ 4.16 และแผนภาพกล่องแสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ Anova ของน้ำหนักของลูกกลิ้ง

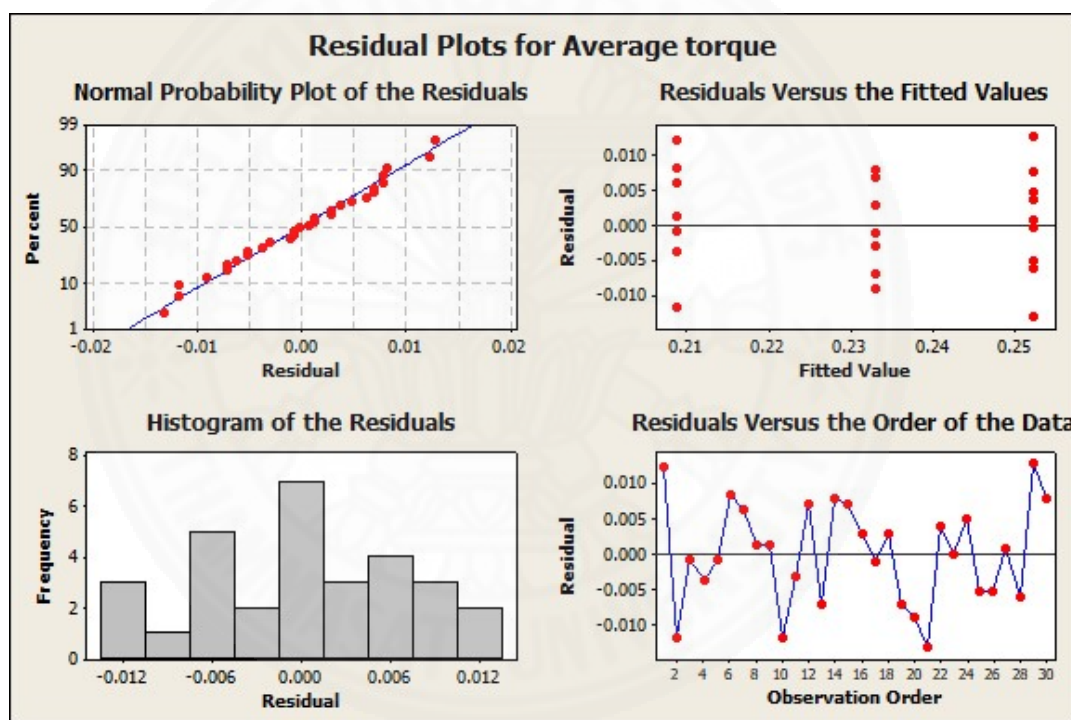


ภาพที่ 4.17 แผนภาพกล่องของน้ำหนักของลูกกลิ้ง

ผลการวิเคราะห์ Anova ของน้ำหนักของลูกกอล์ฟพบว่า P Value มีค่า 0.00 ซึ่งมากกว่า α ดังนั้น น้ำหนักของลูกกอล์ฟมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของชิ้นงาน XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

แผนภาพกล่องแสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการทำงานของ 50 กรัม จะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.209 gf.cm เมื่อน้ำหนักอยู่ที่ 100 กรัม จะได้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.233 gf.cm และ เมื่อน้ำหนักอยู่ที่ 150 กรัมจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.252 gf.cm

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของน้ำหนักของลูกกอล์ฟที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของน้ำหนักลูกกอล์ฟที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการ

- 1) กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เคียงเส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
- 2) ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value

3) ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

จากการกรองปัจจัยด้วยวิธี CRD พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX คือ

- ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง
- น้ำหนักของลูกกลิ้ง

ซึ่ง 2 ปัจจัยนี้จะถูกนำไปความสำคัญระหว่างปัจจัยและวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมด้วยวิธีการ GFD

4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 02 gf.cm ด้วยแผนการทดลอง General full factorial design (GFD)

ปัจจัยที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองด้วยแผนการทดลองแบบ GFD มีทั้งหมด 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง 3 ระดับ และน้ำหนักลูกกลิ้ง 3 ระดับ ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่

4.3 รูปแบบการทดลองทั้งหมด 9 รูปแบบแสดงในตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.19

ตารางที่ 4.3

ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ถูกใช้ในแผนการทดลอง GFD

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		
		ระดับที่ 1 (ระดับปัจจุบัน)	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1	ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง (วินาที)	6	4	2
2	น้ำหนักของลูกกลิ้ง (กรัม)	50	100	150

ตารางที่ 4.4

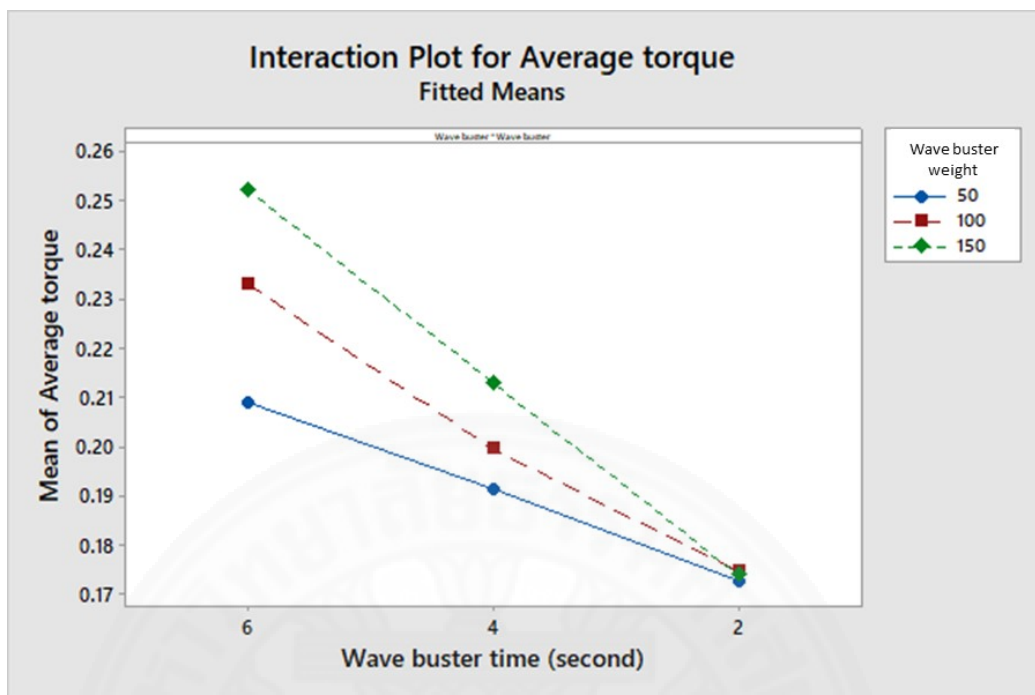
รูปแบบการทดลอง GFD

รูปแบบการทดลอง	ระยะเวลาการทำงาน ของลูกกลิ้ง (วินาที)	น้ำหนักลูกกลิ้ง (กรัม)
1	6	50
2	6	100
3	6	150
4	4	50
5	4	100
6	4	150
7	2	50
8	2	100
9	2	150

ผลการวิเคราะห์ GFD แสดงดังภาพที่ 4.19 และแผนภาพอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งกับน้ำหนักลูกกลิ้งแสดงดังภาพที่ 4.20

General Factorial Regression: Average torque versus ... e buster weight						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
Wave buster time	3	6, 4, 2				
Wave buster weight	3	50, 100, 150				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	8	0.061978	0.007747	155.97	0.000	
Linear	4	0.057465	0.014366	289.22	0.000	
Wave buster time	2	0.050089	0.025045	504.21	0.000	
Wave buster weight	2	0.007375	0.003688	74.24	0.000	
2-Way Interactions	4	0.004514	0.001128	22.72	0.000	
Wave buster time*Wave buster weight	4	0.004514	0.001128	22.72	0.000	
Error	81	0.004023	0.000050			
Total	89	0.066002				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)			
0.0070478	93.90%	93.30%	92.47%			

ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ GFD



ภาพที่ 4.20 แผนภาพอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งกับน้ำหนักลูกกลิ้ง

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก (Main effect) ของระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง น้ำหนักลูกกลิ้ง พบว่า P Value มีค่า 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ดังนั้น ปริมาณการ ระยะเวลาและ น้ำหนักลูกกลิ้ง มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX อย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

ผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่าง 2 ระยะเวลาการทำงาน ของลูกกลิ้งกับน้ำหนักลูกกลิ้ง พบว่า P Value มีค่า 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ดังนั้น อิทธิพลร่วม ระหว่าง 2 ปัจจัย มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดลอย่างมีนัยสำคัญ ณ α เท่ากับ 0.05

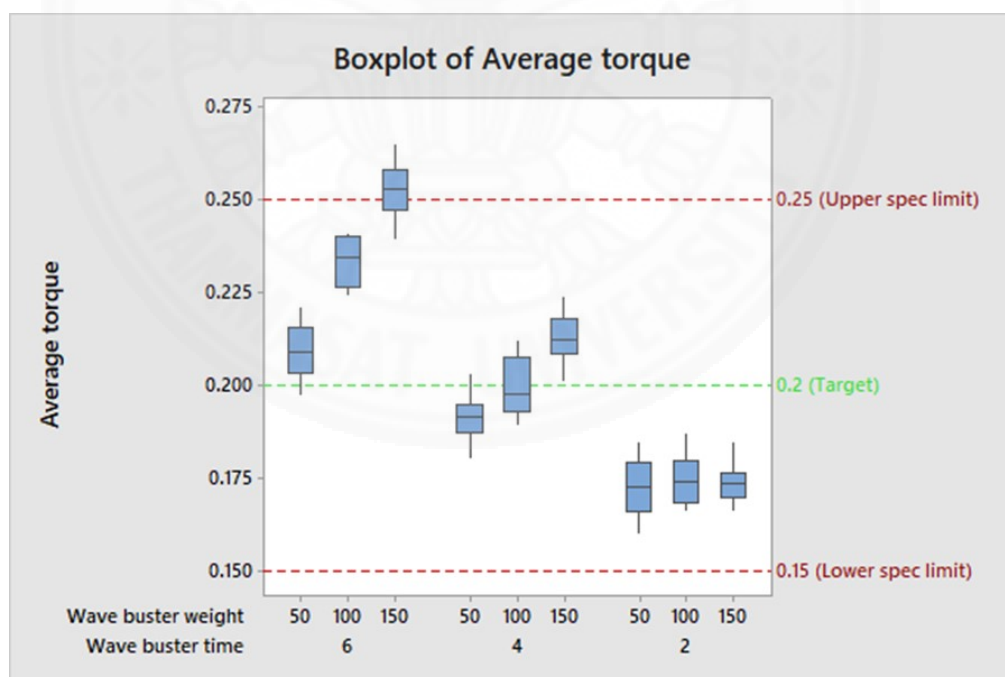
ระยะเวลาอยู่ที่ 4 วินาทีและน้ำหนักอยู่ที่ 100 กรัม จะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.199 gf.cm ซึ่งอยู่เข้าใกล้เป้าหมาย 0.200 gf.cm มากที่สุด ค่าเฉลี่ยแรงบิดของแต่ละการทดลอง สรุปได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ตารางสรุปค่าเฉลี่ยแรงบิดของแต่ละการทดลอง

รูปแบบการทดลอง	ระยะเวลาการทำงาน ของลูกกลิ้ง (วินาที)	น้ำหนักลูกกลิ้ง (กรัม)	ค่าเฉลี่ยแรงบิด (gf.cm)
1	6	50	0.2088
2	6	100	0.2331
3	6	150	0.2522
4	4	50	0.1912
5	4	100	0.1994
6	4	150	0.2129
7	2	50	0.1724
8	2	100	0.1746
9	2	150	0.1738

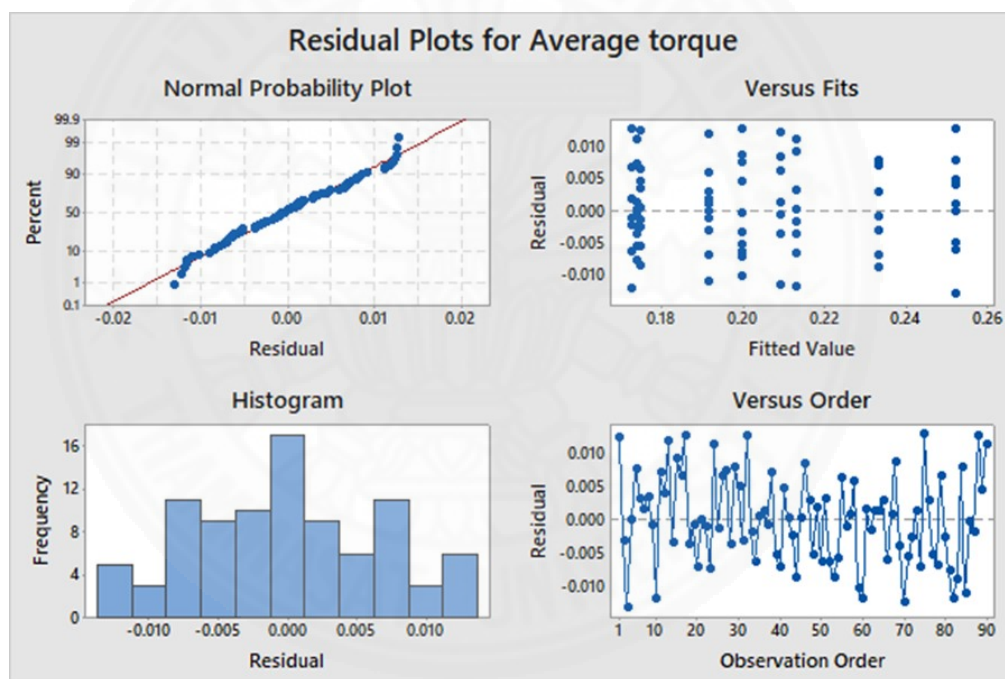
นำข้อมูลจากการทดลอง GFD มาทำแผนภูมิกล่องซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.21 เพื่อ
ง่ายต่อความเข้าใจ



ภาพที่ 4.21 แผนภูมิกล่องจากข้อมูล GFD

จากแผนภูมิกล่องสรุปได้ว่าเมื่อระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งอยู่ที่ 2 วินาที และน้ำหนักของลูกกลิ้งเป็นค่าใด ๆ จะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.173 gf.cm เมื่อระยะเวลาการทำงานลูกกลิ้งอยู่ที่ 4 วินาที ค่าเฉลี่ยแรงบิดจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นในอัตรา 50 กรัม/0.01 gf.cm เมื่อเมื่อระยะเวลาการทำงานลูกกลิ้งอยู่ที่ 6 วินาที ค่าเฉลี่ยแรงบิดจะเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อน้ำหนักของลูกกลิ้งเพิ่มขึ้นในอัตรา 50 กรัม/0.022 gf.cm และระดับที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.2 gf.cm ได้แก่ ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้งที่ 4 วินาที และ น้ำหนักลูกกลิ้งที่ 100 กรัม

ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ GFD ผลการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ GFD

ผลการตรวจสอบข้อมูลพบว่าการ

- 1) กระจายตัวของข้อมูลปกติเพราะอยู่ใกล้เคียงเส้นกลางของกราฟ Normal probability plot
- 2) ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่เพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Fitted value

3) ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันเพราะไม่พบแนวโน้มในกราฟ Residual vs Observation order

4.3 ผลิตชิ้นงาน XXX โดยใช้ระดับของปัจจัยตามผล GFD

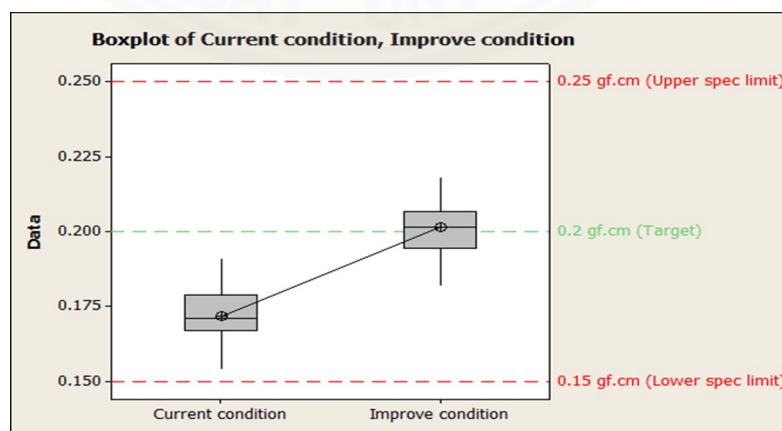
นำผลที่ได้จาก GFD มาทำการผลิตโมเดล XXX จำนวน 32 ตัวงาน เพื่อยืนยันผลการทดลอง ระดับในปัจจุบันและระดับที่ได้จากงานวิจัย แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ระดับในปัจจุบันและระดับที่ได้จากงานวิจัย

ปัจจัย	ระดับในปัจจุบัน	ระดับที่ได้จากงานวิจัย
น้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก	150 กรัม	150 กรัม
ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตั้บลูกปืนตัวบน	A	A
ปริมาณกาวที่ทาลงไปบนชิ้นงาน	0.25 - 0.30 มิลลิกรัม	0.25 - 0.30 มิลลิกรัม
ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตุ้มน้ำหนัก	13 นาที	13 นาที
ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง	0 วินาที (ไม่ใช้)	4 วินาที
น้ำหนักของลูกกลิ้ง	0 กรัม (ไม่ใช้)	100 กรัม

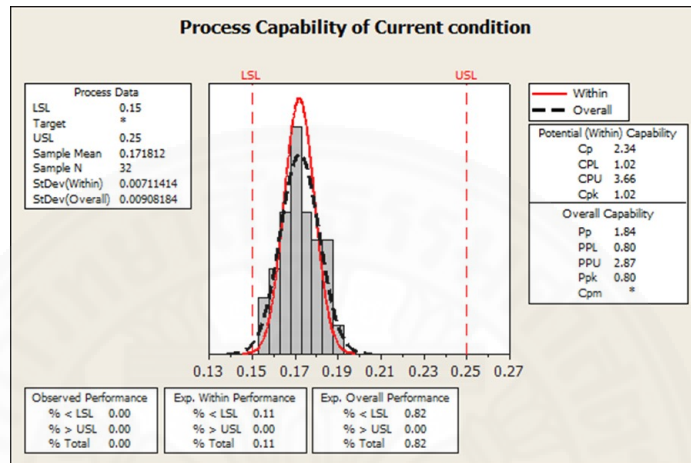
แผนภาพกล่องการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างระดับในปัจจุบันและระดับจากงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 4.23



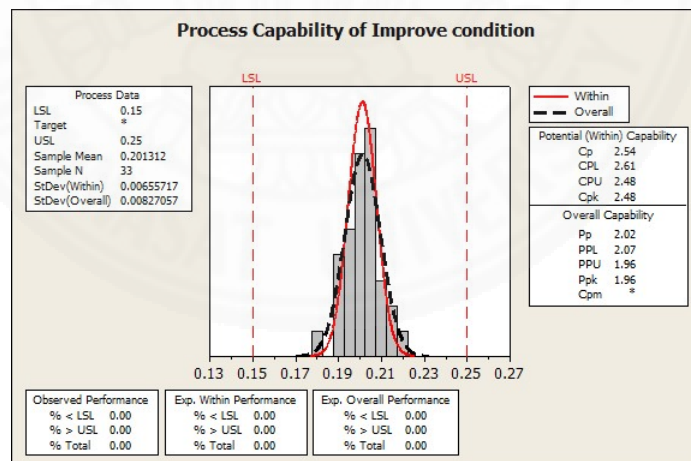
ภาพที่ 4.23 แผนภาพกล่องการเปรียบเทียบค่าแรงบิดระหว่างระดับในปัจจุบันและระดับจากงานวิจัย

แผนภาพกล่องแสดงให้เห็นว่า การที่ผลิตโมเดล XXX ด้วยระดับที่ได้จากการทำลองจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดเพิ่มขึ้นจาก 0.171 gf.cm เป็น 0.201 gf.cm

นำข้อมูลระดับที่ใช้ในปัจจุบันและระดับที่ได้จากงานวิจัยมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ แสดงดังภาพที่ 4.24 และ 4.25



ภาพที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าแรงบิดที่ผลิตด้วยระดับปัจจุบัน

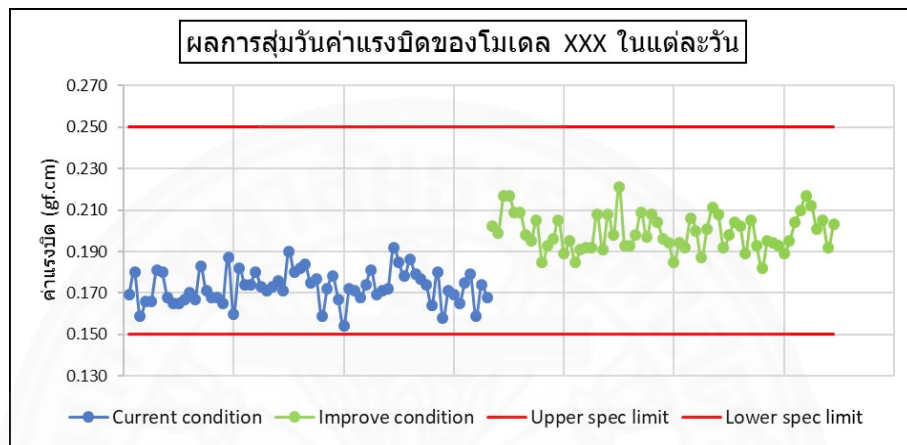


ภาพที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของค่าแรงบิดที่ผลิตด้วยระดับจากงานวิจัย

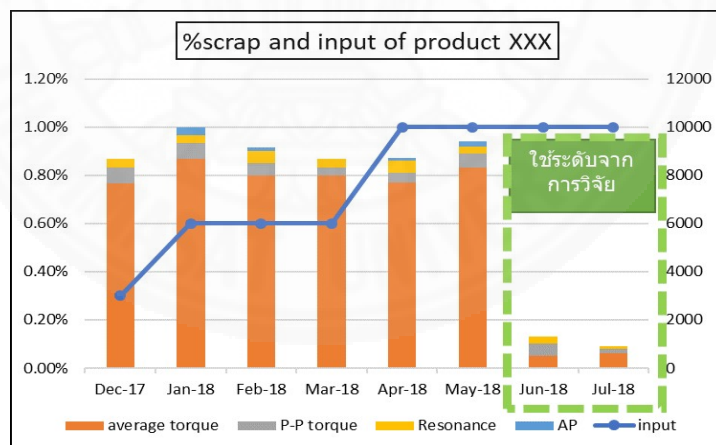
ภาพที่ 4.24 และ 4.25 แสดงให้เห็นว่าเมื่อผลิตโมเดล XXX ด้วยระดับจากงานวิจัยจะทำให้อัตราการทิ้งของเสียแรงบิดที่ต่ำกว่าขอบเขตล่างลดลงจาก 0.82% เป็น 0%

4.4 การติดตามผล

เริ่มผลิตโมเดล XXX ด้วยระดับของปัจจัยที่ให้หลังจากวิจัย ผลการสุ่มวัดค่าแรงบิดในแต่ละวันของโมเดล XXX แสดงดังภาพที่ 4.26 อัตราการทิ้งของเสียหลังผลิตโมเดล XXX ในแต่ละเดือนแสดงดังภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.26 ผลการสุ่มวัดค่าแรงบิดในแต่ละวันของโมเดล XXX



ภาพที่ 4.27 อัตราการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของโมเดล XXX

ภาพที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าระดับที่ได้จากการวิจัยสามารถเพิ่มค่าแรงบิดของโมเดล XXX ให้มีค่าอยู่ที่ 0.200 gf.cm และสามารถควบคุมค่าแรงบิดให้คงที่ได้ ภาพที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าเมื่อผลิตโมเดล XXX ด้วยระดับที่ได้จากการวิจัยจะทำให้อัตราการทิ้งของเสียแรงบิดลดลงจาก 0.8% เหลือ 0.05%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสรุปได้ปัจจัยว่าที่ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดอย่างมีนัยสำคัญ ณ อัลฟา 0.05 ของโมเดล XXX ที่เป็นผลิตภัณฑ์ไฟวอทชนิดไม่มีเปลือกหุ้มและผ่านกระบวนการประกอบชั้นสุดท้ายด้วยเครื่องจักรประเภทกึ่งอัตโนมัติ ได้แก่ 1) ชนิดสารเคมีที่ใช้ล้างตลับลูกปืนตัวบน โดยมี P-value 0.528 2) ระยะเวลาที่ทิ้งชิ้นงานไว้ในตู้มน้ำหนัก ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.468.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแรงบิดอย่างมีนัยสำคัญ ณ อัลฟา 0.05 ได้แก่ 1) ปริมาณการ ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.01 2) ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.00 3) น้ำหนักของลูกกลิ้ง ซึ่งมี P-value อยู่ที่ 0.00

ระดับที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดของโมเดล XXX ซึ่งผ่านกระบวนการประกอบชั้นสุดท้ายด้วยเครื่องจักรประเภทกึ่งอัตโนมัติ ได้แก่ 1) ปริมาณการ 0.25 – 0.30 มิลลิกรัม 2) ระยะเวลาการทำงานของลูกกลิ้ง ที่ 4 วินาที และ 3) น้ำหนักของลูกกลิ้ง ที่ 100 กรัม ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ยแรงบิดอยู่ที่ 0.199 gf.cm ซึ่งใกล้เคียงค่ากลางของข้อกำหนด (0.2 gf.cm)

จากการติดตามผลพบว่าการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงจาก 0.80% เหลือเพียง 0.05% และการทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของโมเดล XXX ลดลงจาก 0.92% เหลือเพียง 0.15% ซึ่งตอบสนองต่อดัชนีชี้วัดความสำเร็จของหน่วยงานวิศวกรกระบวนการที่กำหนดไว้ว่า “การทิ้งของเสียอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในการทำงานของสินค้าต้องน้อยกว่า 0.5% ในแต่ละโมเดล”

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้แสดงถึงผลกระทบของลูกกลิ้งที่มีต่อค่าเฉลี่ยแรงบิด โมเดลใหม่ ๆ ที่เป็นไฟวอทประเภทไม่มีเปลือกหุ้มและผลิตจากเครื่องจักรประเภทกึ่งอัตโนมัติ ควรพิจารณาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของลูกกลิ้งเพื่อที่จะให้ได้ค่าเฉลี่ยแรงบิดเป็นไปตามข้อกำหนด นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในประยุกต์ใช้กับไฟวอทชนิดมีเปลือกหุ้มหรือชนิดเปลือกหุ้มที่มีชั้นได้ สิ่งที่ควรระวัง คือ ถ้าลูกกลิ้งลงมาดตม่น้ำหนักด้วยความไว อาจจะทำให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานได้

รายการอ้างอิง

สารนิพนธ์

- โสภิตา ท่วมมี. (2550). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สุวิมล ตันตวิภาณุวงศ. (2552). การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางทฤษฎีเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในกระบวนการเคียวริง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- กฤษณา โพธิเกษม. (2553). การปรับปรุงค่าแรงบิดของไพวอต คาร์ทริดส์ โดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- ชยาภรณ์ พร้อมมูล. (2557). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดไม่เต็มแบบ ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายนครินทร์ ตริเพ็ชรไพศาล
วันเดือนปีเกิด	22 มกราคม 2531
ตำแหน่ง	วิศวกรกระบวนการ
ทุนการศึกษา (ถ้ามี)	-

ผลงานทางวิชาการ

เรื่อง “การลดของเสียค่าเฉลี่ยแรงบิดที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบการทดลอง”
การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 4 (NCITE 2018)

ประสบการณ์ทำงาน

2553: วิศวกรกระบวนการ
บริษัท เอ็นเอ็มบี-มินิแบ (ประเทศไทย) จำกัด

2557: วิศวกรกระบวนการ
บริษัท เม็กเท็ค แมนูแฟคเจอร์ริง คอร์ปอเรชั่น
(ประเทศไทย) จำกัด

2560: วิศวกรกระบวนการ
บริษัท ลูเมนตัม อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด