

การปรับปรุงเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี

นางสาวนิรมล โนนคู่เขตโอง



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Improvement of an Auto Wire Feeder Machine in De-Solder Process

Miss Niramom Nonkhukhetkhong



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี
โดย	นางสาวนิรมล โนนคู่เขตโขง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉวีไชย)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)
.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ)

นิรมล โนนคู่เขตโฆง : การปรับปรุงเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (Improvement of an Auto Wire Feeder Machine in De-Solder Process) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ, หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีในชิ้นงานที่นำมาประกอบใหม่ กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดดีบุกบนชิ้นงาน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งของการที่มีปริมาณดีบุกเกินบนชุดหัวอ่านเขียน ของเสียที่เกิดจากการพบค่าปริมาณดีบุกบนชิ้นงานเกินมาตรฐานมีมากถึง 20% ซึ่งส่งผลให้เวลาและต้นทุนในการทำงานของกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงานเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์กระบวนการสาเหตุหลักในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ทำให้ปริมาณค่าดีบุกบนชิ้นงานสูงขึ้น ได้แก่ 1) เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติไม่สามารถผ่าลวดให้ได้ถึงจุดกึ่งกลางของน้ำยาประสาน 2) ขนาดและประเภทของหัวแร้งที่ทำหน้าที่ให้ความร้อนเพื่อเชื่อมลวดโลหะผสมบัดกรีไม่เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน 3) ไม่มีวิธีการทำงานมาตรฐานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีทำให้เกิดความผันแปรของผู้ปฏิบัติงาน งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการในการปรับเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีให้สามารถผ่าได้ถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสาน รวมถึงหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานที่ต้องเติมโลหะผสมบัดกรี นอกจากนั้นแล้วยังพัฒนาวิธีการที่เป็นมาตรฐานในการเติมโลหะผสมบัดกรีสำหรับพนักงานเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมการทำงาน หลังจากการปรับปรุงทั้งเครื่องจักร และกระบวนการทำให้ ปริมาณค่าดีบุกลดลงถึง 41% และช่วยลดเวลาการทำความสะอาดในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีได้โดยเฉลี่ย 6.7 วินาทีต่อชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5570920721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: AUTO WIRE FEEDER / FLUX / TIN / DE-SOLDER PROCESS / REWORK PROCESS

NIRAMON NONKHUKHETKHONG: Improvement of an Auto Wire Feeder Machine in De-Solder Process. ADVISOR: ASSOC. PROF. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, Ph.D., pp.

This thesis studies a methodology of a de-soldering process on rework units. A de-solder process is a process that generates Tin on the workpiece which is one of the major causes of over Tin on Head Stack Assembly (HSA). The defective rate due to over Tin is more than 20% which leads to increasing processing time and cost in a cleaning process. From process analysis, the major causes of high Tin in a de-solder process are 1) the machine cannot cut wire into a flux core area 2) sizes and types of soldering iron are not appropriate for a workpiece 3) no standard procedure in a de-soldering process which leads to workforce variations. This thesis proposes a methodology to adjust the auto wire feeder machine in a de-solder process in order to cut wires into flux core, also finds a proper tool for de-soldering units. Additionally, a new standard method for operators which easily to control is developed. We found that after process improvement and machine adjustment are implemented, Tin contamination was reduced by 41% and a cycle time of a de-solder cleaning process was reduced 6.7 seconds per workpiece on average.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและสละเวลาให้คำแนะนำ จากรองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำวิจัยจึงขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจินทร์มิไชย ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ กรรมการภายใน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็น ตลอดจนให้การสนับสนุนให้งานวิจัยเกิดขึ้นและสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้จัดการแผนกวิศวกรรมอุตสาหกรรม และผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุงและรักษาเครื่องจักรที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย วิศวกรผู้ดูแลกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ให้ข้อมูลและร่วมแสดงความคิดเห็น ตลอดจนเพื่อนร่วมงานที่มีส่วนช่วยและให้คำแนะนำในงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณะครูอาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้และการสนับสนุนการเรียนการสอน ทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและในที่ทำงานได้เป็นอย่างดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ผู้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด และอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวนามที่มีส่วนช่วยทำให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้เสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา.....	1
1.2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านเขียนในกระบวนการนำมาประกอบใหม่.....	3
1.3 สภาพของปัญหาและความสำคัญของปัญหา.....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย	16
1.5 ขอบเขตการทำงานวิจัย	16
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัย	16
1.7 สิ่งที่น่าสนใจ.....	17
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย.....	17
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.1 เครื่องมือคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545a).....	18
2.2 การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2542)	20
2.3 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม	22
2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012) ..	28
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	34

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน	34
3.2 กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี	35
3.3 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหา	38
บทที่ 4 รูปแบบการทดลองและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	51
4.1 เกณฑ์ในการทดสอบชิ้นงาน	51
4.2 การแก้ไขปัญหา	53
4.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง	65
บทที่ 5 ผลการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	67
5.1 ผลการดำเนินการทดลองของประเภทของลวด ขนาดของหัวแร้งและวิธีการเติมโลหะผสม บัดกรี.....	67
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	68
5.3 สรุปผลการวิเคราะห์การทดลอง.....	79
5.4 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี	79
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะ	87
6.1 การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา	87
6.2 การวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา	87
6.3 การทดลองและวิเคราะห์ผล	88
6.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย	91
6.5 ข้อเสนอแนะ	91
.....	92
รายการอ้างอิง	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	95

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 เวลาการทำงานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (ก่อนปรับปรุง)	14
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545).....	19
ตารางที่ 2.2 กรณิผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการออกแบบการทดลองแบบเต็ม	24
ตารางที่ 2.3 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012).....	25
ตารางที่ 2.4 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012).....	25
ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยกรณีเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ.....	26
ตารางที่ 2.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012).....	26
ตารางที่ 2.7 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012).....	27
ตารางที่ 2.8 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (-)และ(+) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012).....	27
ตารางที่ 2.9 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) เมื่อแทนด้วยรหัส 3-Level (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)	28
ตารางที่ 3.1 แนวทางการแก้ไขปัญหาค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง	42
ตารางที่ 3.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน	43
ตารางที่ 3.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานสูง	44
ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix)	46
ตารางที่ 3.5 สรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ.....	47
ตารางที่ 3.6 สัดส่วนและปริมาณของน้ำยาประสานจาก 2 บริษัท.....	48
ตารางที่ 4.1 สรุปค่าแต่ละตัวแปรและทฤษฎีจากการคำนวณ	54
ตารางที่ 4.2 ตารางเวลาเปรียบเทียบการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่อง	58
ตารางที่ 4.3 สัดส่วนข้อมูลลวดโลหะผสมบัดกรีของ 2 บริษัท	59
ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย.....	63

ตารางที่ 4.5 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปร ตอบสนอง.....	64
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง.....	67
ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง	79
ตารางที่ 5.3 สรุปการจัดอันดับของแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	85
ตารางที่ 5.4 แสดงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร.....	86
ตารางที่ 6.1 สถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี.....	89
ตารางที่ 6.2 ระยะเวลาการทำงานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีก่อนและหลังปรับปรุง	90
ตารางที่ 6.3 สรุปการปรับปรุงก่อนและหลังของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีของแต่ละตัว แปร.....	91



สารบัญรูปรูปภาพ

รูปที่ 1.1 ผลผลิตของแต่ละส่วนการผลิต (Babin 2005)(Babin, 2005)	1
รูปที่ 1.2 หัวอ่านเขียนที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (Babin, 2005)	2
รูปที่ 1.3 ชุดหัวอ่านเขียนที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (Babin, 2005)	2
รูปที่ 1.4 ฮาร์ดดิสไดรฟ์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (Babin, 2005).....	3
รูปที่ 1.5 ผังงานการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	4
รูปที่ 1.6 จำนวนงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ต่อวันต่อผลิตภัณฑ์	5
รูปที่ 1.7 อัตราส่วนปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่อยู่บนชิ้นงานของชุดหัวอ่านเขียน	6
รูปที่ 1.8 ค่าดีบุกในงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ของผลิตภัณฑ์ A	7
รูปที่ 1.9 แผนภาพการไหลของกระบวนการปริมาณดีบุกที่เกินปริมาณที่กำหนด	7
รูปที่ 1.10 แผนผังการไหลของกระบวนการนำมาประกอบใหม่ของชิ้นงานชุดหัวอ่านเขียน	8
รูปที่ 1.11 ผลของปริมาณค่าดีบุกที่พบในกระบวนการนำมาประกอบใหม่	9
รูปที่ 1.12 ผลปริมาณค่าดีบุกที่พบในกระบวนการหัวอ่านเขียนเสียหาย	10
รูปที่ 1.13 สถานีการเติมโลหะผสมบัดกรี	11
รูปที่ 1.14 ลักษณะของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ	11
รูปที่ 1.15 ลักษณะการผ่าลวดให้ถึงตำแหน่งน้ำยาประสาน 1/3 ถึง 2/3 ของลวดโลหะผสม บัดกรี	12
รูปที่ 1.16 ผลและตัวอย่างการผ่าจากเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในปัจจุบัน	13
รูปที่ 1.17 ผลความสูงของโลหะผสมบัดกรีของงานนำกลับมาใช้ใหม่บนกราฟแท่งแบบเฉพาะ (ก่อนปรับปรุง)	14
รูปที่ 1.18 กระบวนการบัดกรีของหัวอ่านเขียนบนแพตช์ซีซีซี (A) ด้วย (B) ทางแผ่นตะกั่ว	15
รูปที่ 2.1 แผนภูมิแกงปลา (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)	19
รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแพคทรอเรียล 2 ปัจจัย (ปารเมศ ชุตินา, 2545).....	23
รูปที่ 2.3 การออกแบบเชิงแพคทรอเรียล 2 ปัจจัยที่มีอัตรากรรม (ปารเมศ ชุตินา, 2545).....	23

รูปที่ 2.4 การทดลองของลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร (HAKKO Corporation, 2016)..... 32

รูปที่ 2.5 การทดลองของลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร (HAKKO Corporation, 2016).. 33

รูปที่ 2.6 ผลการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีด้วยร่องป้อนลวดที่ไม่ใช้ร่องวี (A) และ (B)
ผลการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีด้วยร่องป้อนลวดที่เป็นร่องวี..... 33

รูปที่ 3.1 กระบวนการล้างแบบจุ่มของหัวอ่านเขียน..... 35

รูปที่ 3.2 กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี..... 36

รูปที่ 3.3 ยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์ยึดชิ้นงาน..... 36

รูปที่ 3.4 การเอาหัวอ่านเขียนที่เสียออก..... 37

รูปที่ 3.5 การเติมโลหะผสมบัดกรี..... 37

รูปที่ 3.6 การทำความสะอาดชิ้นงานหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี..... 38

รูปที่ 3.7 แผนภาพก้างปลาของปัญหาปริมาณค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง..... 39

รูปที่ 3.8 แผนภาพก้างปลาสำหรับปัญหาปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน.. 40

รูปที่ 3.9 แผนภาพก้างปลาสำหรับปัญหาเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานสูง..... 41

รูปที่ 3.10 ระยะป้อนลวดที่ผ้าถึงจุดกึ่งกลางของน้ำยาประสาน..... 47

รูปที่ 3.11 ขนาดของหัวแร้งเมื่อทำการเติมบนชิ้นงานปัจจุบัน..... 48

รูปที่ 3.12 วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบัน..... 49

รูปที่ 4.1 ผลการวัดความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีเครื่องไมโครสโคปแบบดิจิทัล..... 51

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการตรวจสอบปริมาณค่าดีบุกจากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน..... 52

รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์การทำความสะอาดชิ้นงานหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี..... 53

รูปที่ 4.4 ข้อมูลตัวแปรในการคำนวณระยะห่างของใบมีดและร่องป้อนลวด..... 53

รูปที่ 4.5 ระยะก่อนและหลังการปรับระยะของแกนร่องป้อนลวด..... 56

รูปที่ 4.6 ระยะการผ่าลวดก่อนและหลังการปรับปรุง..... 56

รูปที่ 4.7 ผลการผ่าลวดก่อนและหลังปรับปรุงระยะห่างระหว่างใบมีดกับร่องป้อนลวด..... 57

รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าดิบและความสูงของโลหะผสมบัดกรีหลังจากการปรับเครื่องจักร.....	57
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบขนาดของหัวแร้งขนาด (a) 1 mm และ (b) 0.1 mm.....	58
รูปที่ 4.10 มุมในการถือหัวแร้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีของพนักงาน.....	59
รูปที่ 4.11 ตัวแปรที่มีผลและกฎวัดค่าในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี.....	60
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีงานนำมาประกอบใหม่.....	61
รูปที่ 4.13 จำนวนตัวอย่างในการทดสอบความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	61
รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณค่าดิบจากการทดลอง.....	62
รูปที่ 4.15 ความสามารถในการเก็บข้อมูลปริมาณค่าดิบมาตรวจสอบ.....	62
รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน.....	62
รูปที่ 4.17 ความสามารถในการเก็บข้อมูลเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานมาตรวจสอบ.....	63
รูปที่ 4.18 ระยะใบมีดที่ผ่าลวดถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสาน.....	65
รูปที่ 4.19 ขนาดปลายหัวแร้งที่จะใช้ในการทดลอง.....	66
รูปที่ 5.1 แผนภูมิค่าส่วนตกค้าง (Residual Plot) ความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	69
รูปที่ 5.2 แผนภูมิค่าส่วนตกค้าง (Residual Plot) ของปริมาณค่าดิบ.....	69
รูปที่ 5.3 แผนภูมิค่าส่วนตกค้าง (Residual Plot) ของเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดหลังเติมโลหะผสมบัดกรี.....	70
รูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	71
รูปที่ 5.5 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	71
รูปที่ 5.6 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	72
รูปที่ 5.7 ปัจจัยอันตริยาที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	73
รูปที่ 5.8 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี.....	73
รูปที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าดิบ.....	74
รูปที่ 5.10 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าดิบ.....	74

รูปที่ 5.11 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าดีบุก	75
รูปที่ 5.12 ปัจจัยอันตักิริยาที่มีผลต่อปริมาณค่าดีบุก	75
รูปที่ 5.13 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณค่าดีบุก	76
รูปที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน	77
รูปที่ 5.15 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาด ชิ้นงาน	77
รูปที่ 5.16 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน	78
รูปที่ 5.17 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน	79
รูปที่ 5.18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีของแต่ละ กลุ่มการทดลองจากโปรแกรม Minitab	80
รูปที่ 5.19 กลุ่มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแต่ละกลุ่มการทดลองของปริมาณค่าความสูงของ โลหะผสมบัดกรี	81
รูปที่ 5.20 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณค่าดีบุกของแต่ละกลุ่มการทดลอง จากโปรแกรม Minitab	82
รูปที่ 5.21 กลุ่มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแต่ละกลุ่มการทดลองของปริมาณค่าดีบุก	82
รูปที่ 5.22 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานของแต่ละ กลุ่มการทดลองจากโปรแกรม Minitab	84
รูปที่ 5.23 กลุ่มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแต่ละกลุ่มการทดลองของเวลาในการทำความสะอาด ชิ้นงาน	84
รูปที่ 6.1 ความสูงของโลหะผสมบัดกรี (a) ก่อนปรับปรุง และ (b) หลังปรับปรุง	89
รูปที่ 6.2 ปริมาณความค่าดีบุกที่คงค้างบนชิ้นงานก่อนและหลัง	90
รูปที่ 6.3 วิธีการวางมือของการจับหัวแร่ในเอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน	91

บทที่ 1

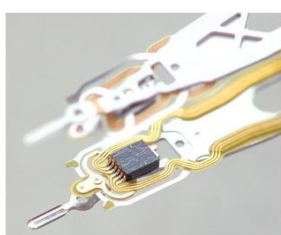
บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive: HDD) เป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันกันรุนแรงในตลาดโลก แต่เป็นการแข่งขันกันด้วยเทคโนโลยี และความแตกต่างกันของสินค้า อีกทั้งผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมนี้มีการพัฒนาที่รวดเร็วและมีวงจรการผลิตที่สั้น จึงเป็นจุดแข็งที่ทำให้ผู้ประกอบการต้องเร่งผลิตและพัฒนาสินค้าที่มีคุณภาพในต้นทุนที่ต่ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทันกับการแข่งขันในตลาดโลก ผู้ประกอบการที่เป็นชาวต่างชาติเหล่านี้ได้มีการรวมตัวกันก่อตั้งสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ดิสก์ไดรฟ์ (Disk Drive) ระหว่างประเทศ (IDEMA) สาขาประเทศไทยขึ้น เพื่อดำเนินงานด้านการพัฒนาบุคลากรและสร้างเครือข่ายกลุ่มอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ในประเทศไทย ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อภาคการส่งออกของไทย และไทยจัดได้ว่าเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่สำคัญ เมื่อเทียบมูลค่าการส่งออกแล้ว มีมูลค่าการส่งออกสูงกว่าอุตสาหกรรมอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็ยังมีอุปสรรคบางประการที่อาจจะส่งผลกระทบต่อ การขยายตัวของอุตสาหกรรมดังกล่าวได้ในอนาคต ได้แก่ ต้นทุนที่มีแนวโน้มปรับสูงขึ้นตามราคาวัตถุดิบ โดยเฉพาะ สแตนเลสแท่ง ทองเหลืองแท่ง อลูมิเนียม และพลาสติก ทั้งนี้ยังรวมถึงการไม่มีการถ่ายทอดด้านเทคโนโลยี ซึ่งเทคโนโลยีอยู่ในกลุ่มลงทุนข้ามชาติ ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละรายได้ให้ความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้น และมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิตให้ได้มากที่สุด

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

สำหรับโรงงานที่ทำการศึกษาก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2539 เพื่อผลิตชิ้นส่วนหลักของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 3 ชนิด คือ หัวอ่าน-เขียน ชุดหัวอ่าน-เขียนสำเร็จรูป และการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สำเร็จรูป รูปที่ 1.1 แสดงผลผลิตของแต่ละส่วนการผลิต



หัวอ่าน-เขียน



ชุดหัวอ่าน-เขียน



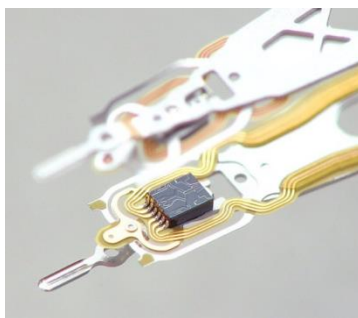
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

รูปที่ 1.1 ผลผลิตของแต่ละส่วนการผลิต (Babin, 2005)

กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

สามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตออกเป็น 3 กระบวนการหลักคือ

1) กระบวนการผลิตหัวอ่านเขียน (HGA) ย่อมาจาก Head Gimbal Assembly คือ การนำ สไลเดอร์ (Slider) กับทีจีเอ (TGA) มาประกอบติดกันเป็นหัว HGA เพื่อทำหน้าที่เป็นหัวอ่านและเขียน ข้อมูลในไดรฟ์ รูปที่ 1.2 แสดงหัวอ่านเขียนที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 1.2 หัวอ่านเขียนที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (Babin, 2005)

2) กระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียน (HSA) ย่อมาจาก Head Stack Assembly คือ การนำ หัวอ่านเขียน มาประกอบเข้ากับแขน (Arm) เป็นยูนิต เพื่อให้หัวอ่านสามารถทำงานในไดรฟ์ได้ รูปที่ 1.3 แสดงชุดหัวอ่านเขียนที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 1.3 ชุดหัวอ่านเขียนที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (Babin, 2005)

3) กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) หรือ HDD คือ อุปกรณ์บรรจุข้อมูล แบบไม่ลบเลือน มีลักษณะเป็นจานโลหะที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กซึ่งหมุนอย่างรวดเร็วเมื่อทำงาน สามารถติดตั้งเข้ากับตัวคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ผ่านการต่อเข้ากับมาเธอร์บอร์ด (Motherboard) ที่มีอินเตอร์เฟซแบบขนาน แบบอนุกรม และแบบเล็ก รูปที่ 1.4 แสดงฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์



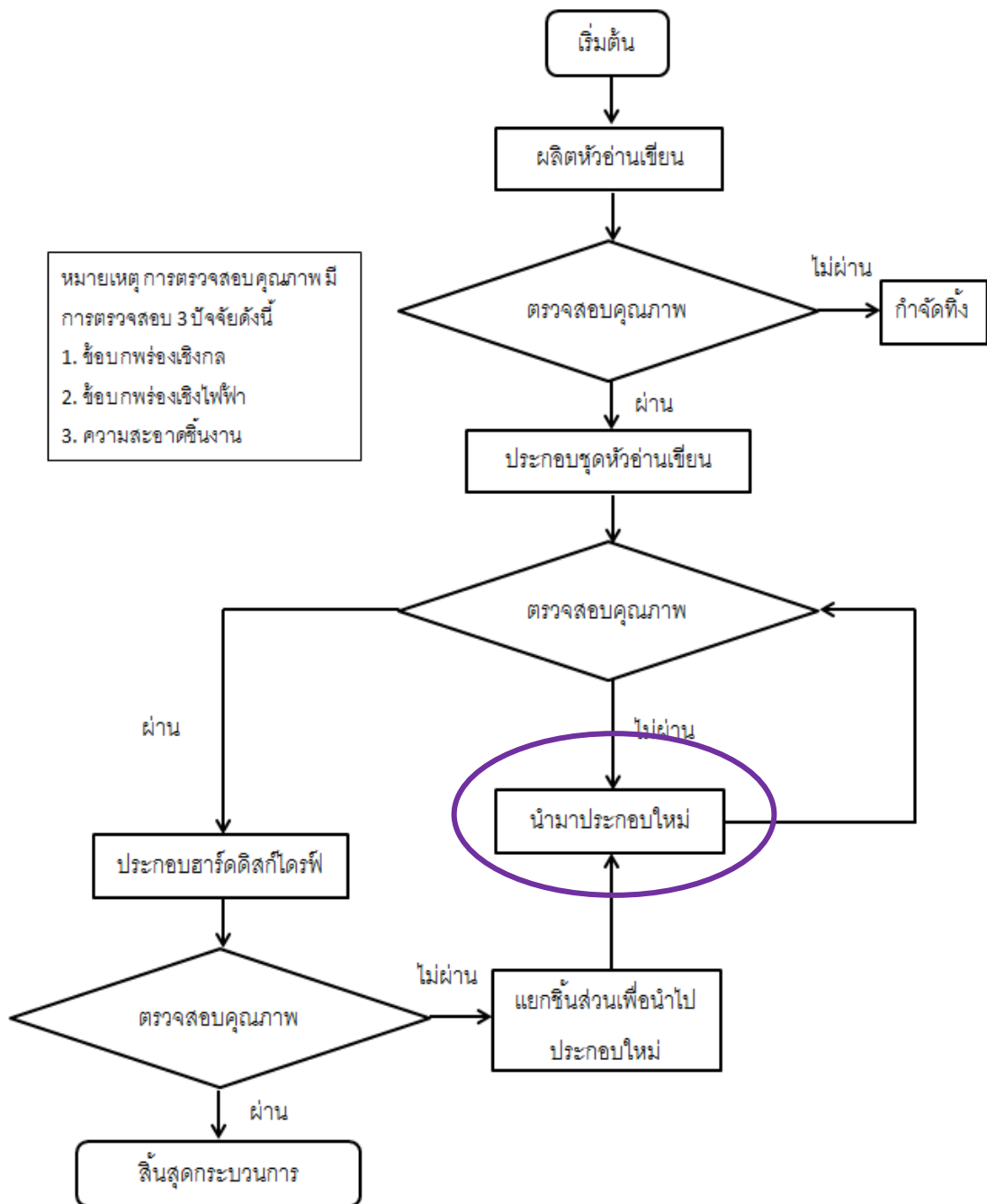
รูปที่ 1.4 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์ (Babin, 2005)

1.2 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านเขียนในกระบวนการนำมาประกอบใหม่

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการผลิตของหัวอ่านเขียน (Head Stack Assembly : HSA) ที่นำมาประกอบใหม่ (Rework Unit) งานที่เข้ากระบวนการประกอบใหม่เกิดจากกระบวนการ 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการประกอบของชุดหัวอ่านเขียนที่ไม่ผ่านกระบวนการตรวจสอบของกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านเขียนเอง และกลุ่มงานที่นำไปประกอบในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และส่งผลให้การตรวจสอบคุณภาพของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ ชิ้นงานกลุ่มนี้จะถูกแยกส่วนประกอบทุกชิ้นส่วนออก แล้วนำชิ้นส่วนที่ทางบริษัทผลิตเองคือ ชุดหัวอ่านเขียน (HSA) นำกลับไปที่กระบวนการนำมาประกอบใหม่ (Rework process) เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อีกครั้ง ในส่วนของชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ จากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะทำการทำลายทิ้ง

ในแต่ละกระบวนการของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะมีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานทุกครั้งก่อนที่จะนำชิ้นงานไปประกอบในกระบวนการต่อไป ชุดหัวอ่านเขียนเป็นผลิตภัณฑ์เดียวที่สามารถนำกลับมาเข้ากระบวนการนำมาประกอบใหม่ได้หลังจากเกิดการเสียหาย ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ออกจากกระบวนการนำมาประกอบใหม่ควรมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากกว่าก่อนที่จะนำไปเข้ากระบวนการต่อไป รูปที่ 1.5 แสดงผังงานการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

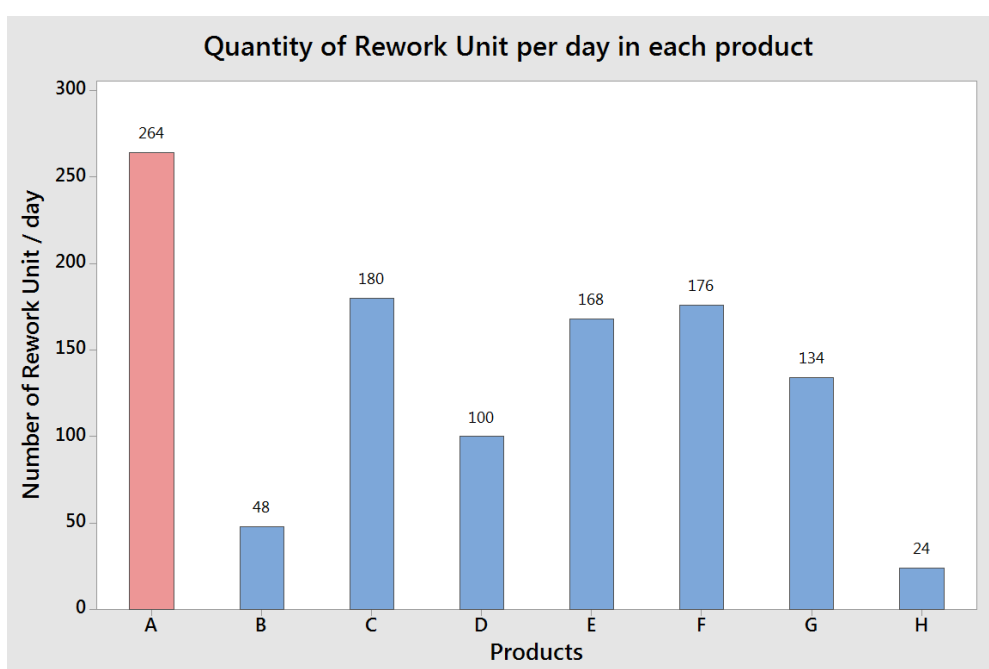
สำหรับงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะปรับปรุงกระบวนการนำมาประกอบใหม่ของการประกอบชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เท่านั้น ส่วนกระบวนการอื่นที่ไม่เกี่ยวกับกระบวนการนำมาประกอบใหม่จึงไม่มีการอธิบายถึงในงานวิจัยเล่มนี้



รูปที่ 1.5 ผังงานการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.3 สภาพของปัญหาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานที่ทำการวิจัยมีผลิตภัณฑ์อยู่ 12 ประเภท โดย 8 ประเภทเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตส่งลูกค้า ถ้ามีงานเสียเกิดขึ้นระหว่างการผลิตจะนำงานนั้นเข้าสู่กระบวนการนำมาประกอบใหม่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ A-H ส่วนผลิตภัณฑ์อีก 4 ประเภทที่เหลืออยู่ระหว่างการพัฒนาจึงยังไม่มีกระบวนการนำมาประกอบใหม่ จากข้อมูลพบว่าผลิตภัณฑ์ A มีปริมาณงานมากที่สุดถึง 264 ตัวต่อวัน รูปที่ 1.6 แสดงจำนวนงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ต่อวันต่อผลิตภัณฑ์

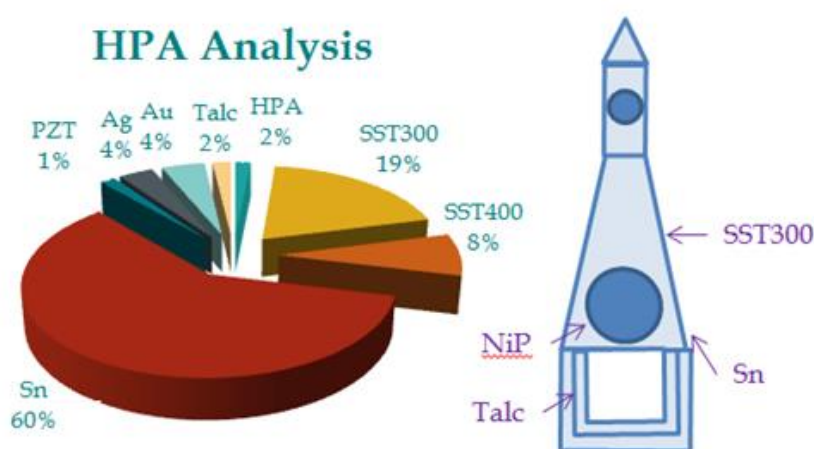


รูปที่ 1.6 จำนวนงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ต่อวันต่อผลิตภัณฑ์

จากกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ข้างต้นพบว่าปัญหาหลักจากการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานในการประกอบเป็นชุดอ่านเขียนก่อนส่งต่อไปกระบวนการถัดไป ได้แก่ การมีสิ่งปนเปื้อน (Contamination) บนชิ้นงานซึ่งจะเป็นการตรวจผลการทดสอบที่ห้องทดลองเมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการการตรวจสอบข้อบกพร่องเชิงกลและการตรวจสอบข้อบกพร่องเชิงไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ถ้าชิ้นงานพบว่ามีปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่เกินมาตรฐานกำหนด ชิ้นงานทุกชิ้นจะถูกนำกลับมาทำความสะอาดใหม่ทั้งหมด ดังนั้นทางโรงงานจึงจำเป็นต้องทำให้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการนำมาประกอบใหม่นี้มีความสะอาดมากที่สุด เพื่อลดแรงงาน เวลา และเงินที่ต้องเสียไปกับการนำงานมาทำความสะอาดใหม่

1.3.1 ปริมาณสิ่งปนเปื้อนในชุดอ่านเขียน

เมื่อมาพิจารณาสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานในกระบวนการนำมาประกอบใหม่พบว่าสิ่งปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมและกระบวนการผลิตนั้น ปริมาณค่าดีบุก (Sn) บนชิ้นงานมีมากถึง 60% รูปที่ 1.7 แสดงอัตราส่วนปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่อยู่บนชิ้นงานของชุดหัวอ่านเขียน และตำแหน่งที่พบปริมาณค่าดีบุกคือบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมในกระบวนการบัดกรี ถ้าปริมาณดีบุกมีปริมาณสูงจะส่งผลให้งานที่นำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นเสียหายได้ ดังนั้น การลดปริมาณค่าดีบุกจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

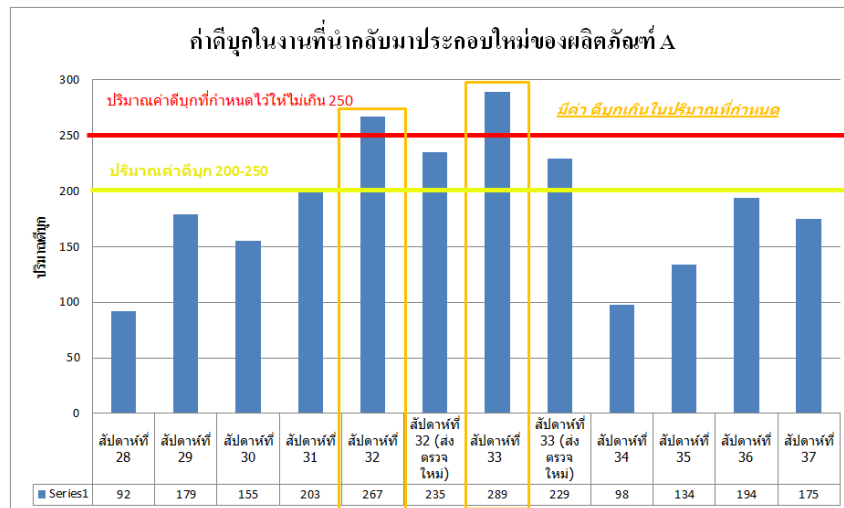


รูปที่ 1.7 อัตราส่วนปริมาณสิ่งปนเปื้อนที่อยู่บนชิ้นงานของชุดหัวอ่านเขียน

1.3.2 การทำความสะอาดชิ้นงาน

ปริมาณค่าดีบุกของชิ้นงานที่นำมาประกอบใหม่ (Rework) ทางโรงงานกำหนดให้ต้องมีค่าไม่เกิน 250 Particle/cm² ปริมาณค่าดีบุกในงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ของผลิตภัณฑ์ A ใน 10 สัปดาห์ต่อเนื่อง พบว่าปริมาณค่าดีบุกมีปริมาณที่ไม่คงที่และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งของเสียที่พบค่าปริมาณดีบุกบนชิ้นงานเกินมาตรฐานมีมากถึง 20% ดังรูปที่ 1.8 เมื่อปริมาณค่าดีบุกของงานที่นำมาประกอบใหม่ (Rework) มีปริมาณค่าดีบุกที่เกินปริมาณที่กำหนดที่ 250 Particle/cm² นั้นต้องนำไปทำความสะอาดใหม่ทั้งกลุ่ม อย่างเช่นกลุ่มงานของสัปดาห์ที่ 32 และ 33 จากนั้นจะนำชิ้นงานมาตรวจปริมาณค่าดีบุกอีกรอบก่อนที่จะนำชิ้นงานไปใช้ในกระบวนการถัดไปได้ ส่วนชิ้นงานที่มีปริมาณค่าดีบุกที่มากกว่า 200 Particle/cm² แต่ไม่ถึง 250 Particle/cm² งานในสัปดาห์ถัดมาจะถูกให้เน้นทำความสะอาดมากขึ้น จะเห็นว่าในสัปดาห์ที่ 28 กับ 34 มีปริมาณค่าดีบุกที่ต่ำกว่าสัปดาห์อื่นเนื่องจากว่าพนักงานได้ทำการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนส่งตรวจมากขึ้นกว่าเดิม แต่การทำความสะอาดที่มากขึ้นหมายถึงมูลค่าสูญเสียจากการเสียวัสดุในการทำความสะอาดมากขึ้น รูปที่ 1.9 แสดงแผนภาพการไหลของกระบวนการปริมาณดีบุกที่เกินปริมาณที่กำหนด ส่งผลให้ชิ้นงานต้องนำกลับมาทำความสะอาดใหม่ ด้วยการใช้ก้านทำความสะอาด (Foam Swab) ชุบน้ำด้วยไอโซโพร

รพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) แล้วนำมาทำความสะอาดบนชิ้นงานจนมั่นใจว่าชิ้นงานนั้นสะอาดแล้วภายใต้กล้องไมโครสโคปกำลังขยายที่ 30x ส่งผลให้เสียทั้งแรงงาน เวลาและเงิน



รูปที่ 1.8 ค่าตึบในงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ของผลิตภัณฑ์ A



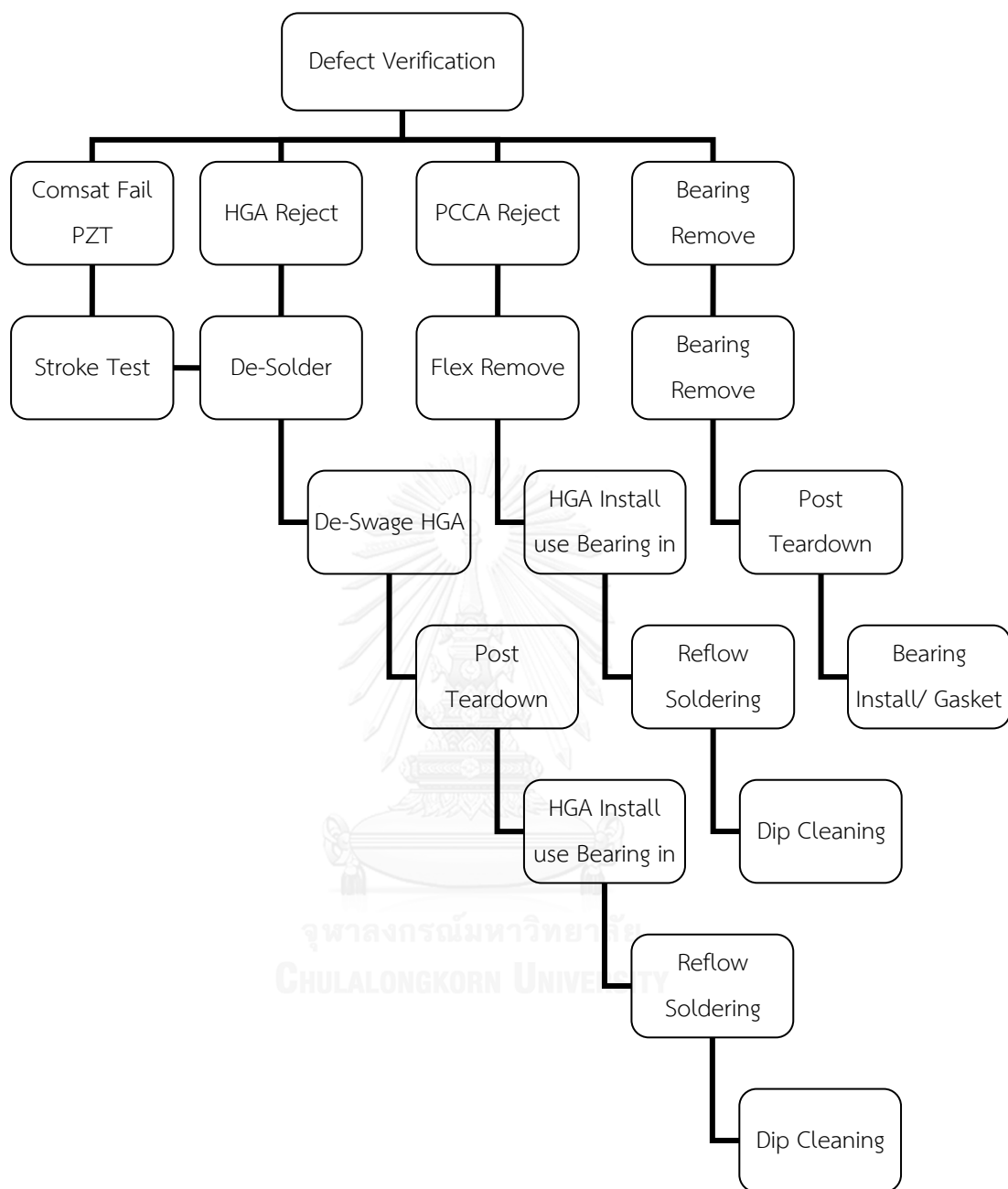
รูปที่ 1.9 แผนภาพการไหลของกระบวนการปริมาณตึบที่เกินปริมาณที่กำหนด

วิธีการนำชิ้นงานของชุดหัวอ่านเขียนนำกลับมาใช้ใหม่ อันดับแรกพนักงานต้องทำการแยกประเภทของเสีย (Defect Verification) ว่าชุดหัวอ่านเขียนนี้เป็นของเสียประเภทไหนแล้วถึงจะส่งต่อให้ตรงกับกระบวนการในการประกอบใหม่ดังนี้

- 1) ของเสียที่เกิดจากการวัดทางด้านไฟฟ้าไม่ผ่าน (Comsat Fail PZT)
- 2) งานที่เกิดจากหัวอ่านเขียนเสีย (HGA Reject)
- 3) งานที่เกิดจากพีซีซีเอพังเสียหาย (PCCA Reject)
- 4) งานที่เกิดการเสียหายจากตัวแบร์ริง (Bearing Remove)

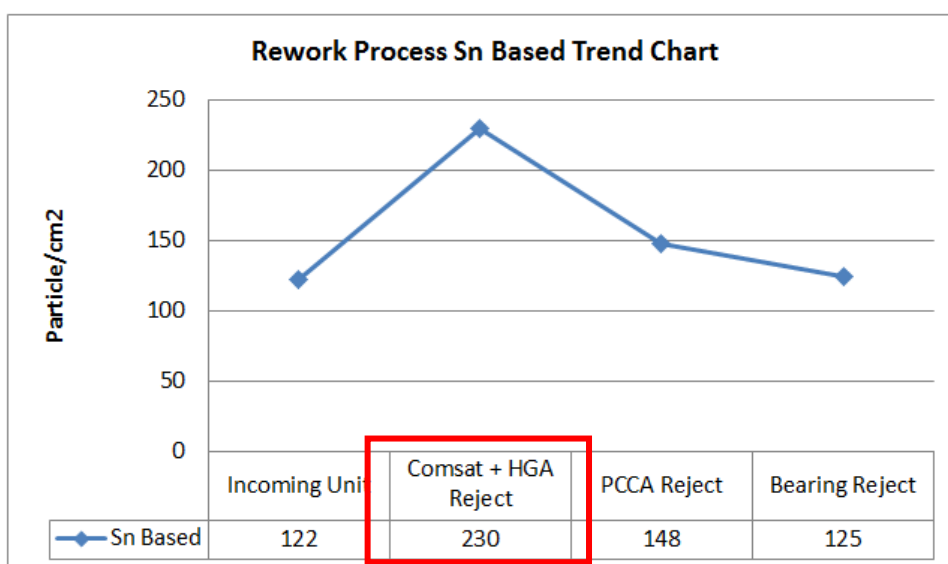
งานที่เป็นของเสียเหล่านี้จะถูกนำมาเข้ากระบวนการนำมาประกอบใหม่ซึ่งกระบวนการไหล

รูปที่ 1.10 แสดงแผนผังการไหลของกระบวนการนำมาประกอบใหม่ของชิ้นงานชุดหัวอ่านเขียน



รูปที่ 1.10 แผนผังการไหลของกระบวนการนำมาประกอบใหม่ของชิ้นงานชุดหัวอ่านเขียน

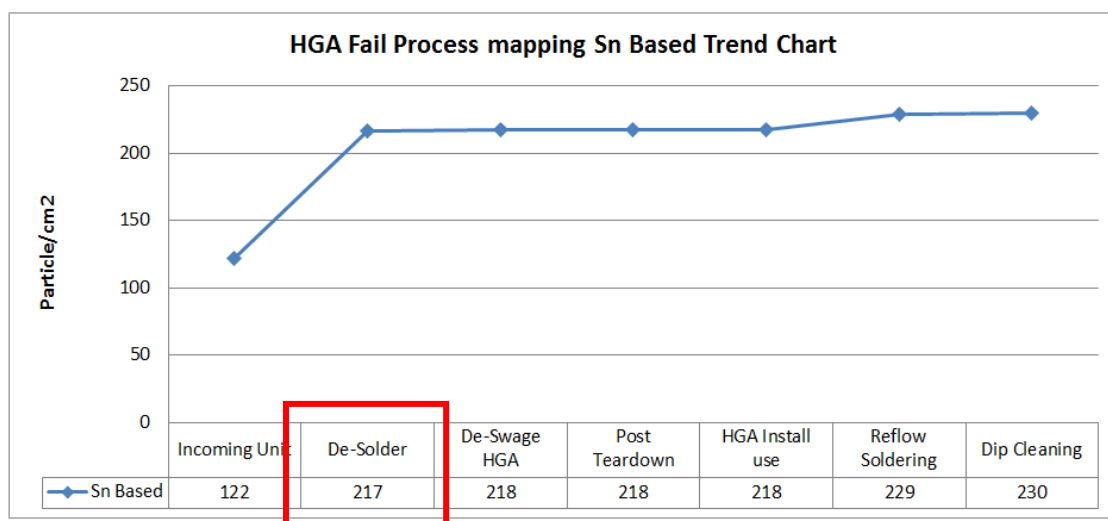
จากข้อมูลที่มีของโรงงานจากกระบวนการนำมาประกอบใหม่ของชิ้นงานชุดหัวอ่านเขียนพบว่ากลุ่มงานที่ออกจากกระบวนการนำหัวอ่านเขียนเสียหายนั้นมีค่าดีบุกเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบจากงานที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการนำมาประกอบใหม่จาก 122 Particle/cm² ไปเป็น 230 Particle/cm² เพิ่มขึ้นถึง 108 Particle/cm² แต่จากกลุ่มงานที่ผ่านกระบวนการของพีซีซีไอเสียหายพบว่างานมีค่าดีบุกเพิ่มขึ้นเพียง 26 Particle/cm² จาก 122 Particle/cm² เป็น 148 Particle/cm² และกลุ่มงานที่ผ่านกระบวนการของแบร์ริงเสียหายพบว่างานมีค่าดีบุกเพิ่มขึ้นเพียง 3 Particle/cm² จาก 122 Particle/cm² เป็น 125 Particle/cm² ซึ่งกลุ่มงานที่อยู่ที่กระบวนการนำชิ้นส่วนของหัวอ่านเขียนที่เสียหายนั้นมีกระบวนการที่ทำให้ปริมาณค่าดีบุกเกินอยู่ รูปที่ 1.11 แสดงผลของปริมาณค่าดีบุกที่พบในกระบวนการนำมาประกอบใหม่



รูปที่ 1.11 ผลของปริมาณค่าดีบุกที่พบในกระบวนการนำมาประกอบใหม่

จากผลของผังกระบวนการทดสอบงานในกระบวนการนำมาประกอบใหม่ พบว่ากระบวนการหัวอ่านเขียนเสียหายนั้นพบปริมาณดีบุกที่มากที่สุด และจากข้อมูลปริมาณค่าดีบุกในกระบวนการหัวอ่านเขียนเสียหาย พบว่ากลุ่มงานที่ออกจากกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี นั้นมีค่าดีบุกเพิ่มขึ้นจาก 122 Particle/cm² ไปเป็น 217 Particle/cm² เพิ่มขึ้นถึง 95 Particle/cm² ส่วนกลุ่มงานที่ผ่านกระบวนการการนำหัวอ่านเขียนที่ติดอยู่บนชิ้นงานออก (De-Swage HGA) กระบวนการแยกงานเสียหายของหัวอ่านเขียน (Post Teardown) และกระบวนการนำหัวอ่านเขียนประกอบเข้ากับตัวงานใหม่ (HGA Install use) ไม่มีปริมาณค่าดีบุกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกระบวนการข้างต้นไม่มีส่วนประกอบดีบุกมาเกี่ยวข้อง ในส่วนกลุ่มงานที่ผ่านกระบวนการบัดกรีพบว่างานมีค่าดีบุกเพิ่มขึ้นเป็น 11 Particle/cm² จาก 218 Particle/cm² เป็น 229 Particle/cm² และกลุ่มของกระบวนการล้างแบบจุ่ม นั้นจะพบว่ามีความปริมาณดีบุกไม่ต่างจากค่าของกลุ่มงานจากกระบวนการบัดกรีมากนัก เนื่องจากว่าการล้างงานจะไม่ได้ล้างในบริเวณที่ทำการเติมโลหะผสมบัดกรีและการบัดกรี ดังนั้น กลุ่ม

งานที่กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีเป็นกลุ่มงานที่ทำให้ค่าปริมาณดีบุกสูงขึ้น รูปที่ 1.12 แสดงผลปริมาณค่าดีบุกที่พบในกระบวนการหัวอ่านเขียนเสียหาย

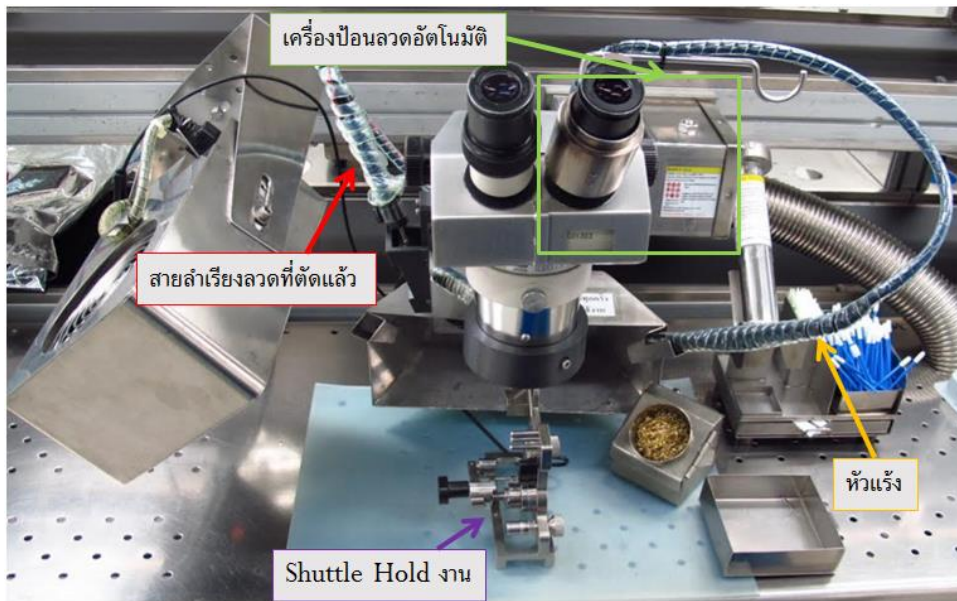


รูปที่ 1.12 ผลปริมาณค่าดีบุกที่พบในกระบวนการหัวอ่านเขียนเสียหาย

กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (De-Solder Process) ที่ส่งผลให้มีปริมาณค่าดีบุกสูงมีรายละเอียดของกระบวนการคร่าวๆดังนี้

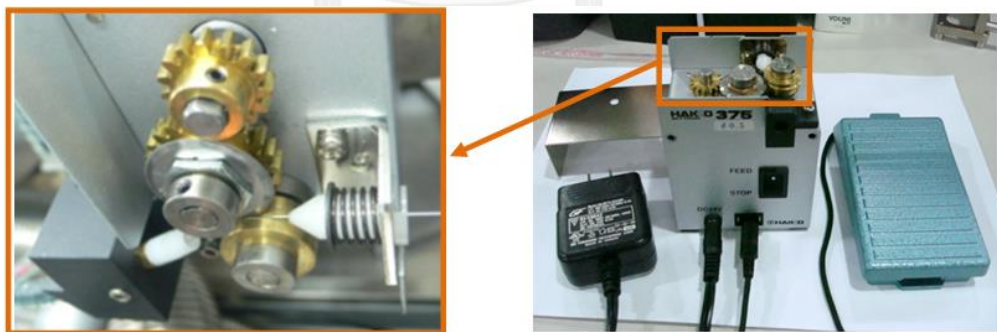
กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี คือ การนำหัวอ่านเขียน (HGA) ที่เสียหายมาเข้ากระบวนการโดยเริ่มจากใช้ความร้อนของหัวแร้งให้ความร้อนที่โลหะผสมบัดกรีบริเวณทางแผ่นตะกั่ว (Flying Lead) กับแพดพีซีซี (Pad PCC) เพื่อให้งานเสียหลุดออกและให้โลหะผสมบัดกรี (solder) ที่อยู่บนตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อม (pad) ยังคงเหลือไว้ หลังจากการนำตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมออกแล้วจะต้องเติมโลหะผสมบัดกรีเข้าไปอีกรอบ เพื่อที่จะให้ได้งานไปทำการบัดกรีต่อไป รูปที่ 1.13 แสดงสถานการณ์การเติมโลหะผสมบัดกรี ประกอบด้วย

- 1) เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ (Auto Wire Feeder machine)
- 2) สายลำเรียงลวดที่ได้รับการผ่าแล้ว (Wire Feeder Tube)
- 3) หัวแร้ง (Soldering Iron)
- 4) อุปกรณ์ยึดชิ้นงาน (Shuttle)



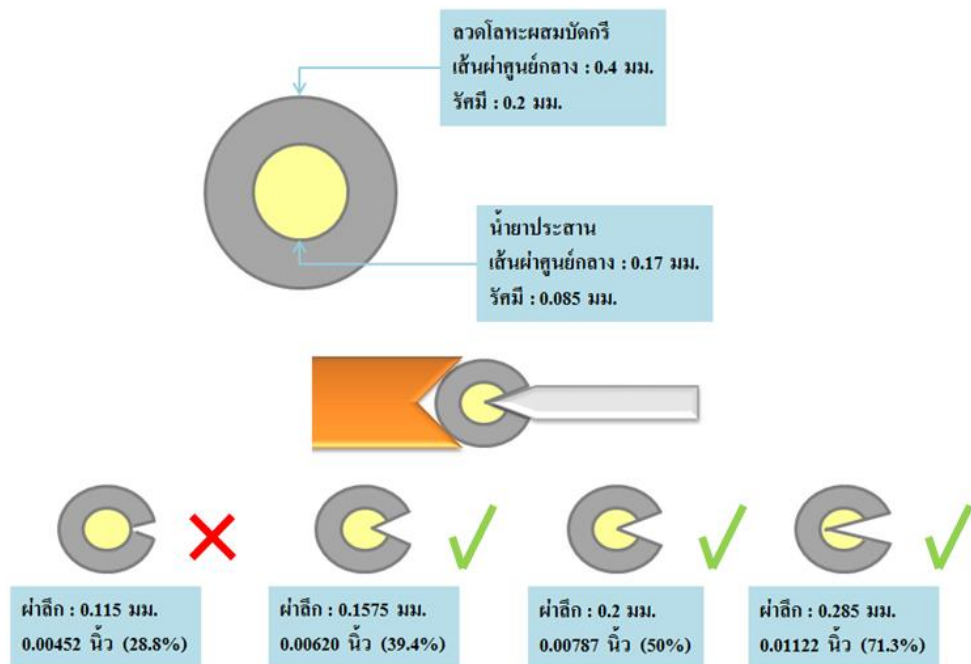
รูปที่ 1.13 สถานีการเติมโลหะผสมบัดกรี

ปัญหาของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีหลักๆคือเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง รูปที่ 1.14 แสดงลักษณะของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ ซึ่งเครื่องจะทำการป้อนลวดโลหะผสมบัดกรี (Lead-Free Solder wire) ผ่านตัวร่องประกอบลวด (Wire Groove) พร้อมทั้งฝาลวดให้ถึงน้ำยาประสาน (Flux) แล้วป้อนลวดโลหะผสมบัดกรีออกเพื่อนำไปใช้ในการเติมโลหะผสมบัดกรีต่อไป



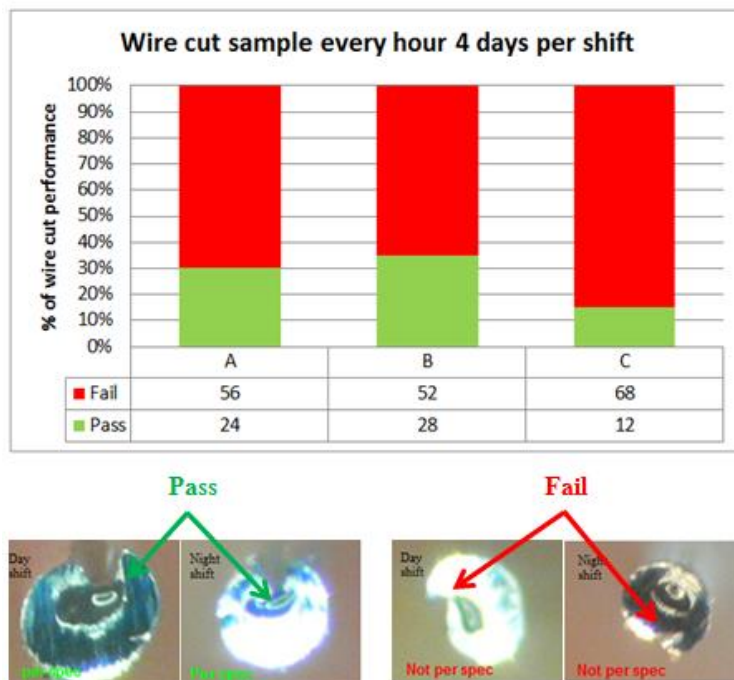
รูปที่ 1.14 ลักษณะของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ

ปัญหาเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในโรงงานในขณะนี้คือไม่สามารถฝาลวดให้ได้ตามข้อจำกัดของเครื่อง ซึ่งเครื่องควรจะฝาลวดให้ถึงตำแหน่งน้ำยาประสาน 1/3 ถึง 2/3 ของลวดโลหะผสมบัดกรี ดังรูปที่ 1.15



รูปที่ 1.15 ลักษณะการผ่าลวดให้ถึงตำแหน่งน้ำยาประสาน 1/3 ถึง 2/3 ของลวดโลหะผสมบัดกรี

กระบวนการผ่าลวดจะมีการตรวจเช็คทุกๆ 1 ชั่วโมง เก็บทั้งหมด 3 ช่วงเวลาการทำงาน 4 วันทำการ รวมทั้งสิ้น 80 ชั่วโมงต่อช่วงเวลาการทำงานว่าเครื่องยังสามารถผ่าลวดได้ตรงตามข้อกำหนดของเครื่องหรือไม่ ผลของการผ่าลวดจากเครื่องปัจจุบันจะเห็นว่าทุกๆ 1-2 ชั่วโมงจะมีการผ่าลวดไม่ได้ตามข้อกำหนดเฉลี่ย 80% และมากที่สุดที่ช่วงเวลาทำงาน C ที่เครื่องผ่าลวดไม่ได้ตามข้อกำหนดถึง 68 ตัวอย่าง จาก 80 ตัวอย่าง และงานที่ผ่าได้ตามข้อกำหนด โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ช่วงเวลาการทำงาน พบเพียง 20% เท่านั้นที่ความสามารถของเครื่องทำได้ รูปที่ 1.16 แสดงผลและตัวอย่างการผ่าจากเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในปัจจุบัน ซึ่งลวดที่ผ่าได้ถึงน้ำยาประสานจะกำหนดให้กลุ่มนั้นเป็นกลุ่มงานที่สามารถทำงานในกระบวนการต่อไปได้ (Pass) ในส่วนกลุ่มงานที่ลวดโลหะผสมบัดกรีผ่านเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติแล้วไม่สามารถผ่าได้ถึงน้ำยาประสานได้จะกำหนดว่าเป็นงานเสีย (Fail) ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบและปรับเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติให้สามารถผ่าลวดได้ถึงน้ำยาประสาน เพราะถ้าเครื่องผ่าลวดนี้ผ่าลวดไม่ดีหรือไม่ลึกจนถึงตัวน้ำยาประสาน เมื่อลวดเจอกับหัวแรงที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้โลหะผสมบัดกรีที่อยู่ในตัวของเส้นลวดเกิดการกระเด็นออกมาระบายทั่วบริเวณพื้นที่การทำงานและตัวชิ้นงาน เนื่องจากการให้ความร้อนในลวดไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทำให้เกิดของเสียได้ถ้าปริมาณของโลหะผสมบัดกรีในชิ้นงานมากเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ตามความต้องการของโรงงานและลูกค้ามากที่สุด



รูปที่ 1.16 ผลและตัวอย่างการผ่าจากเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในปัจจุบัน

ในส่วนนี้จะขออธิบายเหตุผลของการที่ต้องผ่าลวดให้ถึง 1/3 หรือ 2/3 ของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดให้ถึงตัวน้ำยาประสาน (Flux) เพราะเมื่อผิวของโลหะปราศจากสิ่งแปลกปลอม สนิม หรือเศษของมันแล้ว เราก็ยังไม่สามารถให้ความร้อนกับตัวโลหะหรือตัวโลหะผสมได้ในทันทีเนื่องจากเราจะต้องป้องกันโลหะจากการก่อตัวของสนิมอีกครั้งในระหว่างการให้ความร้อน สารซึ่งใช้สำหรับป้องกันการก่อตัวของสนิมระหว่างการให้ความร้อนและช่วยให้พื้นผิวสะอาดตลอดขั้นตอนการบัดกรีคือน้ำยาประสานที่อยู่ภายในลวดนั่นเอง น้ำยาประสานถูกนำมาใช้เพื่อขัดขวางการก่อตัวของสนิมในบริเวณที่พื้นผิวที่จะบัดกรี เราจึงต้องแน่ใจว่าในระหว่างการใช้งาน น้ำยาประสานถูกทาทั่วบริเวณที่ตัวโลหะผสมจะปกคลุม ดังนั้นก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากที่เครื่องจะต้องผ่าลวดให้ได้ถึงตัวน้ำยาประสาน และอีกปัญหาที่พบถ้าลวดผ่าได้ไม่ถึงกลางของน้ำยาประสาน จะก่อให้เกิดการกระจายตัวของกรหลอมละลายของลวดกระจายไปทั่วพื้นที่การทำงาน รวมไปถึงเศษลวดที่ติดอยู่กับตัวใบมีดเอง ซึ่งทำให้ต้องมีการถอดออกมาทำความสะอาดอยู่อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นถ้าเครื่องผ่าลวดได้ไม่ถึงน้ำยาประสานจะต้องทำความสะอาดอย่างน้อยสองรอบ ส่งผลให้มีการสูญเสียทั้งทรัพยากร เงินทุน และเวลา

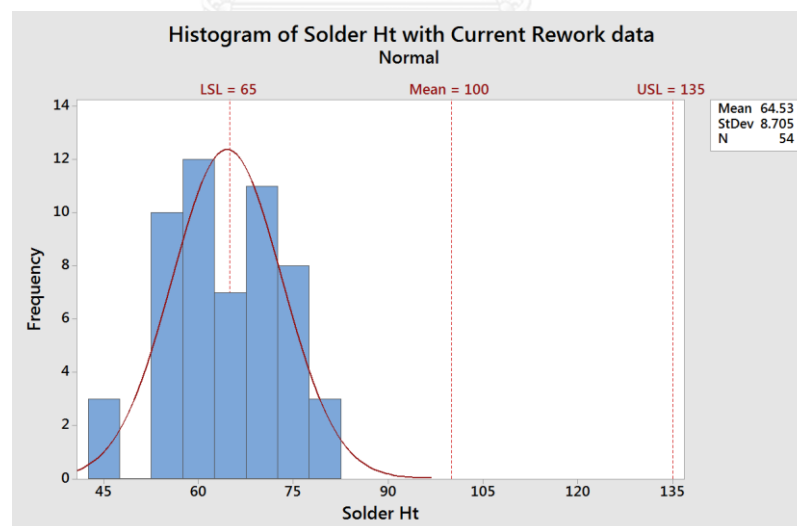
การทำงานของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ ณ ปัจจุบัน เวลารวมในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีทั้งสิ้น 50.63 วินาทีต่อชิ้นงาน ใช้เวลาในการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ 14.72 วินาที และเวลาในการทำความสะอาดหลังเติมโลหะผสมบัดกรีที่ 18.04 วินาที ตารางที่ 1.1 แสดงเวลาการทำงานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (ก่อนปรับปรุง)

ตารางที่ 1.1 เวลาการทำงานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (ก่อนปรับปรุง)

ELEM. NO	ELEMENT	NORMAL TIME
		Current process (Sec)
1	Open Tray	0.22
2	Load unit to nest	4.17
3	Desold	8.48
4	Refill Solder	14.72
5	Clean	18.04
6	Unload to tray	4.72
7	Close and send to nest	0.28
SUMMARIZE TIME		50.63

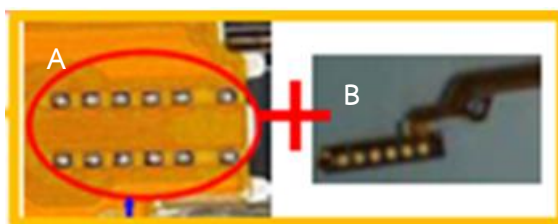
1.3.3 ความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี

ประสิทธิภาพการเติมโลหะผสมบัดกรีจากกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบันพบว่า ความสูงของโลหะผสมบัดกรีในบางจุดบนตำแหน่งการเชื่อมมีค่าอยู่บริเวณขีดจำกัดล่าง (Lower Specification Limit : LSL) ค่าเฉลี่ยของกลุ่มงานหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบันอยู่ที่ 64.53 ไมโครเมตร ซึ่งมาตรฐานของชิ้นงานอยู่ประมาณ 100 ± 35 ไมโครเมตร รูปที่ 1.17 แสดงผล ความสูงของโลหะผสมบัดกรีของงานนำกลับมาใช้ใหม่บนกราฟแท่งแบบเฉพาะ (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 1.17 ผลความสูงของโลหะผสมบัดกรีของงานนำกลับมาใช้ใหม่บนกราฟแท่งแบบเฉพาะ (ก่อนปรับปรุง)

เมื่อชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีโดยเติมโลหะผสมบัดกรีแล้วจะถูกนำส่งต่อไปที่กระบวนการบัดกรี เป็นการบัดกรีทางแผ่นตะกั่ว (Flying Lead) ให้ติดกับแพดพีซีซี (Pad PCC) โดยใช้หัวบัดกรีในการเชื่อมให้โลหะผสมแตกตัวด้วยความร้อน (Reflow Solder Machine) รูปที่ 1.18 แสดงกระบวนการบัดกรีของหัวอ่านเขียนบนแพดพีซีซี (A) ด้วย (B) ทางแผ่นตะกั่ว ถ้าจุดบนตำแหน่งการเชื่อมมีค่าโลหะผสมบัดกรีที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการบัดกรีที่ไม่สมบูรณ์ (Incompleted Electrical Circuit) ในทางตรงกันข้ามถ้าจุดบนตำแหน่งการเชื่อมมีค่าโลหะผสมบัดกรีที่มากเกินไปจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการลัดวงจร (Short Circuit)



รูปที่ 1.18 กระบวนการบัดกรีของหัวอ่านเขียนบนแพดพีซีซี (A) ด้วย (B) ทางแผ่นตะกั่ว

จากข้อมูลการทำงานของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีของโรงงานกรณีศึกษา จะเห็นได้ว่าเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติไม่สามารถป้อนลวดให้ได้ตามความต้องการของกระบวนการผลิต มีแนวโน้มทำให้ลวดหลังการผ่าที่ไม่ถึงน้ำยาประสานแล้วเมื่อโดนความร้อนจากหัวแร้งส่งผลทำให้เศษลวดที่หุ้มน้ำยาประสานอยู่นั้นกระจายไปทั่วบริเวณการทำงานและตัวชิ้นงานเอง ทำให้ต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานต่อตัวมากขึ้น รวมไปถึงการเติมโลหะผสมบัดกรีในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ความสูงของโลหะผสมบัดกรีในบางจุดบนตำแหน่งการเชื่อมมีค่าอยู่บริเวณขีดจำกัดล่างของข้อกำหนดทางเทคนิคของชิ้นงาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายในกระบวนการถัดไป

1.4 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

ปรับปรุงเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี รวมถึงอุปกรณ์และวิธีการของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี เพื่อลดปริมาณดีบุกที่คงค้างอยู่บนชิ้นงาน หลังจากการผ่านกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีและเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานลง

1.5 ขอบเขตการทำงานวิจัย

- 1.5.1 งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่มีอยู่ในโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัยเท่านั้น
- 1.5.2 ในการทำการทดลองที่กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี จะทำการทดลองทั้งหมดที่ผลิตภัณฑ์ A เนื่องจากมีปริมาณงานสูงกว่าผลิตภัณฑ์อื่น
- 1.5.3 ทดสอบลวดโลหะผสมบัดกรีของ 2 บริษัทที่มีประเภทและสัดส่วนของน้ำยาประสานที่แตกต่างกัน แต่ส่วนผสมของดีบุก 95.8% เงิน 3.5% ทองแดง 0.7% (SN95.8AG3.5CU0.7) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 0.4 มิลลิเมตรเท่ากัน
- 1.5.4 ขนาดปลายหัวแร้งที่ใช้ในการทดลองที่ขนาด 0.1 มิลลิเมตรและ 1 มิลลิเมตร
- 1.5.5 อุปกรณ์ในการวางมือในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีจะนำเอาอุปกรณ์ที่มีอยู่ในโรงงานมาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนในการทดลอง

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาสภาพทั่วไปและการกำหนดปัญหางานวิจัย (Research Problem): การศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านและหัวเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และสภาพทั่วไปของกระบวนการผลิต เพื่อหากระบวนการที่เป็นคอขวดและกำหนดเป็นเป้าหมายของการปรับปรุง
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review): การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา รวมถึงการศึกษาเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหา
- 1.6.3 การกำหนดกรอบแนวความคิดและการออกแบบงานวิจัย (Conceptual and Research design): การจัดตั้งคณะทำงาน เพื่อระดมสมองในการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการทำวิจัยร่วมกัน

- 1.6.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection): การดึงข้อมูลจากฐานเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของเครื่องจักรคอกวดและลักษณะการเกิดของสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรคอกวดทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ
- 1.6.5 การจัดการและวิเคราะห์ข้อมูล (Data processing and Analysis): การทำการทดลองบนแบบจำลองสถานการณ์เพื่อเก็บข้อมูลการผลิตตามขั้นตอนของการวิจัย
- 1.6.6 การแปลผล อภิปราย และสรุปผล (Interpretation, Discussion and Conclusion of Results)
- 1.6.7 การจัดทำรูปเล่มและเผยแพร่ผลงานวิจัย (Report and Presentation)

1.7 สิ่งที่น่าสนใจ

- 1.7.1 เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี สามารถผ่าลวดให้ถึงตำแหน่งน้ำยาประสาน
- 1.7.2 ได้กระบวนการทำงานที่เหมาะสมสำหรับพนักงานของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ
- 1.7.3 สามารถหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีได้

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

- 1.8.1 สามารถลดของเสียที่เกิดจากการผ่าลวดไม่ได้ตามข้อกำหนดของเครื่องผ่าลวด
- 1.8.2 ค่าความสูงของ โลหะผสมบัดกรี บนชิ้นงานมีค่าเทียบเคียงงานประกอบใหม่มากที่สุด
- 1.8.3 สามารถลดปริมาณดีบุกที่เกิดจากกระบวนการนำมาประกอบใหม่ (rework) ให้มีปริมาณน้อยลง
- 1.8.4 สามารถลดเวลาในการทำความสะอาดบนตัวชิ้นงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ศึกษาและนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของเครื่องฟาลวดในกระบวนการเติมโลหะบัดกรีเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการนี้ และยังได้มีการศึกษาทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยอื่นๆที่กระบวนการหรือวิธีดำเนินงานคล้ายคลึงกันกับงานวิจัยนี้เพื่อนำมาใช้แนวทางและเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้อีกด้วย

2.1 เครื่องมือคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545a)

เครื่องมือคุณภาพเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงาน เป็นการศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้อง ตลอดจนช่วยในการจัดมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่องด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานตามกระบวนการของ ชิเกะ ชิเกมา สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1) การระดมความคิด (Brainstorming) เป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มคนให้มากที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น การระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพมากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่นใช้ในการเลือกปัญหา หาสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาหรือหาข้อยุติในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยอาศัยความคิดของกลุ่มบุคคลเป็นเครื่องตัดสิน

2) แผนภูมิแสดงเหตุผล (Cause and Effect Diagram, C&E Diagram) แผนผังแสดงเหตุผลหรือ Ishikawa Diagram เป็นแผนภูมิที่นำมาใช้เพื่อนำเอาปัญหาทั้งหมดออกมาเขียนโดยทำการตั้งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นไว้บริเวณหัวปลา และกำหนดรายละเอียดของปัญหาหลักในบริเวณก้างปลาชั้นใหญ่ จากนั้นกำหนดส่วนย่อยของปัญหาหลักให้อยู่ในบริเวณก้างปลาชั้นเล็กซึ่งแยกออกมาจากก้างปลาชั้นใหญ่ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิ ก้างปลา

การวิเคราะห์แผนภูมิ ก้างปลาโดยส่วนมากมักใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัยเพื่อนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E มาจาก

- | | | |
|-------|---------------|---|
| 1.4.1 | M Man | คนงานหรือพนักงานปฏิบัติการ |
| 1.4.2 | M Machine | เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก |
| 1.4.3 | M Material | วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ |
| 1.4.4 | M Method | กระบวนการทำงาน |
| 1.4.5 | E Environment | อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศทำงาน |

4) การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นวิธีการทดลองโดยใช้การทดลองครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยตั้งสมมติฐานไว้ก่อน แล้วทำการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับสมมติฐานนั้นๆ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แล้วทำการตรวจสอบสมมติฐานตามเครื่องมือ และวิธีการทางสถิติ วิธีการออกแบบการทดลองทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงค่านำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกต และชี้ถึงสาเหตุต่างๆที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output of Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้เรียกว่าตัวแปร (ปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (ปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้เรียกว่าตัวแปร (ปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables Factors)

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบซึ่งโดยหลักการแล้ว ตัวแปรรบกวน มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละออง ความชื้น สัมผัส อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนของอุปกรณ์ หรือระบบที่ยกแก่การควบคุม เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่าจ่ายที่สูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งผลถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ควบคุม อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้

2.2 การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2542)

การกำหนดกลุ่มตัวอย่างมีความจำเป็นอย่างยิ่งทั้งนี้เนื่องจากการเก็บข้อมูลกับประชากรทุกหน่วยอาจทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมากและบางครั้งเป็นเรื่องที่ต้องตัดสินใจภายในเวลาจำกัด การเลือกศึกษาเฉพาะบางส่วนของประชากรจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็น การเลือกตัวอย่างมีความหมายของคำที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1) ประชากร (Population) หมายถึง สมาชิกทุกหน่วยของสิ่งที่สนใจศึกษา ซึ่งไม่ได้หมายถึงคนเพียงอย่างเดียว ประชากรอาจจะเป็นสิ่งของ เวลา สถานที่ เป็นต้น เช่นถ้าสนใจว่าความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อการเลือกตั้ง ประชากร คือคนไทยทุกคน หรือถ้าสนใจอายุการใช้งานของเครื่องคอมพิวเตอร์ยี่ห้อหนึ่ง ประชากรคือเครื่องคอมพิวเตอร์ยี่ห้อนั้นทุกเครื่อง แต่การเก็บข้อมูลกับประชากรทุกหน่วยอาจทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมากและบางครั้งเป็นเรื่องที่ต้องตัดสินใจภายในเวลาจำกัด การเลือกศึกษาเฉพาะบางส่วนของประชากรจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นเรียกว่ากลุ่มตัวอย่าง

2) กลุ่มตัวอย่าง (Sample) หมายถึง ส่วนหนึ่งของประชากรที่นำมาศึกษาซึ่งเป็นตัวแทนของประชากร การที่กลุ่มตัวอย่างจะเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรเพื่อการอ้างอิงไปยัง ประชากรอย่างน่าเชื่อถือได้นั้น จะต้องมีการเลือกตัวอย่างและขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องอาศัยสถิติเข้ามาช่วยในการสุ่มตัวอย่างและการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

3) การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) หมายถึง กระบวนการได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่มีความเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร

ประเภทของการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการสุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Nonprobability sampling) เป็นการเลือกตัวอย่างโดยไม่คำนึงว่าตัวอย่างแต่ละหน่วยมีโอกาสถูกเลือกมากน้อยเท่าไรทำให้ไม่ทราบความน่าจะเป็นที่แต่ละหน่วยในประชากรจะถูกเลือก การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบนี้ไม่สามารถนำผลที่ได้อ้างอิงไปยังประชากรได้แต่มีความสะดวกและประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายมากกว่า ซึ่งสามารถทำได้หลายแบบ ดังนี้

1.1 การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างเพื่อให้ได้จำนวนตามต้องการโดยไม่มีหลักเกณฑ์ กลุ่มตัวอย่างจะเป็นใครก็ได้ที่สามารถให้ข้อมูลได้

1.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบโควตา (Quota sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยคำนึงถึงสัดส่วนองค์ประกอบของประชากร เช่นเมื่อต้องการกลุ่มตัวอย่าง 100 คน ก็แบ่งเป็นเพศชาย 50 คน หญิง 50 คน แล้วก็เลือกแบบบังเอิญ คือเจอใครก็เลือกจนครบตามจำนวนที่ต้องการ

1.3 การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยพิจารณาจากการตัดสินใจของผู้วิจัยเอง ลักษณะของกลุ่มที่เลือกเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงต้องอาศัยความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ในเรื่องนั้นๆของผู้ทำวิจัย การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Judgement sampling

2. การสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็น (Probability sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยสามารถกำหนดโอกาสที่หน่วยตัวอย่างแต่ละหน่วยถูกเลือก ทำให้ทราบความน่าจะเป็นที่แต่ละหน่วยในประชากรจะถูกเลือก การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบนี้สามารถนำผลที่ได้อ้างอิงไปยังประชากรได้สามารถทำได้หลายแบบ ดังนี้

2.1 การสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยถือว่าทุกๆหน่วยหรือทุกๆสมาชิกในประชากรมีโอกาสจะถูกเลือกเท่าๆกัน การสุ่มวิธีนี้จะต้องมีรายชื่อประชากรทั้งหมดและมีการให้เลขกำกับ วิธีการอาจใช้วิธีการจับสลากโดยทำรายชื่อประชากรทั้งหมดหรือใช้ตารางเลขสุ่มโดยมีเลขกำกับหน่วยรายชื่อทั้งหมดของประชากร

2.2 การสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยมีรายชื่อของทุกหน่วยประชากรมาเรียงเป็นระบบตามบัญชีเรียกชื่อการสุ่มจะแบ่งประชากรออกเป็นช่วงๆที่เท่ากันอาจใช้ช่วงจากสัดส่วนของขนาดกลุ่มตัวอย่างและประชากร แล้วสุ่มประชากรหน่วยแรก ส่วนหน่วยต่อไปนับจากช่วงสัดส่วนที่คำนวณไว้

2.3 การสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยแยกประชากรออกเป็นกลุ่มประชากรย่อยๆ หรือแบ่งเป็นชั้นภูมิก่อน โดยหน่วยประชากรในแต่ละชั้นภูมิจะมีลักษณะเหมือนกัน (homogeneous) แล้วสุ่มอย่างง่ายเพื่อให้ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างตามสัดส่วนของขนาดกลุ่มตัวอย่างและกลุ่มประชากร

2.4 การสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster sampling) เป็นการสุ่มตัวอย่างโดยแบ่งประชากรออกตามพื้นที่โดยไม่จำเป็นต้องทำบัญชีรายชื่อของประชากรและสุ่มตัวอย่างประชากรจากพื้นที่ดังกล่าวตามจำนวนที่ต้องการ แล้วศึกษาทุกหน่วยประชากรในกลุ่มพื้นที่นั้นๆหรือจะทำการสุ่มต่อเป็นลำดับขั้นมากกว่า 1 ระดับ โดยอาจแบ่งพื้นที่จากภาค เป็นจังหวัด จาก จังหวัดเป็นอำเภอ และ

เรื่อยไปจนถึงหมู่บ้าน นอกจากนี้การสุ่มตัวอย่างยังสามารถเลือกสุ่มตัวอย่างผสมระหว่างแบบง่ายแบบชั้นภูมิและแบบกลุ่มด้วยก็ได้

2.3 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

ปารเมศ ชูติมา (2545) ได้กล่าวว่าการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม ที่จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญ 2 ประการคือ การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลีเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิ้ง (Blocking)

1) เรพลีเคชัน หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งการทำเรพลีเคชันจะทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้จะช่วยในการพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลในเชิงสถิติ นอกจากนี้การทำเรพลีเคชันยังทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณในการประมาณผลกระทบได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2) แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองแบบสุ่ม (Random) ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของวัสดุที่ใช้ในการทดลองและการลำดับของการทดลองแต่ละครั้ง โดยวิธีการเชิงสถิติจะมีการกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ ซึ่งการแรนดอมไมเซชันนี้จะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริงและทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้นในการทดลองได้

3) บล็อกกิ้ง เป็นเทคนิคที่ช่วยให้เกิดความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆในแต่ละบล็อกที่น่าสนใจ

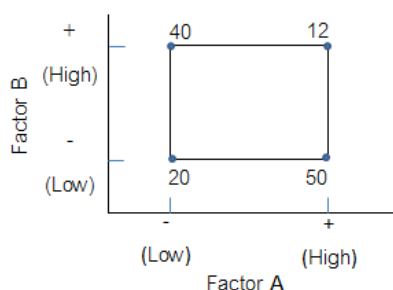
2.3.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลีเคตจะประกอบด้วยแบบการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Cross) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ตัวอย่างการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยในรูปที่ 2.2 โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับคือ ระดับต่ำแทนด้วยเครื่องหมายลบ และระดับสูงแทนด้วยเครื่องหมายบวก ดังนั้นผลหลักของปัจจัย A คือผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบที่ระดับต่ำและระดับสูงของปัจจัย A ซึ่งเขียนเป็นตัวเลขได้ว่า

$$A = (50+12)/2 - (20+40)/2 = 1$$

หมายความว่า การเพิ่มขึ้นของปัจจัย A จากระดับต่ำไประดับสูง จะทำให้ผลตอบเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ซึ่งมีค่าต่ำมาก จึงมีแนวโน้มสรุปได้ว่า ผลจากปัจจัย A นั้นไม่นับสำคัญ



รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (พารามิเตอร์ ชูติมา, 2545)

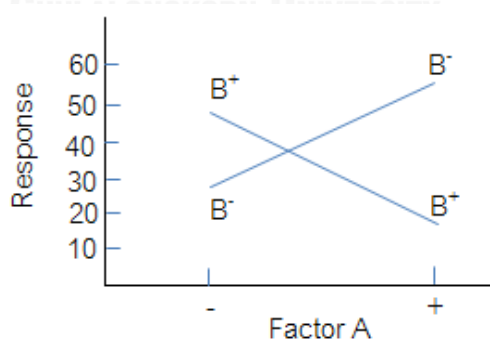
ในการทดลองบางอย่าง เราอาจจะพบว่าผลตอบของปัจจัยหนึ่งอาจจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่น เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอิทธิพล (Interaction) ระหว่างกัน จากรูปที่ 21 ผลของปัจจัย A ที่ปัจจัย B อยู่ที่ระดับต่ำมีค่าเป็น

$$A = 50 - 20 = 30$$

และผลของปัจจัย A ที่ปัจจัย B ที่ระดับสูงมีค่าเป็น

$$A = 12 - 40 = -28$$

เนื่องจากผลของปัจจัย A ขึ้นกับระดับปัจจัย B ที่ถูกเลือก ดังนั้นจะกล่าวได้ว่า ปัจจัย A และ B มีอิทธิพลต่อกัน แนวคิดดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพล (พารามิเตอร์ ชูติมา, 2545)

2.3.2 การออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial (2^k Factorial Design) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัยซึ่งเราต้องการที่จะศึกษาถึงผลรวมที่มีผลตอบสนองซึ่งเกิดจากปัจจัยเหล่านั้น ในกรณีที่มีการออกแบบที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ จะถูกเรียกว่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งระดับของปัจจัยจะถูกกำหนดให้เป็นระดับ "สูง" กับระดับ "ต่ำ" หรือ การ "มี" หรือ "ไม่มี" ของปัจจัยนั้น และปัจจัยมักจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น โดยที่การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k จะอยู่บนพื้นฐานของข้อสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
2. การออกแบบเป็นเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomization)
3. สมมุติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติที่ยอมรับได้

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่อการทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดจำนวนการทดลองน้อยที่สุดที่จะทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริบูรณ์ เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ประกอบด้วย 2 ระดับดังนั้นจึงสมมุติว่าผลตอบสนองที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของการเลือกระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลอง ซึ่งสมมุติฐานเช่นนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเมื่อเราเพิ่งเริ่มต้นทำการศึกษาระบบ

2.3.2.1 การออกแบบการทดลองแบบเต็ม (Full Factorial Design) หมายถึงวิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่ตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กรณีผลกระทบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการออกแบบการทดลองแบบเต็ม (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

Main Effects	2-Way Interaction	3-Way Interaction
A	AB	ABC
B	AC	
C	BC	

2.3.2.2 การออกแบบการทดลองแบบเต็ม 2 ระดับ หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 2 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k โดยที่ k คือจำนวนปัจจัยหรือ Main effect

ตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่ ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

ปัจจัย Main Effects	ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition)
A	$A_L = 1.25$ $A_H = 3.25$
B	$B_L = 20$ $B_H = 40$
C	$C_L = 2300$ $C_H = 2500$

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ Run = $2^3 = 8$ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

Run	A	B	C
1	1.25	20	2300
2	1.25	20	2500
3	1.25	40	2300
4	1.25	40	2500
5	3.25	20	2300
6	3.25	20	2500
7	3.25	40	2300
8	3.25	40	2500

จากตารางที่ 5 หมายความว่า ผู้ทำการทดลองจะต้องปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยทั้งสามคือ A,B และ C ให้เป็นไปตามตารางที่ 5 โดย 1 รอบการทดลอง จะต้องมีการบันทึกค่าตัวแปรตอบสนอง 1 ครั้ง แล้วค่อยปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยให้เป็นตาม Run ที่ 2 และวัดค่าตัวแปรตอบสนอง อีกครั้ง ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบทุก Run

2.3.2.3 การออกแบบการทดลองแบบเต็ม 3 ระดับ หมายถึงเมื่อใช้ Full factorial โดยแต่ละปัจจัยเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 3^k

ตัวอย่างที่ 2 ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าดังตารางที่

ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยกรณีเปลี่ยนแปลงได้ 3 ระดับ
(ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

ปัจจัย (Main Effects)	ค่าที่เปลี่ยนแปลงไป (Condition)
A	$A_L = 1.25$ $A_M = 2.25$ $A_H = 3.25$
B	$B_L = 20$ $B_M = 30$ $B_H = 40$
C	$C_L = 2300$ $C_M = 2400$ $C_H = 2500$

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลองหรือ Run = $3^3 = 27$ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

Run	A	B	C
1	1.25	20	2300
2	1.25	20	2400
3	1.25	20	2500
4	1.25	30	2300
5	1.25	30	2400
6	1.25	30	2500
7	1.25	40	2300
8	1.25	40	2400
9	1.25	40	2500
:	:	:	:
26	3.25	40	2400
27	3.25	40	2500

การใช้รหัส (Coded) เป็นการปรับเปลี่ยนหน่วยสเกลของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Standardize) เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์ เพราะหากใส่ค่าจริงแล้ว จะเสียเวลา และยุ่งยากในการเขียนโดยเฉพาะ Interaction อย่างมาก โดยกำหนดให้ -1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น Low และ ให้ 1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น High ดังตารางที่ 2.7 ที่ใช้ค่าจากตารางที่ 2.4 โดยแทนค่าของทุกปัจจัยด้วยรหัส

ตารางที่ 2.7 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (ฉลอง สีแก้วลีว, 2012)

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	-1	-1	1	1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	-1	-1	1	-1
5	1	-1	-1	-1	-1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	1	-1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

จากตารางที่ 2.7 ; A = - 1 หมายถึง ค่าของ A = 1.25 และ A = 1 หมายถึง ค่าของ A = 3.25

AB ก็หมายถึงเอารหัสของ A คูณกับ B ได้เลย ซึ่งก็จะได้รหัสของ Interaction ทันที
 ในบางตำราการใช้รหัสก็ใช้เพียง (-) และ (+) เท่านั้น แต่ความหมายก็เช่นเดียวกัน จากตารางที่
 2.7 เราสามารถเขียนแทนด้วยรหัสอีกรูปแบบหนึ่งได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 เมื่อแทนค่าของปัจจัยและ Interaction ด้วยรหัส (-)และ(+) (ฉลอง สีแก้วลีว, 2012)

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+

ในกรณีที่ผู้ทำการทดลองออกแบบโดยใช้ 3-Level และจะต้องใช้ Code แทน ก็จะใช้ 0 แทนค่าตรงกลางของแต่ละปัจจัย จากตารางที่ 2.6 เมื่อแทนด้วยรหัสจะได้ค่าดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ค่าของปัจจัยในแต่ละรอบการทดลอง (Run) เมื่อแทนด้วยรหัส 3-Level
(ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

Run	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	0
3	-1	-1	1
4	-1	0	-1
5	-1	0	0
6	-1	0	1
7	-1	1	-1
8	-1	1	0
9	-1	1	1
:	:	:	:
26	1	1	0
27	1	1	1

แต่ผู้ออกแบบจะต้องเข้าใจรหัสนี้ของทุกๆปัจจัยว่าหมายถึงค่าเท่าไร เพราะการใช้รหัส จะใช้ในขั้นตอนการออกแบบและการวิเคราะห์เท่านั้น เมื่อทำการทดลองจะต้องแปลงรหัสให้เป็นค่าจริง และเมื่อต้องการเขียน Model ที่ได้จากการทดลอง จะต้องแปลงรหัสนี้กลับเป็นค่าจริงๆด้วยเช่นกัน

2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) (ฉลอง สีแก้วสีว, 2012)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเป็นการพิสูจน์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Mean) เช่นเดียวกัน เพียงแต่เราจะวิเคราะห์ความแตกต่างดังกล่าวโดยใช้ค่า ความแปรปรวน (Variance) แทนที่จะใช้ค่าเฉลี่ย และ T-Test ซึ่งการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) เราเรียกว่า “Analysis of Variance “ หรือเรียกง่าย ๆ ว่า ANOVA

ข้อเด่นของ ANOVA

- 1) สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร ซึ่ง ถ้าเราใช้ T-Test จะทำได้มากที่สุดแค่ 2 ประชากรเท่านั้น
- 2) สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัย (Factor) ซึ่ง T-Test จะทำได้เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความเร็ว (Speed) ความกด (Pressure)
- 3) สามารถใช้วิเคราะห์เพื่อให้เห็นผลกระทบซึ่งกันและกันของปัจจัยต่างๆ (Interaction) ได้

ข้อกำหนดของ ANOVA

1) ข้อมูลของทุกๆ ประชากร จะต้องมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal distribution) เท่านั้น

2) ค่าความผันแปร (Variation) ของข้อมูล แต่ละประชากรจะต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เท่านั้น

ก่อนทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องทำการทดสอบความเป็นการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality test) ว่าข้อมูลทุกประชากรมีการกระจายแบบปกติ และทดสอบความแตกต่างของค่าความผันแปร (Homogeneity of Variance Test) เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ทุกประชากร ดังนั้น ข้อกำหนดดังกล่าวจึงดูอาจจะเป็นเรื่องยุ่งยากไปสักหน่อย หากจะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ แต่ก็ก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ถ้าหากเรามีข้อมูลมากกว่า 2 ประชากร หรือมากกว่า 1 ปัจจัย สิ่งที่ต้องรู้ในการทำข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ANOVA มีดังนี้

1) คำว่าปัจจัย (Factor) หมายถึงตัวแปรที่เราต้องการทราบว่าผลกระทบต่อสิ่งที่เราสนใจหรือไม่ ในตัวอย่างที่ผ่านมาก็คือ ความเร็ว (Speed) และ น้ำหนักบรรทุก (Weight) ซึ่งบางครั้งก็ใช้คำว่า Treatment ซึ่งหมายถึงลักษณะการควบคุมตัวแปรในการทดลอง แทนคำว่า Factor และบางครั้งก็ใช้คำว่า Way แทนด้วยเหมือนกัน

2) Response คือตัวชี้วัด ผลการทดลอง โดยส่วนมากเราจะใช้เพียง 1 Response ในตัวอย่างที่ผ่านมา ค่าจำนวนระยะทางรวม เมื่อหมดน้ำมัน เต็มถัง หนึ่งถัง คือตัวชี้วัด แต่ในความเป็นจริง เราสามารถใช้ตัวชี้วัดได้มากกว่า 1 เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดมุมมองอื่นๆ ก็ได้ เช่น ในตัวอย่างนี้อาจจะใช้อัตราค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง อัตราการสีของดอกยางของล้อ เพิ่มเข้ามาอีก เป็นต้น

3) Level หมายถึง ประชากรแต่ละประชากรที่เรากำลังทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัย ซึ่งถ้าย้อนกลับไปเปรียบเทียบกับ 2-Sample T test ก็จะมีเพียง 2 Level เท่านั้น ซึ่งบางครั้งก็ใช้คำว่า Treatment level แทน

การตั้งสมมติฐาน เช่นเดียวกับการใช้ T-Test ในการทดสอบสมมติฐาน เราจำเป็นต้องเริ่มต้นด้วยการตั้งสมมติฐาน ข้อกำหนด Null hypothesis ของ ANOVA จะเป็นดังนี้

H_0 : ค่ากลางของประชากร (กระบวนการ) ไม่แตกต่างกัน

ในขณะที่ Alternative Hypothesis เราจะสนใจว่า ในหลายๆประชากรนั้น แค่เพียง 2-ประชากรเกิดความแตกต่าง ก็จะทำให้สมมติฐานนั้นถูกปฏิเสธ

H_a : อย่างน้อยเพียง 2 ประชากรมีความแตกต่างกัน

หรือสามารถเขียนสมมติฐาน ได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

H_a : At least 2 of μ_i 's are different.

หลักการของ ANOVA คือเปรียบเทียบ Variation ที่เกิดจากการเอาค่ากลางทุกประชากร มาเป็นกลุ่มเดียวกัน (Between samples variation) กับ Variation ที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง (Within samples variation) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Test statistic} = \frac{\text{Between samples variation}}{\text{Within samples variation}}$$

ถ้าเรานำข้อมูลของแต่ละประชากรมาหาค่าเฉลี่ย (X_1, X_2, \dots, X_8) และในแต่ละกลุ่ม เราหา Standard deviation เราจะเรียกว่า Within-sample variation และเมื่อเรานำค่าเฉลี่ยของแต่ละประชากรมาบวกกันและหารด้วยจำนวนค่าเฉลี่ยที่นำมาบวกกัน ก็จะได้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดจากทุกประชากร และเมื่อหาค่า Standard deviation เราก็จะเรียกว่า Between-sample variation

$$\bar{x} = \frac{(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_8)}{8}$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการเติมตะกั่วเพื่อทำการเชื่อมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในสมัยก่อนได้มีการใช้ดีบุก และตะกั่วกันอย่างแพร่หลาย ด้วยสาเหตุที่ว่าสารเหล่านี้เคลือบได้ดี มีจุดหลอมเหลวต่ำ สารนี้หาง่าย ราคาถูก เป็นต้น แต่ถึงกระนั้นก็ตาม ส่วนประกอบที่มีตะกั่วนั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่ ในปัจจุบันเหล่าบรรดารัฐบาลและเอกชนได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาสุขภาพมนุษย์และสภาพแวดล้อม ซึ่งได้มีการสนับสนุนกระบวนการไม่ใช้ตะกั่ว (Lead-Free) เข้ามาใช้ในกระบวนการเชื่อม และในหลายประเทศด้วยกัน ได้พยายามพัฒนากระบวนการเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบไม่ใช้ตะกั่ว โดยมีส่วนประกอบของดีบุกและตะกั่วให้เหมาะสม หรือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อจะลดความรุนแรงทางด้านสุขภาพและสภาพแวดล้อม

การไหลของตะกั่วจากการไม่ทำการทำความสะอาดของกระบวนการเชื่อมนั้นมีผลต่อเศษตกค้างจากกระบวนการเชื่อมที่มากขึ้นได้ (Hansen et al., 2009) บอกไว้ว่า ถ้ากระบวนการเชื่อมที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 170 องศาเซลเซียส อาจจะสามารถทำให้มีเศษตกค้างจากกระบวนการเชื่อมได้มากกว่าการเชื่อมที่อุณหภูมิสูงกว่า 235 องศาเซลเซียส

การศึกษาโลหะผสม ดีบุก เงิน ทองแดง ที่ปราศจากตะกั่ว (Xu-jun et al., 2008) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเคลือบ solder ด้วย Sn-Bi-Cu ซึ่งจากที่ได้ศึกษามาข้างต้นว่า ส่วนประกอบหลังของการ solder คือ Sn ดังนั้นจึงได้ทำการ vary ค่า Bi และ Cu เพื่อดูว่า ขนาดของส่วนผสมขนาดเท่าไรที่จะเหมาะต่อการ solder มากที่สุด ก็เห็นว่า ยิ่ง Bi สูงมากขึ้นเท่าไรการกระจายตัวของตะกั่วยิ่งน้อยลง ในทำนองเดียวกันได้ทำการปริมาณ Cu ซึ่งเห็นว่าเป็นไปในทางเดียวกัน

(Amin et al., 2008) ศึกษาผลกระทบของ น้ำยาประสาน (Flux) ที่ clean และ no-clean ของการเพิ่มขึ้นของการเคลือบด้วยโลหะผสมใน solder bump flip chip ใน PBGA โดยแยก

ประเภทของ น้ำยาประสาน เป็น 5 แบบด้วยกันคือ A, B, C, D, E โดย น้ำยาประสาน แบบ A, B เคลือบด้วยวิธีการ dip ส่วน C-E ใช้วิธีการ spray ในการเคลือบ และ A-D คือ Clean น้ำยาประสาน ส่วน E นั้นเป็น no-clean น้ำยาประสาน แล้วนำ น้ำยาประสาน 5 แบบมาหลอมที่อุณหภูมิ 183 °C ramp rate ที่ 3 °C /sec ซึ่ง ramp จาก 30 °C ถึง 210 °C และทำการวัดสีด้วยกล้อง Leica Quin color (RGB) ซึ่งการกระจายตัวของ น้ำยาประสาน ทำการบันทึกภาพด้วย Leica Quin color (RGB) ซึ่งวัดพื้นที่เป็น mm² พบว่า น้ำยาประสาน C มีการกระจายตัวสูงที่สุดถึง 33.58 mm² ตามมาด้วย น้ำยาประสาน B ที่ 9.99 mm² No-Clean น้ำยาประสาน ซึ่งให้เห็นว่ามี การกระจายตัวที่ต่ำที่สุดเพียง แค่ 4.11 mm²

(Dishon and Bobbio, 2008) กล่าวไว้ว่า การเติมโลหะผสมบัดกรีส่วนมากมีตัวทำละลาย การเชื่อมแบบเปียกที่ทำหน้าที่ทำความสะอาดและกำจัดออกไซด์เพื่อที่จะทำให้การเชื่อมพื้นผิวโดย โลหะผสมให้ดีขึ้น ตัวทำละลายของสารการเชื่อมโลหะผสม ประกอบด้วย น้ำยาที่ทำหน้าที่กำจัดน้ำยา ประสานจากโลหะผสมบัดกรีเพื่อทำให้การเชื่อมดีขึ้นในระยะยาว เทคโนโลยีของทางอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันก็มีการพัฒนาอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้นทำให้การเชื่อมต้องโตเร็ว พอที่จะรองรับการเติบโตให้ทัน และด้วยปริมาณความต้องการในการเชื่อมบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการ เชื่อมนั้นมีมากขึ้น ทั้งการทำความสะอาดและการเชื่อมนั้นมีความยุ่งยากในการทำมากขึ้นเพื่อที่จะให้ ได้ประสิทธิภาพมากพอ การเชื่อมแบบแห้งที่ไม่มีน้ำยาประสานนั้นสามารถหลีกเลี่ยงข้อจำกัดตรงนี้ ออกไปได้และสามารถทำได้ดีในทางปฏิบัติในเทคโนโลยีเอสเอ็มทีด้วย วิธีการใหม่สำหรับการเชื่อม แบบแห้งนั้นใช้การเชื่อมแบบธรรมดาและปรับที่อุณหภูมิที่เอ็มซีเอ็นซี ซึ่งทางผู้วิจัยทดสอบดูแล้วว่า การเชื่อมแบบแห้งที่โลหะผสม 60/40 และที่อุณหภูมิในการเชื่อมที่ 240 องศา นั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากงานวิจัยเรื่องกระบวนการเชื่อมโลหะผสมแบบไม่มีน้ำยาประสาน (Nishikawa et al., 1994) กล่าวไว้ว่าทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนากระบวนการเทคนิคของอาร์กอนอะตอมปีมสปทเตอร์เอช ซึ่งทำหน้าที่ทำความสะอาดพื้นผิว และให้ออกซิเดชันกับกระบวนการนั้นอีกครั้งเพื่อป้องกัน กระบวนการเติมตะกั่วที่บรรยากาศที่มีแก๊ส ซึ่งผลจากการวิจัยสรุปได้ว่า การเชื่อมแบบเปียกประสบ ความสำเร็จเมื่อมีการควบคุมความหนาของออกไซด์ของพื้นผิวในการเชื่อมซึ่งจะทำให้การหลอม ละลายได้ดี และเวลาในการเก็บกระบวนการนี้อยู่ได้เป็นสัปดาห์และบรรยากาศในการเชื่อมอนุญาตให้ ความหนาแน่นของออกซิเจนอยู่ที่ 20 ppm และนี่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้กับการเชื่อมโลหะของ งานอื่นๆได้อีกด้วย

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้เทคนิคของแฟรคชันนอลแคลคูลัส ในการ ทำนายลักษณะและความสัมพันธ์ด้านรูปร่างของจุดเชื่อม (การผ่านทะลุ ความกว้าง ความสูง ความ กว้างต่ออัตราการผ่านทะลุ และเปอร์เซ็นต์ของการละลาย) โดยที่โลหะมีความหนา 13 มิลลิเมตรมี

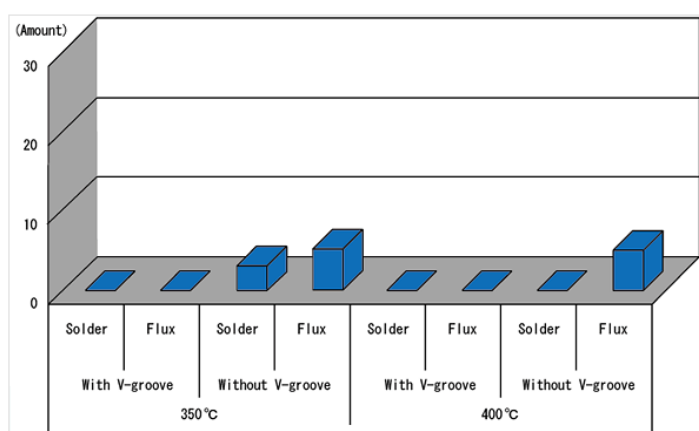
โครงสร้างที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ต่ำ ค่าปัจจัยของกระบวนการที่ใช้คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ ความเร็วในการเชื่อม มุมของหัวเชื่อม และระยะห่างระหว่างหัวเชื่อมถึงชิ้นงาน (Benyounis and Olabi, 2008)

การศึกษาเทคนิคการออกแบบการทดลองสองชนิดเพื่อแยกปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน (Bursalia et al., 2006) ซึ่งพบว่า อุณหภูมิ อัตราการเขย่า และความเข้มข้นเริ่มต้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเอทิล อะซิเตทเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลการทดลอง จากนั้นทำการหา ค่าปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการทดลองแบบผิวสะท้อน ในลักษณะของการทดลองที่ผิวด้านหน้า โดย ใช้การวิเคราะห์แบบพหุนามอันดับที่สอง และวิธีกำลังสองน้อยที่สุดทำการวิเคราะห์ และตรวจสอบผลที่ได้โดยดูการกระจายตัว การวิเคราะห์เศษเหลือกับค่าที่ได้ และปัจจัยที่ใช้

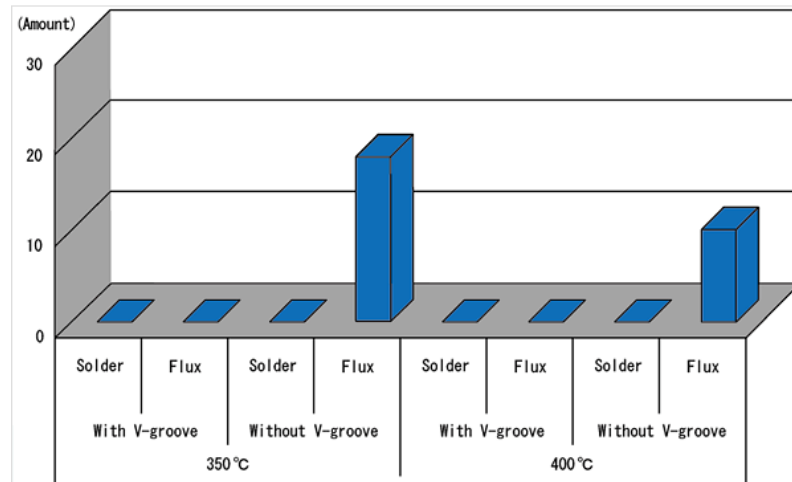
จากการวิจัยทางบริษัทผู้ค้าของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ (HAKKO Corporation, 2016) ได้มี หลักเกณฑ์ในการทดสอบดังนี้

- วิธีการวัด จะทำการวัดปริมาณการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีและน้ำยาประสาน หลังจากทำการบัดกรีโดยโดนความร้อนจากหัวแร้ง
- อุณหภูมิของหัวแร้ง 350 องศา และ 400 องศา
- ชนิดของลวดโลหะผสมบัดกรี เป็นชนิด Sn-3Ag-0.5Cu ขนาดลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 และ 1 มิลลิเมตร
- ความยาวของลวด 50 มิลลิเมตร

จากรูป 2.4 และ 2.5 แสดงรูปการเปรียบเทียบจำนวนการกระจายตัวของโลหะบัดกรีและน้ำยาประสานหลังจากโดนความร้อนของหัวแร้ง ด้วยร่องป้อนลวดแบบร่องวีกับไม่ใช้ร่องวี ที่อุณหภูมิหัวแร้งที่ 350 และ 400 องศา ของลวดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่า จำนวนการกระจายตัวของเศษโลหะของลวดที่ป้อนด้วยร่องวี มีการกระจายตัวน้อยกว่า

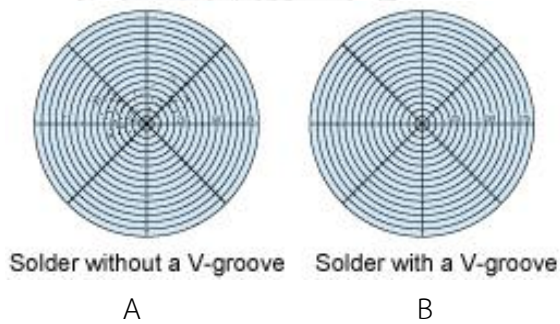


รูปที่ 2.4 การทดลองของลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 มิลลิเมตร (HAKKO Corporation, 2016)



รูปที่ 2.5 การทดลองของลวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร (HAKKO Corporation, 2016)

อีกการทดลองหนึ่งของการกระจายตัวของโลหะจากผู้ผลิตเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติพบว่า การกระจายตัวในรูปที่ 2.6 (A) แสดงผลการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีด้วยร่องป้อนลวดที่ไม่ใช่ร่องวี และรูปที่ 2.6 (B) แสดงผลการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีด้วยร่องป้อนลวดที่เป็นร่องวี พบว่า การกระจายตัวของร่องวี มีการกระจายตัวในบริเวณที่แคบกว่า โดยหลักการทดสอบคือป้อนลวดอยู่ที่ 5 วินาที ที่ความเร็ว 10 มิลลิเมตรต่อวินาทีใน 5 รอบ ผลปรากฏว่า ปริมาณการกระจายตัวโลหะที่พบคือ 81 ต่อ 0 ตามลำดับ



รูปที่ 2.6 ผลการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีด้วยร่องป้อนลวดที่ไม่ใช่ร่องวี (A) และ (B) ผลการกระจายตัวของโลหะผสมบัดกรีด้วยร่องป้อนลวดที่เป็นร่องวี (HAKKO Corporation, 2016)

บทที่ 3

การวิเคราะห์ปัญหาและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึง การจัดตั้งคณะทำงาน ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเติมโลหะผสม บัดกรี การระดมสมองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในกระบวนการเติมโลหะผสม บัดกรี โดยแสดงในแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาปริมาณค่าดีบุกที่ไม่คงที่ และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น ปัญหาค่าความสูงของโลหะผสม บัดกรี ที่ควรมีค่าอยู่ในขอบเขตข้อจำกัดของ ชิ้นงาน พร้อมทั้งระยะเวลาในกระบวนการเติมโลหะผสม บัดกรี และระยะเวลาในการทำความสะดวก ชิ้นงานหลังจากการเติมโลหะผสม บัดกรี และนำปัจจัยที่ระบุแผนภาพมาเข้าสู่กระบวนการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

จากการประสานงานกับแผนกต่างๆ ทำให้ได้ตัวแทนของแต่ละแผนกที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ผู้จัดการแผนกวิศวกรกระบวนการผลิตและปรับปรุง วิศวกรกระบวนการผลิตและปรับปรุง ผู้จัดการแผนกวิศวกรกระบวนการผลิต วิศวกรกระบวนการผลิต ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิต วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกควบคุมกระบวนการผลิต ผู้จัดการแผนกควบคุมกระบวนการผลิต และวิศวกรควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต รวมจำนวนพนักงานที่เข้าร่วมในทีมทั้งหมด 10 คน และ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จึงกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบดังต่อไปนี้

หัวหน้าทีมคือ วิศวกรกระบวนการผลิตและปรับปรุง (Process Development Engineer) มีหน้าที่ออกแบบการทดลอง กำหนดนัดหมายการประชุมและเป็นผู้นำการประชุมระดมสมองของทีมงานในการดำเนินการ

ที่ปรึกษาคือ ผู้จัดการแผนกควบคุมกระบวนการผลิต (Process Development Engineer Manager) มีหน้าที่ให้คำปรึกษาและเสนอแนะในที่ประชุม เช่น กรณีที่มีความคิดเห็นไม่ตรงกันและหาข้อสรุปในการประชุม

สมาชิกทีมคือ ผู้จัดการแผนกวิศวกรกระบวนการผลิตและปรับปรุง ผู้จัดการแผนกวิศวกรกระบวนการผลิต วิศวกรกระบวนการผลิต ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิต วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกควบคุมกระบวนการผลิต และวิศวกรควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต มีหน้าที่ร่วมกันวิเคราะห์ข้อบกพร่อง การช่วยกันระดมสมอง การวิเคราะห์ความรุนแรง การออกแบบการทดลอง รวมถึงการเก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

จากผังการไหลของกระบวนการนำมาประกอบใหม่จากบทที่ 1 ชิ้นงานทุกชิ้นงานจะทำการล้างจุ่มก่อนที่จะส่งไปกระบวนการในการประกอบเป็นชุดหัวอ่านเขียนอีกครั้ง แต่กระบวนการล้างจุ่มนั้นเป็นการนำตัวอ่านเขียน (HSA) เข้ากับชั้นล้าง (Cleaning Rack) แล้วนำไปล้างแบบจุ่มที่เครื่อง (Dip Cleaning System) จุ่มล้างบริเวณหัวอ่านเขียนหรือสไลเดอร์เท่านั้น การที่ไม่ทำการล้างงานทั้งตัวเนื่องจากเพื่อป้องกันสารเคมีทำปฏิกิริยากับแบริ่ง (bearing) รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการล้าง

แบบจุ่มของหัวอ่านเขียนและระยะในการล้างแบบจุ่ม ซึ่งห่างจากแบร์ริงอยู่ประมาณ 10 ซม. ดังนั้นงานที่อยู่นอกเหนือจากการล้างแบบจุ่มก็อาจจะทำให้มีสิ่งตกค้างอยู่ได้ ซึ่งก็คือบริเวณการเติมโลหะผสมบัดกรีในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีนั่นเอง

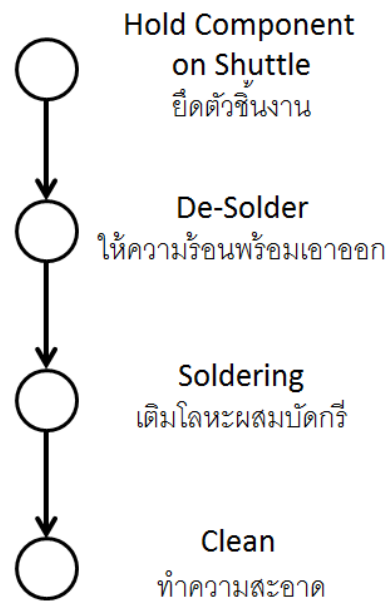


รูปที่ 3.1 กระบวนการล้างแบบจุ่มของหัวอ่านเขียน

ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีคือ มีปริมาณค่าดีบุกที่สูงกว่ากระบวนการอื่นและมีแนวโน้มทำให้ชิ้นงานไม่ผ่านการตรวจสอบ ทั้งนี้การล้างชิ้นงานในท้ายกระบวนการนำมาประกอบใหม่ไม่สามารถล้างชิ้นงานบริเวณตำแหน่งการเชื่อมได้ ส่งผลให้ชิ้นงานที่ออกจากกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่มีปริมาณค่าดีบุกสูงต้องนำกลับมาทำความสะอาดใหม่ทั้งหมดหรือมีการทำความสะอาดมากขึ้นทำให้การเสียทั้งแรงงาน เวลาและก้เงิน ทั้งนี้มีชิ้นงานบางส่วนหลังจากที่ผ่านกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีพบมีปริมาณค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่อยู่ในค่าที่ทางโรงงานกำหนดระหว่าง 65-135 ไมโครเมตร ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี ซึ่งกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2 กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี

กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (De-Solder) ที่ได้หยิบยกเป็นกรณีศึกษา นี้ มีลักษณะเป็นกระบวนการที่ใช้ความร้อนจากหัวแร้งเพื่อเติมโลหะผสมบัดกรีให้กับชิ้นงานเพื่อให้บริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมในกระบวนการบัดกรี (PAD) ของหัวอ่านเขียน ติดกับพีซีซีแพด (PCC PAD) ให้เกิดการเหนียวแน่นของหัวอ่าน เขียนเกิดขึ้น รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี



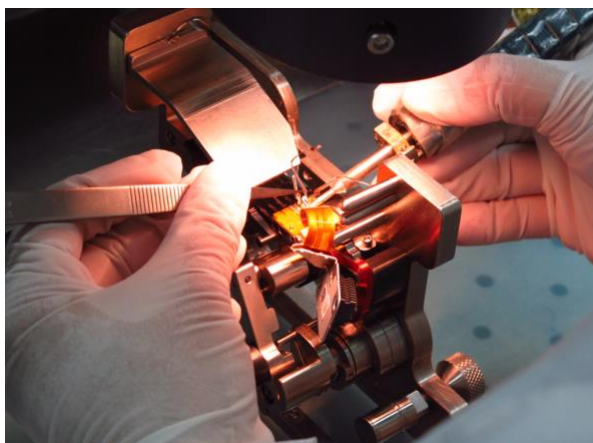
รูปที่ 3.2 กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี

1) กระบวนการยึดชิ้นงาน (Hold Component on Shuttle) โดยขั้นตอนนี้เป็นการนำชิ้นงานที่ต้องการจะทำการนำกลับเข้ามาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต ซึ่งการจับงานนั้นต้องจับงานให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถทำงานได้และแน่นพอสมควร เพื่อให้การทำงานเป็นไปตามที่ต้องการ รูปที่ 3.3 แสดงการยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์ยึดชิ้นงาน



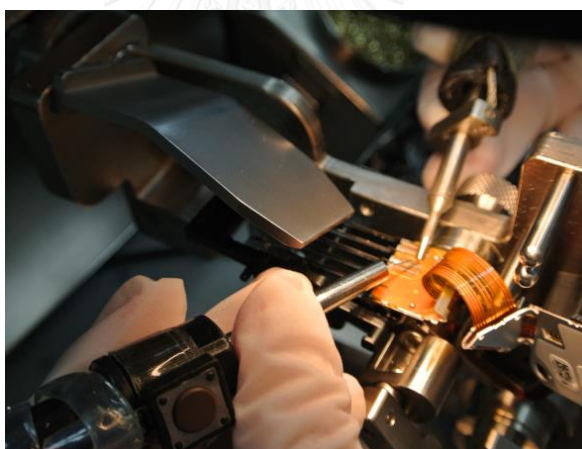
รูปที่ 3.3 ยึดชิ้นงานด้วยอุปกรณ์ยึดชิ้นงาน

2) กระบวนการให้ความร้อนและการนำชิ้นส่วนของเสียออก (De-solder) กระบวนการนี้เป็นการใช้ความร้อนจากหัวแร้งเพื่อนำหัวอ่านเขียนที่เสียออก โดยใช้ทวิสเซอ (Tweezers) รูปที่ 3.4 แสดงการเอาหัวอ่านเขียนที่เสียออก



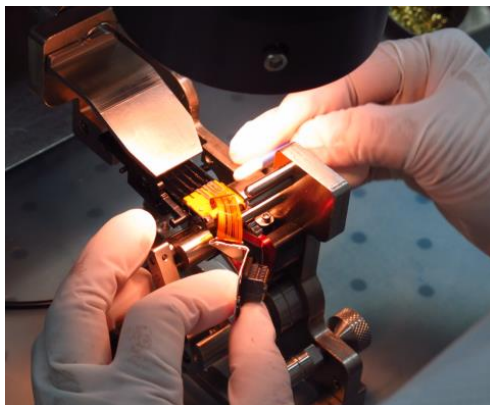
รูปที่ 3.4 การเอาหัวอ่านเขียนที่เสียออก

3) กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (Soldering) กระบวนการนี้เป็นการเติมโลหะบัดกรีอีกรอบให้กับชิ้นงานโดยใช้หัวแร้งให้ความร้อนกับลวดโลหะผสมบัดกรีด้วยการนำลวดโดยเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ เพื่อให้หน้ายาประสานทำความสะอาดผิวงานและทำให้งานในการบัดกรีในกระบวนการต่อไปทำง่ายขึ้น รูปที่ 3.5 แสดงการเติมโลหะผสมบัดกรี



รูปที่ 3.5 การเติมโลหะผสมบัดกรี

4) กระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน (Clean process) กระบวนการนี้เป็นการทำความสะอาดพื้นผิวที่ชิ้นงานด้วยการใช้ก้านทำความสะอาด (Foam Swab) ชุบด้วยไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) แล้วนำมาทำความสะอาดบนชิ้นงานจนมั่นใจว่าชิ้นงานนั้นสะอาดแล้วภายใต้กล้องไมโครสโคปกำลังขยายที่ 30x รูปที่ 3.6 แสดงการทำความสะอาดชิ้นงานหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี



รูปที่ 3.6 การทำความสะอาดชิ้นงานหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี

3.3 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหา

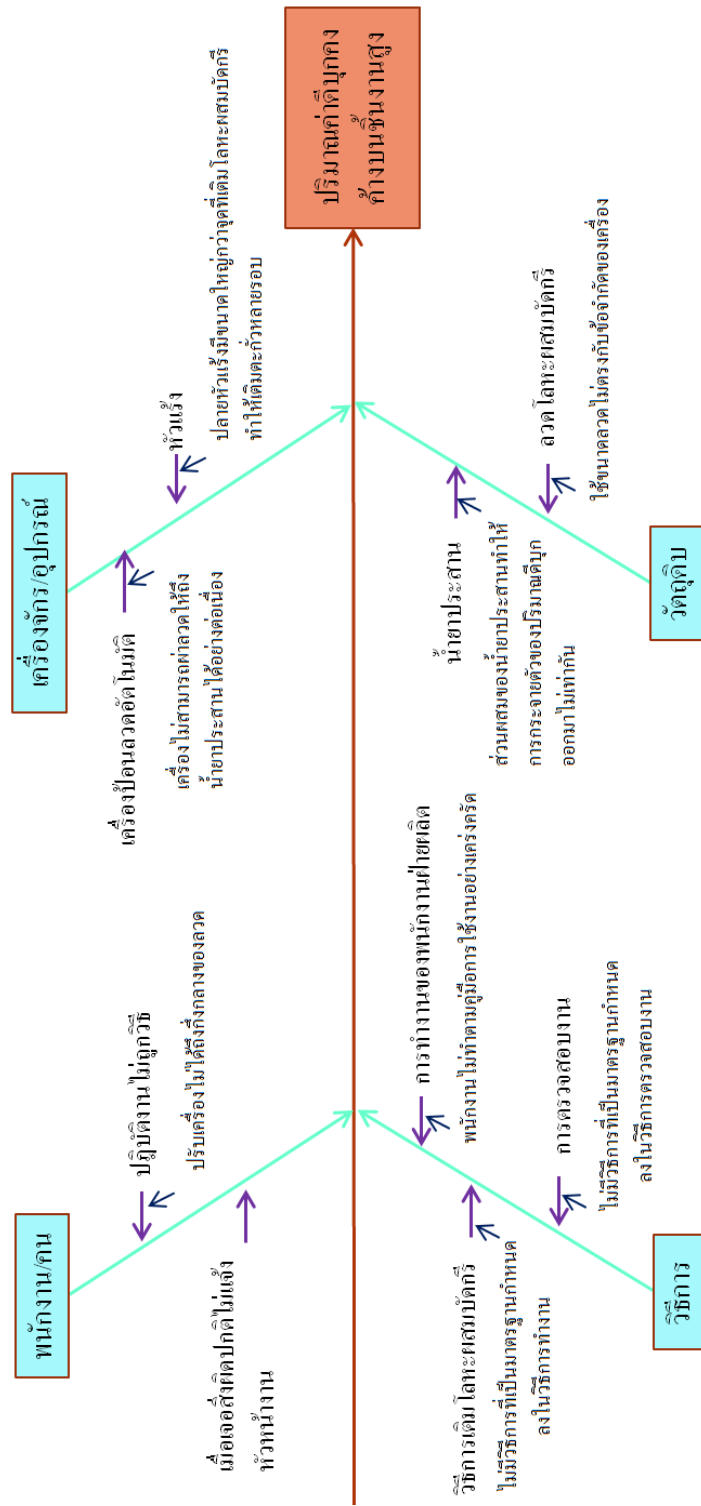
จากการนิยามปัญหา สามารถสรุปได้ว่าจะทำการปรับปรุงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ทำให้ปริมาณค่าดีบุกมีแนวโน้มที่สูงขึ้น และความสูงของปริมาณโลหะผสมบัดกรีหลังการเติมโลหะผสมบัดกรีให้มีค่าอยู่ในขอบเขตข้อกำหนดของชิ้นงาน โดยใช้วิธีการระดมสมองจากทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญและคุ้นเคยในการเชื่อมและต่อวงจรไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบไปด้วย วิศวกรกระบวนการผลิต ชูปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิตในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกควบคุมกระบวนการผลิตในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน และวิศวกรควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.3.1 แผนภาพก้างปลา (Fish bone Diagram)

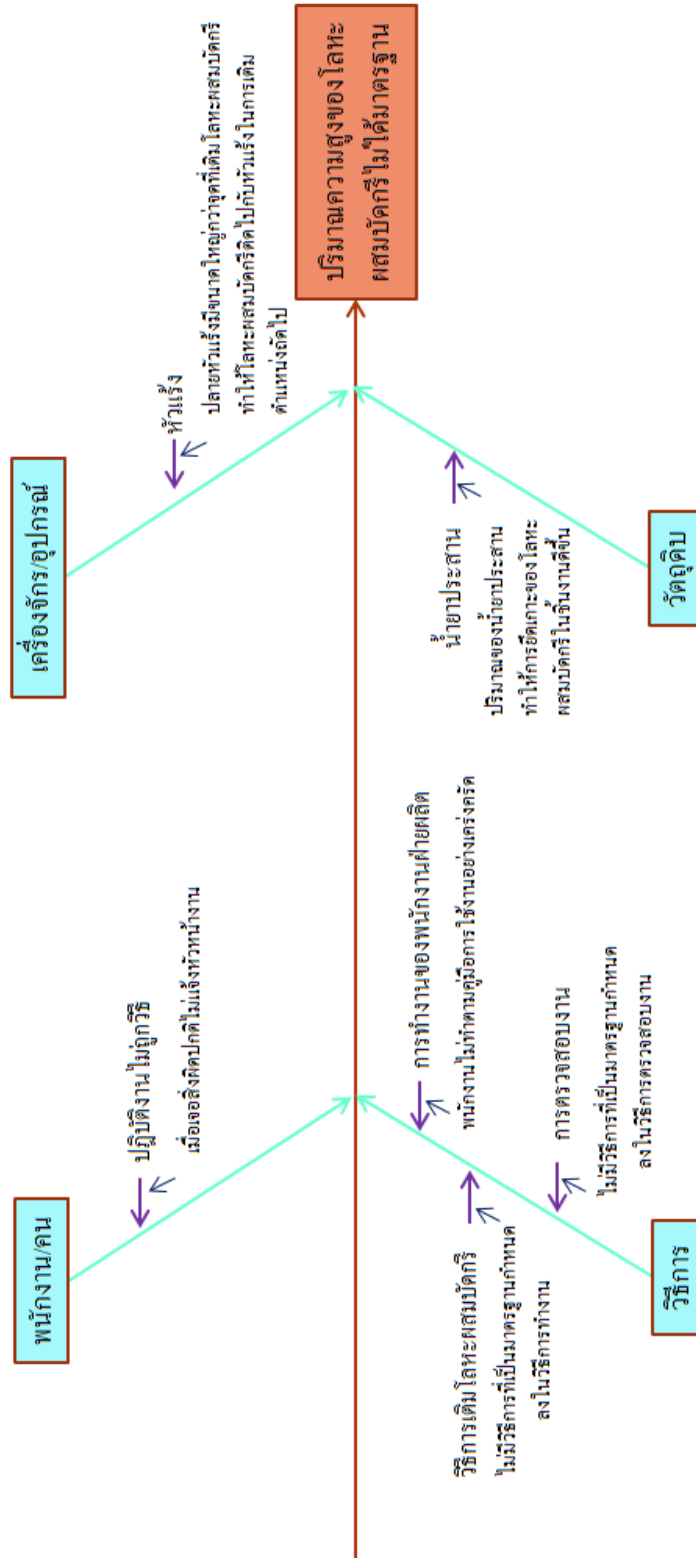
แผนภูมิก้างปลาหรือเรียกกันว่า แผนผังสาเหตุและผล เป็นสิ่งที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น ซึ่งจากงานวิจัยชิ้นนี้ก็ทำให้เห็นได้ว่ามีปัจจัยในด้านต่างๆดังนี้

- เครื่องจักร/อุปกรณ์ (Machine/Equipment)
- วิธีการ (Method)
- วัตถุดิบ (Material)
- พนักงาน/คน (Man)

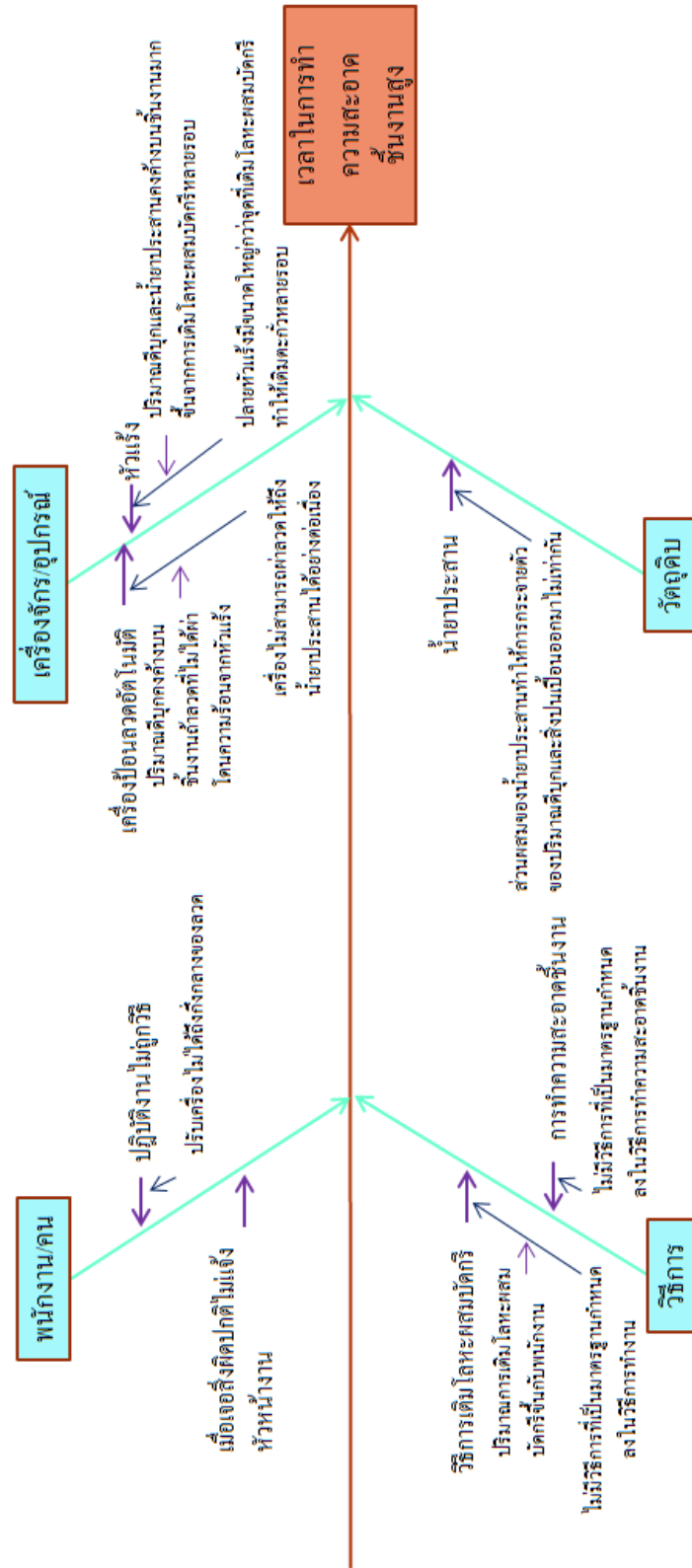
จากการระดมความคิดของทีมงานทั้งหมดนั้น จะวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ทุกปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่เราสนใจ นั่นก็คือ 1) ปริมาณค่าดีบุกที่สูงขึ้นซึ่งจะมีผลต่อเวลาทำความสะอาดชิ้นงานที่มากขึ้น 2) ความสูงของปริมาณโลหะผสมบัดกรีหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งรายละเอียดต่างๆจะแสดงไว้ใน รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพก้างปลาของปัญหาปริมาณค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง และรูปที่ 3.8 แสดงแผนภาพก้างปลาสำหรับปัญหาปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพก้างปลาของปัญหาเวลาในการทำความสะอาดสูง



รูปที่ 3.7 แผนภาพก้างปลาของปัญหาปริมาณค่าตัวบุกกงค่างบนชิ้นงานสูง



รูปที่ 3.8 แผนภาพก้างปลาสำหรับปัญหาปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน



รูปที่ 3.9 แผนภาพก้างปลาสำหรับปัญหาเวลาในการทำงานสะอาดขึ้นงานสูง

จากแผนผังก้างปลาข้างต้นของการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อ ปัญหาที่เราสนใจ และนำมาสรุปเพื่อหาแนวทางแก้ไขในแต่ละสาเหตุได้ดังตารางที่ 3.1, 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.1 แนวทางการแก้ไขปัญหาค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง

ปัญหา	สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย	แนวทางการแก้ไข
ปริมาณค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง	เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ	เครื่องไม่สามารถผ่าลวดให้ถึงน้ำยาประสานได้อย่างต่อเนื่อง	ปรับระยะใบมีดและร่องป้อนลวดให้ผ่าลวดได้ถึงน้ำยาประสาน
	หัวแร้ง	ปลายหัวแร้งมีขนาดใหญ่กว่าจุดเติมโลหะผสมบัดกรีทำให้เติมตะกั่วหลายรอบ	หาขนาดหัวแร้งที่เล็กกว่าจุดเติมโลหะผสมบัดกรี
	น้ำยาประสาน	ส่วนผสมของน้ำยาประสานทำให้การกระจายตัวของปริมาณดีบุกออกมาไม่เท่ากัน	หาส่วนผสมของน้ำยาประสานที่ช่วยให้ปริมาณดีบุกกระจายน้อยลง
	ลวดโลหะผสมบัดกรี	ใช้ขนาดลวดได้ไม่ตรงกับข้อจำกัดของเครื่อง	(ทางบริษัทมีข้อกำหนดให้ใช้ลวดขนาดเดียวกันทั้งโรงงาน จึงไม่สามารถหาขนาดลวดที่เหมาะสมกับเครื่องได้)
	เจอสิ่งผิดปกติไม่แจ้งหัวหน้างาน	-	ระบุในเอกสารกระบวนการทำงาน
	ปฏิบัติงานไม่ถูกวิธี	ปรับเครื่องไม่ได้ถึงกึ่งกลางของลวด	ระบุในเอกสารกระบวนการทำงาน
	การตรวจสอบงาน	ไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานกำหนดลงในวิธีการตรวจสอบงาน	หาวิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีที่เหมาะสม
	การทำงานของพนักงานฝ่ายผลิต	พนักงานไม่ทำตามคู่มือการใช้งานอย่างเคร่งครัด	มีผู้ตรวจเช็คการทำงานของพนักงาน
	วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรี	ไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานกำหนดลงในวิธีการทำงาน	หาวิธีการที่เหมาะสมให้กับพนักงานและกำหนดวิธีการทำงานในเอกสารกระบวนการทำงาน

ตารางที่ 3.2 แนวทางการแก้ไขปัญห ปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน

ปัญหา	สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย	แนวทางการแก้ไข
ปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน	หัวแร้ง	ปลายหัวแร้งมีขนาดใหญ่กว่าจุดที่เติมโลหะผสมบัดกรีทำให้โลหะผสมบัดกรีติดไปกับหัวแร้งในการเติมตำแหน่งถัดไป	หาขนาดหัวแร้งที่เล็กกว่าจุดเติมโลหะผสมบัดกรี
	น้ำยาประสาน	ส่วนผสมของน้ำยาประสานทำให้การกระจายตัวของปริมาณดีบุกออกมาไม่เท่ากัน	หาส่วนผสมของน้ำยาประสานที่ช่วยให้ปริมาณดีบุกกระจายน้อยลง
	ปฏิบัติงานไม่ถูกวิธี	เมื่อเจอสิ่งผิดปกติไม่แจ้งหัวหน้างาน	ระบุในเอกสารกระบวนการทำงาน
	การตรวจสอบงาน	ไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานกำหนดลงในวิธีการตรวจสอบงาน	หาวิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีที่เหมาะสม
	การทำงานของพนักงานฝ่ายผลิต	พนักงานไม่ทำตามคู่มือการใช้งานอย่างเคร่งครัด	มีผู้ตรวจเช็คการทำงานของพนักงาน
	วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรี	ไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานกำหนดลงในวิธีการทำงาน	หาวิธีการที่เหมาะสมให้กับพนักงานและกำหนดวิธีการทำงานในเอกสารกระบวนการทำงาน

ตารางที่ 3.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานสูง

ปัญหา	สาเหตุหลัก	สาเหตุย่อย	แนวทางการแก้ไข
เวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานสูง	เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ	ปริมาณดีบุกคงค้างบนชิ้นงานถ้าลวดที่ไม่ได้ผ่าโดนความร้อนจากหัวแร้ง	ปรับระยะใบมีดและร่องป้อนลวดให้ผ่าลวดได้ถึงน้ำยาประสาน
	หัวแร้ง	ปริมาณดีบุกและน้ำยาประสานคงค้างบนชิ้นงานมากขึ้นจากการเติมโลหะผสมบัดกรีหลายรอบ	หาขนาดหัวแร้งที่เล็กกว่าจุดเติมโลหะผสมบัดกรี
	น้ำยาประสาน	ส่วนผสมของน้ำยาประสานทำให้การกระจายตัวของปริมาณดีบุกและสิ่งปนเปื้อนออกมาไม่เท่ากัน	หาส่วนผสมของน้ำยาประสานที่ช่วยให้ปริมาณดีบุกกระจายน้อยลง
	เจอสิ่งผิดปกติไม่แจ้งหัวหน้างาน	-	ระบุในเอกสารกระบวนการทำงาน
	ปฏิบัติงานไม่ถูกวิธี	ปรับเครื่องไม่ได้ถึงกึ่งกลางของลวด	ระบุในเอกสารกระบวนการทำงาน
	การทำความสะอาดชิ้นงาน	ไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานกำหนดลงในวิธีการทำความสะอาดชิ้นงาน	ระบุในเอกสารกระบวนการทำงาน
	วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรี	ปริมาณการเติมโลหะผสมบัดกรีขึ้นกับพนักงาน	หาวิธีการที่เหมาะสมให้กับพนักงานและกำหนดวิธีการทำงานในเอกสารกระบวนการทำงาน

จากแผนผังก้างปลาและตารางแนวทางแก้ไขปัญหาปริมาณค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง ปัญหาปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ได้มาตรฐาน และปัญหาเวลาในการทำความสะอาดสูง นั้นเมื่อทำการสรุปสาเหตุร่วมที่ต้องปรับปรุงมีดังนี้

1) เครื่องจักรและอุปกรณ์

- เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติที่ต้องทำการปรับระยะใบมีดและร่องป้อนลวดให้ผ่าลวดได้ถึงน้ำยาประสาน

2) วัสดุ

- ขนาดของหัวแร้ง ต้องหาขนาดหัวแร้งที่เล็กกว่าจุดเติมโลหะผสมบัดกรี
- ลวดโลหะผสมบัดกรี ที่มีส่วนผสมของน้ำยาประสานช่วยให้ปริมาณดีบุกกระจายบนชิ้นงานน้อยลง

3) วิธีการ

- วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรี ต้องหาอุปกรณ์หรือกำหนดวิธีการที่เหมาะสมให้กับพนักงาน และระบุวิธีการทำงานในเอกสารกระบวนการทำงาน

เมื่อได้แนวทางแก้ไขปัญหาแล้วก็นำปัจจัยเหล่านี้มาวิเคราะห์เพื่อหาว่าปัจจัยไหนที่ต้องทำการแก้ไขก่อนและหลังเรียงลำดับตามความสำคัญ

3.1.2 ตารางสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix)

จากแผนผังกระบวนการนำมาประกอบใหม่ เราสามารถนำมาสร้างเป็นตารางการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างผลกระทบและปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการโดยจะทำการวิเคราะห์กระบวนการที่มีปัญหาคือ กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี (De-Soldering) ซึ่งสามารถนำมาสรุปในตารางการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix) และจากการลงคะแนนจากความคิดเห็นของทีมงานที่ทรงคุณวุฒิ ที่ได้ทำการลงคะแนนตามตารางการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix) โดยการให้คะแนนมีหลักการดังต่อไปนี้

คะแนนอาการของชิ้นงานแต่ละอาการ = สัดส่วนของชิ้นงาน*คะแนนลงความเห็น

คะแนนของชิ้นงานรวม = ผลรวมของคะแนนของชิ้นงานแต่ละอาการ

คะแนนรวม = ผลรวมของคะแนนของชิ้นงานรวม

สำหรับคะแนนความเห็นนั้นกำหนดให้มีค่าตั้งแต่ 0-9 โดยหากไม่มีอาการบนชิ้นงานเกิดขึ้นจากกระบวนการนั้นๆเลย จะกำหนดให้คะแนนเป็น 0 คะแนน แต่หากมีอาการของชิ้นงานเกิดจากกระบวนการไหนมากที่สุดก็จะให้คะแนน = 9 คะแนน และลดหลั่นกันไปตามอาการและจำนวนชิ้นงานที่เกิดขึ้น ดังนั้น การลงคะแนนจึงต้องเป็นการประชุมร่วมกันหลายๆฝ่ายเพื่อหาข้อสรุปและลงคะแนน ซึ่งจากการลงคะแนนในตารางการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix) ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix)

		Rating of Importance to Customer	9	7	5	3		
			High Sn based	Low Solder Ht	Cleaning Usage	Other	Total	% Rank
	กระบวนการ	รายละเอียดกระบวนการ						
1	เติมโลหะผสมบัดกรี	เครื่องทำการผ่าลวดให้ถึงน้ำยาประสาน	9	9	7	3	188	1
2		ป้อนลวดที่ผ่าแล้ว	0	0	0	0	0	5
3		ปลายหัวแร้งนำหัวอ่านเขียนที่เสียออก	3	5	1	1	70	3
4		หัวแร้งให้ความร้อนกับลวดโลหะผสมบัดกรีเพื่อเติมโลหะผสมบัดกรี	7	7	5	1	140	2
5		ทำความสะอาดชิ้นงานหลังเติมโลหะผสมบัดกรี	1	0	9	1	57	4
Total			180	147	110	18		

จากตารางที่ 3.4 พบว่ากระบวนการที่ต้องทำการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีคือ เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติที่ผ่าลวดไม่ถึงน้ำยาประสาน ซึ่งได้คะแนนจากการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบมากที่สุด คือ 188 คะแนน และเป็นกระบวนการที่มีควรปรับปรุงเป็นอันดับแรกเพราะถ้าลวดผ่าไม่ได้ถึงน้ำยาประสานจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการถัดไปได้ และเมื่อทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้วอาจจะส่งผลชิ้นงานมีค่าปริมาณดีบุกที่ลดลงให้ได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ รองลงมาที่คะแนน 140 ได้แก่กระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีด้วยความร้อนของหัวแร้งกับลวดโลหะผสมบัดกรี

จากการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (C&E Matrix) สรุปได้ว่ามี 4 ปัจจัย ที่เป็นปัจจัยเสี่ยงอันจะส่งผลกระทบต่อปริมาณค่าดีบุกคงค้างบนชิ้นงานสูง ความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรี และการทำความสะอาดชิ้นงาน สามารถสรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ ตารางที่ 3.5 แสดงสรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวจะถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบการทดลองต่อไป

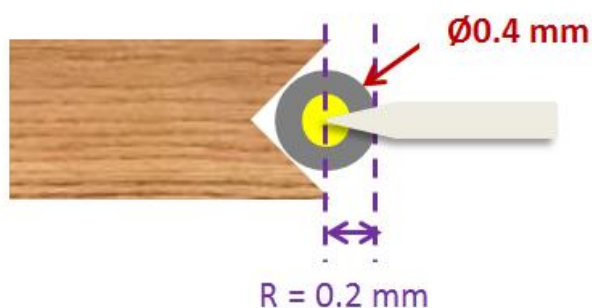
ตารางที่ 3.5 สรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ

ลำดับ	สาเหตุ	score
1	จากการปรับระยะเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติในปัจจุบัน สามารถปรับระยะได้แค่ระยะในแนวแกน Z เท่านั้น ซึ่งถ้าเราสามารถปรับระยะในแนวแกน X เพิ่มด้วย จะสามารถช่วยให้การตัดเป็นไปตามความต้องการได้ดีขึ้น	188
2	ขนาดของหัวแรงที่ใช้ในการเติมโลหะผสมบัดกรีควรมีขนาดเล็กกว่าขนาดระยะห่างระหว่าง Pad กับ Pad เพราะเมื่อหัวแรงใหญ่กว่าขนาดของชิ้นงานที่เติม ต้องทำให้เติมโลหะผสมบัดกรีมากขึ้น และทำให้งานมีปริมาณดีบุกเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน	140
3	ประเภทของน้ำยาประสานในแต่ละบริษัทผลิตลวดโลหะผสมบัดกรีนั้นมีการมีหลายแบบ มีเทคโนโลยีที่หลังจากลวดโดนความร้อนของหัวแรงทำให้เกิดการกระจายตัวน้อยลง เป็นคั้น	70
4	วิธีการในการเติมโลหะผสมบัดกรีไม่มีมาตรฐานกำหนดให้พนักงานจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนจากการเติมระหว่างบุคคลมากขึ้น	57

จากตารางที่ 3.5 เราสามารถสรุปแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี โดยแบ่งได้เป็น 4 ส่วนดังนี้

1) ค่าปรับตั้งของเครื่องป้อนลวด

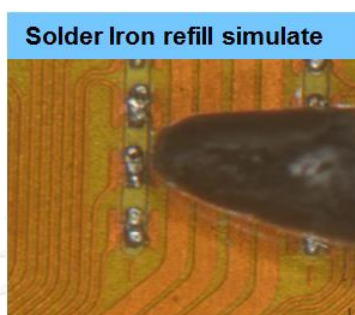
จากผลของการผ่าลวดจากเครื่องปัจจุบันจะเห็นว่าทุกๆ 1-2 ชั่วโมงจะมีการผ่าลวดไม่ได้ตามข้อกำหนดเฉลี่ย 80% ที่เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติผ่าลวดไม่ได้ตามข้อกำหนด ซึ่งเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติไม่สามารถปรับระยะขึ้น ลง ซ้าย ขวา ได้เลย ดังนั้นจำเป็นต้องคำนวณหาระยะที่เหมาะสมในการปรับเครื่องจักรให้สามารถผ่าลวดให้ได้ถึงน้ำยาประสานได้ รูปที่ 3.10 แสดงระยะป้อนลวดที่ผ่าถึงจุดกึ่งกลางของน้ำยาประสาน



รูปที่ 3.10 ระยะป้อนลวดที่ผ่าถึงจุดกึ่งกลางของน้ำยาประสาน

2) อุปกรณ์ในการเติมโลหะผสมบัดกรี

ในส่วนของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีพบว่า หัวแร้งที่ใช้ในปัจจุบันมีขนาดใหญ่กว่าชิ้นงานที่ทำการเติมโลหะผสมบัดกรี ทำให้การเติมโลหะต้องเติมหลายรอบ เนื่องจาก เมื่อหัวแร้งที่มีความร้อนที่อุณหภูมิสูงสัมผัสที่เส้นลวดโลหะบัดกรี ถ้าระยะห่างของตำแหน่งการเชื่อมระหว่างชิ้นงานเล็กกว่าขนาดของหัวแร้ง จะทำให้เนื้อโลหะจากบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อม (Pad) หนึ่งไปอีกแพด (Pad) หนึ่งได้ ซึ่งต้องทำการเติมหลายครั้งและทำให้ชิ้นงานนั้นมีค่าปริมาณดีบุกที่สูงขึ้น พร้อมทั้งใช้เวลาในการทำความสะอาด และวัสดุในการทำความสะอาดมากขึ้นเช่นกัน รูปที่ 3.11 แสดงขนาดของหัวแร้งเมื่อทำการเติมบนชิ้นงานปัจจุบัน



รูปที่ 3.11 ขนาดของหัวแร้งเมื่อทำการเติมบนชิ้นงานปัจจุบัน

3) ประเภทของน้ำยาประสาน

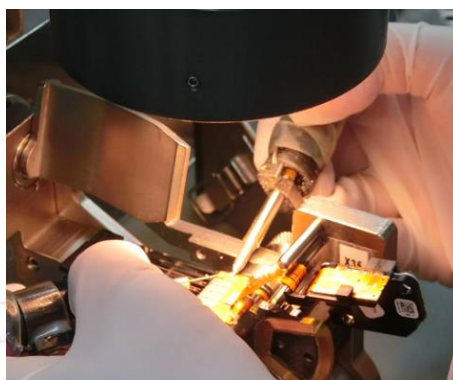
จากการศึกษาและได้ข้อมูลจากบริษัทที่ผลิตลวดโลหะผสมบัดกรีอ้างว่าลวดที่เปลี่ยนน้ำยาประสานและจำนวนของน้ำยาประสานทำให้ชิ้นงานหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรีมีปริมาณสิ่งปนเปื้อนน้อยลง โดยมีประเภทของน้ำยาประสานและเปอร์เซ็นต์ของน้ำยาประสานที่แตกต่างกัน ตารางที่ 3.6 แสดงสัดส่วนและปริมาณของน้ำยาประสานจาก 2 บริษัท

ตารางที่ 3.6 สัดส่วนและปริมาณของน้ำยาประสานจาก 2 บริษัท

Detail	Wire Vendor K	Wire Vendor I
%Tin (Sn)	95.8%	95.8%
%Silver (Ag)	3.5%	3.5%
%Copper (Cu)	0.7%	0.7%
Use Flux%	2.2%	3.0 %
Flux Type	ORH1 (Neutral Organic Water Soluble Flux)	REH1 (Resin Water Soluble)
Diameter	0.4 mm	0.4 mm

4) วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรี

วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบันไม่มีมาตรฐานที่เด่นชัดว่าต้องถือหัวแร้งและลวดโลหะผสมบัดกรีที่ตำแหน่งไหน และพบว่าในปัจจุบันพนักงานใช้วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีโดยการถือหัวแร้งกับลวดโลหะผสมบัดกรีในท่าที่สะดวกกับพนักงานเอง โดยหัวแร้งคร่าวๆทำมุมกับชิ้นงานที่ 10 องศา ทั้งนี้ทำให้ลวดโลหะผสมบัดกรีไหลไปสะสมที่โคนหัวแร้ง จึงจำเป็นต้องใช้ลวดโลหะผสมบัดกรีมากขึ้น เมื่อใช้ลวดโลหะผสมบัดกรีมากขึ้นก็ทำให้ค่าดีบุกมากขึ้นเช่นกัน รูปที่ 3.12 แสดงวิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบัน



รูปที่ 3.12 วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบัน

สรุปการวิเคราะห์ปัญหาและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

จากการระดมสมองจากคณะทำงานเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีให้กับชิ้นงาน ถ้าลวดผ้าไม่ถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสาน ยังใช้ขนาดของหัวแร้งที่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานการเติมโลหะผสมบัดกรี ประเภทของน้ำยาประสานที่ไม่เพียงพอ และมีวิธีการในการถือหัวแร้งในการเติมโลหะผสมบัดกรีไม่เหมาะสมแล้ว จะส่งผลกระทบต่อความสะอาดของชิ้นงานที่น่ากลับมาใช้ใหม่ รวมไปถึงความสูงของโลหะผสมบัดกรีหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรี และสูญเสียวัสดุที่ใช้ในการทำความสะอาดมากขึ้น จากแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ตารางสาเหตุเหตุและผล (Cause-Effect Matrix) ร่วมกับหลักการวิเคราะห์เชิงสถิติในงานวิศวกรรมโดยทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองและระบุหาจำนวนปริมาณของตัวอย่างในการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบ โดยลดการสูญเสียและสิ้นเปลืองทรัพยากรในการทดลองให้น้อยลง ซึ่งทำให้ได้มาถึงสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหา มากที่สุดนั่นก็คือ ค่าปรับตั้งของเครื่องป้อนลวด

โดยแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงต้องทำการปรับก่อนที่จะทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อช่วยลดปริมาณดิวท์ที่เกิดบนชิ้นงาน ไม่ว่าจะเป็นประเภทของลวดที่มีอัตราส่วนของน้ำยาประสานที่แตกต่างกัน ขนาดของหัวแร้งที่เล็กกว่าช่องห่างระหว่างบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมกับบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อม การกำหนดและหาวิธีการในการถือหัวแร้งให้กับพนักงานทุกช่วงเวลาการทำงานเป็นสิ่งที่ควรจะทำเพื่อเป็นการควบคุมงานที่ออกมาจากกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีให้ได้คุณภาพมากขึ้น ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยนั้นต้องทำความเข้าใจ และจากการประเมินของทางคณะทำงานได้ประเมินว่าถ้ามีการปรับระยะใบมีดให้สามารถขยับไปมาเพื่อทำการปรับในการผ่าลวดได้นั้น อาจจะส่งผลกระทบต่อการผ่าลวดที่ได้ระยะได้ไม่แน่นอน ดังนั้นจึงอาจจะต้องมีการกำหนดระยะที่แน่นอนให้กับใบมีดได้เลยเพื่อลดความเสี่ยงในการขยับของลวดอีกทางหนึ่ง ซึ่งปัจจัยเรื่องของระยะค่าปรับเครื่องป้อนลวดนั้นจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

บทที่ 4

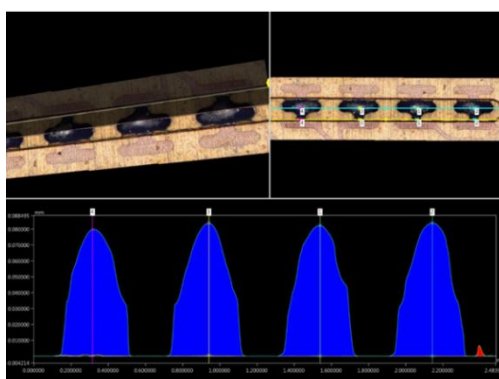
รูปแบบการทดลองและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากบทที่ 3 ในการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาพบว่า สิ่งที่เราต้องปรับปรุงแก้ไขเป็นอันดับแรกคือ เครื่องบ่อนลวดอัตโนมัติเพื่อให้เครื่องสามารถผ่าลวดให้ได้ถึงน้ำยาประสาน หลังจากนั้นมาคัดกรองอุปกรณ์ วัสดุดิบ และวิธีการ ที่เหมาะสมในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี ซึ่งในบทนี้ในส่วนแรกจะอธิบายถึงเกณฑ์ในการทดสอบหลังจากที่ได้ผลการทดสอบเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่ากลุ่มการทดลองไหนจะเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับการจะนำมาปรับปรุงในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีให้ได้คุณภาพประสิทธิภาพตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น ส่วนที่สองจะอธิบายถึงการแก้ปัญหาและการออกแบบการทดลอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 เกณฑ์ในการทดสอบชิ้นงาน

4.1.1 ความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรี

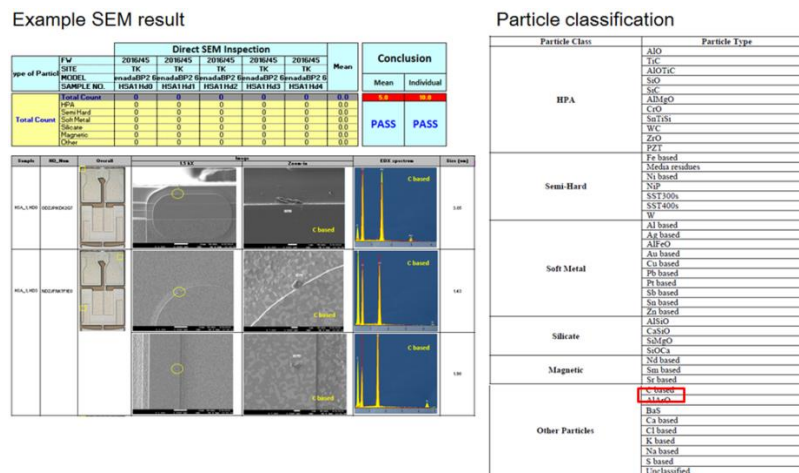
ความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีมีความสำคัญเพราะหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรีแล้ว ชิ้นงานเหล่านั้นจะต้องถูกส่งไปที่กระบวนการต่อไปคือการบัดกรีและชิ้นงานเหล่านั้นต้องมีความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีอยู่ระหว่าง 65 ไมโครเมตร ถึง 135 ไมโครเมตร ซึ่งถ้าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีอยู่ฝั่งข้อจำกัดล่างของข้อกำหนดจะทำให้การบัดกรีไม่สมบูรณ์ ในทำนองเดียวกัน ถ้าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีอยู่ฝั่งข้อจำกัดบนทำให้การเชื่อมต่อกับจุดอื่นที่ไม่ต้องการหรือการลัดวงจร (Short Circuit) ดังนั้นความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีจึงถูกนำมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการปรับปรุงงานครั้งนี้ด้วย โดยวิธีการวัดจะใช้เครื่องไมโครสโคปแบบดิจิทัลที่สามารถตรวจสอบจับภาพ และทำการวัดของชิ้นงานทั้งสองมิติและสามมิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความสามารถจับภาพถึง 50 เฟรมต่อวินาที รวมถึงความสามารถในการจัดการ ข้อมูลตั้งแต่ความสว่างในหลายระดับไปจนถึงจุดโฟกัสและความชัดลึกที่หลากหลายทำให้ผู้ใช้สามารถจับภาพที่ต้องการภาพใดก็ได้ รูปที่ 4.1 แสดงผลการวัดความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีจากเครื่องไมโครสโคปแบบดิจิทัล กระบวนการวัดความสูงของโลหะผสมบัดกรีใช้เวลาในการวัดต่อจุด จุดละ 4 นาที



รูปที่ 4.1 ผลการวัดความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีเครื่องไมโครสโคปแบบดิจิทัล

4.1.2 ปริมาณค่าดีบุก

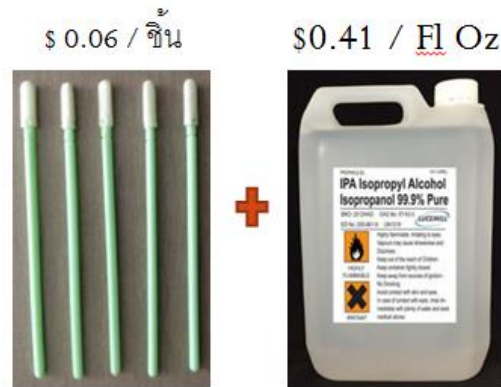
ปริมาณค่าดีบุกเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการตรวจสอบไม่ผ่านที่กระบวนการชุดหัวอ่าน เขียนและถ้าชิ้นงานหลุดไปอาจส่งผลให้ฮาร์ดดิสไดรฟ์เสียหาย ซึ่งปริมาณค่าดีบุกที่โรงงานกำหนดคือ ไม่ควรเกิน 250 particle/cm² โดยทำการวัดด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนี้จะเป็น ภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาพื้นฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและ เซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างผลการตรวจสอบปริมาณค่าดีบุก จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างผลการตรวจสอบปริมาณค่าดีบุกจากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

4.1.3 ชุดกระบวนการทำความสะอาดชิ้นงาน

การทำความสะอาดหลังการเติมโลหะผสมบัดกรีเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเติม โลหะผสมบัดกรี ซึ่งชุดอุปกรณ์การทำความสะอาดนั้นประกอบด้วย ก้านทำความสะอาด (foam swabs) และ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Isopropyl alcohol) การทำความสะอาดชิ้นงานในแต่ละครั้ง ใช้ก้านทำความสะอาดชุบไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์อย่างน้อย 3 ก้าน เป็นเงิน \$0.18 ต่อชิ้นงานหนึ่งตัว รูปที่ 4.3 แสดงชุดอุปกรณ์การทำความสะอาดชิ้นงานหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี

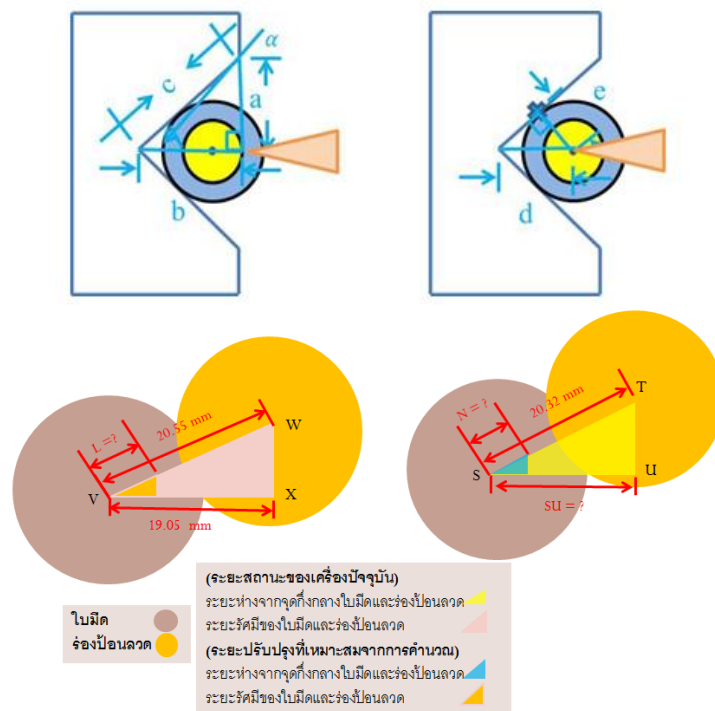


รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์การทำความสะอาดชิ้นงานหลังการเติมโลหะผสมบัดกรี

4.2 การแก้ไขปัญหา

4.2.1 การปรับระยะใบมีดให้สามารถปรับระยะในการผ่าลวด

เนื่องจากการปรับปรุงค่าปรับระยะของใบมีดให้สามารถปรับระยะเพื่อผ่าลวดให้ผ้าได้ลึกขึ้นจากที่เคยผ่าได้แค่ 1/4 ของลวด ทั้งนี้เพื่อช่วยให้ใบมีดผ่าลวดได้มากขึ้นตามความต้องการของการผ่าที่มีคุณภาพที่อยู่กึ่งกลางของน้ำยาประสาน โดยมีวิธีการคำนวณโดยใช้ความรู้พื้นฐานจากกฎพีทาโกรัส กฎตรีโกณมิติ นิยามของเส้นสัมผัสวงกลม และ กฎของสามเหลี่ยมคล้าย ช่วยในการคำนวณ ซึ่งรายละเอียดตัวแปรจากการคำนวณดังรูปที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 ข้อมูลตัวแปรในการคำนวณระยะห่างของใบมีดและร่องป้อนลวด

สูตรการคำนวณ

$$a^2 + b^2 = c^2 \quad a^2 + b^2 = c^2 \quad ; \quad 0.6^2 + 0.5^2 = c^2 \quad 0.6^2 + 0.5^2 = c^2$$

(1) ดังนั้นค่า $c = 0.78$ มิลลิเมตร

$$\sin \alpha = \frac{0.6}{0.78} \sin \alpha = \frac{a}{c} \quad ; \quad \sin \alpha = \frac{0.6}{0.78} \quad (2) \quad \text{ดังนั้นค่า } \alpha$$

= 50.28 องศา

$$\sin \alpha = \frac{e}{d} \quad ; \quad \sin 50.28 = \frac{0.2}{d} \quad (3) \quad \text{ดังนั้นค่า } d = 0.26 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\frac{ST}{VW} = \frac{SU}{VX} \quad ; \quad \frac{20.32}{20.55} = \frac{SU}{19.05} \quad (4) \quad \text{ดังนั้นค่า } SU = 18.84 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\cos \alpha = \frac{d}{N} = \frac{0.271}{L} \quad ; \quad \cos 50.28 = \frac{0.26}{N} = \frac{0.271}{L} \quad (5)$$

ดังนั้นค่า $N = 0.407$ มิลลิเมตร และ $L = 0.424$ มิลลิเมตร

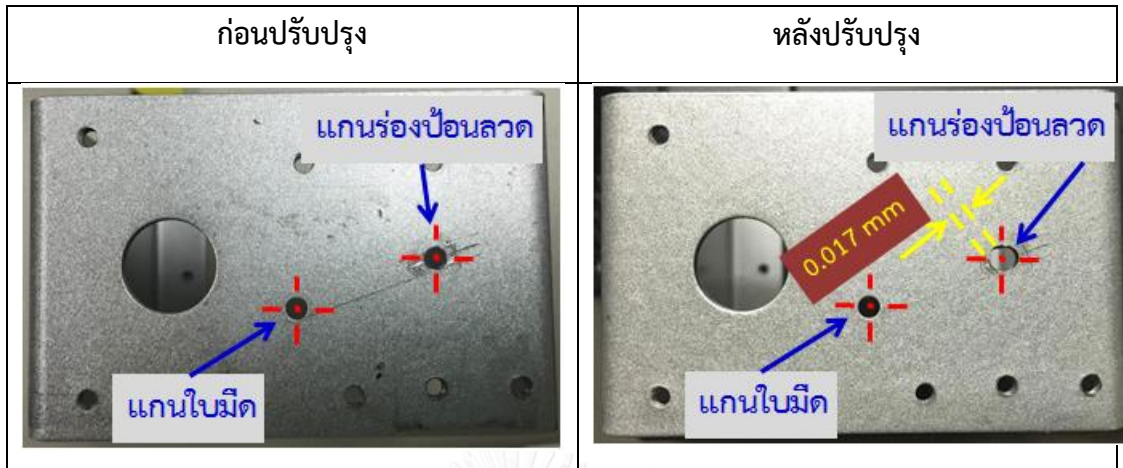
จากการปรับระยะอุปกรณ์ของเครื่องป้อนลวดในปัจจุบัน สามารถปรับระยะได้แค่ระยะในแนวแกน Z เท่านั้น เราจึงจะทำการปรับระยะแกน X เพิ่มเพื่อช่วยให้ใบมีดสามารถผ่าลวดให้ได้ลึกมากขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวด และรายละเอียดโดยใช้การออกแบบการ และจากการคำนวณพบว่า ระยะห่างใบมีดกับร่อง Groove ที่ควรเหมาะสมในแนวทะแยงนั้นเป็นระยะ 0.407 มิลลิเมตร จากที่เครื่องปัจจุบันมีระยะห่างอยู่ที่ 0.424 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.1 แสดงสรุปค่าแต่ละตัวแปรและทฤษฎีจากการคำนวณ

ตารางที่ 4.1 สรุปค่าแต่ละตัวแปรและทฤษฎีจากการคำนวณ

รายการ	ตัวแปร	ค่าที่ได้จากการวัด	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	หน่วย	ทฤษฎี
ระยะความสูงครึ่งหนึ่งของร่องป้อนลวด	a	0.60	-	mm	-
ระยะความลึกในสุดจากขอบริมสุดของร่องป้อนลวด	b	0.50	-	mm	-
ระยะความยาวแนวเฉียงของร่องป้อนลวด	c		0.78	mm	พีทาโกรัส
มุมของกึ่งกลางของลวดกระทำต่อแนวเฉียงของร่องป้อนลวด	α		50.28	deg	ตรีโกณมิติ
ระยะจากจุดศูนย์กลางของลวดโลหะผสมบัดกรีถึงระยะที่ลึกสุดของร่องป้อนลวด	d		0.26	mm	เส้นสัมผัสวงกลม, ตรีโกณมิติ

ระยะรัศมีของลวดโลหะผสม บัดกรี	e	0.20	-	mm	-
รัศมีของใบมีด	-	11.27	-	mm	-
รัศมีของร่องป้อนลวด	-	9.28	-	mm	-
ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางใบมีด และร่องป้อนลวดในแนวแกน เฉียง	ST	20.32	-	mm	เส้นสัมผัส วงกลม
ระยะห่างระหว่างรัศมีของใบมีด และร่องป้อนลวดในแนวแกน เฉียง	VW	20.55	-	mm	-
ใบมีดและร่องป้อนลวดเกยกันอยู่	-	0.23	-	mm	-
ระยะห่างระหว่างรัศมีของใบมีด และร่องป้อนลวดในแนวแกนราบ	VX	19.05	-	mm	-
ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางใบมีด และร่องป้อนลวดในแนวแกนราบ	SU		18.84	mm	สามเหลี่ยม คล้าย
ระยะห่างระหว่างร่องลึกสุดของ Groove และใบมีด	-	0.27	0.27	mm	-
ระยะห่างใบมีดกับร่องป้อนลวด ปัจจุบันในแนวแกนเฉียง	L		0.424	mm	ตรีโกณมิติ
ระยะห่างใบมีดกับร่องป้อนลวดที่ ควรจะเป็นในแนวแกนเฉียงแนว ทะแยง	N		0.407	mm	ตรีโกณมิติ
ระยะที่ต้องขยับเพิ่ม	-		0.017	mm	-

จากการคำนวณหาระยะที่เหมาะสมข้างต้น พบว่าระยะที่ต้องขยับเพิ่มของแกนร่องป้อนลวดที่ 0.017 มิลลิเมตร โดยทำการเจาะรูให้ได้ขนาดตามที่ต้องการและทำการควบคุมระยะให้เหมาะสมกับการทดลอง รูปที่ 4.5 แสดงระยะก่อนและหลังการปรับระยะของแกนร่องป้อนลวด ซึ่งคมตัดและร่องป้อนลวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบทุกๆสัปดาห์



รูปที่ 4.5 ระยะก่อนและหลังการปรับระยะของแกนร่องป้อนลวด

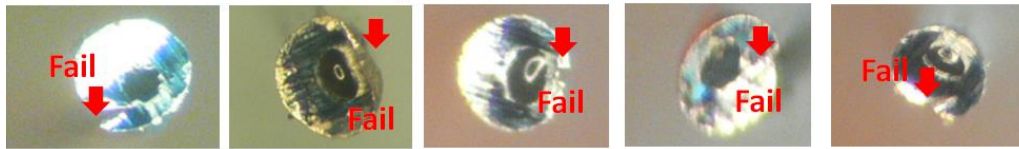
หลังจากการปรับระยะของแกนร่องป้อนลวดแล้วทำให้ระยะห่างระหว่างใบมีดกับร่องลึกที่สุดของร่องป้อนลวดสามารถผ่าลวดให้ได้ถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสานจากระยะที่ 0.424 มิลลิเมตร เป็นระยะ 0.407 มิลลิเมตร รูปที่ 4.6 แสดงระยะการผ่าลวดให้ได้กึ่งกลางของน้ำยาประสาน



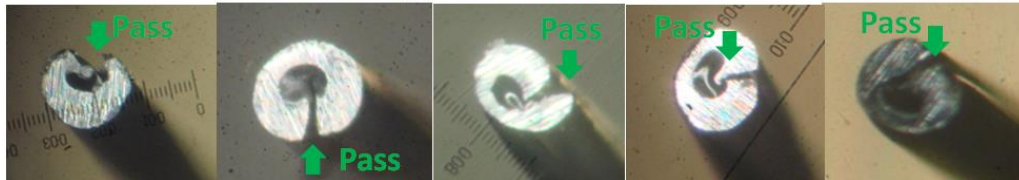
รูปที่ 4.6 ระยะการผ่าลวดก่อนและหลังการปรับปรุง

หลังจากการปรับเครื่องจะต้องมีการตรวจสอบลวดที่ผ่าแล้วหลังจากการปรับระยะของแกนใบมีดเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องหลังการปรับพร้อมสำหรับเงื่อนไขที่ผ่าให้ได้กึ่งกลางของน้ำยาประสานหรือไม่ เพื่อที่จะได้ทำการทดลองขั้นอื่นต่อไปได้ การตรวจสอบการผ่าของลวดหลังจากเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติทำการผ่าลวดแล้วในแต่ละตัวอย่างการผ่าที่เก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ทำการจากกล้องไมโครสโคป (micro scope) ที่กำลังขยาย 30X รูปที่ 4.7 แสดงผลการผ่าลวดก่อนและหลังปรับปรุงระยะห่างระหว่างใบมีดกับร่องป้อนลวด พบว่าหลังจากการแก้ไขเครื่องสามารถผ่าลวดได้ถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสาน 100% ใน 5 วันต่อเนื่อง

Wire cut before improvement : Cannot cut into Flux core

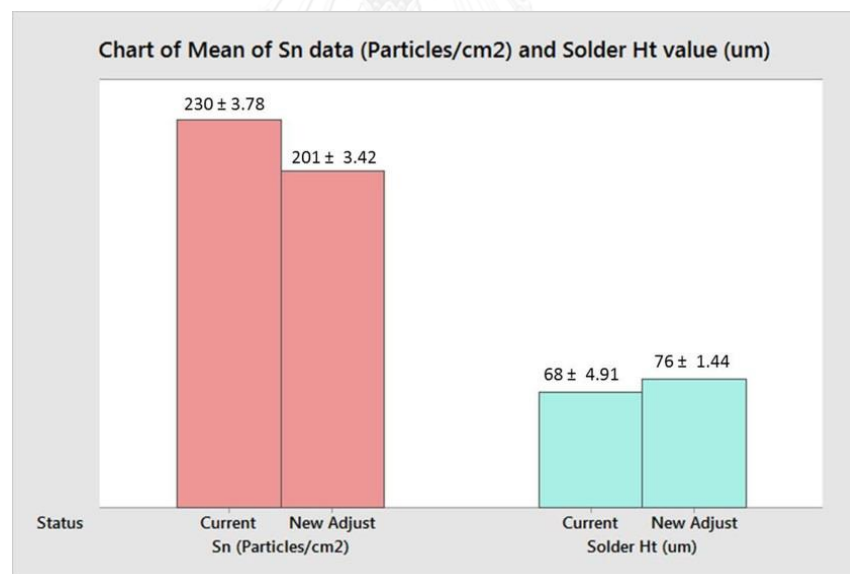


Wire cut after improvement : Can cut into Flux core



รูปที่ 4.7 ผลการผ่าลวดก่อนและหลังปรับปรุงระยะห่างระหว่างใบมีดกับร่องป้อนลวด

ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานหลังจากที่การปรับเครื่องมีค่าปริมาณดีบุกลดลงไป 13% และความสูงของโลหะผสมบัดกรีมีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้น 11% รูปที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าดีบุกและความสูงของโลหะผสมบัดกรีหลังจากการปรับเครื่องจักร และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานลดลง 2 วินาที ตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าดีบุกและความสูงของโลหะผสมบัดกรีหลังจากการปรับเครื่องจักร

ตารางที่ 4.2 ตารางเวลาเปรียบเทียบการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่อง

ELEM. NO	ELEMENT	NORMAL TIME	
		Current (0.424 mm)	New (0.407 mm)
1	Open Tray	0.22	0.22
2	Load unit to nest	4.17	4.17
3	Desold	8.48	8.48
4	Refill Solder	14.72	14.72
5	Clean	18.04	16.04
6	Unload to tray	4.72	4.72
7	Close and send to nest	0.28	0.28
SUMMARIZE TIME		50.63	48.63

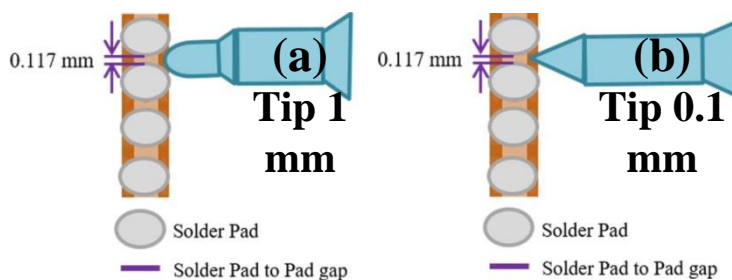
หลังจากที่เราได้ทำการปรับเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานและเป็นไปตามข้อกำหนดของเครื่องแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยจะเริ่มนำปัจจัยอื่นมาทำการวิเคราะห์ดังนี้

4.2.2 อุปกรณ์ วัดถุดิบและวิธีการ

4.2.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

1) ขนาดหัวแร้ง

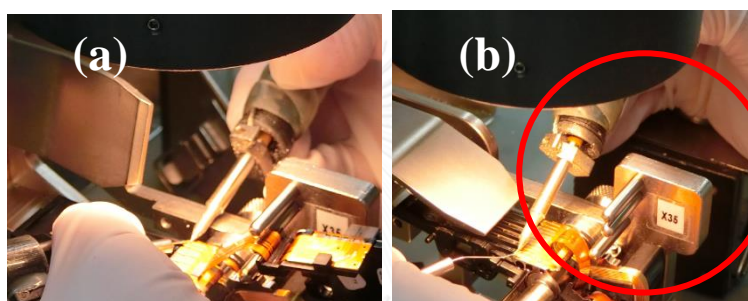
หลังจากทำการปรับเครื่องให้ได้ตามที่ต้องการแล้ว นอกจากการที่ลวดผ้าได้ถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสานแล้วนั้น ยังมีกระบวนการอื่นที่น่าสนใจในการลดปริมาณดีบุก รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของหัวแร้งขนาด (a) 1 mm และ (b) 0.1 mm บนชิ้นงานระหว่างกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี จะเห็นว่าระยะระหว่างบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมกับบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมมีค่าแค่ 0.117 mm แต่หัวแร้งปัจจุบันมีขนาดที่ใหญ่กว่าระยะห่างถึง 10 เท่า ดังนั้นการหาขนาดปลายหัวแร้งที่มีขนาดเล็กกว่าระยะห่างบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมกับบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมเท่าที่พอจะหาได้คือขนาดหัวแร้งที่ 0.1 mm ซึ่งจะลดความเสี่ยงจากการถ่ายโอนของโลหะผสมบัดกรีในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีในแต่ละบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อมได้



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบขนาดของหัวแร้งขนาด (a) 1 mm และ (b) 0.1 mm

2) วิธีการในการเติมโลหะผสมบัดกรี

ปัจจุบันในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี ยังไม่มีมาตรฐานวิธีการถือหัวแร่้งในการเติมโลหะผสมบัดกรี รูปที่ 4.10 (a) แสดงมุมในการถือหัวแร่้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีของพนักงานการถือหัวแร่้งแบบสะดวกของพนักงานปัจจุบันที่ 10 องศา ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงนำอุปกรณ์วางมือ (ในรูปวงกลม) ที่มีอยู่แล้วในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี อุปกรณ์นั้นคือกล่องทำความสะอาดหัวแร่้งเพื่อลดการลงทุนที่ไม่จำเป็นและสามารถนำมาเป็นมาตรฐานของพนักงานใช้ทุกช่วงเวลาการทำงานได้ ซึ่งทำให้มุมของหัวแร่้งที่กระทำกับชิ้นงานเพิ่มขึ้นเป็น 30 องศาดังรูป 4.10 (b) ซึ่งก่อนหน้านี้พนักงานจะถือหัวแร่้งตามสะดวก ซึ่งทำให้การถือหัวแร่้งในแต่ละช่วงเวลาการทำงานแตกต่างกัน และมีผลต่อการที่โลหะผสมบัดกรีตกค้างบนปลายหัวแร่้ง



รูปที่ 4.10 มุมในการถือหัวแร่้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีของพนักงาน
(a) การถือหัวแร่้งแบบสะดวกของพนักงานปัจจุบันที่ 10 องศา และ
(b) อุปกรณ์รองมือทำให้มุมการถือหัวแร่้งเป็น 30 องศา

3) ประเภทของน้ำยาประสาน

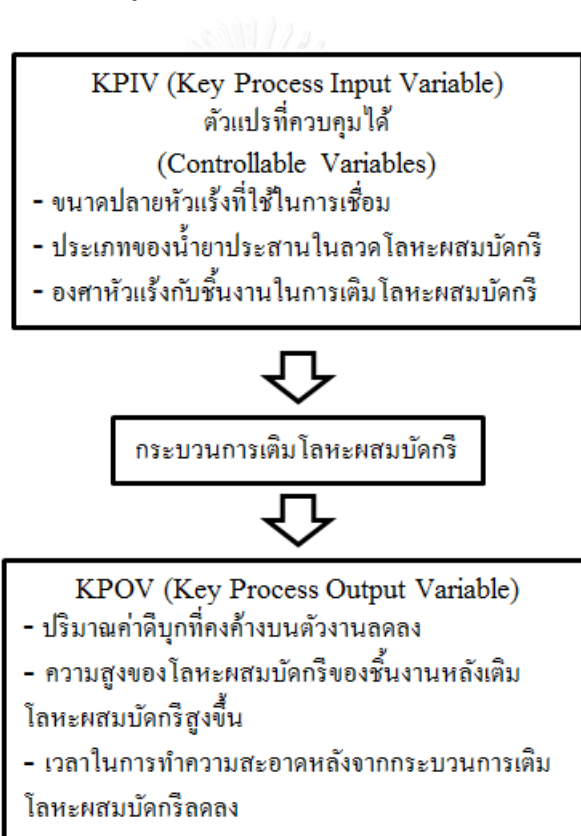
ปัจจุบันน้ำยาประสานที่ใช้ในโรงงานเป็นของบริษัท K ซึ่งมีสัดส่วนของน้ำยาประสานอยู่ 2.2% ซึ่งน้ำยาประสานของลวดบริษัท I มีน้ำยาประสานที่มากกว่าที่ 3% ทั้งนี้ น้ำยาประสานที่มากกว่าจะช่วยให้สิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานน้อยลงตาม เนื่องจากน้ำยาประสานมีหน้าที่ช่วยประสานให้น้ำและโลหะให้วิ่งไปเกาะกันมากขึ้น ตารางที่ 4.3 แสดงสัดส่วนข้อมูลลวดโลหะผสมบัดกรีของ 2 บริษัท

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนข้อมูลลวดโลหะผสมบัดกรีของ 2 บริษัท

Detail	Wire Vendor K	Wire Vendor I
Use Flux%	2.2%	3.0 %
Flux Type	ORH1 (Neutral Organic Water Soluble Flux)	REH1 (Resin Water Soluble)

4.2.2.2 การเลือกแบบการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกการออกแบบเศษส่วนแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาผลกระทบ (effects) ของการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย (factors) หลากปัจจัยพร้อมๆกัน ซึ่งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Key Process Input Variable) ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี ได้แก่ ขนาดปลายหัวแร้งที่ใช้ในการเชื่อม ประเภทของน้ำยาประสานในลวดโลหะผสมบัดกรี และองศาหัวแร้งกับชิ้นงานในการเติมโลหะผสมบัดกรี และตัวแปรที่จะถูกวัดค่าในการทดลองหลังจากการทดลอง คือ ปริมาณค่าดีบุกที่คงค้างบนตัวงานลดลง ความสูงของโลหะผสมบัดกรีของชิ้นงานหลังเติมโลหะผสมบัดกรีเทียบเท่างานประกอบใหม่ และการทำความสะอาดหลังจากการกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 แสดงตัวแปรที่มีผลและถูกวัดค่าในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี



รูปที่ 4.11 ตัวแปรที่มีผลและถูกวัดค่าในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี

โดยจะใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม 2^k (Full Factorial Design) มาใช้เพราะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ เมื่อมีการทำการทดลองควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆกันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่งเพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังทำให้ทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย และการมีความโค้ง (Curvature) ของปัจจัยอีกด้วย

4.2.2.2.1 การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Power and Sample Size)

การคำนวณขนาดตัวอย่างเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการทดสอบและจำนวนตัวอย่างทดสอบ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ควรทำก่อนการทดสอบเพื่อหาจำนวนตัวอย่างหรือหลังการทดสอบเพื่อหาความสามารถในการทดสอบ ดังนี้

1) นำค่าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีที่ได้จากกระบวนการของงานนำมาประกอบใหม่ พบค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลคือ 64.53 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 8.7 รูปที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีงานนำมาประกอบใหม่

Descriptive Statistics: Solder Ht

Variable	Group	Mean	StDev
Solder Ht	Current Rework Solder Ht	64.53	8.70

รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีงานนำมาประกอบใหม่

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลค่าความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีจากการทดลองแล้วให้เข้าโปรแกรม Minitab โดยเลือกที่ฟังก์ชัน 1 sample Z เนื่องจากเป็นกรณีของการทดสอบสมมติฐานสำหรับ 1 ประชากร โดยเราต้องการตรวจจับความแตกต่างของความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรีที่ 2σ เท่ากับ 17.4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีอำนาจในการทดสอบเป็น 0.9 จะต้องใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง พบว่าจากการสุ่มขึ้นงานมาตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือที่ 93.4% ซึ่งมีความสามารถในการเก็บข้อมูลมาตรวจสอบเพียงพอตั้งรูปที่ 4.13

Power and Sample Size

1-Sample Z Test

Testing mean = null (versus \neq null)
 Calculating power for mean = null + difference
 $\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 8.7

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
17.4	3	0.9	0.933727

รูปที่ 4.13 จำนวนตัวอย่างในการทดสอบความสูงของโลหะผสมบัดกรี

2) นำค่าปริมาณดีบุกที่ได้จากกระบวนการของงานนำมาประกอบใหม่พบค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลคือค่าเฉลี่ยของข้อมูลคือ 201 particle/cm² และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 24.24 รูปที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณค่าดีบุกจากการทดลอง

Descriptive Statistics: Sn Based

Variable	Group	Mean	StDev
Sn Based	Rework	201.00	24.24

รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณค่าตีbukจากการทดลอง

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณค่าตีbukจากการทดลองแล้วให้เข้าโปรแกรม Minitab โดยเลือกที่ฟังก์ชัน 1 sample Z เนื่องจากเป็นกรณีของการทดสอบสมมติฐานสำหรับ 1 ประชากร โดยเราต้องการตรวจจับความแตกต่างของปริมาณค่าตีbukที่ $1.5\sigma = 36.36$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีอำนาจในการทดสอบเป็น 0.8 จะต้องใช้ตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของการตรวจสอบเพราะชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบปริมาณตีbukต้องทำการทำลายทิ้งและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทั้งนี้ราคาของชิ้นงานในการทดสอบมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงจะใช้ตัวอย่างในการทดสอบที่ 3 ตัวอย่าง พบว่าจากการสุ่มชิ้นงานมาตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือที่ 74% ซึ่งมีความสามารถในการเก็บข้อมูลมาตรวจสอบเพียงพอ ดังรูปที่ 4.15

Power and Sample Size

1-Sample Z Test

Testing mean = null (versus \neq null)
 Calculating power for mean = null + difference
 $\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 24.24

Difference	Sample Size	Power
36.36	3	0.738302

รูปที่ 4.15 ความสามารถในการเก็บข้อมูลปริมาณค่าตีbukมาตรวจสอบ

3) เมื่อนำเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการของงานนำมาประกอบใหม่ พบค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ 18.039 วินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.801 รูปที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

Descriptive Statistics: Cleaning Time

Variable	Mean	StDev
Cleaning Time	18.039	0.801

รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานจากการทดลองแล้วให้เข้าโปรแกรม Minitab โดยเลือกที่ฟังก์ชัน 1 sample Z เนื่องจากเป็นกรณีของการทดสอบสมมติฐานสำหรับ 1 ประชากร โดยเราต้องการตรวจจับความแตกต่างของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานที่ $2\sigma = 1.602$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีอำนาจในการทดสอบเป็น 0.9 จะต้องใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ซึ่งมีความสามารถในการเก็บข้อมูลมาตรวจสอบเพียงพอดังรูปที่ 4.17

Power and Sample Size

1-Sample Z Test

Testing mean = null (versus \neq null)
 Calculating power for mean = null + difference
 $\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 0.801

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
1.602	3	0.9	0.933727

รูปที่ 4.17 ความสามารถในการเก็บข้อมูลเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานมาตรวจสอบ

4.2.2.2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม

ในการดำเนินการออกแบบการทดลอง ได้นำเอาโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการสร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยในงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดของหัวแร้งในการเชื่อม (Tip) ประเภทของน้ำยาประสาน (Wire) และองศาในการถือหัวแร้ง (Method) ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ดังตารางที่ 4.4 จากนั้นเลือกกระดับของมิติ (Resolution) เท่ากับระดับแบบเต็ม (Full) จะได้การทดลองจำนวน 8 การทดลอง (run) และการเก็บข้อมูลซ้ำ (replication) ที่ 3 ครั้ง จะได้การทดลองจำนวน 24 การทดลอง (run) ตารางที่ 4.5 แสดงตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัย

Factor	Name	Low (-1)	High (1)	Unit
A	Soldering Iron Tip Size	0.1	1	mm
B	Wire Vendor	I	K	-
C	Soldering Iron hold Angle	10	30	Degree

ตารางที่ 4.5 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปร
ตอบสนอง

Run Order	Soldering Iron Tip Size	Wire Vendor	Soldering Iron Hold Angle	Solder Ht	Sn Based	Cleaning Usage	Cleaning Time
1	0.1	I	10				
2	1.0	I	10				
3	0.1	K	10				
4	1.0	K	10				
5	0.1	I	10				
6	1.0	I	10				
7	0.1	K	10				
8	1.0	K	10				
9	0.1	I	10				
10	1.0	I	10				
11	0.1	K	10				
12	1.0	K	10				
13	0.1	I	30				
14	1.0	I	30				
15	0.1	K	30				
16	1.0	K	30				
17	0.1	I	30				
18	1.0	I	30				
19	0.1	K	30				
20	1.0	K	30				
21	0.1	I	30				
22	1.0	I	30				
23	0.1	K	30				
24	1.0	K	30				

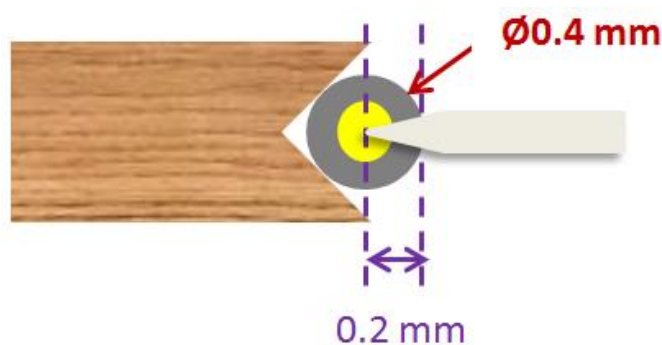
สรุปการออกแบบการทดลอง

เนื่องจากการเปลี่ยนหัวแร้งและลวดในการทดลองต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการเปลี่ยน เพราะหา ความร้อนตกค้างบนหัวแร้งยังมีอยู่หลังจากที่เครื่องปิดไปแล้ว ดังนั้น ต้องรอให้หัวแร้งเย็นก่อนค่อยนำ หัวแร้งใหม่ใส่เข้าไปได้เพื่อความปลอดภัยของพนักงานเอง หลังจากการแบ่งกลุ่มที่เริ่มจากขนาดปลาย หัวแร้งที่ 1 มิลลิเมตร และ 0.1 มิลลิเมตร แล้วเปลี่ยนลวดโลหะผสมบัดกรีอีก 2 บริษัท ซึ่งอ้างว่ามี ประเภทของน้ำยาประสานที่ต่างกัน และช่วยลดความสกปรกบนชิ้นงานได้ ในส่วนสุดท้าย จะนำ วิธีการที่ได้ทำอุปกรณ์การวางมือให้พนักงานรองมือให้ได้เป็นมาตรฐานเดียวกันทุกช่วงเวลาการทำงาน อีก 2 กลุ่ม ดังนั้นการทดลองครั้งนี้จะแบ่งออกเป็น 8 กลุ่มด้วยกัน ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะทำการทดลองที่ 8 ตัวต่อกลุ่ม สืบเนื่องจากการส่งงานตรวจสอบปริมาณดีบุกที่ห้องทดสอบและชิ้นงานที่ทำการตรวจวัด ค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab และปัจจัยอื่นของทางโรงงาน สรุปได้ว่ากลุ่มการทดลองแต่ละกลุ่มจะใช้การวัดงานกลุ่มละ 3 ตัว และจากปัจจัยที่ต้องการศึกษา ทั้งหมด 3 ปัจจัยเลือกระดับของมิติเท่ากับระดับแบบเต็มจะได้รับการทดลองจำนวน 8 การทดลองและการเก็บข้อมูลซ้ำที่ 3 ครั้ง จะได้รับการทดลองจำนวน 24 การทดลอง

4.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

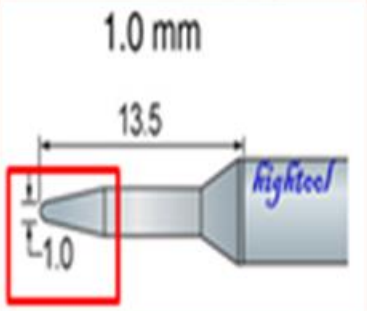
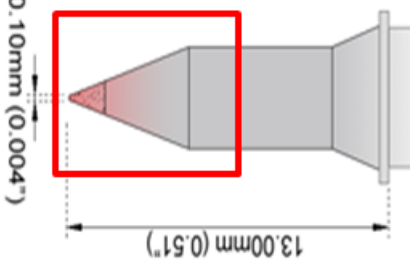
ผู้วิจัยดำเนินการทดลองตามลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab โดยก่อน ดำเนินการทดลองนั้นได้มีการประชุมเพื่ออธิบายทำความเข้าใจกับสมาชิกในทีมเกี่ยวกับแผนการ ทดลองและเพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องดำเนินการจัดเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรและอุปกรณ์ เพื่อจะ ได้ผลการทดลองที่มีความถูกต้อง การตั้งค่าตรงตามระดับที่ต้องการและได้วิธีการที่ถูกต้อง อีกทั้งยัง ต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้งานทดลองนี้หลุดไปปะปนกับงานที่ผลิตจริง เนื่องจากต้องใช้สายการผลิต เดียวกัน โดยมีขั้นตอนปฏิบัติดังต่อไปนี้

- 1) การปรับระยะห่างของใบมีดจนถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสานในเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ รูปที่ 4.18 แสดงระยะการผ่าลวดให้ถึงน้ำยาประสาน



รูปที่ 4.18 ระยะใบมีดที่ผ่าลวดถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสาน

2) หลังจากปรับระยะห่างใบมีดแล้วก็มาเลือกขนาดปลายหัวแร้งที่เหมาะสมกับการเชื่อม รูปที่ 4.19 แสดงขนาดปลายหัวแร้งที่จะใช้ในการทดลอง

ขนาดปลายหัวแร้งปัจจุบัน (1 mm)	ขนาดปลายหัวแร้งที่จะทำการทดลอง (0.1 mm)
	

รูปที่ 4.19 ขนาดปลายหัวแร้งที่จะใช้ในการทดลอง

3) เตรียมประเภทของน้ำยาประสานจากลวด 2 บริษัทนามว่า K ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และ I ที่มีค่าปริมาณน้ำยาประสานมากกว่าและเป็นน้ำยาประสานประเภทเรซิน

4) วิธีการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ได้นำอุปกรณ์วางมือมาให้พนักงานวางมือในระหว่างการถือหัวแร้งที่มุม 30 องศา

บทที่ 5

ผลการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณค่าดีบุกที่มีแนวโน้มที่สูงขึ้นบนชิ้นงาน ความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรี และเวลาในการทำความสะอาดหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรี หลังจากปัญหาการผ่าลวดให้ถึงกึ่งกลางของน้ำยาประสานด้วยเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติได้ทำการถูกแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และผลการผ่าลวดเป็นไปตามข้อกำหนดของเครื่อง ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานหลังจากที่การปรับเครื่องมีค่าปริมาณดีบุกลดลงไป 12% และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานลดลง 2 วินาที ขั้นตอนต่อไปคือการนำตารางการออกแบบการทดลองของปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากอุปกรณ์ (ขนาดของหัวแร้ง) วัสดุดิบ (ประเภทของลวด) และวิธีการ (มุมการเติมโลหะผสมบัดกรี) จากบทที่ 4 มาทำการทดลอง โดยผลการทดลองจะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อผลตอบสนองต่อไป

5.1 ผลการดำเนินการทดลองของประเภทของลวด ขนาดของหัวแร้งและวิธีการเติมโลหะผสมบัดกรี

หลังจากการดำเนินการทดลองตามขั้นตอนข้างต้นแล้วนั้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

Run Order	Soldering Iron Tip Size	Wire Vendor	Soldering Iron Hold Angle	Solder Ht	Sn Based	Cleaning Time
1	0.1	K	10	74.0955	150	13.55
2	1.0	K	10	53.2792	198	17.94
3	0.1	I	10	81.3543	142	15.29
4	1.0	I	10	65.3250	189	20.02
5	0.1	K	30	90.2555	136	11.34
6	1.0	K	30	61.3692	176	17.08
7	0.1	I	30	87.0297	129	15.38
8	1.0	I	30	69.2733	173	19.08
9	0.1	K	10	77.9766	153	13.25
10	1.0	K	10	58.8583	205	18.04
11	0.1	I	10	80.2921	139	16.04
12	1.0	I	10	71.4417	187	20.32
13	0.1	K	30	90.8268	138	11.74
14	1.0	K	30	66.1058	179	17.79

15	0.1	I	30	87.7192	133	14.38
16	1.0	I	30	70.0850	166	19.79
17	0.1	K	10	77.4021	148	12.85
18	1.0	K	10	59.6317	196	18.04
19	0.1	I	10	81.7609	137	15.04
20	1.0	I	10	68.5367	192	20.79
21	0.1	K	30	91.0013	135	12.14
22	1.0	K	30	69.3008	183	17.29
23	0.1	I	30	88.2020	127	14.98
24	1.0	I	30	72.6451	169	19.98

5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ทำการสุ่มชิ้นงานเพื่อมาตรวจปริมาณดีบุก ความสูงของโลหะผสมบัดกรีหลังการเติมโลหะผสมบัดกรีบริเวณตำแหน่งที่ใช้ในการเชื่อม และเวลาในการทำความสะอาด ทั้งหมด 3 ตัวอย่างในการทดลองมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี เพื่อใช้ในการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

5.2.1 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนที่จะดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไปนั้น ต้องมีการตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่าความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้หรือไม่ โดยข้อสมมุติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองคือ หากค่าความผิดพลาดหรือค่าส่วนตกค้างในการทดลอง มีการกระจายตัวแบบปกติ หากข้อมูลมีความอิสระต่อกันและมีค่าความแปรปรวนคงที่ ซึ่งถ้าข้อมูลมีความถูกต้องตามข้อสมมุติดังกล่าวแล้ว ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งผลการตรวจสอบความสูงของโลหะผสมบัดกรีดังรูปที่ 5.1 และ ผลการตรวจสอบของปริมาณค่าดีบุกดังรูปที่ 5.2 และเวลาในการทำความสะอาดหลังกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีดังรูปที่ 5.3 โดยจะมีการตรวจสอบรายละเอียดต่อไป

1) การทดสอบสมมติฐานความเป็นปกติของข้อมูล (Normal Distribution)

จากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้างดังรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวรอบๆแนวเส้นตรงและไม่เบี่ยงเบนจากเส้นตรงมากนัก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

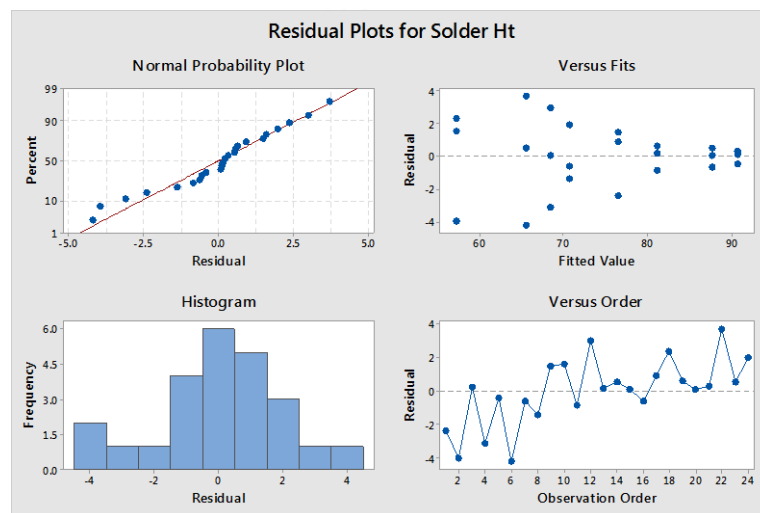
2) การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

จากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองดังรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 พบว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มสูงขึ้นระหว่างการทดลองแต่ไม่มากนัก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนมีความเป็นเสถียรภาพ

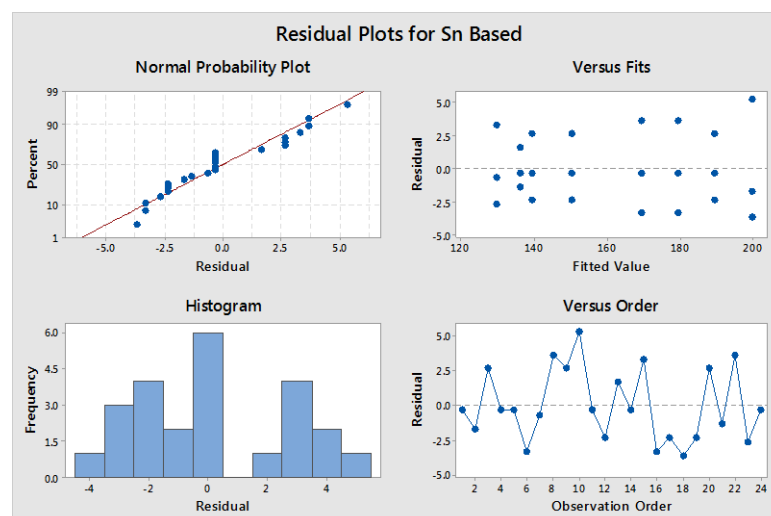
3) การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Data)

จากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลดังรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระ

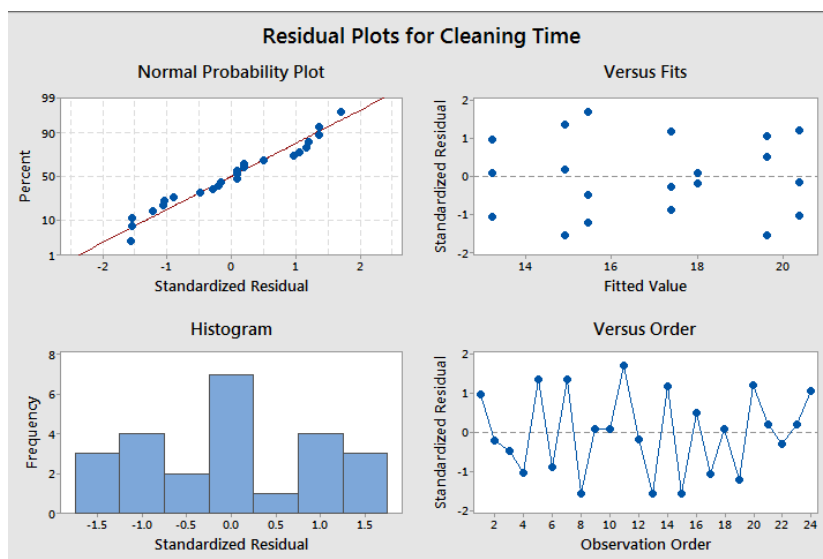
ด้วยข้อมูลการทดสอบสมมติฐานทั้งสามข้างต้นจะพบว่ารูปแบบการทดลองมีความถูกต้องตรงกับข้อสมมุติ ดังนั้นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จึงสามารถนำไปใช้ได้



รูปที่ 5.1 แผนภูมิค่าส่วนตกค้าง (Residual Plot) ความสูงของโลหะผสมบัดกรี



รูปที่ 5.2 แผนภูมิค่าส่วนตกค้าง (Residual Plot) ของปริมาณค่าตีบุก



รูปที่ 5.3 แผนภูมิค่าส่วนตกค้าง (Residual Plot) ของเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดหลังเติม โลหะผสมบัดกรี

5.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการทดสอบปัจจัยนำเข้า และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดบ้างที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

1) การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นคือปัจจัยที่มีค่านอกแนวเส้นกราฟ Normal Plot of the Effects คือปัจจัยขนาดปลายหัวแร้ง (Tip) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Wire) ปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Method) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด และมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี คือ ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้งและปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Tip*Wire) ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้งและปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Tip*Method) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัทและปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Wire* Method) ดังรูปที่ 5.4, 5.5 และ 5.6

Factorial Regression: Solder Ht versus Tip, Wire, Method

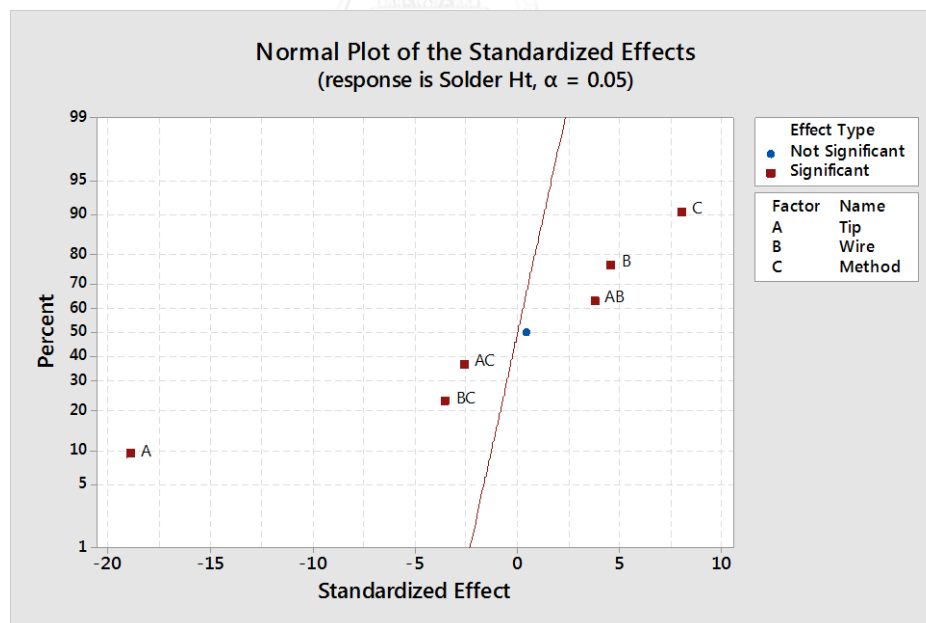
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	2732.71	390.39	68.10	0.000
Linear	3	2541.30	847.10	147.77	0.000
Tip	1	2054.69	2054.69	358.43	0.000
Wire	1	119.54	119.54	20.85	0.000
Method	1	367.07	367.07	64.03	0.000
2-Way Interactions	3	190.47	63.49	11.08	0.000
Tip*Wire	1	80.52	80.52	14.05	0.002
Tip*Method	1	38.62	38.62	6.74	0.020
Wire*Method	1	71.32	71.32	12.44	0.003
3-Way Interactions	1	0.94	0.94	0.16	0.690
Tip*Wire*Method	1	0.94	0.94	0.16	0.690
Error	16	91.72	5.73		
Total	23	2824.43			

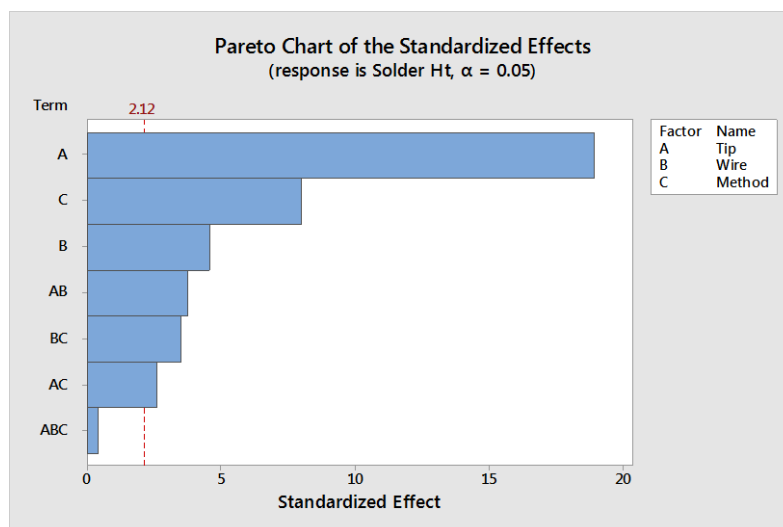
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.39425	96.75%	95.33%	92.69%

รูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี



รูปที่ 5.5 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี



รูปที่ 5.6 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี

รูปที่ 5.7 แสดงปัจจัยอันตกริยาที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี โดยมีรายละเอียดดังนี้

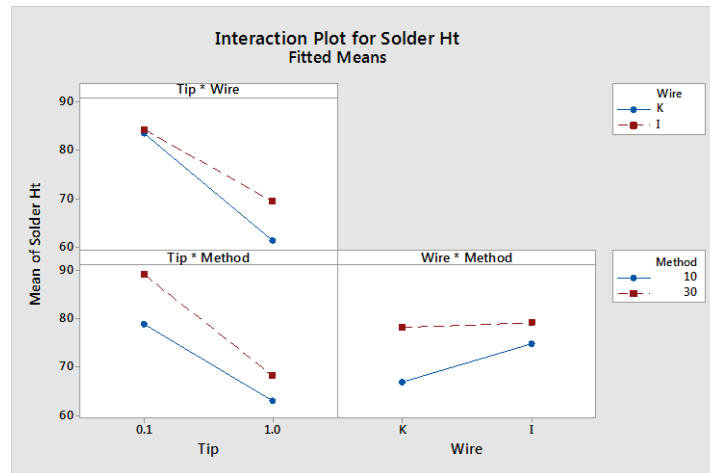
1) ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้งและปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท

(Tip*Wire) พบว่าเมื่อใช้ขนาดปลายหัวแร้งที่ 0.1 มิลลิเมตรด้วยลวดโลหะผสมบัดกรีของบริษัท I ที่มีปริมาณน้ำยาประสานมากกว่าบริษัท K และทำให้ประสิทธิภาพในการยึดเกาะตัวของโลหะผสมบัดกรีดีกว่า ให้ค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีสูงที่สุด และเมื่อใช้ขนาดปลายหัวแร้งที่ 1 มิลลิเมตรด้วยลวดโลหะผสมบัดกรีของบริษัท K ให้ค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีต่ำที่สุด ทั้งนี้ที่ขนาดปลายหัวแร้งที่ 0.1 มิลลิเมตรไม่มีการเปลี่ยนแปลงของลวดในแต่ละบริษัท แต่ที่ขนาดปลายหัวแร้ง 1 มิลลิเมตรมีผลต่อประเภทของลวดในแต่ละบริษัท เนื่องจากขนาดปลายหัวแร้งที่ใหญ่กว่าบริเวณการเติมชิ้นงานทำให้ตะกั่วถูกดึงกลับมาที่ปลายหัวแร้ง

2) ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้งและปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี

(Tip*Method) พบว่าที่ขนาดปลายหัวแร้ง 0.1 มิลลิเมตรด้วยมุมที่ 30 องศา ให้ค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีสูงที่สุด และที่ขนาดปลายหัวแร้ง 1 มิลลิเมตรด้วยมุมที่ 10 องศา ให้ค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีต่ำที่สุด ทั้งนี้ที่ขนาดปลายหัวแร้งที่ 0.1 มิลลิเมตรที่มุมในการถือหัวแร้งต่างกันมีความแปรปรวนในการเติมโลหะผสมบัดกรีมากกว่า เพราะเมื่อขนาดปลายหัวแร้งเล็กกว่าบริเวณตำแหน่งการเชื่อมจะขึ้นอยู่กับมุมการถือหัวแร้งยิ่งมุมน้อยโลหะผสมตะกั่วจะไหลไปอยู่ที่โคนหัวแร้งมากกว่า ปลายหัวแร้งจึงทำให้การเติมที่มุนน้อยกว่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีก็น้อยตาม

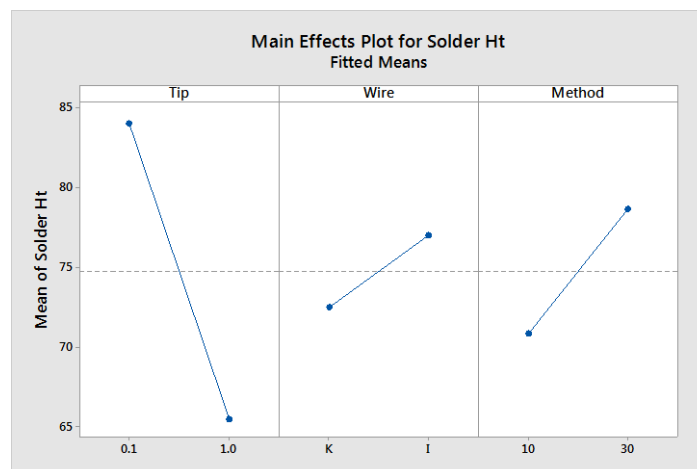
3) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัทและปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Wire* Method) พบว่าที่ลวดบริษัท I ด้วยมุมการถือหัวแร้งที่ทำกับชิ้นงานที่ 30 องศาให้ค่าปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีสูงที่สุด และเมื่อใช้ลวดบริษัท K ด้วยมุมการถือหัวแร้งที่ทำกับชิ้นงานที่ 10 องศาให้ค่าปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีต่ำที่สุด ทั้งนี้ด้วยมุมการถือหัวแร้งที่ทำกับชิ้นงานที่ 30 องศาไม่มีความแตกต่างระหว่างลวดแต่ละบริษัท แต่มุมการถือหัวแร้งที่ทำกับชิ้นงานที่ 10 องศา ให้ความแตกต่างระหว่างลวดแต่ละบริษัท เนื่องจากน้ำยาประสานของลวดบริษัท I มีมากกว่าของบริษัท K ทำให้การยึดเกาะของโลหะผสมบัดกรีดีกว่า



รูปที่ 5.7 ปัจจัยอันตรกิริยาที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี

รูปที่ 5.8 แสดงปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้ง (Tip) พบว่าขนาดปลายหัวแร้งที่ 0.1 มิลลิเมตรที่มีขนาดเล็กกว่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งบริเวณการเชื่อม เมื่อทำการเติมโลหะผสมบัดกรีแล้วให้ผลปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีสูงกว่าขนาดปลายหัวแร้งที่ 1 มิลลิเมตร
- 2) ปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Method) พบว่ามุมการถือหัวแร้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีทำกับชิ้นงานที่ 30 องศาให้ค่าปริมาณความสูงของโลหะมากกว่าการถือหัวแร้งที่ 10 องศา เนื่องจากยิ่งปลายหัวแร้งทำมุมที่ชันมากขึ้นปริมาณโลหะผสมบัดกรีก็น่าจะไหลไปอยู่ที่ปลายหัวแร้งมากขึ้น ทำให้ปริมาณโลหะผสมบัดกรีอยู่ที่ตำแหน่งบริเวณการเชื่อมมากขึ้น
- 3) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Wire) พบว่าลวดโลหะผสมบัดกรีที่มุมการถือหัวแร้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีทำกับชิ้นงานที่ 30 องศา ให้ค่าปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีไม่ต่างกันของทั้งบริษัท I และ K



รูปที่ 5.8 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสูงของโลหะผสมบัดกรี

2) การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อปริมาณค่าตีbuk

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะเห็นว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นคือปัจจัยที่มีค่านอกแนวเส้นกราฟ Normal Plot of the Effects คือปัจจัยขนาดปลายหัวแร้ง (Tip) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Wire) ปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Method) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด และมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk คือ ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้งและปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Tip*Method) ดังรูปที่ 5.9, 5.10 และ 5.11

Factorial Regression: Sn Based versus Tip, Wire, Method

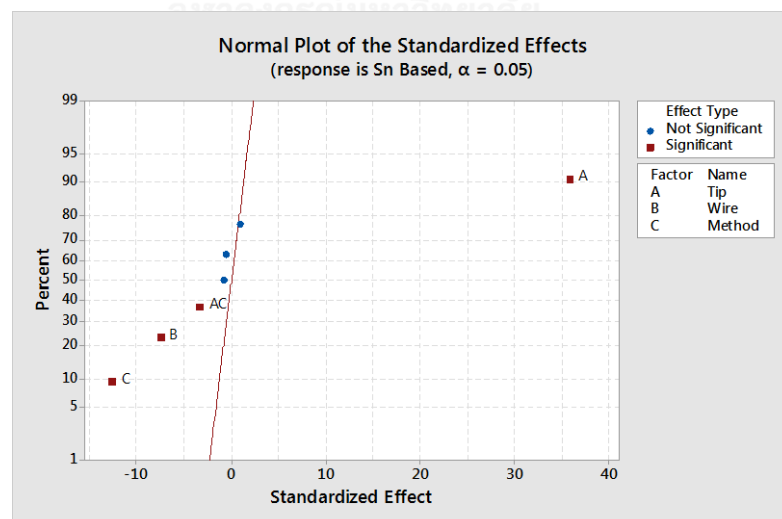
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	14620.0	2088.6	215.13	0.000
Linear	3	14499.0	4833.0	497.82	0.000
Tip	1	12421.5	12421.5	1279.47	0.000
Wire	1	541.5	541.5	55.78	0.000
Method	1	1536.0	1536.0	158.21	0.000
2-Way Interactions	3	115.0	38.3	3.95	0.028
Tip*Wire	1	2.7	2.7	0.27	0.607
Tip*Method	1	104.2	104.2	10.73	0.005
Wire*Method	1	8.2	8.2	0.84	0.373
3-Way Interactions	1	6.0	6.0	0.62	0.443
Tip*Wire*Method	1	6.0	6.0	0.62	0.443
Error	16	155.3	9.7		
Total	23	14775.3			

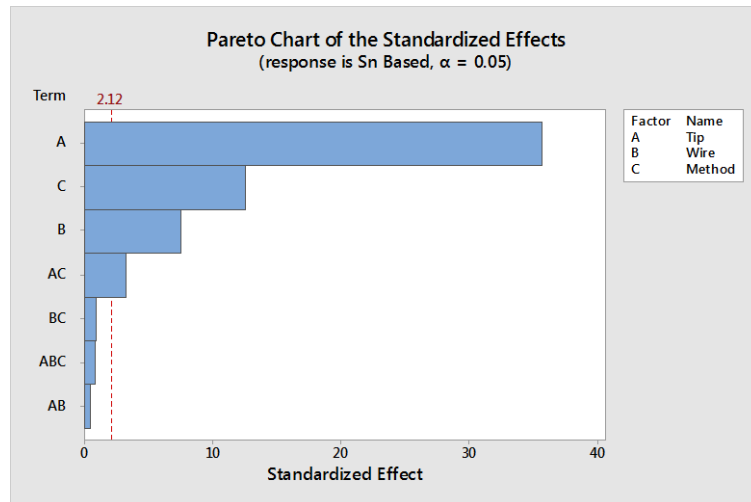
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.11582	98.95%	98.49%	97.63%

รูปที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk



รูปที่ 5.10 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk

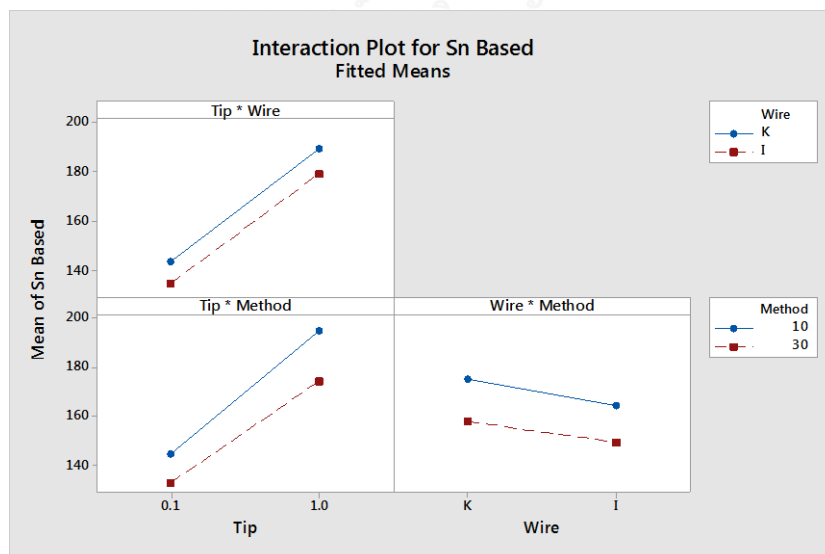


รูปที่ 5.11 แผนภูมิพาราโตของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk

รูปที่ 5.12 แสดงปัจจัยอันตกริยาที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbukโดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้งและปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี

(Tip*Method) พบว่าที่ขนาดปลายหัวแร้ง 0.1 มิลลิเมตรด้วยมุมที่ 30 องศา ให้ปริมาณค่าตีbukต่ำที่สุด และที่ขนาดปลายหัวแร้ง 1 มิลลิเมตรด้วยมุมที่ 10 องศา ให้ปริมาณค่าตีbukสูงที่สุด ทั้งนี้ที่ขนาดปลายหัวแร้งที่ 1 มิลลิเมตรที่มุมในการถือหัวแร้งต่างกันมีความแปรปรวนในการเติมโลหะผสมบัดกรีมากกว่า เพราะเมื่อขนาดปลายหัวแร้งเล็กกว่าบริเวณตำแหน่งการเชื่อมจะขึ้นอยู่กับมุมการถือหัวแร้ง ยิ่งมุมน้อยโลหะผสมตะกั่วจะไหลไปอยู่ที่โคนหัวแร้งมากกว่าปลายหัวแร้งจึงทำให้การเติมที่มุมน้อยกว่าปริมาณโลหะผสมบัดกรีที่ชิ้นงานน้อยปริมาณค่าตีbukเลี่ยน้อยตาม



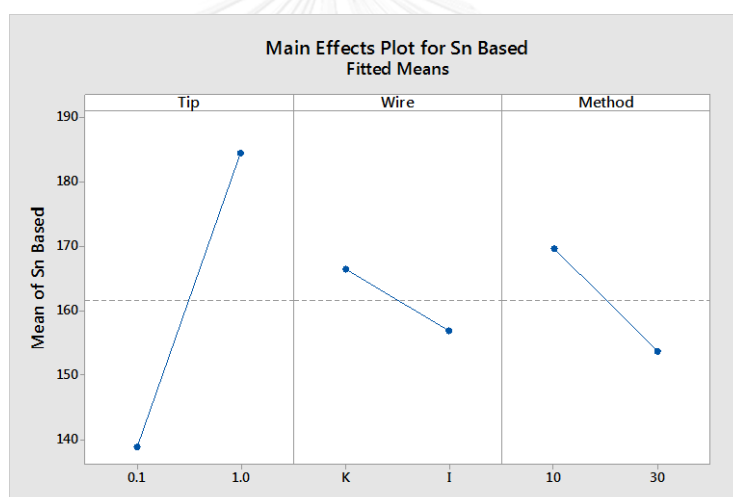
รูปที่ 5.12 ปัจจัยอันตกริยาที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk

รูปที่ 5.13 แสดงปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้ง (Tip) พบว่าขนาดปลายหัวแร้งที่ 0.1 มิลลิเมตรที่มีขนาดเล็กกว่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งบริเวณการเชื่อม เมื่อทำการเติมโลหะผสมบัดกรีแล้วให้ผลปริมาณค่าตีbuk บนชิ้นงานต่ำกว่าขนาดปลายหัวแร้งที่ 1 มิลลิเมตร เนื่องจากเมื่อปลายหัวแร้งเล็กการเติมโลหะผสมบัดกรีจึงทำให้ไม่ต้องเติมโลหะผสมบัดกรีซ้ำ

2) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Wire) พบว่าลวดโลหะผสมบัดกรีของบริษัท I ให้ปริมาณค่าตีbukต่ำกว่าลวดโลหะผสมบัดกรีของบริษัท K หลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรีเนื่องจากน้ำยาประสานของลวดบริษัท I มีน้ำยาประสานที่มากกว่าช่วยทำให้การยึดเกาะของตีbukบนชิ้นงานดีกว่าและการกระจายตัวของตีbukบริเวณชิ้นงานน้อยลง

3) ปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Method) พบว่ามุมการถือหัวแร้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีทำกับชิ้นงานที่ 30 องศาให้ปริมาณค่าตีbukต่ำกว่าการถือหัวแร้งที่ 10 องศา เนื่องจากยิ่งปลายหัวแร้งทำมุมที่ชันมากขึ้น ปริมาณโลหะผสมบัดกรีก็จะไหลไปอยู่ที่ปลายหัวแร้งมากขึ้น ทำให้ปริมาณค่าตีbukอยู่ที่ตำแหน่งบริเวณการเชื่อมมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 5.13 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณค่าตีbuk

3) การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะเห็นว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นคือปัจจัยที่มีค่านอกแนวเส้นกราฟ Normal Plot of the Effects คือปัจจัยขนาดปลายหัวแร้ง (Tip) และปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Wire) ดังรูปที่ 5.14, 5.15 และ 5.16

Factorial Regression: Cleaning Time versus Tip, Wire, Method

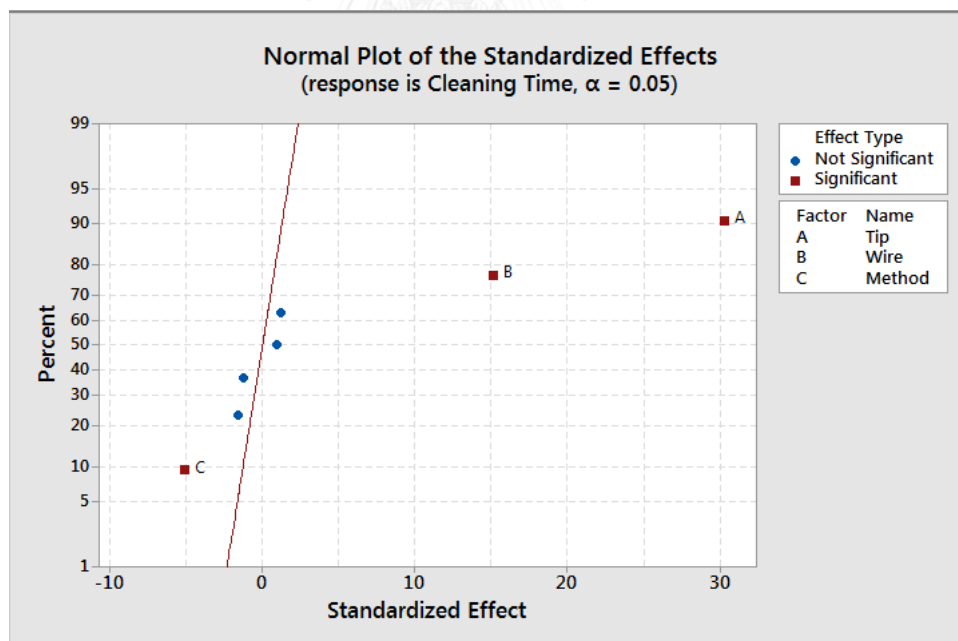
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	193.906	27.701	167.94	0.000
Linear	3	192.836	64.279	389.71	0.000
Tip	1	150.901	150.901	914.88	0.000
Wire	1	37.600	37.600	227.96	0.000
Method	1	4.335	4.335	26.28	0.000
2-Way Interactions	3	0.638	0.213	1.29	0.312
Tip*Wire	1	0.248	0.248	1.50	0.238
Tip*Method	1	0.154	0.154	0.93	0.349
Wire*Method	1	0.236	0.236	1.43	0.249
3-Way Interactions	1	0.432	0.432	2.62	0.125
Tip*Wire*Method	1	0.432	0.432	2.62	0.125
Error	16	2.639	0.165		
Total	23	196.545			

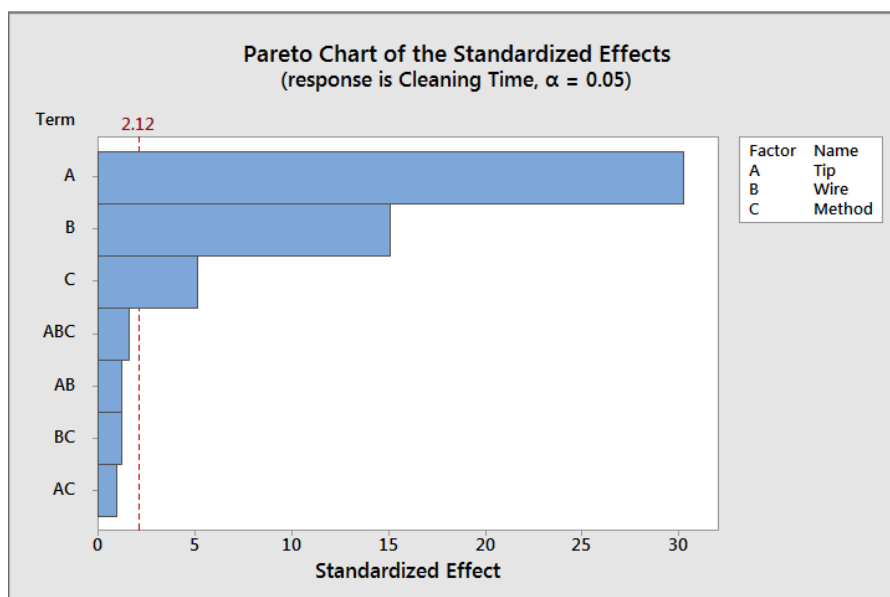
Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.406130	98.66%	98.07%	96.98%

รูปที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน



รูปที่ 5.15 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน



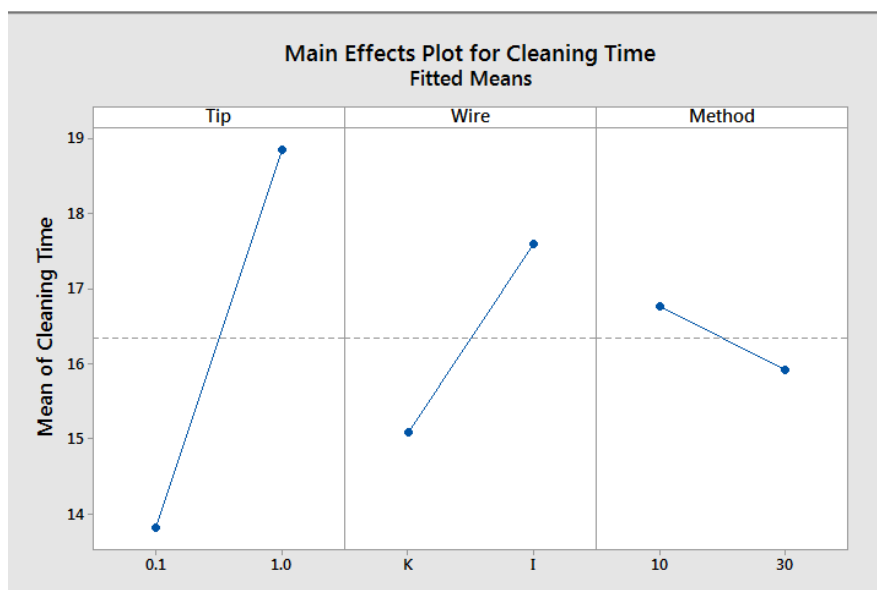
รูปที่ 5.16 แผนภูมิพารโตของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

รูปที่ 5.17 แสดงปัจจัยหลักที่มีผลต่อเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปัจจัยขนาดปลายหัวแร้ง (Tip) พบว่าขนาดปลายหัวแร้งที่ 0.1 มิลลิเมตรที่มีขนาดเล็กกว่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งบริเวณการเชื่อม เมื่อทำการเติมโลหะผสมบัดกรีแล้วให้ผลปริมาณค่าดีบุกบนชิ้นงานต่ำกว่าขนาดปลายหัวแร้งที่ 1 มิลลิเมตร ทำให้การทำความสะอาดนั้นใช้เวลาสั้นกว่า

2) ปัจจัยประเภทของน้ำยาประสานของแต่ละบริษัท (Wire) พบว่าลวดโลหะผสมบัดกรีของบริษัท I ให้ปริมาณค่าดีบุกต่ำกว่าลวดโลหะผสมบัดกรีของบริษัท K หลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรี แต่เนื่องจากน้ำยาประสานของบริษัท I เป็นน้ำยาประสานประเภทเรซินเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำยาประสานของบริษัท K ที่เป็นประเภทอ็อกไซด์ และในการทำความสะอาดชิ้นงานจะใช้ก้านทำความสะอาดชุบด้วยแอลกอฮอล์ไอโซโพรพิล ซึ่งน้ำยาประสานประเภทเรซินทำความสะอาดยากกว่าถึงจะมีปริมาณดีบุกและน้ำยาประสานบนชิ้นงานน้อยกว่าก็ตาม

3) ปัจจัยมุมการถือหัวแร้งตอนเติมโลหะผสมบัดกรี (Method) พบว่ามุมการถือหัวแร้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีทำกับชิ้นงานที่ 30 องศาใช้เวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานต่ำกว่าการถือหัวแร้งที่ 10 องศา เนื่องจากเรามีอุปกรณ์ในการวางมือของพนักงานในการกำหนดให้ถือหัวแร้งทำมุมกับชิ้นงานที่ 30 องศาทำให้การเติมโลหะผสมบัดกรีมีค่าการเติมโลหะผสมบัดกรีนี้มากกว่า จึงทำให้ใช้เวลาในการทำความสะอาดน้อยกว่าโดยเฉลี่ย



รูปที่ 5.17 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์การทดลอง

จากผลการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ปัจจัย	ความสูงของโลหะผสมบัดกรี	ปริมาณค่าดีบุก	เวลาในการทำ ความสะอาด
ขนาดปลายหัวแร้ง	มี	มี	มี
ประเภทของน้ำยาประสาน	มี	มี	มี
มุมในการเติมโลหะผสมบัดกรี	มี	มี	มี

5.4 การเลือกสถานะที่เหมาะสมของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี

จากข้อมูลข้างต้นทางผู้วิจัยจะทำการเลือกกลุ่มงานที่เหมาะสมในของแต่ละตัวแปรตอบสนอง ดังนี้

5.4.1 ผลของความสูงของโลหะผสมบัดกรี

จากผลการทดลองของปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรี ซึ่งค่าข้อกำหนดของความสูงโลหะผสมบัดกรี อยู่ที่ 65 และ 135 ไมโครเมตร และการวัดผลตอบสนองของปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรี ปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีที่สูงที่สุดระหว่างกลุ่มการทดลอง

ทางผู้วิจัยได้นำการคำนวณทางโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) ด้วย One-Way Anova และงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี Tukey Method Test (Tukey HSD) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($\alpha = 0.05$) และดูผลของช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยมีสมมติฐานว่า

H_0 : ค่าเฉลี่ยของความสูงของโลหะผสมบัดกรีของทุกกลุ่มการทดลองเท่ากัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของความสูงของโลหะผสมบัดกรีของกลุ่มการทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มที่แตกต่างกัน

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.18 และ พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มที่แตกต่างกัน และจากผลการเปรียบเทียบทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ของกลุ่มการทดลองดังรูปที่ 5.19 พบว่าจากการจับกลุ่มงานการทดลองสามารถจัดกลุ่มได้ 6 กลุ่ม จากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยกลุ่มงานที่ผู้วิจัยสนใจ คือกลุ่มงานที่มีความสูงของโลหะผสมบัดกรีมากที่สุด ซึ่งได้แก่ กลุ่ม Tip 0.1 mm, Wire K, Method 30 degree และ กลุ่ม Tip 0.1 mm, Wire I, Method 30 degree เนื่องจากปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีส่งผลต่อกระบวนการบัดกรี ซึ่งเป็นกระบวนการในการทำงานขั้นต่อไป เมื่อชิ้นงานมีปริมาณค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีสูงและอยู่ในมาตรฐานของทางบริษัทกำหนด ทำให้การบัดกรีของชิ้นงานของหัวอ่านเขียนมีประสิทธิภาพมากขึ้น

One-way ANOVA: Solder Ht versus Group

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Group	8	Tip0.1mm_Iwire_10Deg, Tip0.1mm_Iwire_30Deg, Tip0.1mm_Kwire_10Deg, Tip0.1mm_Kwire_30Deg, Tip1mm_Iwire_10Deg, Tip1mm_Iwire_30Deg, Tip1mm_Kwire_10Deg, Tip1mm_Kwire_30Deg

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Group	7	2732.71	390.387	68.10	0.000
Error	16	91.72	5.732		
Total	23	2824.43			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.39425	96.75%	95.33%	92.69%

Means

Group	N	Mean	StDev	95% CI
Tip0.1mm_Iwire_10Deg	3	81.136	0.758	(78.205, 84.066)
Tip0.1mm_Iwire_30Deg	3	87.650	0.589	(84.720, 90.581)
Tip0.1mm_Kwire_10Deg	3	76.49	2.09	(73.56, 79.42)
Tip0.1mm_Kwire_30Deg	3	90.695	0.390	(87.764, 93.625)
Tip1mm_Iwire_10Deg	3	68.43	3.06	(65.50, 71.36)
Tip1mm_Iwire_30Deg	3	70.67	1.76	(67.74, 73.60)
Tip1mm_Kwire_10Deg	3	57.26	3.47	(54.33, 60.19)
Tip1mm_Kwire_30Deg	3	65.59	3.99	(62.66, 68.52)

Pooled StDev = 2.39425

รูปที่ 5.18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีของแต่ละกลุ่มการทดลองจากโปรแกรม Minitab

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Group	N	Mean	Grouping
Tip0.1mm_Kwire_30Deg	3	90.695	A
Tip0.1mm_Iwire_30Deg	3	87.650	A B
Tip0.1mm_Iwire_10Deg	3	81.136	B C
Tip0.1mm_Kwire_10Deg	3	76.49	C D
Tip1mm_Iwire_30Deg	3	70.67	D E
Tip1mm_Iwire_10Deg	3	68.43	E
Tip1mm_Kwire_30Deg	3	65.59	E
Tip1mm_Kwire_10Deg	3	57.26	F

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 5.19 กลุ่มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแต่ละกลุ่มการทดลองของปริมาณค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรี

5.4.2 ผลของปริมาณค่าตีบุก

ในการทำงานเดียวกันกับการตรวจสอบผลปริมาณค่าตีบุกทางผู้วิจัยจึงนำการคำนวณทางโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการคำนวณ และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) ด้วย One-Way Anova และงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี Tukey Method Test (Tukey HSD) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($\alpha = 0.05$) และดูผลของช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยมีสมมุติฐานว่า

H_0 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าตีบุกของทุกกลุ่มการทดลองเท่ากัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของปริมาณค่าตีบุกของกลุ่มการทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มที่แตกต่างกัน

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.20 และ พบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มที่แตกต่างกัน และจากผลการเปรียบเทียบทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ของกลุ่มการทดลองดังรูปที่ 5.21 พบว่าจากการจับกลุ่มงานการทดลองสามารถจัดกลุ่มได้ 7 กลุ่ม กลุ่มที่ผู้วิจัยสนใจคือกลุ่มงานที่ให้ปริมาณค่าตีบุกที่ต่ำที่สุด ได้แก่ กลุ่ม Tip 0.1 mm, Wire K, Method 30 degree และ กลุ่ม Tip 0.1 mm, Wire I, Method 30 degree ปริมาณตีบุกในชุดหัวอ่านเขียนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการอ่านเขียนข้อมูล ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงสนใจกลุ่มงานที่มีปริมาณค่าตีบุกที่มีค่าต่ำ

One-way ANOVA: Sn Based versus Group

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Group	8	Tip0.1mm_Iwire_10Deg, Tip0.1mm_Iwire_30Deg, Tip0.1mm_Kwire_10Deg, Tip0.1mm_Kwire_30Deg, Tip1mm_Iwire_10Deg, Tip1mm_Iwire_30Deg, Tip1mm_Kwire_10Deg, Tip1mm_Kwire_30Deg

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Group	7	14620.0	2088.57	215.13	0.000
Error	16	155.3	9.71		
Total	23	14775.3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.11582	98.95%	98.49%	97.63%

Group	N	Mean	StDev	95% CI
Tip0.1mm_Iwire_10Deg	3	139.33	2.52	(135.52, 143.15)
Tip0.1mm_Iwire_30Deg	3	129.67	3.06	(125.85, 133.48)
Tip0.1mm_Kwire_10Deg	3	150.33	2.52	(146.52, 154.15)
Tip0.1mm_Kwire_30Deg	3	136.333	1.528	(132.520, 140.147)
Tip1mm_Iwire_10Deg	3	189.33	2.52	(185.52, 193.15)
Tip1mm_Iwire_30Deg	3	169.33	3.51	(165.52, 173.15)
Tip1mm_Kwire_10Deg	3	199.67	4.73	(195.85, 203.48)
Tip1mm_Kwire_30Deg	3	179.33	3.51	(175.52, 183.15)

Pooled StDev = 3.11582

รูปที่ 5.20 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณค่าตีbukของแต่ละกลุ่มการทดลองจากโปรแกรม Minitab

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Group	N	Mean	Grouping
Tip1mm_Kwire_10Deg	3	199.67	A
Tip1mm_Iwire_10Deg	3	189.33	B
Tip1mm_Kwire_30Deg	3	179.33	C
Tip1mm_Iwire_30Deg	3	169.33	D
Tip0.1mm_Kwire_10Deg	3	150.33	E
Tip0.1mm_Iwire_10Deg	3	139.33	F
Tip0.1mm_Kwire_30Deg	3	136.333	F G
Tip0.1mm_Iwire_30Deg	3	129.67	G

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 5.21 กลุ่มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแต่ละกลุ่มการทดลองของปริมาณค่าตีbuk

5.4.3 ผลของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

การตรวจสอบผลการทำความสะอาดชิ้นงานทางผู้วิจัยได้นำการคำนวณทางโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) ด้วย One-Way Anova และเลือกใช้วิธี Tukey Method Test (Tukey HSD) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($\alpha = 0.05$) และดูผลของช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% โดยมีสมมุติฐานว่า

H_0 : ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานของทุกกลุ่มการทดลองเท่ากัน

H_1 : ค่าเฉลี่ยของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานของกลุ่มการทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มที่แตกต่างกัน

ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.22 และพบว่าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของกลุ่มการทดลองอย่างน้อย 1 กลุ่มที่แตกต่างกัน และจากผลการเปรียบเทียบทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ของกลุ่มการทดลองดังรูปที่ 5.23 พบว่าจากการจับกลุ่มงานการทดลองสามารถจัดกลุ่มได้ 4 กลุ่ม กลุ่มที่ผู้วิจัยสนใจคือกลุ่มงานที่ให้เวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานน้อยที่สุด ได้แก่ Tip 0.1 mm, Wire K, Method 30 degree ในการทำความสะอาดชิ้นงานทุกชิ้นมีมูลค่าสูญเสียเกิดขึ้น เมื่อเราใช้เวลาในการทำความสะอาดน้อยนั้นหมายถึงเราได้จำนวนงานในการทำงานมากขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการใช้อุปกรณ์ในการทำความสะอาดน้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้ทางผู้วิจัยสนใจกลุ่มงานที่ใช้เวลาทำความสะอาดน้อยที่สุดเพื่อลดแรงงาน เวลา และเงินในการทำงาน

One-way ANOVA: Cleaning Time versus Group

Method

Null hypothesis All means are equal
 Alternative hypothesis At least one mean is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Group	8	Tip0.1mm_Iwire_10Deg, Tip0.1mm_Iwire_30Deg, Tip0.1mm_Kwire_10Deg, Tip0.1mm_Kwire_30Deg, Tip1mm_Iwire_10Deg, Tip1mm_Iwire_30Deg, Tip1mm_Kwire_10Deg, Tip1mm_Kwire_30Deg

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Group	7	193.906	27.7009	167.94	0.000
Error	16	2.639	0.1649		
Total	23	196.545			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.406130	98.66%	98.07%	96.98%

Means

Group	N	Mean	StDev	95% CI
Tip0.1mm_Iwire_10Deg	3	15.457	0.520	(14.960, 15.954)
Tip0.1mm_Iwire_30Deg	3	14.913	0.503	(14.416, 15.410)
Tip0.1mm_Kwire_10Deg	3	13.217	0.351	(12.720, 13.714)
Tip0.1mm_Kwire_30Deg	3	11.740	0.400	(11.243, 12.237)
Tip1mm_Iwire_10Deg	3	20.377	0.388	(19.880, 20.874)
Tip1mm_Iwire_30Deg	3	19.617	0.474	(19.120, 20.114)
Tip1mm_Kwire_10Deg	3	18.0067	0.0577	(17.5096, 18.5037)
Tip1mm_Kwire_30Deg	3	17.387	0.365	(16.890, 17.884)

Pooled StDev = 0.406130

รูปที่ 5.22 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานของแต่ละกลุ่มการทดลองจากโปรแกรม Minitab

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Group	N	Mean	Grouping
Tip1mm_Iwire_10Deg	3	20.377	A
Tip1mm_Iwire_30Deg	3	19.617	A
Tip1mm_Kwire_10Deg	3	18.0067	B
Tip1mm_Kwire_30Deg	3	17.387	B
Tip0.1mm_Iwire_10Deg	3	15.457	C
Tip0.1mm_Iwire_30Deg	3	14.913	C
Tip0.1mm_Kwire_10Deg	3	13.217	D
Tip0.1mm_Kwire_30Deg	3	11.740	E

Means that do not share a letter are significantly different.

รูปที่ 5.23 กลุ่มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแต่ละกลุ่มการทดลองของเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน

5.5 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากผลการทดลองข้างต้นทางผู้วิจัยได้นำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ได้สรุปมาแล้วจากขั้นตอนการคัดกรองปัจจัย ซึ่งปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองของความสูงของโลหะผสมบัดกรี ปริมาณค่าตีบูก และเวลาในการทำความสะอาด ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติที่ไม่สามารถผ่าลวดให้ถึงน้ำยาประสาน 2) ขนาดหัวแร้งที่มีขนาดใหญ่กว่าตำแหน่งบริเวณการเชื่อม 3) ประเภทของน้ำยาประสานที่แตกต่างกัน และ 4) มุมในการเติมโลหะผสมบัดกรี ซึ่งในขั้นตอนการเลือกเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุดิบ และวิธีการที่เหมาะสม ดังนี้

1) เครื่องมือ

การปรับตำแหน่งที่เหมาะสมของเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ ได้ทำการปรับระยะห่างระหว่างใบมีดและร่องป้อนลวดที่ลึกที่สุดที่ระยะ 0.407 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ใบมีดสามารถผ่าลวดให้ถึงน้ำยาประสานได้

2) อุปกรณ์ วัสดุดิบ และวิธีการ

ทำการทดลองโดยออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็ม ในทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ขนาดปลายหัวแร้ง ประเภทของน้ำยาประสาน และมุมการเติมโลหะผสมบัดกรี แล้วทำการเลือกโดยใช้วิธี Tukey Method Test (Tukey HSD) มาช่วยในเรื่องของการหาค่าปัจจัยในการเลือกกลุ่มที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปการจัดอันดับของแต่ละกลุ่มการทดลอง

Group			Ranging		
Tip	Wire Vendor	Method	Solder Ht	Sn	Cleaning Time
Tip 0.1 mm	I Wire	30 degree	Highest	Lowest	-
Tip 0.1 mm	K Wire	30 degree	Highest	Lowest	Best
Tip 0.1 mm	I Wire	10 degree	-	-	-
Tip 0.1 mm	K Wire	10 degree	-	-	-
Tip 1 mm	I Wire	30 degree	-	-	-
Tip 1 mm	K Wire	30 degree	-	-	-
Tip 1 mm	I Wire	10 degree	-	-	-
Tip 1 mm	K Wire	10 degree	-	-	-

และจากการออกแบบการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าค่าปรับตั้งเครื่องที่เหมาะสมนั้น มีรายละเอียดดังตารางที่ 5.4 ซึ่งจากการปรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวจะให้ปริมาณค่าความสูงของโลหะผสมบัดกรีที่สูงที่สุด ปริมาณค่าตีบูกค้ำงบนชิ้นงานน้อยที่สุดและเวลาในการทำความสะอาดที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.4 แสดงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร

ปัจจัย	สถานะใหม่ของเครื่องจักร	หน่วย
ระยะห่างระหว่างใบมีดและระยะร่องป้อนลวดที่ลึกที่สุด	0.407	Millimeter
ขนาดปลายหัวแร้ง	0.1	Millimeter
ประเภทของน้ำยาประสาน	Vendor K (Organic)	-
มุมในการเติมโลหะผสมบัดกรี	30	Degree



บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

จากความต้องการการปรับปรุงกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของโรงงานในการทำวิจัยเพื่อสามารถผลิตงานที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีเป็นกระบวนการหนึ่งที่ทำให้คุณภาพของชิ้นงานลดลง ซึ่งชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีจึงต้องได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีให้ได้มาตรฐาน ลดปริมาณค่าตีบุกที่คงค้างอยู่บนชิ้นงาน และลดเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานให้น้อยที่สุดในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี และได้มีการเสนอแนวทางในการปรับปรุงเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ ของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี เพื่อที่จะเพิ่มความสูงของโลหะผสมบัดกรีให้อยู่ในมาตรฐานมากที่สุด ในขณะที่ปริมาณค่าตีบุกต้องมีค่าต่ำที่สุด และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานจากกระบวนการนี้ให้น้อยที่สุด

6.1 การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลพบว่า จะเห็นได้ว่าเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ นั้นไม่สามารถป้อนลวดให้ได้ตามความต้องการของกระบวนการผลิตเฉลี่ยถึง 80% และมีแนวโน้มทำให้ลวดหลังการผ่าที่ไม่ถึงน้ำยาประสานเมื่อโดนความร้อนจากหัวแร้งส่งผลทำให้เศษลวดที่หุ้มน้ำยาประสานและปริมาณค่าตีบุกที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของลวดโลหะผสมบัดกรีอยู่นั้นกระจายไปทั่วบริเวณการทำงานและตัวชิ้นงาน ปริมาณค่าตีบุกในงานที่นำกลับมาประกอบใหม่ของผลิตภัณฑ์ A ใน 10 สัปดาห์ต่อเนื่อง พบค่าปริมาณตีบุกบนชิ้นงานเกินมาตรฐานถึง 20% ทำให้ต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานต่อตัวหลังเติมโลหะผสมบัดกรีเฉลี่ยที่ 18.04 วินาที รวมไปถึงการเติมโลหะผสมบัดกรีในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่ความสูงของโลหะผสมบัดกรีในบางจุดบนตำแหน่งการเชื่อมมีค่าอยู่บริเวณขีดจำกัดล่างของข้อกำหนดทางเทคนิคของชิ้นงาน โดยค่าเฉลี่ยของกลุ่มงานหลังจากการเติมโลหะผสมบัดกรีในปัจจุบันอยู่ที่ 64.53 ไมโครเมตร ซึ่งมาตรฐานของชิ้นงานอยู่ประมาณ 100 ± 35 ไมโครเมตร ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายในกระบวนการถัดไป

6.2 การวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

จากการระดมสมองจากคณะทำงานเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี ที่มีผลต่อปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรี ปริมาณค่าตีบุกที่คงค้างอยู่บนชิ้นงาน และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน ผ่านแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram), ตารางสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix) และคัดกรองเบื้องต้นด้วยแผนผัง พาเรโต (Pareto Diagram) ซึ่งทำให้ได้มาถึงสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหาปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรีต่ำ ปริมาณค่าตีบุกที่คงค้างอยู่บนชิ้นงานสูง และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงานมากที่สุดนั่นก็คือ 1) เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ 2) ขนาดปลายของหัวแร้ง 3) ประเภทของน้ำยาประสาน และ 4) มุมในการถือหัวแร้งในการเติมโลหะผสมบัดกรี

โดยแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้แก่ 1) คำนวณหาระยะห่างระหว่างใบมีดและจุดกึ่งกลาง น้ำยาประสานของลวดโลหะผสมบัดกรีให้เหมาะสม 2) หาขนาดของปลายหัวแร้งที่มีขนาดเล็กกว่า ระยะห่างระหว่างบริเวณตำแหน่งการเชื่อม 3) หาประเภทของน้ำยาประสานที่ช่วยลดสิ่งปนเปื้อนบน ชิ้นงาน 4) กำหนดวิธีมาตรฐานในการเติมโลหะผสมบัดกรี

6.3 การทดลองและวิเคราะห์ผล

จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีจากการนำขั้นตอนการคัดกรองปัจจัยของเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุดิบ และวิธีการ ด้วยวิธี Tukey Method Test (Tukey HSD) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ มาช่วยในเรื่องของการหาค่าปัจจัยในการเลือกกลุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรี ปริมาณค่าดีบุกที่คงค้างอยู่บนชิ้นงาน และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) เครื่องป้อนลวดอัตโนมัติ 2) ขนาดปลายของหัวแร้ง 3) ประเภทของน้ำยาประสาน และ 4) มุมในการถือหัวแร้งในการเติมโลหะผสมบัดกรี ซึ่งเมื่อเราสามารถปรับปัจจัยแรกของการทำการทดลองคือเครื่องป้อนลวดอัตโนมัติให้สามารถผ่านลวดได้ตามข้อกำหนดแล้ว จากนั้นเรามากำหนดปัจจัยนำเข้าที่เหลือทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ขนาดปลายของหัวแร้ง 2) ประเภทของน้ำยาประสาน และ 3) มุมในการถือหัวแร้งในการเติมโลหะผสมบัดกรี มาคัดกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) แบบเต็ม (Full Factorial Design : 2^k) จากผลการทดลองพบว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อปริมาณความสูงของโลหะผสมบัดกรี ปริมาณค่าดีบุกที่คงค้างอยู่บนชิ้นงาน และเวลาในการทำความสะอาดชิ้นงาน ดังนั้นปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเราจะนำ 3 ปัจจัยดังกล่าวนี้ไปหาค่าที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

การวิเคราะห์ผลการทดลองได้นำการคำนวณทางโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยคำนวณ และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่ากลางระหว่างประชากรโดยการวิเคราะห์ผ่านค่าความแปรปรวน (Variance) ด้วย One-Way Anova วิธี Tukey Method Test (Tukey HSD) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับทดสอบค่าเฉลี่ยทีละคู่ ทุกๆคู่ มาช่วยตัดสินใจในการเลือกหาค่าปัจจัยปรับกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่เหมาะสมที่สุด และการออกแบบการทดลองสามารถสรุปได้ว่าค่าปรับตั้งเครื่องจักร รวมถึงการใช้อุปกรณ์ วัสดุดิบและวิธีการที่เหมาะสมนั้นมีรายละเอียดดังตารางที่ 6.1 ซึ่งจากการปรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวจะให้ได้ปริมาณความสูงของโลหะที่สูงขึ้น ปริมาณค่าดีบุกคงค้างอยู่บนชิ้นงานน้อยลง และเวลาในการทำความสะอาดน้อยลงด้วย

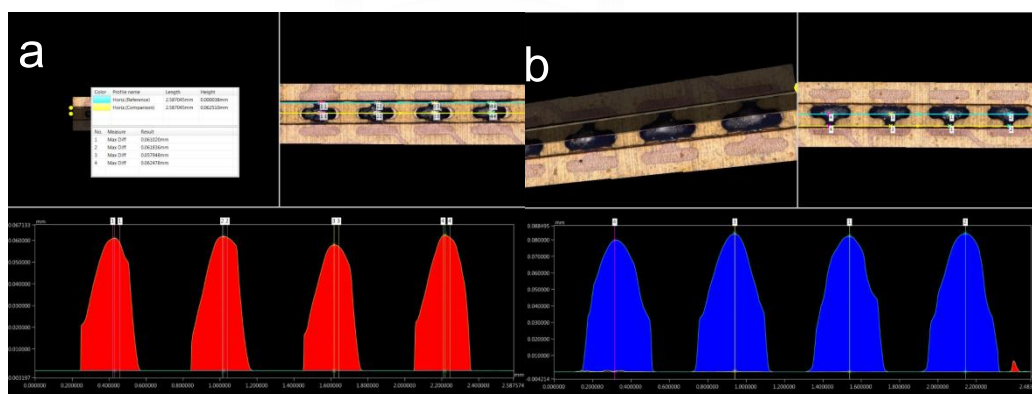
ตารางที่ 6.1 สถานะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี

ปัจจัย	สถานะใหม่ของเครื่องจักร	หน่วย
ระยะห่างระหว่างใบมีดและระยะร่องป้อนลวดที่ลึกที่สุด	0.407	Millimeter
ขนาดปลายหัวแร้ง	0.1	Millimeter
ประเภทของน้ำยาประสาน	Vendor K (Organic)	-
มุมในการเติมโลหะผสมบัดกรี	30	Degree

หลังจากการได้สถานะที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ ในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีที่เหมาะสมแล้ว ผลการทดลองของแต่ละปัจจัย ได้ผลดังนี้

1) ปริมาณความสูงของลวดโลหะผสมบัดกรี

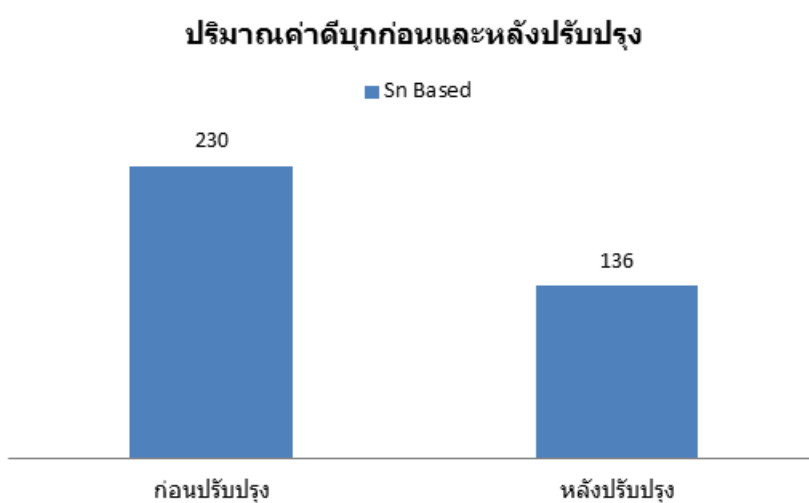
ผลจากการวัดความสูงของโลหะผสมบัดกรีโดยวิธีการวัดจะใช้เครื่องมือโครสโคปแบบดิจิทัลที่สามารถตรวจสอบ จับภาพ และทำการวัดของชิ้นงานทั้งสองมิติและสามมิติ เปรียบเทียบกลุ่มงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่ากลุ่มงานก่อนปรับปรุงมีความสูงของโลหะผสมบัดกรีเฉลี่ยที่ 64.53 ไมโครเมตร และหลังปรับปรุงความสูงของโลหะผสมบัดกรีเฉลี่ยที่ 90.69 ไมโครเมตร รูปที่ 6.1 แสดงความสูงของโลหะผสมบัดกรี (a) ก่อนปรับปรุง และ (b) หลังปรับปรุง



รูปที่ 6.1 ความสูงของโลหะผสมบัดกรี (a) ก่อนปรับปรุง และ (b) หลังปรับปรุง

2) ปริมาณความคั่วที่คงค้างบนชิ้นงาน

ผลจากการวัดปริมาณความคั่วที่คงค้างบนชิ้นงานโดยการวัดด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ เปรียบเทียบกลุ่มงานก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่ากลุ่มงานก่อนปรับปรุงมีปริมาณความคั่วที่คงค้างบนชิ้นงานเฉลี่ยที่ 230 Particle/cm² และหลังปรับปรุงความสูงของโลหะผสมบัดกรีเฉลี่ยที่ 136 Particle/cm² รูปที่ 6.2 แสดงปริมาณความคั่วที่คงค้างบนชิ้นงานก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 6.2 ปริมาณความคั่วที่คงค้างบนชิ้นงานก่อนและหลัง

3) เวลาในการทำความสะอาด

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีพบว่าระยะเวลาในกระบวนการทำงานลดลงถึง 14.38 วินาที และระยะเวลาในการทำความสะอาดลดลงเฉลี่ยที่ 6.7 วินาที ตารางที่ 6.2 แสดงระยะเวลาการทำงานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีก่อนและหลังปรับปรุง

ตารางที่ 6.2 ระยะเวลาการทำงานในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีก่อนและหลังปรับปรุง

ELEM. NO	ELEMENT	NORMAL TIME (Sec)		Time Saving (Sec)
		Current Setting	New Setting	
1	Open Tray	0.22	0.22	0.00
2	Load unit to nest	4.17	4.17	0.00
3	Desold	8.48	6.92	1.56
4	Refill Solder	14.72	8.60	6.12
5	Clean	18.04	11.34	6.70
6	Unload to tray	4.72	4.72	0.00
7	Close and send to nest	0.28	0.28	0.00
SUMMARIZE TIME		50.63	36.25	14.38

จากผลข้างต้นสามารถสรุปการปรับปรุงกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 สรุปการปรับปรุงก่อนและหลังของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีของแต่ละตัวแปร

Parameter	Before	After	Spec	Improvement
Solder Height (μm)	64.53	90.69	100 \pm 35	29%
The number of Sn (particle/ cm^2)	230	136	<250	41%
Cleaning Process (sec)	18.04	11.34	-	6.7

6.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย

การทำวิจัยครั้งนี้ต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตชิ้นงานในกระบวนการผลิตจริง จึงทำให้ในการทดลองแต่ละครั้งต้องมีการแจ้งกับแผนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไว้ล่วงหน้า เนื่องจากจะต้องมีการวางแผนเพื่อหยุดเครื่องและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์การทำงานของเครื่องจักรตามวิธีในการดำเนินงานวิจัย ทำให้การวิจัยอาจจะต้องใช้เวลาในช่วงของการออกแบบการทดลองและขั้นตอนการปรับปรุงมากเป็นพิเศษ

6.5 ข้อเสนอแนะ

หลังการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ต้องมีการปรับปรุงเอกสารต่างๆให้เป็นปัจจุบันตามผลการทดลอง เพื่อป้องกันการดำเนินงานที่ผิดพลาดของพนักงาน และหลังจากการทดลองสำเร็จแล้วจะต้องมีการจัดฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการทำงานแบบใหม่อีกด้วย

หมายเหตุ วิธีการถือหัวแร้งในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีได้รับการใส่เข้าไปในกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรีเรียบร้อยแล้ว เพื่อเป็นมาตรฐานให้พนักงานในการปฏิบัติงาน และจากการจัดทำเป็นเอกสาร พนักงานไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปฏิบัติงานนี้ได้ รูปที่ 6.3 แสดงวิธีการวางมือของการจับหัวแร้งในเอกสารคู่มือการปฏิบัติงานของกระบวนการเติมโลหะผสมบัดกรี



c) Place hand on the fixture every time doing de-soldering process



รูปที่ 6.3 วิธีการวางมือของการจับหัวแร้งในเอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน

รายการอ้างอิง

- AMIN, N., CHEAH, A., KORNAIN, Z. & AHMAD, I. The Effect of Clean and No-clean Flux in Enhancing the wettability of Eutectic Solder Bump Flip Chip PBGA. 2008. IEEE, 393-397.
- BABIN, P. 2005. *Basic Computer Operation Tutorial* [Online]. Available: <http://www.bcot1.com/moreonharddrives.html>.
- BENYOUNIS, K. & OLABI, A. 2008. Optimization of different welding processes using statistical and numerical approaches. *Advances in Engineering Software*, 39, 483-496.
- BURSALIA, N., ERTUNCB, S. & AKAY, B. Process improvement approach to the saponification reaction by using statistical experimental design. *Chemical Engineering and Processing* 45, 2006. 980-989.
- DISHON, G. & BOBBIO, S. Optimization of different welding processes using statistical and numerical approaches-A reference guide. *Advances in Engineering Software* 39, 2008. 483-496.
- HAKKOCORPORATION. 2016. *HAKKO375 Features* [Online]. Available: https://www.hakko.com/english/products/hakko_375.html.
- HANSEN, K., JELLESEN, M., MOLLER, P., WESTERMANN, P. & AMBAT, R. 2009. Effect of solder flux residues on corrosion of electronics. IEEE.
- NISHIKAWA, T., IJUIN, M., SATOH, R., IWATA, Y., TAMURA, M. & SHIRAI, M. Fluxless Soldering Process Technology. 1994. IEEE.
- XU-JUN, H., HUI-JUN, H., FU-WEN, Z. & ZHAO-HUI, Z. Study of Sn-Bi-Cu Lead-Free Solder. 10th Electronics Packaging Technology Conference, 2008. 1375-1380.
- กัลยา วานิชย์บัญชา 2542. การวิเคราะห์สถิติ, กรุงเทพฯ, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2545a. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2545b. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ฉลอง สีแก้วสีว. 2012. *Statistics* [Online]. Available:

<https://sites.google.com/site/mystatistics01/home>.

ปารเมศ ชูติมา 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนิรมล โนนคู่เขตโขง เกิดเมื่อวันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนธาดานารายณ์วิทยา จังหวัดสกลนคร และได้เข้าศึกษา ต่อจนสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2551 ภายหลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัทซีเกท เทคโนโลยี ประเทศไทย จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรเครื่องกล ปัจจุบันรับผิดชอบเกี่ยวกับการพัฒนาและ ควบคุมความสามารถในการผลิตของโรงงานส่วนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ หลังจากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

