

การลดของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Defective Reduction in solder power cord process



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ
โดย	น.ส.นัทธมน ก่อเกียรติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

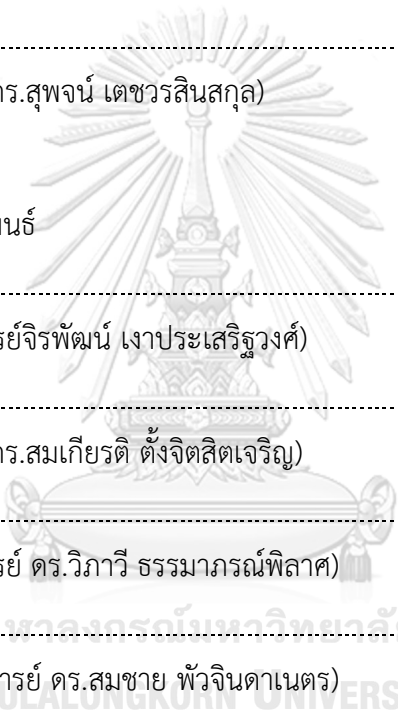
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จรัสวัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นัทธมน ก่อเกียรติ : การลดของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ. (Defective Reduction in solder power cord process) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนงานเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Auto Solder machine) ผู้วิจัยนำเอาเทคนิคซิกม่า ซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติให้มีคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาทำให้ทราบว่าสาเหตุที่มีอิทธิพลหลักต่อสัดส่วนงานเสีย ได้แก่ 1. อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน 2. ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี 3. ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว 4. ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขแต่ละสาเหตุ โดยสาเหตุแรกทำการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยเพิ่มตัวล๊อคสายไฟ เพื่อทำหน้าที่ประคองสายไฟไม่ให้เกิดการเอนเอียงขณะเครื่องจักรทำการบัดกรี สามารถลดสัดส่วนงานเสียลง 11.23% และลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน 14.89% และสาเหตุที่ 2-4 แก้ไขโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นปัจจัยระดับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรอัตโนมัติ ผลจากการทดลองพบว่าปัจจัยระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว และระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถลดสัดส่วนงานเสียลงถึง 80.50% และลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน 82.50% อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมงานและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรอีกด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270136621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Defective reduction, Design of experiment, Solder power cord

Nattamon Korkiat : Defective Reduction in solder power cord process.

Advisor: Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, D.Eng.

The purpose of this research is to Defective reduction in solder power cord from auto solder machine. Therefore, the researcher applied the Six Sigma technique with DMAIC methods to improve the quality of solder power cord from auto solder machine process. From the fish bone diagram analysis, it was known that the main influencing causes on the waste proportion were: 1. Carrier of soldering 2. Heating time before solder 3. Solder feed out time before solder point 4. Solder feeding time. After that, adjusting in each cause. The first reason was to improve the carrier of soldering by adding a jig to support the power cord not to incline while soldering process. The defective ratio was reduced 11.23% and reduced defect per unit 14.89% and the 2nd – 4th reasons were corrected by using Box-Behnken Design. To find an appropriate factor levels as this is a parameter of automatic soldering machinery. The results of the experiment showed that the factor of heating time before soldering. Solder feed out time before and Solder feeding time affect the occurrence of the response variable significantly. This defective ratio was reduced 80.50% and reduced defect per unit 82.50%. It also reduces the cost of repair work piece and can increase the efficiency of the machine as well.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การลดของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิทธิเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความกรุณาและสละเวลาในการให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนวิชาความรู้ที่ผู้วิจัยได้รับการถ่ายทอด รวมถึงรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อย ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในขณะศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณหัวหน้างาน ผู้จัดการแผนก Industrial Engineering ผู้จัดการฝ่ายผลิต และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่ให้ความร่วมมือ ระดมความคิดเห็น คอยอำนวยความสะดวกและช่วยติดต่อประสานงานให้เป็นอย่างดี ขณะทำการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนพนักงานฝ่ายผลิตในโรงงานกรณีศึกษาที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และบุคคลในครอบครัว ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจ สำคัญที่ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

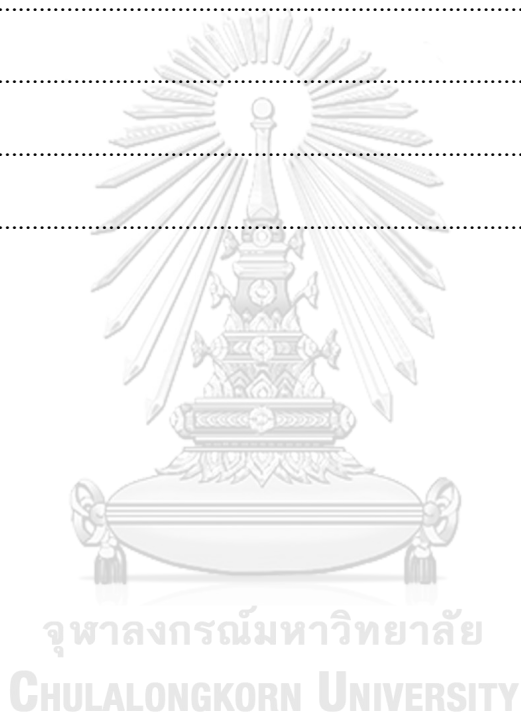
นัทธมน ก่อเกียรติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน.....	1
1.2 การศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA.....	6
1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	10
1.4 ลักษณะของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ.....	15
1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	16
1.6 ขอบเขตงานวิจัย	16
1.7 แนวทางของการดำเนินการวิจัย.....	17
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
1.9 แผนการดำเนินการวิจัย	18
บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	19
2.1 สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.2 ความหมายของการปรับปรุงคุณภาพ.....	23
2.3 การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทาง ชิکش ชิกมา	23
2.3.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase: D).....	25

2.3.2	ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา (Measure Phase: M).....	25
2.3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase: A).....	37
2.3.4	ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase: I).....	46
2.3.5	ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase: C).....	48
2.4	ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการบัดกรี (Soldering process).....	49
2.5	อุปกรณ์เบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการบัดกรี (Soldering process).....	50
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลอง.....		55
3.1	การทำงานของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine).....	55
3.1.1	กระบวนการไหลของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine).....	56
3.2	กระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติก่อนการปรับปรุง.....	58
3.3	การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด.....	59
3.4	การคาร์ไบเบรทเครื่องจักร.....	64
3.5	วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาข้อบกพร่อง ความสำคัญลำดับที่ 1.....	70
3.6	วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาข้อบกพร่อง ความสำคัญลำดับที่ 2 - 4.....	76
3.6.1	ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษาทดลอง.....	76
3.6.2	ตัวแปรตอบสนอง.....	77
3.6.3	การออกแบบการทดลอง.....	77
บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง.....		79
4.1	ผลการทดลอง.....	79
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ.....	81
4.2.1	วิเคราะห์และอภิปรายผลของอิทธิพลร่วม.....	84
4.2.2	วิเคราะห์และอภิปรายผลของอิทธิพลหลัก.....	89
4.3	บทสรุปของผลการทดลอง.....	90
4.4	การติดตามผลหลังการปรับปรุง.....	91

4.5 การควบคุมกระบวนการ.....	95
4.6 พยากรณ์มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง	99
บทที่ 5 บทสรุปผลและข้อเสนอแนะ	101
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	101
5.2 ข้อเสนอแนะ	102
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก	104
ภาคผนวก ข	113
บรรณานุกรม.....	124
ประวัติผู้เขียน	126



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1	สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ADP-36XX AA ในกระบวนการบัดกรีสายไฟ ..	10
ตารางที่ 1-2	พารามิเตอร์ของเครื่องบัดกรีอัตโนมัติจากการรวบรวมข้อมูลของเสียทั้ง 2 ชุด	11
ตารางที่ 2-1	ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง.....	28
ตารางที่ 2-2	การประเมินอัตราความสามารถของกระบวนการ	29
ตารางที่ 2-3	ตารางสรุปตัวอย่างความสัมพันธ์ของโครงสร้างแฝง (Alias Structure).....	45
ตารางที่ 3-1	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ	58
ตารางที่ 3-2	ตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทบั๊กกรีมากเกินไป	59
ตารางที่ 3-3	ผลการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องบั๊กกรีมากเกินไป.....	60
ตารางที่ 3-4	ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดของข้อบกพร่องบั๊กกรีมากเกินไป.....	61
ตารางที่ 3-5	สอบเทียบอุณหภูมิของเครื่องจักร	64
ตารางที่ 3-6	สอบเทียบความเร็วรอบการหมุนมอเตอร์ของเครื่องจักร.....	65
ตารางที่ 3-7	ตารางแสดงระบุคะแนนความสำคัญของสาเหตุ	67
ตารางที่ 3-8	ตารางสาเหตุและผล (Main- Effect Matrix)	67
ตารางที่ 3-9	ตารางแสดงลำดับความสำคัญของสาเหตุ.....	70
ตารางที่ 3-10	พารามิเตอร์ของเครื่องบัดกรีอัตโนมัติชุดที่ 2	73
ตารางที่ 3-11	เปรียบเทียบสัดส่วนของของเสียก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	73
ตารางที่ 3-12	เปรียบเทียบสัดส่วนแต่ละปัญหาข้อบกพร่องก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด ชิ้นงาน.....	75
ตารางที่ 3-13	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด	76
ตารางที่ 3-14	ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษาดทดลองทั้งหมด 3 ปัจจัย	77
ตารางที่ 3-15	การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน.....	78

ตารางที่ 4-1 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด.....	79
ตารางที่ 4-2 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองและความแม่นยำของสมการเต็มรูปแบบ.....	83
ตารางที่ 4-3 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองและความแม่นยำของสมการลดรูป.....	84
ตารางที่ 4-4 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุด.....	91
ตารางที่ 4-5 อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานหลังปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ..	91
ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติก่อนและหลังปรับปรุง	93
ตารางที่ 4-7 แผนการควบคุมปัจจัยและระดับปัจจัย.....	95
ตารางที่ 4-8 พยากรณ์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟก่อนการปรับปรุง.....	99
ตารางที่ 4-9 พยากรณ์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟหลังการปรับปรุง.....	100
ตารางที่ 4-10 สรุปมูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดลงหลังการปรับปรุง.....	100



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1-1 ผลิตภัณฑ์ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์.....	2
รูปที่ 1-2 ผลิตภัณฑ์เพาเวอร์ซัพพลายสำหรับคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย.....	2
รูปที่ 1-3 ผลิตภัณฑ์ DES.....	2
รูปที่ 1-4 ผลิตภัณฑ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้สำหรับยานยนต์.....	3
รูปที่ 1-5 กลุ่มผลิตภัณฑ์ IPS (Industrial Power supply).....	3
รูปที่ 1-6 กลุ่มผลิตภัณฑ์ FMBG (Fan & Thermal Management).....	3
รูปที่ 1-7 เพาเวอร์ซัสเต็ม สำหรับระบบโทรคมนาคม (TPS).....	4
รูปที่ 1-8 เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS).....	4
รูปที่ 1-9 ผลิตภัณฑ์พลังงานลม.....	4
รูปที่ 1-10 กลุ่มสมาร์ท กรีนไลฟ์ (Smart Green Life).....	4
รูปที่ 1-11 พยากรณ์ยอดการสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ ADP-36XX AA.....	5
รูปที่ 1-12 ผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA.....	5
รูปที่ 1-13 การทำงานระหว่างฐานชาร์จแบตเตอรี่และแบตเตอรี่.....	6
รูปที่ 1-14 การทำงานระหว่างส่วานไฟฟ้าและแบตเตอรี่.....	6
รูปที่ 1-15 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA.....	7
รูปที่ 1-16 เครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine).....	10
รูปที่ 1-17 สัดส่วนของเสียจากกระบวนการบัดกรีสายไฟ เดือนมีนาคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2563.....	13
รูปที่ 1-18 สัดส่วนลักษณะของเสียในเดือนมีนาคม-กรกฎาคม พ.ศ.2563.....	14
รูปที่ 1-19 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับสัดส่วนของเสียที่มีอิทธิพลสูง.....	14
รูปที่ 1-20 งานบัดกรีดี.....	15
รูปที่ 1-21 บัดกรีมากเกินไป (Excessive solder).....	15

รูปที่ 1-22 บัดกรีไม่เต็ม (Solder hole).....	15
รูปที่ 1-23 บัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder Ball).....	16
รูปที่ 1-24 บัดกรีไม่หลอมละลาย (Non-wetting solder).....	16
รูปที่ 2-1 ความหมายของลึนและซิกส์ ซิกมา.....	24
รูปที่ 2-2 ความหมายของซิกส์ ซิกมา.....	24
รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการดำเนินงานซิกส์ ซิกมา.....	25
รูปที่ 2-4 ไบอัสของระบบการวัด.....	26
รูปที่ 2-5 ความผันแปรในส่วนรีพีทเทเบิลตี้และรีโพรดูซิเบิลตี้.....	27
รูปที่ 2-6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.....	30
รูปที่ 2-7 เกจบล็อก (gauge blocks).....	31
รูปที่ 2-8 ตัวอย่างการเขียนแผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagram).....	33
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการเขียนแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram).....	34
รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการเขียนฮิสโตแกรม (Histogram).....	35
รูปที่ 2-11 ตัวอย่างข้อบกพร่องและของเสียในกระบวนการหล่อ.....	36
รูปที่ 2-12 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม P.....	36
รูปที่ 2-13 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม $\bar{x} - R$	37
รูปที่ 2-14 ตัวอย่างการแสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล.....	41
รูปที่ 2-15 จำนวนการทดลองของการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบและบางส่วน.....	43
รูปที่ 2-16 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปัจจัย จำนวนการทดลอง และค่า resolution.....	44
รูปที่ 2-17 รูปแบบการออกแบบด้วยวิธีการบล็อกซ์-เบิร์ตเคน.....	46
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างพื้นผิวตอบสนองสามมิติ.....	47
รูปที่ 2-19 ความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ.....	48
รูปที่ 2-20 ขั้นตอนกระบวนการบัดกรี (Soldering process).....	49
รูปที่ 2-21 หัวแร้งแช่ (Soldering iron).....	51

รูปที่ 2-22 หัวแร้งปืน (Soldering gun).....	52
รูปที่ 2-23 หัวแร้งไร้สายแบบใช้แก๊ส (Cordless Butane Soldering Iron)	53
รูปที่ 2-24 หัวแร้งไร้สายแบบใช้แบตเตอรี่ (Cordless Batteries Soldering Iron)	53
รูปที่ 2-25 ตะกั่วบัดกรี (Solder Wire).....	53
รูปที่ 2-26 ลวดซับทะกั่ว (Solder Wick)	54
รูปที่ 2-27 ที่ดูดตะกั่ว (Solder sucker).....	54
รูปที่ 3-1 กระบวนการไหลของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ.....	56
รูปที่ 3-2 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด	61
รูปที่ 3-3 ผลการวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (Within appraiser)	62
รูปที่ 3-4 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานแต่ละคน.....	62
รูปที่ 3-5 ผลการวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (Between appraisers)	63
รูปที่ 3-6 ผลการวิเคราะห์ความพ้องกันและความถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน	63
รูปที่ 3-7 การสอบเทียบอุณหภูมิหัวแร้งของเครื่องจักร.....	64
รูปที่ 3-8 การสอบเทียบความยาวของลวดตะกั่ว	65
รูปที่ 3-9 แผนภูมิแกงปลาวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของข้อบกพร่องการบัดกรีมากเกินไป.....	66
รูปที่ 3-10 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับสาเหตุที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องการบัดกรีมากเกินไป	69
รูปที่ 3-11 การวางชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟ	70
รูปที่ 3-12 อุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟเดิม	71
รูปที่ 3-13 มุมมองและทิศทางการไหลของน้ำตะกั่วของอุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟเดิม	71
รูปที่ 3-14 อุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟใหม่	72
รูปที่ 3-15 มุมมองและทิศทางการไหลของน้ำตะกั่วของอุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟใหม่.....	72
รูปที่ 3-16 สัดส่วนของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ เดือนมีนาคม – กันยายน พ.ศ.2563	74
รูปที่ 3-17 เปรียบเทียบสัดส่วนปัญหาข้อบกพร่องก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน	75

รูปที่ 3-18 จำนวนการทดลองในการออกแบบส่วนผสมกลางและการออกแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน	78
รูปที่ 4-1 ตรวจสอบตัวแบบถดถอยที่ได้จากการทดลอง	80
รูปที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง.....	81
รูปที่ 4-3 สมการถดถอยเต็มรูปแบบ	82
รูปที่ 4-4 สรุปผลภาพรวมการวิเคราะห์	82
รูปที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์เชิงถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง	82
รูปที่ 4-6 สมการถดถอย หลังทำการลดรูป	83
รูปที่ 4-7 อิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน ...	85
รูปที่ 4-8 ภาพพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัย	85
รูปที่ 4-9 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองคู่ที่ 1 ระหว่างปัจจัย I และ ปัจจัย L.....	86
รูปที่ 4-10 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองคู่ที่ 2 ระหว่างปัจจัย I และ ปัจจัย K.....	87
รูปที่ 4-11 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองคู่ที่ 3 ระหว่างปัจจัย L และ ปัจจัย K.....	88
รูปที่ 4-12 อิทธิพลหลัก 3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน	89
รูปที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุด	90
รูปที่ 4-14 สัดส่วนของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ เดือนมีนาคม – ธันวาคม พ.ศ.2563	92
รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานก่อนและหลังปรับปรุง.....	93
รูปที่ 4-16 กระบวนการไหลและระยะเวลาทำงานของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ	94
รูปที่ 4-17 ขั้นตอนการปฏิบัติงานตามแผนการควบคุม	97
รูปที่ 4-18 แผนภูมิควบคุม P-Chart ของกระบวนการบัดกรีสายไฟ.....	98
รูปที่ 4-19 ความสามารถกระบวนการบัดกรีสายไฟหลังการปรับปรุง.....	98

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สามารถขยายผลตอบแทนและเป็นแนวทางของการนำองค์ประกอบเหล่านี้ขยายผลสู่อุตสาหกรรมใหญ่ๆ โดยประเทศไทยนั้นมีพื้นที่ที่ตั้งของประเทศเป็นศูนย์กลางของการเข้าสู่ประตูอาเซียนและจะเป็นตลาดที่ยิ่งใหญ่ในอนาคต จึงมีประเทศมหาอำนาจอย่างจีนหรือสหรัฐอเมริกาต้องการที่จะเข้ามาจับจองพื้นที่ในการขยายผลทางเศรษฐกิจ จึงทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีบทบาทอย่างมากในประเทศไทย และจากสภาพการณ์ปัจจุบัน บริษัทมีคำสั่งซื้อจากลูกค้าเข้ามาในปริมาณที่สูงและเพื่อตอบสนองนโยบายของบริษัทในการใช้เทคโนโลยีพัฒนากระบวนการผลิต และอีกทั้งสถานการณ์ปัจจุบันเกิดการแพร่ระบาดของโคโรนาไวรัส (Corona virus : COVID-19) ทำให้ทางบริษัทมีความตระหนักถึงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ ส่งผลให้บริษัทต้องทำการเพิ่มจำนวนสายการผลิตและมีการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้ในการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ทันต่อความต้องการของลูกค้าและลดค่าใช้จ่ายในการจัดจ้างพนักงานปฏิบัติงาน แต่ทว่าบริษัทประสบปัญหาคุณภาพของชิ้นงานไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดเนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพเกิดขึ้นในสายการผลิต คือ กระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine) ซึ่งเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติจะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการปรับตั้งอย่างเหมาะสมถูกต้อง เพื่อให้คุณภาพของชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพและอัตราของเสียที่ต่ำที่สุดเท่าที่เครื่องจักรสามารถทำได้

ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อและนำมาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตและแนวทางในการแก้ไขปัญหา เพื่อแก้ไขปรับปรุงปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ที่จะทำให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีคุณภาพ ลดการซ่อม การทำซ้ำ และมีสัดส่วนของเสียที่ลดลง อีกทั้งยังเกิดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างไม่คุ้มค่า ที่ซึ่งส่งผลกระทบต่อให้บริษัทสูญเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นหรือมีต้นทุนของการผลิตสูงขึ้น

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

บริษัท ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมบางปูเขตส่งออก ได้แบ่งการดำเนินธุรกิจออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

1.กลุ่มเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ (Power Electronics) ได้แก่

1.1 กลุ่มผลิตภัณฑ์ EPSBG (Embedded Power Electronics) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ได้แก่

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (DC-DC converter)



รูปที่ 1-1 ผลิตภัณฑ์ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

1.1.2 ผลิตภัณฑ์เพาเวอร์ซัพพลายสำหรับคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย เช่น เพาเวอร์ซัพพลายสำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ และคอมพิวเตอร์ระบบเครือข่าย



รูปที่ 1-2 ผลิตภัณฑ์เพาเวอร์ซัพพลายสำหรับคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย

1.1.3 ผลิตภัณฑ์ DES เป็นเพาเวอร์ซัพพลายอีกประเภทหนึ่งที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูงและมีการออกแบบเฉพาะสำหรับอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ โทรคมนาคมและภาคอุตสาหกรรม



รูปที่ 1-3 ผลิตภัณฑ์ DES

1.1.4 ผลิตภัณฑ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้สำหรับยานยนต์



รูปที่ 1-4 ผลิตภัณฑ์เพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้สำหรับยานยนต์

1.2 กลุ่มผลิตภัณฑ์ IPS (Industrial Power supply) ได้แก่ ชาร์จเจอร์ อแดปเตอร์ สำหรับบรอดแบนด์ (broadband) พรินเตอร์ เครื่องเล่นเกมส์ อุปกรณ์ในภาคอุตสาหกรรมและการใช้งานส่วนบุคคล



รูปที่ 1-5 กลุ่มผลิตภัณฑ์ IPS (Industrial Power supply)

1.3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ FMBG (Fan & Thermal Management) ได้แก่ พัดลมระบายความร้อน อีเอ็มไอ ฟิลเตอร์และโซลินอยด์



รูปที่ 1-6 กลุ่มผลิตภัณฑ์ FMBG (Fan & Thermal Management)

2.กลุ่มการจัดการพลังงาน (Energy Management) ได้แก่

2.1 กลุ่มผลิตภัณฑ์ PSBG (Power Systems) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อยได้แก่

2.1.1 เพาเวอร์ซิสเต็ม สำหรับระบบโทรคมนาคม (TPS)



รูปที่ 1-7 เพาเวอร์ซิสเต็ม สำหรับระบบโทรคมนาคม (TPS)

2.2.2 เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS)



รูปที่ 1-8 เครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS)

2.2.3 ผลิตภัณฑ์พลังงานลม



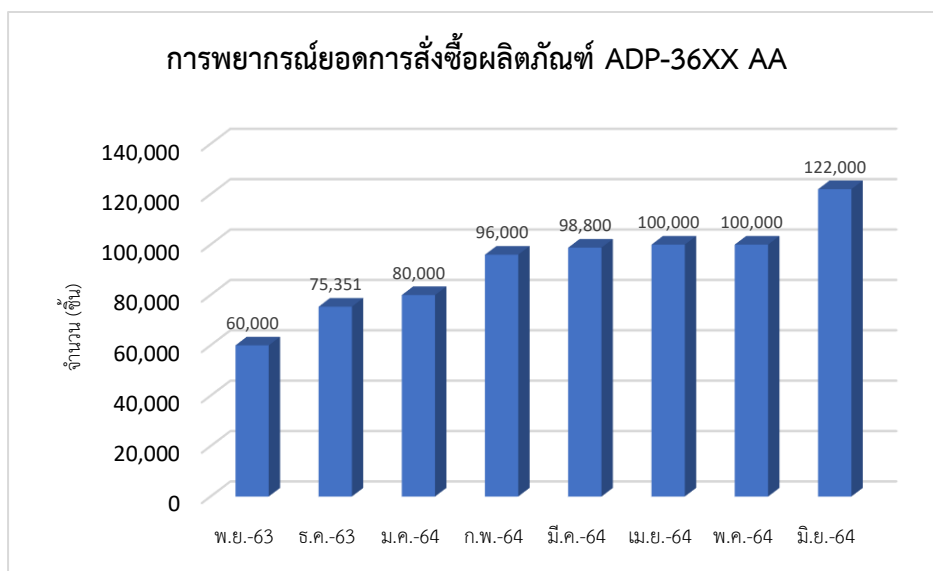
รูปที่ 1-9 ผลิตภัณฑ์พลังงานลม

3. กลุ่มสมาร์ท กรีนไลฟ์ (Smart Green Life) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จอแสดงผลภาพและหลอดไฟ LED



รูปที่ 1-10 กลุ่มสมาร์ท กรีนไลฟ์ (Smart Green Life)

โดยทำการศึกษากลุ่มผลิตภัณฑ์ IPS (Industrial Power supply) เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการปฏิบัติงานในแผนดังกล่าว และเลือกทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการพยากรณ์ยอดคำสั่งการผลิตสูง ดังรูปที่ 1-1 และมีการนำเครื่องจักรบางประเภทที่ไม่เคยใช้ในการผลิตมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA นี้ จึงทำให้มีกระบวนการที่ก่อให้เกิดคุณภาพของงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด



รูปที่ 1-11 พยากรณ์ยอดคำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ ADP-36XX AA

จากที่กล่าวไว้ข้างต้น ผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA เป็นเพาเวอร์ซัพพลายที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมเครื่องเจาะ ซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะผลิตภัณฑ์มีขนาด (กว้างxยาวxสูง) อยู่ที่ 24x10.5x27 เซนติเมตร และน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-12 ผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA

ซึ่งฐานชาร์จแบตเตอรี่ จำเป็นต้องใช้คู่กับแบตเตอรี่ สำหรับทำหน้าที่ในการจ่ายกำลังไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ ดังรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-13 การทำงานระหว่างฐานชาร์จแบตเตอรี่และแบตเตอรี่

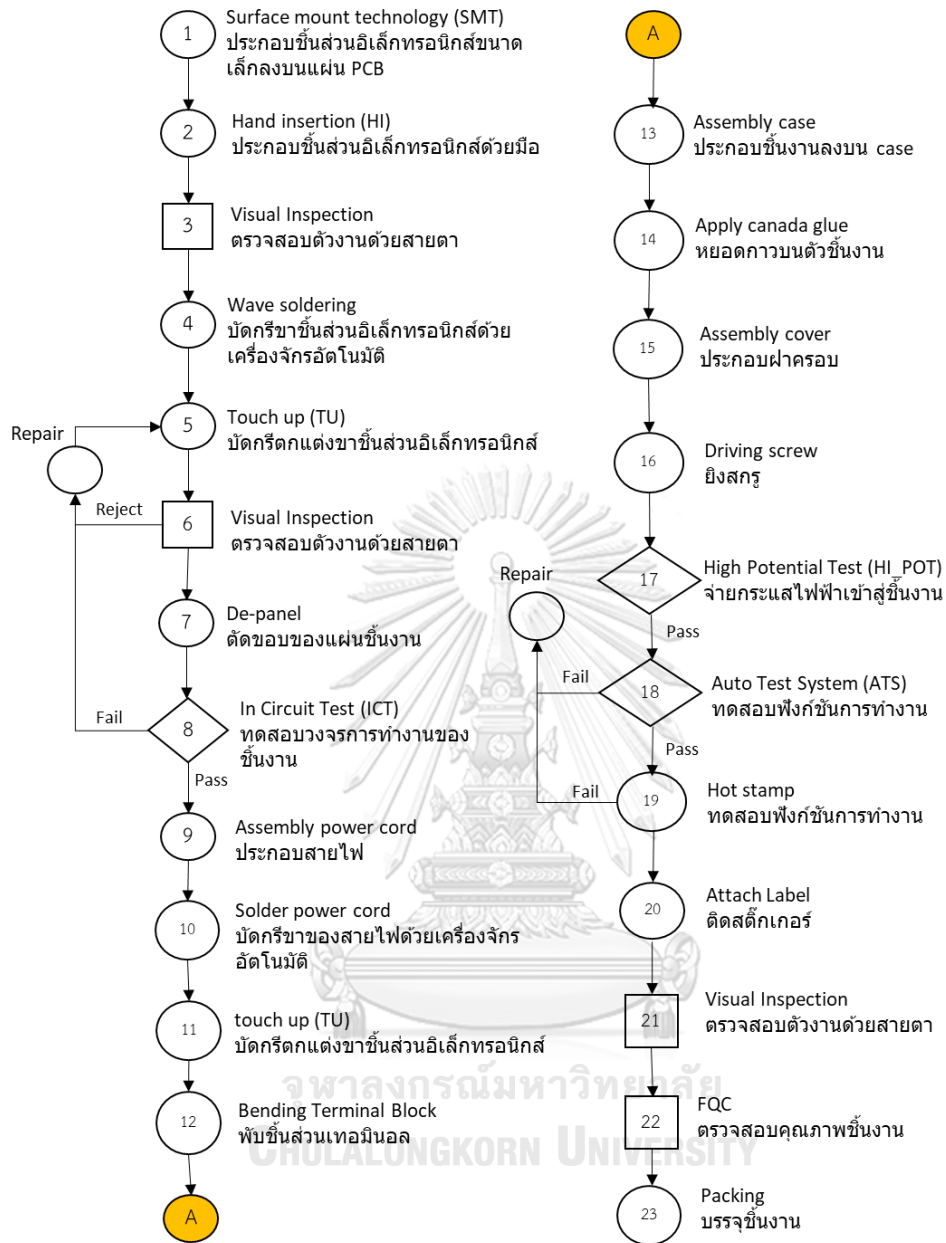
หลังจากแบตเตอรี่มีกำลังไฟเพียงพอ จะนำแบตเตอรี่นั้นมาใช้คู่กับสว่านไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการเจาะต่างๆ ดังรูปที่ 1-4



รูปที่ 1-14 การทำงานระหว่างสว่านไฟฟ้าและแบตเตอรี่

1.2 การศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA (Flow process Chart) โดยเริ่มต้นตั้งแต่การประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Surface Mount Technology) และสิ้นสุดที่กระบวนการบรรจุชิ้นงานลงกล่อง (Packing) ซึ่งกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine) เป็นการนำเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติมาใช้เป็นครั้งแรก ส่งผลให้เป็นกระบวนการที่เกิดข้อบกพร่องด้านคุณภาพสูงที่สุด จากรูปที่ 1-15 มีลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตดังนี้



รูปที่ 1-15 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชาร์จเจอร์ รุ่น ADP-36XX AA

1.2.1 กระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Surface Mount Technology) ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กลงบนแผ่นวงจร PCB (Print Circuit Board)

1.2.2 ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยมือ (Hand insertion: HI) ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถประกอบด้วยเครื่องจักร Surface Mount Technology มาทำการประกอบด้วยพนักงาน

1.2.3 ตรวจสอบตัวงานด้วยสายตา (Visual Inspection) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดใหญ่ว่าได้ทำการประกอบครบถ้วนก่อนปล่อยไปยังกระบวนการบัดกรีขาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Wave soldering)

1.2.4 บัดกรีขาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Wave soldering) ขั้นตอนนี้จะเป็นการใช้เทคโนโลยีการบัดกรีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เข้ายึดกับแผ่นวงจรด้วยคลื่นน้ำตะกั่ว

1.2.5 บัดกรีตกแต่งขาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Touch up: TU) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตกแต่งรอยบัดกรีระหว่างขาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นวงจรให้มีการยึดติดกับเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมพีระมิด

1.2.6 ตรวจสอบตัวงานด้วยสายตา (Visual Inspection) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการตกแต่งรอยบัดกรีระหว่างขาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นวงจร

1.2.7 ตัดขอบของแผ่นชิ้นงาน (De-panel) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดขอบของแผ่นชิ้นงานออกเนื่องจากขอบของแผ่นชิ้นงานไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของชิ้นงานสำเร็จรูป

1.2.8 ทดสอบวงจรการทำงานของชิ้นงาน (In Circuit Test: ICT) ขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบวงจรการทำงานของชิ้นงาน โดยตรวจสอบว่าชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรครบถ้วนและแผ่นวงจรมีการจ่ายไฟเข้าได้

1.2.9 ประกอบสายไฟ (Assembly power cord) ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำสายไฟมาประกอบเข้ากับแผ่นวงจร โดยทำการเสียบขาของสายไฟเข้ากับแผ่นวงจร

1.2.10 บัดกรีขาของสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Solder power cord) ขั้นตอนนี้จะเป็นการบัดกรีขาของสายไฟให้เชื่อมติดกับแผ่นวงจร ซึ่งรอยบัดกรีจะต้องเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมพีระมิดเท่านั้น

1.2.11 บัดกรีตกแต่งขาชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Touch up : TU) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตกแต่งรอยบัดกรีระหว่างขาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นวงจรให้มีการยึดติดกับเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมพีระมิด

1.2.12 พับชิ้นส่วนเทอร์มินอล (Bending Terminal Block) ขั้นตอนนี้จะเป็นการพับชิ้นส่วนเทอร์มินอลขึ้นจากเดิมมุม 0 องศา ให้ตั้งขึ้นเป็นมุม 30 องศา

1.2.13 ประกอบชิ้นงานลงบนเคส (Assembly case) ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำแผ่นวงจรวางลงบนเคส แล้วทำการจัดสายไฟให้เข้ากับร่องของเคส

1.2.14 หยอดกาวบนตัวชิ้นงาน (Apply canada glue) ขั้นตอนนี้จะเป็นการหยอดกาวลงบนตัวชิ้นงานเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ชิ้นงานส่วนอิเล็กทรอนิกส์ยึดติดกับแผ่นวงจร

1.2.15 ประกอบฝาครอบ (Assembly cover) ขั้นตอนนี้เป็นประกอบโดยการนำฝาครอบปิดระหว่างเคสกับตัวชิ้นงาน

1.2.16 ยิงสกรู (Driving screw) ขั้นตอนนี้เป็นยิงสกรูประกอบเพื่อยึดระหว่างเคสกับฝาครอบให้ติดกัน

1.2.17 ถ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ชิ้นงาน (High Potential Test: HI-POT) ขั้นตอนนี้เป็นทดสอบความปลอดภัยของชิ้นงานว่าจะต้องไม่เกิดไฟฟ้ารั่วหรือชิ้นงานจะเกิดการระเบิดขึ้นขณะทำงาน เป็นการทดสอบก่อนนำไปทดสอบฟังก์ชันการทำงานของชิ้นงาน

1.2.18 ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Auto Test System: ATS) ขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของชิ้นงาน โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเสมือนการใช้งานจริง ซึ่งจะตรวจสอบดูการทำงานภาพรวมทั้งหมดของชิ้นงาน

1.2.19 ป้อนวันที่การผลิต (Hot stamp) ขั้นตอนนี้จะเป็นการป้อนวันที่การผลิต เพื่อระบุวันที่ในการผลิต ซึ่งสามารถใช้ในการทวนสอบ เมื่อลูกค้าพบงานเสียในภายหลัง

1.2.20 ติดสติ๊กเกอร์ (Attach Label) ขั้นตอนนี้จะเป็นการติดสติ๊กเกอร์ลงบนฝาครอบ เพื่อระบุรุ่นและเงื่อนไขของผลิตภัณฑ์ตามที่ลูกค้ากำหนด

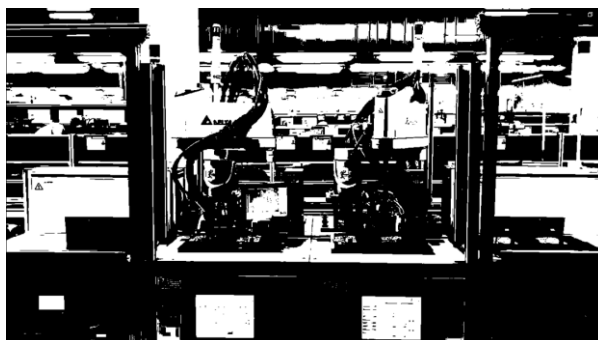
1.2.21 ตรวจสอบตัวงานด้วยสายตา (Visual Inspection) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบสภาพภายนอกตัวชิ้นงาน จะต้องไม่มีรอยขีดข่วน

1.2.22 ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานขั้นตอนสุดท้าย (FOC) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานขั้นตอนสุดท้ายโดยการตรวจการทำงานของหลอดไฟ LED

1.2.23 บรรจุชิ้นงาน (Packing) ขั้นตอนนี้เป็นนำชิ้นงานบรรจุลงลังเพื่อเตรียมจัดจำหน่าย

1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการเพิ่มจำนวนสายการผลิตและมีการนำเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine) เข้ามาในใช้การผลิต ส่งผลให้พบของเสียจำนวนมาก ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นถือเป็นตัวชี้วัดความสามารถและประสิทธิภาพของกระบวนการ แม้ว่าของเสียที่เกิดขึ้นจะสามารถซ่อมแซมแก้ไขได้ภายหลัง แต่ถือว่าเป็นการก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ทั้งในด้านวัสดุอุปกรณ์และด้านแรงงาน



รูปที่ 1-16 เครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine)

จากการรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine) ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 เพื่อนำมาใช้พิจารณาหาแนวทางปรับปรุงและแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถจำแนกข้อมูลสัดส่วนของเสียที่ได้จากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องบัดกรีอัตโนมัติ 2 ชุด ได้แก่

ชุดที่ 1 : เดือนมีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ.2563 จะเป็นช่วงต้นที่เริ่มติดตั้งเครื่องจักรและใช้พารามิเตอร์ตามใบคู่มือคำแนะนำ

ชุดที่ 2 : เดือนมิถุนายน - กรกฎาคม พ.ศ.2563 จะเป็นช่วงที่เริ่มปรับค่าพารามิเตอร์แบบสุ่มของวิศวกรควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ (Automation Engineer)

ตารางที่ 1-1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ ADP-36XX AA ในกระบวนการบัดกรีสายไฟ

เดือน	พารามิเตอร์ ชุดที่ 1			พารามิเตอร์ ชุดที่ 2	
	มี.ค.63	เม.ย.63	พ.ค.63	มิ.ย.63	ก.ค.63
สัดส่วนของเสียของเครื่อง สถานีงานฝั่งซ้าย	66.72%	66.55%	66.47%	61.07%	60.85%
สัดส่วนของเสียของเครื่อง สถานีงานฝั่งขวา	66.70%	66.53%	65.51%	61.20%	61.68%

ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสียที่พบ	พารามิเตอร์ ชุดที่ 1			พารามิเตอร์ ชุดที่ 2	
	66.71%	66.54%	66.49%	61.14%	61.27%
	66.58%			61.21%	

จากตารางที่ 1-1 แสดงสัดส่วนของเสียของเครื่องสถานีงานฝั่งซ้ายและฝั่งขวา มีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย จึงพิจารณาภาพรวมของสัดส่วนของเสีย โดยไม่แยกพิจารณาสถานีงาน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนของเสียในการปรับตั้งพารามิเตอร์ชุดที่ 1 เท่ากับ 66.58% และสัดส่วนของเสียของการปรับตั้งพารามิเตอร์ชุดที่ 2 เท่ากับ 61.21% ซึ่งเครื่องจักรบดกรี๊ดโนมตี สามารถปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ได้ทั้งหมด 10 ปัจจัย ดังตารางที่ 1-2 และทำให้ทราบความแตกต่างของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ชุดล้วนก่อให้เกิดของเสียในปริมาณที่สูง แม้ว่าชุดข้อมูลที่ 2 จะทำให้มีค่า สัดส่วนของเสียลดลงน้อยกว่าชุดข้อมูลที่ 1 แต่สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นยังคงสูงมากกว่าข้อกำหนดที่สามารถรับได้ ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่สูงและควรได้รับการวิเคราะห์หาสาเหตุและเร่งแก้ไขโดยด่วน

ตารางที่ 1-2 พารามิเตอร์ของเครื่องบดกรี๊ดโนมตีจากการรวบรวมข้อมูลของเสียทั้ง 2 ชุด

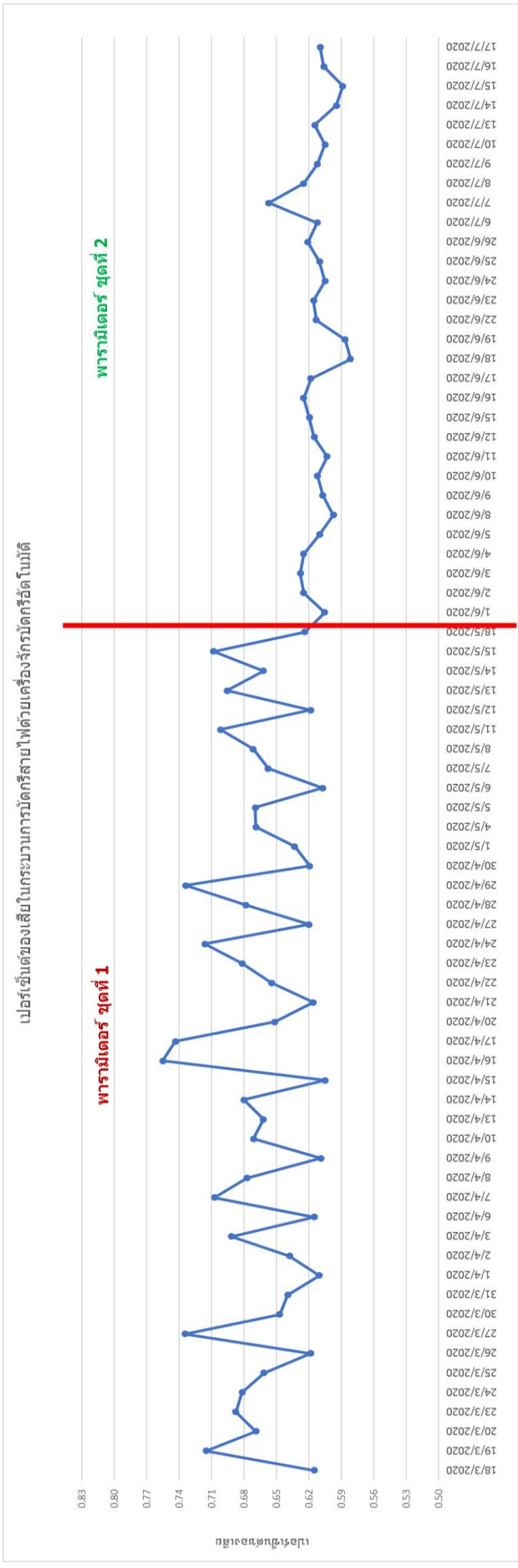
ลำดับ	ปัจจัย	หน่วยวัด ชุดที่ 1	หน่วยวัด ชุดที่ 2
1	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวแรงก่อนการบดกรี	800 มิลลิเมตร/วินาที	800 มิลลิเมตร/วินาที
2	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว	0.4 วินาที	0.3 วินาที
3	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบดกรี	0.4 วินาที	0.2 วินาที
4	ระยะเวลาที่ใช้ในการบดกรี	0.3 วินาที	0.3 วินาที
5	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวแรงหลังการบดกรี	500 มิลลิเมตร/วินาที	500 มิลลิเมตร/วินาที
6	ระยะเวลาให้ความร้อนหลังการบดกรี	0.1 วินาที	0.1 วินาที
7	จำนวนครั้งในการเป่าทำความสะอาดหัวแรง	10 ชั้น	10 ชั้น
8	ระยะเวลาในการเป่าทำความสะอาดหัวแรง	0.1 วินาที	0.1 วินาที
9	จำนวนครั้งในการเช็ดทำความสะอาดหัวแรง	50 ชั้น	50 ชั้น
10	ระยะเวลาในการเช็ดทำความสะอาดหัวแรง	0.1 วินาที	0.1 วินาที

จากตารางที่ 1-2 ทำให้ทราบความแตกต่างของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ชุดล้วนก่อให้เกิดของเสียในปริมาณที่สูง แม้ว่าพารามิเตอร์ชุดที่ 2 จะทำให้มีค่าสัดส่วนของเสียลดลงน้อยกว่าชุดที่ 1 แต่สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นยังคงสูงมากกว่าข้อกำหนดที่สามารถรับได้ และสามารถจำแนกออกเป็นอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (Defect per unit : DPU) ของพารามิเตอร์ชุดที่ 1 เท่ากับ 0.62 และพารามิเตอร์ชุดที่ 2 เท่ากับ 0.47 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานได้เท่ากับ 0.54 ดังตารางที่ 1-3 ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานที่สูง ควรได้รับการวิเคราะห์หาสาเหตุและเร่งแก้ไขโดยด่วน ดังรูปที่ 1-17

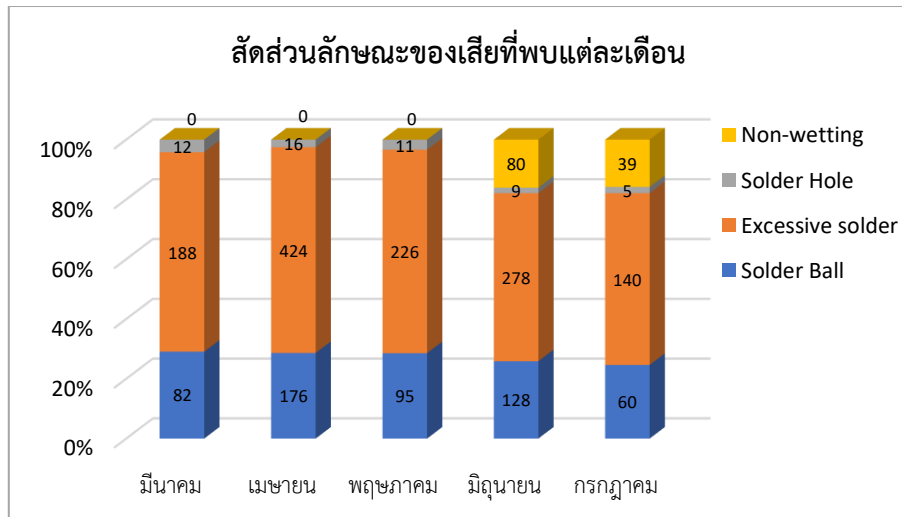
ตารางที่ 1-3 อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานของพารามิเตอร์ทั้ง 2 ชุด

พารามิเตอร์	จำนวน	ประเภทของข้อบกพร่อง				DPU
		บัดกรีเป็น สะเก็ด	บัดกรีมาก เกินไป	บัดกรีไม่ เต็ม	บัดกรีไม่หลอม ละลาย	
พารามิเตอร์ ชุดที่ 1	60	9	26	2	0	0.62
พารามิเตอร์ ชุดที่ 2	60	6	15	2	5	0.47
ค่าเฉลี่ย DPU	60	7.5	20.5	2	2.5	0.54

สำหรับช่วงแรก มีการปรับตั้งพารามิเตอร์ตามใบคู่มือเบื้องต้นเป็นพารามิเตอร์ ชุดที่ 1 พบสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 66.58% และต่อมาได้มีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่อีกครั้งเป็นพารามิเตอร์ ชุดที่ 2 พบสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 61.21% โดยหลังจากที่ทราบสัดส่วนของเสีย จึงทำการจำแนกประเภทของข้อบกพร่องที่พบ ทำให้ทราบเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน ทั้งในส่วนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 ยังคงมีสัดส่วนของเสียในปริมาณที่สูงกว่าข้อกำหนดที่ทางบริษัทสามารถยอมรับได้ ฉะนั้นผู้วิจัยจึงทำการแบ่งประเภทของของเสียออกเป็นรายเดือน เพื่อให้สามารถตรวจสอบประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 1-18

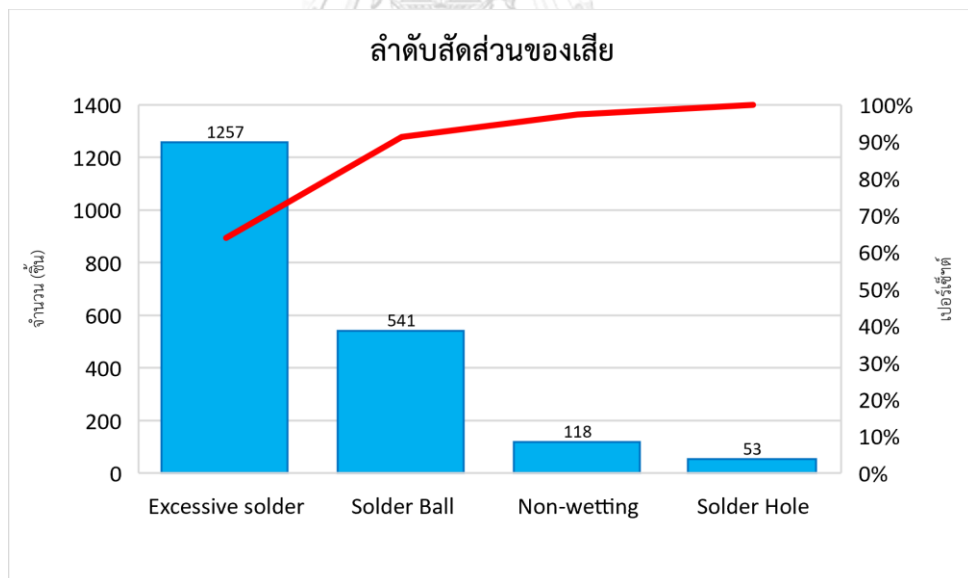


รูปที่ 1-17 อัตราส่วนของเสียจากกระบวนการบัดกรีสายไฟ เดือนมีนาคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2563



รูปที่ 1-18 สัดส่วนลักษณะของเสียในเดือนมีนาคม-กรกฎาคม พ.ศ.2563

หลังจากที่ทราบสัดส่วนของเสียที่เกิดจากเครื่องบัดกรีอัตโนมัติในแต่ละเดือน จึงนำมาวิเคราะห์ด้วยหลักการพาเรโต ในการพิจารณาประเภทของข้อบกพร่องที่มีมากกว่า 80% จากของเสียทั้งหมดเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ



รูปที่ 1-19 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับสัดส่วนของเสียที่มีอิทธิพลสูง

จากแผนภูมิพาเรโตจัดลำดับสัดส่วนของเสียที่มีอิทธิพลสูงจากกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องบัดกรีอัตโนมัติในรูปที่ 1-19 พบว่ามีลักษณะข้อบกพร่องที่จะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ได้แก่ ข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive Solder) จึงทำการเลือกแก้ไขลักษณะปัญหาดังกล่าว

1.4 ลักษณะของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ

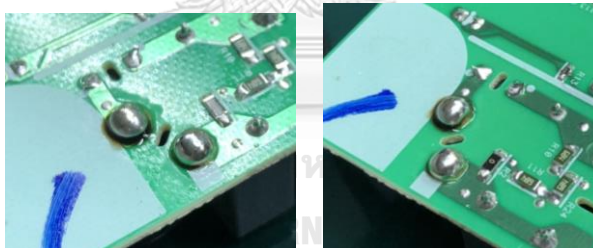
ในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะชิ้นงานที่ผ่านข้อกำหนดทางคุณภาพก่อน โดยชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการบัดกรีสายไฟมาแล้ว จะต้องมียลักษณะของน้ำตะกั่วอยู่ในบริเวณลายวงจรและน้ำตะกั่วจะต้องยึดติดกับสายไฟเป็นรูปทรงโดมพีระมิด ดังรูปที่ 1-20



รูปที่ 1-20 งานบัดกรีดี

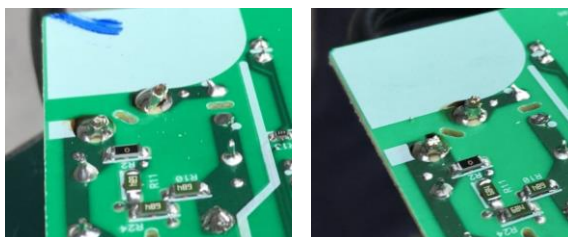
ซึ่งกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ เป็นการนำเครื่องจักรอัตโนมัติมาใช้เป็นครั้งแรก ส่งผลให้เป็นกระบวนการที่เกิดของเสียด้านคุณภาพสูงที่สุด โดยพบลักษณะของเสียทั้งหมด 4 ประการ ดังนี้

1.4.1 บัดกรีมากเกินไป (Excessive solder) ลักษณะข้อบกพร่องนี้ คือ มีตะกั่วออกนอกบริเวณลายวงจรทองแดง (Solder print) และไม่ได้รูปทรงพีระมิด



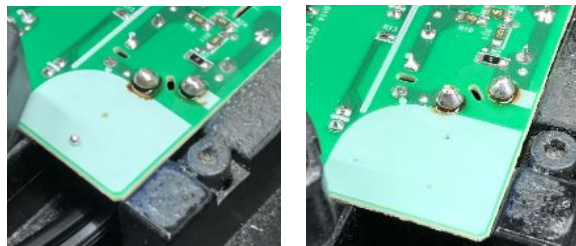
รูปที่ 1-21 บัดกรีมากเกินไป (Excessive solder)

1.4.2 บัดกรีไม่เต็ม (Solder hole) ลักษณะข้อบกพร่องนี้ คือ มีตะกั่วยึดติดกับสายไฟน้อยจนเกินไปไม่ครอบคลุมสายไฟ ทั้งหมด และไม่ได้รูปทรงพีระมิด



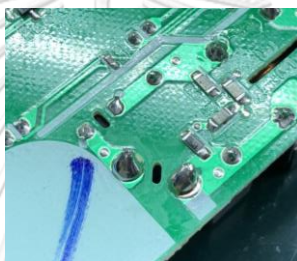
รูปที่ 1-22 บัดกรีไม่เต็ม (Solder hole)

1.4.3 บัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder Ball) ลักษณะข้อบกพร่องนี้ คือ มีน้ำตะกั่วหยดลงบนแผ่นวงจรในบริเวณที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 1-23 บัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder Ball)

1.4.4. บัดกรีไม่หลอมละลาย (Non-wetting solder) ลักษณะข้อบกพร่องนี้ คือ ตะกั่วหลอมละลายไม่สมบูรณ์



รูปที่ 1-24 บัดกรีไม่หลอมละลาย (Non-wetting solder)

1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ลดสัดส่วนงานเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Auto Solder machine)

1.6 ขอบเขตงานวิจัย

1.6.1 ศึกษาและปรับปรุงเฉพาะในส่วนกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Auto Solder machine) ของผลิตภัณฑ์ รุ่น ADP-36XX AA เท่านั้น

1.6.2 ลดปริมาณสัดส่วนงานเสียจากกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Auto Solder machine) โดยสัดส่วนงานเสียต้องลดลงอย่างน้อย 50%

1.6.3 เงื่อนไขในการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ พารามิเตอร์นั้นจะต้องให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (Defect per unit : DPU) ต่ำที่สุด

1.7 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1.7.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหา รวมถึงกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย

1.7.2 สํารวจงานวิจัยและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.7.3 ชี้บ่งต้นตอของปัญหาและคัดเลือกวิธีการดำเนินการ

1.7.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

1.7.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง เฝ้าติดตามปัญหาและประเมินผลกิจกรรมที่เป็นอุปสรรค

1.7.6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1.7.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder machine)

1.8.2 ลดปริมาณงานเสียจากกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Auto Solder machine)

1.8.3 เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ ให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

1.8.4 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดจ้างพนักงานในการซ่อมแซมชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder machine)

บทที่ 2

การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อนำมาเป็นแนวทาง ในการนำไปปรับใช้ให้งานวิจัยสามารถสำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งเนื้อหาต่าง ๆ ที่นำมาเรียบเรียง มีดังต่อไปนี้

2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สืบเนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือต้องการลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ ซึ่งการลดสัดส่วนของเสีย สามารถใช้หลักการต่าง ๆ ในการดำเนินการ ดังนี้

กริ่งทิพย์ ศรีธรรม (2548) ทำการศึกษากระบวนการผลิตอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (Adapter) และอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้า (Charger) พบว่ากระบวนการบัดกรีด้วยคลื่นมีปริมาณของเสียสูงที่สุด จึงทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อนำไปหาปัจจัยนำเข้าไปส่งผลต่อค่าสัดส่วนการเกิดของเสีย(DPU) และนำไปทำการปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองในเชิงแฟคทอเรียล 2^k ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center point) 5 จุด เพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัย โดยทำการศึกษาทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ (1) Preheat (2) Pot temp (3) Angle (4) Lambda (5) Chip (6) Conveyor speed ซึ่งหลังจากได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยแล้ว ทำการวัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เพื่อยืนยันถึงสถานะการใช้งานของปัจจัยหลังการปรับปรุงว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ และได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น สามารถลดของเสียจาก 3,432 PPM ลงเหลือเพียง 2,473 PPM คิดเป็น 27.9%

จิระวัฒน์ แต่งไทย (2553) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป ในการวิจัยมีการออกแบบการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสม ที่ทำให้ขนาดรวมของโพรงอากาศไม่เกิน 500 ไมครอนซึ่งเป็นข้อกำหนดทางด้านคุณภาพ ในเบื้องต้นได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่นำจะมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ พบว่ามี 4 ปัจจัยคือ (1) แรงอัดของแม่พิมพ์ (2) แรงฉีดเรซิน (3) เวลาในการฉีดเรซิน (4) ระยะเวลาในการอุ่นเรซิน จากนั้นประยุกต์ใช้หลักการออกแบบ

วิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 4 ที่ให้ขนาดรวมของโพรงอากาศน้อยที่สุด ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ คือ แรงอัดของแม่พิมพ์ที่ 280 Mpa, แรงฉีกเรซินที่ 10 kN, เวลาในการฉีกเรซินที่ 8 วินาที และระยะเวลาในการอุ่นเรซินอยู่ที่ 9 วินาที ได้ขนาดรวมของโพรงอากาศเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่ 218.25 ไมครอน จากการทดสอบเพื่อยืนยันผล ยังไม่พบของเสียเนื่องจากขนาดของโพรงอากาศเกินกว่า 500 ไมครอน โดยที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพด้านอื่น

ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ (2554) ศึกษากระบวนการตรายในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของของเสียฟองอากาศในพลาสติกในลอนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเงื่อนไขของกระบวนการตราย ซึ่งได้แก่ (1) ความเร็วของลูกกลิ้ง (2) อุณหภูมิของเตาอบ (3) แรงดึงพลาสติก โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface Analysis) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการตรายกับของเสียฟองอากาศจะแสดงด้วยฟังก์ชันกำลังสอง จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมากขึ้นจะทำให้ของเสียฟองอากาศลดลง เนื่องจากเมื่อพลาสติกมีความดึงฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่ถูกเก็บไว้บนผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อพลาสติกดึงเกินไปจากแรงดึงพลาสติกที่มากจะส่งผลให้พลาสติกเกิดการขยายและหดตัว ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศที่มากและในขณะที่เมื่ออุณหภูมิของเตาอบมากขึ้น จะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวทำละลายสามารถระเหยได้ดีแผ่นพลาสติกมีการเชื่อมติดกันได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพ และค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศน้อยที่สุดคือความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตันและอุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

วรรณฤดี อินทนะนุก (2558) กล่าวถึง การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดของเสียในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรีที่เกิดขึ้นกับแผงวงจรด้านบนและด้านล่าง เนื่องจากปัจจุบันพบว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ปริมาตรโลหะบัดกรีเบี่ยงเบนไปจากขีดจำกัดข้อกำหนด ส่งผลต่อคุณภาพของแผงวงจรไฟฟ้าจึงทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน ในการนำมาใช้คัดกรองปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยหลักในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี ประกอบด้วย (1) ความเร็วที่ใช้ในการสกรีน (2) แรงที่ใช้ในการสกรีน (3) ความเร็วที่ใช้ในการแยกออกของการสกรีน (4) ระยะทางในการแยกออกของการสกรีน (5) ขนาดของใบปาด (6) อายุการใช้งานของโลหะบัดกรี หลังจากนั้นนำวิธีการพื้นผิวตอบสนองด้วยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนมาใช้ในการกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดแก่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองของแผงวงจรด้านบนและด้านล่าง จากการทดลองทำให้ทราบว่า

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ปริมาตรโลหะบัดกรีบนแผงวงจรด้านบนอยู่ที่ 105 เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่ 100 เปอร์เซ็นต์และมีจำนวนของเสียลดลงมาอยู่ที่ 0 เปอร์เซ็นต์และในส่วนค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ปริมาตรโลหะบัดกรีบนแผงวงจรด้านล่างอยู่ที่ 102 เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่ 100 เปอร์เซ็นต์และมีจำนวนของเสียลดลงมาอยู่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์

ศันสนีย์ พิสุทธิกุลกิจ (2557) ได้ทำการศึกษากระบวนการของผลิตภัณฑ์ชิพคอนแทคคูเอิลอินเตอร์เฟส ซึ่งเป็นชิพประเภทเชื่อมต่อการแตะหรือสัมผัสซึ่งประกอบอยู่ในบัตรประจำตัว จากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตพบว่ากระบวนการมีจำนวนของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้นสูงที่สุดที่ค่าเฉลี่ย 600 PPM โดยมีสาเหตุมาจากชิ้นงานมีความโค้งงอ จึงได้ประยุกต์ใช้หลักการซิกส์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ โดยดำเนินการตามหลัก DMAIC ในระยະนิยามปัญหาได้ดำเนินการศึกษากระบวนการ สภาพปัญหาในปัจจุบัน กำหนดขอบเขตการศึกษา ระยะการวัดทำการวัดกระบวนการเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาจากการระดมความคิดในทีม ระยะวิเคราะห์ได้นำปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าความโค้งงอมาทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล 2^k ทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ ระยะปรับปรุงโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) แบบบ็อกซ์-เบนเคนซ์ เพื่อหาค่าติดตั้งที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน และระยะควบคุมได้จัดทำแผนควบคุมและติดตามผลการปรับปรุง ทำให้พบว่าจำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้นลดลงจาก 600 PPM เหลือ 184 PPM

เสรี กุลปิยะ (2556) ศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร พบว่ามีของเสียหลายลักษณะ เช่น การบิน(Package Chip) สิ่งแปลกปลอมติดบนตัวงาน(Foreign Material) เรซินติดบนขางาน (Bleed out on lead) เครื่องหมายออกนอกตัวงาน(Mark out of package) ขึ้นรูปไม่สมบูรณ์ (Incomplete mold) รอยขีดข่วน (Scratch package) ตัวงานสกปรก (Contamination) โดยใช้หลักการพาเรโตและศึกษาดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ในการพิจารณาหาชนิดของเสียที่มีมากที่สุดเกินกว่า 80% จึงสรุปได้ว่าการบิน(Package Chip)มีขนาดความกว้างมากกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และใช้แผนภูมิแกงปลา รวมถึงวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ(FMEA) ในการพิจารณาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อสูง หลังจากนั้นนำสาเหตุปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2^{5-1} และเพิ่มจุดศูนย์กลางอีก 3 การทดลองสำหรับคัดกรองปัจจัยและนำปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญมาทำการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนเคนและวิธีการพื้นผิวตอบสนองในการหาค่าติดตั้งที่เหมาะสม เพื่อทำให้ความกว้างลักษณะ

บีนนั้นมีย่าน้อยที่สุด จะได้อุณหภูมิ น้ำ 10 องศาเซลเซียส แรงดันน้ำ 2 ลิตรต่อนาที และความเร็วในการตัด 30 มิลลิเมตรต่อนาที สามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการได้จาก 0.66 เป็น 1.41 และลดสัดส่วนของเสียจาก 5,883 PPM เป็น 1,150 PPM คิดเป็นอัตราส่วนของเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 80.45%

สมยศ ผ่องใส (2562) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องจากข้อร้องเรียนของลูกค้าในงานตัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทรถบรรทุก ผู้วิจัยนำเอาเทคนิคซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการตัดแปลงในส่วนงานเชื่อมโลหะให้มีคุณภาพ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ผลจากการทดลองพบว่า ปัจจัยกระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สัดส่วนของเสียที่เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ส่วนงานเชื่อมโลหะ จาก 0.60% ลดลงเหลือ 0.12% และจาก 0.72% ลดลงเหลือ 0.20% ของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมซ้ำ และเร็ว ตามลำดับ ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายงานซ่อมแซมของบริษัทรถบรรทุกได้

สิทธิกร เลิศอริยสกุล (2561) มีวัตถุประสงค์ในการลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์โค้ดแบบหมึกลงบนผลิตภัณฑ์กระป๋อง ซึ่งมีของเสียเกิดขึ้นใน 2 รูปแบบ คือโค้ดลบและโค้ดขาด วิธีการที่ใช้ลดของเสียเนื่องจากโค้ดลบคือการให้ความร้อนบนผิวกระป๋องก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ และวิธีการที่ใช้ลดของเสียจากโค้ดขาดคือการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเครื่องพิมพ์ จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนผิวกระป๋องคือ อุณหภูมิ ระดับแรงลม และระยะเวลาในการให้ความร้อน จากการออกแบบการทดลองโดยวิธีบ็อกซ์ -เบห์นเคน และหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองพบว่า ทำให้สามารถลดของเสียเนื่องจากโค้ดลบลงเหลือเพียง 0.014 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเครื่องพิมพ์ดำเนินการโดยการเพิ่มรอบการทำความสะอาดหัวพิมพ์ เพิ่มรอบการทำความสะอาดระบบผสมน้ำหมึก ทำให้สามารถลดของเสียเนื่องจากโค้ดขาดลงเหลือเพียง 0.006 เปอร์เซ็นต์ ในการดำเนินการทั้งหมดส่งผลให้ของเสียโดยรวมจากสายการผลิตที่ 1 ลดลงจาก 0.2 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 0.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ตามเป้าหมายที่โรงงานกำหนดไว้

อัญธิชา พงษ์ไตรรัตน์ (2555) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องประเภทรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม

ที่เกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล โดยประยุกต์ใช้ 5 ขั้นตอนของเทคนิคซิกซ์ ซิกมา ในขั้นตอนแรกทำการเลือกข้อบกพร่องที่มีสัดส่วนของเสียสูงที่สุดคือรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม ขั้นที่สองได้ทำการออกแบบการทดลอง สำหรับข้อบกพร่องรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอย ใช้การทดลองแบบบล็อกซ์-เบ้หันเคน โดยมีปัจจัย (1) ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล (2) ความคมของฝาครอบระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน (3) จำนวนการทดลอง load/unload และข้อบกพร่องรอยจุดเป็นกลุ่ม ใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียล โดยมีปัจจัย (1) แรงลมในการฉีควาง (2) แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล ซึ่งจะใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าปัจจัยจำนวนสี่ปัจจัย ซึ่งจะทำให้เปอร์เซ็นต์ข้อบกพร่องรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยน้อยที่สุด ส่วนวิธีเชิงเส้นทั่วไปถูกประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าปัจจัยจำนวนสองปัจจัยสำหรับข้อบกพร่องรอยจุดเป็นกลุ่ม และหลังจากการปรับปรุงแล้ว ทำการติดตามผลของข้อบกพร่องด้วยแผนภูมิควบคุม p พบว่าสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยลดลง 53.56% (จากเดิม 6.03% เป็น 2.80%) และสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มลดลง 60.55% (จากเดิม 2.53% เป็น 0.99%)

2.2 ความหมายของการปรับปรุงคุณภาพ

การปรับปรุงคุณภาพ หมายถึง การปรับระดับของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ให้เข้าใกล้ค่าเป้าหมายหรือค่าที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น และลดความผันแปรที่เกิดในกระบวนการ ซึ่งจะทำให้สัดส่วนของเสียลดลง และต้นทุนคุณภาพโดยรวมต่ำลงได้ ซึ่งแตกต่างจากการควบคุมคุณภาพ ซึ่งหมายถึงการรักษาระดับคุณภาพโดยเฉลี่ย ไว้ให้คงที่ แต่จะตรวจติดตามความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการ และทำการแก้ไขเมื่อเกิดความผิดปกติ จากระดับเดิมเท่านั้น ซึ่งไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับคุณภาพโดยเฉลี่ยไปยังระดับที่ดียิ่งขึ้น

2.3 การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทาง ซิกซ์ ซิกมา

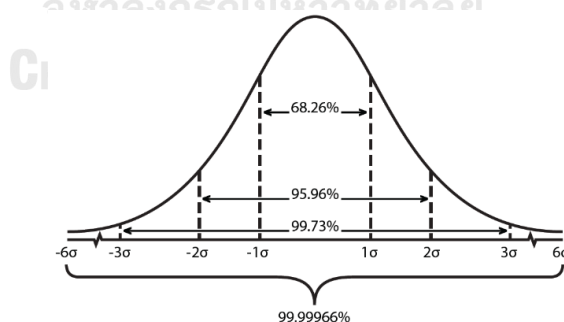
การผลิตแบบลีนเป็นชุดเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้กำจัดความสูญเปล่าของกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า การลดความสูญเสียนและเพิ่มคุณค่าในกระบวนการเพื่อผลิตสินค้า ให้มีประสิทธิภาพและประกันคุณภาพสูง โดยใช้ต้นทุนการผลิตต่ำและใช้เวลาในการผลิตสั้นที่สุด เพื่อส่งมอบสินค้าที่ลูกค้าต้องการอย่างมีคุณภาพและทันเวลา มีการนำเครื่องมือการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเพื่อช่วยปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในองค์กร

ซิกซ์ ซิกมา เป็นระบบบริหารที่มีการจัดการในเรื่องการบริหารทรัพยากรบุคคล เครื่องมือ และเงิน เพื่อสนับสนุนให้เกิดการปรับปรุงงานได้ ในส่วนการบริหารบุคคล ซิกซ์ ซิกมา ได้กำหนดบทบาทและความรับผิดชอบของบุคลากรไว้เป็นตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อให้มั่นใจได้ว่า องค์กรจะมีบุคลากรที่พร้อมด้วยความรู้และเวลาที่จะดำเนินโครงการปรับปรุงคุณภาพงานได้อย่างสำเร็จ



รูปที่ 2-1 ความหมายของลีนและซิกส์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา เป็นระดับคุณภาพที่แสดงความผันแปรในกระบวนการ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่สนใจจะเป็น 1 ใน 6 ของระยะห่างระหว่างขีดจำกัดข้อกำหนดกับค่าเป้าหมาย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าที่ระดับ ± 6 ซิกซ์ ซิกมา กระบวนการจะให้ความแม่นยำอยู่ที่ 99.99% และที่ระดับ ± 3 ซิกซ์ ซิกมา กระบวนการจะมีความแม่นยำอยู่ที่ 99.73% และที่ระดับ ± 2 ซิกซ์ ซิกมา กระบวนการจะมีความแม่นยำอยู่ที่ 95.96% ส่วนที่ระดับ ± 1 ซิกซ์ ซิกมา กระบวนการจะความแม่นยำอยู่ที่ 68.26%



รูปที่ 2-2 ความหมายของซิกส์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา กำหนดขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพไว้ ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนก็ได้รวบรวมเครื่องมือหลักๆ ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนไว้อย่างชัดเจน ขั้นตอนเบื้องต้นที่ต้องทำ คือ การเลือกว่าปัญหาใดเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นโครงการปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจากในองค์กรมีหลาย

ปัญหาที่สามารถปรับปรุงได้ แต่ปัญหาเหล่านั้นอาจมีความสำคัญไม่เท่ากัน นอกจากนั้นทรัพยากรที่มี และต้องใช้ในการปรับปรุงอาจมีไม่เพียงพอที่จะดำเนินการปรับปรุงหลายๆปัญหาไปพร้อมๆกัน ดังนั้นองค์กรจึงต้องทราบถึงเกณฑ์การพิจารณาที่ควรใช้ในการเลือกปัญหาที่จะนำมาทำเป็นโครงการปรับปรุงคุณภาพในลำดับแรกๆ การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนที่เรียกว่า DMAIC ดังนี้



รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการดำเนินงานซิกซ์ ซิกมา

2.3.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase: D)

ในขั้นตอนนี้จะระบุความสำคัญทางธุรกิจ สภาพปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต เงื่อนไข และ สมมติฐานของโครงการปรับปรุงคุณภาพ รวมทั้งกำหนดทีมงานปรับปรุงคุณภาพและแผนการดำเนินงานโครงการเนื่องจากในองค์กรมีหลายปัญหาที่สามารถปรับปรุงได้ เช่น ปัญหาในเรื่องของเสีย (Defective) มาก ความสูญเปล่า (Waste) มาก รอบระยะเวลา (Cycle Time) ยาวนาน ผลผลิตภาพ (Productivity) ต่ำ สินค้าคงคลัง (Inventory) สูง การหยุดของเครื่องจักร (Machine break down) บ่อยครั้ง หรือต้นทุน (Cost) สูง ใน เรื่องของเสียก็ยังมีปัญหาแยกย่อยที่เกิดจากประเภทของ ข้อบกพร่องต่างๆที่มีผลกระทบแตกต่างกัน ทำให้ปัญหาเหล่านั้นมีความสำคัญไม่เท่ากัน และเนื่องจาก ทรัพยากรที่มีและที่ต้องใช้ในการปรับปรุงอาจมีไม่เพียงพอที่จะดำเนินการปรับปรุงหลายๆปัญหาไปพร้อมๆกัน ดังนั้นองค์กรจึงต้องจัดลำดับความสำคัญของปัญหา และเลือกว่าปัญหาใดเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นโครงการปรับปรุงคุณภาพตามลำดับ

2.3.2 ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา (Measure Phase: M)

ในขั้นตอนนี้จะมีการเก็บข้อมูลเพื่ออธิบายสภาพปัญหาด้วยวิธีการที่มั่นใจได้ว่าให้ค่าเชื่อถือได้ และเก็บข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา ก่อนที่จะเก็บข้อมูลจำเป็นต้องมีการวางแผนการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดเสียก่อน เพื่อให้มั่นใจ

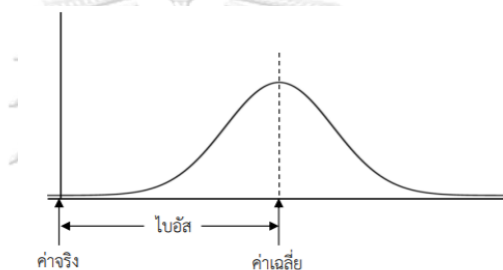
ได้ว่าระบบการวัด จะให้ค่าที่เชื่อถือได้เมื่อได้ข้อมูลมาแล้ว จึงทำการคำนวณค่าตัวชี้วัดที่แสดงถึงระดับความสามารถของกระบวนการหรือสภาพปัญหาในปัจจุบัน

2.3.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA)

เมื่อได้วางแผนแล้วว่าจะเก็บข้อมูลใด หากข้อมูลนั้นต้องใช้เครื่องมือวัดในการวัดค่า จะต้องประเมินก่อนว่าระบบการวัดข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือ นั่นคือมีความแม่นยำและเที่ยงเพียงพอ

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด จะพิจารณาใน 3 เรื่อง ได้แก่

1. คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด (Bias) แสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 ไบอัสของระบบการวัด

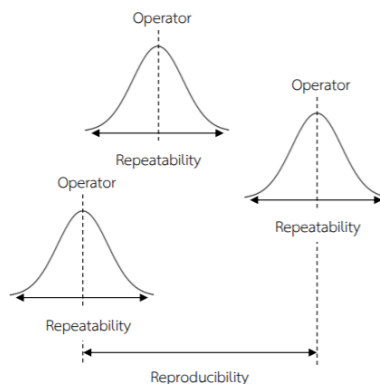
2. คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด (Stability) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัส เมื่อเวลาเปลี่ยนไป

3. คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด (Linearity) จะพิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัส เมื่อเปลี่ยนแปลงย่านวัด

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด จะพิจารณาใน 2 เรื่อง ได้แก่

1. คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้ (Repeatability) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการอ่านซ้ำของเครื่องมือวัด โดยจะต้องใช้ผู้ทดลองทำการวัดคนเดียว งานตัวเดียวบนสภาวะแวดล้อมเดียวกัน วัดซ้ำบนเครื่องมือวัดนั้นหลายๆ ครั้ง เพื่อดูว่าค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งนั้นใกล้เคียงกันหรือไม่ เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด

2. คุณสมบัติด้านรีโพรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) เพื่อที่จะดูว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน เครื่องมือวัดเครื่องเดียวกันและชิ้นงานเดียวกัน แต่ทำการเปลี่ยนผู้ทดลองวัด ค่าที่วัดออกมาจะยังคงเชื่อถือได้หรือไม่ เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของคนวัด ดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 ความผันแปรในส่วรพีทหะบิลิตี้และรีโพรดิวซิบิลิตี้

2.3.2.2 การประเมินความสามารถของกระบวนการ

เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วด้วยการเก็บขนาดตัวอย่างที่เชื่อถือได้ ก็ให้นำข้อมูลนั้นมาคำนวณค่าสถิติหรือตัวชี้วัดเพื่อแสดงถึงระดับความสามารถของกระบวนการหรือระดับคุณภาพของงาน ซึ่งตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการนั้นมีหลายตัว โดยสามารถแบ่งแยกเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับข้อมูลแบบต่อเนื่องและข้อมูลแบบหน่วยนับ

1. ตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ

กรณีที่มีการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน เช่น การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) ผลการตรวจสอบแบ่งเป็นผ่านหรือไม่ผ่าน หรือเป็นของเสียหรือไม่เป็นของเสีย

1) สัดส่วนของเสีย คือ หากต้องการประมาณค่าสัดส่วนของเสียจากกระบวนการสามารถทำได้โดยตรวจสอบชิ้นงานและนับจำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสียหารกับจำนวนชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด ดังสมการที่ 2.2

$$P = \frac{\text{จำนวนของเสีย}}{\text{จำนวนชิ้นงานผลิตทั้งหมด}} \quad (2.2)$$

2) อัตราการเกิดของเสียต่อหน่วย (Defect per unit) โดยจะนับของเสียนั้นเป็น 1 หน่วย หรือเป็นชิ้น อาจจะประกอบด้วยจำนวนข้อบกพร่องมากกว่า 1 รายการ เช่น รถยนต์ที่มีรอยขีดข่วน และรอยบุบ เป็นต้น ดังสมการที่ 2.3

$$DPU = \frac{\text{จำนวนของเสียที่ตรวจสอบทั้งหมด}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบทั้งหมด}} \quad (2.3)$$

2. ตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง ซึ่งดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง นิยมใช้ 4 ดัชนี ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง

ดัชนี	คำนวณได้จาก	ทำหน้าที่แสดงถึง
C_p	$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{within}}$	ศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น
C_{pk}	$Min(C_{pk,(USL)}, C_{pk,(LSL)})$	ความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น
P_p	$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{overall}}$	ศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว
P_{pk}	$Min(P_{pk,(USL)}, P_{pk,(LSL)})$	ความสามารถของกระบวนการในระยะยาว

จากตารางที่ 2-1 แสดงวิธีการคำนวณค่า C_p และ P_p จะเห็นได้ว่าสูตรของ C_p และ P_p นั้นเหมือนกัน แต่แตกต่างกันตรงวิธีในการคำนวณ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ ($\hat{\sigma}$) โดยในการคำนวณ C_p จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากความผันแปรภายในกลุ่มตัวอย่าง ($\hat{\sigma}_{within}$) ในขณะที่การคำนวณ P_p จะใช้ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากความผันแปรทั้งหมด ($\hat{\sigma}_{overall}$) โดยหากกระบวนการในสภาวะควบคุมได้ค่าความผันแปรในระยะยาวจะมีค่าใกล้เคียงกับความผันแปรในระยะสั้น ซึ่งจะส่งผลให้ดัชนีชี้วัด C_p และ P_p มีค่าใกล้เคียงกัน

การประเมินผลความสามารถของกระบวนการ โดยมีขั้นตอนในการพิจารณา ดังนี้

ตารางที่ 2-2 การประเมินอัตราความสามารถของกระบวนการ

ดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการ	ความสามารถของกระบวนการ
มากกว่า 2.00	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq Cp \leq 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq Cp \leq 1.67$	ดี
$1.00 \leq Cp \leq 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq Cp \leq 1.00$	เลว
น้อยกว่า 0.67	เลวมาก

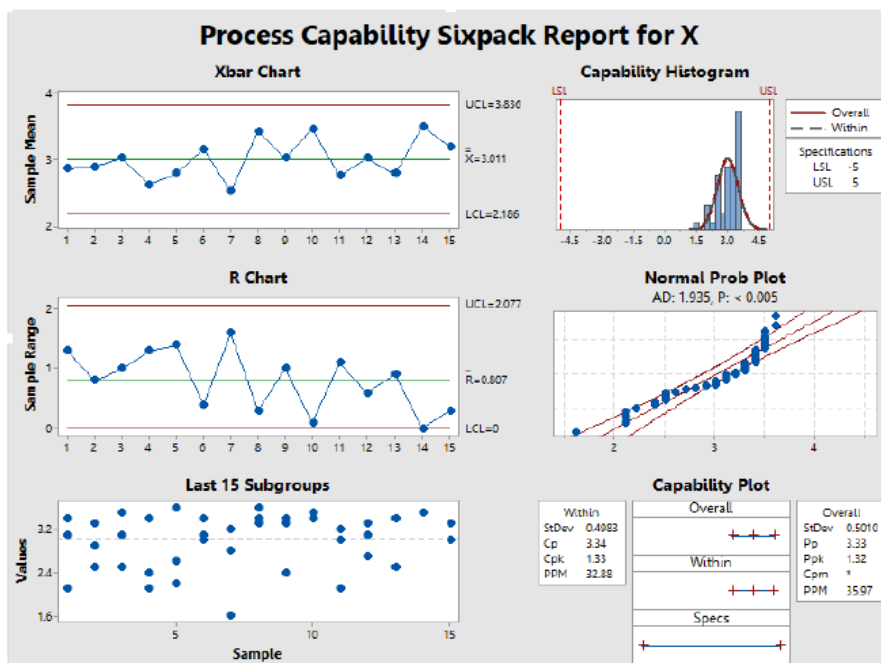
ก) จากตารางที่ 2-2 สรุปว่าจะยอมรับระดับความสามารถของกระบวนการที่พิจารณาหรือไม่ โดยจะยอมรับ เมื่อค่า Cpk มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด ซึ่งมักนิยมใช้ค่าเท่ากับ 1.33

ข) หากยอมรับความสามารถของกระบวนการนั้น ก็ไม่มีความจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการในพารามิเตอร์นั้น หากไม่ยอมรับความสามารถของกระบวนการ ก็มีความจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการ ในพารามิเตอร์นั้น โดยมีหลักในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุง ดังนี้

1) หาก Cp มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แต่ Cpk มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดแสดงถึงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการยังมีความสามารถในระดับที่ยอมรับไม่ได้ เนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่มากเกินไป จึงควรหาวิธีการในการปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

2) หาก Cp และ Cpk มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด โดย Cp และ Cpk มีค่าใกล้เคียงกันมากแสดงถึงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ใกล้เคียงค่าเป้าหมายแล้ว แต่ระดับความผันแปรของกระบวนการยังมีค่ามาก เกินระดับที่ยอมรับได้ จึงควรปรับปรุงโดยหาวิธีการในการลดระดับความผันแปรลง โดยไม่มีความจำเป็นต้องปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

3) หาก Cp และ Cpk มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด โดย Cpk มีค่าน้อยกว่า Cp มาก แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายไปมากและระดับความผันแปรของกระบวนการยังมีค่ามากเกินระดับที่ยอมรับได้ด้วย จึงควรปรับปรุงโดยหาวิธีการที่จะทั้งปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้นและลดระดับความผันแปรลงด้วย



รูปที่ 2-6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

โดยจากรูปที่ 2-6 แสดงความสามารถของกระบวนการนั้นๆ จะเห็นว่าจากผลสรุปความผันแปรภายในกลุ่มตัวอย่าง ($\hat{\sigma}_{within}$) มีค่า Cp และ Cpk อยู่ที่ 3.34 และ 1.33 ตามลำดับ และความผันแปรทั้งหมด ($\hat{\sigma}_{overall}$) มีค่า Pp และ Ppk อยู่ที่ 1.32 และ 1.33 ตามลำดับ หมายถึงกระบวนการดังกล่าว มีศักยภาพและความสามารถในการระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่เหมาะสมดีแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.2.3 การปรับเทียบเครื่องมือ (Calibration)

การปรับเทียบ หรือการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) เป็นกระบวนการหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ภายในโรงงาน เพื่อสร้างความมั่นใจให้ผู้ใช้งานว่าเครื่องมือที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นมีคุณภาพ และมาตรฐานตามที่บริษัทยอมรับเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการต่อไปได้หรือไม่ เพื่อให้เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการสามารถผลิตชิ้นงานออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนด การสอบเทียบเครื่องมือ คือ ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ โดยการเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือวัดที่ใช้งาน กับค่าเครื่องมือวัดมาตรฐานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่สามารถสอบกลับได้ ในปัจจุบันมาตรฐานสากลจะกล่าวถึงการสอบ

เทียบเครื่องมือไว้ทั้งสิ้น เช่น ISO 9000, ISO 14000, ISO/TS 16949 และ มอก.18000 เป็นต้น ภายในโรงงานของบริษัทผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวัดอยู่เป็นประจำทุก 12 เดือน โดยการสอบเทียบเครื่องมือที่ได้มาตรฐานเชื่อถือได้

วิธีการสอบเทียบของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้กันนั้นจะเป็นวิธีการสอบเทียบโดยใช้เกจบล็อก (gauge blocks) เกจบล็อกนี้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการ ไม่ว่าจะเป็นการสอบเทียบ Vernier Calipers (เวอร์เนียคาลิเปอร์), Micrometers (ไมโครมิเตอร์), Height Gages ซึ่งเกจบล็อกหรือแท่งเทียบมาตรฐานจะทำจากวัสดุที่เป็น เหล็กกล้า (Steel), ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungsten Carbide), โครเมียมคาร์ไบด์ (Chrome Carbide), เซรามิก (Ceramic) แต่ในปัจจุบันเกจบล็อกที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุดจะทำมาจากเหล็กกล้า (Steel) เนื่องจากสะดวกต่อเก็บรักษาและดูแลง่าย ดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 เกจบล็อก (gauge blocks)

2.3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษากระบวนการทางคุณภาพ

1. เทคนิคการระดมความคิด (Brain Storming)

การระดมความคิด คือ การระดมสมองร่วมกันเป็นกลุ่ม เพื่อให้เกิดชุดความคิดใหม่ๆ โดยการเปิดกว้างอย่างอิสระในการเสนอความคิดเห็นของผู้เข้าร่วม การระดมความคิด ไม่ว่าจะเป็นแนวคิดที่ดูเป็นไปได้ หรือดูแปลกไปจากความเป็นจริงก็ตาม หลังจากนั้นจึงนำชุดความคิดดังกล่าว มาวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาต่อไป ซึ่งหลักการสำคัญที่ใช้ในการทำการระดมความคิดตามหลักการของ อเล็กซ์ ออสบอร์น มีอยู่ 2 ข้อด้วยกัน คือ ข้อแรก อย่าเพิ่งตัดสินความคิดที่ดูแตกต่าง เพราะการด่วนตัดสินเป็นการจำกัดความคิดให้อยู่ในกรอบเดิมๆ และข้อที่สองคือ เน้นปริมาณของความคิด เพราะยิ่งมีความคิดมาก ยิ่งทำให้เกิดแนวทางในการแก้ปัญหา มากขึ้น และสามารถหาแนวทางที่ดีที่สุดได้ ซึ่งการระดมความคิด มีขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 ตั้งผู้ดำเนินการ หรือผู้อำนวยการ (facilitator) เพื่อเป็นผู้ประสานงาน กระตุ้นให้เกิดการออกความเห็นอย่างเท่าเทียมกัน หากมีผู้ที่นั่งเงียบหรือบางคนผูกขาดพูดอยู่คนเดียว ผู้ประสานงานจะช่วยไกล่เกลี่ย หากมีผู้โต้แย้งกัน เป็นต้น

1.2 กำหนดหัวข้อในการระดมความคิด หัวข้อในการระดมสมองควรเป็นหัวข้อที่เจาะจง ไม่กว้างจนเกินไป เพราะเมื่อจบการระดมสมองอาจจะไม่ได้ข้อสรุปที่นำไปดำเนินการต่อได้

1.3 ระดมความคิด เพื่อให้ได้ความคิดมากที่สุด โดยมีกฎว่าต้องจดทุกความคิดโดยไม่มี การประเมินใดๆทั้งสิ้น เพราะทุกคนต้องได้รับอิสระในการแสดงความคิดเห็น ในขั้นนี้จะต้อง กำหนด เป้าหมายในการระดมความคิด

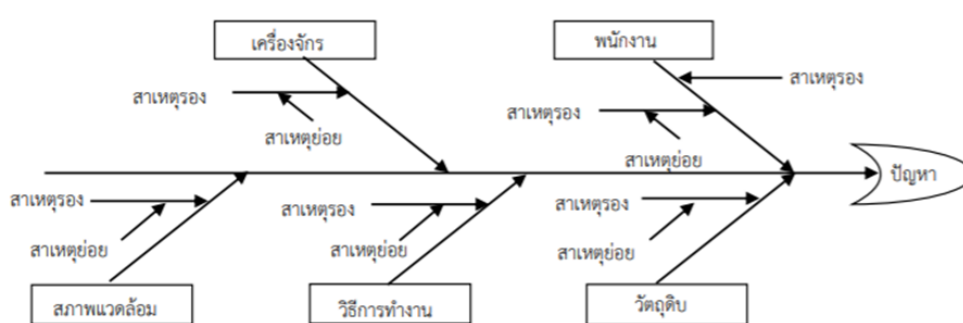
1.4 สรุปผลการระดมสมอง สรุปออกมาเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ไอเดียที่ดีพร้อมไปดำเนินการได้ ไอเดียดีรอการพิจารณา และไอเดียที่ต้องพิจารณา โดยสมาชิกคนใดคนหนึ่งจะเป็นคนจดโน้ตพร้อม ทั้งส่งบันทึกให้กับผู้ร่วมระดมสมองในการระดมสมองนั้น ส่วนใหญ่เราจะไม่ทิ้งความคิดใดคิดหนึ่ง เพราะในเวลานั้นความคิดที่เราคิดว่าเป็นไปไม่ได้ หรือเพ้อฝัน อาจจะเป็นเพราะทรัพยากรใน ตอนนั้น เราอาจจะไม่พร้อมที่จะดำเนินการ แต่อาจจะเป็นจริงในภายหลังก็ได้

1.5 การติดตามผล หลังจากระดมสมองเสร็จแล้ว ควรมีการติดตามผลว่าได้นำความคิดนั้น ไปดำเนินการแล้วผลเป็นอย่างไร เพื่อประเมินและหาหนทาง หรือนำแนวคิดที่เหลือไปดำเนินการต่อ

2. แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram)

แผนภูมิก้างปลาเป็นแผนภูมิที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุ ทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิ ก้างปลา (fishbone diagram) คือ การใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ลงทางด้านขวาสุดของ แผนภูมิ จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อย ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อ ของสิ่งทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมี สาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพของ องค์ประกอบทั้งหมดที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น หากกล่าวถึงในส่วนของการกระบวนการผลิต โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุ ต่าง ๆ ดังรูปที่ 2-8

- Man หมายถึง การตรวจสอบผู้ปฏิบัติงานตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ มีความรับผิดชอบ มีทักษะความชำนาญและผู้ปฏิบัติได้รับมอบงานที่ตรงความสามารถหรือไม่
- Machine หมายถึง การตรวจสอบอุปกรณ์อำนวยความสะดวกสอดคล้องกับความสามารถของขบวนการผลิตหรือไม่ เครื่องจักรขัดข้องบ่อยหรือไม่
- Material หมายถึง การตรวจสอบข้อผิดพลาดในเรื่องคุณภาพเพียงพอหรือไม่
- Method หมายถึง การตรวจสอบว่ามาตรฐานในการทำงานมีเพียงพอหรือไม่ ปลอดภัยหรือไม่ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพหรือไม่
- E - Environment หมายถึง อากาศ สถานที่ความสว่างและบรรยากาศการทำงาน



รูปที่ 2-8 ตัวอย่างการเขียนแผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagram)

3. ตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษากับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ต่างๆ ที่ได้จากการระดมความคิดโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลหรือแผนภูมิแก๊งปลา โดยจะวิเคราะห์ถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ ที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆ ที่พิจารณาโดยใช้ ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมระดมความคิด ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนี้ จะได้จากแผนภูมิพาเรโต ซึ่งเรียงปัจจัยตามลำดับผล กระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณา ทำให้สามารถที่จะพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆ มาทำการแก้ไขก่อนหรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิตได้ โดยวิธีการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล มีดังนี้

3.1 ระบุตัวแปรตอบสนองที่สนใจในการศึกษา ซึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญต่อความพึงพอใจของ ลูกค้าหรือกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์ให้ความสำคัญ

3.2 ทำการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรตอบสนองที่ได้แจกแจงนี้โดยในการให้คะแนน โดยทั่วไปมักจะใช้สเกล 1 ถึง 10 ซึ่งตัวเลขที่มีค่ามากจะแสดงถึงตัวแปรตอบสนองที่มีความสำคัญมากที่สุด

3.3 ให้คะแนนลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆ ซึ่งการให้คะแนนนี้ขึ้นกับความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของกลุ่มผู้ทำการวิเคราะห์ โดยเกณฑ์การให้คะแนนของความสัมพันธ์มี ดังต่อไปนี้

0 คะแนน คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง

1-3 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อย

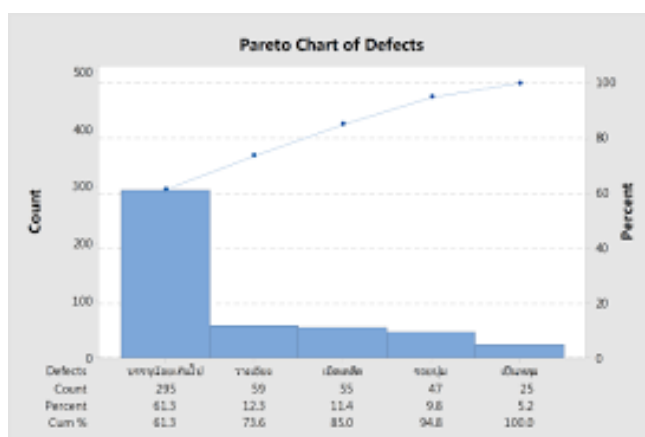
4-6 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง

7-9 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก

3.4 รวบรวมคะแนนและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

4. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

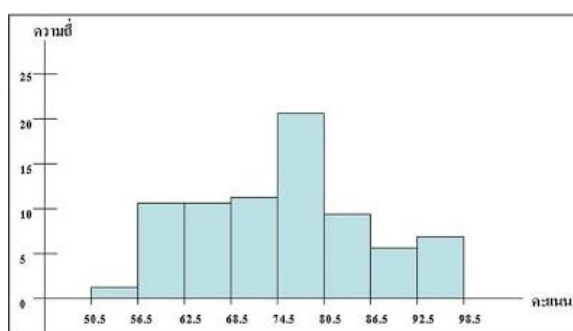
เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้แสดงรายละเอียดของสิ่งที่เราสนใจในรูปแบบของกราฟผสมระหว่างกราฟแท่งกับกราฟเส้น โดยเรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อตามลำดับความถี่มากที่สุดไปหาที่ น้อยกว่า ตามหลักของกฎ 80:20 หรือ กฎของเพเลโต ที่ว่าสาเหตุหลัก 20% ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ 80% ซึ่งหัวข้อเหล่านี้จะนำไปสู่การแก้ไขปัญหา หรือวางแผนการดำเนินงานต่อไป ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ตัวอย่างการเขียนแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

5. ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม (Histogram) คือ กราฟแท่งแบบเฉพาะที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเป็นหมวด หมู่ที่เรียกว่าชั้นข้อมูลกับความถี่ของข้อมูล เพื่อดูการกระจายของข้อมูล ลักษณะของข้อมูลที่ เป็นหมวด หมู่จะเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก โดยจำนวนหมวดหมู่ของข้อมูลจะจัดตามความ เหมาะสม โดยแกน ตั้งจะเป็นตัวเลขแสดงความถี่ และแกนนอนจะเป็นข้อมูลคุณสมบัติของสิ่งที่เรา สนใจ แท่งกราฟแต่ละแท่ง จะมีความกว้างเท่ากันซึ่งเท่ากับกว้างของชั้นข้อมูล ส่วนความสูงของกราฟ แต่ละแท่งนั้นจะสูงเท่ากับจำนวนความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูล ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการเขียนฮิสโตแกรม (Histogram)

6. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

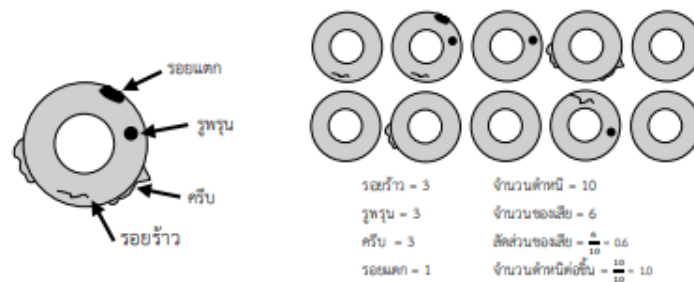
แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินว่าค่าตัวแปรที่สนใจในกระบวนการมีความ เสถียรหรือไม่ ก่อนการปรับปรุงงานทีมงานอาจประเมินว่ากระบวนการมีความเสถียรหรือไม่ก่อน หาก มีความเสถียรให้พิจารณาปรับปรุงค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ค่าความผันแปรของกระบวนการ หรือค่า สัดส่วนของเสียจากกระบวนการนั้นให้อยู่ในระดับที่ดีขึ้น หากกระบวนการยังไม่เสถียร นอกจากจะ ปรับปรุงงานแล้ว ทีมงาน จะต้องกำหนดวิธีการควบคุมกระบวนการเพื่อให้กระบวนการมีความเสถียร เกิดขึ้นด้วย แผนภูมิควบคุมแบ่งตามชนิดของข้อมูลที่ควบคุม ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

6.1 แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Control Chart)

แผนภูมิในกลุ่มนี้ใช้กับข้อมูลที่เป็นจำนวนนับ เช่น แผนภูมิในการติดตามดูว่าจำนวนของ เสียหรือ จำนวนข้อบกพร่องของงานที่ผลิตจากกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ เนื่องจาก ข้อมูลที่เก็บเป็นค่าจำนวนเต็มที่มาจากการนับ เช่น จำนวนของเสียที่พบ จำนวนข้อบกพร่องที่พบ

บนของเสีย จึงเรียกแผนภูมิ ประเภทนี้ว่า แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Control Chart) ในที่นี้ขออธิบายความหมายของคำว่า ของเสียและข้อบกพร่อง ดังนี้

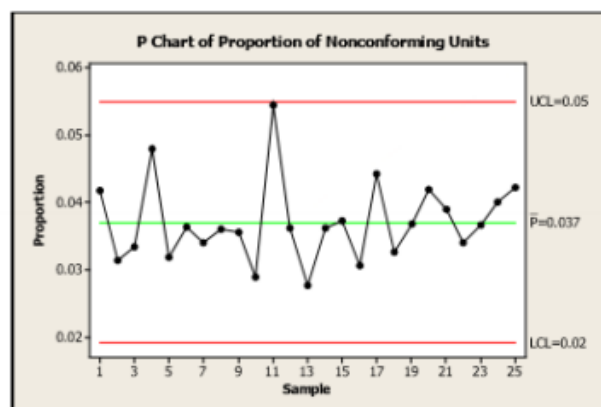
- ข้อบกพร่อง (Defect, Nonconformity) คือสภาพชิ้นงานที่มีลักษณะคุณภาพไม่ เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เช่น รอยแยก รอยแตก รู ครีบ ที่ปรากฏบนชิ้นงานหล่อ
- ของเสีย (Defective, Nonconforming Unit) คือ ชิ้นงานที่มีข้อบกพร่อง



รูปที่ 2-11 ตัวอย่างข้อบกพร่องและของเสียในกระบวนการหล่อ

จากรูปที่ 2-11 แสดงตัวอย่างชิ้นงานหล่อที่มีข้อบกพร่องข้อบกพร่องในกระบวนการหล่อนี้มี 4 ประเภท คือ รอยร้าว (Crack) รอยแตก (Gate breakout) รูพรุน (Hole) และครีบ (Flash)

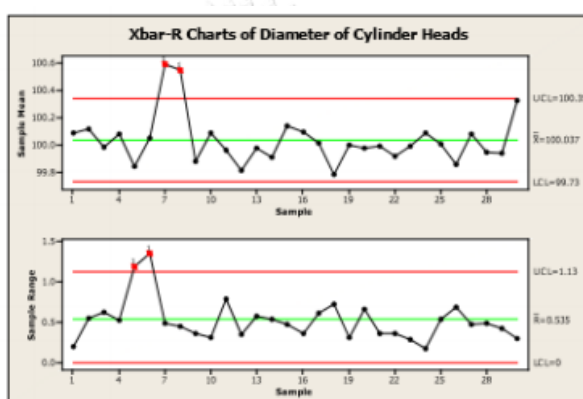
แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับที่เป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (แผนภูมิ np) แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (แผนภูมิ p) แผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่อง (แผนภูมิ C) และแผนภูมิควบคุมจำนวนข้อบกพร่องต่อหน่วย (แผนภูมิ u) เช่น รูปที่ 2-12 แสดงตัวอย่างของแผนภูมิควบคุม p



รูปที่ 2-12 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม P

6.2 แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Variable Control Chart)

แผนภูมิควบคุมชนิดนี้ใช้กับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นค่าต่อเนื่องหรือเป็นค่าที่วัดมา เช่น ความยาวของ ชิ้นงาน น้ำหนักของชิ้นงาน เป็นต้น แผนภูมิประเภทนี้ที่นิยมใช้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุม \bar{x} - R แผนภูมิควบคุม \bar{x} - S และแผนภูมิควบคุม \bar{x} - MR เป็นต้น แผนภูมิควบคุม \bar{x} - R แผนภูมิควบคุม \bar{x} - S ใช้ในกรณีที่กระบวนการมีอัตราผลิตสูง สามารถสุ่มตัวอย่างได้ครั้งละมากกว่าหนึ่งชิ้นงาน แผนภูมิควบคุม \bar{x} - MR ใช้ในกรณีที่กระบวนการมีอัตราผลิตต่ำ หรือกระบวนการผลิตสารเคมีที่มีความเป็นเนื้อเดียว จึงทำการสุ่มเพียงหนึ่งค่าในแต่ละครั้งของการสุ่ม ดังรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม \bar{x} - R

2.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase: A)

ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าที่มีนัยสำคัญต่อปัญหา ก่อนหน้านั้นต้องเริ่มจากการระดมสมองหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา หากจำนวนของสาเหตุที่เป็นไปได้มีมาก จะต้องมีการกรองจำนวนสาเหตุ หรือปัจจัยลงก่อนที่จะนำไปทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าสาเหตุหรือปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อปัญหา จะได้นำไปสู่การปรับปรุงที่ตรงจุดในขั้นตอนการปรับปรุงต่อไป โดยในการพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อปัญหา อาจต้องมีการออกแบบการทดลอง เก็บผลการทดลอง และนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญหรือเป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหา

2.3.3.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา จำเป็นต้องใช้หลักการทดสอบสมมติฐาน ในการพิสูจน์ว่า ปัจจัยใดมีความสำคัญทางนัยสำคัญ ซึ่งเป็นสมมติฐานที่กำหนดจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมมติฐาน

การวิจัย เพื่อนำไปทดสอบยืนยันสมมติฐานการวิจัยจากข้อมูลที่เก็บมาจากกลุ่มตัวอย่างด้วย วิธีการทางสถิติ มักนิยมเขียนในรูปแบบของโครงสร้างสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

สมมติฐานฐานหลัก (Null Hypothesis) เขียนสัญลักษณ์ด้วย (H_0) เป็นความเชื่อเบื้องต้นว่า สิ่งที่คุณทดลองสนใจหาคำตอบ ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงหรือหากไม่มีเหตุผลหรือหลักฐานเพียงพอจะยอม รับสมมติฐานหลักไว้ก่อน

สมมติฐานรองหรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) เขียนสัญลักษณ์ด้วย (H_a หรือ H_1) เป็นทางเลือกที่จะเป็นไปได้หากสมมติฐานหลักถูกปฏิเสธ ดังนั้นทางเลือกจึงอาจจะมีมากกว่าหนึ่ง ทาง แล้วแต่ผู้ทดลองจะตัดสินใจ แต่จะขึ้นอยู่กับสมมติฐานหลักด้วย และการตั้งสมมติฐานมีประโยชน์ ดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานช่วยให้ผู้วิจัยมองเห็นปัญหาการวิจัยชัดเจนยิ่งขึ้น เช่น ทำให้มองเห็นว่า ปัญหา นี้มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับตัวแปรใดบ้าง และเป็นปัญหาลักษณะใด เป็นต้น
2. สมมติฐานช่วยจำกัดขอบเขตของการวิจัย ทำให้ผู้วิจัยทราบแนวทางที่กำลังวิจัย ทำให้การวิจัยมีจุดมุ่งหมายที่แน่นอน คือผู้วิจัยจะทำการวิจัยเฉพาะสมมติฐานที่กำหนดไว้เท่านั้น
3. สมมติฐานช่วยให้มองเห็นภาพของข้อมูลต่างๆ และความสัมพันธ์ของข้อมูลที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานนั้น
4. สมมติฐานช่วยชี้แนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูลว่า ควรจะเก็บรวบรวมข้อมูลในเรื่องอะไร และจะเก็บในลักษณะใด พร้อมทั้งช่วยวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องและมีคุณภาพ
5. สมมติฐานอาจสามารถบอกให้ทราบถึงการวางแผนรูปแบบของการวิจัยหรือวิธีแก้ปัญหา
6. สมมติฐานช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจตัวแปรที่ศึกษา เพราะการกำหนดสมมติฐาน เป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ
7. สมมติฐานช่วยชี้แนวทางในการแปลผล และสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล หรือเป็น เครื่องมือในการกำหนดโครงร่างหรือแผนงาน (Framework) ในการสรุปผลให้แก่ผู้วิจัยนั่นเอง ทั้งนี้ เพราะในการแปลผลการวิจัยนั้น จะยึดสมมติฐานเป็นหลัก โดยพิจารณาว่าผลที่ได้นั้นมีความสอดคล้อง หรือขัดแย้งกับสมมติฐานที่กำหนดไว้เพียงใด ซึ่งจะทำให้การแปลผลและสรุปผลง่ายขึ้น

2.3.3.2 การออกแบบการทดลอง (Design of experiment)

การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ได้มีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Output Response) (ปารเมศ ชูติมา, 2545) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ โดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยป้อนเข้า (Input) อันประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆ ผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output)

1.1 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ จำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับและจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่ต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

4. เลือกแบบทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) การตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูล ที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model adequacy checking) หากค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย

7. สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงานควรจะได้รับรู้

1.2 หลักการพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การสุ่มลำดับของการทดลอง ซึ่งเป็นการกระจายโอกาสที่จะได้รับความผันแปรจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้

2. การทำซ้ำ (Replication) คือ ในการทดลองแต่ละครั้งอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น จึงต้องมีการทำซ้ำ เพื่อประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองและเพื่อความถูกต้องและแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูล

3. การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มการทดลอง เพื่อลดปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้และเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง เช่น ผู้ทดลองไม่สามารถทำการทดลองแต่ละสภาวะในวันเดียวกันได้

1.3 การทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

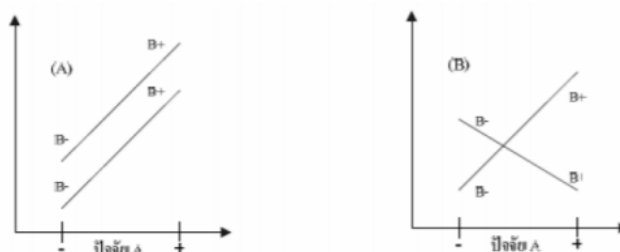
การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) เป็นการทดลองที่สนใจศึกษาถึงอิทธิพลของหลายๆปัจจัยพร้อมๆกัน โดยแต่ละปัจจัย อาจมีหลายระดับ การจัดสิ่งทดลอง (Treatment) แบบนี้จะพิจารณาที่การจัดหมู่ของระดับต่างๆ ของปัจจัยดังกล่าวที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้น การทดลองแบบแฟคทอเรียลจะมีประโยชน์ในการวิจัยที่ยังไม่ทราบเกี่ยวกับระดับที่เหมาะสมหรือระดับที่มีความสำคัญของปัจจัยต่างๆ การทดลองนี้ช่วยหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยอื่นๆ ที่ระดับต่างกันได้อีกด้วย (สายชล สิ้นสมบุรณ์ทอง, 2546) นอกจากนี้ยังได้อธิบายความหมายของเทอมที่สำคัญในแฟคทอเรียล (Factorial) ดังนี้

1. อิทธิพลหลัก (Main effect) หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา

2. ปฏิกริยาสัมพันธ์หรืออิทธิพลร่วม (Interaction) หมายถึง การแสดงออกของระดับต่างๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากัน เมื่อเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

3. อิทธิพลของแฟคทอเรียล (Factorial effect) หมายถึง อิทธิพลต่างๆ ทั้งอิทธิพลหลัก และ ปฏิกริยาทั้งหมดในการทดลอง

เนื่องจากการทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยอย่างน้อย 2 ปัจจัย ในคราวเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) มักจะพิจารณาอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองเป็นอันดับแรก ก่อนที่จะพิจารณาอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของแต่ละปัจจัยข้างต้น นั่นคือ หากไม่เกิดปฏิสัมพันธ์กันจึงพิจารณา อิทธิพลหลักของปัจจัยแต่ละปัจจัย แต่หากเกิดปฏิสัมพันธ์กันแล้วจะพิจารณาอิทธิพลของระดับต่างๆ ณ อีกระดับของปัจจัยหนึ่งๆ ได้หรือที่ เรียกว่า อิทธิพลหลักอย่างง่าย (Simple Main Effect) ดังรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 ตัวอย่างการแสดงผลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล

1.3.1 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Experiment)

คือ วิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อดัชนีแปรตอบสนองทุกกรณี รูปแบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบที่สำคัญ ประกอบไปด้วย

1. 2^k แฟคทอเรียล (2-Level Full factorial design) ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟคทอเรียล ซึ่งประกอบด้วย $k = 2$ ปัจจัยและปัจจัยละ 2 ระดับ โดยจะมีการใช้รหัส (Coded) เป็นการปรับเปลี่ยนหน่วยสเกลของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ เพราะ

หากใส่ค่าจริงแล้ว จะเสียเวลาและยุ่งยากในการเขียน โดยเฉพาะ Interaction อย่างมาก โดยกำหนดให้ -1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น Low และ ให้ 1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น High

2. 3^k แฟคทอเรียล (3-Level Full factorial design) ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้เพียง 3 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

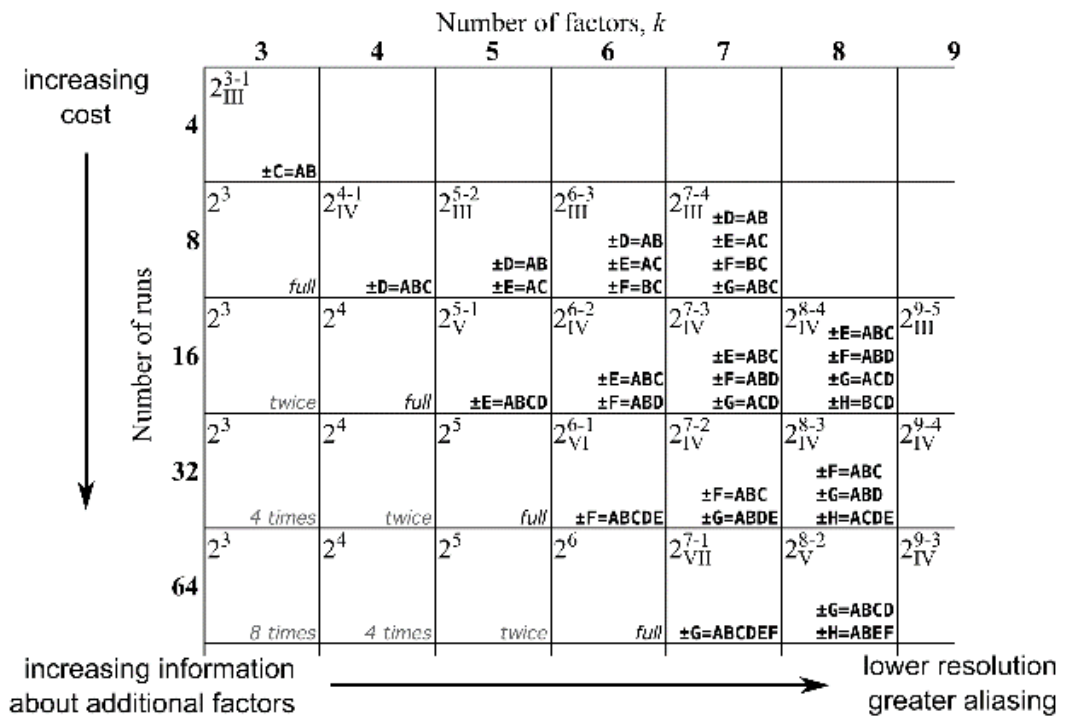
1.3.2 การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment)

คือ การทดลองที่ทำโดยการลดรูปลงจากการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ ในสัดส่วนของจำนวนการระดับปัจจัย ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ (p) ซึ่งผู้ทำการทดลองไม่ต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย เพราะจะมีจำนวนการทดลองมากจนเกินไปจนไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดบางประการ และในแง่ความแม่นยำของผลการทดลองก็จะไม่เท่ากับการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบในเชิงทฤษฎี เนื่องจากมีความสามารถในการแยกแยะผลกระทบที่มีบางปัจจัยที่แยกแยะกันไม่ออก แต่ในทางปฏิบัติถึงจะสามารถดำเนินการทดลองด้วยวิธีการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบอาจจะได้ผลที่แย่กว่าการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วนก็ได้ เนื่องจากยังมีจำนวนปัจจัยมาก ก็ยิ่งควบคุมการทดลองได้ยาก ความผิดพลาดก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน ประกอบไปด้วย

1. $1/2$ แฟคทอเรียลบางส่วน (One-Half fractional factorial) เมื่อ $p = 1$ การออกแบบประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยจำนวน 2^{k-1} เช่น การออกแบบการทดลอง 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะได้จำนวนการออกแบบการทดลองบางส่วนที่จะต้องทำการทดลอง $2^3 = 8$ การทดลอง แต่หากทดลองครั้งหนึ่งจะลดลงเหลือเพียง $2^{3-1} = 4$ การทดลอง

2. $1/4$ แฟคทอเรียลบางส่วน (One-Fourth fractional factorial) เมื่อ $p = 2$ การออกแบบประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยจำนวน 2^{k-2} เช่น การออกแบบการทดลอง 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะได้จำนวนการออกแบบการทดลองบางส่วนที่จะต้องทำการทดลอง $2^3 = 8$ การทดลอง แต่หากทดลองเหลือ 1 ใน 4 จะลดลงเหลือเพียง $2^{3-2} = 2$ การทดลอง

3. $1/8$ แฟคทอเรียลบางส่วน ($1/8$ th fractional factorial) เมื่อ $p = 3$ การออกแบบประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยจำนวน 2^{k-3} เช่น การออกแบบการทดลอง 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะได้จำนวนการออกแบบการทดลองบางส่วนที่จะต้องทำการทดลอง $2^3 = 8$ การทดลอง แต่หากทดลองเหลือ 1 ใน 8 จะลดลงเหลือเพียง $2^{3-3} = 1$ การทดลอง



รูปที่ 2-15 จำนวนการทดลองของการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบและบางส่วน

จากรูปที่ 2-15 แสดงจำนวนการทดลองตามจำนวนปัจจัยที่ศึกษา รวมถึงระดับความละเอียดในผลลัพธ์ จะเห็นได้ว่ายิ่งมีจำนวนการทดลองมาก ส่งผลให้มีต้นทุนในการทดลองสูง สำหรับกรณีการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน หากมีการกำหนดตัวแปรอิสระ (p) มาก จะทำให้เกิดการบดบังระหว่างอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมสูงตาม ส่งผลให้ระดับความละเอียดในผลลัพธ์ต่ำ



1.3.3 มิติการออกแบบการทดลอง (Resolution : R)

คือ ระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ หาได้จากความยาวของคู่แฝดแฝง (Alias) ที่สั้นที่สุด หมายความว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากแค่ไหน ซึ่งมีมิติการออกแบบการทดลองมากกว่า ย่อมให้ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์มากกว่า นั่นเพราะได้เฉพาะอิทธิพลร่วม (Interaction) ระดับสูงๆ แทนอิทธิพลหลัก (Main effect) ในการออกแบบ ทำให้โอกาสที่การปนที่ไม่สามารถแยกแยะได้ (Confound) ที่พบในการวิเคราะห์มีโอกาสเป็นของอิทธิพลหลัก มากกว่าอิทธิพลร่วม การเลือกระดับมิติการออกแบบการทดลองต่ำ หมายความว่าผู้ทดลองใช้ค่า p มากและเข้าใกล้ปัจจัย k มาก ทำให้ลดจำนวนการทดลองลงและต้องใช้อิทธิพลร่วมระดับต่ำในการแทนอิทธิพลหลักบางตัว ดังรูปที่ 2-16

R_{III} เป็นระดับที่ต่ำที่สุดที่ผู้ออกแบบการทดลองจะเลือกใช้ ซึ่งการออกแบบเหล่านี้จะไม่มีอิทธิพลหลักใดๆเป็นคู่แฝดแฝงกับอิทธิพลหลักอื่นๆ แต่อิทธิพลหลักอาจจะเป็นคู่แฝดแฝงกับอิทธิพลร่วมสองปัจจัย(2-Way Interaction) และอิทธิพลร่วมสองปัจจัยอาจจะเป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกันได้ โดย R_{III} เหมาะสำหรับการเริ่มต้นคัดกรองปัจจัย (Screening) กรณีที่มีจำนวนปัจจัยมาก ไม่ควรนำตัวแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ทันทีจะต้องมีการคัดกรองเอาอิทธิพลหลักที่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติบางตัวออก และควรมีการออกแบบการทดลองอีกรอบ ที่มีมิติการออกแบบการทดลองมากกว่า R_{III}

R_{IV} เป็นระดับที่ปานกลางที่ผู้ออกแบบการทดลองควรเลือกใช้ ซึ่งการออกแบบเหล่านี้จะไม่มีอิทธิพลหลักใดๆเป็นคู่แฝดแฝงกับอิทธิพลหลักอื่นๆ หรืออิทธิพลร่วมสอง(2-Way Interaction) ปัจจัยอื่นๆ แต่อิทธิพลร่วมสองปัจจัยอาจจะเป็นคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกันได้ โดย R_{IV} สามารถนำตัวแบบที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการพยากรณ์ หรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการตามผลการวิเคราะห์ได้

R_V เป็นระดับที่ดีที่สุดที่ผู้ออกแบบการทดลองควรเลือกใช้ ซึ่งการออกแบบเหล่านี้จะไม่มีอิทธิพลหลักใดๆเป็นคู่แฝดแฝงกับอิทธิพลหลักอื่นๆ หรืออิทธิพลร่วมสองปัจจัยอื่นๆ แต่อิทธิพลร่วมสองปัจจัยอาจจะเป็นคู่แฝดแฝงกับอิทธิพลร่วมสามปัจจัย (3-Way Interaction) ได้ โดย R_V ต้องใช้ทรัพยากรจำนวนมากกวาระดับอื่นๆ ทั้งนี้เพราะจะมีจำนวนการทดลองมากนั่นเอง

	Factors														
Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
4	Full	III													
8		Full	IV	III	III	III									
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III	
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV	

รูปที่ 2-16 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนปัจจัย จำนวนการทดลอง และค่า resolution

จากรูปที่ 2-16 อธิบายถึงจำนวนการทดลองที่ผู้ศึกษาสนใจระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยควรเลือกจำนวนการทดลองที่ให้มีมิติการออกแบบการทดลองที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถสรุปตัวอย่างความสัมพันธ์ของโครงสร้างแฝง (Alias Structure) ระหว่างจำนวนปัจจัยที่ศึกษาและจำนวนการทดลอง ได้ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ตารางสรุปตัวอย่างความสัมพันธ์ของโครงสร้างแฝง (Alias Structure)

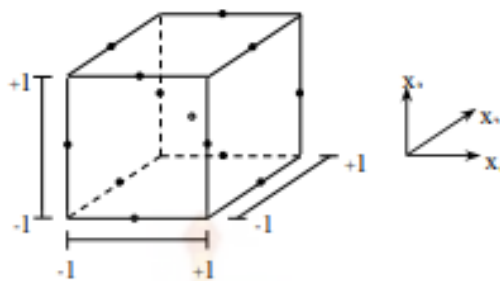
Number of Factors (k)	Design Specification	Number of Runs (N)
3	2_{III}^{3-1}	4
4	2_{IV}^{4-1}	8
5	2_{V}^{5-1}	16
5	2_{III}^{5-2}	8
6	2_{IV}^{6-1}	32
6	2_{IV}^{6-2}	16
6	2_{III}^{6-3}	8
7	2_{VII}^{7-1}	64
7	2_{IV}^{7-2}	32
7	2_{IV}^{7-3}	16
7	2_{III}^{7-4}	8
8	2_{VIII}^{8-1}	128
8	2_{V}^{8-2}	64
8	2_{IV}^{8-3}	32
8	2_{IV}^{8-4}	16
9	2_{VI}^{9-2}	128
9	2_{IV}^{9-3}	64
9	2_{IV}^{9-4}	32
9	2_{III}^{9-5}	16
10	2_{V}^{10-3}	128
10	2_{IV}^{10-4}	64
10	2_{IV}^{10-5}	32
10	2_{III}^{10-6}	16
11	2_{V}^{11-4}	128
11	2_{IV}^{11-5}	64
11	2_{IV}^{11-6}	32
11	2_{III}^{11-7}	16
15	2_{III}^{15-11}	16

1.4 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

วิธีการออกแบบส่วนผสมกลาง จำเป็นต้องใช้การทดลองที่ระดับ 5 ปัจจัย คือ $-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$ หลักการพื้นฐานของการออกแบบส่วนประสมกลางเป็นการขยายการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k ที่ประกอบด้วย $2k$ และเพิ่มจำนวนการทดลองที่จุดศูนย์กลาง (Center Runs) กับแนวแกน (Axial Point) ที่เรียกว่าแนวรูปดาว (Star Runs) โดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางนี้ สามารถแยกการจำนวนการทดลองออกเป็น ส่วน ๆ ตามลำดับ คือ Factorial Design โดยสามารถพิจารณาจากตาราง Available Factorial Design และ Axial point สามารถคำนวณจาก $2k$ กล่าวคือ เป็น 2 เท่าของปัจจัย และ Center point สามารถคำนวณจากส่วนที่เหลือจาก Factorial Design และ axial point

1.5 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

วิธีการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จำเป็นต้องใช้การทดลองที่ระดับ 3 ปัจจัย คือ -1 , 0 , $+1$ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ การออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย เนื่องจากเป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี 2 และไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ ซึ่งมีประโยชน์มากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์เป็นการรวมเอาปัจจัยระดับ (Factor-Level Combination) ที่เป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลองอันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ ดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 รูปแบบการออกแบบด้วยวิธีการบ็อกซ์-เบห์นเคน

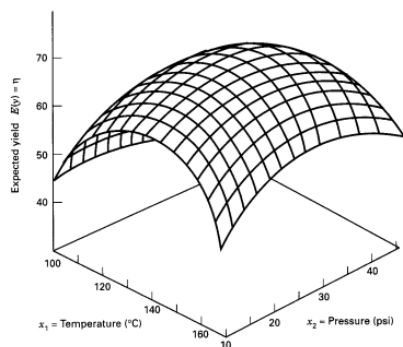
2.3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase: I)

ในขั้นตอนนี้หลังจากทราบว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญหรือเป็นสาเหตุรากเหง้าของปัญหาแล้ว ก็จะทำ การปรับปรุงแก้ไขสาเหตุนั้น หากเป็นสาเหตุหรือปัจจัยที่เป็นค่าปรับตั้งเครื่องจักร ก็จะทำ การ

ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองเพิ่มเติมด้วยแบบการทดลองที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อ ตัดสินใจว่าจะตั้งค่าปรับตั้งของพารามิเตอร์บนเครื่องจักรที่มีนัยสำคัญต่อปัญหานั้นไว้ที่ค่าใดที่จะให้ผลที่ดีที่สุด หากเป็นปัจจัยที่ปรับปรุงได้โดยการจัดการก็จะกำหนดทางเลือกในการปรับปรุง และวิเคราะห์เปรียบเทียบแต่ละทางเลือกตามเกณฑ์พิจารณาต่าง ๆ และเลือกทางเลือกที่เหมาะสมในการนำไปใช้ปรับปรุง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันว่าวิธีการปรับปรุงที่ได้เลือกใช้ให้ผลการปรับปรุงที่ดีขึ้นจริงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ หรือไม่ หากได้ผลตามเป้าหมาย ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงต่อไป หากไม่ได้ผลตามเป้าหมายก็จะต้องทำการปรับปรุงด้วยวิธีการอื่นๆเพิ่มเติมจากที่ได้ทำไปแล้ว เพื่อให้ได้ผลการปรับปรุงที่ดี ขึ้นตรงตามเป้าหมายต่อไป

2.3.4.1 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)

วิธีพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology, RSM) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์และ สถิติที่เป็นประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปร ต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลนั้น (Montgomery, 2001) ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจที่สุด จากการใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวที่สร้างขึ้นมานี้ จะสามารถประมาณค่าได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง โดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง ได้ใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองและแสดงด้วยภาพให้เห็นการพึ่งพาของการตอบสนอง (ผลที่ได้) กับปัจจัยต่างๆ ช่วยให้ผู้ทดลองสามารถทำความเข้าใจกระบวนการได้ลึกซึ้งและระบุบริเวณที่สภาวะของกระบวนการเป็นไปตามเป้าหมายหนึ่งๆ หรือมากกว่า เช่น การเพิ่มขึ้นของผลที่ได้หรือการปรับให้เหมาะสมกับต้นทุน ดังรูปที่ 2-18



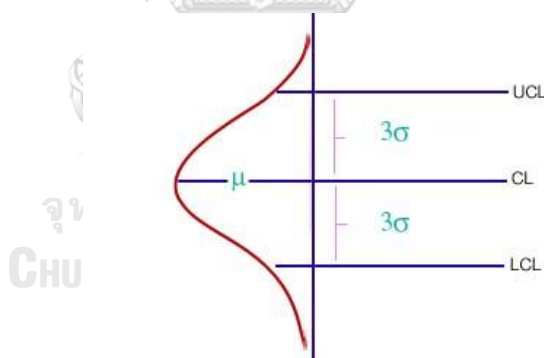
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างพื้นผิวตอบสนองสามมิติ

2.3.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase: C)

หลังจากที่ได้วิธีการปรับปรุงที่ได้ผลตามเป้าหมายแล้ว ผู้ดำเนินโครงการจะต้องจัดทำมาตรฐานวิธีการ ปฏิบัติงานให้เป็นไปตามวิธีการที่ได้ปรับปรุงขึ้นมา รวมทั้งจัดทำแผนควบคุมกระบวนการให้เหมาะสม โดยระบุถึงสิ่งที่จะต้องควบคุม เครื่องมือ และวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้นหลังจากการปรับปรุงนั้นจะอยู่อย่างยั่งยืนต่อไป ซึ่งในกระบวนการทำงานปกติ จะมีปัจจัยนำเข้า (Input) เช่น คน สิ่งของ ข้อมูล ผ่านกระบวนการจัดการและได้ผลลัพธ์ออกมา ซึ่งในผลลัพธ์ ดังกล่าว มีโอกาสเกิดความผันแปร 2 ลักษณะคือ

1. ความผันแปรของข้อมูลที่เกิดจากความบังเอิญตามธรรมชาติ (Common cause variation) เกิดจากสาเหตุตามธรรมชาติ เป็นปกติวิสัยและเกิดขึ้นสม่ำเสมอกับทุกผลผลิตของกระบวนการ

2. ความผันแปรของข้อมูลที่ไม่น่าจะเกิดจากความบังเอิญตามธรรมชาติ (Special cause variation) คือ เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวและอยู่นอกเหนือการควบคุมจากกระบวนการปกติ โดยจะแสดงลักษณะจุดที่เกิดขึ้นที่บ่งบอกถึงการเกิด Special cause variation ในกระบวนการ



รูปที่ 2-19 ความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ

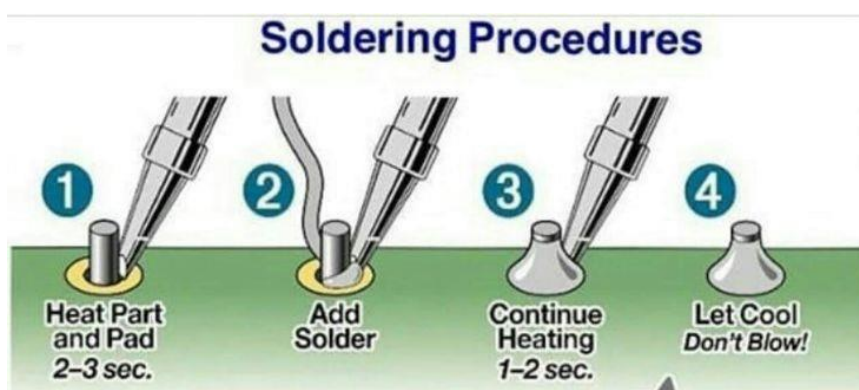
จากรูปที่ 2-19 แสดงถึง เส้นพิกัดด้านบน (Upper Control Limit : UCL) กำหนดที่ค่า + 3 sigma เส้นพิกัดด้านล่าง (Lower Control Limit : LCL) กำหนดที่ค่า - 3 sigma และเส้นกลาง (Center Line : CL) หรือค่าเฉลี่ย (Mean) ของชุดข้อมูลนั้นๆ ดังนั้น จึงสามารถใช้แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ฝ้าติดตามค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมคุณภาพนั้น ทำให้เห็นโอกาสปรับปรุงงานได้อย่างเหมาะสมและตรงประเด็นยิ่งขึ้น เพราะ ค่าสถิติจะแสดงการเปลี่ยนแปลงที่บ่งชี้ว่า เกิดจากความผันแปรที่เป็นธรรมชาติ (Common cause) ที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือเกิดจากความผัน

แปรที่ไม่เป็นธรรมชาติ (Special cause) ที่สามารถควบคุมได้และในที่สุดต้องทำการสืบค้นหาสาเหตุ และปัจจัยที่มีผลให้เกิด Special cause

2.4 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการบัดกรี (Soldering process)

การบัดกรี หมายถึง การเชื่อมต่อโลหะที่ต้องการเข้าด้วยกัน โดยใช้ตะกั่วบัดกรี ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกและตะกั่ว เป็นตัวเชื่อมประสาน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า ยึด ติดอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีความมั่นคงแข็งแรง และสามารถถอดถอน อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกันในภายหลังได้ ดังรูปที่ 2-20 โดยมีขั้นตอนการบัดกรี ดังนี้

1. เสียบปลั๊กหัวแร้ง ในขณะที่รอให้หัวแร้งร้อน จะต้องเตรียมผิวของชิ้นงานที่จะบัดกรีให้มีความสะอาด โดยการขัดน้ำยา
2. เมื่อทำความสะอาดจุดบัดกรีแล้ว ทำการทดสอบว่าหัวแร้งร้อนหรือไม่ โดยเอาตะกั่วลองมาแตะดูที่ปลายหัวแร้ง ถ้าละลายแปลว่าสามารถใช้งานได้แล้ว
3. เมื่อหัวแร้งร้อนได้ที่แล้ว การบัดกรีที่ถูกต้อง คือ ต้องนำปลายหัวแร้งไปป้อนความร้อนให้กับชิ้นงาน จะต้องป้อนบริเวณที่เป็นจุดบัดกรีและขาอุปกรณ์พร้อม ๆ กัน แล้วจึงป้อนตะกั่วและการป้อนตะกั่วที่ถูกต้อง จำเป็นต้องป้อนที่บริเวณชิ้นงานไม่ใช่ป้อนที่หัวแร้ง
4. ในขั้นตอนสุดท้ายของการบัดกรี ควรล้างแผ่นวงจร เพราะหลังจากการบัดกรีจะเกิดคราบสกปรกจากตะกั่ว ทำให้มองเห็นรอยบัดกรีได้ไม่ชัดเจน รอยบัดกรีอาจจะเป็นตามดหรืออาจบัดกรีไม่ติด ดังนั้นเพื่อให้การบัดกรีมีคุณภาพและดูเป็นงานสวยงามควรล้างจุดบัดกรีทุกครั้ง



รูปที่ 2-20 ขั้นตอนกระบวนการบัดกรี (Soldering process)

โดยการบัดกรีให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ มีคำแนะนำในการบัดกรี ดังนี้

1. จะต้องตรวจสอบการวางอุปกรณ์ให้ถูกต้องก่อนบัดกรีทุกครั้ง พึงระลึกเสมอว่าการถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จากแผ่นวงจรพิมพ์ทำได้ยากและเสี่ยงต่อความเสียหายสูง กว่าการบัดกรีหลายเท่า

2. การบัดกรีควรบัดกรีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ตามลำดับความสูง จะต้องบัดกรีชิ้นส่วนที่เตี้ยติดกับแผ่นวงจรพิมพ์ เช่น ตัวต้านทานให้เสร็จก่อนที่จะบัดกรีอุปกรณ์ตัวที่สูงกว่า เช่น ตัวเก็บประจุ หรือทรานซิสเตอร์

3. บริเวณบัดกรีและปลายหัวแร้งต้องสะอาด สิ่งสกปรกจะป้องกันไม่ให้ความร้อนจากปลายหัวแร้งกระจายไปสู่ผิวโลหะและทำให้ตะกั่วไม่สามารถหลอมเหลวแทรกตัวบริเวณรอยต่อได้

4. การวางปลายหัวแร้งจะต้องสัมผัสผิวโลหะมากที่สุด เพื่อความร้อนจะสามารถกระจายไปทั่วบริเวณบัดกรีและขาของอุปกรณ์ความร้อนที่ให้ออกเหมาะสมกับขนาดของจุดบัดกรีและใช้เวลาให้เหมาะสมกล่าวคือ มากพอที่ตะกั่วเหลวเคลือบบริเวณบัดกรีทั้งหมด แต่ต้องไม่มากจนกระทั่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เสียหาย

5. รอยบัดกรีต้องสนิทแนบกับผิวทองแดงในลักษณะโค้งเข้าหารอยบัดกรีไม่เป็นก้อนกลมไม่มีช่องว่างใด ๆ ระหว่างผิวสัมผัส ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากความชื้นและปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ

6. ตะกั่วที่ใช้ต้องมีปริมาณพอสมควรไม่มากจนล้นวงจรถึงบริเวณใกล้เคียง หรือน้อยเกินไปจนจุดบัดกรีไม่แข็งแรง

7. พึงระลึกเสมอว่าการบัดกรีติดแข็งแรงไม่ได้แสดงว่าเป็นจุดบัดกรีที่ดีเสมอไป เพื่อความแน่ใจควรตรวจสอบการเชื่อมต่อ(Continuity) และความต้านทานของจุดต่อ โดยใช้มัลติมิเตอร์

8. ในการบัดกรีไอซีที่มีหลายขาไม่ควรบัดกรีขาที่อยู่ใกล้กัน ควรบัดกรีขาที่อยู่ฝั่งตรงข้ามเพื่อป้องกันการแตกร้าวภายในอุปกรณ์ เนื่องจากการขยายตัวจากความร้อน

2.5 อุปกรณ์เบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการบัดกรี (Soldering process)

2.5.1 หัวแร้ง (Soldering Iron)

หัวแร้งเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการบัดกรี มีหน้าที่ให้ความร้อนเพื่อละลายตะกั่ว หัวแร้งบัดกรีจะแบ่งตามอัตรากำลังไฟฟ้าที่หัวแร้งบัดกรีแต่ละขนาดใช้หรืออาจจะหมายถึงความถึงความร้อนเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของหัวแร้งบัดกรี นอกจากนั้นอัตรากำลังไฟฟ้าของหัวแร้งบัดกรียังแสดง

ถึงปริมาณความร้อนที่สามารถแพร่กระจายออกมาจากหัวแร้งบัดกรี การนำหัวแร้งบัดกรีมาสัมผัสยังจุดที่จุดบัดกรี จะทำให้ความร้อนจากหัวแร้งบัดกรีส่งผ่านไปยังชิ้นงานที่สัมผัสอยู่ ดังนั้น ถ้าเป็นจุดบัดกรีขนาดใหญ่ก็จำเป็นต้องใช้หัวแร้งบัดกรีที่มีอัตรากำลังไฟฟ้าสูง สำหรับการบัดกรีชิ้นงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะมีหัวแร้งให้เลือกใช้หลายชนิด ในที่นี้จะขอกกล่าวแค่ 3 ชนิด

1) หัวแร้งแช่ (Soldering iron)

หัวแร้งแช่จะมีลักษณะคล้าย ๆ ค้อนปากกามีกำลังไฟประมาณ 25-60 วัตต์ การใช้งานจะต้องเสียบแช่อยู่ตลอดเวลา หัวแร้งชนิดนี้จะให้ความร้อนที่คงที่สม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานบัดกรีครั้งละหลาย ๆ จุด เช่น การประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานได้มากขึ้นจึงได้มีการเพิ่มความสามารถของหัวแร้งแช่ให้มีความสามารถเหมือนหัวแร้งปืน โดยโครงสร้างยังเหมือนเดิมแต่จะมีปุ่มกดเพื่อเพิ่มความร้อน ซึ่งความร้อนที่ได้ทำให้สามารถบัดกรีได้ทั้งจุดเล็กและจุดใหญ่ ดังรูปที่ 2-21

ข้อดี : ใช้งานง่ายมีกำลังวัตต์ให้เลือกซื้อมาใช้งานตามความต้องการ มีอะไหล่ขายอยู่ทั่วไปทำให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง

ข้อเสีย : หากจ่ายไฟเลี้ยงหรือเสียบปลั๊กทิ้งไว้นาน ๆ อาจทำให้ปลายของหัวแร้งเสียหายได้ เมื่อจะนำไปใช้งานต้องรอให้ความร้อนถึงจุดใช้งานก่อน



รูปที่ 2-21 หัวแร้งแช่ (Soldering iron)

2) หัวแร้งปืน (Soldering gun)

หัวแร้งปืนจะมีลักษณะคล้าย ๆ ปืน ในการใช้งานจะมีสวิตช์ที่ด้ามจับ หัวแร้งชนิดนี้จะมีความร้อนได้รวดเร็วมีขนาดประมาณ 130 วัตต์ เหมาะสำหรับงานบัดกรีเป็นครั้งคราวและจุดที่ค่อนข้างใหญ่ แต่ไม่เหมาะสำหรับที่จะใช้กับอุปกรณ์ที่ไม่ทนความร้อน เช่น ขั้วล้าโฟง แจ็คเสียบต่าง ๆ เป็นต้น การทำงานของหัวแร้งปืนนั้น จะเหมือนกับหัวแร้งแช่ แตกต่างกันตรงขดลวดความร้อนภายในจะมีอยู่ 2 ขด โดยจะมีขดลวดความร้อนต่ำ และขดลวดความร้อนสูง การใช้งานขึ้นอยู่กับปุ่มเร่งความร้อนที่มีลักษณะเหมือน โกวิน ถ้าไม่มีการกดปุ่มนี้จะเป็นการใช้ขดลวดความร้อนต่ำ แต่เมื่อมี

การกดปุ่มเร่งความร้อน จะเป็นการเปลี่ยนให้ขดลวดความร้อนสูงทำงานแทน ทำให้ความร้อนสูงได้รวดเร็ว ดังรูปที่ 2-22

ข้อดี : ใช้งานสะดวก มีปุ่มเร่งความร้อนทำให้สามารถบัดกรีในจุดที่ต้องการใช้ความร้อนสูงได้

ข้อเสีย : ถ้ามีการกดปุ่มเร่งความร้อนเป็นเวลานานเกินไป จะทำให้ด้ามจับเกิดความเสียหายได้ รวมทั้งจะมีผลต่อขดลวดความร้อนด้วย

หมายเหตุ : หัวแร้งปืนในอดีตเป็นหัวแร้งที่ให้ความร้อนจากขดลวดทองแดงใช้กำลังไฟฟ้าสูงหลัก 100 วัตต์ แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมเพราะกินไฟมากประกอบกับอุปกรณ์และลายทองแดงในสมัยนี้มีขนาดเล็กกลง จึงไม่เหมาะในการนำไปใช้งานเพราะจะทำให้อุปกรณ์และลายทองแดงเสียหาย และมีราคาแพงกว่าหัวแร้งแช่ที่มีปุ่มเร่งความร้อน



รูปที่ 2-22 หัวแร้งปืน (Soldering gun)

3) หัวแร้งไร้สาย (Cordless Soldering Iron)

(1) หัวแร้งไร้สายแบบใช้แก๊ส (Cordless Butane Soldering Iron)

หัวแร้งแก๊สเป็นหัวแร้งที่เหมาะสมสำหรับงานนอกสถานที่ใช้เป็นครั้งคราว เป็นหัวแร้งที่สามารถพกพาไปใช้งานได้ทุกสถานการณ์ เพราะไม่ต้องอาศัยพลังงานจากไฟฟ้าเพื่อสร้างความร้อน แต่จะใช้แก๊สแทนไฟฟ้า โดยส่วนมากหัวแร้งแก๊สจะให้ความร้อนได้สูงสุดประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส สามารถปรับความร้อนได้ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่เราต้องการ แต่ต้องตรวจสอบก่อนใช้งานทุกครั้งเพราะหัวแร้งใช้แก๊สอาจเกิดการระเบิดได้ ดังรูปที่ 2-23

ข้อดี : มีขนาดไม่ใหญ่มาก พกพาง่ายใช้งานสะดวกทุกสถานที่ สามารถใช้งานในลักษณะอื่นที่นอกจากการบัดกรีก็ได้

ข้อเสีย : การ ใช้หัวแร้งแก๊สนี้ ต้องใช้ความระมัดระวังพิเศษ และต้องเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไป โดยเฉพาะการระบองแก๊สสำหรับบรรจุแก๊ส



รูปที่ 2-23 หัวแร้งไร้สายแบบใช้แก๊ส (Cordless Butane Soldering Iron)

(2) หัวแร้งไร้สายแบบใช้แบตเตอรี่ (Cordless Batteries Soldering Iron)

หัวแร้งที่ใช้แบตเตอรี่จะมีลักษณะคล้ายหัวแร้งแก๊ส ต่างกันตรงที่หัวแร้งที่ใช้แบตเตอรี่จะใช้ถ่าน AA 3 ก้อนซึ่งจะมีความปลอดภัยมากกว่าหัวแร้งแก๊ส ดังรูปที่ 2-24



รูปที่ 2-24 หัวแร้งไร้สายแบบใช้แบตเตอรี่ (Cordless Batteries Soldering Iron)

2.5.2 ตะกั่วบัดกรี (Solder Wire)

ตะกั่วบัดกรี คือ วัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานรอยต่อของสายไฟหรือขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันหรือต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับลายวงจรพิมพ์ ซึ่งส่วนประกอบของตะกั่วบัดกรี ประกอบด้วยดีบุก(Tin) และตะกั่ว(Lead) ซึ่งมีส่วนผสมของสารทั้งสองแตกต่างกัน ซึ่งค่าที่บอกไว้ค่าแรกมักเป็นดีบุกเสมอ เช่น 70/30 หมายถึงส่วนผสมประกอบด้วยดีบุก 70% และตะกั่ว 30% จุดหลอมละลายของตะกั่วบัดกรีนั้นขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของสารทั้งสอง ตะกั่วบัดกรีชนิดนี้ตอนกลางของเส้นตะกั่วจะมีน้ำยาประสานหรือที่เรียกว่าฟลักซ์ (Flux) บรรจุอยู่ด้วยเพื่อช่วยในการทำความสะอาดผิวหน้าของจุดบัดกรีทำให้เกาะติดชิ้นงานได้ดี และช่วยเคลือบผิวตะกั่วบัดกรีและชิ้นงานไม่ให้เกิดสนิม ดังรูปที่ 2-25



รูปที่ 2-25 ตะกั่วบัดกรี (Solder Wire)

2.5.3 ลวดซั้บตะกั่ว (Solder Wick)

ลวดซั้บตะกั่วจะใช้ลวดทองแดงเส้นเล็กๆ ถักเป็นผืนยาว ความกว้างที่มีจำหน่ายมีตั้งแต่ 1.5 ถึง 3.5 มิลลิเมตร ชนิดที่มีหน้าผืนทองแดงแคบๆ จะเหมาะกับจุดบัดกรีเล็กๆ และชนิดที่มีหน้าผืนทองแดงกว้างมากๆ จะใช้กับจุดบัดกรีที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ วิธีใช้งานทำโดยนำปลายของลวดทองแดงถักทาบลงบนจุดที่ต้องการถอนบัดกรี แล้วใช้ปลายความร้อนของหัวแร้งจี้ที่ลวดทองแดง เมื่อตะกั่วบริเวณจุดบัดกรีได้รับความร้อนก็จะละลายตัวไปเกาะที่ลวดทองแดง ดังรูปที่ 2-26



รูปที่ 2-26 ลวดซั้บตะกั่ว (Solder Wick)

2.5.4 ที่ดูดตะกั่ว (Solder sucker)

ที่ดูดตะกั่ว (Solder sucker) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ออกจากแผงวงจร ซึ่งถ้าไม่มีที่ดูดตะกั่วการบัดกรีอุปกรณ์ออกจะทำให้ยาก อาจจะทำให้ลายลายวงจรเสียหาย ที่ดูดตะกั่วนี้ทำหน้าที่ดูดตะกั่วตรงจุดที่ต้องการจะเอาอุปกรณ์ออก โดยมีลักษณะเป็นกระบอกจับถนัดมือ ภายในกระบอกดังกล่าวจะมีลูกสูบ ซึ่งมีก้านต่อจากลูกสูบออกมาทางด้านท้ายของกระบอก เมื่อลูกสูบถูกดันไปข้างหน้าจนสุดก็จะมีสลักล็อกให้ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งด้านหน้า เพื่อเตรียมพร้อมที่จะดูดตะกั่วทันทีที่ปลดล๊อค หลังจากที้นำปลายความร้อนของหัวแร้งมาจี้ที่จุดที่ต้องการถอนบัดกรี เพื่อให้ตะกั่วละลาย พอตะกั่วละลายแล้วจึงกดปุ่มปลดล๊อค ลูกสูบจะถูกสปริงดึงกลับไปตำแหน่งท้ายอย่างรวดเร็ว พร้อมกับดูดเศษตะกั่วที่หลอมละลายแล้วเข้าไปภายในกระบอกด้วย การใช้กระบอกดูดตะกั่วนี้เป็นวิธีถอนบัดกรีที่มีประสิทธิภาพสูง ดังรูปที่ 2-27



รูปที่ 2-27 ที่ดูดตะกั่ว (Solder sucker)

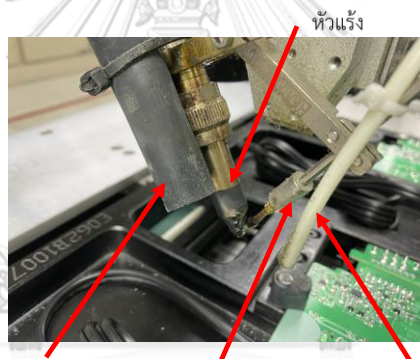
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนกระบวนการดำเนินงานและการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบัดกรี เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาจากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องและดำเนินการวางแผนออกแบบการทดลองเพื่อนำปัจจัยเหล่านั้นมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

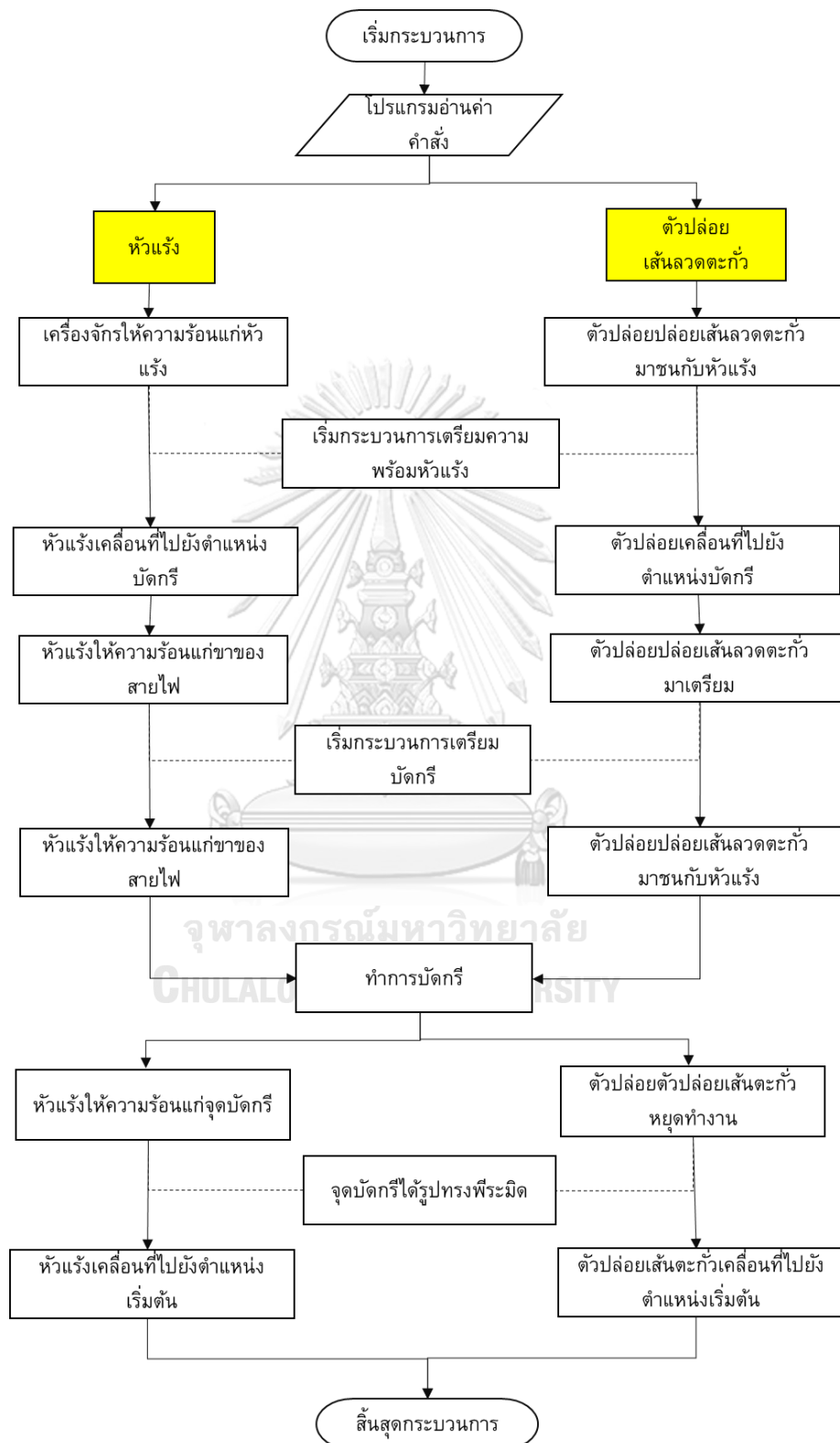
3.1 การทำงานของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine)

เครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ ได้ถูกออกแบบมาให้มีสถานีงานในการบัดกรี 2 ทาง คือ สถานีงานทางฝั่งซ้ายและสถานีงานทางฝั่งขวา ซึ่งเดิมทั้ง 2 สถานีงานจะใช้พารามิเตอร์ในการติดตั้งเหมือนกัน เนื่องจากมีการปฏิบัติงานเหมือนกันและพบสัดส่วนของเสียในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน



- (1) หัวแรง (Solder Iron) ทำหน้าที่ในการให้ความร้อนแก่เส้นลวดตะกั่ว เพื่อให้เส้นตะกั่วหลอมละลายเป็นตัวประสานให้ขาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ยึดติดกับแผ่นวงจร
- (2) ลวดตะกั่ว (Solder wire) คือ วัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานสายไฟหรือขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันหรือต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผ่นวงจร
- (3) ตัวปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (Feeder) ทำหน้าที่ดึงเส้นลวดตะกั่วออกมา เพื่อใช้ในการบัดกรี
- (4) ท่อดูด (Exhaust) ทำหน้าที่ดูดควันที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบัดกรี
- (5) ท่อลม (Exhaust blow) ทำหน้าที่เป่าทำความสะอาดหัวแรง เพื่อลดการสะสมของเศษตะกั่วที่ติดบนหัวแรง

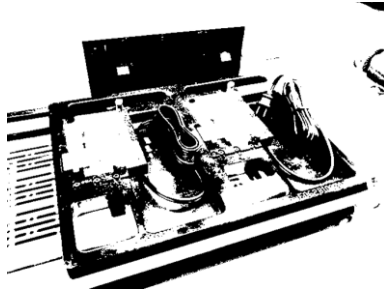
3.1.1 กระบวนการไหลของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine)



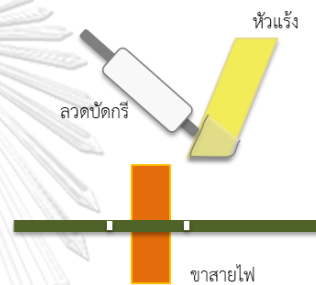
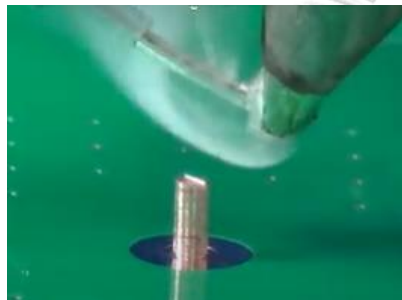
รูปที่ 3-1 กระบวนการไหลของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ

หรือสามารถอธิบายขั้นตอนทำงานของเครื่องบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine) ดังนี้

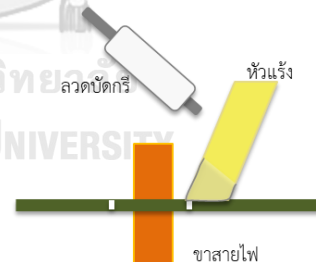
- (1) พนักงานทำการเสียบสายไฟเข้ากับแผ่นวงจรและวางชิ้นงานลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน



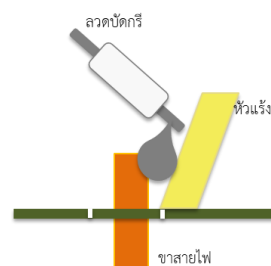
- (2) หัวแร้งให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่ว ก่อนเริ่มกระบวนการบัดกรี



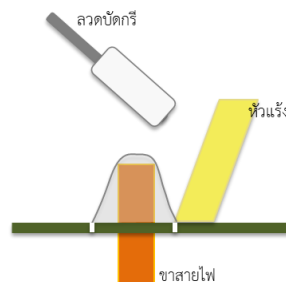
- (3) เครื่องจักรปล่อยเส้นลวดตะกั่วออกมาเตรียมและหัวแร้งให้ความร้อนแก่ขาของสายไฟ ก่อนเริ่มกระบวนการบัดกรี



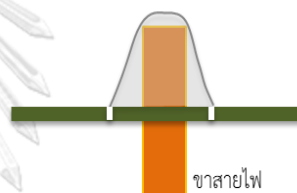
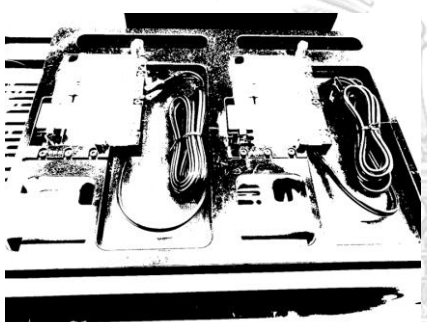
- (4) เครื่องจักรทำปปล่อยเส้นลวดตะกั่วเพิ่มสำหรับการบัดกรีสายไฟให้เชื่อมติดกับแผ่นวงจร



(5) หัวแร้งให้ความร้อนแก่บริเวณจุดบัดกรี หลังทำการบัดกรีเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ น้ำตะกั่วหลอมละลายครอบคลุมขาของสายไฟเป็นรูปทรงพีระมิด



(6) พนักงานหยิบชิ้นงานออกจากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (carrier)



3.2 กระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 3-1 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ

เดือน	มี.ค.63	เม.ย.63	พ.ค.63	มิ.ย.63	ก.ค.63
ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของของเสียที่พบ	66.71%	66.54%	66.49%	61.14%	61.27%

หลังจากการพิจารณาด้วยแผนภูมิพาเรโต ทำให้ทราบเปอร์เซ็นต์ของแต่ละปัญหาข้อบกพร่อง จึงสามารถสรุปได้ว่าปัญหาข้อบกพร่องที่มีอิทธิพลสูงสุดอันดับที่ 1 คือ ข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป

ลำดับความสำคัญ	ปัญหาข้อบกพร่อง	เปอร์เซ็นต์สะสม
1	บัดกรีมากเกินไป (Excessive solder)	63.83%
2	บัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder ball)	27.49%
3	บัดกรีไม่หลอมละลาย (Non-wetting)	6.00%
4	บัดกรีไม่สมบูรณ์ (Solder hole)	2.68%

3.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไปนั้น ซึ่งเป็นข้อมูลแบบลักษณะเชิงคุณภาพ โดยจะทำการตรวจสอบด้วยสายตาของพนักงานว่าชิ้นงานพบข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไปหรือไม่ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1. คัดเลือกทีมงานและผู้ชำนาญการเพื่อทำการแยกลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นว่าเป็นข้อบกพร่องประเภทบัดกรีมากเกินไปหรือไม่ พร้อมทั้งฝึกรวมพนักงานที่ทำการตรวจสอบชิ้นงานให้ทราบว่าข้อบกพร่องประเภทบัดกรีมากเกินไปและไม่ใช่ข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไปเป็นลักษณะแบบใด

2. ทำการสุ่มเลือกชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบทั้งหมด 15 ชิ้นงาน โดยจะแยกเป็นข้อบกพร่องประเภทบัดกรีมากเกินไป 5 ชิ้นงาน แบบก้ำกึ่ง 5 ชิ้นงาน และแบบที่ไม่ใช่ข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป 5 ชิ้นงาน โดยแสดงตัวอย่างของลักษณะข้อบกพร่อง 3 แบบ ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทบัดกรีมากเกินไป

ลักษณะข้อบกพร่อง	รูปภาพ
ข้อบกพร่องประเภทบัดกรีมากเกินไป	
ข้อบกพร่องแบบก้ำกึ่งที่ใช้เป็นประเภทบัดกรีมากเกินไป	
ข้อบกพร่องที่ไม่ใช่ประเภทบัดกรีมากเกินไป	

3. สุ่มเลือกพนักงานในสายการผลิตที่ผ่านมาฝึกรวมมา 3 คน เพื่อตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น คนละ 3 ครั้ง โดยทำการสลับแม่แบบและสลับลำดับการตรวจสอบของพนักงาน

4. บันทึกผลที่ได้จากการตรวจสอบข้อบกพร่องของพนักงานทั้ง 3 คน ว่าใช้งานดี (OK) หรือไม่ใช้งานดี (NG) เพื่อทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดตามแบบข้อมูลลักษณะเชิงคุณภาพ ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ผลการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป

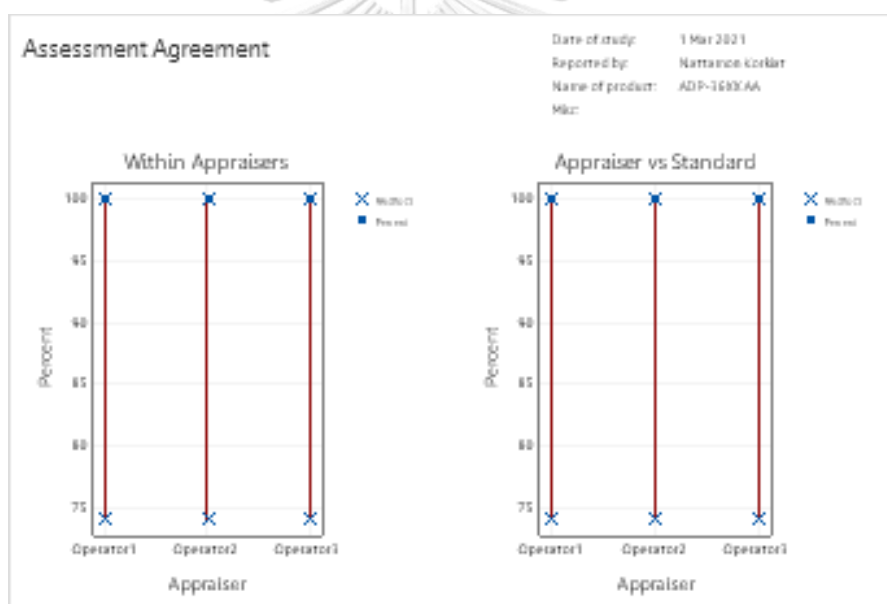
สิ่ง ตัวอย่าง	คุณภาพ งานที่ แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1			พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 2			พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 3			ตรวจสอบ ได้ เหมือนกัน ทุกครั้ง และทุก คน	ตรวจสอบ ได้ เหมือนกัน อย่าง ถูกต้องทุก คน
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
		1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
3	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
5	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
8	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
12	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
15	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Y	Y

และจากตารางที่ 3-4 ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดนั้น ระบุการยอมรับที่ 100% เนื่องจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทมีสาเหตุของการเกิดแตกต่างกัน ดังนั้นการแก้ไขปัญหาจึงแตกต่างกันด้วย หากพนักงานตรวจสอบทำการระบุชนิดของข้อบกพร่องผิดไป อาจทำให้การแก้ปัญหาไม่สอดคล้องกับสาเหตุที่แท้จริงได้

ตารางที่ 3-4 ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดของข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน	100%
เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ	100%

จากรูป 3-2 แสดงผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป ได้ดังนี้



รูปที่ 3-2 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (Within appraiser)

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน สามารถสรุปความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน ดังรูปที่ 3-3 และสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

พนักงานคนที่ 1 = 100%

พนักงานคนที่ 2 = 100%

พนักงานคนที่ 3 = 100%

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operator1	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Operator2	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Operator3	10	10	100.00	(74.11, 100.00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

รูปที่ 3-3 ผลการวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (Within appraiser)

2) การวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานแต่ละคน สามารถสรุปการวิเคราะห์ความถูกต้องของพนักงาน ดังรูปที่ 3-4 และสามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

พนักงานคนที่ 1 = 100%

พนักงานคนที่ 2 = 100%

พนักงานคนที่ 3 = 100%

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Operator1	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Operator2	10	10	100.00	(74.11, 100.00)
Operator3	10	10	100.00	(74.11, 100.00)

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

Assessment Disagreement

Appraiser	# OK / NG	Percent	# NG / OK	Percent	# Mixed	Percent
Operator1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Operator2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Operator3	0	0.00	0	0.00	0	0.00

*# OK / NG: Assessments across trials = OK / standard = NG.
 # NG / OK: Assessments across trials = NG / standard = OK.
 # Mixed: Assessments across trials are not identical.*

รูปที่ 3-4 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานแต่ละคน

2.การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (Between appraisers)

1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าการวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 คน พบว่ามี ประสิทธิภาพเท่ากับ 100% ดังรูปที่ 3-5

Between Appraisers			
Assessment Agreement			
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
10	10	100.00	(74.11, 100.00)
<i># Matched: All appraisers' assessments agree with each other.</i>			

รูปที่ 3-5 ผลการวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (Between appraisers)

2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและความถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากการวิเคราะห์ความพ้องกันและความถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานทั้ง 3 คน พบว่ามี ประสิทธิภาพเท่ากับ 100% ดังรูปที่ 3-6

All Appraisers vs Standard			
Assessment Agreement			
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
10	10	100.00	(74.11, 100.00)
<i># Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.</i>			

รูปที่ 3-6 ผลการวิเคราะห์ความพ้องกันและความถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

เพราะฉะนั้น จากผลการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทขีดกริมากเกินไป 4 พบว่าพนักงานทั้ง 3 คนสามารถตรวจสอบและคัดแยกชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 15 ชิ้น ได้ตาม มาตรฐานของการตรวจสอบ

3.4 การคาร์ิเบรทเครื่องจักร

ก่อนทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ จะต้องมั่นใจได้ว่าเครื่องจักรที่ใช้ในการปฏิบัติงานมีความแม่นยำและเที่ยงตรงเพียงพอ จึงต้องทำการสอบเทียบเครื่องจักร 2 ส่วน ได้แก่

1. อุณหภูมิที่ใช้จริงเทียบกับอุณหภูมิที่กำหนด
2. ความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ ที่ใช้ในการปล่อยเส้นลวดตะกั่ว

เนื่องจากทั้งอุณหภูมิและความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ปล่อยเส้นลวดตะกั่วถือเป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการบัดกรี หากมีความคลาดเคลื่อนของ 2 ส่วนดังกล่าว จะทำให้การนำผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องบัดกรีอัตโนมัติไปใช้ในการวิเคราะห์ มีความผิดพลาดได้ โดยเบื้องต้น กำหนดให้ใช้อุณหภูมิในการบัดกรีชิ้นงานที่ 400 ± 10 องศา ซึ่งสามารถทำการทดสอบอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิความร้อนหัวแร้ง (Solder Tip Temperature Thermometer) ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 สอบเทียบอุณหภูมิของเครื่องจักร

ครั้งที่	อุณหภูมิกำหนด (องศา)	อุณหภูมิจริง (องศา)
1	400 ± 10	400
2	400 ± 10	401
3	400 ± 10	398
4	400 ± 10	402
5	400 ± 10	403



รูปที่ 3-7 การสอบเทียบอุณหภูมิหัวแร้งของเครื่องจักร

และสามารถสอบเทียบความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ในการปล่อยเส้นลวดตะกั่ว ได้จากการวัดค่าความยาวของเส้นลวดตะกั่วที่ได้ โดยมอเตอร์ที่ใช้สามารถให้ความเร็วรอบที่ 1,000 รอบต่อนาที (RPM) และทดลองกำหนดระยะเวลาในการปล่อยเส้นลวดตะกั่วที่ 0.4 วินาที ฉะนั้นจะต้องได้ความยาวของลวดตะกั่วที่ 42.00 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 สอบเทียบความเร็วรอบการหมุนมอเตอร์ของเครื่องจักร

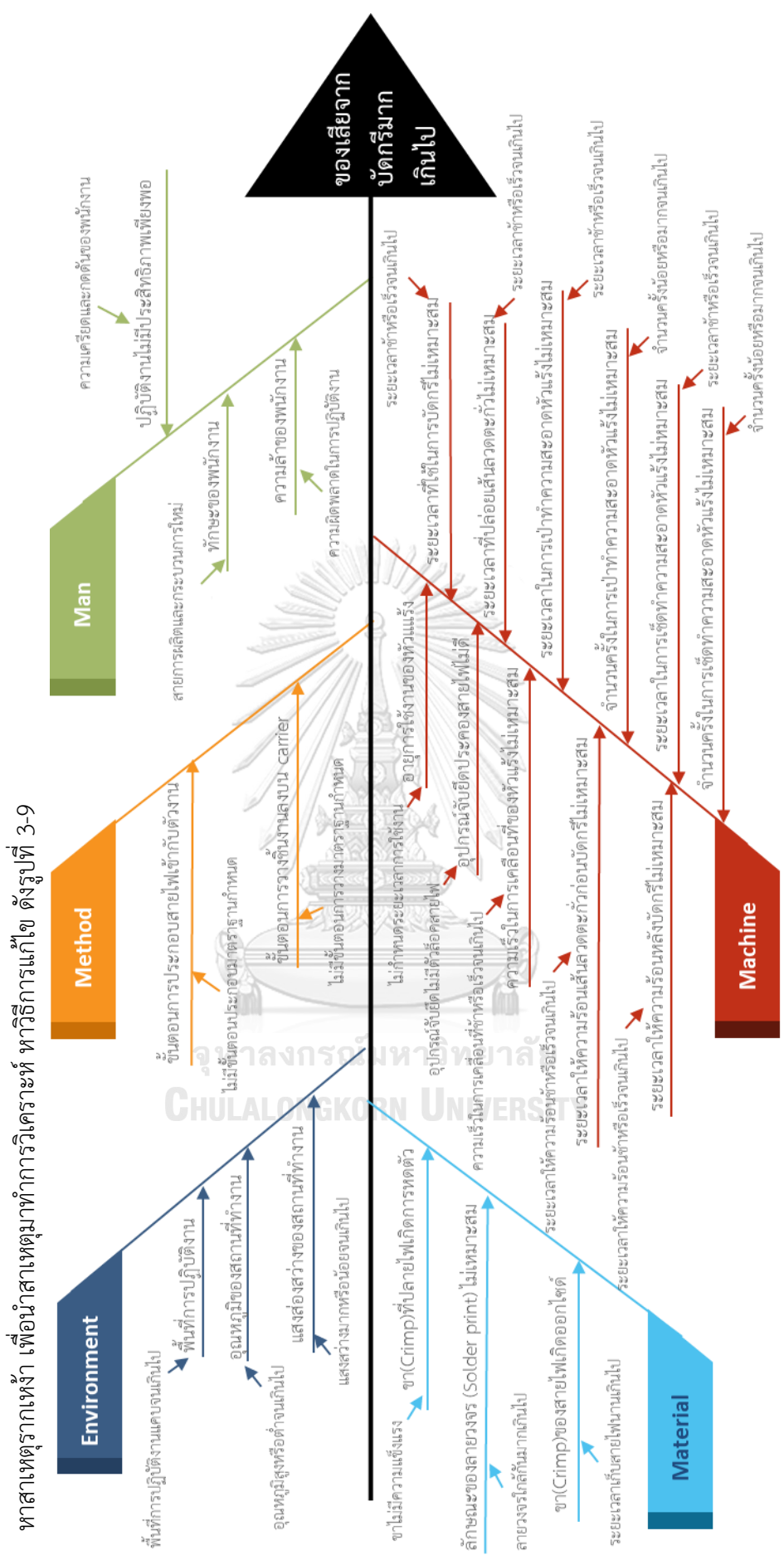
ครั้งที่	ความยาวที่กำหนด (มิลลิเมตร)	ความยาวจริง (มิลลิเมตร)
1	42.00	42.11
2	42.00	42.10
3	42.00	42.11
4	42.00	42.12
5	42.00	42.11



รูปที่ 3-8 การสอบเทียบความยาวของลวดตะกั่ว

จากการสอบเทียบสามารถสรุปได้ว่าเครื่องจักรมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยและอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 ± 10 องศา และความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ใช้ในการปล่อยเส้นลวดตะกั่วที่ 1,000 รอบต่อนาที ฉะนั้นจึงสามารถนำข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากเครื่องจักรบัตกรีอัตโนมัติไปใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาในลำดับถัดไปได้

หลังจากทราบข้อบกพร่องที่มีอิทธิพลสูงสุด ได้แก่ ปัญหาข้อบกพร่องจากการบัดกรีมากเกินไป(Excessive Solder) จึงใช้แผนภูมิแก๊งปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้า เพื่อนำสาเหตุมาทำการวิเคราะห์หาวิธีการแก้ไข ดังรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของข้อบกพร่องการบัดกรีมากเกินไป

โดยให้ผู้ชำนาญการในฝ่ายวิเคราะห์งาน (Product Engineer), ฝ่ายช่างเทคนิค (Automation Engineer), ฝ่ายผลิต (Production), ฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality) รวมทั้งสิ้น 10 คน ในการให้คะแนนของแต่ละสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป ตารางที่ 3-7 ตารางแสดงระดับคะแนนความสำคัญของสาเหตุ

คะแนน	ความสำคัญของสาเหตุ
0	ไม่มีความสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป(Excessive Solder)
1-3	มีความสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป(Excessive Solder) ในระดับน้อย
4-6	มีความสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป(Excessive Solder) ในระดับปานกลาง
7-9	มีความสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป(Excessive Solder) ในระดับสูง

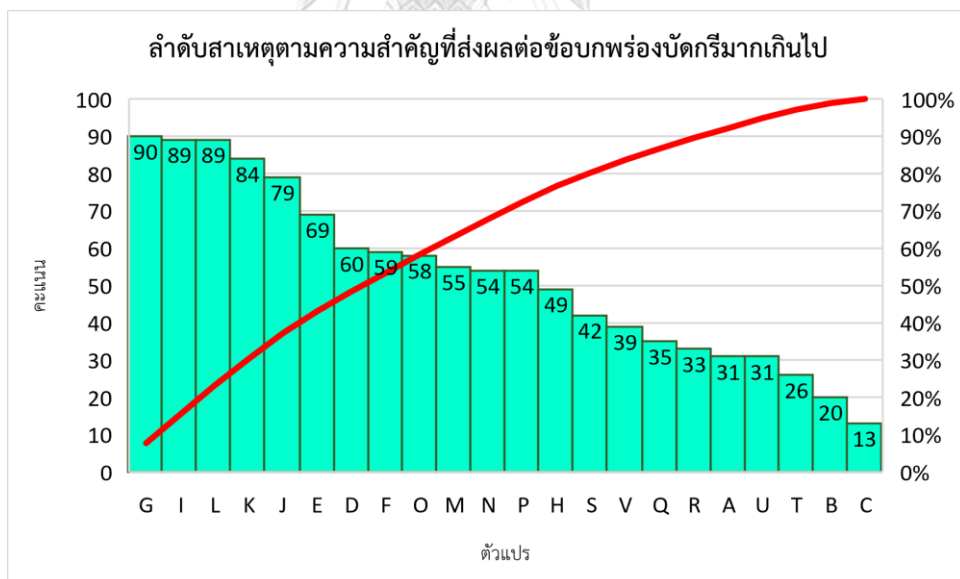
ตารางที่ 3-8 ตารางสาเหตุและผล (Main- Effect Matrix)

ลำดับ	จำแนกตามสาเหตุ	ตัวแปร	สาเหตุ	ต้นเหตุของการเกิด	คะแนนรวม
1	Man	A	ทักษะของพนักงาน	สายการผลิตและกระบวนการใหม่ พนักงานไม่มีความชำนาญ	31
2	Man	B	ความล้าของพนักงาน	เกิดความผิดพลาดในการทำงาน	20
3	Man	C	พนักงานปฏิบัติงานไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ	ความเครียดและกดดันของพนักงาน	13
4	Method	D	การประกอบสายไฟเข้ากับตัวชิ้นงาน	ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนการทำงานชัดเจน พนักงานเกิดความสับสน	60
5	Method	E	การวางชิ้นงานลงบนอุปกรณ์จับยึด	ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนการทำงานชัดเจน พนักงานเกิดความสับสน	69
6	Machine	F	อายุการใช้งานของหัวแร้ง	ไม่มีมาตรฐานกำหนดจำนวนครั้งในการใช้งานของหัวแร้ง	59
7	Machine	G	อุปกรณ์จับยึดประกอบสายไฟไม่ได้มาตรฐาน	อุปกรณ์จับยึดไม่มีตัวล็อคสายไฟ	90
8	Machine	H	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวแร้งไม่เหมาะสม	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวแร้งช้าหรือเร็วจนเกินไป	49

ลำดับ	จำแนกตามสาเหตุ	ตัวแปร	สาเหตุ	ต้นเหตุของการเกิด	คะแนนรวม
9	Machine	I	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรีไม่เหมาะสม	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วช้าหรือเร็วจนเกินไป	89
10	Machine	J	ระยะเวลาให้ความร้อนหลังการบัดกรีไม่เหมาะสม	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วช้าหรือเร็วจนเกินไป	79
11	Machine	K	ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีไม่เหมาะสม	ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีช้าหรือเร็วจนเกินไป	84
12	Machine	L	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วไม่เหมาะสม	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วช้าหรือเร็วจนเกินไป	89
13	Machine	M	ระยะเวลาในการเป่าทำความสะอาดหัวแร้งไม่เหมาะสม	ระยะเวลาในการเป่าทำความสะอาดหัวแร้งช้าหรือเร็วจนเกินไป	55
14	Machine	N	จำนวนครั้งในการเป่าทำความสะอาดหัวแร้งไม่เหมาะสม	จำนวนครั้งในการเป่าทำความสะอาดหัวแร้งน้อยหรือมากเกินไป	54
15	Machine	O	ระยะเวลาในการเช็ดทำความสะอาดหัวแร้งไม่เหมาะสม	ระยะเวลาในการเช็ดทำความสะอาดหัวแร้งช้าหรือเร็วจนเกินไป	58
16	Machine	P	จำนวนครั้งในการเช็ดทำความสะอาดหัวแร้งไม่เหมาะสม	จำนวนครั้งในการเช็ดทำความสะอาดหัวแร้งน้อยหรือมากเกินไป	54
17	Material	Q	ขา(crimp)ปลายสายไฟเกิดการหดตัว	ขา(crimp)ปลายสายไฟไม่มีความแข็งแรงเพียงพอ	35
18	Material	R	ขา(crimp)ปลายสายไฟเกิดออกไซด์	สายไฟถูกเก็บในระยะเวลาที่นาน	33

ลำดับ	จำแนกตามสาเหตุ	ตัวแปร	สาเหตุ	ต้นเหตุของการเกิด	คะแนนรวม
19	Material	S	ลักษณะลายวงจรไม่เหมาะสม	ลายวงจรใกล้กันเกินไป เป็นสาเหตุให้บัดกรีเชื่อมติดกัน	42
20	Environment	T	อุณหภูมิของสถานที่ทำงาน	อุณหภูมิสูงหรือต่ำจนเกินไป	26
21	Environment	U	แสงส่องสว่างของสถานที่ทำงาน	แสงส่องสว่างมากหรือน้อยจนเกินไป	31
22	Environment	V	พื้นที่การปฏิบัติงาน	พื้นที่แคบ ไม่มีความสะดวกในการปฏิบัติงานของพนักงาน	39

หลังจากให้ผู้ชำนาญในแต่ละฝ่ายให้คะแนนของแต่ละสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive Solder) จึงใช้หลักการพาเรโตในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป



รูปที่ 3-10 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป

จากรูปที่ 3-10 สามารถสรุปได้ว่า สาเหตุที่มีอิทธิพลหลักต่อข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป ที่มีสัดส่วนน้ำหนัก 80 % ประกอบด้วยทั้งหมด 4 สาเหตุ ได้แก่ อุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟไม่ได้

มาตรฐาน,ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรีไม่เหมาะสม, ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วไม่เหมาะสม และระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีไม่เหมาะสม

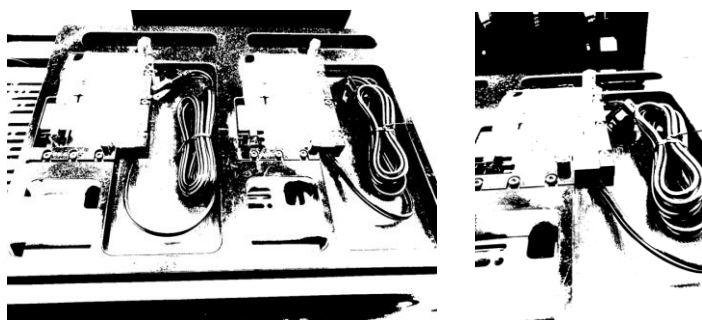
ตารางที่ 3-9 ตารางแสดงลำดับความสำคัญของสาเหตุ

ลำดับความสำคัญ	ตัวแปร	สาเหตุ
1	G	อุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟไม่ได้มาตรฐาน
2	I	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรีไม่เหมาะสม
3	L	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วไม่เหมาะสม
4	K	ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีไม่เหมาะสม

จากตารางที่ 3-9 แสดงลำดับความสำคัญของสาเหตุ ทำให้ทราบว่าทุกสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive Solder) ล้วนเป็นปัจจัยที่มาจากอุปกรณ์เครื่องมือและพารามิเตอร์ของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ (Auto Solder Machine) โดยผู้วิจัยจะทำการแก้ไขสาเหตุตามลำดับความสำคัญจาก 1 ไป 4 ตามลำดับ

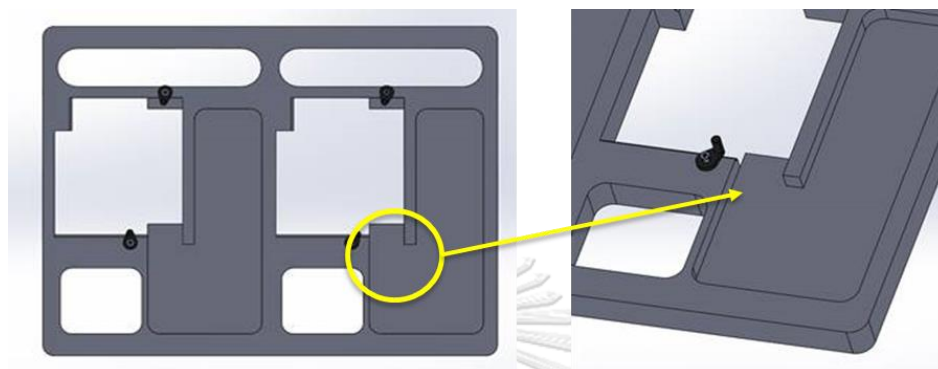
3.5 วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาข้อบกพร่อง ความสำคัญลำดับที่ 1

เนื่องจากกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟในการปฏิบัติงาน แต่ปัจจุบันพบว่าอุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟไม่ได้มาตรฐาน โดยอุปกรณ์จับยึดไม่มีตัวล็อคสายไฟในการกำหนดให้สายไฟวางอยู่ในลักษณะทิศทางเดียวกัน ซึ่งหมายถึงลักษณะทิศทางของสายไฟขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงานในการจัดวางสายไฟก่อนปล่อยไหลเข้าเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3-11



รูปที่ 3-11 การวางชิ้นงานบนอุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟ

โดยการที่อุปกรณ์จับยึดสายไฟไม่มีตัวล็อคสายไฟ จะส่งผลให้สายไฟที่เสียบประกอบเข้ากับแผ่นวงจรสามารถเอนเอียงไปในทิศทางใดทางหนึ่ง ซึ่งการที่สายไฟเกิดการเอนเอียงถือเป็นสาเหตุหลักสำคัญที่ทำให้ลักษณะการบัดกรีไม่ได้ตามข้อกำหนด เดิมอุปกรณ์จับยึดสายไฟ สามารถวางตัวงานได้ 2 ชั้น ประกอบไปด้วยตัวล็อคแผ่นวงจร 4 จุด และไม่มีตัวล็อคสายไฟ ดังรูปที่ 3-12



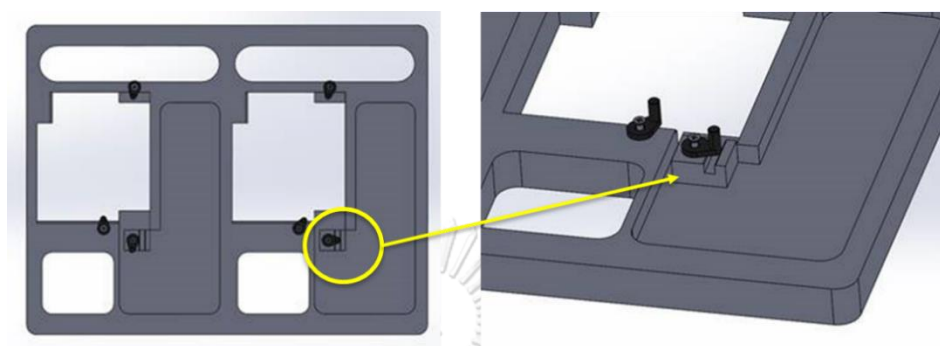
รูปที่ 3-12 อุปกรณ์จับยึดประกอบสายไฟเดิม

ฉะนั้น สำหรับอุปกรณ์จับยึดสายไฟที่ไม่มีตัวล็อคสายไฟจะทำให้ทิศทางการไหลของน้ำตะกั่วที่จะไหลมาครอบคลุมขาของสายไฟให้ยึดติดกับแผ่นวงจรมีมุมมองที่กว้าง เนื่องจากขาของสายไฟได้เอียงทำมุมมากกว่าหรือน้อยกว่า 90 องศา จึงเป็นสาเหตุให้น้ำตะกั่วไหลออกนอกลายวงจร กล่าวคือขอบเส้นสีขาว (White mark) ที่กำหนด ดังรูปที่ 3-13

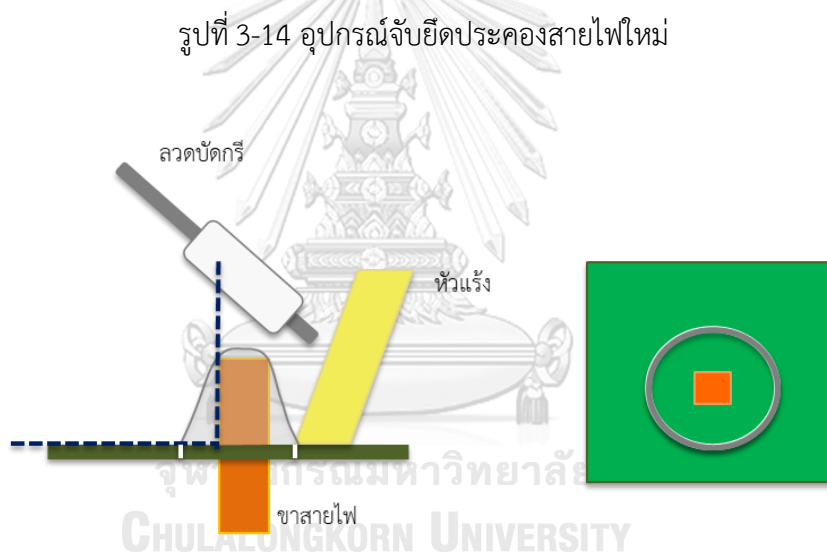


รูปที่ 3-13 มุมมองและทิศทางการไหลของน้ำตะกั่วของอุปกรณ์จับยึดประกอบสายไฟเดิม

ฉะนั้นเมื่อทราบปัญหาของอุปกรณ์จับยึดสายไฟไม่ได้มาตรฐาน จึงทำการเพิ่มตัวล็อคสายไฟ เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมไม่ให้สายไฟเกิดการเอนเอียงก่อนไหลเข้าสู่กระบวนการบัดกรีสายไฟด้วย เครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ โดยตัวล็อคสายไฟจะช่วยประคองให้สายไฟตั้งตรง 90 องศา เหมาะสมแก่การบัดกรี ดังรูปที่ 3-14



รูปที่ 3-14 อุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟใหม่



รูปที่ 3-15 มุมมองและทิศทางการไหลของน้ำตะกั่วของอุปกรณ์จับยึดประคองสายไฟใหม่

โดยตัวล็อคสายไฟที่ทำการเพิ่มขึ้นมาในอุปกรณ์จับยึดสายไฟจะทำมาจากวัสดุแบคคาไลท์ (Bakelite) ซึ่งเป็นวัสดุเดียวกันและใช้แนวคิดเดียวกันกับตัวล็อคแผ่นวงจร คือ สำหรับใช้ในการบิดที่ สะดวกและทำการเสริมฐานและเซาะร่องสำหรับจัดวางสายไฟให้อยู่ในทิศทางมาตรฐาน

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์จับยึดสายไฟ จึงทำการสุ่มเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยทำการสุ่มชิ้นงานวันละ 30 ชิ้น ซึ่งผู้วิจัยจะยังคงใช้พารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติชุดที่ 2 ดังตารางที่ 3-10 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ สัดส่วนของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟลดลง จาก 63.90% เป็น 56.72% ดังตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-10 พารามิเตอร์ของเครื่องบัดกรีอัตโนมัติชุดที่ 2

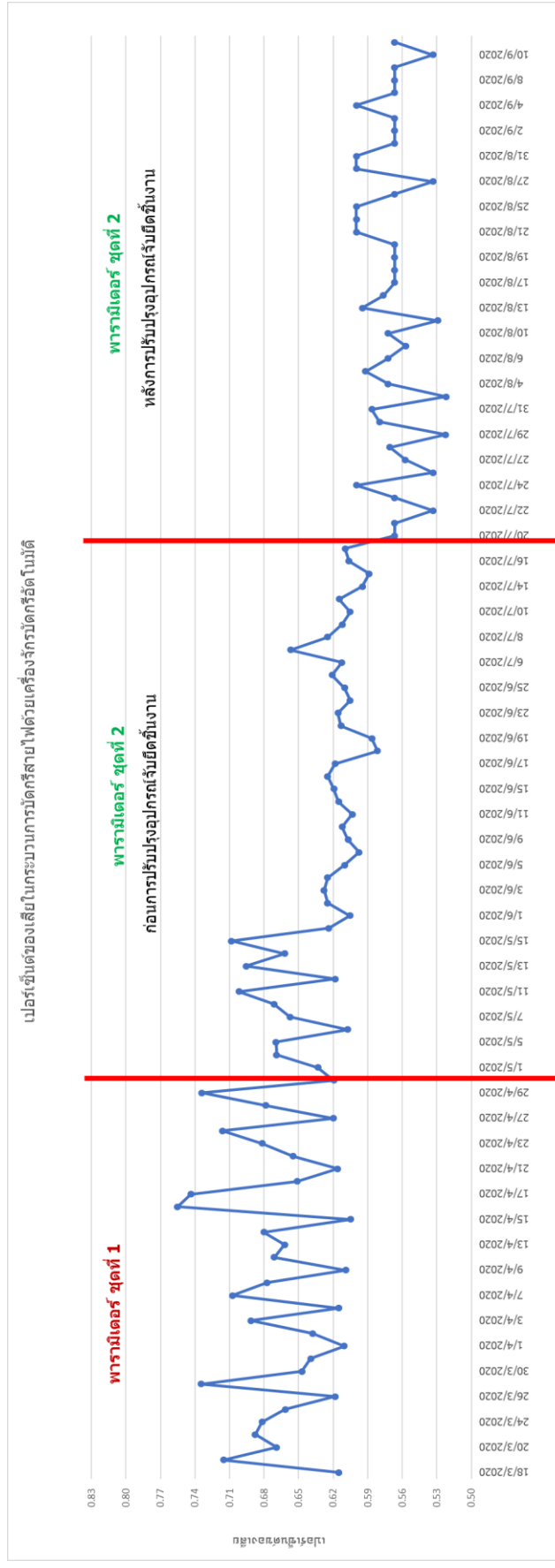
ลำดับ	ปัจจัย	หน่วยวัด ชุดที่ 2
1	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวแร้งก่อนการบัดกรี	800 มิลลิเมตร/วินาที
2	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว	0.3 วินาที
3	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี	0.2 วินาที
4	ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี	0.3 วินาที
5	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวแร้งหลังการบัดกรี	500 มิลลิเมตร/วินาที
6	ระยะเวลาให้ความร้อนหลังการบัดกรี	0.1 วินาที
7	จำนวนครั้งในการเป่าทำความสะอาดหัวแร้ง	10 ครั้ง
8	ระยะเวลาในการเป่าทำความสะอาดหัวแร้ง	0.1 วินาที
9	จำนวนครั้งในการเช็ดทำความสะอาดหัวแร้ง	50 ครั้ง
10	ระยะเวลาในการเช็ดทำความสะอาดหัวแร้ง	0.1 วินาที

ซึ่งเดิมสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟอยู่ที่ 63.90% สามารถจำแนกออกเป็น 2 ชุดข้อมูลดังที่กล่าวไปในข้างต้น คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 1 และพารามิเตอร์ชุดที่ 2 ก่อนปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ ได้ดังตารางที่ 3-12

ตารางที่ 3-11 เปรียบเทียบสัดส่วนของของเสียก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

	พารามิเตอร์ชุดที่ 1	พารามิเตอร์ชุดที่ 2 ก่อนปรับปรุง	พารามิเตอร์ชุดที่ 2 หลังปรับปรุง
สัดส่วนของเสียในกระบวนการบัดกรี	66.58%	61.21%	56.72%
สายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ	63.90%		

สำหรับช่วงแรก มีการปรับตั้งพารามิเตอร์ตามใบคู่มือเบื้องต้น ถือเป็นพารามิเตอร์ ชุดที่ 1 พบสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 66.58% และต่อมาได้มีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ใหม่อีกครั้งเป็นพารามิเตอร์ ชุดที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ พบสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 61.21% หลังจากนั้นดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ พบสัดส่วนของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 56.72% ซึ่งสัดส่วนของเสียลดลง คิดเป็น 7.18% (เทียบกับพารามิเตอร์ ชุดที่ 2 ก่อนทำการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ) ดังรูปที่ 3-16



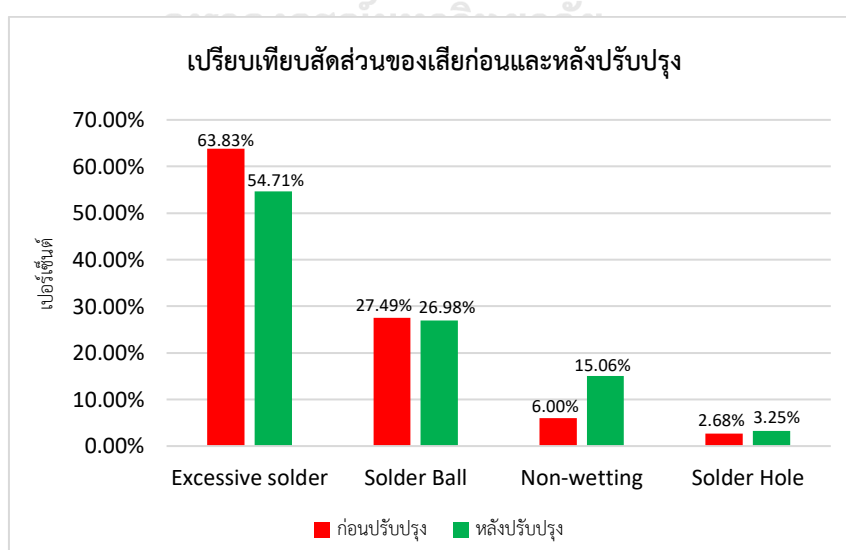
รูปที่ 3-16 สัดส่วนของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ เดือนมีนาคม - กันยายน พ.ศ.2563

ซึ่งสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน สามารถจำแนกเปอร์เซ็นต์ของแต่ละปัญหาข้อบกพร่อง ได้ดังตารางที่ 3-12 โดยเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อนปรับปรุง คือ ข้อมูลของพารามิเตอร์ ชุดที่ 1 และ พารามิเตอร์ชุดที่ 2 ก่อนการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ และเปอร์เซ็นต์ของเสียหลังปรับปรุง คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 2 หลังการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ

ตารางที่ 3-12 เปรียบเทียบสัดส่วนแต่ละปัญหาข้อบกพร่องก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

ลำดับ ความสำคัญ	ปัญหาข้อบกพร่อง	เปอร์เซ็นต์ของเสีย ก่อนปรับปรุง	เปอร์เซ็นต์ของเสีย หลังปรับปรุง
1	บัดกรีมากเกินไป (Excessive solder)	63.83%	54.71%
2	บัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder ball)	27.49%	26.98%
3	บัดกรีไม่หลอมละลาย (Non-wetting)	6.00%	15.06%
4	บัดกรีไม่สมบูรณ์ (Solder hole)	2.68%	3.25%

จากตารางที่ 3-12 ทำให้ทราบว่าสัดส่วนของปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive solder) ไปลดลงจาก 63.83% เป็น 54.71% (คิดเป็น 9.12%) แต่ในขณะเดียวกันปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder ball) มีเปอร์เซ็นต์ลดลงจาก 27.49% เป็น 26.98% (คิดเป็น 0.51%) และปัญหาข้อบกพร่องไม่หลอมละลาย (Non-wetting) มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มสูงขึ้น จาก 6.00% เป็น 15.06% (คิดเป็น 9.06%) และปัญหาบัดกรีไม่สมบูรณ์ (Solder hole) มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มสูงขึ้น จาก 2.68% เป็น 3.25% (คิดเป็น 0.58%)



รูปที่ 3-17 เปรียบเทียบสัดส่วนปัญหาข้อบกพร่องก่อนและหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน

จากกราฟที่ 3-17 แผนภูมิเปรียบเทียบสัดส่วนปัญหาข้อบกพร่องก่อนและหลังปรับปรุง อุปกรณ์จับยึดสายไฟ โดยสามารถสรุปได้ว่าถึงแม้การปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดประกอบสายไฟ จะทำให้ สัดส่วนของเสียของปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive Solder) ลดลง และให้อัตราการ เกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานลดลงอยู่ที่ 0.4 ดังตารางที่ 3-13 แต่ก็ยังคงปรากฏสัดส่วนของ เสียที่สูงกว่า 50% ซึ่งยังคงเป็นสัดส่วนของเสียปริมาณที่สูง จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุ ของปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไปลำดับต่อไป

ตารางที่ 3-13 อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานหลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึด

พารามิเตอร์	จำนวน	ประเภทของข้อบกพร่อง				DPU
		บัดกรีเป็น สะเก็ด	บัดกรีมาก เกินไป	บัดกรีไม่ เต็ม	บัดกรีไม่หลอม ละลาย	
พารามิเตอร์ ชุดที่ 2 (หลังปรับปรุงอุปกรณ์)	60	6	13	1	4	0.40

3.6 วิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาข้อบกพร่อง ความสำคัญลำดับที่ 2 - 4

สำหรับลำดับความสำคัญที่ 2-4 ล้วนเป็นสาเหตุที่มาจาก การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของ เครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบการทดลองสำหรับใช้ในการหาพารามิเตอร์ที่ เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6.1 ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษาดทดลอง

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive Solder) ทั้งหมด 4 ปัจจัยในระยยะวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยแต่ละปัจจัยมีการกำหนดพิจารณา 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) จากการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า พบว่ามี พารามิเตอร์ของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติที่มีอิทธิพลต่อปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไปทั้งหมด 3 ปัจจัย ($k=3$) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยที่นำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง พิจารณาโดยอาศัย ระยะเวลาเริ่มต้นที่สามารถทำให้เกิดจุดบัดกรีที่สายไฟเป็นขอบเขตของระดับต่ำ และค่าพารามิเตอร์ การทำงานปัจจุบันบางปัจจัยเป็นขอบเขตระดับสูง ดังตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-14 ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษาทดลองทั้งหมด 3 ปัจจัย

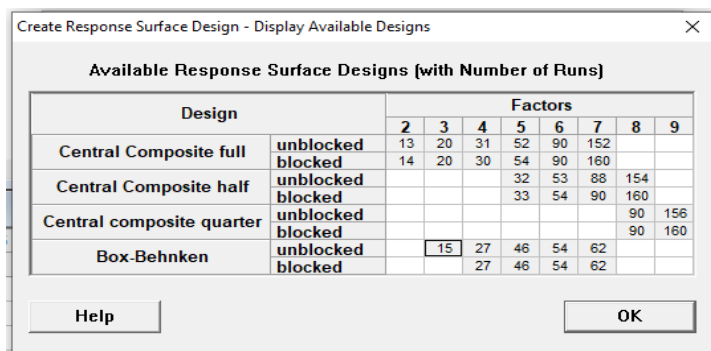
ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ			หน่วย
		ต่ำ	กลาง	สูง	
ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี	(I)	0.1	0.2	0.3	วินาที
ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว	(L)	0.1	0.2	0.3	วินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี	(K)	0.1	0.2	0.3	วินาที

3.6.2 ตัวแปรตอบสนอง

ในการออกแบบการทดลอง และทำการทดลอง มีวัตถุประสงค์ที่จะพิจารณาพารามิเตอร์ของปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive solder) โดยมีตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานที่ลดลงจากเดิม

3.6.3 การออกแบบการทดลอง

โดยผู้วิจัยเลือกการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) มาใช้ในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากการออกแบบส่วนผสมกลางเป็นการออกแบบที่ระดับของแต่ละปัจจัยห่างจากจุดศูนย์กลางของแบบจำลองเท่านั้นและทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยแต่ละปัจจัยมี 5 ระดับ คือ $-\alpha$, -1 , 0 , $+1$, $+\alpha$ และค่าของระดับปัจจัยไม่ใช่ขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัว ในขณะที่การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เป็นการออกแบบที่คล้ายกับการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) แต่ต่างกันที่จุดบนแกนจะอยู่ในระนาบเดียวกันกับจุดที่เป็นแบบแฟคทอเรียลและทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยแต่ละปัจจัย จะมี 3 ระดับ คือ -1 , 0 , $+1$ และค่าของระดับของปัจจัยจะถูกสร้างขึ้นมาจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด ฉะนั้นจะมีพารามิเตอร์ของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติที่มีอิทธิพลต่อปัญหาข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไปทั้งหมด 3 ปัจจัย ($k = 3$) ดังตารางที่ 3-15 และการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จะทำการทดลองจำนวน 15 การทดลอง ดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 จำนวนการทดลองในการออกแบบส่วนผสมกลางและการออกแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

ตารางที่ 3-15 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

RunOrder	StdOrder	PtType	Blocks	ปัจจัย			ตัวแปรตอบสนอง DPU
				I	L	K	
1	11	2	1	0.2	0.1	0.3	
2	2	2	1	0.3	0.1	0.2	
3	6	2	1	0.3	0.2	0.1	
4	7	2	1	0.1	0.2	0.3	
5	10	2	1	0.2	0.3	0.1	
6	4	2	1	0.3	0.3	0.2	
7	3	2	1	0.1	0.3	0.2	
8	9	2	1	0.2	0.1	0.1	
9	12	2	1	0.2	0.3	0.3	
10	8	2	1	0.3	0.2	0.3	
11	13	0	1	0.2	0.2	0.2	
12	15	0	1	0.2	0.2	0.2	
13	1	2	1	0.1	0.1	0.2	
14	14	0	1	0.2	0.2	0.2	
15	5	2	1	0.1	0.2	0.1	

บทที่ 4

การดำเนินการทดลอง

หลังจากที่ได้วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลองแล้ว จึงทำการทดลองตามแบบแผน เพื่อทำการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ในการบัดกรีสายไฟที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ

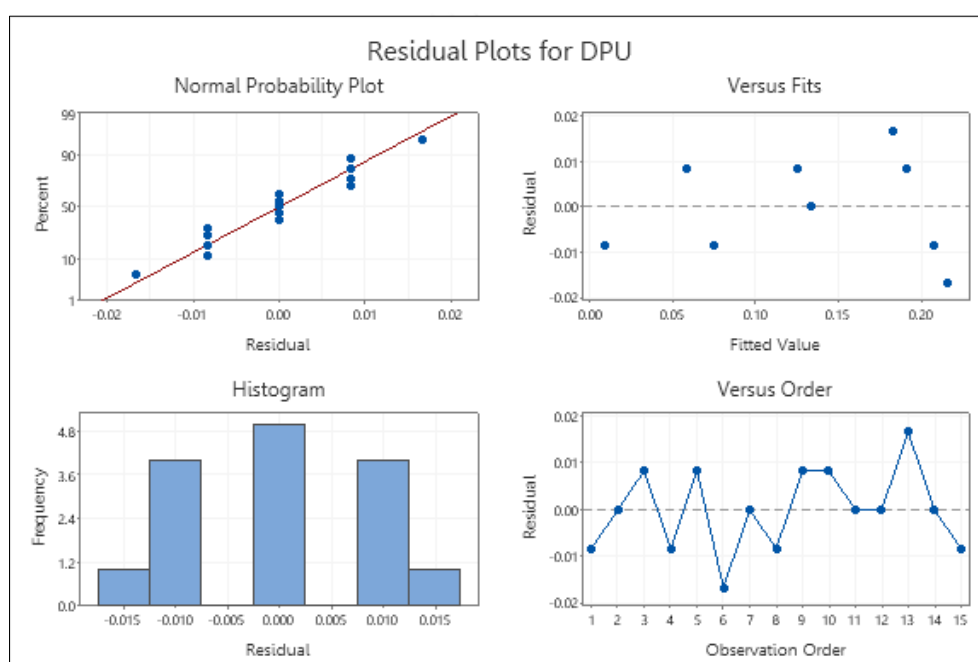
4.1 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 15 การทดลอง ได้แสดงผลของการเกิดหรือไม่เกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป (Excessive solder) และพบอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (Defect Per Unit) ระหว่าง 0 ถึง 0.375 ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

RunOrder	StdOrder	PtType	Blocks	ปัจจัย			ตัวแปรตอบสนอง
				I	L	K	DPU
1	11	2	1	0.2	0.1	0.3	0.125
2	2	2	1	0.3	0.1	0.2	0.250
3	6	2	1	0.3	0.2	0.1	0.125
4	7	2	1	0.1	0.2	0.3	0.000
5	10	2	1	0.2	0.3	0.1	0.250
6	4	2	1	0.3	0.3	0.2	0.375
7	3	2	1	0.1	0.3	0.2	0.250
8	9	2	1	0.2	0.1	0.1	0.375
9	12	2	1	0.2	0.3	0.3	0.375
10	8	2	1	0.3	0.2	0.3	0.375
11	13	0	1	0.2	0.2	0.2	0.250
12	15	0	1	0.2	0.2	0.2	0.250
13	1	2	1	0.1	0.1	0.2	0.375
14	14	0	1	0.2	0.2	0.2	0.250
15	5	2	1	0.1	0.2	0.1	0.375

โดยระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วย
 ชิ้นงานต่ำที่สุด คือ ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) ที่ 0.1 วินาที ระยะเวลาที่
 ปลอ่ยเส้นลวดตะกั่ว (L) ที่ 0.2 วินาที และระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.3 วินาที ซึ่งก่อนที่จะ
 นำผลการทดลองข้างต้นไปใช้ในการวิเคราะห์ผลนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของ
 แบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้มาจากการ
 ทดลองตามแบบจำลอง ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบสมมติฐานของส่วนตกค้าง (Residual) 3 ประการ คือ
 สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ และ สมมติฐานของความมี
 เสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 4-1 ตรวจสอบตัวแบบถดถอยที่ได้จากการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4-1 กราฟ Normal Probability Plot พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมี
 การกระจายตัวของข้อมูลเป็นเส้นตรงเอียงประมาณ 45 องศา เมื่อใช้กฎ Big Pencil ในการวิเคราะห์
 แล้ว กล่าวคือ แสดงให้เห็นว่าตัวแบบการถดถอยพหุคูณที่ได้นั้นเหมาะสมกับข้อมูล ซึ่งไม่สามารถ
 ปฏิเสธได้ว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีค่ามากกว่านัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) จึงสรุปได้
 ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อพิจารณากราฟ Versus Fits พบว่าค่าความ
 คลาดเคลื่อนกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นตรงค่าศูนย์ โดยกระจายตัวสูงสุดอยู่ที่ขอบบน 0.02
 และกระจายตัวต่ำสุดอยู่ที่ขอบล่าง -0.02 แสดงถึงความสม่ำเสมอในการกระจายตัว จึงสามารถสรุป
 ได้ว่าตัวแบบการถดถอยพหุคูณที่ได้นั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูล และเมื่อพิจารณากราฟ Versus
 Order พบว่าความคลาดเคลื่อนกระจายอยู่รอบๆ ศูนย์อย่างไม่เป็นระเบียบ กล่าวคือ มีการกระจาย

ตัวอย่างอิสระต่อกัน ไม่มีแบบแผน (Pattern) แสดงให้เห็นว่าตัวแบบการถดถอยพหุคูณที่ได้นั้นเหมาะสมกับข้อมูล

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) และพิจารณาว่ามีปัจจัยใดหรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งกำหนดให้ความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ 95% ($\alpha = 0.05$)

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.051037	0.005671	25.52	0.001
Linear	3	0.003333	0.001111	5.00	0.058
L	1	0.000556	0.000556	2.50	0.175
I	1	0.000556	0.000556	2.50	0.175
K	1	0.002222	0.002222	10.00	0.025
Square	3	0.005481	0.001827	8.22	0.022
L*L	1	0.004103	0.004103	18.46	0.008
I*I	1	0.000000	0.000000	0.00	1.000
K*K	1	0.001026	0.001026	4.62	0.084
2-Way Interaction	3	0.042222	0.014074	63.33	0.000
L*I	1	0.004444	0.004444	20.00	0.007
L*K	1	0.010000	0.010000	45.00	0.001
I*K	1	0.027778	0.027778	125.00	0.000
Error	5	0.001111	0.000222		
Lack-of-Fit	3	0.001111	0.000370	*	*
Pure Error	2	0.000000	0.000000		
Total	14	0.052148			

รูปที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผล จำเป็นต้องใช้หลักการทดสอบสมมติฐาน ในการพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีความสำคัญทางนัยสำคัญ จากรูปที่ 4-2 พบว่าค่า P-Value ของเทอมกำลังสอง (Square) มีค่าเท่ากับ 0.022 และเทอมอันตรกิริยา (2-Way interaction) มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าเทอมกำลังสองและเทอมอันตรกิริยามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือมีส่วนโค้งที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวผลตอบสนอง สำหรับทำนายค่าอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน และสามารถแสดงเป็นสมการถดถอย (Regression equation) ได้ดังรูป 4-3

Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{DPU} = 1.625 - 5.469 L - 4.219 I - 4.063 K + 6.25 L*L + 0.00 I*I - 3.12 K*K + 6.25 L*I + 9.38 L*K + 15.62 I*K$$

รูปที่ 4-3 สมการถดถอยเต็มรูปแบบ

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0149071	97.87%	94.03%	65.91%

รูปที่ 4-4 สรุปผลภาพรวมการวิเคราะห์

จากรูปที่ 4-4 แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่อธิบายถึงความเหมาะสมของสมการถดถอย อยู่ที่ 97.87% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2_{adj}) อยู่ที่ 94.03% แสดงให้เห็นว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี หมายความว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ยังมีค่ามาก หมายความว่าตัวแบบสามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตมาก

จากผลการวิเคราะห์การถดถอย ดังรูปที่ 4-5 พบว่ามีสมการบางพจน์ที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 นั้นแสดงถึงว่าพจน์นั้นไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยขึ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงทำการลดรูปสมการถดถอย โดยการตัดพจน์กลุ่มดังกล่าวออกและคำนวณสมการถดถอยใหม่ ได้ดังรูปที่ 4-6

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.13333	0.00861	15.49	0.000	
L	0.00833	0.00527	1.58	0.175	1.00
I	0.00833	0.00527	1.58	0.175	1.00
K	-0.01667	0.00527	-3.16	0.025	1.00
L*L	0.03333	0.00776	4.30	0.008	1.01
I*I	0.00000	0.00776	0.00	1.000	1.01
K*K	-0.01667	0.00776	-2.15	0.084	1.01
L*I	0.03333	0.00745	4.47	0.007	1.00
L*K	0.05000	0.00745	6.71	0.001	1.00
I*K	0.08333	0.00745	11.18	0.000	1.00

รูปที่ 4-5 ผลการวิเคราะห์เชิงถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง

Regression Equation in Coded Units

$$DPU = 0.2321 - 0.0313 K + 0.0647 L^*L + 0.0625 L^*I + 0.0938 L^*K + 0.1563 I^*K$$

รูปที่ 4-6 สมการถดถอย หลังทำการลดรูป

หลังจากนั้นจึงทำการประเมินความถูกต้องของสมการถดถอย โดยทำการเปรียบเทียบสมการเต็มรูปแบบกับสมการที่ลดรูปแล้ว พบว่าสมการแบบเต็มรูปแบบมีค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ของอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน อยู่ระหว่าง -0.0160 ถึง 0.1406 แต่สมการแบบลดรูปมีค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ของอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน อยู่ระหว่าง -0.2369 ถึง 0.2513 และเมื่อคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของสมการถดถอย พบว่าสมการเต็มรูปแบบมีความแม่นยำอยู่ที่ 95% ส่วนสมการแบบลดรูปมีความแม่นยำอยู่ที่ 76% ดังตารางที่ 4-2 และ 4-3

ตารางที่ 4-2 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองและความแม่นยำของสมการเต็มรูปแบบ

การทดลองที่	DPU (การทดลอง)	DPU (พยากรณ์)	ส่วนตกค้าง	ความแม่นยำ
1	0.1250	0.1407	-0.0157	1.11
2	0.3750	0.2498	0.1252	0.50
3	0.1250	0.1092	0.0158	0.86
4	0.0000	0.016	-0.0160	2.00
5	0.2500	0.2343	0.0157	0.93
6	0.5000	0.4062	0.0938	0.77
7	0.3750	0.2502	0.1248	0.50
8	0.3750	0.3905	-0.0155	1.04
9	0.3750	0.3597	0.0153	0.96
10	0.5000	0.3594	0.1406	0.61
11	0.2500	0.25	0.0000	1.00
12	0.2500	0.25	0.0000	1.00
13	0.3750	0.3438	0.0312	0.91
14	0.2500	0.25	0.0000	1.00
15	0.3750	0.3906	-0.0156	1.04
เฉลี่ย				0.95

ตารางที่ 4-3 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองและความแม่นยำของสมการลดรูป

การทดลองที่	DPU (การทดลอง)	DPU (พยากรณ์)	ส่วนตกค้าง	ความแม่นยำ
1	0.1250	0.2368	-0.1118	1.47
2	0.3750	0.2396	0.1354	0.43
3	0.1250	0.2419	-0.1169	1.48
4	0.0000	0.2369	-0.2369	2.00
5	0.2500	0.2445	0.0055	0.98
6	0.5000	0.2523	0.2477	0.02
7	0.3750	0.2423	0.1327	0.45
8	0.3750	0.2349	0.1401	0.40
9	0.3750	0.2501	0.1249	0.50
10	0.5000	0.2487	0.2513	-0.01
11	0.2500	0.2409	0.0091	0.96
12	0.2500	0.2409	0.0091	0.96
13	0.3750	0.2321	0.1429	0.38
14	0.2500	0.2409	0.0091	0.96
15	0.3750	0.2362	0.1388	0.41
เฉลี่ย				0.76

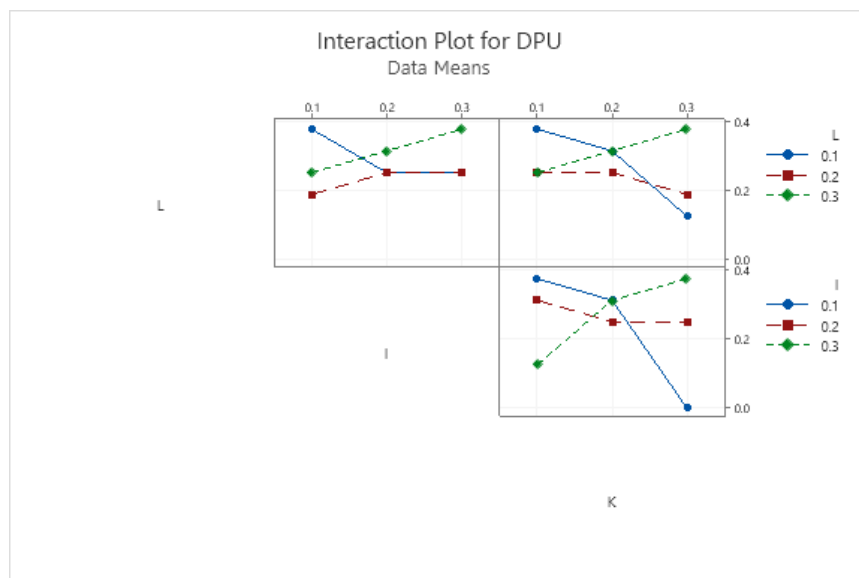
เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้างจากการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองโดยใช้สมการเต็มรูปแบบและสมการลดรูป พบว่าสมการเต็มรูปแบบมีค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้างน้อยกว่าสมการแบบลดรูป แสดงว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบมีความถูกต้องมากกว่าสมการแบบลดรูป นอกจากนี้ในการตั้งค่าปัจจัยจริงในกระบวนการผลิตมีความจำเป็นต้องปรับตั้งปัจจัยแต่ละตัว ไม่สามารถปรับจากพจน์กำลังสองหรือพจน์อันตรกิริยาได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

4.2.1 วิเคราะห์และอภิปรายผลของอิทธิพลร่วม

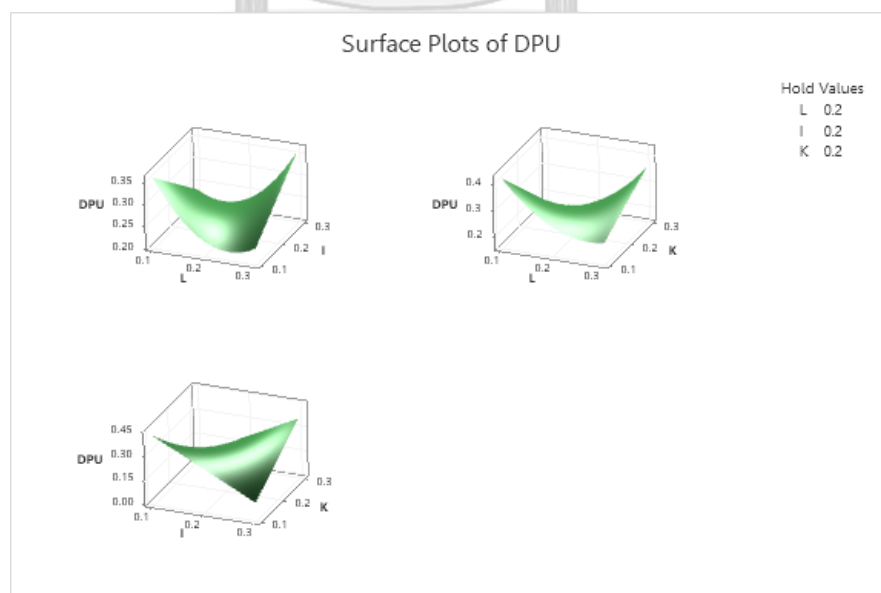
โดยเริ่มพิจารณาอิทธิพลร่วมก่อน เนื่องจากอิทธิพลร่วมอาจบ่งชี้ความเป็นอิทธิพลหลัก จากรูปที่ 4-7 อิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน จึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัยอย่างละเอียดที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ

หนึ่งหน่วยชิ้นงาน โดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง ซึ่งสามารถจำแนกอิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัยได้ทั้งหมด 3 คู่ ดังนี้

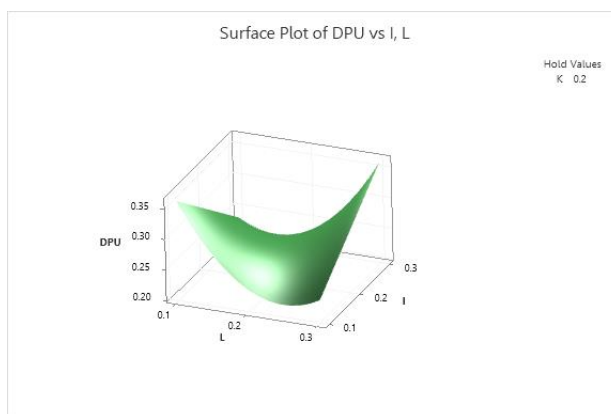
1. ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L)
2. ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K)
3. ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K)



รูปที่ 4-7 อิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน



รูปที่ 4-8 ภาพพื้นผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัย



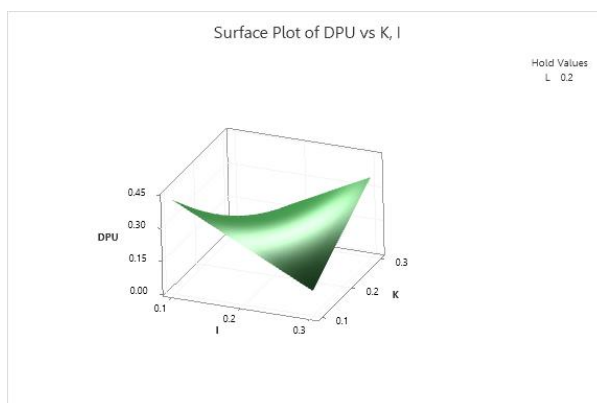
รูปที่ 4-9 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองคู่ที่ 1 ระหว่างปัจจัย I และ ปัจจัย L

วิเคราะห์ผลการทดลอง :

- เมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) ที่ 0.1 วินาที และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ลดลงจากเดิมไป 0.09 (จาก 0.29 เป็น 0.20)
- เมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) ที่ 0.2 วินาที และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ลดลงจากเดิมไป 0.02 (จาก 0.25 เป็น 0.23)
- เมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) ที่ 0.3 วินาที และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) เพิ่มขึ้นจากเดิมไป 0.14 (จาก 0.21 เป็น 0.35)

วิจารณ์ผลการทดลอง :

ในการเปลี่ยนระดับของระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) ถ้าระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) อยู่ในระดับ 0.3 วินาที จะให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) สูงกว่าระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) ระดับ 0.1 วินาที เนื่องจากเมื่อระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วนาน จะทำให้เส้นลวดตะกั่วเกิดการหลอมละลายมากกว่า เมื่อปรับระดับระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) จาก 0.1 วินาที เป็น 0.3 วินาที จะทำให้เกิดการป้อนเส้นลวดตะกั่วในปริมาณมากกว่า เพราะฉะนั้นเส้นลวดตะกั่วจะหลอมละลายมากกว่า ส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) สูงมากเช่นกัน



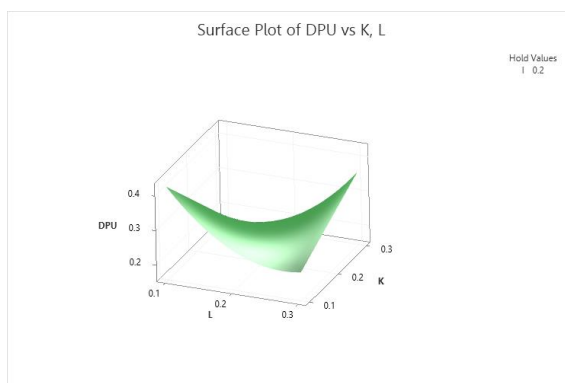
รูปที่ 4-10 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองคู่ที่ 2 ระหว่างปัจจัย I และ ปัจจัย K

วิเคราะห์ผลการทดลอง :

- เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.1 วินาที และ ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ลดลงจากเดิมไป 0.37 (จาก 0.43 เป็น 0.06)
- เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.2 วินาที และ ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ลดลงจากเดิมไป 0.05 (จาก 0.18 เป็น 0.13)
- เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.3 วินาที และ ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) เพิ่มขึ้นจากเดิมไป 0.18 (จาก 0.14 เป็น 0.32)

วิจารณ์ผลการทดลอง :

ในการเปลี่ยนระดับของระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) อยู่ในระดับ 0.3 วินาที จะให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ต่ำกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ระดับ 0.1 วินาที เนื่องจากระยะเวลาในการบัดกรีนาน จะทำให้เกิดการป้อนเส้นลวดตะกั่วในปริมาณเพียงพอที่ใช้ในการครอบคลุมขาของสายไฟ แต่เมื่อปรับระดับระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) จาก 0.1 วินาที เป็น 0.3 วินาที จะทำให้เกิดการให้ความร้อนในระยะเวลาอันยาวนานมากขึ้น เพราะฉะนั้นเส้นลวดตะกั่วจะหลอมละลายมากกว่า ส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) สูงมากเช่นกัน



รูปที่ 4-11 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองคู่ที่ 3 ระหว่างปัจจัย L และ ปัจจัย K

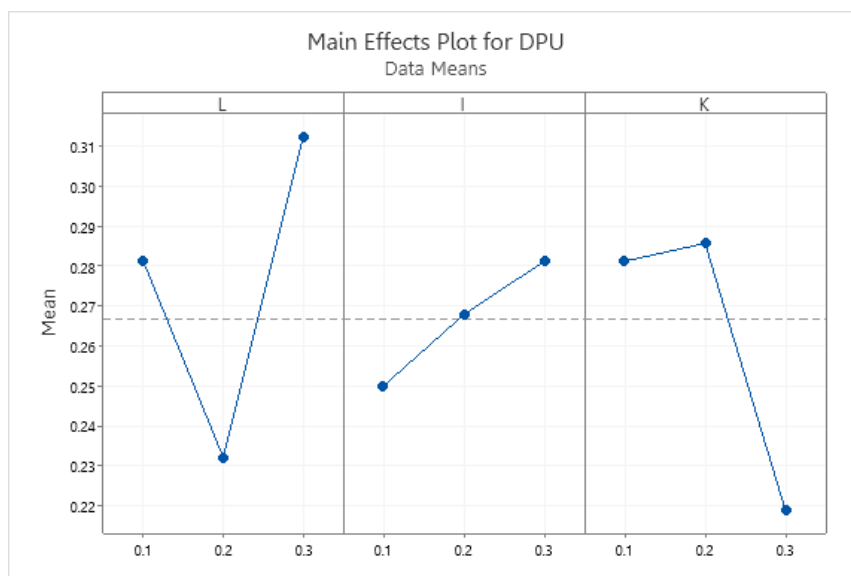
วิเคราะห์ผลการทดลอง :

- เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.1 วินาที และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ลดลงจากเดิมไป 0.25 (จาก 0.39 เป็น 0.14)
- เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.2 วินาที และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) เพิ่มขึ้นจากเดิมไป 0.04 (จาก 0.21 เป็น 0.25)
- เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ที่ 0.3 วินาที และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) เปลี่ยนแปลงจาก 0.1 วินาทีเป็น 0.3 วินาที จะส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) เพิ่มขึ้นจากเดิมไป 0.17 (จาก 0.19 เป็น 0.36)

วิจารณ์ผลการทดลอง :

ในการเปลี่ยนระดับของระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) อยู่ในระดับ 0.3 วินาที จะให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) ต่ำกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) ระดับ 0.1 วินาที เนื่องจากระยะเวลาในการบัดกรีนาน จะทำให้เกิดการป้อนเส้นลวดตะกั่วในปริมาณเพียงพอที่ใช้ในการครอบคลุมขาของสายไฟ แต่เมื่อปรับระดับระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) จาก 0.1 วินาที เป็น 0.3 วินาที จะทำให้เกิดการป้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรีมากขึ้น เพราะฉะนั้นปริมาณเส้นลวดตะกั่วจะมาก และจะหลอมละลายมาก ส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU) สูงมากขึ้น

4.2.2 วิเคราะห์และอภิปรายผลของอิทธิพลหลัก



รูปที่ 4-12 อิทธิพลหลัก 3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน

จากรูปที่ 4-12 สำหรับอิทธิพลหลักทั้ง 3 ปัจจัย สามารถอภิปรายผล ได้ดังนี้

1. ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I)

การให้ความร้อนแก่เส้นลวดตะกั่วก่อนเริ่มการบัดกรี เพื่อเป็นการทดสอบว่าหัวแร้งมีความพร้อมสำหรับการใช้งานหรือไม่ ทำให้ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรีในระดับต่ำ (0.1 วินาที) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากหากใช้ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรีระดับกลาง (0.2 วินาที) หรือระดับสูง (0.3 วินาที) จะทำให้มีการป้อนเส้นลวดตะกั่วมาก และเกิดการหลอมละลาย ทำให้เส้นลวดตะกั่วมีการสะสมและติดค้างบริเวณปลายหัวแร้ง ส่งผลต่อปริมาณของเส้นลวดตะกั่วที่มากเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป

2. ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L)

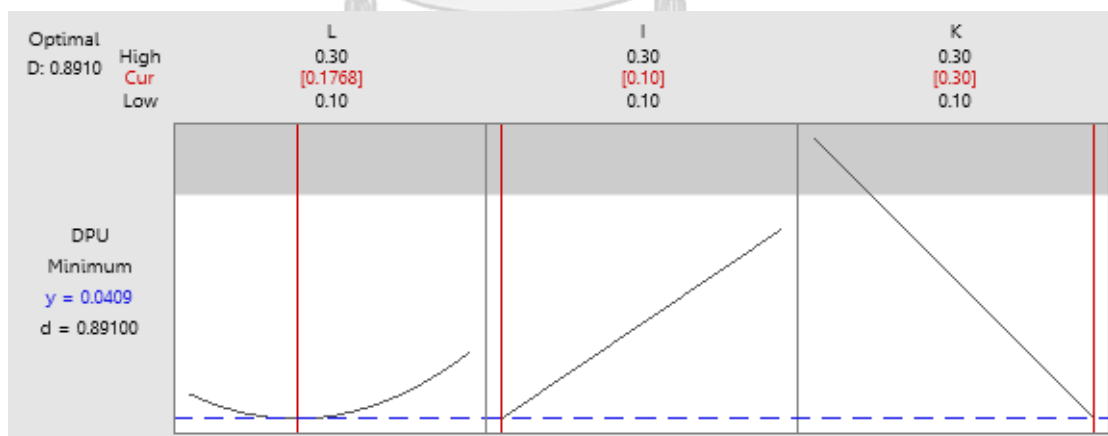
การให้ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วในระดับต่ำ (0.1 วินาที) จะทำให้การป้อนเส้นลวดตะกั่วได้ปริมาณที่ไม่เพียงพอ ที่จะใช้ในการครอบคลุมขาของสายไฟทั้งหมด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีน้อยเกินไป และในทางกลับกันหากให้ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วในระดับสูง (0.3 วินาที) จะทำให้มีการป้อนเส้นลวดตะกั่วออกมาในปริมาณที่มากเกินไป และทำให้เส้นลวดตะกั่วหลอมละลายล้นออกนอกปลายวงจรถูกกำหนด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป จึงทำให้ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่วในระดับกลาง (0.2 วินาที) มีความเหมาะสมที่สุด

3. ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K)

การให้ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีในระดับต่ำ (0.1 วินาที) และระดับกลาง (0.2 วินาที) จะทำให้การป้อนเส้นลวดตะกั่วได้ปริมาณที่ไม่เพียงพอ ที่จะใช้ในการครอบคลุมขาของสายไฟทั้งหมด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องบัดกรีน้อยเกินไป และในทางกลับกันหากให้ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีในระดับสูง (0.3 วินาที) จะทำให้การป้อนเส้นลวดตะกั่วมีปริมาณเพียงพอที่จะใช้ในการครอบคลุมขาของสายไฟทั้งหมด จึงมีความเหมาะสมที่สุด

4.3 บทสรุปของผลการทดลอง

หลังจากทำการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการทดลองแล้ว สามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลหลักทั้ง 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน ซึ่งอิทธิพลร่วมแต่ละคู่ของปัจจัยทั้งหมด 3 คู่ คือ ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) * ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) , ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) * ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) และ ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) * ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) มีนัยสำคัญต่อปัจจัยร่วม จึงทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งพารามิเตอร์เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ คือ สัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานที่ต่ำที่สุด จะได้ผลการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุด

จากรูปที่ 4-13 จะได้สถานะที่เหมาะสมที่ทำให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0409 เมื่อพิจารณาที่ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์แต่ละตัวกับอัตราการเกิด

ข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองถือว่ามีความเหมาะสมที่จะทำให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานมีค่าต่ำที่สุด ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุด

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ	หน่วย
ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี	(I)	0.1	วินาที
ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว	(L)	0.2	วินาที
ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี	(K)	0.3	วินาที

4.4 การติดตามผลหลังการปรับปรุง

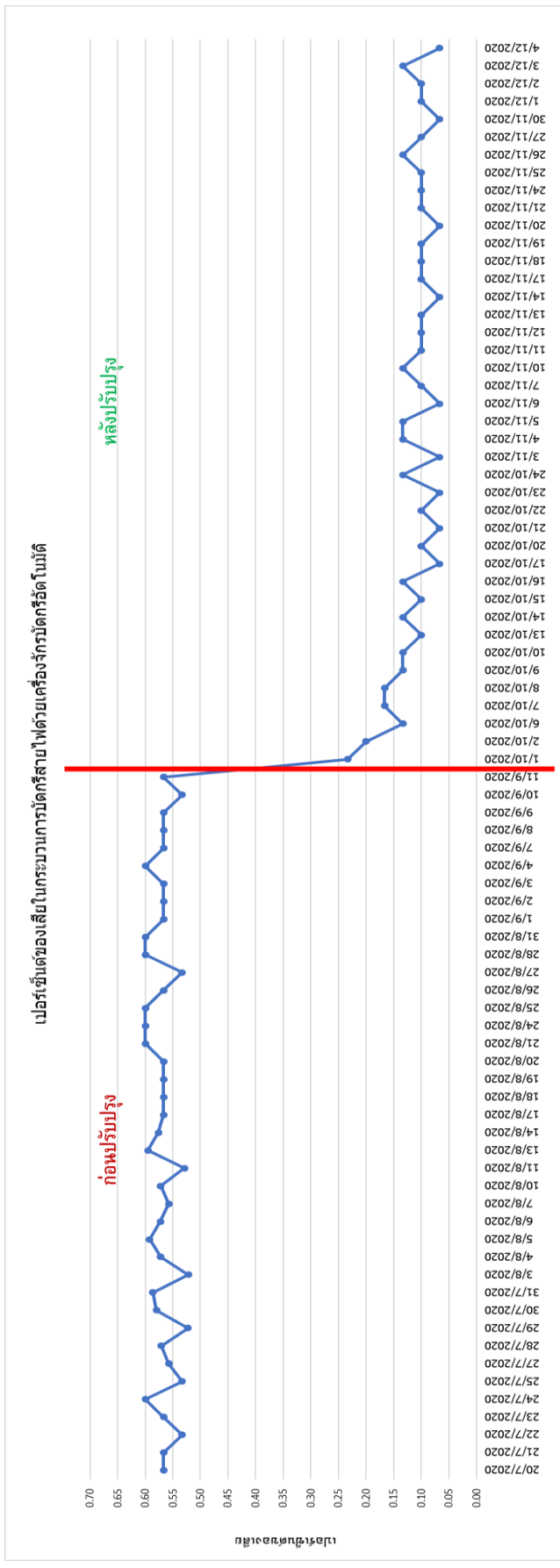
เมื่อทราบพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้สำหรับกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ จึงนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปปรับตั้งค่าที่เครื่องจักร เพื่อทำการติดตามผลหลังการปรับปรุง โดยทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 2 เดือน ดังรูปที่ 4-14

หลังจากนั้นทำการสุ่มชิ้นงาน เพื่อคำนวณอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน หลังจากการปรับปรุง ได้ผลดังตารางที่ 4-5

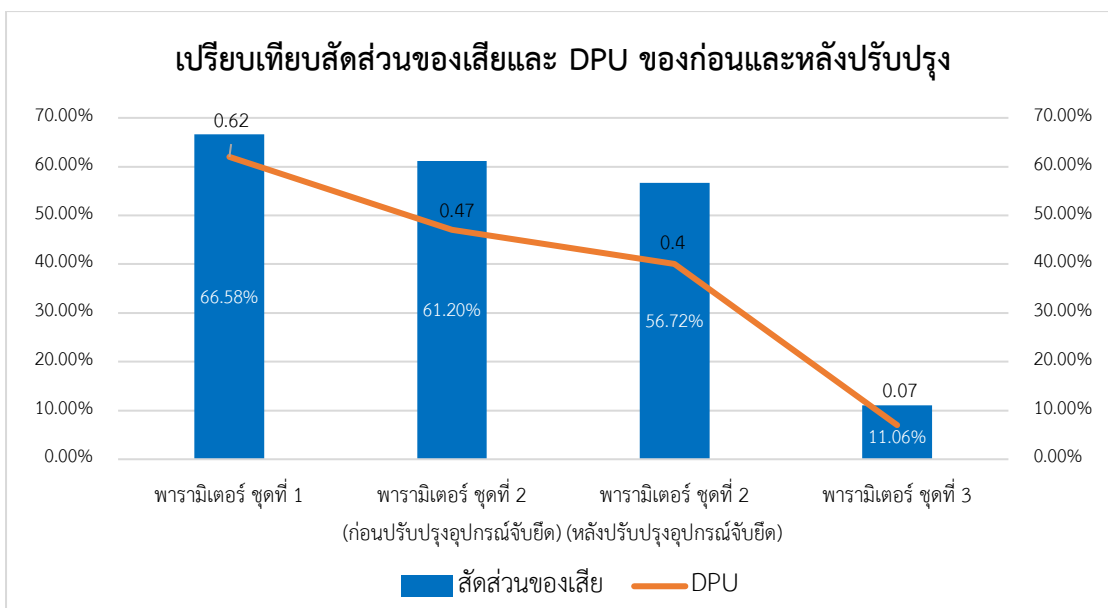
ตารางที่ 4-5 อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานหลังปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

พารามิเตอร์	จำนวน	ประเภทของข้อบกพร่อง				DPU
		บัดกรีเป็นสะเก็ด	บัดกรีมากเกินไป	บัดกรีไม่เต็ม	บัดกรีไม่หลอมละลาย	
พารามิเตอร์ ชุดที่ 3	60	2	2	0	0	0.07

จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุด จะได้สัดส่วนของเสียที่ลดลง ซึ่งสามารถสรุปผลการปรับปรุง ตั้งแต่การปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานและการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าหรือพารามิเตอร์ชุดที่ 3 ได้ดังรูปที่ 4-14 ซึ่งอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน มีความผันแปรตามสัดส่วนของเสีย กล่าวคือมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ดังรูปที่ 4-15



รูปที่ 4-14 สัดส่วนของเสียในกระบวนการบำบัดก๊าซสลายไฟด้วยเครื่องจักรรีดไขมันดี เดือนมีนาคม – ธันวาคม พ.ศ.2563

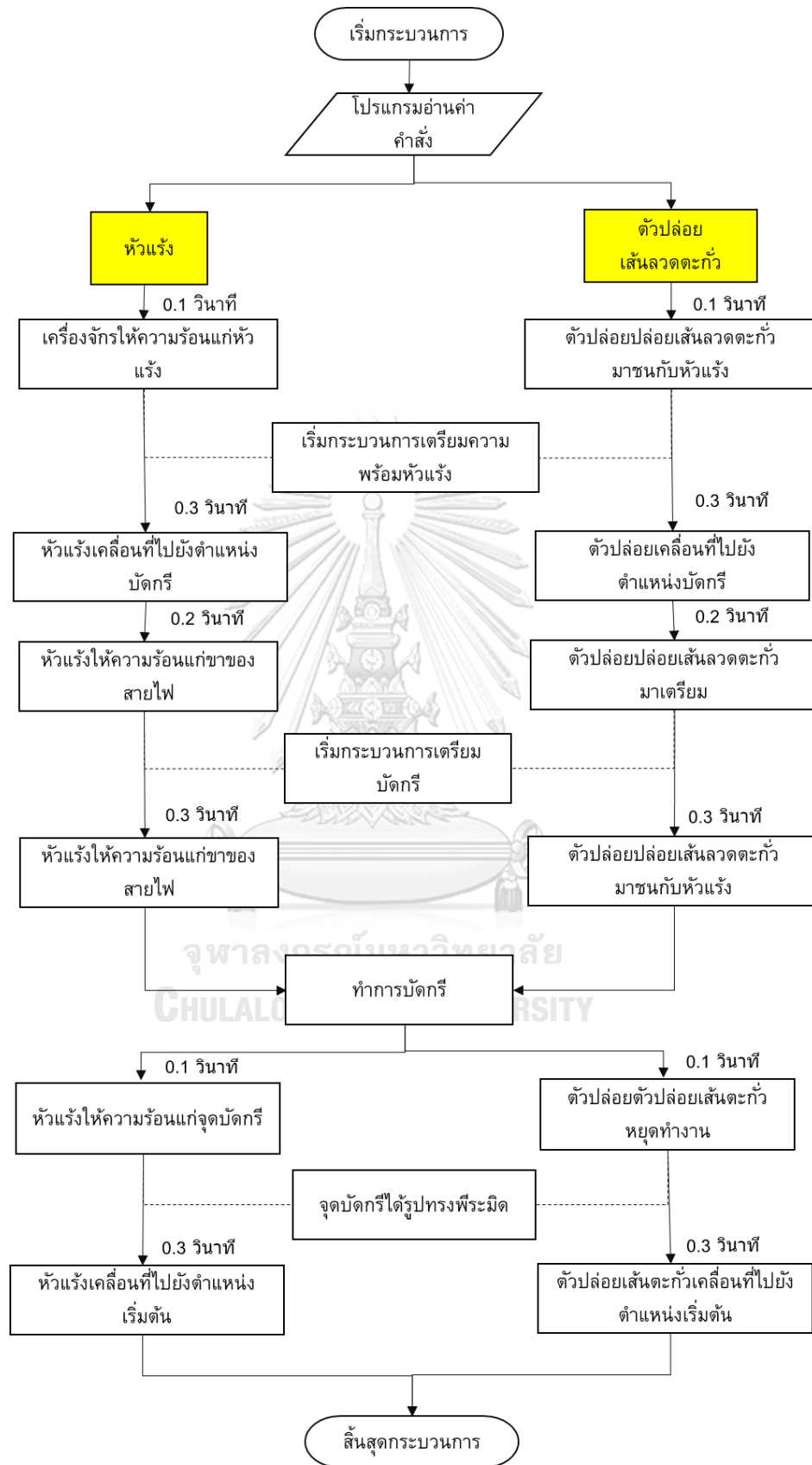


รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานก่อนและหลังปรับปรุง

โดยหลังจากทำการปรับปรุง โดยการกำหนดพารามิเตอร์ ชุดที่ 3 ทำให้สามารถลดรอบเวลาการผลิต (Cycle time) จากเดิม 18 วินาที/ชิ้น เป็น 13 วินาที/ชิ้น กล่าวคือสามารถเพิ่มอัตราการผลิตต่อชั่วโมง (Unit per Hour) จากเดิม 200 ชิ้น/ชั่วโมง เป็น 276 ชิ้น/ชั่วโมง หรือคิดอัตราการปรับปรุง เท่ากับ 27.56% ดังตารางที่ 4-6 และสามารถสรุปเป็นกระบวนการไหลและระยะเวลาทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติ ได้ดังรูปที่ 4-16

ตารางที่ 4-6 เปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติก่อนและหลังปรับปรุง

ปัจจัยการทำงาน of เครื่องจักรอัตโนมัติ	ระดับของปัจจัย (วินาที)	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี	0.4	0.1
ระยะเวลาที่หัวแร้งและตัวปล่อยเส้นลวดตะกั่วเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งบัดกรี	0.3	0.3
ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว	0.4	0.2
ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี	0.3	0.3
ระยะเวลาให้ความร้อนหลังการบัดกรี	0.1	0.1
ระยะเวลาที่หัวแร้งและตัวปล่อยเส้นลวดตะกั่วเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเริ่มต้น	0.3	0.3
รอบเวลาการผลิต	18.0	13.0



รูปที่ 4-16 กระบวนการไหลและระยะเวลาทำงานของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ

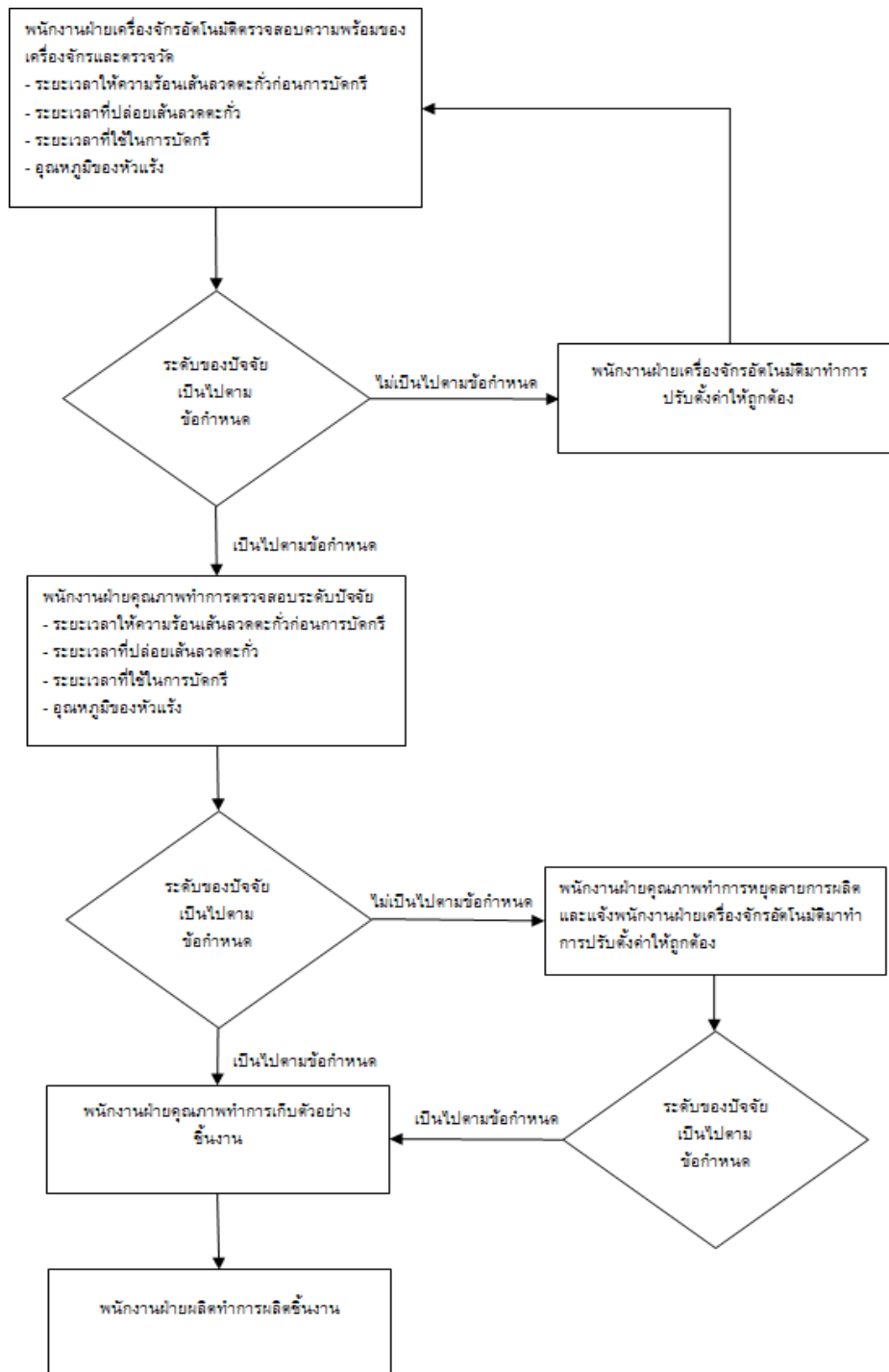
4.5 การควบคุมกระบวนการ

หลังจากที่ได้วิธีการปรับปรุงที่ให้ผลตามวัตถุประสงค์แล้ว จึงจัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานให้เป็นไปตามวิธีการที่ได้ปรับปรุง รวมทั้งจัดทำแผนควบคุมกระบวนการที่เหมาะสม โดยระบุถึงสิ่งที่จะต้องควบคุม เครื่องมือและวิธีการในการควบคุมกระบวนการที่เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลลัพธ์ที่ดีขึ้นหลังจากการปรับปรุงนั้นจะอยู่อย่างยั่งยืนต่อไป จากแผนการควบคุมดังตารางที่ 4-7 ได้ถูกเป็นข้อกำหนดในการปฏิบัติงาน โดยมีการตรวจสอบระดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักต่อการเกิดของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ ดังนั้นก่อนเริ่มทำการปฏิบัติงานจริง จะมีการเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรก่อนการผลิต โดยมีการวัดระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีและอุณหภูมิ ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักของกระบวนการบัดกรีสายไฟว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ หากไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจะต้องทำการปรับตั้งค่าให้ถูกต้องและในระหว่างสายการผลิต พนักงานฝ่ายคุณภาพจะต้องทำการตรวจเช็คระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรีและอุณหภูมิ ทุก 3 ชั่วโมง เพื่อเป็นการตรวจสอบ หากว่าค่าของระดับปัจจัยมีค่าอยู่นอกขอบเขตความคลาดเคลื่อนที่กำหนด พนักงานฝ่ายคุณภาพจะต้องทำการหยุดสายการผลิตและแจ้งให้พนักงานฝ่ายเครื่องจักรอัตโนมัติมาทำการปรับตั้งค่าให้ถูกต้องตามข้อกำหนดและทำการตรวจสอบอีกครั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงานในสายการผลิต โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงาน ดังรูป 4-17

ตารางที่ 4-7 แผนการควบคุมปัจจัยและระดับปัจจัย

ปัจจัย	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	เกณฑ์	ค่าความคลาดเคลื่อน	ความถี่	ข้อปฏิบัติ เมื่อออกนอกการควบคุม
ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี	เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์	12.00 mm.	+/- 0.2 mm.	ทุก 3 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง
ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว	เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์	22.00 mm.	+/- 0.2 mm.	ทุก 3 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง

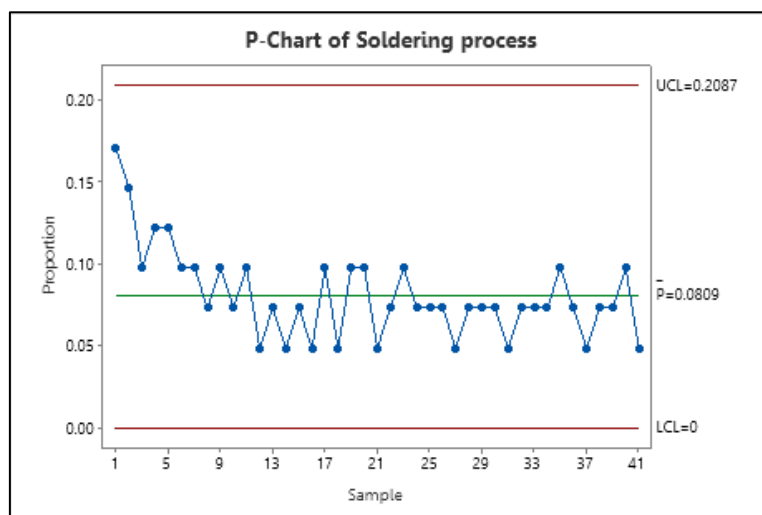
ปัจจัย	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	เกณฑ์	ค่าความคลาดเคลื่อน	ความถี่	ข้อปฏิบัติ เมื่อออกนอกการควบคุม
ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี	เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์	32.00 mm.	+/- 0.2 mm.	ทุก 3 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง
อุณหภูมิหัวแร้ง	เครื่องวัดอุณหภูมิหัวแร้ง	400°C	$\pm 10^{\circ}\text{C}$	ทุก 3 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง



รูปที่ 4-17 ขั้นตอนการปฏิบัติงานตามแผนการควบคุม

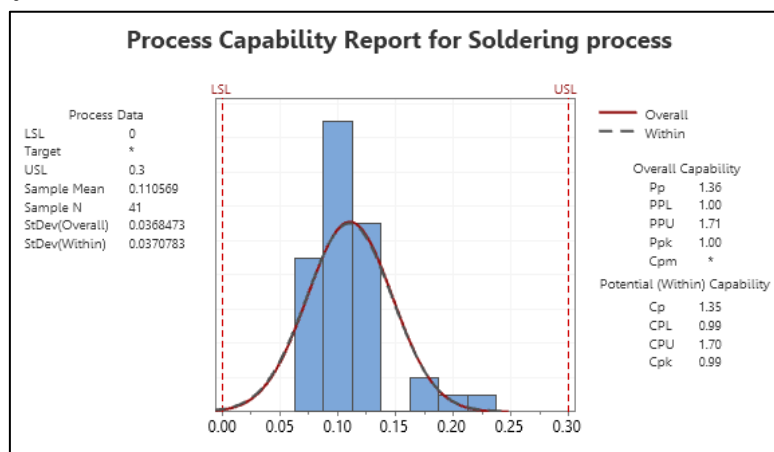
สำหรับการควบคุมกระบวนการให้สามารถผลิตชิ้นงานให้ได้สัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานที่ต่ำที่สุดในระยะยาว ได้นำแผนภูมิควบคุมมาประยุกต์ใช้ในการติดตามเฝ้าดูกระบวนการ โดยแผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุมขอบเขตบนและล่างเพื่อควบคุมค่าสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานไม่ให้สูงเกินของเขต

ควบคุมและสามารถตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกเส้นควบคุมและเป็นสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของกระบวนการ โดยหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการและติดตามควบคุมค่าสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน พบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยของเสีย เท่ากับ 0.0809 ดังรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-18 แผนภูมิควบคุม P-Chart ของกระบวนการบัดกรีสายไฟ

หลังจากนั้นจึงทำการยืนยันผลการปรับปรุงกระบวนการด้วยการพิจารณาความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ดัชนี C_p ที่แสดงศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น ให้ค่าอยู่ที่ 1.36 แต่ดัชนี C_{pk} ที่แสดงความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น ให้ค่าอยู่ที่ 0.99 สามารถตีความได้ว่าหาก C_p มีค่ามากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด ซึ่งมักนิยมใช้ค่าเท่ากับ 1.33 แต่ C_{pk} มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงถึงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ในระดับดี แต่กระบวนการยังมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่บ้างในระดับพอใช้ ดังรูปที่ 4-19



รูปที่ 4-19 ความสามารถกระบวนการบัดกรีสายไฟหลังการปรับปรุง

4.6 พยากรณ์มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

จำนวนของเสียที่พบสามารถนำมาคำนวณมูลค่าความสูญเสียได้ เพื่อหามูลค่าที่สามารถลดลงได้หลังจากทำการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ โดยสามารถคำนวณมูลค่าได้จากชั่วโมงในการทำการซ่อมแซมชิ้นงาน ดังสมการที่ 4.1

$$\text{มูลค่าความสูญเสีย} = \text{เวลาซ่อมแซมงาน (ชั่วโมง)} \times \text{ค่าแรงของพนักงานต่อชั่วโมง (บาท)} \quad (4.1)$$

ซึ่งโรงงานกรณีศึกษา มีอัตราค่าแรงในการจ้างพนักงานอยู่ที่ 15,000 บาทต่อเดือน(รวมการทำงานล่วงเวลา) และชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 10 ชั่วโมงต่อวัน(รวมการทำงานล่วงเวลา) ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าแรงในการจัดจ้างพนักงานอยู่ที่ 60 บาทต่อชั่วโมง

โดยทำการคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการพยากรณ์ยอดการสั่งซื้อที่จะเกิดขึ้นใน 6 เดือนแรกของปี พ.ศ.2564 ของกระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติ พบว่าก่อนการปรับปรุง มีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 0.67% กล่าวคือจะมีจำนวนของเสียที่คาดว่าจะเกิดอยู่ที่ 393,888 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเงินค่าแรงที่ต้องจัดจ้างพนักงานมาทำการซ่อมแซมชิ้นงาน เท่ากับ 59,680 บาท ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 พยากรณ์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟก่อนการปรับปรุง

เดือน	ยอดการสั่งซื้อ	จำนวนของเสีย คาดว่าจะเกิด (ชิ้น)	เวลาในการ ซ่อมแซมงาน (ชั่วโมง)	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)
มกราคม พ.ศ.2564	80,000	52,800	133.33	8,000
กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564	96,000	63,360	160.00	9,600
มีนาคม พ.ศ.2564	98,800	65,208	164.67	9,880
เมษายน พ.ศ.2564	100,000	66,000	166.67	10,000
พฤษภาคม พ.ศ.2564	100,000	66,000	166.67	10,000
มิถุนายน พ.ศ.2564	122,000	80,520	203.33	12,200
รวมทั้งสิ้น	596,800	393,888	994.67	59,680

ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการบัดกรีสายไฟ ทำการคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการพยากรณ์ยอดการสั่งซื้อที่จะเกิดขึ้นใน 6 เดือนแรกของปี พ.ศ.2564 ของกระบวนการ

บัตกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรบัตกรีอัตโนมัติ พบว่าหลังการปรับปรุง มีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 0.11% กล่าวคือจะมีจำนวนของเสียที่คาดว่าจะเกิดอยู่ที่ 65,648 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเงินค่าแรงที่ต้องจัดจ้างพนักงานมาทำการซ่อมแซมชิ้นงาน เท่ากับ 65,65 บาท ดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 พยากรณ์มูลค่าความสูญเสียในกระบวนการบัตกรีสายไฟหลังการปรับปรุง

เดือน	ยอดการสั่งซื้อ	จำนวนของเสีย คาดว่าจะเกิด (ชิ้น)	เวลาในการ ซ่อมแซมงาน (ชั่วโมง)	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)
มกราคม พ.ศ.2564	80,000	8,800	14.67	880
กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564	96,000	10,560	17.60	1,056
มีนาคม พ.ศ.2564	98,800	10,868	18.11	1,087
เมษายน พ.ศ.2564	100,000	11,000	18.33	1,100
พฤษภาคม พ.ศ.2564	100,000	11,000	18.33	1,100
มิถุนายน พ.ศ.2564	122,000	13,420	22.37	1,342
รวมทั้งสิ้น	596,800	65,648	109	6,565

เพราะฉะนั้นสามารถสรุปผลได้ว่าจำนวนของเสียที่สามารถลดลงไปได้อยู่ที่ 328,240 ชิ้น และลดเวลาในการซ่อมแซมงานลง 547 ชั่วโมง คิดเป็นมูลค่าค่าแรงที่ต้องจัดจ้างพนักงานในการซ่อมแซมงานที่ อยู่ที่ 32,824 บาท หรือสามารถลดค่าใช้จ่ายลงประมาณ 88% ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 สรุปมูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดลงหลังการปรับปรุง

	ยอดการสั่งซื้อ	จำนวนของเสีย คาดว่าจะเกิด (ชิ้น)	เวลาในการ ซ่อมแซมงาน (ชั่วโมง)	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)
ก่อนการปรับปรุง	596,800	393,888	994.67	59,680
หลังการปรับปรุง	596,800	65,648	109	6,565
ส่วนต่าง	-	328,240	547	32,824

บทที่ 5

บทสรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ซิกัส ชิกมา เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการตัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรตัดกรีอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดกรีสายไฟ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีสัดส่วนของเสียสูงที่สุดเมื่อเทียบกับของเสียในกระบวนการอื่นๆ โดยสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น มีสาเหตุมาจากอุปกรณ์จับยึดสายไฟไม่ได้มาตรฐานและระดับปัจจัยของเครื่องจักรตัดกรีอัตโนมัติไม่เหมาะสม

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในตอนต้นของการใช้เครื่องจักรตัดกรีอัตโนมัติ มีการกำหนดพารามิเตอร์ชุดที่ 1 ตามใบคู่มือการทำงานเบื้องต้น โดยกำหนดให้ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการตัดกรี 0.4 วินาที ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว 0.4 วินาที และ ระยะเวลาที่ใช้ในการตัดกรี 0.3 วินาที พบว่าสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานอยู่ที่ 66.58% และ 0.62 ตามลำดับ จากนั้นฝ่ายเครื่องจักรอัตโนมัติได้ทำการทดลองแบบสุ่มปรับพารามิเตอร์ชุดที่ 2 โดยกำหนดให้ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการตัดกรี 0.2 วินาที ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว 0.3 วินาที และ ระยะเวลาที่ใช้ในการตัดกรี 0.3 วินาที พบสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานลดลงอยู่ที่ 61.21% และ 0.47 ตามลำดับ แต่พบว่ายังคงเป็นสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานที่ค่อนข้างสูง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา พบว่าสาเหตุเกิดจากอุปกรณ์จับยึดสายไฟไม่ได้มาตรฐาน และระดับปัจจัยของเครื่องจักรตัดกรีอัตโนมัติไม่เหมาะสม ตามลำดับ จึงได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ โดยการเพิ่มตัวล๊อคสายไฟ เพื่อไม่ให้สายไฟเกิดการเอนเอียงขณะเครื่องจักรทำการตัดกรีสายไฟ พบว่าสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานลดลงอยู่ที่ 56.72% และ 0.40 ตามลำดับ ภายหลังการทดลองผู้วิจัยจึงทำการออกแบบเพื่อกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานคือ ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการตัดกรี(I) ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว(L) ระยะเวลาที่ใช้ในการตัดกรี(K) จึงทำการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนท์เคนด้วยผลการทดลอง 15 การทดลอง และหาค่าของระดับปัจจัยที่

เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จึงได้พารามิเตอร์ชุดที่ 3 โดยกำหนดให้ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี 0.1 วินาที ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว 0.2 วินาที และระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี 0.3 วินาที เป็นค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย พบว่าสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานอยู่ที่ 11.06% และ 0.07 ตามลำดับ และได้แบบจำลองสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสัดส่วนของเสียและอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน ดังนี้

$$DPU = 1.625 - 5.469I - 4.219I - 4.063K + 6.25L^2 + 0.000I^2 - 3.12K^2 + 6.25L*I + 9.38L*K + 15.62I*K$$

ซึ่งอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงานล้วนส่งผลโดยตรงต่อสัดส่วนของเสียเช่นกัน เนื่องจากเงื่อนไขในการเลือกพิจารณาพารามิเตอร์อันดับที่หนึ่ง คือชิ้นงานจะต้องเป็นงานดี กล่าวคือ ไม่เกิดข้อบกพร่องบัดกรีมากเกินไป ก่อนที่จะพิจารณาอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่ผลิตภัณฑ์ รุ่น ADP-36XX AA เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆได้โดยตรง เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นอาจมีการใช้วัสดุสายไฟและอุณหภูมิของหัวแร้งที่แตกต่างกัน จำเป็นจะต้องทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนซ้า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้
2. ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักทั้งหมด 3 ปัจจัย ส่วนปัจจัยอื่นๆที่ผู้วิจัยได้กำหนดหรือจำกัดไว้ให้เป็นเพียงพารามิเตอร์ที่ต้องพิถีพิถัน เนื่องจากเป็นการออกแบบไว้ตั้งแต่ในช่วงของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ทางฝ่ายคั่นคว้าและพัฒนาได้กำหนดไว้ ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของหัวแร้งที่พิถีพิถันไว้ เนื่องจากในการออกแบบจะคำนึงถึงสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงความร้อนของวัสดุมาแล้ว หากไปทำการปรับค่าอุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพในด้านอื่น
3. เนื่องจากขั้นตอนการปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมเกี่ยวข้องโดยตรงกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ดังนั้นจะต้องตรวจสอบถึงความพร้อมและสภาพการทำงานของเครื่องจักรอยู่เสมอ เพราะอาจเกิดปัญหาความแม่นยำของการปล่อยเส้นลวดตะกั่วและส่งผลกระทบต่อปริมาณของตะกั่วที่ใช้ในการบัดกรี

ภาคผนวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ข้อมูลผลการทดลอง

- ตารางที่ ก.1 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 1
- ตารางที่ ก.2 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 2
- ตารางที่ ก.3 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 3
- ตารางที่ ก.4 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 4
- ตารางที่ ก.5 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 5
- ตารางที่ ก.6 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 6
- ตารางที่ ก.7 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 7
- ตารางที่ ก.8 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 8
- ตารางที่ ก.9 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 9
- ตารางที่ ก.10 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 10
- ตารางที่ ก.11 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 11
- ตารางที่ ก.12 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 12
- ตารางที่ ก.13 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 13
- ตารางที่ ก.14 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 14
- ตารางที่ ก.15 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 15

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 1

ลำดับมาตรฐานที่ 11

ลำดับการทดลองที่ 1

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.3 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.125 หรือคิดเป็น 12.50%

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 2

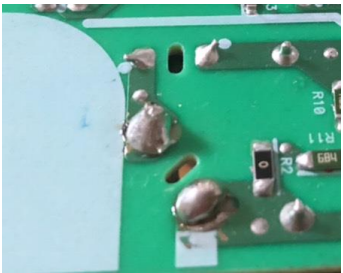
ลำดับมาตรฐานที่ 2

ลำดับการทดลองที่ 2

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.3 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีน้อย เกินไป 1 จุด และบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.250 หรือคิดเป็น 25.00%

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 3

ลำดับมาตรฐานที่ 6

ลำดับการทดลองที่ 3

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.3 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.1 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.125 หรือคิดเป็น 12.50%

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 4

ลำดับมาตรฐานที่ 7

ลำดับการทดลองที่ 4

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.3 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	ไม่พบข้อบกพร่อง	0.000 หรือคิดเป็น 0%

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 5

ลำดับมาตรฐานที่ 10

ลำดับการทดลองที่ 5

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.3 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.1 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 1 จุด	0.250 หรือคิดเป็น 25.00%

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 6

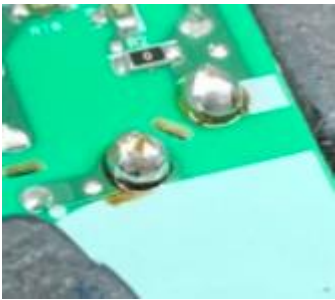
ลำดับมาตรฐานที่ 4

ลำดับการทดลองที่ 6

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.3 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.3 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 2 จุด และบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.375 หรือคิดเป็น 37.50%

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 7

ลำดับมาตรฐานที่ 4

ลำดับการทดลองที่ 7

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.3 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีน้อย เกินไป 1 จุด และบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.250 หรือคิดเป็น 25.00%

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 8


ลำดับมาตรฐานที่ 9

ลำดับการทดลองที่ 8

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.1 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่ง หน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 2 จุด และบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.375 หรือคิดเป็น 37.50%

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 9

ลำดับมาตรฐานที่ 12

ลำดับการทดลองที่ 9

ระดับของปัจจัย	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I)	0.2 วินาที
	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L)	0.3 วินาที
	ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K)	0.3 วินาที


รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีไม่ หลอมละลาย 1 จุด บัดกรี น้อยเกินไป 1 จุด และบัดกรี เป็นสะเก็ด 1 จุด	0.375 หรือคิดเป็น 37.50%

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 10

ลำดับมาตรฐานที่ 8

ลำดับการทดลองที่ 10

ระดับของปัจจัย	ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I)	0.3 วินาที
	ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L)	0.2 วินาที
	ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K)	0.3 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีไม่ หลอมละลาย 1 จุด บัดกรี มากเกินไป 1 จุด และบัดกรี เป็นสะเก็ด 1 จุด	0.375 หรือคิดเป็น 37.50%

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 11

ลำดับมาตรฐานที่ 13

ลำดับการทดลองที่ 11

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 2 จุด	0.250 หรือคิดเป็น 25.00%

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 12

ลำดับมาตรฐานที่ 15

ลำดับการทดลองที่ 12

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 2 จุด	0.250 หรือคิดเป็น 25.00%

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 13

ลำดับมาตรฐานที่ 1

ลำดับการทดลองที่ 13

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 2 จุด และบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.375 หรือคิดเป็น 37.50%

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 14


ลำดับมาตรฐานที่ 14

ลำดับการทดลองที่ 14

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.2 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	พบข้อบกพร่องบัดกรีมาก เกินไป 1 จุด และบัดกรีเป็น สะเก็ด 1 จุด	0.250 หรือคิดเป็น 25.00%

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลผลการทดลองของการทดลองที่ 15

ลำดับมาตรฐานที่ 5

ลำดับการทดลองที่ 15

ระดับของปัจจัย ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี (I) 0.1 วินาที

ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว (L) 0.2 วินาที

ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี (K) 0.1 วินาที

รูปภาพ	วิเคราะห์ผล	อัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อ หนึ่งหน่วยชิ้นงาน (DPU)
	<p>พบข้อบกพร่องบัดกรีไม่ หลอมละลาย 2 จุด และ บัดกรีเป็นสะเก็ด 1 จุด</p>	<p>0.375 หรือคิดเป็น 37.50%</p>

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 1

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 2 (ก่อนปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ)

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 2 (หลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ)

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 3



ตารางที่ ข.1 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 1

กำหนดให้ 0 คือ ไม่พบข้อบกพร่อง

1 คือ พบข้อบกพร่อง

ลำดับชิ้นงาน	บัคกริเป็นสะเก็ด	บัคกริมากเกินไป	บัคกริไม่เต็ม	บัคกริไม่หลอม ละลาย
1	0	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	1	0	0
5	0	0	0	0
6	1	1	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	1	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	1	0	0
13	0	1	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	1	1	0	0
17	0	0	0	0
18	0	1	0	0
19	0	0	0	0
20	0	1	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	1	0	0
24	1	1	0	0
25	0	1	0	0

ลำดับชิ้นงาน	บัตรที่เป็นสะเก็ด	บัตรริมมากเกินไป	บัตรที่ไม่เต็ม	บัตรที่ไม่หลอม ละลาย
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	1	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	1	1	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	1	0
34	0	1	0	0
35	0	1	0	0
36	0	1	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	1	1	0	0
41	0	0	0	0
42	1	1	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	1	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	1	1	0	0
53	0	0	0	0

ลำดับชิ้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
54	0	1	0	0
55	0	1	0	0
56	0	1	0	0
57	0	0	0	0
58	0	0	0	0
59	1	1	0	0
60	0	1	0	0
รวมทั้งหมด	9	26	2	0
DPU	37/60 = 0.616 หรือคิดเป็น 61.60%			

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 2 (ก่อนปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ)
กำหนดให้ 0 คือ ไม่พบข้อบกพร่อง

1 คือ พบข้อบกพร่อง

ลำดับชิ้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	1	0	0
6	1	1	0	0
7	0	0	0	1
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	1	0	0
11	0	0	0	1
12	0	1	0	0
13	0	1	0	0

ลำดับชั้นงาน	บัตรที่เป็นสะเก็ด	บัตรริมมากเกินไป	บัตรที่ไม่เต็ม	บัตรที่ไม่หลอม ละลาย
14	0	0	0	0
15	0	0	1	0
16	1	1	0	0
17	0	0	0	1
18	0	1	0	0
19	0	0	0	0
20	0	1	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	1	1	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	1
34	0	1	0	0
35	0	0	0	0
36	0	1	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	1	0	0
40	0	0	0	0
41	1	0	0	0

ลำดับชั้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	1	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	1	0	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0	0	0	0
53	0	0	0	0
54	1	1	0	0
55	0	0	0	0
56	0	0	0	0
57	0	1	0	0
58	0	0	1	0
59	0	0	0	0
60	0	0	0	0
รวมทั้งหมด	6	15	2	5
DPU	28/60 = 0.466 หรือคิดเป็น 46.60%			

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 2 (หลังปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดสายไฟ)
กำหนดให้ 0 คือ ไม่พบข้อบกพร่อง

1 คือ พบข้อบกพร่อง

ลำดับชิ้นงาน	บัตกรีเป็นสะเก็ด	บัตกรีมากเกินไป	บัตกรีไม่เต็ม	บัตกรีไม่หลอม ละลาย
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	1	0	0
4	0	0	0	1
5	0	1	0	0
6	1	1	0	0
7	0	1	0	0
8	0	0	1	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	1
12	0	0	0	1
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	1	1	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	1	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	1	1	0	0
25	0	0	0	0

ลำดับชั้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	1	0	0
33	0	0	0	0
34	0	1	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	1
38	0	1	0	0
39	1	1	0	0
40	0	0	0	0
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	1	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	0	0	0	0
49	0	0	0	0
50	1	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0	0	0	0
53	0	0	0	0

ลำดับชั้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
54	0	0	0	0
55	0	0	0	0
56	0	0	0	0
57	0	0	0	0
58	0	0	0	0
59	1	1	0	0
60	0	0	0	0
รวมทั้งสิ้น	6	13	1	4
DPU	$24/60 = 0.40$ หรือคิดเป็น 40.00%			

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลประเภทข้อบกพร่องของพารามิเตอร์ชุดที่ 3

กำหนดให้ 0 คือ ไม่พบข้อบกพร่อง

1 คือ พบข้อบกพร่อง

ลำดับชั้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	1	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0

ลำดับชั้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	1	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	1	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0

ลำดับชั้นงาน	บัตรกรเป็นสะเก็ด	บัตรกรมากเกินไป	บัตรกรไม่เต็ม	บัตรกรไม่หลอม ละลาย
41	0	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	0	0	0
45	0	0	0	0
46	0	0	0	0
47	0	0	0	0
48	1	0	0	0
49	0	0	0	0
50	0	0	0	0
51	0	0	0	0
52	0	0	0	0
53	0	0	0	0
54	0	0	0	0
55	0	0	0	0
56	0	0	0	0
57	0	0	0	0
58	0	0	0	0
59	0	0	0	0
60	0	0	0	0
รวมทั้งสิ้น	2	2	0	0
DPU	4/60 = 0.07 หรือคิดเป็น 7.00%			

บรรณานุกรม

Antony, J., and Banuelas, R. (2002). Design for Six sigma.

Bisgaard , S., and Fuller , H. T. (1992). "Sample size Estimate for Two-Level Factorial Experiment with Binary Response." Center for Quality and Productivity Improvement 91.

Bisgaard , S., and Fuller , H. T. (1994). "Analysis of Factorial Experiment with defect or defective at the response." Center for Quality and Productivity Improvement 119.

Enrique Gonzalez-Davila, J. G. a. R. D.-G. (2008). "Sample size determination for 2^k-r experiments with a binomial response." Journal of Applied Statistics 35: 357-367.

Methods, N. S. e.-H. o. S. (2013). Summary tables of useful fractional factorial designs.

Montgomery, D. C. (2001). Desing and analysis of experiments, John Wiley and Sons
George Eckes.

กริ่งทิพย์ ศรีธรรม (2548). การวิเคราะห์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า และอุปกรณ์อัดประจุไฟฟ้า. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550). หลักการควบคุมคุณภาพ (Principal of Quality Control), สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

จิระวัฒน์ แต่งไทย (2553). การลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.

ฉลอง สีแก้วสีว (2552). Fractional Factorial designs.

นภัสสวงศ์ โรจนโวรณ (2554). การควบคุมคุณภาพ (Quality Control).

ปารเมศ ชูติมา (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ (2554). การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วรรณฤดี อินทนะนง (2558). การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดของเสียในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ศันสนีย์ พิสุทธิกุลกิจ (2557). การลดความโค้งงอของคอนแทกต์อิเล็กทรอนิกส์ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สมยศ ผ่องใส (2562). การลดข้อบกพร่องในงานตัดแปรงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้าที่มาจากการแจ้งข้อร้องเรียนหลังการใช้งานรถบรรทุกของลูกค้า. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- สายชล สีนสมบูรณ์ทอง (2558). การวางแผนแบบการทดลอง เล่ม 1 (Experimental designs 1), จามจุรีโปรดักส์.
- สิทธิกร เลิศอรียสกุล (2561). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการพิมพ์ได้แบบหมึกลงบนผลิตภัณฑ์กระป๋อง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- เสรี กุลปิยะ (2556). การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา ในการลดข้อบกพร่องจากการบินของผลิตภัณฑ์วงจรรวม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อัญธิชา พงษ์ไตรรัตน์ (2555). การลดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มบนงานบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นัทธมน ก่อเกียรติ
วัน เดือน ปี เกิด	27 พฤษภาคม 2539
สถานที่เกิด	สงขลา
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ที่อยู่ปัจจุบัน	64/60 ถ.นิพัทธ์สงเคราะห์1 ซ.8 ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY