

การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี  
โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

DEFECT REDUCTION IN ELECTRONIC ASSEMBLY PROCESS ON  
PRINTED CIRCUIT BOARD BY APPLYING DESIGN OF EXPERIMENT



อุดม ลพสุนทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี

การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

อุดม ลพสุนทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี  
โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

Defect Reduction in Electronic Assembly Process on Printed Circuit Board by  
Applying Design of Experiment (DOE)

ชื่อ - นามสกุล

นายอุดม ลพสุนทร

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

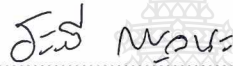
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ณัฐา คุปต์ชัยเชียร, Ph.D.

ปีการศึกษา

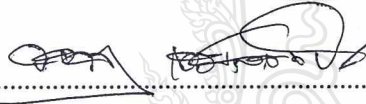
2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.)



กรรมการ

(อาจารย์กรกฎ เหมสถาปัตยกรรม, Ph.D.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ณัฐา คุปต์ชัยเชียร, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2560

ชื่อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง
ชื่อ – นามสกุล	นาย อุดม ลพสุนทร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ธรรมา คุปต์ชัย, Ph.D.
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี จากการศึกษากระบวนการผลิต ณ โรงงานกรณีศึกษา มีปริมาณของเสียร้อยละ 1.34 ซึ่งปัญหาการลัดวงจรเป็นปัญหาอันดับที่ 1 โดยมีปริมาณที่เกิดขึ้น 8,188 ดีพีพีเอ็มหรือคิดเป็นร้อยละ 59.02 ของทุกปัญหาทั้งหมดภายในกระบวนการผลิต

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย การนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้จัดลำดับปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกับการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา จากนั้นทำการทดลองและหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองกับปัจจัยที่มีอิทธิพลของกระบวนการ 3 กระบวนการ ได้แก่ การพิมพ์โลหะบัดกรี การวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และการประสานของโลหะบัดกรีระหว่างชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีซีบี การออกแบบการทดลองทางสถิติแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน  $2^{5-1}$  สำหรับปัจจัยที่ทำให้เกิดการลัดวงจรจากกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี และการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัยที่ทำให้เกิดการลัดวงจรที่มาจากกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับการประสานของโลหะบัดกรีระหว่างชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีซีบี

ผลการวิจัยพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการพิมพ์โลหะบัดกรีเพื่อให้ควบคุมค่าความสูงของครีมโลหะบัดกรีที่ความสูง 125 ไมโครเมตร คือแรงกดที่ 8.75 กิโลกรัม ระยะห่างของการถอดแบบพิมพ์ที่ 2.0 มิลลิเมตรและระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 0.0 มิลลิเมตร จากนั้นทำการผลิตเป็นเวลา 6 เดือนพบว่าปัญหาการลัดวงจรลดลงเหลือ 2,180 ดีพีพีเอ็ม หรือคิดเป็นร้อยละ 36.33 ของปัญหาทั้งหมด และทำให้ผลรวมปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 0.52 ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียจากกระบวนการเดิมลงร้อยละ 61.19

**คำสำคัญ:** การลดของเสีย ปัญหาการลัดวงจร แผ่นพีซีบี การออกแบบการทดลอง



**Thesis Title** Defect Reduction in Electronic Assembly Process on Printed Circuit Board by Applying Design of Experiment (DOE)

**Name – Surname** Mr. Udom Lopsoonthorn

**Program** Industrial Engineering

**Thesis Advisor** Associate Professor Natha Kuptasthien, Ph.D.

**Academic Year** 2016

## ABSTRACT

This research aimed to reduce defect in an assembly process of electronic parts on printed circuit boards. According to the data from a case study factory, it was found that the current defection rate was 1.34%. Also, the bridging problem was ranked the highest with high defects of 8,188 parts per million (ppm), which accounted for 59.02% of the whole production process.

Research methodology was comprised of; Pareto Diagram used to prioritize the occurred problems and the Cause and Effect Diagram used to identify factors affecting the problems. The Design of Experiments (DOE) was then set to find a level of appropriate factors influencing the process output regarding 3 manufacturing processes; solder printing, electronic component placing, and solder melting between electronic parts and printed circuit boards. The statistical design of experiments was divided into 2 parts: the fractional factorial design  $2^{5-1}$  and the full factorial design. The former was focused on analyzing factors affecting bridging in solder printing process. The latter was used to examine factors affecting bridging in a process of electronic component placing, in addition to a process of solder melting between electronic parts and printed circuit boards.

The results indicated that the levels of the appropriate factors to control the height of the solder paste at 125 micrometers in the solder printing process were at a pressure of 8.75 kilograms, a distance of stencil removing at 2.0 millimeters, and area specification for placing electronic components at 0.0 millimeter. The optimum values of those 3 factors were implemented in the production testing for 6 months. The final outcome revealed a significant reduction of bridging defect to 2,180 ppm, which accounted for 36.63% of all problems. The total defective rate of all those processes decreased to 0.52%, which accounted for 61.19% of the defect reduction from the original process.

**Keywords:** defect reduction, bridging problems, printed circuit board, design of experiment

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปต์ยงเกียรติ ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่ให้ความรู้การเรียนการสอนด้านสาขา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์นี้สามารถเสร็จสิ้นได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และจะไม่สามารถเสร็จสิ้นได้ถ้าปราศจากกำลังใจจาก ครอบครัวและเพื่อนๆทุกคน และผู้วิจัยขอขอบพระคุณหัวหน้างานฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิตและประกอบแผ่นวงจร ที่ได้ให้โอกาสและคำแนะนำเป็นแนวทางในการทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

อุดม ลพสุนทร



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	21
1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....	21
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	21
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	21
1.6 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....	22
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	22
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.1 องค์ประกอบของการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี.....	23
2.3 การควบคุมคุณภาพ.....	31
2.4 ข้อมูลและชนิดของข้อมูล.....	36
2.5 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด.....	37
2.6 การตั้งสมมติฐานและอำนาจการทดสอบ.....	44
2.7 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE).....	51
2.8 การออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial Design.....	57
2.9 การออกแบบการทดลองแบบ $2^{k-p}$ Fractional Factorial Design.....	58
2.10 การทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	61

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	64
3.1 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	64
3.2 การศึกษากระบวนการการผลิตการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ลงบนแผ่นพีซีบี .....	65
3.3 การสำรวจ เก็บข้อมูล สภาพการดำเนินการผลิตและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น.....	74
3.4 การวิเคราะห์หาปัจจัยสาเหตุของปัญหาคุณภาพ.....	76
3.5 การออกแบบการทดลอง .....	82
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	89
4.1 ผลการออกแบบการทดลอง $2^{k-p}$ ในส่วนของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี.....	89
4.2 ผลการออกแบบการทดลองของกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ลงบนแผ่นพีซีบีและกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี .....	103
4.3 ผลการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม .....	109
4.4 ผลการดำเนินการปรับปรุง.....	110
4.5 การยืนยันผลทางสถิติ.....	116
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	118
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	118
5.2 อภิปรายผลการทดลอง.....	120
5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย.....	122
บรรณานุกรม .....	123
ภาคผนวก.....	127
ภาคผนวก ก การทดสอบกระบวนการเบื้องต้น.....	128
ภาคผนวก ข การออกแบบการทดลองโดย Minitab 16 .....	133
ภาคผนวก ค เอกสารการปฏิบัติงาน .....	156
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	161
ประวัติผู้เขียน .....	182

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ข้อมูลของเสียจากฝ้ายผลิตระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2557.....	17
ตารางที่ 1.2 จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสียแยกตามลักษณะตามประเภท .....	18
ตารางที่ 1.3 แสดงลักษณะความหมายประเภทของเสียในกระบวนการผลิต .....	20
ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงอุณหภูมิของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อหลอมโลหะบัดกรี.....	30
ตารางที่ 2.2 ลักษณะเครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^3$ .....	59
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณจำนวนจุดที่เป็นของเสียบนแผ่นพีซีบีที่เป็นของเสียแบ่งตามลักษณะปัญหา.....	75
ตารางที่ 3.2 การทดสอบหาสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรที่ระดับความสูง 3 ระดับที่พบลักษณะปัญหาลัดวงจรในกระบวนการผลิต .....	83
ตารางที่ 3.3 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับทดลองในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	85
ตารางที่ 3.4 การกำหนดระดับของปัจจัยในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับรูปแบบการหลอมโลหะบัดกรี .....	87
ตารางที่ 4.1 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	90
ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยการปรับตั้งเครื่อง(Screen Printing).....	91
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units) ของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี.....	97
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)ของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี.....	98
ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูลหลังการตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	101
ตารางที่ 4.6 ระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองของกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี .....	103
ตารางที่ 4.7 บันทึกผลการออกแบบการทดลอง General Full Factorial โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 .....	104
ตารางที่ 4.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)ระดับการวาง (Mount Level) และชนิดของรูปแบบการให้ความร้อน (Reflow Type).....	107

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.9 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ.....	111
ตารางที่ 4.11 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยปัจจัยที่เหมาะสม.....	113
ตารางที่ 4.12 จำนวนจุดของเสียบนแผ่นพีซีบี ที่เป็นของเสียแบ่งตามลักษณะปัญหาหลังการปรับปรุง.....	114
ตารางที่ 4.13 ปริมาณของเสียในรูปแบบต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง .....	115
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต .....	116



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แผนภาพกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์โมเดลกรณีศึกษา .....	16
รูปที่ 1.2	แผนภูมิพาเรโตจำนวนของของเสียที่พบตามหัวข้อลักษณะปัญหา .....	19
รูปที่ 2.1	ลักษณะของแผ่นพีซีบี(Print Circuit Board)หรือเรียกว่าแผ่นวงจร[2].....	24
รูปที่ 2.2	ลักษณะของโลหะบัดกรี(Solder Paste)สำหรับกระบวนการผลิต[3].....	24
รูปที่ 2.3	กระบวนการหลักของการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี[5].....	25
รูปที่ 2.4	กระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี[6] .....	25
รูปที่ 2.5	แบบพิมพ์โลหะบัดกรี(Stencil).....	26
รูปที่ 2.6	สัดส่วนของช่องเปิดบนแผ่นพิมพ์(Stencil) สำหรับแบบพิมพ์โลหะบัดกรี[7].....	27
รูปที่ 2.7	การเคลื่อนที่ของการวางชิ้นส่วนและอุปกรณ์หัวจับชิ้นส่วน(Nozzle)[6] .....	29
รูปที่ 2.8	ลักษณะความร้อนในกระบวนการเชื่อมโลหะบัดกรีแบบ Soak Reflow[12].....	30
รูปที่ 2.9	ลักษณะความร้อนในกระบวนการเชื่อมโลหะบัดกรีแบบ Linear Reflow[12] .....	31
รูปที่ 2.10	การควบคุมคุณภาพในระบบการผลิต [15] .....	32
รูปที่ 2.11	ความสัมพันธ์ของมาตรการต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพ[15].....	34
รูปที่ 2.12	ตัวอย่างใบตรวจสอบ(Check sheet)สำหรับกระบวนการผลิต[15] .....	37
รูปที่ 2.13	ตัวอย่างกราฟแท่งแสดงปริมาณยอดขายแต่ละไตรมาส .....	38
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างกราฟวงกลมในการจำแนกประเภทของสินค้าที่ดำเนินการผลิต.....	39
รูปที่ 2.15	ตัวอย่างของกราฟเส้นที่ใช้ติดตามอุณหภูมิการอบชิ้นงาน.....	39
รูปที่ 2.16	ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต[17].....	40
รูปที่ 2.17	ตัวอย่างแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram).....	41
รูปที่ 2.18	ลักษณะของฮิสโตแกรม .....	41
รูปที่ 2.19	ตัวอย่างผังการกระจายในรูปแบบต่างๆ .....	42
รูปที่ 2.20	แสดงลักษณะของแผนภูมิควบคุม .....	43
รูปที่ 2.21	บริเวณวิกฤตและค่าวิกฤต [19].....	45
รูปที่ 2.22	ความเสี่ยง $\alpha$ และ $\beta$ จากการทดสอบสมมติฐาน.....	48
รูปที่ 2.23	ความเสี่ยง $\alpha$ และ $\beta$ ที่มีค่าลดลงเนื่องจากเส้นโค้งมีการกระจายลดลง[22] .....	49
รูปที่ 2.24	แสดงรูปแบบการใส่ข้อมูลเพื่อคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างใน Minitab 16.....	50
รูปที่ 2.25	ผลการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างโดยใช้ Minitab 16.....	51
รูปที่ 2.26	แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ .....	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

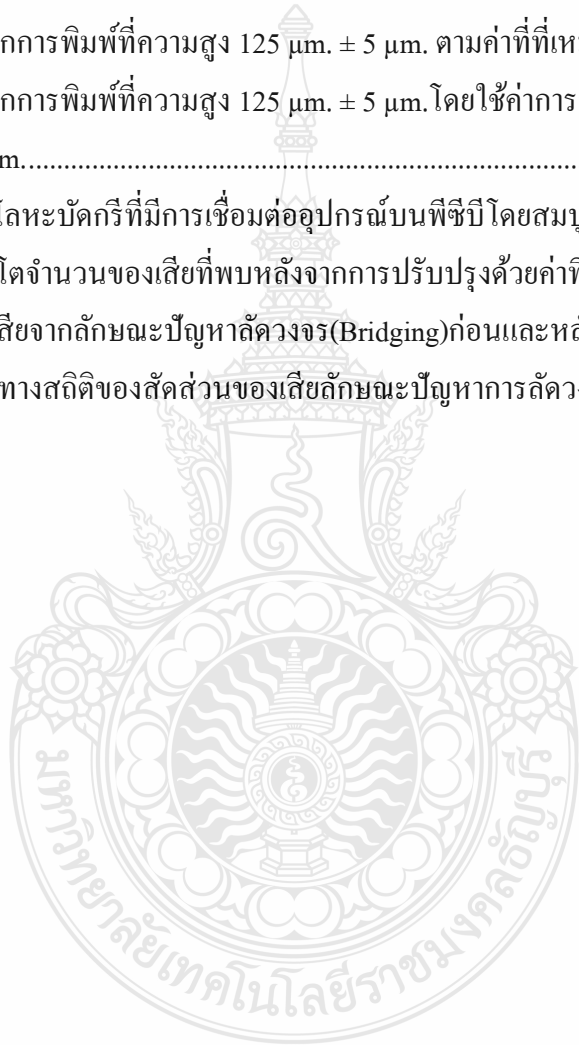
	หน้า
รูปที่ 2.27 การวางแผนควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน[19] .....	56
รูปที่ 2.28 The principal fraction, $I = +ABC$ .....	59
รูปที่ 2.29 The alternate fraction, $I = -ABC$ .....	60
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	65
รูปที่ 3.2 ลักษณะของพีซีบีที่ทำการผลิตในรุ่น YWX-5032 ที่นำมาศึกษากระบวนการ .....	66
รูปที่ 3.3 แผนภาพกระบวนการผลิตของโมเดล YWX-5032 ที่ใช้ทำการทดลอง.....	67
รูปที่ 3.4 ลักษณะครีมีโลหะบัดกรีที่พิมพ์ออกมาบริเวณ ไอซี 1501 บนพีซีบีด้านบน.....	69
รูปที่ 3.5 ลักษณะปัญหาการลัดวงจร(Bridging)จากการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	69
รูปที่ 3.6 เครื่องตรวจสอบปริมาณ โลหะบัดกรี ในกระบวนการผลิต .....	70
รูปที่ 3.7 เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี (Pick and Place) .....	71
รูปที่ 3.8 เครื่องทำความร้อนสำหรับสำหรับเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับวงจรบนแผ่นพีซีบี .....	72
รูปที่ 3.9 เครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ(AOI)ในการตรวจสอบชิ้นงานที่การผลิต.....	73
รูปที่ 3.10 การตรวจสอบด้วยพนักงานตรวจสอบคุณภาพ (QC Visual Inspection).....	74
รูปที่ 3.11 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลัดวงจร(Bridging)จากกระบวนการผลิต .....	76
รูปที่ 3.12 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลัดวงจรจากกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	79
รูปที่ 3.13 รูปทรงของโลหะบัดกรีที่ดีและลักษณะ โลหะบัดกรีที่พบปัญหาลัดวงจร .....	79
รูปที่ 3.14 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลัดวงจรจากกระบวนการวางชิ้นส่วน .....	80
รูปที่ 3.15 ลักษณะของโลหะบัดกรีหลังการวางชิ้นส่วนบน โลหะบัดกรีและแผ่นพีซีบี .....	81
รูปที่ 3.16 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการลัดวงจรจากกระบวนการ(Reflow Soldering).....	82
รูปที่ 3.17 ผลการทดสอบสัดส่วนของเสียด้วย 2 Proportion Test.....	84
รูปที่ 3.18 ขนาด Sample Size จาก Power and Sample Size ที่ 0.8 .....	85
รูปที่ 3.19 ลักษณะตารางจากการออกแบบการทดลอง Fractional Factorial $2^{5-1}$ ด้วย Minitab 16.....	86
รูปที่ 3.20 ลักษณะตารางจากการออกแบบการทดลอง General Full Factorial ด้วย Minitab 16.....	87
รูปที่ 4.1 กราฟ 4 in 1 Chart สำหรับวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูลของการทดลอง .....	93
รูปที่ 4.2 กราฟ Pareto Chart of the Standardized Effects ของการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	99
รูปที่ 4.3 กราฟ Half Normal Plot of the Standardized Effects ของการพิมพ์โลหะบัดกรี .....	99
รูปที่ 4.4 กราฟ Main Effect ของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขนาดความสูงของ โลหะบัดกรี .....	102



## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 กราฟ Optimization Plot แสดงขนาดปัจจัยที่ให้ความสูงของโลหะบัดกรี ที่ $125\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$ .....	102
รูปที่ 4.6 กราฟ 4 in 1 Chart ระดับการวาง Mount Level และรูปแบบของ Reflow Type .....	105
รูปที่ 4.7 กราฟ Main Effects Plot แสดงระดับการวาง(Mount Level)ที่เกิดปัญหาน้อยที่สุด .....	109
รูปที่ 4.8 โลหะบัดกรีจากการพิมพ์ที่ความสูง $125\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$ . ตามค่าที่เหมาะสมที่ทดสอบ .....	112
รูปที่ 4.9 โลหะบัดกรีจากการพิมพ์ที่ความสูง $125\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$ . โดยใช้ค่าการวาง ที่ระดับ 0.0 mm.....	112
รูปที่ 4.10 ลักษณะของโลหะบัดกรีที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนพีซีบีโดยสมบูรณ์ .....	113
รูปที่ 4.11 แผนภูมิพารโตจำนวนของเสียที่พบหลังจากการปรับปรุงด้วยค่าที่เหมาะสม .....	114
รูปที่ 4.12 สัดส่วนของเสียจากลักษณะปัญหาลัดวงจร(Bridging)ก่อนและหลังปรับปรุง .....	116
รูปที่ 4.13 ผลการยืนยันทางสถิติของสัดส่วนของเสียลักษณะปัญหาการลัดวงจรก่อนและหลัง .....	117



## คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ

DOE	Design of Experiment
ANOVA	Analysis of variance
SPI	Solder Paste Inspection
AOI	Automated Optical Inspection
QC	Quality Control
QA	Quality Assurance
PCB	Print Circuit Board
OSP	Organic Solder ability Preservatives
HASL	Hot Air Solder Leveling
ImSn	Immersion Tin
ImAg	Immersion Silver
ENIG	Electroless Nickel/Immersion Gold
IC	Integrated Circuit
SMD	Surface Mount Device
DPPM	Defect Parts Per Million
DPMO	Defects Per Million Opportunity

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

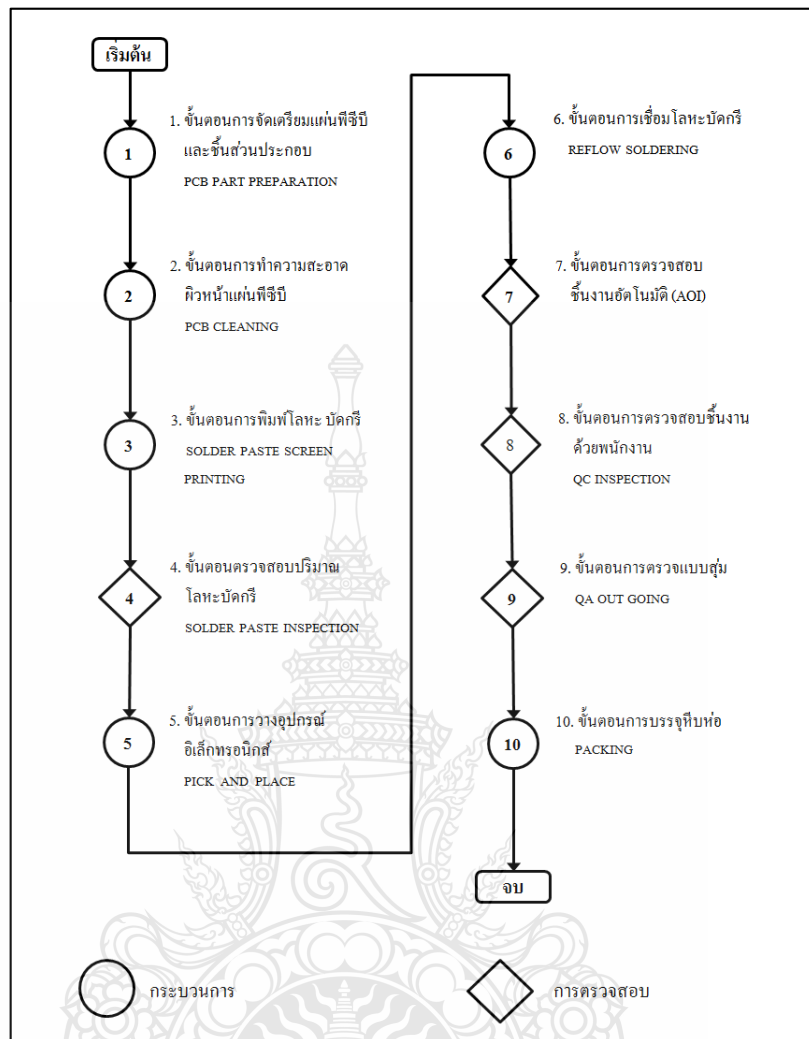
ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศกำลังพัฒนาประเทศหนึ่งซึ่งรายได้หลักของประเทศมาจากการผลิตและส่งออกสินค้าเป็นหลัก โดยเป็นผู้ผลิตสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญประเทศหนึ่งในภูมิภาคเอเชีย โดยในปัจจุบันสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของเรามากขึ้นเป็นอย่างมากในทุกๆกิจกรรม จากปัจจุบันมีสินค้าอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากหลายชนิดที่เป็นของอุปกรณ์พกพา ซึ่งมีขนาดของชิ้นส่วนภายในที่มีขนาดเล็กลงแต่ยังคงไว้ซึ่งการทำงานเทียบเท่ากับอุปกรณ์ใหญ่ ในหน้าที่การทำงานเหมือนเดิมหรือสูงกว่าเทคโนโลยีรุ่นก่อนที่ผลิตผ่านมาแล้วแต่ที่มองเห็นได้ชัดเจนนั้นจะเห็นว่าขนาดของเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ขนาดเล็กลงก็เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้พลังงานที่จำเป็นต้องลดลง เนื่องจากมูลค่าและต้นทุนราคาของพลังงานที่สูงขึ้น ตามมาด้วยความต้องการที่จะสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องยาวนานขึ้นด้วยพลังงานที่น้อยลงและอีกเหตุผลสืบเนื่องมาจากความต้องการของผู้บริโภคที่มีมากขึ้นตามการเติบโตของเศรษฐกิจ ความต้องการสินค้าคุณภาพดีที่มีราคาถูกลง และความรวดเร็วในการส่งผ่านสินค้าให้ถึงผู้บริโภคด้วยเวลาที่รวดเร็วทันกับความต้องการแต่ในภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันการผลิตนั้นก็ประสบปัญหาจากต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นจากนวัตกรรมและกระบวนการที่เปลี่ยนไปเพื่อให้สอดคล้องกับนวัตกรรมทางเทคโนโลยีใหม่ๆที่ถูกพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวิธีทางหนึ่งที่จะเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตและลดต้นทุนคุณภาพและการส่งให้ถึงมือลูกค้าทันเวลาได้คือการลดจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิต ลดการทำซ้ำ เพิ่มสัดส่วนของดีที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตให้อยู่ในระดับที่ดีที่สุด

การอ้างอิงจากรายงานสรุปสถานะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมจากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมไตรมาสที่ 2 ปี พ.ศ. 2557 (เมษายน – มิถุนายน) โดยกระทรวงอุตสาหกรรมแสดงให้เห็นถึงสถานะอุตสาหกรรมโดยรวมและการประมาณการแนวโน้มของแต่ละชนิดอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2557-2558 โดยในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในไตรมาส 2/2557 มีการปรับตัวดีขึ้นเทียบกับปีก่อน ซึ่งสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เกือบทุกประเภทมีการปรับตัวเพิ่มขึ้น[1]

ดังนั้นความจำเป็นของการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการและเพิ่มผลผลิตด้านอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์จึงยังเป็นสิ่งที่ภาคอุตสาหกรรมประเภทนี้ต้องการ ซึ่งปัญหาและอุปสรรคหนึ่งในกระบวนการผลิตประกอบอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีจะเกิดขึ้นตั้งแต่กระบวนการ

การพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบี การวางอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี การให้ความร้อนในการเชื่อมโลหะบัดกรีระหว่างตัวอุปกรณ์กับแผ่นพีซีบี ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งอย่างเหมาะสมถูกต้อง เพื่อให้คุณภาพของชิ้นงานที่ได้ออกมาอย่างมีคุณภาพและมีอัตราของเสียที่ต่ำเท่าที่สามารถทำได้ โดยผู้ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ให้กับกระบวนการจำเป็นต้องมีความรู้และประสบการณ์ในการปรับตั้งเป็นอย่างดีเพื่อกำหนดวิธีการให้กับกระบวนการได้อย่างถูกต้องเหมาะสมเพื่อลดความสูญเสียให้เหลือน้อยที่สุด

แต่จากสภาพการณ์ปัจจุบันการปรับตั้งของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้เข้าไปศึกษาสำรวจนั้น ผู้กำหนดการปฏิบัติงานจะทราบได้อย่างไรว่าการกำหนดปัจจัยพารามิเตอร์นั้นให้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมหรือไม่ ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการยกระดับคุณภาพของกระบวนการของโรงงานนี้ จึงได้นำหลักวิชาการในการปรับปรุงคุณภาพและเทคนิคทางสถิติเพื่อมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุ และหาปัจจัยที่เป็นตัวแปรของกระบวนการเพื่อแก้ไขปรับปรุงที่จะทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมามีคุณภาพ ลดการซ่อม การทำซ้ำ และมีสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจากกระบวนการปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดเพื่อนำความรู้ทางวิชาการที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ โดยใช้แนวทาง ทฤษฎีของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อและกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมให้กระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการเข้าไปดำเนินการสังเกตการณ์และเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตมาทำการศึกษาในช่วงระหว่างเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2557 จนถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557 โดยการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี และนำมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดปัจจัยในกระบวนการเพื่อลดของเสียของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันลงอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ ตามเป้าหมายของโรงงานประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีประกอบด้วยกระบวนการดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภาพกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์

กระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรของโรงงานอิเล็กทรอนิกส์เริ่มต้นจากการวางแผนการผลิตจากฝ่ายวางแผนการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณที่ลูกค้าต้องการในแต่ละรุ่น โดยกระบวนการในส่วนของฝ่ายผลิตจะดำเนินการเปลี่ยนรุ่นการผลิตตามแผนงานที่กำหนดไว้ เริ่มขั้นตอนที่ 1 โดยการจัดวัตถุดิบเพื่อบรรจุเข้ากับเครื่องจักร ซึ่งจะเตรียมบรรจุวัตถุดิบตามรายการที่ใช้ในแต่ละรุ่นการผลิต และตามจำนวนที่ถูกระบุไว้ตามแผนการผลิต ขั้นตอนที่ 2 คือการทำความสะอาดผิวของแผ่นวงจรหรือเรียกในกระบวนการว่าแผ่นพีซีบี เพื่อกำจัดฝุ่นที่อาจตกค้างอยู่บนแผ่นวงจร ขั้นตอนที่ 3 คือกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing) ลงบนแผ่นพีซีบีโดยผ่านแบบพิมพ์ (Stencil) สำหรับปาดครีมโลหะบัดกรีเพื่อให้โลหะครีมนลงตามตำแหน่งของลายวงจรอย่างถูกต้องตรงตามตำแหน่งที่ต้องการและได้รูปทรงเพียงพอกับชนิดของอุปกรณ์ที่มีลักษณะเฉพาะของ

แต่ละชนิด ขั้นตอนที่ 4 เป็นการตรวจสอบปริมาณโลหะบัดกรีที่ถูกพิมพ์ผ่านแบบพิมพ์ออกมาว่าได้ตรงตามข้อกำหนดของกระบวนการที่ต้องการหรือไม่ ก่อนการดำเนินการเริ่มต้นการผลิตต่อเนื่อง ขั้นตอนที่ 5 คือการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี ตามตำแหน่ง โดยการ โปรแกรมให้กับเครื่องจักรในการวางชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ขั้นตอนที่ 6 การให้ความร้อนกับแผ่นพีซีบีเพื่อให้โลหะบัดกรีระหว่างขาอุปกรณ์หลอมเหลวและเชื่อมประสานสายวงจรกับตัวอุปกรณ์ ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ ขั้นตอนที่ 8 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นงานด้วยพนักงานเพื่อคัดแยกสิ่งผิดปกติที่เครื่องตรวจสอบอัตโนมัติไม่สามารถตรวจสอบได้และตรวจเป็นการตรวจซ้ำอีกครั้งว่าสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นเป็นจริงตามที่เครื่องระบุหรือไม่เพื่อรับรองและลงบันทึกอีกครั้ง ขั้นตอนที่ 9 เป็นการสุ่มตรวจโดยพนักงานรับรองคุณภาพอีกครั้งเพื่อยอมรับชุดของการผลิตแต่ละชุด ขั้นตอนที่ 10 คือการบรรจุเพื่อเตรียมการส่งมอบให้กับลูกค้า

งานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์รุ่นการผลิตซึ่งเป็นรุ่นที่ประสบปัญหามากที่สุด ซึ่งโรงงานกำลังให้ความสนใจมากที่สุด เนื่องจากเป็นลูกค้าหลักที่มีการผลิตต่อเนื่องและทำธุรกิจกับโรงงานนี้มาเป็นเวลานาน และเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในด้านคุณภาพ และการส่งมอบงานได้ทันกับความต้องการของลูกค้า ลดต้นทุนของกิจกรรมการซ่อมการทำซ้ำ และลดปริมาณของเสียให้ต่ำที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ โดยใช้เทคนิคต่างๆในการปรับปรุงคุณภาพ

**ตารางที่ 1.1** ข้อมูลของเสียจากฝ่ายผลิตระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2557

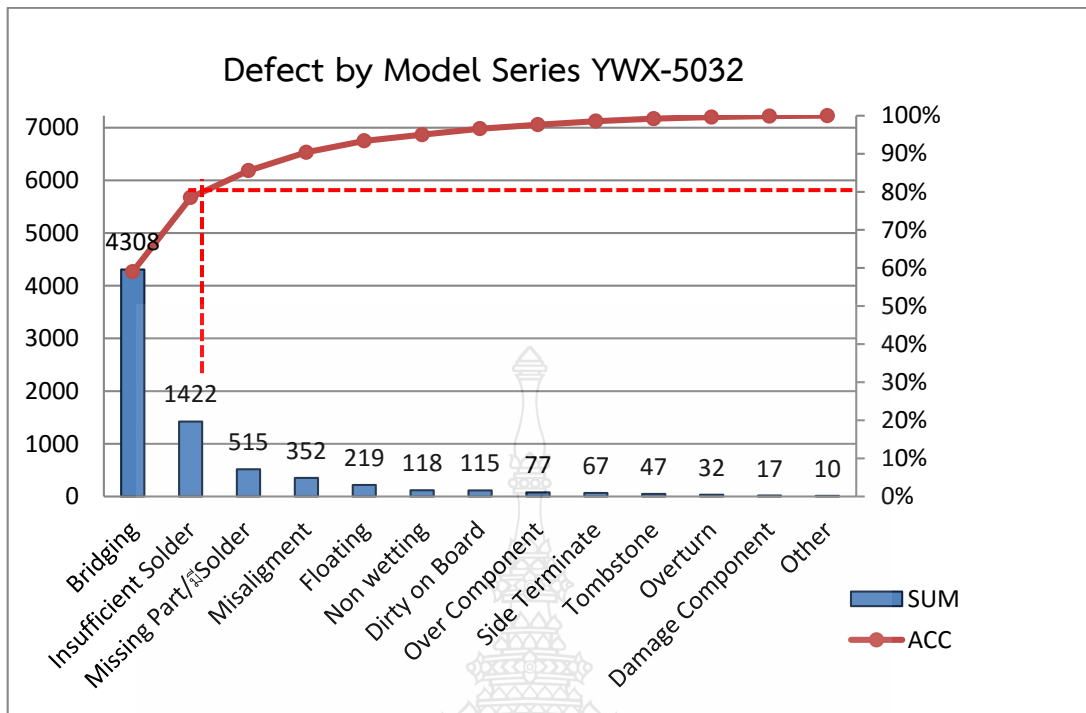
รายละเอียด	เดือน						รวม
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
จำนวนชิ้นงานที่ทำ การผลิต (ชิ้น)	110,650	101,107	102,000	91,580	60,420	58,390	524,147
จำนวนชิ้นงานของ เสียที่ไม่เป็นไปตาม ข้อกำหนด (ชิ้น)	1,851	1,537	988	1,356	633	660	7,025
อัตราส่วนของเสียที่ ไม่เป็นไปตาม ข้อกำหนด (%)	1.67%	1.52%	0.97%	1.48%	1.05%	1.13%	1.34%

ที่มา : บันทึกรายงานประจำเดือนจากฝ่ายผลิต พ.ศ. 2557

งานที่เกิดปัญหาเหล่านี้จะต้องดำเนินการซ่อมหรือนำกลับมาทำซ้ำ(Rework)โดยมีค่าใช้จ่ายในการทำซ้ำต่อบอร์ดเป็นมูลค่า 94 บาทต่อบอร์ด โดยมูลค่าต้นทุนในการซ่อมที่ระบุนี้ที่เป็นมาตรฐานของบริษัท ตามต้นทุนค่าแรง ค่าวัสดุต่างของโรงงานได้มาจากข้อมูลของโดยหน่วยงานวิศวกรรมการผลิต จากข้อมูลพบว่ามียังมีจำนวนแผ่นพีซีบีที่ถูกผลิตออกมาแล้วเป็นของเสียทั้งสิ้น 7,025 หน่วยคิดเป็นเงิน 660,350 บาท หรือเฉลี่ย 110,058 บาท/เดือน เมื่อนำบันทึกข้อมูลบอร์ดที่พบปัญหาแยกแยะกลุ่มของลักษณะอาการเสียที่เกิดขึ้น เพื่อหาจำนวนของลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้น โดยนับเป็นจำนวนจุดที่เกิดขึ้นบนแผ่นพีซีบีที่ถูกตรวจสอบพบ ซึ่งความถี่ที่เป็นปริมาณสะสมของแต่ละลักษณะปัญหามบนแผ่นพีซีบี จัดลำดับปัญหาได้ดังตารางที่ 1.2

**ตารางที่ 1.2** จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสียแยกตามลักษณะตามประเภท

หัวข้อลักษณะปัญหา	ปริมาณปัญหา (ตำแหน่ง)	สัดส่วน (เปอร์เซ็นต์)	สัดส่วนสะสม
Bridging	4308	59.02	59.02
Insufficient Solder	1422	19.48	78.50
Missing Part /มี Solder	515	7.06	85.56
Misalignment	352	4.82	90.38
Floating	219	3.00	93.38
Non wetting	118	1.62	95.00
Dirty on Board	115	1.58	96.57
Over Component	77	1.05	97.63
Side Terminate	67	0.92	98.55
Tombstone	47	0.64	99.19
Overtun	32	0.44	99.63
Damage Component	17	0.23	99.86
Other	10	0.14	100.00
Total	7299	100.00	



รูปที่ 1.2 แผนภูมิพารโตจำนวนของของเสียที่พบตามหัวข้อลักษณะปัญหา

จากแผนภูมิพารโตแสดงให้เห็นว่าจำนวนของลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบีแยกตามลักษณะของหัวข้อปัญหาทั้งหมดที่พบ ในสัดส่วน 80 : 20 ตามหลักการคัดเลือกปัญหาของพารโตนั้นจะมีปัญหาอยู่ 2 ลักษณะปัญหาได้แก่ อันดับที่ 1 คือปัญหา การลัดวงจร (Bridging) อยู่ที่ร้อยละ 59.02 ปัญหาอันดับที่ 2 คือปัญหา โลหะบัดกรีไม่เพียงพอ (Insufficient Solder) อยู่ที่ร้อยละ 19.48 ซึ่งผลรวมอยู่ที่ร้อยละ 78.50 ของลักษณะของเสียที่พบมากที่สุดในกระบวนการ แต่อันเนื่องมาจากความรุนแรงของปัญหาหลังการผลิต ปัญหาการลัดวงจรจะสร้างความเสียหายทางไฟฟ้าให้กับผลิตภัณฑ์แก่ชิ้นส่วนต่างและตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงเลือกหัวข้อการลัดวงจร (Bridging) มาพิจารณาในการลดปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะปัญหาที่จำเป็นเร่งด่วนที่มีผลกระทบสูงด้านคุณภาพ ต้นทุน ความเชื่อมั่นจากลูกค้า และเป็นปัญหาที่มีของเสียเกิดขึ้นสูงที่สุดเพื่อที่จะนำไปทำการปรับปรุง



ตารางที่ 1.3 แสดงลักษณะความหมายประเภทของเสียในกระบวนการผลิต

ประเภทของเสีย	ความหมาย	รูปภาพ
Bridging	โลหะบัดกรีที่ขาอุปกรณ์ที่เชื่อมติดกันในจุดที่ไม่ต้องการ เป็นสาเหตุให้เกิดการลัดวงจรของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบี	
Insufficient Solder	ปริมาณโลหะบัดกรีที่เชื่อมต่อขาอุปกรณ์มีปริมาณน้อย ไม่เพียงพอกับขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับลายวงจรบนพีซีบี	
Missing Part	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องวางบนตำแหน่งที่กำหนดบนพีซีบีหลุด ออกรายไปขณะการประกอบในสายการผลิต	
Misalignment	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่วางไม่ตรงตามแนวของการเชื่อมต่อของขาอุปกรณ์กับลายวงจรบนแผ่นพีซีบี	
Floating	ขาของตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยกออกจากจุดเชื่อมต่อกับลายวงจรบนแผ่นพีซีบีทำให้รูปทรงการประกอบไม่ปกติ	
Non wetting	โลหะบัดกรีที่การเชื่อมต่อของโลหะบัดกรีมีหลอมละลายไม่สมบูรณ์ เป็นเนื้อเดียวกัน	
Dirty on Board	คราบสกปรกแปลกปลอมเช่นเศษฝุ่นผงต่าง คราบขาวเป็นอนูปรณ์บนแผ่นพีซีบี	
Over Component	ชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เกินจำนวนที่กำหนด หรือวางซ้อนทับบนอุปกรณ์ที่ถูกประกอบ	
Side Terminate	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์พลิกตะแคงข้างลงตำแหน่งที่ประกอบบนพีซีบี	
Tombstone	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทชิพที่เกิดการยกขาข้างหนึ่งลอยและตั้งขึ้นจากจุดเชื่อมต่อบนพีซีบี	
Overtum	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์พลิกหงาย ผิดด้านในการประกอบบนจุดเชื่อมต่อแผ่นพีซีบี	
Damage Component	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่แตก บิ่น ราว บวมจนผิวแตกหรือแตกออกจกกัน	
Other	อาการเสียอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนด	

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 หาสาเหตุของลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุง

1.2.2 เพื่อลดความเสี่ยงของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงอย่างน้อยร้อยละ 50

1.2.3 เพื่อกำหนดวิธีการหลังการปรับปรุงเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

การปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องจักรอย่างเหมาะสมในกระบวนการกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี โดยใช้เครื่องมือคุณภาพและเทคนิคการออกแบบการทดลอง สามารถช่วยพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการให้ดีขึ้นและลดสัดส่วนของเสียได้

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ทำการศึกษาโดยการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดของเสียในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีอันเกิดจากกระบวนการภายในของโรงงานกรณีศึกษา โดยเริ่มดำเนินการเก็บข้อมูลระหว่างเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2557 จนถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557 และนำข้อมูลที่ได้มาเพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะปัญหาที่สำคัญของกระบวนการและหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีโดยใช้ทฤษฎีการควบคุมคุณภาพร่วมกับหลักวิชาการทางสถิติวิศวกรรมรวมถึงทฤษฎีการออกแบบการทดลองเพื่อนำผลที่ได้มากำหนดปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการผลิตระหว่างเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2558 จนถึงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

1.5.2 เก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาคุณภาพจากกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

1.5.3 ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในงานอุตสาหกรรมการผลิต

1.5.4 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในกระบวนการผลิตในปัจจุบันด้วยเครื่องมือคุณภาพและวิธีการทางสถิติ

1.5.5 ออกแบบการทดลองหาปัจจัยควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานเพื่อปรับปรุง

1.5.6 ทดลอง และ เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงและเปรียบเทียบผลการปรับปรุง

1.5.7 การยืนยันผลทางสถิติ และ สรุปผลการวิจัย

1.5.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

1.6.1 การศึกษาสภาพปัญหาหากพบปัญหาที่มาจากการออกแบบของลูกค้ำซึ่งโรงงานกรณีศึกษา ไม่ได้ดำเนินการออกแบบได้เองจึงจำเป็นต้องแจ้งลูกค้ำก่อน ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันที และต้องใช้เวลาดำเนินการเป็นระยะเวลาสั้น จึงต้องศึกษาภายใต้ข้อจำกัดจากแบบผลิตภัณฑ์

1.6.2 รูปแบบการผลิตของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษาเป็นแผนการผลิตแบบผสมซึ่งมีหลากหลายรุ่นการผลิตดังนั้นการทดสอบจึงขึ้นอยู่กับแผนการผลิตที่ถูกกำหนดไว้

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.7.1 ลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

1.7.2 สร้างเป็นมาตรฐานของกระบวนการเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีเสถียรภาพมากขึ้นอย่างเหมาะสม

1.7.3 สามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานในการนำงานที่เกิดข้อบกพร่องมาทำซ้ำได้

1.7.4 เพิ่มโอกาสในการแข่งขันกับบริษัทคู่แข่งโดยใช้ข้อได้เปรียบด้านคุณภาพที่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

1.7.5 ทำให้ทราบสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการที่เกิดขึ้นและใช้แนวทางเดียวกันในการแก้ไขปัญหาของผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นในอนาคตหรือนักศึกษารุ่นอื่น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีของกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องร่วมด้วยกับการนำเครื่องมือด้านคุณภาพ 7 QC Tools และทฤษฎีการออกแบบการทดลองร่วมกัน โดยมีรายละเอียดตามหัวข้อดังนี้

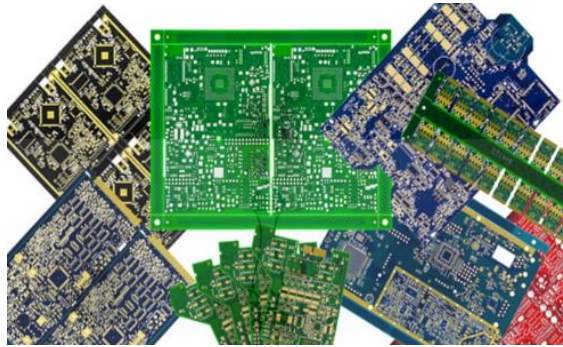
#### 2.1 องค์ประกอบของการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

องค์ประกอบของการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี คือการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เข้าด้วยกันโดยการใช้ตัวนำไฟฟ้าสำหรับการเชื่อมต่อ เช่น สายไฟ แผ่นวงจรพิมพ์ หรือที่เรียกติดปากกันว่าแผ่นพีซีบี (PCB) โดยมีลักษณะเป็นลายวงจรซึ่งอาจทำจาก ทองแดง เงิน หรือ โลหะตัวนำชนิดอื่นๆ โดยวิธีการประกอบชิ้นส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในงานอุตสาหกรรมประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จะนิยมการใช้แผ่นวงจรในการประกอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะมีในลักษณะทั้งแบบแผ่นวงจรชนิดแข็งและชนิดอ่อน ออกมาเป็นสินค้าสำเร็จรูปมากกว่าการใช้สายไฟต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากกว่า เนื่องจากความรวดเร็วในการผลิต การควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต ความมีเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์และการนำไปใช้งาน ตลอดจนความสะดวกในการซ่อมแซมบำรุงรักษาและการการรับประกันตัวสินค้าที่ดี โดยองค์ประกอบของการประกอบผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

##### 2.1.1 แผ่นวงจรพิมพ์หรือแผ่นพีซีบี

แผ่นวงจรพิมพ์หรือแผ่นพีซีบี (PCB : Printed Circuit Board) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นลายวงจรบนแผ่นฉนวนหรือเรียกว่าแผ่นลามิเนต โดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุประเภท ฟีนอลิก(Phenolic, FR-2) กลาสอีพอกซี (Glass epoxy, FR-4) เทฟลอน (Teflon) เคมวัน (CEM1) ซึ่งจะมีแบบหน้าเดียว(Single Side) แบบสองหน้าธรรมดา (Double Side) แบบสองหน้าเพลททรู โฮล (Double Side Plate Through Hole) และแบบมัลติเลเยอร์ (Multi-Layer) หรือชนิดหลายชั้น โดยความหนาของโลหะตัวนำจะมีความหนาต่างๆกัน ที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมผลิตจะใช้อยู่คือ 1 ออนซ์ (35  $\mu\text{m}$ .) และ 2 ออนซ์ (70  $\mu\text{m}$ .) และผิวหน้าของสารเคลือบผิวที่เคลือบลายทองแดงก็มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้งานของผลิตภัณฑ์ และต้นทุนแต่ละชนิดก็แตกต่างกันด้วยซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตจะนิยมใช้ชื่อจะมีชื่อเรียกแต่ละประเภท ได้แก่ OSP

(Organic Solder ability Preservative), HASL (Hot Air Solder Leveling), Immersion Tin (ImSn), Immersion Silver (ImAg), ENIG (Electro less Nickel Immersion Gold) [2]



## รูปที่ 2.1 ลักษณะของแผ่นพีซีบี(Print Circuit Board)หรือเรียกว่าแผ่นวงจร[2]

### 2.1.2 โลหะบัดกรีชนิดครีม (Solder paste)

โลหะบัดกรีที่ใช้ในงานประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะอยู่ในลักษณะเป็นลักษณะครีมโดยโครงสร้างของโลหะบัดกรีเมื่อใช้คูกล็องขยายขนาดขยายภาพดูจะเป็นลักษณะของโลหะเม็ดเล็กๆจับตัวกันเป็นครีมเหลว เพื่อให้สามารถปรับรูปทรงลงบนตำแหน่งที่ต้องการใช้เชื่อมต่อกับขาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านการรีดผ่านแบบพิมพ์ (Stencil) ลงตามตำแหน่งที่กำหนดบนแผ่นวงจรหรือแผ่นพีซีบีได้ตามที่ต้องการ

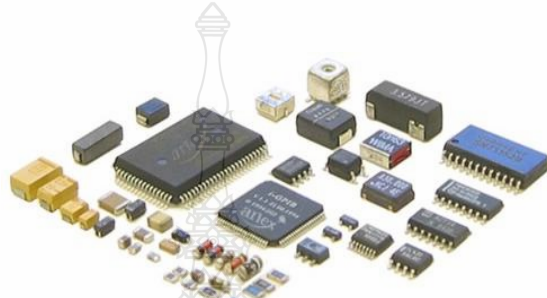


## รูปที่ 2.2 ลักษณะของโลหะบัดกรี(Solder Paste)สำหรับกระบวนการผลิต[3]

### 2.1.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีอยู่ 2 ชนิดคืออุปกรณ์ประเภท Passive Device ได้แก่ตัวต้านทาน ประสิทธิภาพ ความต้านทาน ขดลวด ตัวเก็บประจุ เป็นต้น และอีกประเภทก็คือประเภท Active Device ซึ่งได้แก่ จำพวก วงจรรวมหรือ ไอซี, ทรานซิสเตอร์, ไดโอด ต่างๆ เป็นต้น และในอุตสาหกรรมการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ชนิด

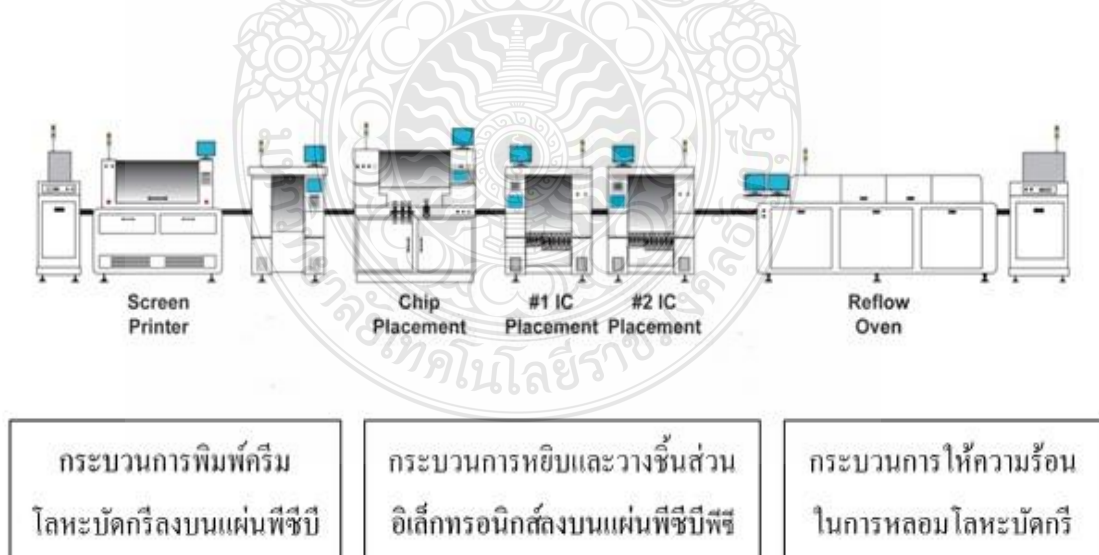
SMD (Surface Mount Device) จะเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีกระบวนการวางบนผิวของแผ่นพีซีบี โดยที่อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องใช้กระบวนการเสียบขาลงไปในรูของแผ่นพีซีบีแล้วนำมาบัดกรีแบบผลิตภัณฑ์สมัยก่อนที่เคยนิยมแต่กระบวนการนี้จะใช้เครื่องจักรในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ตามตำแหน่งที่กำหนดบนผิวของลายวงจรบนแผ่นพีซีบีที่พิมพ์โลหะบัดกรีตรงจุดเชื่อมต่อแทน แล้วจึงนำแผ่นวงจรที่วางอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วครบถ้วนไปผ่านความร้อนให้โลหะบัดกรีหลอมละลายเชื่อมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นพีซีบีเข้าด้วยกัน[4]



รูปที่ 2.3 กระบวนการหลักของการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี[5]

## 2.2 กระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี(PCB ASSEMBLY)

กระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีประกอบด้วยกระบวนการที่เป็นกระบวนการหลัก 3 ส่วนซึ่งได้แก่

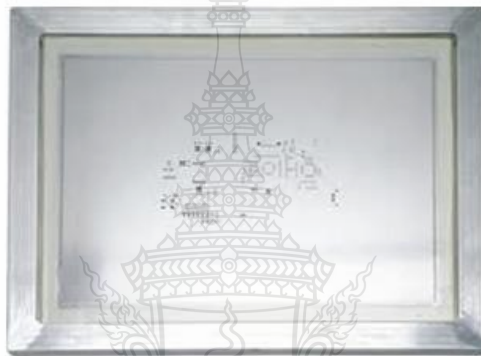


รูปที่ 2.4 กระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี[6]



## 2.2.1 กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบี (Screen Printing Process)

เป็นกระบวนการเตรียมโลหะบัดกรีลงไปตามตำแหน่งที่ต้องการสำหรับให้ขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อกับตัวนำบนแผ่นพีซีบี โดยโลหะบัดกรีจะต้องลงไปตรงตำแหน่งเท่านั้นและต้องมีขนาดเพียงพอกับความต้องการของขาอุปกรณ์ชนิดนั้นด้วย โดยการที่จะทำให้โลหะบัดกรีลงตรงจุดและได้ปริมาณที่ต้องการนั้นจะต้องใช้แบบพิมพ์ที่ตรงกับพีซีบีนั้น โดยเฉพาะและมีความหนา พื้นที่ที่เหมาะสมกับขนาดอุปกรณ์ด้วย โดยมีขั้นตอนที่ต้องคำนึงถึงสิ่งแรกคือการออกแบบแผ่นแบบพิมพ์(Stencil)ที่ใช้ในการพิมพ์โลหะบัดกรี



## รูปที่ 2.5 แบบพิมพ์โลหะบัดกรี(Stencil)

โดยการออกแบบแผ่นแบบพิมพ์(Stencil)จะใช้มาตรฐานของ IPC7525A อ้างอิงด้วยการออกแบบแบบพิมพ์ที่เหมาะสมจะช่วยให้ปริมาณของโลหะบัดกรีที่ถูกส่งผ่านแบบลงบนแผ่นพีซีบีสามารถส่งผ่านปริมาณของโลหะบัดกรีได้เพียงพอและเหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะถูกนำมาประกอบลงไปบนแผ่นพีซีบี โดยมีทฤษฎีที่สำคัญที่ผู้ออกแบบต้องทราบต่อไปนี้

2.2.1.1 Aspect Ratio เป็นอัตราส่วนในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของขนาดความกว้างของช่องที่เปิดที่จะออกบนแผ่นแบบพิมพ์(Stencil)ให้โลหะบัดกรีผ่านตามช่องของแผ่นพิมพ์ลงบนแผ่นพีซีบี เพื่อให้โลหะบัดกรีสามารถผ่านรูของแบบพิมพ์ลงบนพื้นผิวของแผ่นพีซีบีได้ โดยสัดส่วนนี้ที่จำเป็นต้องทราบขนาดความกว้างของช่องเปิดที่แคบที่สุดบนแผ่นพีซีบีที่ต้องการให้โลหะบัดกรีผ่าน ใช้สำหรับการเลือกความหนาของแผ่นพิมพ์ที่จะนำมาใช้ โดยค่ามาตรฐานของอัตราส่วนนี้จะต้องมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าหรือ 150 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน[7] ของการที่จะส่งผ่าน โลหะบัดกรี โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Aspect Ratio} = \frac{W}{T} \quad (2.1)$$

โดยที่

$W$  = ความกว้างของช่องแบบพิมพ์ที่เปิดให้โลหะบัดกรีผ่าน

$T$  = ความหนาของแผ่นโลหะบัดกรีที่จะนำมาทำแผ่นแบบพิมพ์ (Stencil)

2.2.1.2 Area Ratio เป็นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของช่องที่ถูกเปิดให้โลหะบัดกรีส่งผ่านแบบพิมพ์กับพื้นที่ของผนังของช่องที่ถูกเปิดให้โลหะบัดกรีไหลผ่าน โดยค่ามาตรฐานของอัตราส่วนนี้จะต้องมีค่ามากกว่าหรืออย่างน้อย 0.60 หรือ 60 เปอร์เซ็นต์ เพื่อที่จะสามารถส่งผ่านครีملโลหะบัดกรีลงไปแผ่นพีซีบีได้ ซึ่งหากช่องที่ถูกเปิดนี้ไม่อยู่ในสัดส่วนนี้จะทำให้การส่งผ่านโลหะบัดกรีไม่สามารถส่งผ่านโลหะบัดกรีได้เพียงพอโดยมีสูตรการคำนวณสำหรับการออกแบบดังนี้

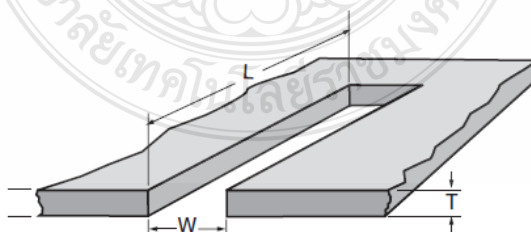
$$\text{Area Ratio} = \frac{L \times W}{2 \times (L + W) \times T} \quad (2.2)$$

โดยที่

$L$  = ความยาวของช่องแบบพิมพ์ที่เปิดให้โลหะบัดกรีผ่าน

$W$  = ความกว้างของช่องแบบพิมพ์ที่เปิดให้โลหะบัดกรีส่งผ่าน

$T$  = ความหนาของแผ่นโลหะบัดกรีที่จะนำมาทำแผ่นแบบพิมพ์ (Stencil)



รูปที่ 2.6 สัดส่วนของช่องเปิดบนแผ่นพิมพ์(Stencil) สำหรับแบบพิมพ์โลหะบัดกรี[7]



2.2.1.3 การปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีเนื่องจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการในการพิมพ์โลหะบัดกรีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการในการพิมพ์โลหะบัดกรีจะทำให้ปริมาณโลหะบัดกรีส่งผ่านลงไปตามช่องเปิดบนแบบพิมพ์ที่ออกแบบตรงตามตำแหน่งและได้ขนาดรูปทรงตรงตามความต้องการ โดยการกำหนดปัจจัยต่อไปนี้จะให้กับเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีในปรับตั้งเครื่องให้คุณภาพของการพิมพ์โลหะบัดกรีที่เหมาะสมได้แก่[8],[9],[10]

- 1) แรงกดใบปาดในการพิมพ์ (Pressure)
- 2) ความเร็วใบปาดในการพิมพ์ (Print Speed)
- 3) ความเร็วในการถอดแบบพิมพ์ (Separate Speed)
- 4) ระยะการถอดแบบพิมพ์ (Separate Distance)
- 5) ระยะห่างระหว่างพีซีบีกับแบบพิมพ์ (Print Gap)

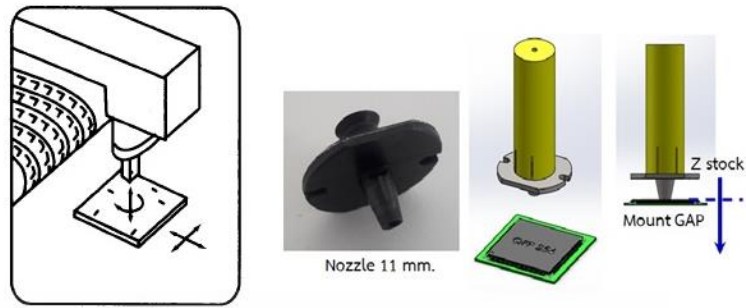
#### 2.2.2 กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี (Pick and Place Process)

กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จะใช้โปรแกรมการวางชิ้นส่วนตามพิกัดพิกัด X,Y กำหนดตำแหน่งและทิศทางของอุปกรณ์ตามตำแหน่งการลงอุปกรณ์บนแผ่นพีซีบี และใช้หัวจับชิ้นส่วนวางลงที่ละอุปกรณ์ตามลำดับโดยการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z จะเป็นการเคลื่อนที่สำหรับการหยิบและการวางชิ้นส่วนแต่ละชิ้น โดยขนาดของระยะการวางตามแนวแกน Z ของแต่ละอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชนิดนั้น[11] โดยการควบคุมเครื่องจักรจะกำหนดด้วยขนาดในเมนูที่เรียกว่า (Mount Gap) ดังนั้นองค์ประกอบของการวางชิ้นส่วนที่เหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับความแม่นยำของเครื่องเป็นหลักได้แก่

2.2.2.1 ความถูกต้องและความแม่นยำของพิกัด (X,Y) เป็นการกำหนดการเคลื่อนที่ของพิกัดในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ให้วางตรงตามตำแหน่งบนพื้นที่ของแผ่นพีซีบีที่กำหนด โดยส่วนใหญ่จะอ้างอิงกับจุดอ้างอิงบนแผ่นพีซีบี(Fiducial Marks)

2.2.2.2 ความถูกต้องและความแม่นยำของแกนหมุน (Rotation) เป็นการกำหนดการหมุนรอบแกน Z สามารถหมุนได้ 360 องศา และสามารถกำหนดให้หมุนได้ทั้งแบบตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการวางชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีทิศทาง เช่น ขั้วบวก ขั้วลบ เป็นต้น

2.2.2.3 ความถูกต้องและความแม่นยำของแกน (Z-Axis) เป็นการกำหนดการเคลื่อนที่ตามแนวตั้ง (Z-Axis) มีความสำคัญในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบีซึ่งต้องสัมพันธ์กับขนาดของชิ้นส่วนที่มีความแตกต่างกัน และเป็นปัจจัยที่สร้างแรงกดให้กับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขณะที่ถูกวางให้แนบสนิทกับผิวของแผ่นพีซีบี



รูปที่ 2.7 การเคลื่อนที่ของการวางชิ้นส่วนและอุปกรณ์หัวจับชิ้นส่วน(Nozzle)[6]

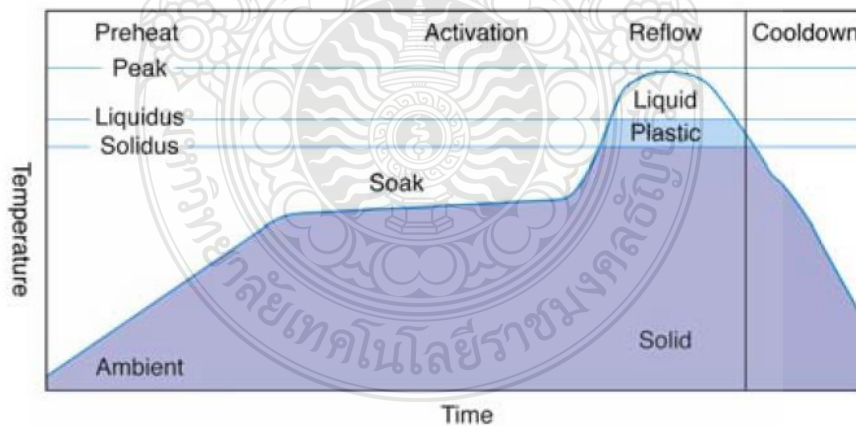
### 2.2.3 กระบวนการเชื่อมโลหะบัดกรี (Reflow Soldering Process)

กระบวนการในการเชื่อมโลหะบัดกรีระหว่างขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับจุดเชื่อมต่อบนแผ่นพีซีบี เป็นกระบวนการให้ความร้อนเพื่อให้โลหะบัดกรีระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง โดยโลหะบัดกรีจะหลอมเหลวพร้อมๆกัน โดยรูปแบบของค่าความร้อนที่ใช้จะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะบัดกรีที่เลือกใช้เป็นหลัก ในการอ้างอิงกำหนดโดยช่วงของอุณหภูมิและเวลาจากใบข้อมูลผลิตภัณฑ์ของโลหะบัดกรีมีข้อกำหนดความร้อนระดับใดจึงสามารถหลอมเหลวได้อย่างเหมาะสมกับชนิดของโลหะบัดกรีชนิดนั้นและข้อกำหนดของอุปกรณ์ที่อยู่บนแผ่นพีซีบี โดยข้อกำหนดของรูปแบบการให้ความร้อนกับโลหะบัดกรีของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี ประกอบด้วย ช่วงเวลา ความร้อน ความแรงของการเปลี่ยนความร้อนจากช่วงหนึ่งไปอีกช่วงหนึ่ง เพื่อให้โลหะบัดกรีมีความสมบูรณ์ในการเปลี่ยนสถานะ โดยความร้อนในการหลอมของโลหะบัดกรี (Reflow Soldering Profile )

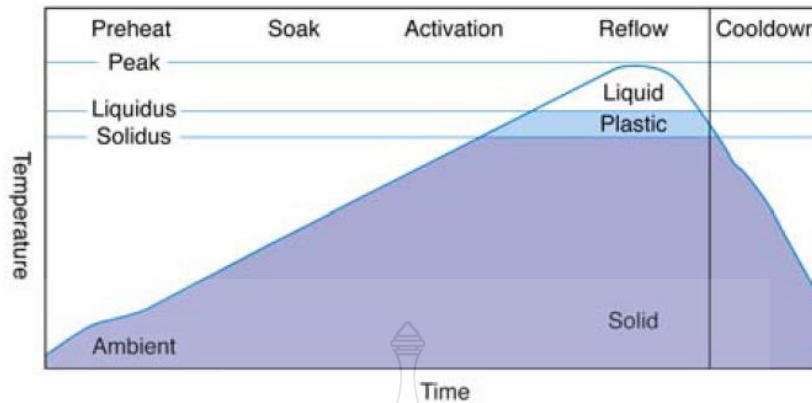
ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงอุณหภูมิของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อหลอมโลหะบัดกรี

รายละเอียดของช่วงอุณหภูมิ (Reflow Profile Detail)	ช่วงที่กำหนด
อัตราการเร่งความร้อน (Ramp Up)	0.5 - 3.0 องศาเซลเซียส/วินาที
ระยะเวลาและความร้อนช่วงก่อนโลหะเปลี่ยน	30 - 120 วินาที
สถานะของเหลว (Soak Stage)	150 - 200 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาความร้อนช่วงที่โลหะบัดกรีอยู่ในสถานะของเหลว 217 องศาเซลเซียส ถึงความร้อนสูงสุด และตกลงกลับมาที่ 217 องศาเซลเซียสอีกครั้ง (Reflow Stage)	30 - 100 วินาที
ระดับความร้อนสูงสุด (Peak Stage)	230 - 260 องศาเซลเซียส
อัตราการลดความร้อนจากความร้อนสูงสุด (Cool Down Stage)	0.5 - 6.0 องศาเซลเซียส/วินาที

โดยรูปแบบการให้ความร้อนกับโลหะบัดกรีนั้นจะนิยมใช้ในกระบวนการผลิตมี 2 รูปแบบได้แก่ แบบ Soak Reflow และ Linear Reflow ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 ลักษณะความร้อนในกระบวนการเชื่อมโลหะบัดกรีแบบ Soak Reflow[12]



รูปที่ 2.9 ลักษณะความร้อนในกระบวนการเชื่อมโลหะบัดกรีแบบ Linear Reflow[12]

### 2.3 การควบคุมคุณภาพ

คำว่า “คุณภาพ” เป็นคำที่ผู้ผลิตและผู้บริโภคต่างมีความต้องการโดยคุณภาพจะเป็นสิ่งที่คาดหวังจากผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ได้รับนั้นว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับใดเพียงพอต่อความพึงพอใจนั้นหรือไม่แตกต่างกันไปยกตัวอย่างดังนี้

ความหมายที่1 คุณภาพ คือ ความพึงพอใจ(Satisfaction) และความจงรักภักดีหรือความเชื่อมั่น(Loyalty)ของลูกค้าเหมาะสมกับความต้องการของลูกค้า

ความหมายที่2 คุณภาพคือ ความสามารถในการทำรายได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมือนกัน ราคาถูกและเหมาะสมสำหรับตลาด

ความหมายที่3 คุณภาพคือ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าซึ่งรวมถึงการออกแบบบรรจุ มีคุณสมบัติตามความต้องการของลูกค้า ทำให้ลูกค้านิยมมากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น มีรูปร่างลักษณะการใช้งานดี เหมาะสมกับราคา ทำให้ลูกค้าเกิดความเชื่อมั่นและวางใจในผลิตภัณฑ์นั้น[13]โดยคุณภาพนั้นสามารถพิจารณาได้จากสูตร[14]

$$Q = \frac{P}{E} \quad (2.3)$$

โดยที่

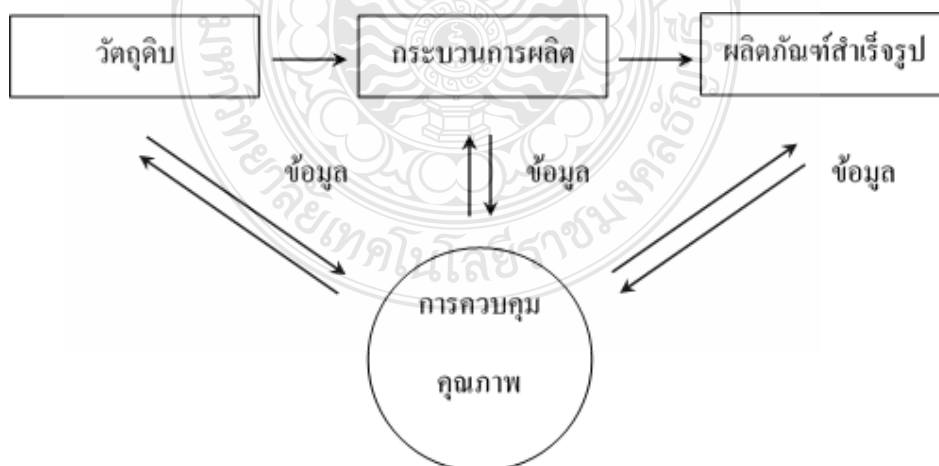
$Q$  คือ คุณภาพ (Quality)

$P$  คือ สมรรถภาพ (Performance)

$E$  คือ ความคาดหวัง (Expectations)

โดยองค์กรจะกำหนดสมรรถภาพ ส่วนลูกค้าจะกำหนดความคาดหวัง โดยค่า Q มีค่าเท่ากับ 1.0 หมายความว่า ลูกค้าพอใจในสินค้าหรือบริการแต่ถ้า Q มีค่าน้อยกว่า 1.0 หมายความว่า สินค้าหรือบริการไม่สามารถตอบสนองต่อความคาดหวังของลูกค้าได้ ในอุตสาหกรรมการผลิต ผู้บริโภคนอกจากจะหมายถึงผู้ซื้อหรือผู้ใช้สินค้าโดยตรงแล้ว ยังหมายถึงผู้รับช่วงงานอีกด้วย การทิจของการควบคุมคุณภาพจึงเริ่มจากการหาความต้องการที่แท้จริงของผู้บริโภค เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาพัฒนารูปแบบของสินค้าอันเป็นที่พึงประสงค์ของผู้บริโภค แบบหรือข้อกำหนดที่ได้กำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ไว้แล้วเรียกว่า “มาตรฐานผลิตภัณฑ์” ถูกส่งต่อไปให้ผู้ผลิตทำการผลิต ผู้ผลิตต้องผลิตสินค้าให้ได้ตามลักษณะเฉพาะที่กำหนดไว้ ผลิตให้ได้ปริมาณตามที่สั่ง ส่งมอบสินค้าได้ทันเวลาด้วยต้นทุนที่ต่ำอย่างเหมาะสม ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องมีการวางแผนการผลิตก่อนลงมือผลิต มีระบบการจัดซื้อที่ดี ได้วัตถุดิบที่มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่กำหนดด้วยราคาที่ต่ำ ในปริมาณที่ต้องการ มีคนและเครื่องจักรที่สามารถผลิตสินค้าอย่างมีคุณภาพ มีการควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามแผนที่ได้วางไว้ มีการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบ ทดสอบ เพื่อให้แน่ใจว่าสินค้าที่ผลิตได้ในแต่ละขั้นตอนมีคุณสมบัติตรงตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน[15]

การควบคุมคุณภาพในระบบผลิตระบบการผลิต คือ ระบบที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสรรค์หรือผลิตสิ่งต่างๆ ให้เพิ่มคุณค่าขึ้นมา โดยการใช้จ่ายการผลิต อันได้แก่ คน วัตถุดิบ พลังงาน เครื่องจักร วิธีการ โดยผู้บริหารงานทำหน้าที่วางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อให้งานดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการผลิตแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ วัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สำเร็จรูป การควบคุมคุณภาพในระบบการผลิตจึงต้องควบคุมทั้ง 3 ขั้นตอนของระบบการผลิต[15]



รูปที่ 2.10 การควบคุมคุณภาพในระบบการผลิต [15]

### 2.3.1 การกำหนดมาตรฐานการควบคุมคุณภาพ

มาตรฐานที่จำเป็นในการควบคุมคุณภาพในระบบการผลิตประกอบด้วย

2.3.1.1 กำหนดมาตรฐานของคุณภาพ ได้แก่ มาตรฐานของวัตถุดิบแต่ละชนิด มาตรฐานของกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอน มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในแต่ละขั้นตอน โดยกำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่มีคุณลักษณะที่ต้องการที่จะให้เป็นไปในแบบใด

2.3.1.2 กำหนดมาตรฐานของการตรวจสอบ ได้แก่ วิธีการตรวจสอบวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ว่ามีสิ่งที่จะต้องใช้อะไร มีวิธีการอย่างไร นอกจากนี้เครื่องมือคุณภาพที่ใช้ต้องได้รับการสอบเทียบหรือรับรองคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด จึงจะนำไปใช้วัด หรือทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.3.1.3 กำหนดมาตรฐานของวิธีการสุ่มตัวอย่าง การตรวจสอบอาจทำได้โดยการตรวจ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือการสุ่มตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างต้องมีการกำหนดจุดสุ่มตัวอย่าง ขนาดตัวอย่าง การยอมรับหรือปฏิเสธสิ่งที่ตรวจเมื่อไร อย่างไร นั่นคือมีการใช้แผนการสุ่มตัวอย่างในการติดตามคุณภาพ

ดังนั้นเมื่อฝ่ายผลิตมีหน้าที่ดำเนินการให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานคุณภาพที่กำหนดไว้ จึงต้องมีหน่วยตรวจสอบ ทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยดำเนินการตรวจสอบตั้งแต่วัตถุดิบกระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป หน่วยตรวจสอบมีหน้าที่ตรวจดูว่าวัตถุดิบ หรือผลผลิตที่ตรวจนั้นมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานหรือลักษณะเฉพาะที่กำหนดไว้หรือไม่ แล้วแจ้งข้อมูลกลับไปให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบ เพื่อว่าถ้ามีผลผลิตใดไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ จะได้หาทางแก้ไขหรือวิธีป้องกันต่อไป

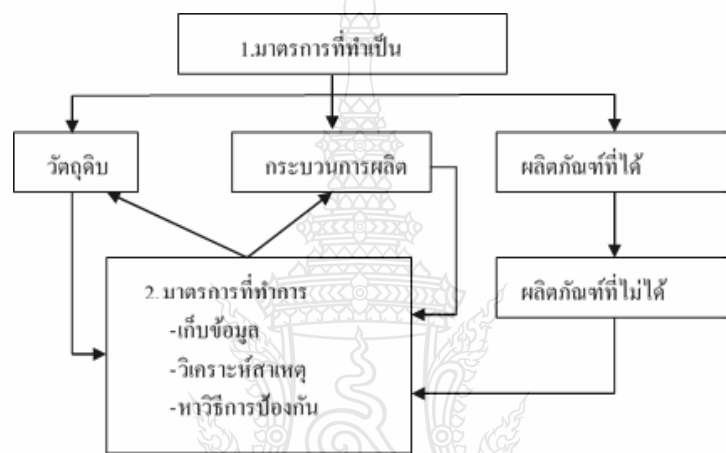
### 2.3.2 การกำหนดมาตรการต่างๆในการควบคุมคุณภาพ

ในระบบการผลิต สามารถแบ่งออกเป็น 2 มาตรการใหญ่ๆ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของมาตรฐานต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพดังรูปที่ 2.11 โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

2.3.2.1 มาตรการที่ต้องทำเป็นประจำเป็นมาตรการที่ทำเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามที่ต้องการ คุณสมบัติสม่ำเสมอ โดยมีของเสียน้อยที่สุดได้แก่

1) การควบคุมวัตถุดิบ โดยทำการสุ่มตัวอย่างวัตถุดิบมาตรวจสอบว่ามีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ การตรวจสอบวัตถุดิบเป็นจุดแรกที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพราะถ้าวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตไม่ได้มาตรฐาน คุณภาพที่ผลิตได้ของผลิตภัณฑ์ก็ไม่ได้มาตรฐานด้วย

2) การควบคุมกระบวนการผลิต ควบคุมขั้นตอนการผลิตให้ตรงตามมาตรฐาน ตรวจสอบผลผลิตที่ผ่านออกมาในแต่ละขั้นตอนว่ามีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ หรือไม่ ก่อนส่งต่อไปยังขั้นตอนการผลิตที่อยู่ถัดไป การควบคุมกระบวนการผลิตอาจดำเนินการตรวจสอบที่ เครื่องจักร เนื่องจากเครื่องจักรเป็นส่วนของการผลิตที่มีส่วนประกอบเป็นจำนวนมากที่ใช้ในการผลิต ถ้า ส่วนหนึ่งส่วนใดของเครื่องจักรมีความผันแปรเปลี่ยนไป ผลผลิตที่ได้รับก็มีความผันแปรเปลี่ยนไปไม่ อยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนดการตรวจสอบจะต้องตรวจสอบจุดต่างๆของเครื่องจักร เพื่อไม่ให้เกิด ความผันแปรของเครื่องจักร โดยเฉพาะจุดที่มีการติดตั้งใหม่ หรือเริ่มเดินเครื่องใหม่



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของมาตรการต่างๆ ในการควบคุมคุณภาพ[15]

3) ตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เมื่อวัตถุประสงค์ได้ผ่านการแปรรูปออกมาจนเป็น ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปทุกขั้นตอน ได้ผ่านการตรวจสอบแล้วก็น่าที่จะได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ได้มาตรฐานแต่ เพื่อความมั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จึงควรตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปอีกครั้งว่ามีคุณสมบัติ ตรงตามมาตรฐานหรือไม่ ลักษณะการตรวจสอบผลิตภัณฑ์จำแนกได้ 2 ลักษณะสำคัญคือ การ ตรวจสอบวัดด้วยเชิงตัวแปร (Variable) เป็นวิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่สามารถวัดหน่วยของ ผลิตภัณฑ์ได้ในเชิงปริมาณ เช่น ความตึงของเส้นด้าย อุณหภูมิ น้ำหนัก ลักษณะที่สองเป็นการ ตรวจสอบวัดด้วยคุณลักษณะ (Attribute) เป็นวิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อย่างหายาๆ ด้วยการวัด ลักษณะของผลิตภัณฑ์ว่าดีหรือ เลีย ผ่านเกณฑ์หรือไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดมาตรฐาน

2.3.2.2 มาตรการเพื่อการปรับปรุงหรือพัฒนาเป็นมาตรการที่ทำการเพื่อการปรับปรุง หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีของเสีย หรือลดปริมาณของเสียมี 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1) การจัดเก็บสถิติการผลิต เก็บข้อมูลปัญหาของผลิตภัณฑ์ เพื่อจะได้เป็นข้อมูล ใ้ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา

2) การวิเคราะห์หาต้นเหตุของปัญหา นำข้อมูลที่จัดเก็บไว้มาวิเคราะห์หาต้นเหตุของปัญหา เช่น ปัญหาความล่าช้า ปัญหาของเสียหาย เป็นต้น เมื่อวิเคราะห์จนทราบต้นเหตุของปัญหาจะได้กำหนดวิธีการแก้ไข และวิธีการป้องกันต่อไป

3) การกำหนดวิธีการแก้ไขและการป้องกัน เมื่อทราบสาเหตุของปัญหาแล้ว ก็จะต้องกำหนดการป้องกันสาเหตุของปัญหาที่เป็นต้นตอต่อไป และติดตามการแก้ไขปรับปรุงว่าสามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเท่าใด

### 2.3.3 การกำหนดลักษณะการตรวจสอบ

โดยทั่วไปปกติลักษณะการตรวจสอบถูกแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

2.3.3.1 แบบตรวจสอบตามตัวแปร เพื่อควบคุมลักษณะของชิ้นส่วนซึ่งผันแปรได้ให้อยู่ในขอบเขตอันหนึ่ง (Control of Variable) ได้แก่ การวัดความยาวหรือน้ำหนักของชิ้นส่วนว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่ หรือคุณลักษณะอื่นๆ ที่วัดได้ เช่น ความแข็ง ความเร็ว แรงดึง เป็นต้น

2.3.3.2 แบบตรวจว่าดีหรือเสีย เพื่อควบคุมจำนวนชิ้นส่วนที่เสีย (Control of Defectives) เช่น การตรวจหลอดไฟว่าดีหรือเสีย หรือการตรวจขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นส่วน โดยใช้การนำชิ้นงานรูดลูกกลมได้หรือไม่ ถ้าไม่สามารถรูดถือว่าใหญ่เกินไปเป็นของเสีย หรือการตรวจสอบการรั่วของบรรจุภัณฑ์ถ้าเกิดรั่วถือว่าเป็นของเสีย เป็นต้น

2.3.3.3 การตรวจสอบตามจำนวนตำหนิ เพื่อควบคุมจำนวนตำหนิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนให้อยู่ในขอบเขต (Control of Defect) เช่น จำนวนฟองอากาศในแผ่นแก้ว จำนวนฟองอากาศในผลิตภัณฑ์จากพลาสติก เป้าหมายการตรวจสอบ คือ พยายามรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้และหากไม่สามารถจะทำการตรวจได้ครบถ้วนสมบูรณ์แบบ เนื่องจากไม่มีเวลาหรือไม่คุ้มที่จะทำก็พยายามควบคุมคุณภาพให้ผันแปรอยู่ในขอบเขตอันหนึ่งที่พอจะยอมรับได้

### 2.3.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการควบคุมคุณภาพ

2.3.4.1 ลดของเสีย ด้วยโรงงานทุกโรงงานไม่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำถูกส่งออกจำหน่าย ดังนั้น โรงงานจึงต้องควบคุมคุณภาพด้วยการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ก่อนออกจำหน่าย ซึ่งการตรวจสอบดังกล่าวแม้ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายแต่เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เสียแล้วนำไปทำลายทิ้ง การเสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการนำผลิตภัณฑ์ไปทำลายทิ้ง ผลจากการตรวจสอบเพื่อควบคุมจะทำให้ของเสียในกระบวนการผลิตลดลง

2.3.4.2 ลดค่าใช้จ่าย ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ การผลิตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพหลังจากผลิตผลิตภัณฑ์มาได้แล้ว ต้องมีการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ดีหรือเสียออกจากกัน ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการคัดเลือกลดลง แต่หากมีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตแล้ว โรงงานไม่



จำเป็นต้องเสียเวลาคัดเลือกอีกเพราะในระบบควบคุมคุณภาพนั้นได้แยกผลิตภัณฑ์ดีและเสียออกจากกันแล้ว

2.3.4.3 ลูกค้าน่าเกิดความพอใจในผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้อยู่ในขอบเขตการควบคุมคุณภาพ ตามกระบวนการผลิตที่กำหนดไว้ ผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายก็จะเป็นไปตามที่ต้องการ เมื่อลูกค้าใช้สินค้าก็เกิดความพอใจ โอกาสที่จะซื้อก็มีมากขึ้น ขณะเดียวกันก็สร้างชื่อเสียงที่ดีให้กับผู้ผลิตอีกด้วย

2.3.4.4 สามารถกำหนดราคาขายสินค้าได้ เราจะทราบว่าสินค้าที่ผลิตอยู่ในระดับใดได้จากการควบคุมคุณภาพ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดราคาขายผลิตภัณฑ์ตามระดับคุณภาพสินค้าได้ โดยผู้ผลิตและผู้ขายสามารถพิจารณารายละเอียดในสัญญาซื้อขายได้ชัดเจนนอกจากประโยชน์ทางตรงข้างต้น

## 2.4 ข้อมูลและชนิดของข้อมูล

การควบคุมคุณภาพจำเป็นต้องได้ข้อเท็จจริงซึ่งมีทั้งที่เป็นคุณภาพและปริมาณที่เกิดขึ้นในระบบของการผลิต ข้อมูลคือ ค่าเฉพาะที่ได้จากการทดลอง การตรวจสอบ หรือจากการทำงานซึ่งเป็นไปได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยชนิดของข้อมูลโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

### 2.4.1 ข้อมูลตัวเลขจากการนับ (Countable or discrete data)

เป็นตัวเลขข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ ของดี ของเสีย จำนวนข้อบกพร่อง ฯลฯ ค่าที่ตรวจนับจะเป็นเลขจำนวนเต็ม

### 2.4.2 ข้อมูลตัวเลขจากการวัด (Measurement or continuous data)

เป็นตัวเลขข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือต่างๆ เช่นการวัดความยาว การชั่งน้ำหนัก การจับเวลา การวัดขนาด การวัดความเข้มข้น ฯลฯ โดยส่วนใหญ่จะมีจุดทศนิยม ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือวัดนั้น

ข้อมูลที่ดีขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการวัด การวัดเป็นรากฐานของของกิจกรรมด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมและเทคโนโลยีหากการวัดไม่ถูกต้องจะทำให้เราไม่สามารถเรียนรู้และค้นพบคุณสมบัติที่แท้จริง ว่าผลการวัดที่ได้นั้นถูกต้องหรือไม่ การวัดที่เกิดประโยชน์มากที่สุดเมื่อเรากำหนดวัตถุประสงค์ของการวัดนั้นเพื่อวัดสิ่งใด เช่น คุณภาพของผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้น คุณภาพของรุ่นการผลิต ความสามารถของกระบวนการผลิต ความถูกต้องและความแม่นยำของการวัด ดังนั้นควรจะต้องทำความเข้าใจกับเครื่องมือและวิธีการวัดในลักษณะต่างของเครื่องมือที่ใช้และควรปรับตั้ง (Calibrate) สำหรับเครื่องมือที่เป็นเครื่องมือวัดโดยตรง และสำหรับผู้ทำการวัดก็จะต้องเข้าใจวิธีการใช้เครื่องมือ

วัดได้อย่างถูกต้องตามหลักการใช้งานจึงจะทำให้ข้อมูลที่ได้มานั้นมีความถูกต้องและสร้างความเชื่อมั่นให้กับกระบวนการวัดนั้นได้อย่างเพียงพอ

## 2.5 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือคุณภาพเป็นเครื่องมือที่นักวิชาการทางสหรัฐอเมริกาไม่ว่าจะเป็น Dr. W. E. Demming ผู้คิดค้นวงล้อคุณภาพ PDCA รวมถึง Dr. J. M. Juran ได้นำความรู้มาเผยแพร่ในประเทศญี่ปุ่นและได้รับการพัฒนาและประยุกต์ใช้อย่างเป็นรูปธรรมจนเป็นที่นิยมและยอมรับในทางอุตสาหกรรม เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด [16] ที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการต่างๆ โดยเครื่องมือดังกล่าวนี้จะมีส่วนช่วยในการบันทึกรวบรวม สืบตรวจสอบปัจจุบันของปัญหา ค้นหาสาเหตุที่แท้จริงทำให้การตรวจสอบเป็นไปอย่างมีระบบเพื่อที่จะหาวิธีแก้ไขต่อไป และกำหนดเป็นมาตรฐาน โดยเครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิดประกอบด้วย

### 2.5.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

เป็นแบบของเอกสารในการบันทึกผลการตรวจสอบหรือผลการดำเนินงานเพื่อใช้ข้อมูลในการยืนยันด้านคุณภาพ โดยใบตรวจสอบจะใช้เพื่อบันทึกค่าต่างๆที่ต้องการของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ โดยอาจจะอยู่ในรูปของค่าการวัดขนาดต่าง ตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด เพื่อแสดงลักษณะที่ต้องการของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ ยกตัวอย่างเช่น แรงดันของก๊าซในโตรเจนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ความเร็วของการกัดชิ้นงาน การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ผลิตออกมา ความหนาของแผ่นเหล็กจากกระบวนการรีดโลหะ หรือจะอยู่ในลักษณะของใบตรวจสอบที่แสดงถึงลักษณะของปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก็ได้ โดยใช้เพื่อวัตถุประสงค์เพื่อให้แน่ใจว่าคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการนั้นว่ายังคงเป็นไปตามที่ต้องการอยู่เสมอและเมื่อเกิดปัญหา ก็สามารถนำข้อมูลที่บันทึกมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและการแก้ไขปรับปรุงในลำดับต่อไป

SENDER.....											Date .....			
Date of Prod	Sample No.	Average diameter mm.	Max diff (Roundness) mm.	Yield load Kg.	Max load Kg.	Yield Stress Kg/mm <sup>2</sup>	Tensile Stress Kg/mm <sup>2</sup>	Elongation %	Bend Test Kg.	Hardness	COMPOSITION			REMARK
											C	S	P	

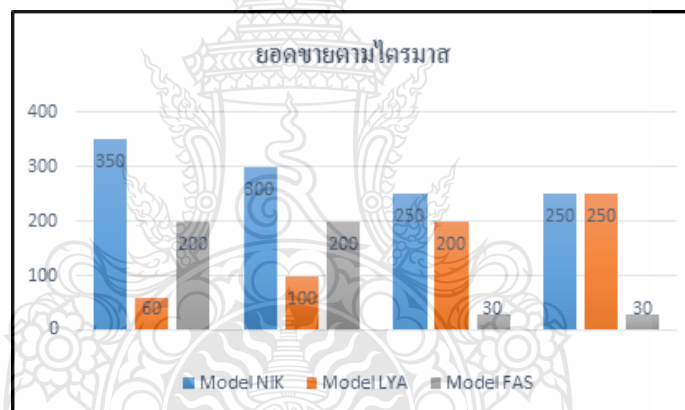
DIRECTOR ..... SUPERVISOR ENGR ..... CONTROLLER ..... OPERATOR .....

รูปที่ 2.12 ตัวอย่างใบตรวจสอบ(Check sheet)สำหรับกระบวนการผลิต[15]

## 2.5.2 กราฟ (Graph)

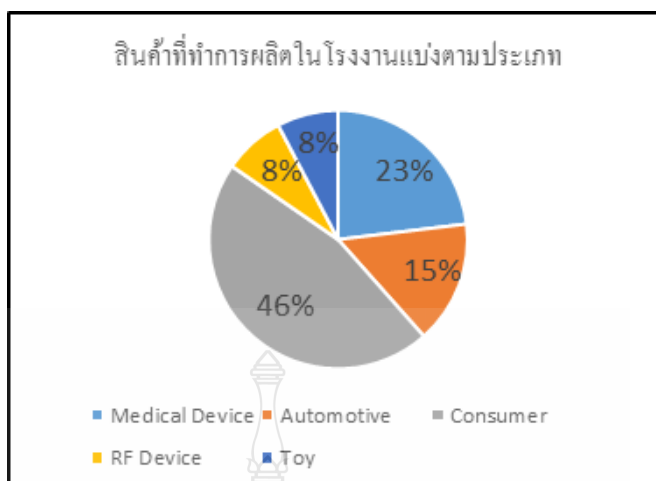
กราฟเป็นแผนภูมิรูปภาพที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลที่เกิดขึ้นมาทำการจัดเรียงในรูปแบบของกราฟแท่ง กราฟวงกลม กราฟเส้น ในรูปแบบต่างๆเพื่อให้เห็นแนวโน้มของปริมาณของสิ่งที่สนใจ หรือประเด็นปัญหาว่าจะมีแนวโน้มหรือทิศทางไปในลักษณะเพิ่มขึ้น ลดลง หรือคงที่ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและใช้เพื่อตัดสินใจดำเนินการเพื่อระบุปัญหาที่มีความสำคัญเร่งด่วนมาทำการแก้ไข ปรับปรุง

กราฟแท่ง นิยมใช้เพื่อเปรียบเทียบขนาดของข้อมูลประเภทต่างๆ เช่น รูปที่ 2.13 เป็นกราฟแท่งที่ใช้เปรียบเทียบยอดขายสินค้า 3 ชนิด ในแต่ละไตรมาส ซึ่งจากการนำเสนอทำให้เราเห็นแนวโน้มของยอดขายสินค้าทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละไตรมาสอันจะนำมาพิจารณาหาแนวโน้มและสาเหตุของยอดขายที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงว่าเกิดจากสาเหตุอะไรเพื่อกำหนดกลยุทธ์ด้านการขายของแต่ละผลิตภัณฑ์



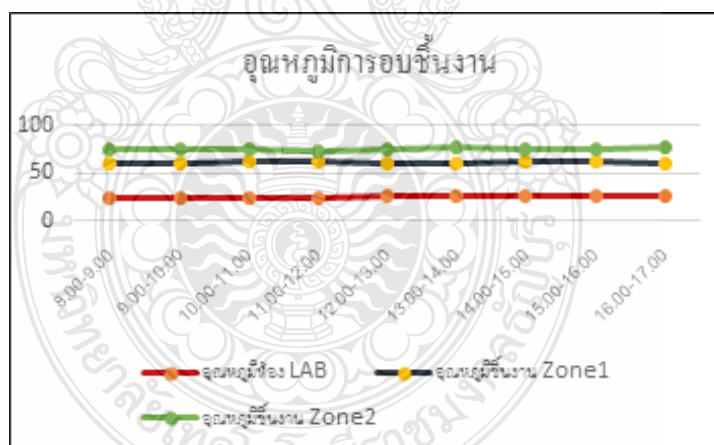
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างกราฟแท่งแสดงปริมาณยอดขายแต่ละไตรมาส

กราฟวงกลม ใช้เพื่อจำแนกองค์ประกอบของสิ่งที่กำลังสนใจ ตัวอย่างเช่นเราต้องการทราบว่าคุณภาพสินค้าที่มีการผลิตภายในโรงงานมีสินค้าที่ถูกผลิตแบ่งตามประเภทของสินค้าแล้วประกอบด้วยประเภทใดบ้างและมีสัดส่วนแต่ละประเภทเท่าไร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มและเป้าหมายของแต่ละสินค้าที่ดำเนินการผลิตเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนก็จะแสดงด้วยกราฟวงกลม



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟวงกลมในการจำแนกประเภทของสินค้าที่ดำเนินการผลิต

กราฟเส้น ใช้เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป เช่น การบันทึกความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องอบกาวบนชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตตั้งแต่เข้างานเลิกงาน ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งการประยุกต์ใช้กราฟเส้นนี้ ถ้าหากมีการนำขอบเขตที่ยอมรับได้มาประกอบเข้าไปจะเรียกว่า แผนภูมิควบคุม

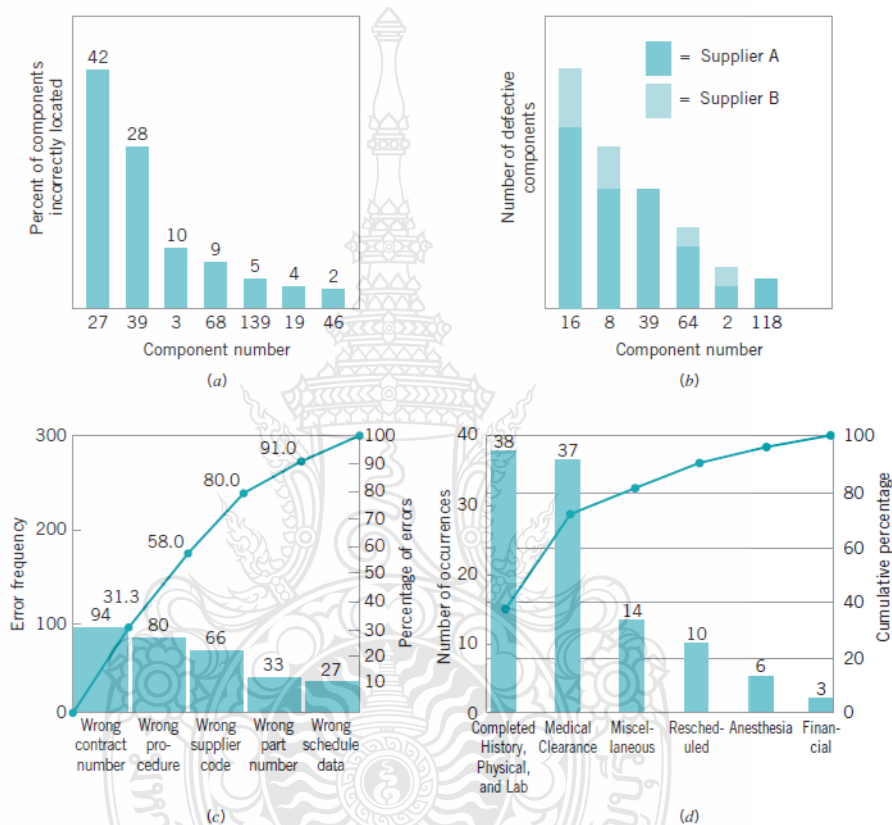


รูปที่ 2.15 ตัวอย่างของกราฟเส้นที่ใช้ติดตามอุณหภูมิการอบชิ้นงาน

### 2.5.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

เป็นแผนภูมิพาเรโตเป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงปริมาณของของปัญหาต่างที่เกิดขึ้น โดยแบ่งตามหัวข้อลักษณะของปัญหาและความถี่หรือปริมาณการเกิดปัญหาโดยที่จะทำการเรียงลำดับหรือจัดลำดับเพื่อแสดงให้เห็นว่าอะไรคือปัญหาที่มีปริมาณมากหรือสำคัญที่สุดเพื่อเข้ามา

ประกอบการตัดสินใจในการเลือกปัญหาเพื่อนำมาแก้ไขและปรับปรุง มีประโยชน์ในการคัดกรองและจัดความสำคัญเร่งด่วนในการแก้ไขเพราะปัญหามีหลายชนิดปัญหาแต่ปัญหาที่สำคัญและมีจำนวนมากหากได้ทำการแก้ไขก่อนจะสามารถลดความสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเพราะการแก้ปัญหาที่สำคัญที่มีปริมาณมากจะสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้มากกว่าการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นน้อยหรือมีความสำคัญที่ต่ำกว่า

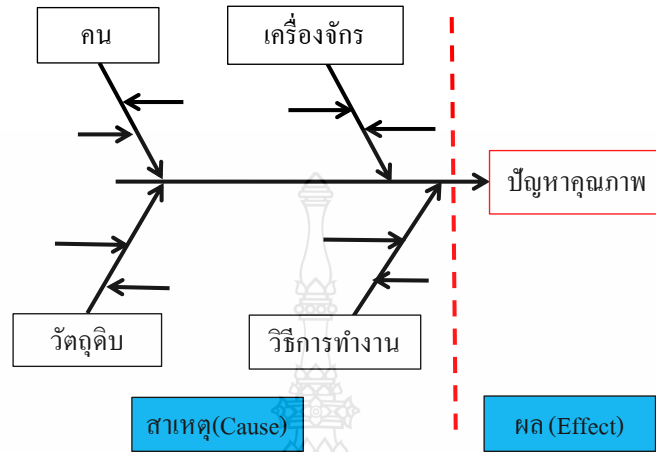


รูปที่ 2.16 ตัวอย่างแผนภูมิพาร์โต[17]

#### 2.5.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) หรือแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) คือแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ของปัญหาหรือผลกับปัจจัยต่างๆ หรือสาเหตุ โดยถูกคิดค้นโดยวิศวกรชาวญี่ปุ่น ดร.คาโอรุ อิชิกาวา (Dr. Kaoru Ishikawa) เป็นเครื่องมือหลักที่มีความสำคัญมากสามารถช่วยค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีระบบ สามารถแบ่งกลุ่มสาเหตุ โดยการนำมาใช้งานหลังจาก การใช้แผนภูมิพาร์โตเลือกปัญหา หรือ เรื่องที่เราตัดสินใจว่าคือหัวข้อปัญหาที่สนใจนั้นมา

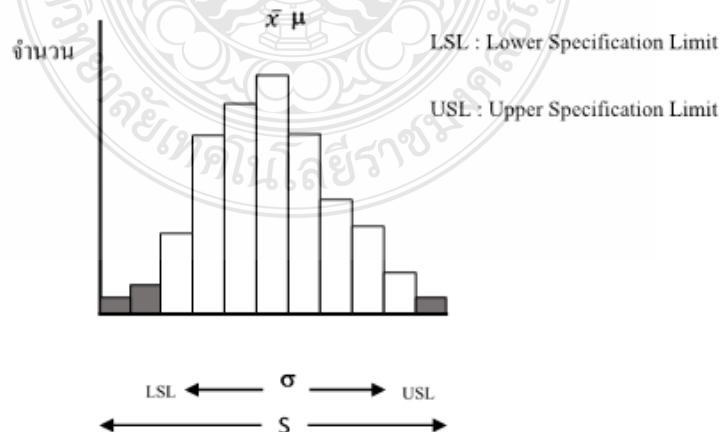
ทำการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาหรือแผนผังแสดงเหตุผลนี้จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ที่ทำให้เกิดผลที่เป็นปัญหา (Effect) แสดงลักษณะของกราฟดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

### 2.5.5 ฮิสโตแกรม (Histogram)

เป็นกราฟที่ใช้ในการสรุปข้อมูลลักษณะเป็นกลุ่มข้อมูล เพื่อจะร่วมกันวิเคราะห์ว่ากลุ่มข้อมูลที่ได้มานั้นมีลักษณะอย่างไร ซึ่งฮิสโตแกรมจะทำให้เราเห็นความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการได้ การสร้างฮิสโตแกรมสามารถทำได้จากการสุ่มตัวอย่างแล้วนำข้อมูลมาแจกแจงเป็นความถี่โดยการแบ่งเป็นอันตรภาคชั้น (Interval) โดยใช้ข้อมูลอย่างน้อย 30 ข้อมูลขึ้นไปแล้วนำมาทำเป็นกราฟแท่งแสดงปริมาณตามความถี่ของแต่ละอันตรภาคชั้น[18]

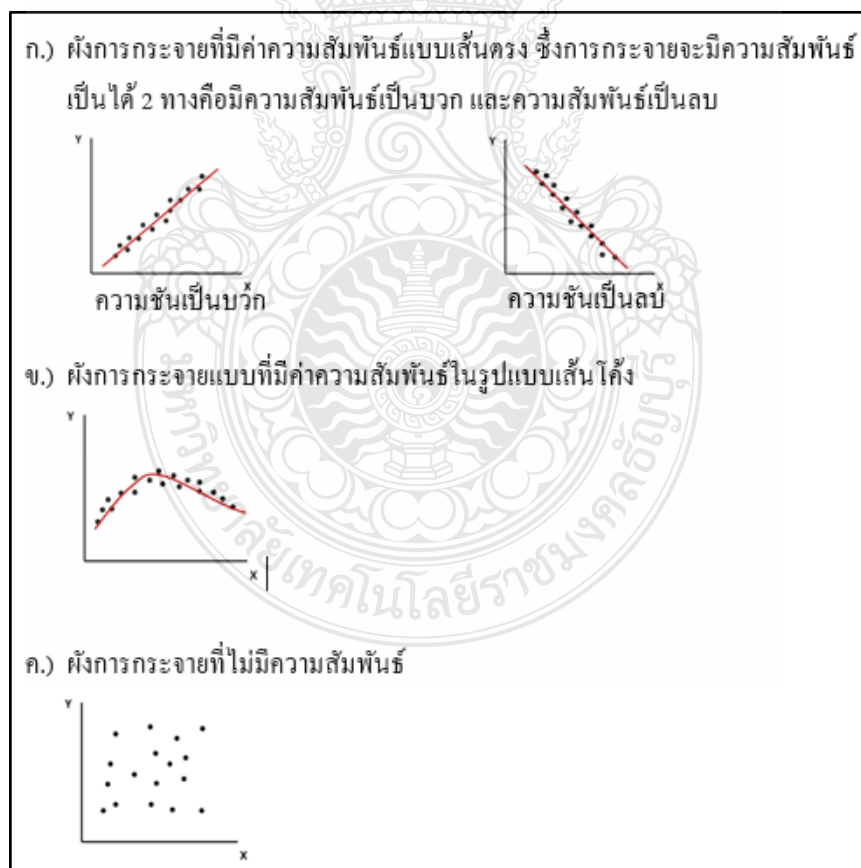


รูปที่ 2.18 ลักษณะของฮิสโตแกรม

- จากภาพ  $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยที่ต้องการตามค่าเป้าหมาย(Spec)กำหนด  
 $\sigma$  คือ การประมาณค่าความแปรปรวนที่ยอมรับ(Tolerance)  
 $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่สุ่มมา  
 $S$  คือ การประมาณค่าความแปรปรวนของกระบวนการ

### 2.5.6 ผังการกระจาย (Scatter Diagram)

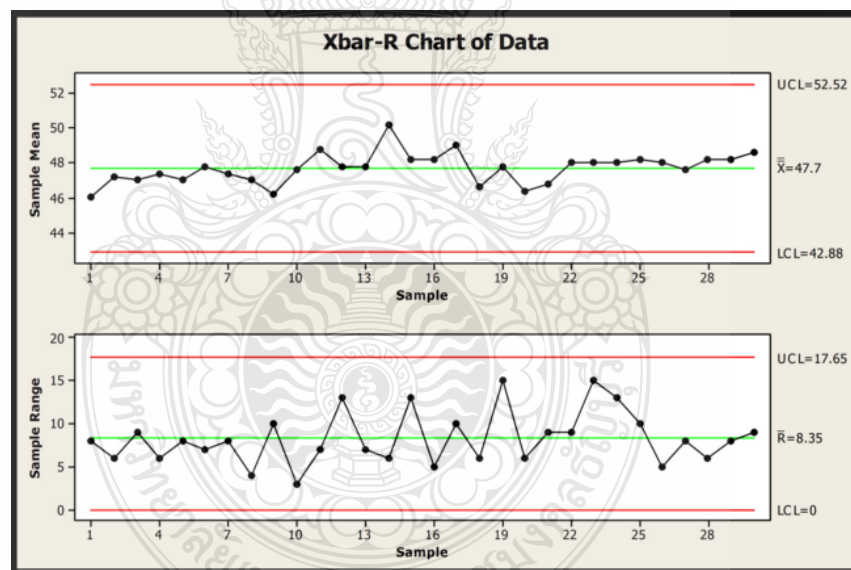
ผังการกระจายนี้ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดขึ้นแสดงการมีความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางใด โครงสร้างของผังการกระจายประกอบด้วย 2 ตัวแปรคือตัวแปร X หรือตัวแปรต้นเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไป กับตัวแปร Y หรือตัวแปรตามเป็นผลที่เกิดขึ้นในแต่ละค่าที่เปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น รูปแบบของผังการกระจาย วิธีการสร้างแผนผังการกระจายสามารถทำตามขั้นตอนโดยสร้างตารางการเก็บข้อมูลของตัวแปรต้นและตัวแปรตามเพื่อบันทึกข้อมูลแล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นผังการกระจายดังรูปที่ 2.19 จากนั้นทำการแปรผลของผังการกระจาย โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามจะมีความสัมพันธ์เป็นกลุ่มดังนี้[13],[18]



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างผังการกระจายในในรูปแบบต่างๆ

### 2.5.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

คือแผนภูมิกราฟที่มีวัตถุประสงค์ในการควบคุมกระบวนการ ลักษณะของกราฟจะควบคุมสิ่งที่สนใจควบคุม เทียบกับช่วงเวลาเพื่อติดตามหรือตรวจสอบตามช่วงเวลาที่กำหนดและ ทบทวนกระบวนการได้ว่าสิ่งที่ควบคุมนั้นเกิดความผิดปกติขึ้นหรือไม่ ซึ่งแผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่ เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาวะปกติและช่วยในการทบทวนตาม ช่วงเวลาที่กำหนดว่ากระบวนการนั้นยังคงไว้ซึ่งเสถียรภาพของกระบวนการเดิมที่ได้ดำเนินงานตั้งแต่ การปรับตั้ง โดยกราฟสำหรับแผนภูมิควบคุมจะมีลักษณะเป็นเส้นกราฟแสดงขอบเขตของค่าการวัดที่ สนใจ ซึ่งจะมีขอบเขตการควบคุมด้านบน(UCL : Upper Control Limit) และขอบเขตการควบคุมด้านล่าง (LCL : Lower Control Limit) และข้อมูลการวัดจะถูกบันทึกลงในตารางตามช่วงเวลาที่กำหนดให้ ดำเนินการวัด เพื่อติดตามว่าค่าที่สนใจนั้นกำลังดำเนินการไปในทิศทางใดและมีแนวโน้มอย่างไรเพื่อจะ ได้ทำการแก้ไขได้ทันเวลาก่อนที่จะเกิดปริมาณของเสียจำนวนมาก โดยแสดงลักษณะของแผนควบคุม ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของแผนภูมิควบคุม

โดยแผนภูมิควบคุมนั้นสร้างจากพื้นฐานข้อมูลที่มีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) โดยรูปแบบของการแจกแจงจะขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยและลักษณะการกระจายของข้อมูล ซึ่งจำเป็นสำหรับการหาขอบเขตการยอมรับภายใต้ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ เมื่อทราบการแจกแจงของข้อมูล โดยทั่วไปจะมี องค์ประกอบ 3 ส่วนได้แก่ เส้นศูนย์กลาง (Control Limit: CL), เส้นขอบเขตควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL), เส้นขอบเขตควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL)



## 2.6 การตั้งสมมติฐานและอำนาจการทดสอบ

การตั้งสมมติฐานการวิจัยและวัตถุประสงค์ในการทดลองเป็นการปรับปัญหาการวิจัยที่มีอยู่ในรูปแบบของแนวคิดให้เชื่อมโยงกันในรูปแบบของตัวแปรที่ต้องการพิสูจน์ หรือที่ต้องการคำตอบ ดังนั้นสมมติฐานการวิจัยจึงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดสมมติฐาน เพื่อให้ผู้วิจัยมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการทดสอบ หรือมองเห็นสิ่งที่ต้องการพิสูจน์ ดังนั้นกล่าวได้ว่า สมมติฐานของการวิจัยด้วยการออกแบบการทดลองจะต้องเป็นสมมติฐานที่ผู้วิจัยสามารถพิสูจน์ได้ด้วยหลักสถิติ ส่วนวัตถุประสงค์การทดลองนั้น จะช่วยให้ผู้ทดลองทราบว่ากำลังจะทำอะไรหรือต้องการจะหาอะไรจากการทดลอง

### 2.6.1 ประเภทของสมมติฐาน

2.6.1.1 สมมติฐานการวิจัย (Research hypothesis) เป็นสมมติฐานที่เขียนในลักษณะรูปแบบของข้อความที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษากับคำตอบที่ผู้วิจัยคาดคะเนโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายสามารถสื่อความหมายได้โดยตรง

2.6.1.2 สมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis) เป็นสมมติฐานที่เปลี่ยนจากภาษาเขียนเป็นสัญลักษณ์ทางสถิติแทน เพื่อให้สามารถทดสอบด้วยวิธีทางสถิติได้ จึงเรียกว่าสมมติฐานทางสถิติ สมมติฐานมีด้วยกัน 2 แบบคือ

1) สมมติฐานว่างสำคัญ (Null hypothesis) เขียนแทนด้วย  $H_0$  สมมติฐานนี้เขียนสัญลักษณ์ในลักษณะไม่แสดงความแตกต่างกัน หรือไม่สัมพันธ์กันระหว่างกลุ่มต่างๆ ที่ผู้วิจัยนำมาพิสูจน์

2) สมมติฐานทางเลือก (Alternative hypothesis) เขียนเป็นสัญลักษณ์  $H_1$  ในรูปแบบการทดสอบสมมติฐาน  $H_0$  และ  $H_1$  จะเขียนคู่กันเสมอ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการทดสอบ เช่น สมมติฐานว่าง

$$H_0 : u_1 = u_2 \quad (2.4)$$

เราอาจตั้งสมมติฐานแย้งได้ว่า

$$H_1 : u_1 \neq u_2 \quad (2.5)$$

หรือ

$$H_1 : u_1 > u_2 \quad (2.6)$$

$$H_1 : u_1 < u_2 \quad (2.7)$$

ในการทดสอบจะต้องตั้งสมมติฐาน  $H_0$  และ  $H_1$  กันดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2 \quad (2.8)$$

$$H_1 : u_1 < u_2 \quad (2.9)$$

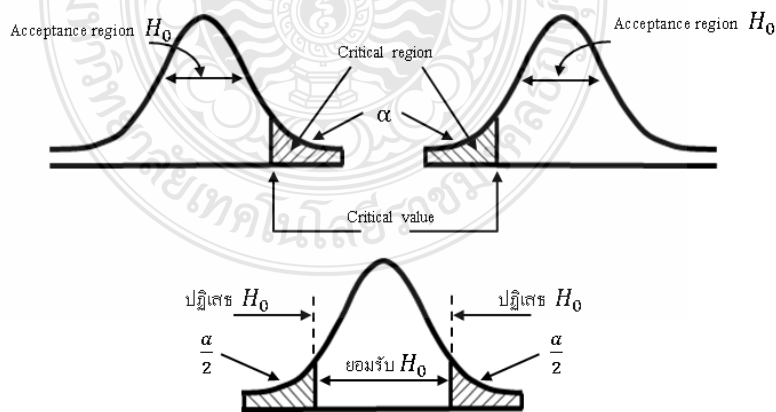
### 2.6.2 ระดับนัยสำคัญ

ระดับนัยสำคัญ (Level of significance) สัญลักษณ์ที่ใช้คือ  $\alpha$  ระดับนัยสำคัญในการจะกำหนด  $\alpha = 0.05$  หรือ  $0.01$  ค่า  $\alpha$  เป็นค่าแสดงค่าในการกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในการทดสอบสมมติฐาน โดยหากเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่กำหนดก็จะยอมรับ  $H_0$  แต่หากเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่กำหนดก็จะปฏิเสธ  $H_0$  เช่นหากกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  ก็แสดงให้มีความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนได้ 5 ครั้งใน 100 ครั้ง เช่น สมมติว่ากองทัพสหรัฐทดลองยิงจรวด 100 ครั้ง ถ้าเข้าเป้า 95 ครั้ง หรือไม่เข้าเป้า 5 ครั้งหรือน้อยกว่า 5 ครั้งแสดงว่าการยิงจรวดมีความแม่นยำหรือยอมรับในความแม่นยำ หรือระดับนัยสำคัญหรือค่า  $\alpha$  ก็คือค่าระดับความเชื่อมั่นหมายความว่าค่า  $\alpha = 0.05$  ก็คือ ความเชื่อมั่นเป็น 95 %

### 2.6.3 บริเวณวิกฤต

บริเวณวิกฤต (Critical Region) หรือพื้นที่วิกฤตหมายถึงขอบเขตที่จะปฏิเสธ  $H_0$  ซึ่งกำหนดตามค่านัยสำคัญทางสถิติ  $\alpha$  ที่ตั้งไว้บริเวณวิกฤตจะอยู่ด้านซ้ายหรือด้านขวาของปลายโค้งของการแจกแจงหรืออยู่ทั้งสองข้างของโค้ง ซึ่งค่าสถิติที่คำนวณได้ตกอยู่ในขอบเขตนี้การทดสอบจะปฏิเสธ  $H_0$  ทันที ซึ่งเท่ากับการทดสอบนี้มีนัยสำคัญทาง (Sig) หรือเป็นการยอมรับ  $H_1$

ค่าวิกฤต (Critical Value) คือค่าที่แสดงบริเวณวิกฤตว่าปฏิเสธ  $H_0$  นั้นค่าสถิติที่ได้จะเริ่มจากตรงไหนหรือพูดอีกนัยหนึ่งก็คือ ค่าวิกฤตคือค่าที่เป็นเส้นแบ่งระหว่างเขตการยอมรับ (acceptance region)  $H_0$  และเขตปฏิเสธ  $H_0$  นั้นเองดูภาพประกอบ



รูปที่ 2.21 บริเวณวิกฤตและค่าวิกฤต [19]

#### 2.6.4 การทดสอบสมมติฐาน

วิธีการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เป็นวิธีการหาคำตอบหรือข้อสรุปเกี่ยวกับประชากรที่ทำการศึกษา ด้วยข้อจำกัดที่เราไม่สามารถนำประชากรทั้งหมดมาทำการศึกษาได้ ดังนั้นจึงใช้การศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการสุ่มมาตรวจสอบ ค่าเฉลี่ย, ค่าความแปรปรวน, หรือสัดส่วน ว่าเป็นไปตามข้อสงสัยหรือไม่ โดยข้อสงสัยในลักษณะนี้เองที่เราเรียกในทางสถิติว่า สมมติฐาน (Hypothesis) ซึ่งมี โอกาสที่จะเป็นจริงหรือไม่เป็นจริงก็ได้ [20],[21] สมมติฐานสถิติ หมายถึงข้อสงสัยที่เกี่ยวกับประชากรอาจจะมีเพียงหนึ่งชุดหรือมากกว่าก็ได้ว่าค่าเฉลี่ย, ค่าความแปรปรวน, หรือค่าของสัดส่วน เท่ากันหรือแตกต่างกันซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือไม่เป็นจริงก็ได้ หลักการของการทดสอบสมมติฐานมี 2 แบบ คือ ปฏิเสธสมมติฐาน และ ยอมรับสมมติฐาน สมมติฐานที่เราตั้งขึ้นสำหรับการทดสอบสมมติฐานมี 2 ส่วนดังนี้

สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) หรือ  $H_0$  เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ที่เราสนใจ เพื่อแสดงถึงสภาพที่เป็นอยู่ปัจจุบัน โดยใช้เครื่องหมาย = (เท่ากับ)

สมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis)  $H_1$  หรือ  $H_a$  แสดงลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปโดยอาจ > (มากกว่า), < (น้อยกว่า), หรือ (ไม่เท่ากับ) จากสภาพปัจจุบัน อันอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

##### 2.6.4.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดสมมติฐานหลัก  $H_0$
- 2) กำหนดสมมติฐานทางเลือก  $H_1$  หรือ  $H_a$
- 3) เลือกค่าระดับนัยสำคัญที่จะยอมรับ  $\alpha$  (alpha) เช่น ที่ระดับ 0.05 หรือ 0.01
- 4) กำหนดบริเวณวิกฤติ (Critical Region) ตามระดับนัยสำคัญและตั้ง

สมมติฐานทางเลือก  $H_1$  (สมมติฐานแบบสองทางหรือทางเดียว)

- 5) สุ่มตัวอย่างขนาด  $n$  และคำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ
- 6) นำค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับบริเวณวิกฤติตามข้อที่ 4

แล้วสรุปผลดังนี้

- (1) ถ้าอยู่ในบริเวณวิกฤติ จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก  $H_0$
- (2) ถ้าอยู่นอกบริเวณวิกฤติ จะยอมรับสมมติฐานหลัก  $H_0$

ค่า P-Value ในวิธีการสรุปผลของสมมติฐานของพารามิเตอร์ในส่วนของสรุปผลว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก  $H_0$  นั้นจะใช้การพิจารณาจากค่าสถิติซึ่งคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติที่เป็นวิธีการดั้งเดิมวิธีหนึ่งที่ใช้ปฏิบัติกันมา แต่ปัจจุบันเราได้นำ

โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในการพิจารณาการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานนั้น โดยเราจะใช้ P-Value ในการพิจารณาการพิจารณาค่า P-Value ที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างมาทำการเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  ค่า P-Value เป็นค่าความน่าจะเป็นที่น้อยที่สุดที่ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก  $H_0$  ได้ ซึ่งจะเป็นความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับค่าสถิติที่คำนวณจากกลุ่มตัวอย่าง โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติโดยส่วนใหญ่จะแสดงผลการวิเคราะห์ทั้งค่าสถิติและค่า P-Value การเทียบค่า P-Value กับค่า  $\alpha$  จะสะดวกต่อการสรุปผลมากกว่าเพราะไม่ต้องเปิดตารางสถิติเพื่อหาค่าวิกฤติมาเปรียบเทียบ[20]

ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับกับ ระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก  $H_0$

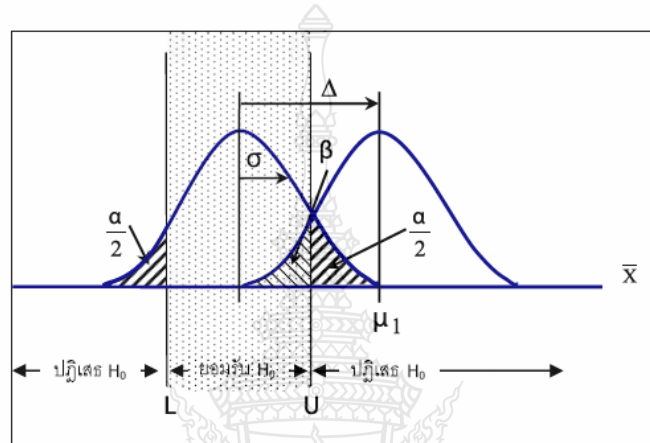
ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ  $\alpha$  จะยอมรับสมมติฐานหลัก  $H_0$

ซึ่งการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติมาช่วยนี้จะสามารถลดเวลาการคำนวณและมีความน่าเชื่อถือที่ได้รับความเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับใช้ในอุตสาหกรรมปัจจุบันมากยิ่งขึ้น ซึ่งการวิจัยปัจจุบันนี้ได้นำโปรแกรม Minitab 16 เข้ามาช่วยวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง โดยสามารถใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)จากผลที่เกิดจากผลกระทบหลัก (Main Effect) และผลกระทบทางปฏิกริยาร่วม (Interaction Effect) ที่เกิดขึ้นในการออกแบบการทดลองแบบ Factorial Design ซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้นและสามารถทำการทดลองได้อย่างรวดเร็วลดเวลาการคำนวณทำให้สะดวกเหมาะกับการนำวิธีการออกแบบการทดลองมาใช้กับอุตสาหกรรมปัจจุบันที่ต้องการความถูกต้องและความสะดวกรวดเร็วควบคู่ไปด้วยกันและมีความน่าเชื่อถือสูงได้อย่างเหมาะสม

#### 2.6.4.2 จำนวนตัวอย่างกับการทดสอบสมมติฐาน

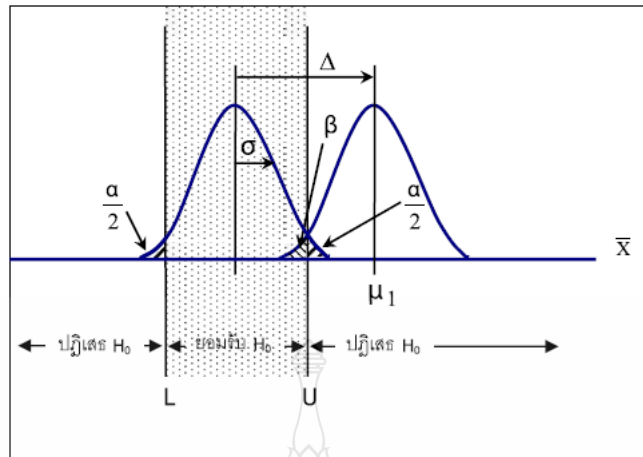
การทดสอบสมมติฐานคือการหาหลักฐานโดยการสุ่มตัวอย่างจากประชากรเพื่อนำมาพิสูจน์ความเชื่อที่ถูกกำหนดขึ้น ดังนั้นวิธีการสุ่มตัวอย่างที่จำนวน  $n$  เท่าไรถึงจะให้ความเชื่อมั่นได้เหมาะสม สาเหตุที่ต้องมีการสุ่มตัวอย่างมากกว่า 1 ตัวนั้นเป็นเพราะประชากรหรือสิ่งที่เราสนใจศึกษามีความแตกต่างที่เรียกว่าความผันแปรอยู่ จึงจำเป็นต้องสุ่มตัวอย่างมากกว่า 1 ตัวเพื่อให้เป็นตัวแทนของประชากร โดยการใช้จำนวนตัวอย่างมากขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าใกล้เคียงค่าจริงของประชากรมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่าค่าเฉลี่ยที่ได้มีความแตกต่างจากค่าจริงน้อย เช่น สมมติให้ลองสุ่มตัวอย่างจากประชากรหนึ่งมาครั้งละ 5 ตัวอย่าง จำนวน 20 ครั้ง และนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยจะพบว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 20 ครั้งซึ่งมาจากประชากรเดียวกัน เดียวกัน กลับมีความแตกต่างกันโดยความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้ ในทางสถิติจะเรียกความผันแปรของตัวสถิตินี้ว่า  $\sigma_x$  (ในขณะที่ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในประชากรเรียกว่า  $\sigma_x$ ) คราวนี้ลองเพิ่มจำนวนตัวอย่างมาเป็นการสุ่มครั้งละ 10 ตัวอย่างจำนวน 20 ครั้งเท่าเดิม เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยจะพบว่า ค่าเฉลี่ยทั้ง 20 ค่าที่ได้ในครั้งนี้จะมีความแตกต่างกันน้อยกว่าใน

ครั้งแรกเพราะค่าเฉลี่ยทั้ง 20 ค่า มีความใกล้เคียงกันด้วยนั่นคือ ค่า  $\sigma_{\bar{x}}$  มีค่าลดลง ซึ่งในทางสถิติได้พิสูจน์ไว้แล้วว่า  $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$  สรุปก็คือ ยิ่งใช้จำนวนตัวอย่างมากเท่าไรค่า  $\sigma_{\bar{x}}$  ก็จะมีค่าต่ำไปเรื่อยๆ จากหลักการของการทดสอบสมมติฐานจะมีความเสี่ยงเกิดขึ้นเสมอโดยความเสี่ยงมี 2 แบบ ได้แก่ ความเสี่ยงจากการปฏิเสธสมมติฐานที่เป็นจริง ซึ่งในทางสถิติจะแทนด้วย  $\alpha$  และความเสี่ยงจากการยอมรับสมมติฐานที่เป็นเท็จ ซึ่งในทางสถิติแทนด้วย  $\beta$  โดยในการอธิบายความเสี่ยงของรูปที่ 2.22 ดังนี้



รูปที่ 2.22 ความเสี่ยง  $\alpha$  และ  $\beta$  จากการทดสอบสมมติฐาน

โดยค่า  $\alpha$  หมายถึงพื้นที่ใต้โค้งในกรณีที่สมมติฐานเป็นจริง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น  $\mu_0$  แต่อยู่ในส่วนของการไม่ยอมรับสมมติฐาน ส่วน  $\beta$  หมายถึง พื้นที่ใต้โค้งในกรณีที่สมมติฐานเป็นเท็จ ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยเป็น  $\mu_1$  แต่อยู่ในส่วนของการยอมรับสมมติฐาน ในการทดสอบสมมติฐาน เราต้องการให้ผลการทดสอบนั้นมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด โดยจะต้องให้ค่า  $\alpha$  และ  $\beta$  มีค่าต่ำลงด้วย ดังนั้นการสุ่มตัวอย่างเท่าไรเราจะต้องกำหนดความเสี่ยง  $\alpha$  และ  $\beta$  ในกรณีที่ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติจะคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างได้จากสมการที่ 2.10



รูปที่ 2.23 ความความเสี่ยง  $\alpha$  และ  $\beta$  ที่มีค่าลดลงเนื่องจากเส้นโค้งมีการกระจายลดลง[22]

$$n = \frac{(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2}{(\Delta/\sigma)^2} \quad (2.10)$$

โดยที่  $\Delta$  แทนค่าความแตกต่างสูงสุดที่ต้องการตรวจจับหรือผลต่างระหว่าง  $\mu_0$  กับ  $\mu_1$  จากตัวอย่างกระบวนการบรรจุอาหารกระป๋องที่มีความผันแปรเป็น 5 กรัม ถ้ากำหนดความแตกต่างสูงสุดที่ต้องการตรวจจับมีค่าเท่ากับ 5 กรัม ถ้ากำหนดความแตกต่างสูงสุดที่ต้องการตรวจจับมีค่าเท่ากับ 5 กรัม  $\alpha = 0.05$  และ  $\beta = 0.1$  จะสามารถแทนค่าตามสมการ 2.11 คำนวณหาจำนวนตัวอย่างได้จากสูตรดังนี้

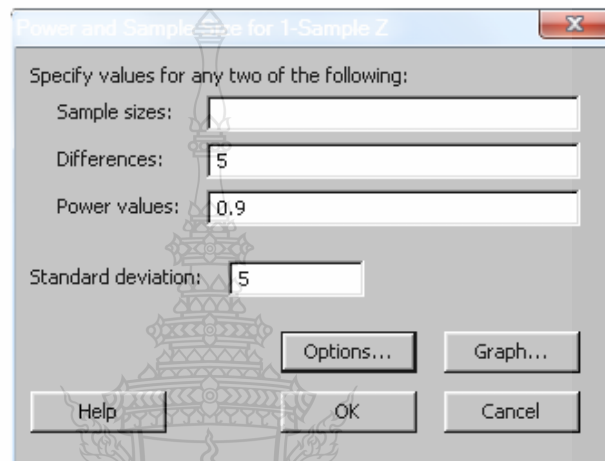
$$n = \frac{(z_{0.05/2} + z_{0.1})^2}{(5/5)^2} \quad (2.11)$$

$$n = \frac{(1.96 + 1.28)^2}{(5/5)^2}$$

$$n = 10.4976$$

จากการคำนวณจะต้องการจำนวนตัวอย่างที่ตรวจจับความแตกต่างของน้ำหนักบรรจุ 5 กรัมที่  $\alpha = 0.05$  และ  $\beta = 0.1$  จะต้องใช้ตัวอย่าง 11 ตัวอย่าง แต่ ในทางปฏิบัติปัจจุบันเราสามารถใส่โปรแกรม Minitab 16 มาช่วยในการคำนวณหาขนาดตัวอย่างได้โดยใช้ชุดคำสั่ง Stat>Power and Sample Size > โดยคำสั่งชุดนี้ใช้สำหรับคำนวณหาจำนวนตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้คำนวณจำนวนตัวอย่างเพื่อการประมาณค่า หรือสุ่มตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

ในชุดคำสั่งนี้จะมีคำสั่งย่อยอยู่ 8 ตัวเช่น 1-Sample Z, 1-Sample t, 2-Sample t, 1 Proportion ฯลฯ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการทดสอบสมมติฐานแบบใด ดังตัวอย่างนี้จะเป็นการทดสอบสมมติฐานสำหรับ 1 ประชากรที่มีการแจกแจงปกติและทราบความผันแปร(สำหรับวิธีการอื่นๆ ก็จะมีการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน) โดยใช้คำสั่ง 1-Sample Z ซึ่งเมื่อเรียกคำสั่งนี้จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาดังรูปให้กรอกข้อมูล โดยแต่ละช่องมีความหมายดังนี้



รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบการใส่ข้อมูลเพื่อคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างใน Minitab 16

**Sample size** คือ จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบสมมติฐาน

**Differences** คือ ค่าความแตกต่างสูงสุดของค่าจริงของประชากรที่ต้องการตรวจจับ ( $\Delta$ )

**Power Values** คือ อำนาจในการทดสอบสมมติฐาน

หรือความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐานที่เป็นเท็จ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1 - \beta$  ( $\beta$  คือความเสี่ยงหรือความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐานเป็นเท็จ) โดยใน 3 ค่านี้ให้เลือกกรอกเพียง 2 ค่าเท่านั้น เช่น จากรูปที่ 2.24 จะทำการระบุค่า Power Values และค่า Differences ส่วนค่า Sample Sizes นั้น จะปล่อยให้โปรแกรมทำการคำนวณให้ว่ามีค่าเป็นเท่าใด Standard Deviation คือ ความผันแปรของกระบวนการหรือระบบที่ศึกษา ซึ่งจำเป็นที่จะต้องกรอกเสมอ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่า และแสดงผลดังแสดงในรูปที่ 2.25 ซึ่งสรุปผลได้ว่า ถ้าต้องการตรวจจับความแตกต่างของน้ำหนักบรรจุ 5 กรัมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีอำนาจ ในการทดสอบเป็น 0.9 จะต้องใช้ตัวอย่าง 11 ตัวอย่าง

Power and Sample Size			
1-Sample Z Test			
Testing mean = null (versus not = null)			
Calculating power for mean = null + difference			
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 5			
	Sample	Target	
Difference	Size	Power	Actual Power
5	11	0.9	0.912556
Power Curve for 1-Sample Z Test			

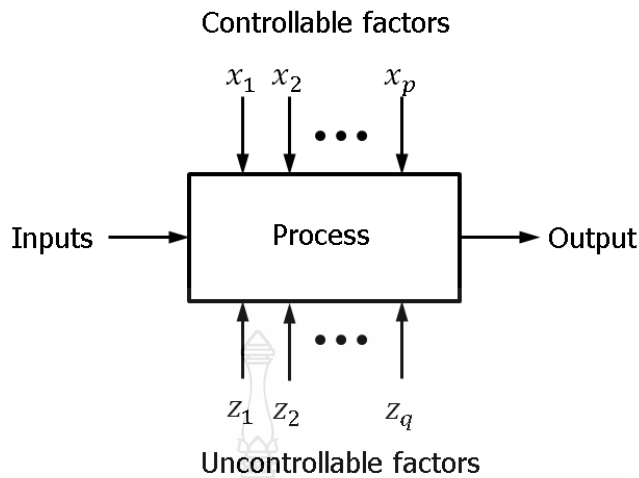
รูปที่ 2.25 ผลการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างโดยใช้ Minitab 16

## 2.7 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลองเริ่มต้นจาก Sir Ronald A. Fisher ผู้ล่วงลับไปแล้วเป็นผู้คิดค้นการใช้วิธีทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองขึ้น โดยการออกแบบการทดลองในยุคแรกถูกใช้เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ทางการเกษตรและชีวภาพ แต่เมื่อยุคสมัยมาถึงยุคอุตสาหกรรมครั้งแรกประมาณช่วง ค.ศ. 1930 การออกแบบการทดลองก็เริ่มนำมาใช้กับอุตสาหกรรม โดยนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเคมีและกระบวนการผลิตในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตก นอกจากนั้น การออกแบบการทดลองถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสารกึ่งตัวนำและอิเล็กทรอนิกส์ได้รับผลสำเร็จเป็นอย่างมาก

การออกแบบการทดลองจะหมายถึงการทดสอบหรือเป็นชุดการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบเพื่อว่าเราอาจจะสังเกตหรือบ่งชี้ถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนองขาออกได้ ดังนั้นการออกแบบการทดลองจะมีลำดับขั้นตอนที่เกี่ยวกับการออกแบบและการดำเนินการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อที่จะหาข้อสรุปที่มีเหตุผล สำหรับด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้นการออกแบบการทดลองจะมีบทบาทสำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากระบวนการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะพัฒนากระบวนการที่มีความเข้มแข็ง (Robust Process) ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถที่แทนด้วยแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.26





รูปที่ 2.26 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

โดยเราอาจจะมองว่ากระบวนการคือการรวมเอา คนงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่นๆเข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนอินพุต(Input) ไปสู่เอาต์พุต(Output) ที่มีผลออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งเราสามารถเห็นได้ ตัวแปรกระบวนการบางชนิด  $x_1, x_2, \dots, x_p$  เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวแปรบางตัว  $z_1, z_2, \dots, z_q$  เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ (ถึงแม้ว่าในบางครั้งเราอาจจะควบคุมตัวแปรพวกนี้ได้ขณะทำการทดลองก็ตาม) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจเกี่ยวข้องกับ

- 1) หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ  $y$
- 2) หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  อยู่ที่ค่าที่ต้องการ
- 3) หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  มีค่าน้อย
- 4) หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลตอบ  $y$  เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถ

ควบคุมได้  $z_1, z_2, \dots, z_q$  มีค่าน้อยที่สุด

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัวและวัตถุประสงค์ของบุคคลที่ทำการทดลองก็คือหาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบของระบบ เราเรียกการวางแผนและการดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง (Strategy of Experimentation) ซึ่งมีกลยุทธ์หลายอย่าง que ผู้ทดลองสามารถนำไปใช้ได้ เช่นแบบการทดลองหนึ่งปัจจัยต่อครั้ง(One-Factor-at-a-Time) หรือการทดลองที่มากกว่า 2 ปัจจัยขึ้นไปอย่างการทดลองเชิงแฟกทอเรียล(Factorial Design)

### 2.7.1 หลักการพื้นฐานออกแบบการทดลอง

หลักการที่จะทำให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดคือ เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการออกแบบการทดลองคำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)” หมายถึงกระบวนการวางแผนการทดลองเพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เราได้อยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experiment Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาหลักการพื้นฐานสำคัญ 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เพลลิเคชัน (Replication), แรนดอมไมเซชัน (Randomization), และ บล็อกกิง (Blocking) โดยความหมายและความสำคัญมีดังนี้

2.7.1.1 เพลลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติ 2 ประการคือ ประการแรกเพลลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่าความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น  $\bar{y}$ ) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเพลลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้อย่างเช่นถ้า  $\sigma^2$  คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี  $n$  เพลลิเคชัน ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้คือ

$$\sigma_y^2 = \frac{\sigma^2}{n} \quad (2.12)$$

ผลในทางปฏิบัติคือว่า ถ้าเรามี  $n = 1$  เพลลิเคชันเราอาจไม่สามารถสรุปอะไรเกี่ยวกับผลการทดลองทั้งสองนี้ด้วยความเชื่อมั่นได้หากทดสอบเพียงครั้งเดียว นั่นคืออาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างที่สังเกตได้อาจจะเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ถ้า  $n > 1$  หรือมีค่ามากเพียงพอและความผิดพลาดจากการทดลองมีค่าน้อย ดังนั้น เราก็จะสามารถสรุปผลการทดลองนั้นได้อย่างมั่นใจและเพิ่มความเชื่อมั่นผลการทดลองนั้น

2.7.1.2 แรนดอมไมเซชัน (Randomization) เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนดอมไมเซชันหมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการ

ทดลองและลำดับในการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้ การทำการทดลองสามารถ ลดอคติของผู้ทดลอง ลดผลกระทบของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏใน การทดลองได้เนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งจะมีโอกาสได้รับผลกระทบจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เท่าๆกันจากการทดลองแบบสุ่มนั่นเอง

2.7.1.3 บล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง เป็นการควบคุมความคลาดเคลื่อน (local control) โดยการจัดกลุ่มหน่วยทดลอง ซึ่ง จะทำให้ทราบแหล่งความแปรปรวน แล้วแยกออกเพื่อให้เหลือเฉพาะความคลาดเคลื่อนของการ ทดลองที่แท้จริง

หลักการทั้งสามที่กล่าวมานั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อการทดลองทุกๆชนิด ดังนั้น การออกแบบการทดลองจำเป็นต้องคำนึงถึงหลักการเหล่านี้ไว้เป็นสำคัญ

## 2.7.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

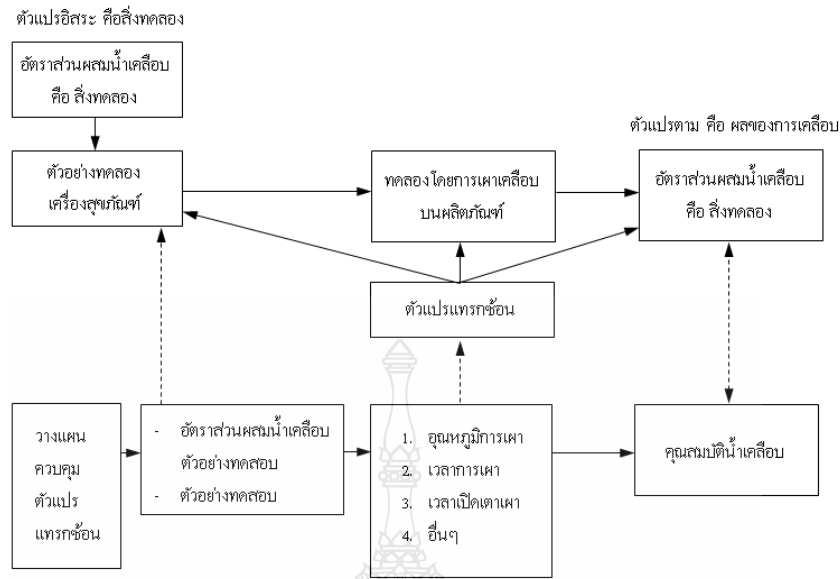
2.7.2.1 กำหนดปัญหาและทำความเข้าใจปัญหาที่จะนำไปออกแบบการทดลอง[23] วิธีการการออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่งในการหาคำตอบหรือหาแนวทางใหม่สำหรับการ แก้ปัญหา ดังนั้นจะต้องถามก่อนว่า ปัญหานั้นคืออะไร คำว่าปัญหานั้นคือ อุปสรรคที่ทำให้ไม่เป็นไป ตามเกณฑ์ ไม่เป็นไปตามที่กำหนดที่คาดหวังต้องการให้เป็น ยกตัวอย่าง เช่นผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นมี ความทนทานน้อยกว่าความต้องการที่ตั้งใจ ยานชนิดนี้รักษาโรคได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์แต่ผลที่ ได้ไม่เป็นอย่างที่คิด ความร้อนในการหลอมละลายโลหะบัดกรีทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ จำนวนมาก งานที่ผลิตออกมามีคุณภาพต่ำ เป็นต้น ดังนั้นกรณีที่ยกตัวอย่างก็จะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้น และทำให้เราต้องการที่จะหาคำตอบว่าจะทำให้ปัญหาเหล่านั้นหมดไปหรือลดปัญหาลงได้อย่างไร เช่น อะไรเป็นปัจจัยที่ทำให้ความทนทานที่ได้น้อยกว่าความคาดหวัง อะไรเป็นปัจจัยที่ทำให้ยานชนิด ดังกล่าวมีผลการรักษาที่ไม่เป็นที่น่าพอใจหรือความร้อนระดับใดที่ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ เสียหาย จะทำอย่างไรให้งานที่ผลิตออกมามีคุณภาพดี โดยในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนา แนวความคิดเกี่ยวกับปัญหานั้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองที่ต้องการ และหาข้อมูลจากปัจจัยอินพุต และเอาที่พุดจากทีมงานหรือผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ในกระบวนการชนิดนั้น เพื่อระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุ ที่อาจจะเป็นหนทางที่จะนำไปสู่การแก้ไข ปรับปรุง เพื่อหาผลการทดลองที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหานั้นๆได้อย่างถูกต้อง

### 2.7.2.2 กำหนดตัวแปรหรือปัจจัยในการทดลอง (เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต)

ประเภทของตัวแปรในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ตัวแปรที่ศึกษา และ ตัวแปรที่ไม่ได้ศึกษา โดยความหมายและตัวแปรแต่ละชนิดมีดังนี้

1) ตัวแปรที่ศึกษา เป็นตัวแปรในการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรอิสระ (Independent variable) และตัวแปรตาม (dependent variable) ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามในความเป็นเหตุเป็นผล ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาและสามารถเปลี่ยนแปลงค่าไปตามโอกาสหรือสถานการณ์ต่างๆ ที่เข้ามากระทบในเชิงเหตุผลจะหมายถึงว่าเมื่อค่าของตัวแปรอิสระแปรเปลี่ยนไปจะทำให้ค่าของตัวแปรตามแปรเปลี่ยนตามไปด้วย ในการออกแบบการทดลองสิ่งที่ผู้ทดลองสนใจคือสิ่งทดลอง (Treatment) โดยการกำหนดระดับของตัวแปรอิสระหรือปัจจัย (Factor) หรืออาจเรียกว่าตัวแปร X ซึ่งอาจจะมีปัจจัยเดียวหรือหลายปัจจัยก็ได้แต่การทดลองผู้ทดลองจะนำสิ่งทดลองไปทดลองกับหน่วยทดลองเพื่อดูผลการทดลองโดยผลการทดลองจะเป็นตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง (Response) เรียกว่าตัวแปร Y ในการออกแบบการทดลองนั้นการเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) หรือตัวแปร Y ที่ใช้วัดผลที่กำหนดใช้ในการสังเกตจะเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมากกับวัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง และการเลือกปัจจัย (Factor) หรือตัวแปร X เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยหรือการทริทเมนต์ (Treatment) ที่ให้กับการทดลองก็มีความสำคัญในการหาปัจจัยที่มีผลกระทบกับการทดลองอย่างแท้จริง

2.) ตัวแปรที่ไม่ได้ศึกษาเป็นตัวแปรที่หมายถึงตัวแปรเกินหรือตัวแปรแทรกซ้อน (Extraneous Variable) หรืออาจเรียกว่าตัวแปร Z ผู้ทดลองไม่สนใจศึกษาโดยผู้ทดลองจะต้องควบคุมตัวแปรจากภายนอกนี้ เพื่อไม่ให้มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่ศึกษา ในการออกแบบการทดลองผู้ทดลองอาจจะมีข้อกำหนดในการทดลองเอาไว้ เพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรภายนอกไม่ให้เข้ามาส่งผลต่อการทดลองการกำหนดตัวแปรหรือปัจจัยในการทดลองจะต้องถูกกำหนดให้ชัดเจนว่าต้องการศึกษาอะไรและแต่ละปัจจัยมีกี่ระดับอะไรบ้าง เนื่องจากการกำหนดตัวแปรหรือปัจจัยที่ชัดเจนจะทำให้การกำหนดวัตถุประสงค์และสมมติฐานการวิจัยได้ชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 2.27 การวางแผนควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน[19]

### 2.7.2.3 กำหนดหน่วยทดลอง และกำหนดขนาดการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองการเลือกหน่วยทดลอง(Experiment unit) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ หน่วยทดลองหมายถึง หน่วยทดลองที่เป็นวัตถุหรือวัสดุการทดลองที่จะได้รับทริทเมนต์ หน่วยทดลองแต่ละหน่วยอาจเป็นหน่วยเดี่ยวๆ หรืออาจเป็นกลุ่มก็ได้การใช้ขนาดการทดลองที่มีขนาดใหญ่เกินไป การควบคุมความผันแปรจะทำได้ยาก เสียระยะเวลาและค่าใช้จ่ายสูงขนาดของการทดลองคือจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมดที่ต้องใช้ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ เมื่อผู้ทดลองกำหนดทริทเมนต์ที่ต้องการทดลองได้แล้ว ซึ่งก็หมายถึงจำนวนซ้ำนั่นเอง ถ้าใช้จำนวนซ้ำน้อยเกินไปจะทำให้ไม่เห็นความแตกต่างระหว่างทริทเมนต์ แต่หากซ้ำมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาและลงทุนสูงขึ้นตามไปเช่นกัน

### 2.7.2.4 เลือกแบบแผนการทดลอง

แบบแผนการทดลองที่ใช้ในการหาคำตอบผู้ออกแบบการทดลองจะต้องเลือกแบบแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุด เช่นถ้าการออกแบบการทดลองเป็นแบบสนใจปัจจัยเดียว (One-Way)แบบแผนการทดลองที่เลือกคือแผนแบบ (Completely Randomized Design: CRD) ถ้าสนใจสองปัจจัย(Two-Way)ใช้แผนการทดลองจะเป็นแบบ (Randomized Complete Block Design: RCBD) และถ้าสนใจสองปัจจัยหรือมากกว่าและสนใจปฏิกริยาร่วม(Interaction) ด้วยเลือกแผนการทดลองแบบ(Factorial Design)เป็นต้น นอกจากนี้ในการที่จะตอบว่าแบบแผนการทดลองที่เลือกนั้นเป็นแบบแผนการทดลองที่ดีและเหมาะสมผู้วิจัยควรตอบคำถามดังนี้

- 1) ตอบวัตถุประสงค์ของการทดลองได้หรือไม่ถ้าได้ควรเลือก
- 2) ความคลาดเคลื่อนของการทดลองต่ำหรือไม่ ถ้าต่ำควรเลือก
- 3) การวิเคราะห์ยุ่งยากหรือไม่ ถ้าไม่ควรเลือก
- 4) ค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองน้อยหรือไม่ ถ้าน้อยควรเลือก

#### 2.7.2.5 การดำเนินการทดลอง

เมื่อเลือกเลือกแผนแบบการทดลองแล้วผู้ออกแบบการทดลองจะต้องแสดงให้เห็นรูปแบบการทดลองที่จะจัดลงในทริทเมนต์ใด โดยทำการทดลองตามลำดับแผนที่สร้างขึ้นที่การทดลองที่ถูกกำหนดเพื่อคอยกำกับควบคุมให้การทดลองดำเนินไปให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ไม่ว่าจะเป็นความคลาดเคลื่อนจากภายนอกและความคลาดเคลื่อนภายในที่มาจากขั้นตอนขณะทำการทดลอง ดังนั้นเมื่อทำการทดลองจำเป็นต้องติดตามการทดลองเพื่อให้แน่ใจว่าการทดลองดำเนินไปตามแผน เนื่องจากหากมีอะไรที่ผิดพลาดในขั้นตอนนี้จะทำให้ผลจากการทดลองนี้ใช้ไม่ได้หรือให้ผลที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้

#### 2.7.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ผู้ทดลองจะต้องนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองที่ได้ เพื่อดูว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดีและได้ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติเป็นวิธีที่มีข้อได้เปรียบจากวิธีการอื่นๆคือจะเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจได้อย่างมีความน่าเชื่อถือ [24] และมีข้อมูลสนับสนุนผลการตัดสินใจตามหลักวิชาการ ซึ่งปัจจุบันจะเป็นในรูปแบบการใช้โปรแกรมทางสถิติมาช่วยในการคำนวณทางสถิติและให้ผลเป็นที่ยอมรับทางวิศวกรรม

## 2.8 การออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial Design

เป็นการออกแบบการทดลองเมื่อมีปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัยขึ้นไป การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การทดลองจะพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ(Level)ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัยถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เพลทิกेट (Replicate) จะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เรากล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านั้นมีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกันเป็นการออกแบบที่กำหนดให้มีการทดสอบทุกๆทางเลือกที่เป็นไปได้(Combinations)ของปัจจัยทั้งหมดซึ่งทำให้สามารถประมาณอิทธิพลของปัจจัยต่อปัจจัยตอบสนอง(Response)ได้ทั้งแบบ

Main effect และ Interaction ได้ แต่การออกแบบการทดลองแบบนี้ต้องการเวลาและทรัพยากรในการทดลองมาก โดยเฉพาะเมื่อจำนวนปัจจัยมีมากขึ้น การออกแบบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย คือ

### 2.8.1 เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยมากกว่า 2 ระดับขึ้นไป

ไปหรือเรียกว่าการออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial ยกตัวอย่างหากการออกแบบการทดลองมี 2 ปัจจัยในการทดสอบ ปัจจัย A มี 3 ระดับ ปัจจัย B มี 2 ระดับ และมีการทดลองซ้ำที่ระดับละ 5 การทดลองดังนั้นก็จะมีทดลองทั้งหมด  $2 \times 3 \times 5$  เท่ากับ 30 ครั้ง โดยจำนวนการทดลองจะขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัย

### 2.8.2 เมื่อจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ

ในกรณีที่ 2 จะใช้สัญลักษณ์  $2^k$  Design โดยเลข 2 แทนจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และ k แทนจำนวนปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง ประโยชน์ Factorial Designs ใช้วิเคราะห์หาผลกระทบของปัจจัยได้หลายๆ ปัจจัยพร้อมๆ กัน มีประสิทธิภาพมากกว่าการทดลองทีละปัจจัย สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วม(Interaction)ระหว่างปัจจัยได้ สามารถประมาณค่าผลกระทบที่เกิดจากแต่ละปัจจัยเมื่อกำหนดให้ปัจจัยอื่นมีค่าคงที่ แต่การทดลองแบบ ฟูลแฟคทอเรียลจะมีข้อจำกัดของจำนวนการทดลองที่มาก ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองหลายครั้งและใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย

## 2.9 การออกแบบการทดลองแบบ $2^{k-p}$ Fractional Factorial Design

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล(Fractional Factorial Design) จัดได้ว่าเป็นการออกแบบที่มีการใช้งานแพร่หลายอย่างมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนี้ยังช่วยในการหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นการใช้ในการออกแบบเพื่อค้นหาว่าปัจจัยใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้จะใช้ในตอนเริ่มต้น โครงการเนื่องจากในตอนเริ่มต้นนั้นมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีผลหรือไม่มีผลกับผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ การทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน(Fractional Factorial Experiment) คือ การทดลองที่ทำโดยลดรูปลงจากการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบในสัดส่วนของจำนวนระดับปัจจัย

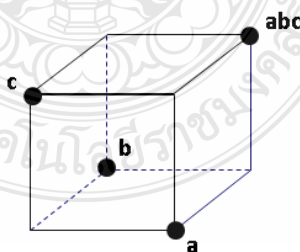
$$2^{k-p} = \frac{2^k}{2^p} \quad (2.13)$$

$$2^{k-p} = \frac{2^k}{2^1} \quad (2.14)$$

กล่าวคือการทดลอง เมื่อ  $p=1$  จำนวนวิธีปฏิบัติที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของ การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป เมื่อมี  $k$  ปัจจัย เช่นการออกแบบการทดลอง 3 ปัจจัยโดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับหากจะออกแบบการทดลองบางส่วนโดยลดลงครึ่งหนึ่งจากที่จะต้องทำการทดลอง  $2^3 = 8$  การทดลองจะเหลือเพียง  $2^{3-1} = 4$  การทดลองซึ่งก็คือครึ่งหนึ่งของการออกแบบแฟคทอเรียล เครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบ  $2^3$  แสดงดังตารางที่ 2.2 สมมติว่าเลือกการทดลองร่วมปัจจัย a, b, c และ abc เป็นเศษส่วนครึ่งหนึ่ง ซึ่งการทดลองเหล่านี้แสดงอยู่ในครึ่งบนของตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.28

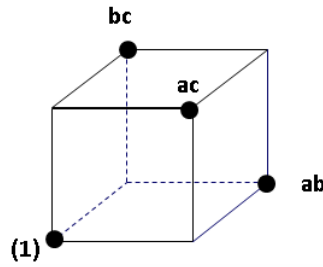
ตารางที่ 2.2 ลักษณะเครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^3$

Treatment Combination	Factorial Effect							
	I	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
a	+	+	-	-	-	-	+	+
b	+	-	+	-	-	+	-	+
c	+	-	-	+	+	-	-	+
abc	+	+	+	+	+	+	+	+
ab	+	+	+	-	+	-	-	-
ac	+	+	-	+	-	+	-	-
bc	+	-	+	+	-	-	+	-
(1)	+	-	-	-	+	+	+	-



รูปที่ 2.28 The principal fraction,  $I = +ABC$





รูปที่ 2.29 The alternate fraction,  $I = -ABC$

### 2.9.1 มิติของการออกแบบการทดลอง (Resolution)

การออกแบบการทดลอง  $2^{3-1}_{III}$  สามารถเรียกได้ว่าการออกแบบมิติ III (Resolution III Design) ในการออกแบบเช่นนี้ ผลหลักของกลุ่มแฟคต์แฟงกับอันตรกิริยา 2 ปัจจัย การออกแบบจะมีมิติ R ก็ต่อเมื่อไม่มีผลของ p ปัจจัยใดๆ ที่คู่แฟคต์แฟงกับผลอื่นๆ ที่น้อยกว่า R-p เราจะใช้ตัวห้อยเป็นตัวเลขโรมันแทนมิติของการออกแบบ ดังนั้นเศษส่วนของการออกแบบ  $2^{3-1}$  ที่มีตัวกำหนดความสัมพันธ์  $I = ABC$  (หรือ  $I = -ABC$ ) คือการออกแบบ  $2^{3-1}_{III}$  [24] เนื่องจากการออกแบบที่มีมิติ III, IV, V มีความสำคัญเราจะให้นิยามการยกตัวอย่างสำหรับการออกแบบเหล่านี้ดังต่อไปนี้

2.9.1.1 การออกแบบมิติ III การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักใดๆ ที่จะคู่แฟคต์แฟงกับผลหลักตัวอื่นๆ แต่ผลหลักจะเป็นคู่แฟคต์แฟงกับอันตรกิริยาสองปัจจัย และอันตรกิริยาสองปัจจัยอาจจะคู่แฟคต์แฟงซึ่งกันและกันได้ ตัวอย่างเช่น การออกแบบ  $2^{3-1}$  เป็นการออกแบบที่มีมิติ III ( $2^{3-1}_{III}$ )

2.9.1.2 การออกแบบมิติ IV การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักใดๆ ที่จะคู่แฟคต์แฟงกับผลหลักตัวอื่นๆ หรือกับอันตรกิริยาสองปัจจัยใดๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฟคต์แฟงซึ่งกันและกัน ตัวอย่างเช่น การออกแบบ  $2^{4-1}$  ที่มี  $I = ABCD$  เป็นการออกแบบมิติ IV ( $2^{4-1}_{IV}$ )

2.9.1.3 การออกแบบมิติ V การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัยใดๆ ที่จะคู่แฟคต์แฟงกับผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัยตัวอื่นๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฟคต์แฟงกับอันตรกิริยาสามปัจจัย ตัวอย่างเช่น การออกแบบ  $2^{5-1}$  ที่มี  $I = ABCDE$  เป็นการออกแบบที่มีมิติ V ( $2^{5-1}_V$ )

ตามปกติแล้วมิติของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ จะเป็นจำนวนตัวอักษรที่น้อยที่สุดในส่วนของตัวกำหนดความสัมพันธ์ สิ่งก็ตามมาก็คือ เราสามารถเรียกการออกแบบต่อจากนี้ว่า การออกแบบชนิดสามตัวอักษรสี่ตัวอักษรและห้าตัวอักษรตามลำดับ โดยมากแล้วเรามักจะกำหนดให้มิติสูงที่สุดที่จะเป็นไปได้ของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล มีค่า

ตรงกันกับระดับของเศษส่วนที่ต้องการ ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังมีมิติสูง ก็ยังมีข้อจำกัดน้อยลงในเรื่อง สมมติฐานเกี่ยวกับว่า อันตรกิริยาคือใดถูกละเลยได้เพื่อที่จะได้มาซึ่งการตีความหมายข้อมูลอย่าง ถูกต้อง[24]

## 2.9.2 ปราบปรามการค้นหาคู่แฝดแฝง (Aliases)

ในการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วน เป็นกรณีที่ทำให้การทดลองไม่ครบ (Not Full) จะมีปรากฏการณ์หนึ่งเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งเราจะเรียกว่า อันตรกิริยาของคู่แฝดแฝง (Aliases) หรือตำราบางเล่มเรียกว่า คอนฟาวด์ (Confound) แปลว่า ปนกัน หรือ ติดกัน จนแยกไม่ออกซึ่งจะมีผลให้ Effect ที่ได้ เป็นค่าที่ปนกันหรือเรียกว่ามี โครงสร้างคู่แฝดแฝง (Aliases Structure) [20] วิธีแยก Aliases จะมีกฎ สำหรับการพิจารณาแยก Aliases อยู่ 3 ข้อ คือ

2.9.2.1 ถ้า Main Effect เป็น Aliases กับ 3-way interaction ขึ้นไป ให้ถือว่า Effect นั้น เป็นของ Main Factor เช่น A เป็น Aliases กับ BCD ให้ถือว่า Effect นั้นเป็นของ A

2.9.2.2 ถ้า interaction เป็น Aliases กับ interaction ที่มี Order ไม่เท่ากัน ให้ถือว่า Effect นั้น เป็นของ interaction ที่มี Order น้อยกว่า

2.9.2.3 ถ้า interaction เป็น Aliases กับ interaction ที่มี Order เท่ากัน

1) ถ้ามีความรู้ก่อนหน้า จากการแยก Aliases ของ Main Effect เพียงพอ ก็ สามารถแยก Aliases ได้

2) ถ้าความรู้ก่อนหน้าไม่เพียงพอ ก็ไม่สามารถแยก Aliases ได้ต้องทำการ ทดลองเพิ่มอีก 1 เท่าของการทดลองเดิม (หมายถึงการทดลองส่วนที่เหลือที่ไม่ได้เลือกมาทำการทดลอง ตอนแรกนั่นเอง)

ถ้าปัจจัยหลัก (Main Effect) เป็น Aliases กัน Interaction 2-Factor จะ ไม่ สามารถแยก Effect ได้ (เรียกว่า Resolution III) ซึ่งไม่ควรใช้ถ้าไม่จำเป็น เช่น ถ้ามีปัจจัย  $k = 4$  เมื่อทำ การทดลองขั้นต่อไป  $2^{4-1} = 8$  การทดลอง แต่เกิดปรากฏการ Aliases และเรามีความรู้ก่อนหน้าไม่ เพียงพอ ที่จะแยก Effect ได้จึงต้องทำการทดลองเพิ่มเติมอีก 8 การทดลองรวมกับการทดลองเดิมแล้ว จะมีการทดลองทั้งหมด  $8 + 8 = 16$  การทดลองซึ่งเท่ากับการทดลองแบบ Full Factorial นั่นเอง

## 2.10 การทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตนั้นพบว่ามีการนำทฤษฎีคุณภาพและวิธีการทางสถิติมาประยุกต์และปรับปรุงกระบวนการผลิตได้หลากหลายวิธี โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมอาหาร[25],[26] อุตสาหกรรม

อิเล็กทรอนิกส์ [27],[28],[29],[30], อุตสาหกรรมเหล็ก[31],[32] อุตสาหกรรมพลาสติก[21],[33] และ อุตสาหกรรมอื่นๆ[34],[35] ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้อย่างถูกต้องหลักทางวิชาการแล้วล้วนแต่สามารถ พัฒนา เพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการนั้นให้ดีขึ้นยิ่งขึ้น ทั้งทางด้านคุณภาพ ต้นทุนและ ความสามารถในการจัดตั้งถึงมือลูกค้าตรงตามความต้องการ ซึ่งการพัฒนาปรับปรุงนั้นไม่มีข้อจำกัดว่า จะใช้เครื่องมือคุณภาพเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่สามารถที่จะผสมผสาน ทฤษฎีทาง วิชาการตั้งแต่พื้นฐานจนถึงวิธีทางวิชาการที่ซับซ้อน ประกอบกับเครื่องมือคุณภาพต่างๆ มาใช้ในการ พัฒนาปรับปรุงเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ อย่างเพียงพอและเหมาะสมกับโอกาสและข้อจำกัดของ อุตสาหกรรมแต่ละชนิด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาทฤษฎีคุณภาพ และเครื่องมือคุณภาพ และการ ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองมาเป็นทฤษฎีหลักของการศึกษาพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตของ การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

วิธีการการออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่งในการพัฒนาปรับปรุง ลดของเสียที่นิยม วิธีการหนึ่งโดยการกำหนดปัจจัย เงื่อนไข วิธีการสำหรับการทดลอง เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้ไป ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลกับกระบวนการ และระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุนำไปสู่การตัดสินใจได้อย่าง น่าเชื่อถือ สามารถลดเวลาและจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการทดสอบกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ อุตสาหกรรมต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น การออกแบบการทดลองแบบ  $2^{5-1}$  แฟคทอเรียลบางส่วนเพื่อ กรองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความสูงคืบงอกที่ความสูง 0.126 mm. ในกระบวนการประกอบแผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์[36] การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความบกพร่องของรูของแผ่นพิมพ์ในรูปแบบ ต่างๆที่เหมาะสมและให้ทำให้อัตราการเกิดปัญหาทามส โคนในกระบวนการประกอบแผ่นวงจรชนิดอ่อน เกิดปัญหาน้อยที่สุด[30] การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ ( $2^{k-1}$  Factorial Design) ในการเจาะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยการคัดเลือกปัญหา การวิเคราะห์แผนผังเหตุและผล และนำปัจจัยที่ได้ 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองนำปัจจัยที่ส่งผลกับกระบวนการมากำหนดใช้ใน กระบวนการสามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 1.248 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 0.575 เปอร์เซ็นต์[20] หรือจะ เป็นในงานอุตสาหกรรมชนิดอื่น เช่นกัน การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการขัดเลนส์ด้วยการออกแบบ การทดลอง โดยใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อเลือกกระบวนการหุ้มข้อของปัญหาเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ ด้วยแผนภาพ เหตุและผล วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและนำมาออกแบบการทดลอง 2 ปัจจัยได้แก่ แรงกดในการเจียร เลนส์ และ ความเร็วรอบของล้อหินขัดเพชร ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ ( $3^k$  Factorial Design) พบว่าปัจจัยทั้งสองมีผลกับคุณภาพของการขัดเลนส์ และนำค่าที่ได้มาปรับตั้ง กระบวนการพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากการขัดเลนส์ลง 55.6 เปอร์เซ็นต์[34] การออกแบบการ ทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ ( $2^{k-1}$  Factorial Design) เพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีด

พลาสติก โดยวิเคราะห์ปัญหาด้วย (Why-Why Analysis) ปัจจัยของความเร็วในการฉีดใน 5 ปัจจัยและ อุณหภูมิของบริเวณแม่พิมพ์ 1 ปัจจัยรวมทั้งหมด 6 ปัจจัยเพื่อหาปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหา และนำค่าที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากเดิมที่ 2.62 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 2.02 เปอร์เซ็นต์[21] งานวิจัยของต่างประเทศก็นิยมใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการการบัดกรีด้วย Reflow สำหรับการเชื่อมต่อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีซีบีจากปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัยที่มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 ระดับ ( $3^{kp}$  Factorial Design) สามารถลดข้อบกพร่องในกระบวนการลงต่ำกว่า 2,555 DPMO เพิ่มสัดส่วนของดีอยู่ในระดับ 99.73 เปอร์เซ็นต์ [29][30]

จากการการสืบค้นงานวิจัยที่อ้างอิงเหล่านี้สามารถทำให้เข้าใจถึง แนวคิด การวิเคราะห์ แยกแยะปัจจัย ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพ โดยการควบคุมที่สาเหตุ ดังนั้นจึงนำวิธีการที่อ้างอิงถึงเหล่านี้มาปรับใช้การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลองด้วยการกำหนดหัวข้อปัญหาของกระบวนการคือการลดของเสีย ค้นหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุ โดยใช้แผนผังการแสดงเหตุและผลในการหาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ตั้งสมมติฐานเพื่อนำไปสู่การออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 16 ในการดำเนินการทดลอง บันทึกผลการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์หาปัจจัยที่กำหนดในการทดลอง นำปัจจัยที่มีผลกระทบกับกระบวนการที่ได้ไปกำหนดใช้สำหรับการปรับปรุงกระบวนการให้เป็นไปตามเป้าหมายที่คาดหวัง

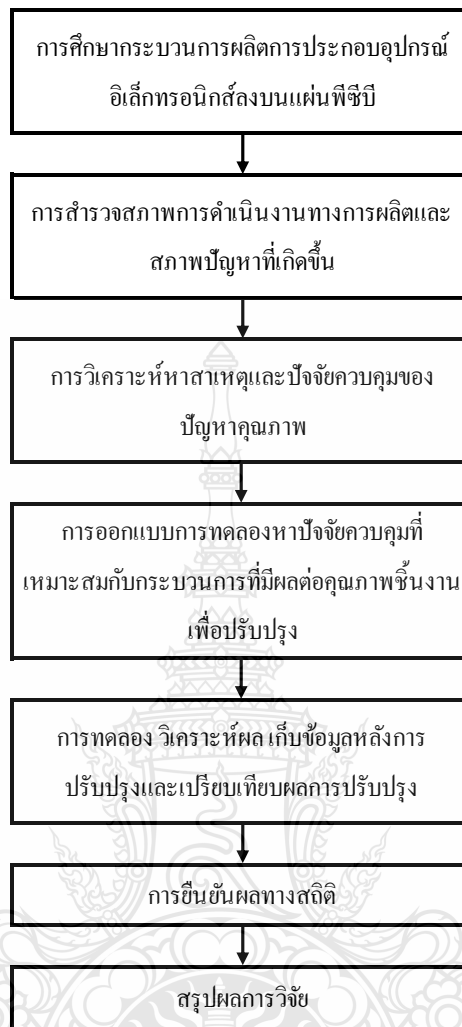
## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อค้นหาสาเหตุและระบุปัจจัยที่มีผลกระทบทำให้เกิดของเสียในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีโดยคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐาน เพื่อการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีเพื่อลดความสูญเสีย ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น โดยได้ทำการศึกษาที่โรงงานกรณีศึกษาตัวอย่างแห่งหนึ่ง โดยศึกษาจากการปฏิบัติงานในปัจจุบันร่วมกับทฤษฎีต่างที่เกี่ยวข้อง ศึกษากระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี เก็บข้อมูลปัญหาในการประกอบชิ้นงาน ในรุ่นการผลิต โมเดล YWX-5032 โดยศึกษาจากสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ก่อให้เกิดปริมาณงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด และศึกษาสภาพกระบวนการที่เป็นต้นตอของปัญหาที่เป็นกระบวนการที่เป็นสาเหตุ โดยทำการวิเคราะห์กระบวนการในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆลงบนแผ่นพีซีบี จากนั้นจึงทำการประชุมเพื่อหาข้อสรุปกับทีมงานเพื่อศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับปัญหานี้ เริ่มทำการเก็บข้อมูลแล้วจึงทำการวิเคราะห์เพื่อนำไปหาวิธีการแก้ไขปัญหาในส่วนการผลิต โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยเป็นลำดับดังนี้



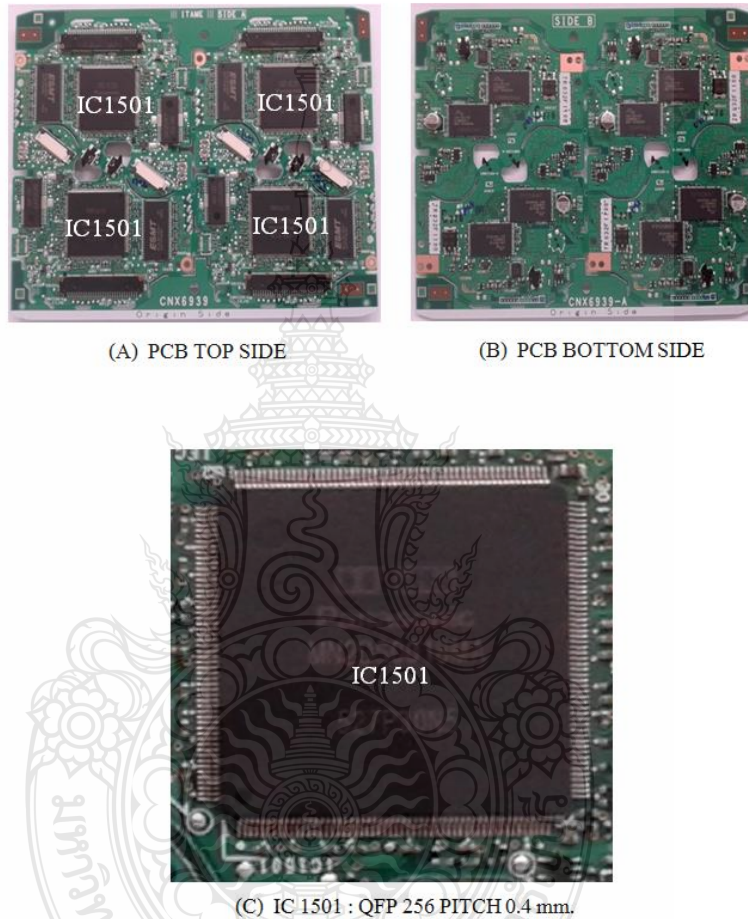


### รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 3.2 การศึกษากระบวนการการผลิตการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

ผลิตภัณฑ์แผงวงจรประกอบด้วยลายวงจรที่เกิดจากการนำวงจรไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบจากวงจรไฟฟ้า ในรูปแบบของแบบวงจรไฟฟ้าหรือเรียกด้วยภาษาทางเทคนิคว่า เซอร์किตไดอะแกรม (Circuit Diagram) มาอยู่ในรูปแบบของชิ้นงานที่สามารถนำมาใช้งานในทางปฏิบัติงานได้จริง โดยส่วนประกอบของแบบวงจรไฟฟ้านั้น จะมาอยู่ในรูปแบบการต่อสายไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งไปสู่ชิ้นหนึ่งตามลำดับสัญญาณขาเข้าเรียกว่าอินพุตและสัญญาณขาออกหรือเอาต์พุตของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิด ซึ่งการประกอบต่อบนลายวงจรจะต้องถูกต้องตามแบบของวงจร ที่ได้ถูกออกแบบไว้เท่านั้น หากมีส่วนใดส่วนหนึ่งที่ผิดแตกต่างจะไม่สามารถทำให่วงจรที่ต่อใช้งานนั้นสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ตามที่ถูกรออกแบบไว้นั้นได้ครบถ้วน

โดยจากชิ้นงานที่ทำการวิจัยนี้จะเป็นวงจรในชิ้นส่วนของวิทยุติดรถยนต์ โดยแผ่นวงจรหรือเรียกอีกอย่างว่าแผ่นพีซีบี ที่ใช้จะเป็นแผ่นพีซีบี ชนิดแข็งชนิด 4 ชั้น โดยมีลายวงจรชั้นนอก 2 ด้านเป็นจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และ 2 ชั้นด้านในเป็นชั้นของแหล่งจ่าย(Source) และแผ่นกราวด์ (Ground) ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายให้กับหลักให้กับวงจร



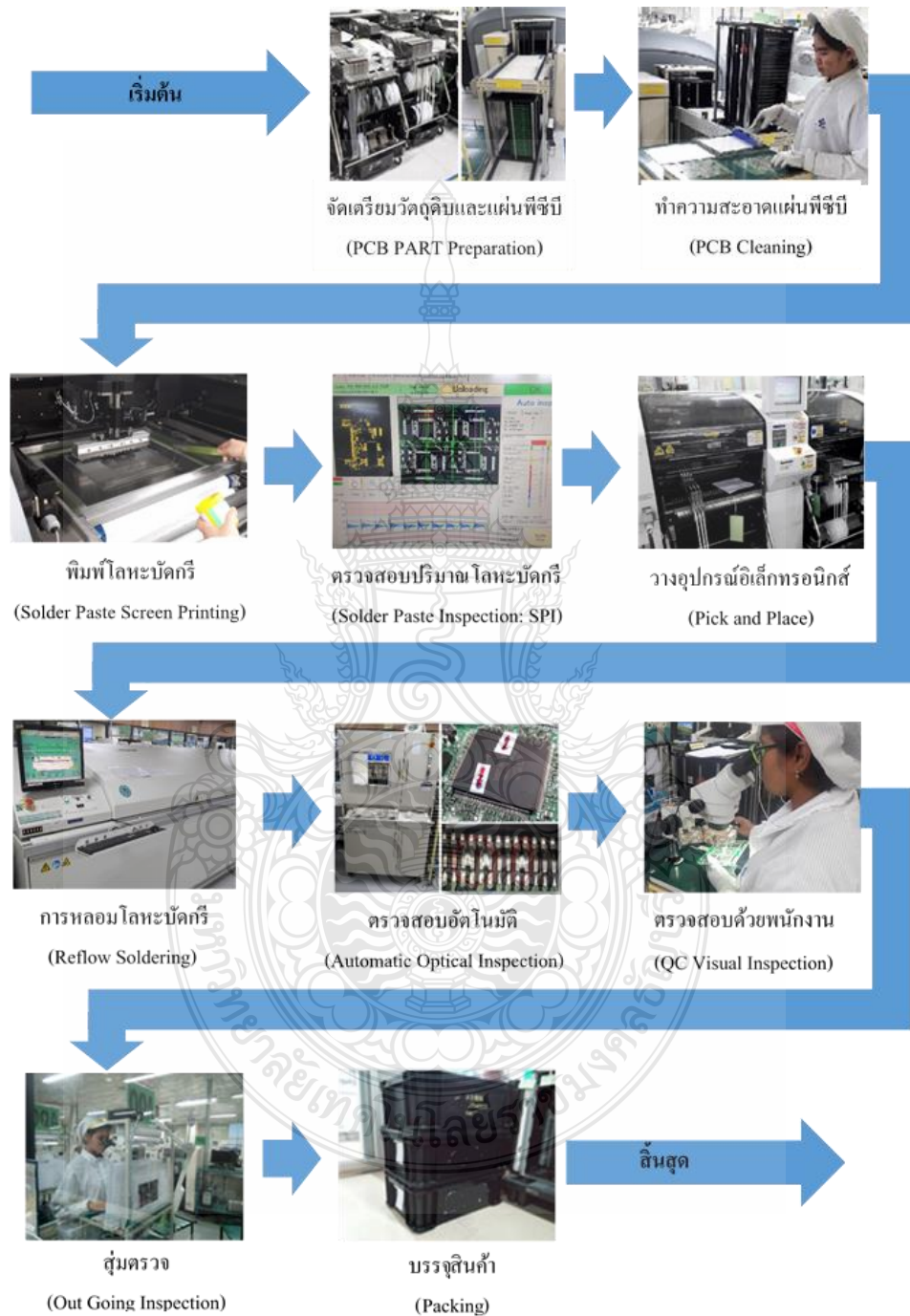
**รูปที่ 3.2** ลักษณะของพีซีบีที่ทำการผลิตในรุ่น YWX-5032 ที่นำมาศึกษากระบวนการ

- (A) ชั้นส่วนในการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แผ่นพีซีบีด้านบน (TOP),
- (B) ชั้นส่วนประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์แผ่นพีซีบีด้านล่าง (BOTTOM),
- (C) IC1501 บนแผ่นวงจรใน โมเดลที่เกิดปัญหาลัดวงจรระหว่างขาอุปกรณ์

ในกระบวนการผลิตรุ่น โมเดล YWX-5032 นี้จะมีการผลิตโดยสม่ำเสมอโดยมีการผลิตปัจจุบันที่ 3 สายการผลิตโดยใน 1 เดือนจะมีการผลิตอยู่ประมาณ 10,000 ชิ้นต่อเดือน โดยประมาณ



ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนสั่งซื้อของลูกค้าที่ให้ทำการผลิต โดยให้โรงงานกรณีศึกษาผลิตโดยมีลำดับขั้นตอนการผลิตชิ้นงานตามกระบวนการดังนี้



รูปที่ 3.3 แผนภาพกระบวนการผลิตของโมเดล YWX-5032 ที่ใช้ทำการทดลอง



### 3.2.1 ขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุพิมพ์และแผ่นพีซีบี (PCB PART PREPARATION)

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการจัดเตรียมวัสดุพิมพ์ได้แก่แผ่นพีซีบี (PCB BOARD) ให้ตรงตามโมเดลและหมายเลขของคำสั่งการผลิตที่กำหนดตามแผนการผลิตของรุ่นที่จะดำเนินการ ให้ตรงตามยอดรวมที่จะผลิตและตรงตามรายการวัสดุพิมพ์ที่กำหนดไว้ตามรายการวัสดุพิมพ์ (Bill of Material, BOM) เพื่อให้สามารถสอบกลับได้ด้วยว่าชุดการผลิต ตามคำสั่งการผลิตที่ดำเนินการผลิตนั้นใช้วัสดุพิมพ์ ชุดใดในการประกอบชิ้นงาน โดยจะทำการจัดแผ่นพีซีบี ใส่เข้าภาชนะการใส่บอร์ดหรือที่เรียกในกระบวนการผลิตว่าแมกกาซีน โดยจะเรียงแผ่นพีซีบีสำหรับป้อนให้กับสายพานของเครื่องจักรอีกที และขั้นตอนนี้พนักงานก็จะจัดเรียงวัสดุพิมพ์ประเภทชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างเข้ากับช่องเก็บชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หรือเรียกว่าชุดป้อนชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หรือเรียกว่า ฟีดเดอร์ (Feeder) ตามหมายเลขต่าง ซึ่งจะใช้เป็นภาชนะสำหรับป้อนเข้าเครื่องจักรสำหรับวางอุปกรณ์ลงบนแผ่นวงจร ตามที่โปรแกรมกำหนดตำแหน่งพิกัดและทิศทางของชนิดอุปกรณ์แต่ละประเภทที่ถูกประกอบรวมกัน

### 3.2.2 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผ่นพีซีบี (PCB Cleaning)

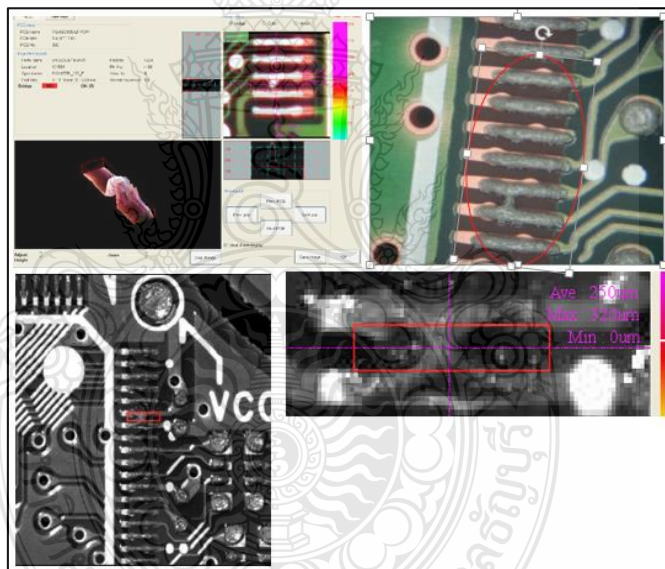
ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการทำความสะอาดพื้นผิวของแผ่นพีซีบี โดยการใช้ลูกกลิ้งหรือ Sticky Roller ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายแผ่นซิลิโคนนิ่มซึ่งจะรีดกับแผ่นพีซีบีเพื่อให้ฝุ่นหรือคราบสกปรกหลุดออกจากแผ่นพีซีบี เพื่อนำพาฝุ่นที่อาจจะมีตกค้างออกจากผิวชิ้นงานหรือสิ่งแปลกปลอมที่ติดบนผิวของแผ่นพีซีบี เพื่อพร้อมสำหรับกระบวนการถัดไปและทำการเรียงแผ่นพีซีบีกลับเข้าช่องแมกกาซีนจัดเรียงทิศทางเพื่อให้ถูกต้องกับทิศทางที่จะทำการกำหนดการไหลเข้าเพื่อทำการผลิต

### 3.2.3 ขั้นตอนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing)

ขั้นตอนการพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบี โดยกระบวนการนี้จะทำการพิมพ์โลหะบัดกรีชนิดผ่านแบบพิมพ์หรือเรียกว่า Stencil มีความหนาของแผ่นแบบที่ 120  $\mu\text{m}$ . ในการพิมพ์โลหะบัดกรีไปตามรูของแบบพิมพ์ส่งผ่านไปที่ผิวของแผ่นพีซีบี ที่บนจุดเชื่อมต่อกับขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะทำการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงไปประกอบ ขั้นตอนนี้จะทำการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี โดยทางช่างเทคนิคของฝ่ายการผลิต โดยการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะให้ได้รับการพิมพ์โลหะบัดกรีที่มีความสูงของการพิมพ์ที่กำหนดไว้ใน ตามคู่มือการปฏิบัติงานให้ได้ค่าที่ระดับความสูงในช่วง 102  $\mu\text{m}$  – 152  $\mu\text{m}$ . โดยการนำแผ่นพีซีบีที่ติดฟิล์มสำหรับทดลองการพิมพ์โลหะบัดกรีเบื้องต้นก่อนและตรวจสอบความถูกต้องว่าได้ตรงตามความต้องการก่อนเริ่มการพิมพ์จริงเพื่อการผลิตดังรูปที่ 3.4 แสดงแผ่นพีซีบีที่ผ่านกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบี



รูปที่ 3.4 ลักษณะครีมนโลหะบัดกรีที่พิมพ์ออกมาบริเวณไอซี 1501 บนพีซีบีด้านบน



รูปที่ 3.5 ลักษณะปัญหาการลัดวงจร(Bridging)จากการพิมพ์โลหะบัดกรี

### 3.2.4 ขั้นตอนการตรวจสอบปริมาณ โลหะบัดกรี (Solder paste Inspection : SPI)

ขั้นตอนการตรวจสอบความสูงของการพิมพ์โลหะบัดกรีผ่านแบบพิมพ์(Stencil) ออกมาตามตำแหน่งต่างๆบนแผ่นพีซีบี โดยทุกครั้งที่เครื่องพิมพ์ทำการพิมพ์เสร็จแล้วในแต่ละแผ่นพีซีบี จะไหลผ่านไปบนสายพานเข้าไปยังเครื่องตรวจสอบปริมาณครีมนโลหะบัดกรีโดยอัตโนมัติ โดยเครื่องจะทำการวัดขนาดและตรวจสอบว่าการพิมพ์นั้นได้ความสูงและตำแหน่งของโลหะบัดกรีจากกระบวนการพิมพ์ตามที่กำหนดไว้ในค่าการควบคุมหรือไม่ หากไม่ได้เกณฑ์จะมีเสียงเตือนให้

ผู้ปฏิบัติงานเข้ามาทำการตรวจสอบและแก้ไขการปรับตั้งอีกครั้ง หรือเพื่อตรวจสอบว่ามีปัญหาอะไรเกิดขึ้น เช่น การลัดวงจร(Bridging) ปริมาณโลหะบัดกรีมีปริมาณน้อย รูปทรงการพิมพ์ไม่ตรงตำแหน่งบนแผ่นพีซีบี เป็นต้น โดยการตรวจสอบเครื่องตรวจสอบนี้จะทำการตรวจทุกๆบอร์ดที่ไหลผ่าน โดยเครื่อง Solder Paste Inspection (SPI) ทุกบอร์ดโดยความสูงของโลหะบัดกรีที่ควบคุมจะขึ้นอยู่กับความหนาของแบบพิมพ์ที่ถูกออกแบบมา และค่าปรับตั้งแต่ละรุ่นการผลิตซึ่งในรุ่นการผลิตนี้กำหนดที่ 5 mils ± 1 mils หรือช่วงการปรับตั้ง 127 μm ± 25 μm (102 μm. ถึง 152 μm.)



รูปที่ 3.6 เครื่องตรวจสอบปริมาณโลหะบัดกรีในกระบวนการผลิต

### 3.2.5 ขั้นตอนของกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Pick and Place)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆตามรายการวัตถุดิบ (Bill of Material : BOM) ของผลิตภัณฑ์รุ่นนี้กำหนดลงบนพีซีบีตามตำแหน่งต่างๆโดยการวางชิ้นส่วนตามโปรแกรมของเครื่องวางอัตโนมัติ โดยเครื่องจักรจะวางชิ้นส่วนตามตำแหน่งพิกัด X,Y โดยจะทำการหยิบชิ้นส่วนจากช่องเก็บ(Feeder)หรือถาดใส่ชิ้นส่วนและนำไปวางตามตำแหน่ง ซึ่งโปรแกรมเมอร์จะมีหน้าที่ในการเขียน โปรแกรมการ ปรับตั้ง แก้ไข กำหนดลำดับ การวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี ซึ่งรุ่นที่ทำการผลิตนี้จะประกอบด้วยจำนวนชิ้นส่วน 113 ชิ้นที่จะต้องวางบนแผ่นพีซีบี ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆได้แก่ ตัวความต้านทาน(Resistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขดลวด (Inductor) ไอซี(IC) และ คอนเนคเตอร์ (Connector) เป็นต้น



รูปที่ 3.7 เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี (Pick and Place)

กระบวนการนี้จะทำงานโดยการหยิบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบรรจุภัณฑ์ของแต่ละชนิดอุปกรณ์มาวางบนพิกัด X,Y บนแผ่นพีซีบีตามที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรม โดยอ้างอิงค่าการปรับตั้งด้วยฟังก์ชันตามหัวข้อต่อไปนี้

3.2.5.1 ฟังก์ชันเพื่อกำหนดขนาดของแผ่นพีซีบี (PWB) เมนู PWB (Print Wiring Board) นี้ใช้สำหรับปรับตั้งขนาดของแผ่นพีซีบี ตามขนาด กว้าง x ยาว x สูง และการกำหนดความหนาของแผ่นพีซีบี กำหนดจำนวนบอร์ดต่อพีซีบีแผ่น ในกรณีที่เป็นแผ่นพีซีบีแบบหลายบอร์ดต่อแผ่น

3.2.5.2 ฟังก์ชันการวาง (PLACEMENT) เมนู PLACEMENT เป็นฟังก์ชันที่กำหนดพิกัด X,Y บนแผ่นพีซีบีของอุปกรณ์ในแต่ละตำแหน่งของโมเดลนั้น และระยะ Z สำหรับระยะการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แนวตั้งบนแผ่นพีซีบีโดยค่าการปรับตั้ง Z นี้การใช้สำหรับการปรับตั้งและจำกัดระยะที่สร้างแรงกดที่ใช้สำหรับการวางชิ้นส่วนแต่ละชนิดบนแผ่นวงจร โดยระยะที่สามารถปรับวางจะอยู่ในระยะของ Z ที่กำหนดหรือเรียกว่าระดับ Mount Level ที่ใช้งานก็ได้ สำหรับค่าที่ใช้งานปกติจะอยู่ที่ 0.5 mm. ดังนั้นค่าปรับตั้งที่ใช้ในการวางชิ้นส่วนประเภทไอซีปัจจุบันที่ใช้งานจะอยู่ในช่วงระยะที่กำหนดนี้

3.2.5.3 ฟังก์ชันกำหนดขนาดของชิ้นส่วน (COMPONENT) เมนู COMPONENT เป็นฟังก์ชันในการกำหนดชนิด ขนาดของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่จะให้ทำการหยิบและวาง ชนิดของตัวจับชิ้นงาน(Nozzle)ที่ใช้จับชิ้นงาน กำหนดความเร็วในการหยิบ กำหนดความเร็วในการวาง การหน่วงเวลาสำหรับของการวาง การใช้ เปิดปิดลมสำหรับดูด หรือ ปลดปล่อยของตัวจับชิ้นงาน

3.2.5.4 ฟังก์ชันการหยิบ (PICK) เมนู PICK เป็นฟังก์ชันกำหนดตำแหน่งของถาดที่ให้ตัวจับชิ้นงาน (Nozzle) ไปหยิบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อมาทำการวาง โดยจะมีหมายเลขกำหนด



ตำแหน่งของถาดใส่ชิ้นส่วนให้เครื่องทราบตำแหน่งด้วยหมายเลขช่องเก็บชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แต่ละประเภท

จากขั้นตอนของวางชิ้นส่วนหรือ Pick and Place เมื่อแผ่นพีซีบีถูกวางอุปกรณ์ครบแล้ว แผ่นพีซีบีจะไหลผ่านสายพานจากเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปยังเครื่องสำหรับทำความร้อนเพื่อหลอมละลายโลหะบัดกรีเชื่อมประสานระหว่างขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีซีบี เรียกว่ากระบวนการนี้ว่า Reflow Soldering โดยก่อนจะผลิตต่อเนื่องจะมีการตรวจสอบกระบวนการด้วยชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานบอร์ดแรก (First Board) โดยพนักงาน QC และ QA เพื่อตรวจสอบคุณลักษณะการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีนั้นว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของ รุ่นการผลิตที่กำหนดนี้หรือไม่ จากนั้นจึงจะอนุมัติให้ไปยังกระบวนการลำดับถัดไปได้

### 3.2.6 ขั้นตอนการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Soldering)

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนของการให้ความร้อนแก่แผ่น พีซีบี โลหะบัดกรี และ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกวางบนแผ่นพีซีบีเรียบร้อยแล้วและผ่านการตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของชิ้นส่วนต่างบนแผ่นพีซีบีเรียบร้อยแล้ว เพื่อทำการเชื่อมโลหะบัดกรีระหว่างขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับตัวนำของวงจรบนแผ่นพีซีบี โดยการผ่านเข้าไปในเครื่องในลักษณะอุโมงค์ทำความร้อน อุณหภูมิที่กำหนดจะเป็นไปตามคุณสมบัติของชนิดของโลหะบัดกรีที่ใช้ และระยะเวลาในการทำให้ถึงโลหะบัดกรีถึงจุดหลอมเหลวและเย็นตัวลงตามระยะเวลา เนื่องจากจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน หากไม่ได้ตามข้อกำหนดของโลหะบัดกรีชนิดนั้นจะทำให้การหลอมเหลวไม่สมบูรณ์อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ได้

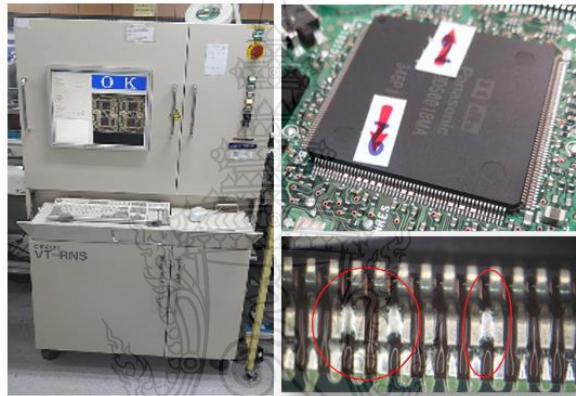


รูปที่ 3.8 เครื่องทำความร้อนสำหรับสำหรับเชื่อมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับวงจรบนแผ่นพีซีบี

### 3.2.7 ขั้นตอนการตรวจสอบการประกอบด้วยเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ(Automatic Optical

Inspection: AOI)

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบโดยเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ เพื่อคัดแยกงานที่มีข้อบกพร่องในลักษณะต่างๆ ออกจากกระบวนการผลิต โดยการทำงานของเครื่องมือนี้จะต้องใช้การโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้น โดยหลักการเปรียบเทียบรูปภาพของบอร์ดที่ถูกตรวจสอบกับบอร์ดที่เป็นต้นแบบ แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของ สี ขนาด ตำแหน่ง ทิศทาง ตัวหนังสือ หรือสัญลักษณ์ต่างระหว่างชิ้นงานทั้งสองเทียบกัน หากพบปัญหาบอร์ดนั้นจะถูกคัดแยกเพื่อส่งไปยังหน่วยงานซ่อมเพื่อแก้ไขให้เป็นไปตามข้อกำหนดของรุ่นที่ทำการผลิต



รูปที่ 3.9 เครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ(AOI)ในการตรวจสอบชิ้นงานที่การผลิต

### 3.2.8 ขั้นตอนการตรวจสอบด้วยพนักงาน (QC Visual Inspection)

วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้จะเป็นการตรวจสอบเพื่อทบทวนในเรื่องของชิ้นงานที่ไม่สามารถแยกแยะหรือตรวจสอบได้จากเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ คือลักษณะงานที่อยู่ในสภาพกำกวม เกือบเสียแต่เครื่องระบุว่าเป็นงานที่มีจุดบกพร่อง และยังเป็นกระบวนการรับรองซ้ำอีกครั้งว่าบอร์ดที่เครื่องพบว่าเป็นปัญหานั้นเป็นอย่านั้นอย่างแท้จริง เช่นการตรวจสอบปริมาณโลหะบัดกรีที่หน้าขาอุปกรณ์ที่ไม่สามารถตรวจสอบจากแนวคิดของเครื่องตรวจสอบได้



### รูปที่ 3.10 การตรวจสอบด้วยพนักงานตรวจสอบคุณภาพ (QC Visual Inspection)

#### 3.2.9 ขั้นตอนการสุ่มตรวจ (Out Going Inspection)

จะเป็นขั้นตอนการสุ่มตรวจสอบของหน่วยงานประกันคุณภาพ QA เพื่อให้แน่ใจว่างานที่ส่งออกไปได้ตรงตามคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้ากำหนด โดยการสุ่มบอร์ดที่ผ่านการตรวจสอบทั้งหมดจากสายการผลิต โดยทุกๆ ชิ้นงานจำนวน 100 บอร์ดจะทำการสุ่มจำนวน 4 บอร์ด โดยตามมาตรฐานของโรงงานกำหนดไว้ หรือในรุ่นการผลิตต่างๆกันก็จะใช้ตารางการสุ่มเพื่อการยอมรับเป็นเอกสารกำหนด หรือตามที่ลูกค้าระบุมาเป็นข้อกำหนดเฉพาะในการผลิต

#### 3.2.10 ขั้นตอนการบรรจุ (Packing)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายโดยการบรรจุชิ้นงานเพื่อส่งไปยังโรงงานของลูกค้า โดยจะทำการส่งโดยบรรจุในแมกกาซีนหรือซองพลาสติกป้องกันไฟฟ้าสถิตบรรจุวงกล่องบรรจุตามที่ลูกค้าร้องขอ ซึ่งการส่งที่กำหนดภาชนะบรรจุเพื่อส่งให้กับลูกค้าเป็นแมกกาซีนเนื่องจากลูกค้าจะสามารถนำบอร์ดที่ถูกจัดส่งไปเข้ากระบวนการภายในโรงงานของลูกค้าได้ทันที ส่วนที่บรรจุลงกล่องนั้นจะถูกจัดเก็บไว้ก่อนที่โรงงานลูกค้าก่อนและเมื่อมีความต้องการใช้ผลิตก็จะทำการนำมาผลิตโดยใส่ในแมกกาซีนเช่นกัน

### 3.3 การสำรวจ เก็บข้อมูล สภาพการดำเนินการผลิตและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการข้อมูลที่กำลังเป็นปัญหาที่ฝ่ายผลิตได้จัดทำเป็นบันทึกการผลิตในช่วงเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2557 พบว่าผลิตภัณฑ์โมเดล YWX-5032 จะเป็นรุ่นผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนของแผ่นพีซีบีที่ทำการผลิตมีจำนวนบอร์ดเสียเกิดในกระบวนการผลิตมากที่สุด จากการรวบรวมข้อมูลในอดีตที่เกิดปัญหาของสายการผลิตในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นจึงเลือกผลิตภัณฑ์รุ่นนี้มาทำการศึกษากระบวนการผลิต เพื่อที่จะนำมาปรับปรุงแก้ไขมาเป็นลำดับแรก จากจำนวนของบอร์ดที่เสียที่กล่าวมาแล้วในตารางที่ 1.1 และตารางที่ 1.2 จากบทที่ 1 นั้น จึงนำข้อมูลจากหน่วยงานผลิตมาทำ

การจัดกลุ่มของชนิดปัญหาที่เกิดขึ้นกับบอร์ดที่เสียนั้น เพื่อทำการศึกษาโดยจากข้อมูลจำนวนบอร์ดที่เกิดปัญหาสามารถนำมาจัดกลุ่มของชนิดปัญหาที่เกิดขึ้นโดยนำข้อมูลบันทึกที่แยกลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดกับบอร์ดมาทำการจัดเรียงลำดับปัญหาที่เกิดขึ้นในรุ่นการผลิตนี้ พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จัดเรียงตามลักษณะชนิดปัญหาดังนี้ ลำดับที่1 คือปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ลำดับที่2 คือปัญหาปริมาณโลหะบัดกรีไม่เพียงพอ ( Insufficient Solder) ซึ่งมีปริมาณตามสัดส่วน 80 : 20 จากการใช้กราฟ พาราโต แยกแยะจำนวนปัญหาดังรูปที่ 1.2 ในบทที่1 โดยแสดงจำนวน การเกิดปัญหา ลำดับตามตารางดังต่อไปนี้ และจากประเด็นนี้ผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาที่มากที่สุดมาทำการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต

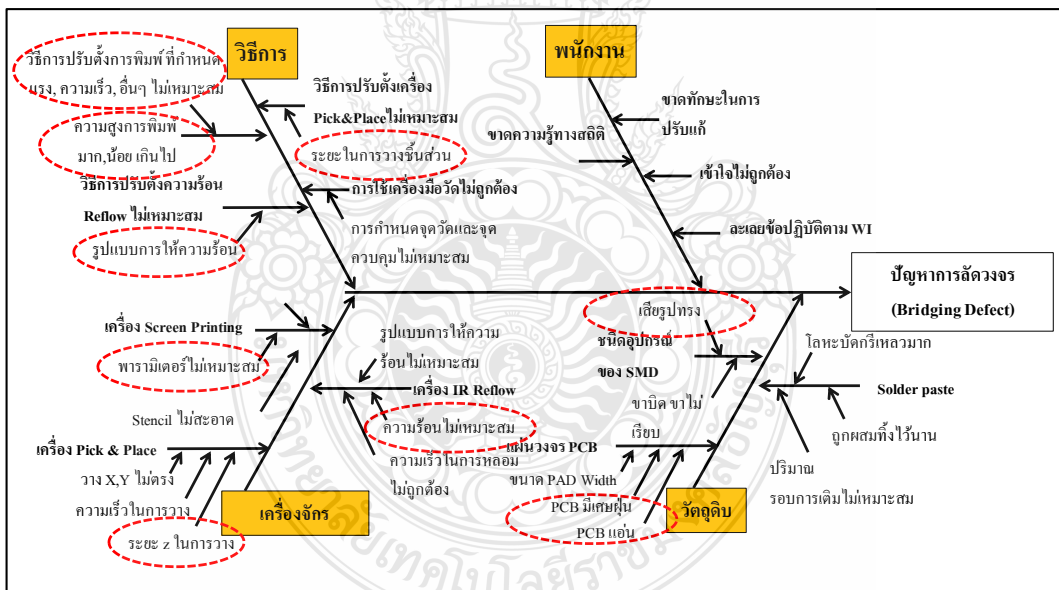
**ตารางที่ 3.1** แสดงปริมาณจำนวนจุดที่เป็นของเสียบนแผ่นพีซีบีที่เป็นของเสียแบ่งตามลักษณะปัญหา

หัวข้อปัญหา	ก.ค-57	ส.ค-57	ก.ย-57	ต.ค-57	พ.ย-57	ธ.ค-57	รวม
Bridging	856	739	609	1,059	589	456	4,308
Insufficient Solder	175	513	181	124	174	255	1,422
Missing Part/มี Solder	85	138	94	55	53	90	515
Misalignment	66	55	62	60	26	83	352
Floating	35	33	38	41	29	43	219
Non wetting	3	59	5	9	20	22	118
Dirty on Board	20	7	16	23	25	24	115
Over Component	9	16	9	24	6	13	77
Side Terminate	27	17	6	4	4	9	67
Tombstone	8	14	7	9	4	5	47
Over Turn	6	9	5	3	4	5	32
Damage Component	3	2	3	1	2	6	17
Other	1	2	3	3	1	0	10
Total	1,294	1,604	1,038	1,415	937	1,011	7,299



### 3.4 การวิเคราะห์หาปัจจัยสาเหตุของปัญหาคุณภาพ

ดำเนินการจัดตั้งทีมงานโดยการปรึกษากับทางผู้จัดการฝ่ายผลิตเพื่อขอความร่วมมือจากพนักงานในส่วนงานที่ดูแลรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องได้แก่ ฝ่ายผลิตในส่วนงาน (SMT) ฝ่ายซ่อมบำรุง (MA) ฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QA) และส่วนงานวิศวกรรม (ENG) โดยมีเป้าหมายในการหาสาเหตุของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นกับรุ่นของผลิตภัณฑ์นี้ และระดมสมองเพื่อหาสาเหตุและแนวทางการหาวิธีการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาการผลิตที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน โดยได้รับความสนับสนุนจากแต่ละส่วนงานเพื่อดำเนินการปฏิบัติตามกำหนดการตามแผนการผลิต โดยผู้วิจัยมีหน้าที่ในการกำหนดการดำเนินการร่วมกับทีมงาน นัดประชุมเพื่อการระดมสมองและขอความคิดเห็น ตลอดจนการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงให้สามารถนำไปปฏิบัติงานและสรุปผลการปรับปรุงเพื่อการลดของเสียที่เกิดขึ้น จากข้อมูลที่เกิดขึ้นดังนั้นจึงนำแต่ละกิจกรรมมาทำการวิเคราะห์ผลด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล ของลักษณะปัญหาของเสียการเชื่อมติดกันหรือการลัดวงจรของโลหะบัดกรีว่ามีอะไรเป็นสาเหตุของปัญหาการลัดวงจร(Bridging)



รูปที่ 3.11 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลัดวงจร(Bridging)จากกระบวนการผลิต

จากการศึกษากระบวนการและวิเคราะห์จากแผนผังแสดงเหตุและผลดังรูปที่ 3.11 พบว่ามีกิจกรรมที่อาจมีผลกระทบกับกระบวนการผลิตซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาได้ทั้ง 3 กระบวนการหลักได้แก่ กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing) กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี(Pick and Place) และกระบวนการหลอมของโลหะบัดกรี(Reflow Soldering) เนื่องจากเป็น

กระบวนการต่อเนื่องที่ส่งต่อไปตามสายพานการผลิต และถูกตรวจสอบความสมบูรณ์ที่กระบวนการสุดท้าย ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์สาเหตุของแต่ละกระบวนการซึ่งเป็นกระบวนการหลักอีกครั้งดังนี้

#### 3.4.1 กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing )

การวิเคราะห์ในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบีดังรูปที่ 3.12 นั้นพบว่าการปรับตั้งค่าการตั้งเครื่องให้แก่เครื่องพิมพ์ที่พารามิเตอร์ที่กำหนดเป็นช่วงของการใช้งานของค่าปรับตั้งต่างๆในกระบวนการนี้ จากการศึกษากระบวนการกับวิศวกรที่ปรับตั้งเครื่องและวิศวกรกระบวนการที่รับผิดชอบของรุ่นการผลิตและกำหนดพารามิเตอร์ของกระบวนการสำหรับการตั้งเครื่องซึ่งมีความชำนาญและรับผิดชอบดูแลการปฏิบัติงานในสายการผลิต จากการพิจารณาพารามิเตอร์ในการปรับตั้งปัจจุบันจะมีการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างดังนี้ โดยค่าที่ใช้ในการติดตามการปรับตั้งของกระบวนการผลิตนั้นทางสายการผลิตใช้วิธีการพิจารณาความสูงของโลหะบัดกรีเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดย ปริมาณหรือขนาดของโลหะบัดกรีจะต้องมีปริมาณความสูงระหว่าง 102  $\mu\text{m}$ . ถึง 152  $\mu\text{m}$ . เป็นความสูงสำหรับแสดงปริมาณของโลหะบัดกรีที่เป็นขนาดจากความหนาของแผ่นพิมพ์และเพียงพอสำหรับชิ้นงานผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้สำหรับควบคุมและดำเนินการผลิตซึ่งจะเป็นช่วงการปรับตั้งที่ได้มาจากความหนาของแผ่นแบบพิมพ์ของกระบวนการผลิต โดยจะมีการใช้วิธีการปรับตั้งด้วยพารามิเตอร์ของเครื่องจักรประกอบกันให้ได้ค่าเป้าหมายคือความสูงของโลหะบัดกรีที่ต้องการ พารามิเตอร์ที่ใช้ปรับตั้งมีรายการและช่วงของความสามารถที่เครื่องจักรจะสามารถกำหนดได้ดังนี้

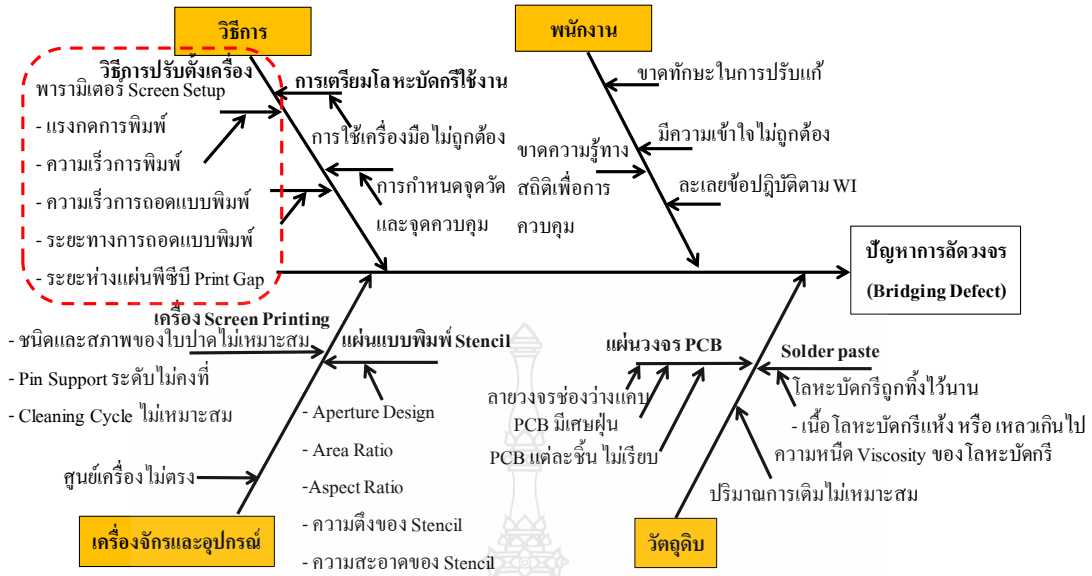
3.4.1.1 แรงกดการพิมพ์ (Print Pressure) คือ แรงกดของใบปาด (Squeegee) สำหรับการพิมพ์โลหะบัดกรี ซึ่งมีความสามารถในการทำงานในช่วงการให้แรงกดสู่ใบปาดเพื่อทำการพิมพ์และรีดโลหะบัดกรีผ่านแบบพิมพ์ลงบนแผ่นพีซีบี ซึ่งจะมีผลกับขนาดรูปทรงและปริมาณความสูงของโลหะบัดกรีที่ส่งผ่านในแบบพิมพ์ ซึ่งกรณีที่น้อยเกินไปจะไม่สามารถส่งผ่านโลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบีได้ หรือมากเกินไปจะทำให้รูปทรงบิดเบี้ยวจากแบบพิมพ์ ก่อให้เกิดการลัดวงจรเชื่อมกันระหว่างเส้นลายวงจร หรือไม่สามารถควบคุมความสูงได้ตามต้องการ โดยช่วงและความสามารถของการปรับตั้งของเครื่องรุ่นนี้จะอยู่ที่ช่วงแรงกด (Print Pressure : 0 - 20 Kg)

3.4.1.2 ความเร็วการพิมพ์ (Print Speed) คือความเร็วของใบปาดครีมีโลหะบัดกรี ซึ่งมีความสามารถในการทำงานในช่วงความเร็ว (Print Speed: 2 – 150 mm. /sec) โดยความเร็วในการปาดโลหะบัดกรีนี้จะส่งผลต่อขนาดรูปทรงและปริมาณความสูงของโลหะบัดกรีที่ส่งผ่านในแบบพิมพ์ (Stencil) ลงบนแผ่นพีซีบี

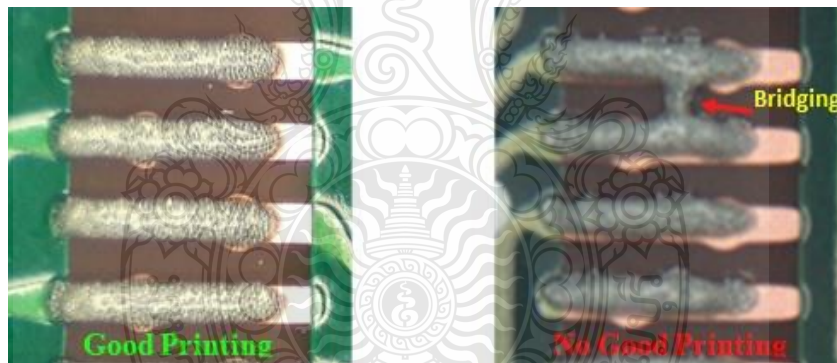
3.4.1.3 ความเร็วการถอดแบบพิมพ์ (Separation Speed) คือความเร็วของการแยกจากของแบบพิมพ์(Stencil)กับแผ่นพีซีบี โดยมีช่วงของ (Stencil Separation Speed : 0.1 – 20 mm. /sec) หรือเรียก ลักษณะการทำงานนี้เสมือนความเร็วในการถอดแบบพิมพ์ออกจากแผ่นวงจรเมื่อทำการพิมพ์โลหะบัดกรี ลงไปแล้ว ซึ่งจะส่งผลกับรูปทรงของโลหะบัดกรีที่ถูกส่งผ่านแบบพิมพ์ออกมา หรือคุณภาพการพิมพ์ที่เกิดขึ้นซึ่งทำให้เกิดการลัมของโลหะบัดกรีทำให้เกิดการลัดวงจรเนื่องจากเศษคริมโลหะบัดกรี เชื่อมติดกันโดยไม่ต้องการ หรือทำให้เกิดยอดของโลหะบัดกรีหรือความสูงของโลหะบัดกรีที่แตกต่างกันซึ่งอาจเป็นสาเหตุของปัญหา

3.4.1.4 ระยะห่างการถอดแบบพิมพ์ (Separate Distance) คือระยะห่างของการแยกจากของแบบพิมพ์ (Stencil) กับแผ่นพีซีบี โดยมีช่วงของ (Stencil Separation Distance: Distance: 0 - 3 mm.) เป็นช่วงการเคลื่อนเพื่อเพิ่มระยะห่างของแบบพิมพ์กับแผ่นพีซีบีเพื่อให้คริมโลหะบัดกรีที่ถูกพิมพ์แยกจากแบบพิมพ์และติดอยู่บนแผ่นพีซีบีและเลื่อนแผ่นพีซีบีที่ถูกพิมพ์แล้วผ่านไปซึ่งจะทำให้การส่งผ่านโลหะบัดกรีได้รูปทรงที่ดีตามที่แบบพิมพ์กำหนด ไม่เกิดหางหรือเกิดการลัมหรือคิงปริมาณของโลหะบัดกรีออกติดไปกับแบบพิมพ์ ทำให้ปริมาณโลหะบัดกรีที่ควรจะได้ขาดหายไปจากแผ่นพีซีบี

3.4.1.5 ระยะห่างแบบพิมพ์กับแผ่นพีซีบี (Print Gap) คือระยะชดเชยของการปรับระยะแบบพิมพ์(Stencil)กับแผ่นวงจร โดยมีช่วงของ(Print Gap : 0 - 6 mm.) เป็นค่าช่วงการปรับตั้งของเครื่องจักรรุ่นนี้ ซึ่งเป็นระยะที่ชดเชยระยะของแบบพิมพ์กับแผ่นพีซีบีก่อนการพิมพ์ทุกครั้งเพื่อวัตถุประสงค์ให้ระยะของแบบพิมพ์และผิวด้านหน้าของแผ่นพีซีบีแนบกับแบบพิมพ์ มีความสำคัญที่จะทำให้แบบพิมพ์ที่ขึงมาแนบกับแผ่นพีซีบีที่ทำการพิมพ์คริมโลหะบัดกรี เพื่อชดเชยค่าเนื่องจากการใช้งานแบบพิมพ์ที่ขึงมาด้วยแรงดึงที่แตกต่างกันหรือเกิดการใช้งานแล้วทำให้แบบพิมพ์มีผิวที่หย่อนลงไปเมื่อถูกใช้งานไประยะหนึ่งหรือเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีที่ถูกใช้งานนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไปซึ่งเนื่องมาจากอายุการใช้งาน การปรับตั้งนี้จะชดเชยระยะห่างของผิวสัมผัสของแผ่นพีซีบีกับแบบพิมพ์ เปรียบเหมือนการปรับค่าเพื่อการตั้งศูนย์ (Calibrate Adjust) ของการปรับค่าเครื่องจักรหรือการปรับเทียบเมื่อทำการซ่อมบำรุง โดยจะนำพารามิเตอร์เหล่านี้มาใช้สำหรับออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับกระบวนการผลิต



รูปที่ 3.12 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลัดวงจรจากกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

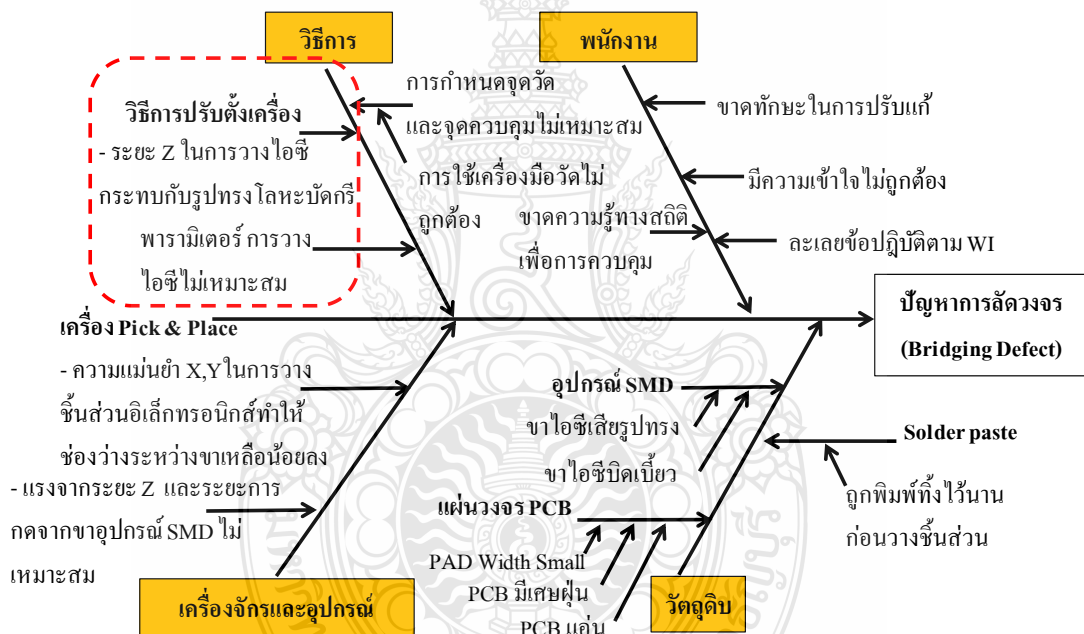


รูปที่ 3.13 รูปทรงของโลหะบัดกรีที่ดีและลักษณะโลหะบัดกรีที่พบปัญหาลัดวงจร

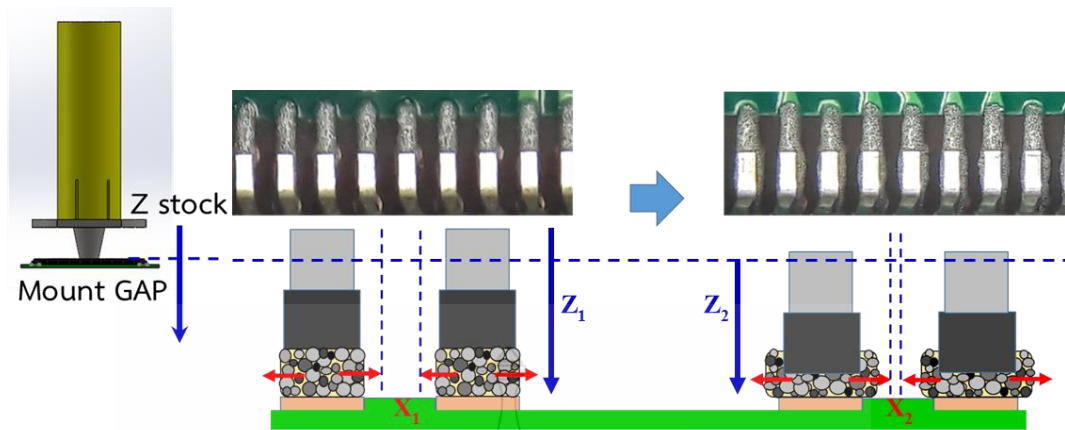
### 3.4.2 กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี (Pick and Place)

การวิเคราะห์กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนพีซีบีดังรูปที่ 3.14 นั้นพบว่า ปัญหาการการลัดวงจรส่วนใหญ่จะพบที่ท้ายกระบวนการผลิตโดยตำแหน่งของ IC 1501 เป็นตำแหน่งที่พบปัญหาและลักษณะปัญหาเกิดขึ้นซ้ำๆ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจากปัจจัยในกระบวนการวางไอซีที่ตำแหน่ง IC 1501 ที่เกิดปัญหามาพิจารณาในการปรับตั้งโดยการศึกษาขั้นตอนกับที่ใช้ปรับตั้งค่าและกำหนดค่าของกระบวนการสำหรับการตั้งเครื่องในสายการผลิตจากการพิจารณาปัจจัยในการปรับตั้งปัจจุบันจะมีการกำหนดปรับตั้งปัจจัยต่างๆ ที่สัมพันธ์กัน ซึ่งกระบวนการปัจจุบัน

กระบวนการนี้ไม่มีวิธีการไปควบคุมค่าการปรับตั้ง แต่เป็นการปรับตั้งด้วยโปรแกรมแบบปกติเท่านั้น จากค่าปัจจัยในการบวนการวางชิ้นส่วนของตำแหน่ง IC 1501 ที่มีปัญหาลัดวงจรจากการวิเคราะห์ กระบวนการจึงเลือกปัจจัย การวาง (Placement) ที่ควบคุมระยะการวางแกน Z ในการวางไอซี หรือเรียกอีกอย่างว่าระดับการวาง (Mount Level) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการวิเคราะห์จากแผนผังเหตุและผล ในส่วนของแรงกดในการวางชิ้นส่วน หรือระยะ Z ของหัวจับชิ้นงาน(Nozzle)ที่กดลงแผ่นพีซีบีขณะวาง IC 1501 ซึ่งจากการสังเกต และคิดวิเคราะห์ปัจจัยนี้และจากการสังเกตชิ้นงาน ไอซีที่ถูกวางลงบนแผ่นพีซีบีจะมีโอกาสทำให้ครีملโลหะบัดกรีที่ถูกพิมพ์มาจากระบวนการพิมพ์ เสียรูปทรงได้ดังรูปที่ 3.15 โดยระยะการวางชิ้นส่วนนี้เองก็อาจจะหาขนาดที่เหมาะสมหรือมีผลกระทบน้อยที่สุดต่อความสูงของโลหะบัดกรีและปริมาณของเสียประเภทการลัดวงจรที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.14 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการลัดวงจรจากกระบวนการวางชิ้นส่วน



รูปที่ 3.15 ลักษณะของโลหะบัดกรีหลังการวางชิ้นส่วนบนโลหะบัดกรีและแผ่นพีซีบี

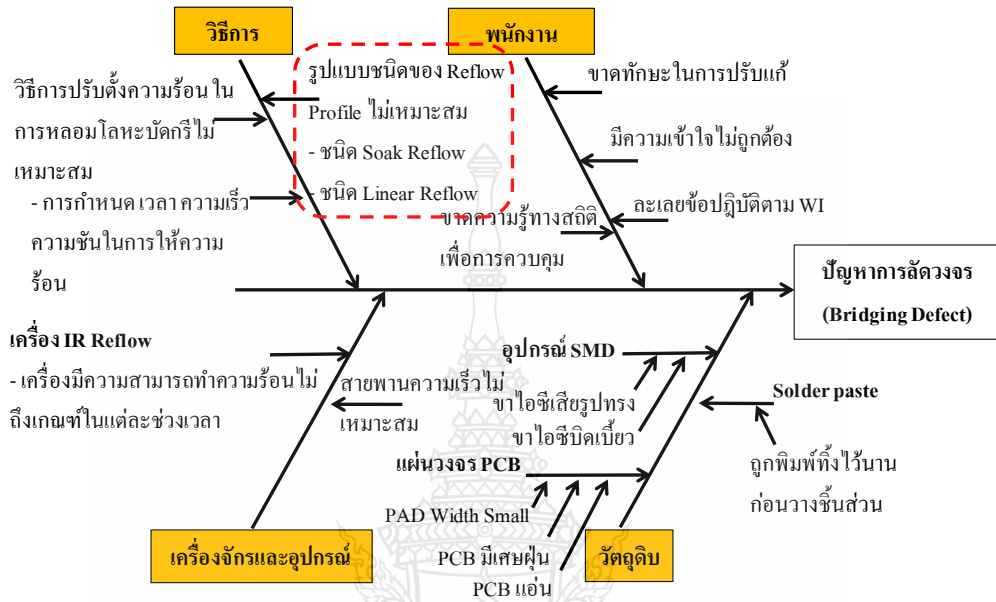
ลักษณะการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 3.15 เป็นลักษณะการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับของระยะการวางที่ค่า Z stock ที่มีค่าแตกต่างกันเมื่อปรับตั้งค่า  $Z_1$  และ  $Z_2$  ที่แตกต่างกันจะทำให้ระยะห่าง  $X_1$  และ  $X_2$  ซึ่งเป็นช่องว่างของโลหะบัดกรีมีระยะห่างของครีมโลหะบัดกรีมีระยะห่างไม่เท่ากัน เมื่อขาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ตกลงบนโลหะบัดกรี ซึ่งจะทำให้ครีมโลหะบัดกรีเกิดการลัดวงจร(Bridging)เมื่อวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีได้

### 3.4.3 กระบวนการหลอมของโลหะบัดกรี (Reflow Soldering)

การกำหนดปัจจัยในการให้ความร้อนแก่ครีมโลหะบัดกรีบนแผ่นพีซีบีที่ได้ผ่านกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีแล้ววางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เสร็จแล้วด้วยวัตถุประสงค์สำหรับการเชื่อมวงจรระหว่างขาของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับลายทองแดงของวงจรถบนแผ่นพีซีบีเพื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆบนแผ่นพีซีบีนี้สามารถทำงานได้ถูกต้อง อยู่ในตำแหน่งตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ส่วนของการเชื่อมต่อก็ต้องเชื่อมต่อสมบูรณ์ด้วย โดยวัตถุประสงค์หลักของกระบวนการหลอมโลหะบัดกรีนี้คือการเชื่อมต่อจะต้องสมบูรณ์สามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดี โดยกระบวนการเชื่อมวงจรจะต้องใช้ความร้อนที่เหมาะสมกับจุดหลอมเหลวของโลหะบัดกรีจึงจะสามารถหลอมละลายและเชื่อมต่อได้อย่างสมบูรณ์ โดยจากการศึกษาคุณสมบัติของชนิดของโลหะบัดกรีจากข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่แสดงข้อแนะนำในการใช้อุณหภูมิตามเอกสารข้อมูลผลิตภัณฑ์(Data Sheet)ซึ่งในกระบวนการปัจจุบันจะใช้รูปแบบของอุณหภูมิเพียงแบบเดียวเท่านั้น แต่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบของผู้ผลิตและพบว่าแบบการให้ความร้อนแก่โลหะบัดกรียังสามารถแบ่งเป็นที่นิยมใช้อยู่ 2 ชนิดคือแบบ Soak Reflow และ Linear Reflow ซึ่งความแตกต่างของรูปแบบการให้ความร้อนจะแตกต่างในเรื่องของระดับความชื้นและความร้อนที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่างกันซึ่งจากสิ่งนี้จึงเป็นอีกทางเลือกที่จะหารูปแบบที่อาจจะเป็น



แก้ปัญหานี้ได้ โดยการออกแบบการทดลองสามารถหารูปแบบที่จะส่งผลกับปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการลดของเสียได้อีกทางหนึ่งเช่นกันดังการวิเคราะห์ในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาการลัดวงจรจากระบวนการ(Reflow Soldering)

จากการวิเคราะห์กระบวนการทั้ง 3 กระบวนการเพื่อพิจารณาและเลือกปัจจัยที่จะนำไปออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี สำหรับใช้กำหนดขั้นตอนการทำงานและค่าการปรับตั้งเครื่องจักรของทั้ง 3 กระบวนการที่เกี่ยวข้องนี้ให้ผลิตงานตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

### 3.5 การออกแบบการทดลอง

จากที่ได้ทำการศึกษากระบวนการและวิเคราะห์ปัญหานั้นพบว่ากิจกรรมที่มีผลกระทบต่อปัญหาการลัดวงจร(Bridging)สามารถเกิดได้จากทั้ง 3 กระบวนการหลักได้แก่ กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing) กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (Pick and Place) และ กระบวนการหลอมของโลหะบัดกรี (Reflow Soldering) และตรวจพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบีที่ขั้นตอนการตรวจสอบอัตโนมัติ (AOI) และ ขั้นตอนของการตรวจสอบด้วยพนักงานตรวจสอบ (QC Visual Inspection) ซึ่งจุดที่จะพบลักษณะปัญหาลัดวงจรนั้นจะอยู่ในรูปแบบของโลหะบัดกรีที่ผ่านการหลอมด้วยความร้อนเชื่อมต่อ

ระหว่างขาไอซีและจุดตัวนำเชื่อมต่อบนแผ่นพีซีบีเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงกำหนดการดำเนินงานของกระบวนการที่มีตามลำดับต่อไปนี้

### 3.5.1 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ดำเนินการทำการทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นจากกระบวนการปัจจุบันจะใช้ค่าความสูงเป็นเป้าหมายในการควบคุมคุณภาพของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี โดยการทดลองตั้งค่าการพิมพ์โลหะบัดกรีให้ความสูงของโลหะบัดกรีที่พิมพ์บนแผ่นพีซีบีออกมาที่ความสูงที่ระดับแตกต่างกันหลายระดับ โดยการทดลองนี้ดำเนินการที่ 3 ระดับเพื่อติดตามและสังเกตผลของของเสียประเภทการลัดวงจร(Bridging)ที่เกิดขึ้นของกระบวนการภายใต้กระบวนการที่เป็นปัจจุบัน และเพื่อหาขนาดตัวอย่างในการออกแบบการทดลองให้เหมาะสม โดยกำหนดสมมติฐานที่ว่าความสูงของโลหะบัดกรีจากการพิมพ์โลหะบัดกรีที่ระดับความสูงปรับตั้งต่างๆ กันมีผลกระทบต่อปริมาณของลักษณะปัญหาการลัดวงจรที่มีสัดส่วนของเสียเป็นเช่นไร โดยทำการทดสอบเบื้องต้นโดยทดสอบการปรับตั้งความสูงของการพิมพ์โลหะบัดกรีที่กระบวนการผลิตปัจจุบัน ที่ควบคุม 3 ระดับ ณ ตำแหน่งของ IC1501 ค่าความสูงปรับตั้งค่าเป้าหมายที่ระดับ  $115 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$ ,  $125 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$  และ  $135 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$  โดยในแต่ละค่าปรับตั้งทดสอบทำการบันทึกปริมาณของลักษณะปัญหาการลัดวงจรที่พบจากเครื่องตรวจสอบโลหะบัดกรีอัตโนมัติ (Screen Printing Inspection : SPI) แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การทดสอบหาสัดส่วนของปัญหาการลัดวงจรที่ระดับความสูง 3 ระดับ ที่พบลักษณะปัญหาการลัดวงจรในกระบวนการผลิต

ลำดับ	ค่า Setting Hi ( $\mu\text{m.}$ )	จำนวนพีซีบี Input (ชิ้น)	จำนวน Bridging (จุด)	สัดส่วน Bridging
1	$115 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$	2000	20	0.0100
2	$125 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$	2000	5	0.0025
3	$135 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$	2000	30	0.0133

ที่มา : ข้อมูลจากสัดส่วนของเสียปัจจุบัน ณ ช่วงเวลาทดสอบจากเครื่อง SPI

พิจารณาสัดส่วนของปัญหาการลัดวงจรเกิดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยปริมาณสัดส่วนของปัญหาการลัดวงจรของประชากรกลุ่มแรกอยู่ที่ 0.0100 และให้สัดส่วนของปัญหาการลัดวงจรของประชากรอีกกลุ่มอื่นๆอยู่ที่ 0.0025 และ 0.0133 ตามลำดับ จากทดสอบเบื้องต้นพบว่าค่าการปรับตั้งจากการทดสอบที่ระดับ  $125 \mu\text{m.} \pm 5 \mu\text{m.}$  ให้ผลของสัดส่วนของปัญหาการลัดวงจรน้อยที่สุด ดังนั้นทำ



การทดสอบความแตกต่างของสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรที่ระดับควบคุม 115  $\mu\text{m}$ .  $\pm \mu\text{m}$ . และสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรที่ระดับควบคุม 125  $\mu\text{m}$ .  $\pm \mu\text{m}$ . โดยใช้การทดสอบความแตกต่างของสัดส่วนของเสียด้วยการทดสอบแบบ 2 Proportion Test จากโปรแกรม Minitab 16 เพื่อทดสอบความแตกต่างของสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรจากการปรับตั้งทั้งสอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$H_0 : P_1 = P_2 \quad (3.1)$$

$$H_1 : P_1 \neq P_2 \quad (3.2)$$

$P_1$  = สัดส่วนของเสียปัญหาลัดวงจรที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้ความสูงที่ระดับ 115  $\mu\text{m}$ .  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

$P_2$  = สัดส่วนของเสียปัญหาลัดวงจรที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้ความสูงที่ระดับ 125  $\mu\text{m}$ .  $\pm 5 \mu\text{m}$ .

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	20	2000	0.010000
2	5	2000	0.002500

Difference = p (1) - p (2)  
 Estimate for difference: 0.0075  
 95% CI for difference: (0.00262096, 0.0123790)  
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 3.01 P-Value = 0.003  
 Fisher's exact test: P-Value = 0.004

### รูปที่ 3.17 ผลการทดสอบสัดส่วนของเสียด้วย 2 Proportion Test

การหาจำนวนตัวอย่างเพื่อยอมรับผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 เพื่อหา Power of Sample Size ที่ระดับ 0.8 โดยขนาด Sample size ของการทดลองที่ได้เท่ากับ 1,733 ขึ้นเป็นจำนวนตัวอย่างที่ต้องการ โดยการทดลองนี้จะใช้ตามชุดการผลิตของฝ่ายผลิตที่ 2,000 บอร์ดตามขนาดการผลิตปกติของโรงงานที่มีปริมาณเพียงพอที่จะใช้ในการทดสอบความแตกต่างของสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรที่เกิดขึ้นและสามารถยอมรับผลการทดสอบนี้ได้

Power and Sample Size			
Test for Two Proportions			
Testing comparison p = baseline p (versus not =)			
Calculating power for baseline p = 0.0025			
Alpha = 0.05			
	Sample	Target	
Comparison p	Size	Power	Actual Power
0.01	1733	0.8	0.800201
The sample size is for each group.			

รูปที่ 3.18 ขนาด Sample Size จาก Power and Sample Size ที่ 0.8

### 3.5.2 การออกแบบการทดลองของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing)

จากการทดลองเบื้องต้นจะใช้การปรับตั้งความสูงของโลหะบัดกรีที่แบบพิมพ์ที่มีความสูงเป้าหมาย 125  $\mu\text{m}$ ,  $\pm 5 \mu\text{m}$ . เป็นตัวแปรตอบสนองเป้าหมายที่ทำให้ปริมาณลักษณะของเสียการลัดวงจรลดลงน้อยที่สุด ดังนั้นจึงนำข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลองในกระบวนการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี โดยใช้ปัจจัยปรับตั้งเครื่องทั้ง 5 ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์แล้วว่าเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี มาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเศษส่วน (Fractional Factorial Designs)  $2^{5-1}$  เรโซลูชัน V มีปัจจัยที่จะทำการออกแบบทดลอง 5 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยที่ 2 ระดับ ที่การทำซ้ำ (Replicates) ที่ 3 ครั้ง โดยจะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $2^{5-1} \times 3$  เท่ากับ 48 การทดลอง โดยแสดงการกำหนดระดับปัจจัยสำหรับทดลองจากตารางที่ 3.3 และใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการออกแบบตารางสำหรับใช้บันทึกผลการทดลองโดยแสดงลักษณะของตารางดังรูปที่ 3.19 โดยทำการทดลองแบบสุ่มตามลำดับของ Run Order

ตารางที่ 3.3 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับทดลองในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

ปัจจัย	ระดับ(level)		หน่วย
	Low(-)	Hi(+)	
A: Pressure Spec	7	12	Kg.
B : Print Speed	50	100	mm/sec.
C: Separate Speed	0.5	2.0	mm/sec.
D: Separate Distance	0.2	2.0	mm.
E: Print Gap	0.00	0.10	mm.

Minitab - การทดลองที่\_FULLPAPER.MPJ - [Worksheet 1 \*\*\*]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Y
1	12	1	1	1	12	100	0.5	2.0	0.0	
2	42	2	1	1	12	50	0.5	2.0	0.1	
3	41	3	1	1	7	50	0.5	2.0	0.0	
4	6	4	1	1	12	50	2.0	0.2	0.1	
5	21	5	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0	
6	24	6	1	1	12	100	2.0	0.2	0.0	
7	2	7	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0	
8	10	8	1	1	12	50	0.5	2.0	0.1	
9	29	9	1	1	7	50	2.0	2.0	0.1	
10	7	10	1	1	7	100	2.0	0.2	0.1	
11	37	11	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0	
12	48	12	1	1	12	100	2.0	2.0	0.1	
13	3	13	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0	
14	46	14	1	1	12	50	2.0	2.0	0.0	
15	47	15	1	1	7	100	2.0	2.0	0.0	
16	20	16	1	1	12	100	0.5	0.2	0.1	
17	23	17	1	1	7	100	2.0	0.2	0.1	
18	11	18	1	1	7	100	0.5	2.0	0.1	
19	18	19	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0	
20	33	20	1	1	7	50	0.5	0.2	0.1	
21	1	21	1	1	7	50	0.5	0.2	0.1	
22	9	22	1	1	7	50	0.5	2.0	0.0	
23	43	23	1	1	7	100	0.5	2.0	0.1	
24	8	24	1	1	12	100	2.0	0.2	0.0	
25	5	25	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0	
26	17	26	1	1	7	50	0.5	0.2	0.1	

Current Worksheet: Worksheet 1

รูปที่ 3.19 ลักษณะตารางจากการออกแบบการทดลอง Fractional Factorial  $2^{5-1}$  ด้วย Minitab 16

### 3.5.3 การออกแบบการทดลองในการวางอุปกรณ์ลงบนแผ่นพีซีบีด้วยเครื่องวางอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ (Pick and Place) และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Soldering)

จะใช้ค่าเป้าหมายปรับตั้งความสูงของโลหะบัดกรีที่  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ . ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นมาใช้ในการออกแบบการทดลองในส่วนของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี และการให้ความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรีเพื่อเชื่อมต่อขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับวงจรบนแผ่นพีซีบี โดยการออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial ของระดับการวาง (Mount Level) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ 3 ระดับคือ 0.0, 0.3, 0.5 mm. และรูปแบบของความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรี 2 แบบ คือแบบ Soak Reflow และ Linear Reflow ที่การทำซ้ำ (Replicates) ที่ 5 ครั้ง โดยจะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $3 \times 2 \times 5$  เท่ากับ 30 การทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่สามารถทำให้จำนวนของลักษณะปัญหาลัดวงจร (Bridging) น้อยที่สุด

ตารางที่ 3.4 การกำหนดระดับของปัจจัยในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับรูปแบบการหลอมโลหะบัดกรี

ปัจจัย	ระดับ	ระดับ		
		1	2	3
ระดับในการวาง ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level)	3	0.0 mm.	0.3 mm.	0.5 mm.
รูปแบบการหลอม โลหะบัดกรี (Reflow Type)	2	Soak Reflow	Linear Reflow	

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Mount Level	Reflow Type	Bridging Point
1	29	1	1	1	0.5	1	
2	1	2	1	1	0.0	1	
3	5	3	1	1	0.5	1	
4	14	4	1	1	0.0	2	
5	24	5	1	1	0.5	2	
6	21	6	1	1	0.3	1	
7	13	7	1	1	0.0	1	
8	2	8	1	1	0.0	2	
9	28	9	1	1	0.3	2	
10	27	10	1	1	0.3	1	
11	25	11	1	1	0.0	1	
12	30	12	1	1	0.5	2	
13	8	13	1	1	0.0	2	
14	11	14	1	1	0.5	1	
15	10	15	1	1	0.3	2	
16	23	16	1	1	0.5	1	
17	15	17	1	1	0.3	1	
18	20	18	1	1	0.0	2	
19	22	19	1	1	0.3	2	
20	6	20	1	1	0.5	2	
21	7	21	1	1	0.0	1	
22	4	22	1	1	0.3	2	
23	26	23	1	1	0.0	2	
24	19	24	1	1	0.0	1	
25	17	25	1	1	0.5	1	
26	18	26	1	1	0.5	2	

รูปที่ 3.20 ลักษณะตารางจากการออกแบบการทดลอง General Full Factorial ด้วย Minitab 16

### 3.5.4 การวิเคราะห์ผลจากการออกแบบการทดลอง

จากการออกแบบการทดลอง เมื่อได้ผลจากผลการทดลองทั้งหมดครบถ้วนแล้ว สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยใช้ โดย การพิจารณาการทดสอบความพอเพียงของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยใช้ กราฟ 4 in 1 การพิจารณาผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) และพิจารณาค่า P-Value ของปัจจัยที่ ทำการทดลอง เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลและส่งผล โดยตรงต่อกระบวนการและหาระดับการ ควบคุมที่ระดับที่เหมาะสม จากการกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบกับกระบวนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ เพื่อนำไปทดลองและกำหนดใช้ในกระบวนการผลิต

### 3.5.5 การเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

จากนั้นติดตามผลของการปรับปรุงด้วยวิธีการใหม่ที่ได้ปัจจัยควบคุมจากการ ออกแบบการทดลองโดยการบันทึกผลผลิตของกระบวนการหลังการปรับปรุงนำเปรียบเทียบผลผลิตใน อดีตที่เกิดขึ้นและทำการยืนยันผลทางสถิติแล้วสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมด



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานและข้อมูลที่รวบรวมในบทที่ 3 โดยได้ดำเนินการศึกษากระบวนการเก็บและรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกับทีมงานที่ร่วมกันปฏิบัติงานในกระบวนการเพื่อดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการลัดวงจร(Bridging)ของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีใน โมเดลของผลิตภัณฑ์ที่ซึ่งเป็นรุ่นการผลิตที่พบปัญหามากที่สุด พร้อมทั้งการวิเคราะห์ปัญหาจากกระบวนการเดิม ด้วยเครื่องมือคุณภาพ เพื่อระบุปัจจัยของกระบวนการที่มีโอกาสทำให้เกิดปัญหาและความแปรปรวนในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีจากกระบวนการภายใน 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี(Screen Printing) กระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบี(Pick and Place) และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี(Reflow Soldering) และดำเนินการตามการขั้นตอนจากการออกแบบผลการทดลองซึ่งมีผลการทดลองตามลำดับต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการออกแบบการทดลอง $2^{k-p}$ ในส่วนของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

โดยการทดสอบเบื้องต้นจากบทที่ 3 ของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี ที่ความสูงของโลหะบัดกรี(Solder Paste) ที่ระดับ  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$  จะให้ปริมาณของเสียต่ำที่สุด ดังนั้นจึงนำตัวแปรตอบสนองคือค่าความสูงของโลหะบัดกรีของกระบวนการพิมพ์นี้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยควบคุมการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี(Screen Printing) ที่ให้ปริมาณสัดส่วนของเสียประเภทการเกิดปัญหาการลัดวงจร(Bridging) ต่ำที่สุดมาดำเนินการทดลองในการหาปัจจัยของการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีที่ส่งผลกระทบ โดยการกำหนดปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีที่ใช้อยู่ปัจจุบันทั้ง 5 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับการปรับตั้งกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญมาใช้สำหรับหาค่าควบคุมที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ปัจจัย A คือปัจจัยแรงกดไบนปาด(Pressure Spec)ที่กำหนดใช้โดยกำหนดใช้ด้วยค่าที่เหมาะสมภายในกระบวนการในระดับแรงกดเริ่มต้นที่ 7 Kg. ถึง ช่วงแรงกดสุดท้ายที่ 12 Kg. ซึ่งเป็นค่าที่ปรับใช้ในการผลิตของช่วงที่ใช้งานสำหรับการผลิตและอยู่ในระดับปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ต่างๆ

ปัจจัย B คือปัจจัยความเร็วของการปาด(Print Speed)ที่กำหนดใช้โดยกำหนดใช้ด้วยค่าที่เหมาะสมภายในกระบวนการในช่วงความเร็วเริ่มต้นที่ 50 มิลลิเมตร/วินาที ถึง ช่วงความเร็วที่ 100 มิลลิเมตร/วินาที

ปัจจัย C คือปัจจัยความเร็วการแยกจาก(Separate Speed)ที่กำหนดใช้โดยกำหนดใช้ในช่วงความเร็วเริ่มต้นที่ 0.5 มิลลิเมตร/วินาที ถึง ช่วงความเร็วสุดท้ายที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที

ปัจจัย D คือปัจจัยระยะการแยกจาก(Separate Distance)ที่กำหนดใช้โดยกำหนดห่างของการถอดแบบพิมพ์ในช่วงความเร็วที่ระดับ 0.2 มิลลิเมตร ถึง ช่วงความเร็วที่ 2.0 มิลลิเมตร

ปัจจัย E คือปัจจัยช่องว่างระหว่างแบบพิมพ์กับแผ่นพีซีบี(Print Gap)ที่กำหนดใช้โดยกำหนดการระยะการแนบสนิทกันของแผ่นแบบพิมพ์และผิวของแผ่นวงจรให้ชิดกัน โดยกำหนดใช้ในช่วงระยะที่ 0.0 มิลลิเมตร ถึง ช่วงระยะที่ 0.1 มิลลิเมตร

จากรูปแบบการทดลองที่ออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab 16 ดำเนินการออกแบบการทดลองในส่วนที่ 1 ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองในกระบวนการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี โดยเลือกปัจจัยปรับตั้งเครื่องพิมพ์เพื่อดำเนินการทดลองด้วยรูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเศษส่วน  $2^{5-1}$  มีปัจจัยที่จะทำการออกแบบทดลอง 5 ปัจจัยและมีแต่ละระดับปัจจัยที่ 2 ระดับ ทำซ้ำ (Replicates) ที่ 3 ครั้งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $2^{5-1} \times 3$  เท่ากับ 48 การทดลอง โดยทำการทดลองแบบสุ่มที่ละแบบการทดลองไปตามลำดับ Run Order บันทึกค่าของความสูงที่ได้จากการวัด SPI ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

ปัจจัย	ระดับ(level)	
	ต่ำ (Low) (-1)	สูง (Hi) (+1)
A : Pressure Spec	7 Kg	12 Kg
B : Print Speed	50 mm./sec	100 mm./sec
C : Separate Speed	0.5 mm.	2 mm.
D : Separate Distance	0.2 mm.	2 mm.
E : Print Gap	0.0 mm.	0.1 mm.

กำหนดตัวแปรต้นคือปัจจัยที่ส่งผลต่อความสูงของโลหะบัดกรีได้แก่ ปัจจัย A,B,C,D และ E และ กำหนดตัวแปรตามคือความสูงโลหะบัดกรีที่ได้จากกระบวนการพิมพ์ นำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ออกแบบการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยการปรับตั้งเครื่อง(Screen Printing) ที่มีผล กับความสูงของโลหะบัดกรี

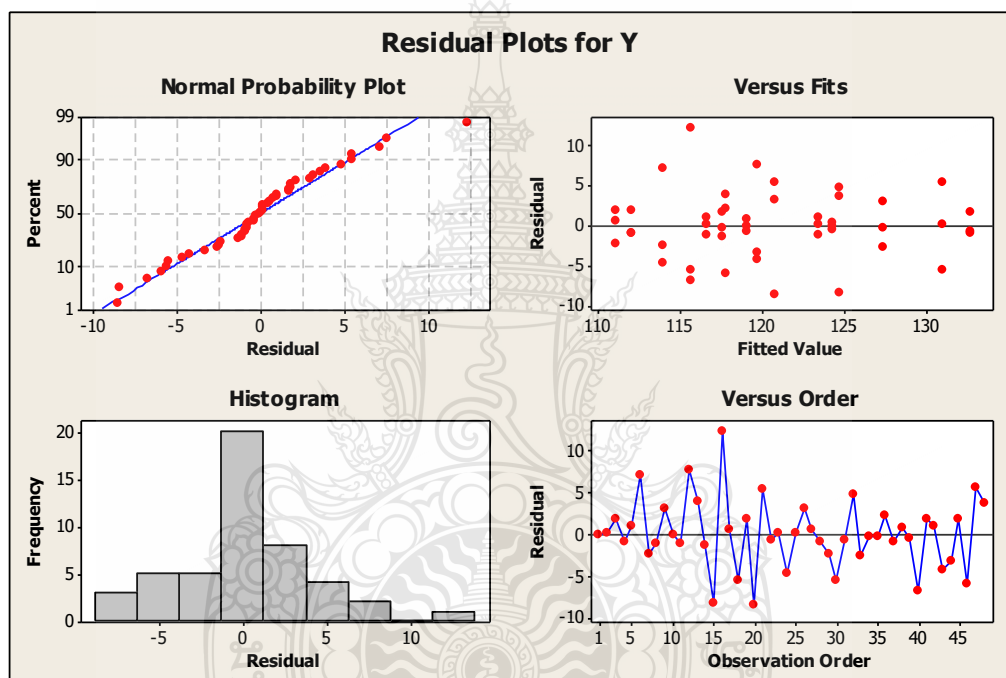
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Y
				Pressure	Speed	Separate Speed	Separate Distance	Print Gap	Hi (µm.)
12	1	1	1	12	100	0.5	2	0.0	119.0
42	2	1	1	12	50	0.5	2	0.1	116.7
41	3	1	1	7	50	0.5	2	0.0	134.4
6	4	1	1	12	50	2	0.2	0.1	111.0
21	5	1	1	7	50	2	0.2	0.0	124.4
24	6	1	1	12	100	2	0.2	0.0	121.1
2	7	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0	108.7
10	8	1	1	12	50	0.5	2	0.1	115.5
29	9	1	1	7	50	2	2	0.1	130.3
7	10	1	1	7	100	2	0.2	0.1	124.2
37	11	1	1	7	50	2	0.2	0.0	122.3
48	12	1	1	12	100	2	2	0.1	127.3
3	13	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0	121.6
46	14	1	1	12	50	2	2	0.0	116.2
47	15	1	1	7	100	2	2	0.0	116.3
20	16	1	1	12	100	0.5	0.2	0.1	127.9
23	17	1	1	7	100	2	0.2	0.1	124.7
11	18	1	1	7	100	0.5	2	0.1	125.3
18	19	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0	112.9
33	20	1	1	7	50	0.5	0.2	0.1	112.2
1	21	1	1	7	50	0.5	0.2	0.1	126.2
9	22	1	1	7	50	0.5	2	0.0	131.9
43	23	1	1	7	100	0.5	2	0.1	131.1
8	24	1	1	12	100	2	0.2	0.0	109.3



StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Y
				Pressure	Speed	Separate	Separate	Print	Hi
						Speed	Distance	Gap	( $\mu\text{m.}$ )
5	25	1	1	7	50	2	0.2	0.0	123.6
17	26	1	1	7	50	0.5	0.2	0.1	123.9
34	27	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0	111.6
25	28	1	1	7	50	0.5	2	0.0	131.7
40	29	1	1	12	100	2	0.2	0.0	111.5
4	30	1	1	12	100	0.5	0.2	0.1	110.1
28	31	1	1	12	100	0.5	2	0.0	118.4
31	32	1	1	7	100	2	2	0.0	129.5
13	33	1	1	7	50	2	2	0.1	124.7
45	34	1	1	7	50	2	2	0.1	127.0
14	35	1	1	12	50	2	2	0.0	117.2
19	36	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0	119.9
22	37	1	1	12	50	2	0.2	0.1	111.1
44	38	1	1	12	100	0.5	2	0.0	119.8
39	39	1	1	7	100	2	0.2	0.1	123.8
36	40	1	1	12	100	0.5	0.2	0.1	108.8
30	41	1	1	12	50	2	2	0.0	119.3
26	42	1	1	12	50	0.5	2	0.1	117.6
32	43	1	1	12	100	2	2	0.1	115.5
16	44	1	1	12	100	2	2	0.1	116.4
38	45	1	1	12	50	2	0.2	0.1	113.8
35	46	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0	111.8
27	47	1	1	7	100	0.5	2	0.1	136.4
15	48	1	1	7	100	2	2	0.0	128.3

จากการนำข้อมูลจากการทดลองลงในตารางที่ได้จากโปรแกรม Minitab 16 เพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์โดยเลือกคำสั่ง Stat>DOE>Display Design เพื่อจัดลำดับข้อมูลเป็นแบบ Standard order for design และ Unit for factors เป็น Uncoded units เพื่อให้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการใช้โปรแกรม จากนั้นให้ใช้คำสั่ง Stat> DOE > Factorial > Analyze Factorial Design เพื่อทำการวิเคราะห์จะปรากฏกราฟดังรูปที่ 4.1 และข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.4 สำหรับทำการวิเคราะห์ตามลำดับ

#### 4.1.1 การทดสอบความพอเพียงของการทดลองของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี



รูปที่ 4.1 กราฟ 4 in 1 Chart สำหรับวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูลของการทดลอง

การพิจารณาความพอเพียงของการทดลองเป็นการตรวจสอบเพื่อทบทวนให้ทราบว่าข้อมูลที่ได้ทำการทดลองมีสมมติฐานว่ารูปแบบของส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากข้อมูลการทดลองต้องเป็นไปตามหลักการ  $\varepsilon_{ij} - NID(0, \sigma^2)$  คือค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์ และ  $\sigma^2$  ความแปรปรวนมีค่าคงตัว (Stability) จึงทำให้ข้อมูลจากการทดลองถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยจากการใช้โปรแกรม Minitab Function : Stat > DOE > Factorial > Analysis Factorial Design วิเคราะห์ความพอเพียงจากกราฟ 4 in 1 Graph ที่แสดงส่วนที่เหลือของผล (Residual

Plot for Y) ทั้ง 4 กราฟเพื่อการทดสอบพารามेटริก โดยข้อมูลทั้ง 4 เงื่อนไขจะใช้ตรวจสอบความเพียงพอของการทดลอง ใช้ตรวจสอบ  $\mathcal{E}_j$  และความเป็นไปได้ตามข้อสมมติฐานที่แสดงต่อไปนี้

4.1.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้างโดยดูจากการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวรอบเส้นตรงแบบปกติ ซึ่งแสดงได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติดังรูปที่ 4.1 ด้านบนซ้าย

4.1.1.2 ฮิสโตแกรม (Histogram) จากรูปภาพด้านล่างซ้ายของรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะข้อมูลที่อยู่ทั้งสองฝั่งซึ่งเป็นการกระจายตัวในรูปแบบปกติ โดยจะมีลักษณะเป็นรูปแบบการกระจายแบบระฆังคว่ำแสดงได้ว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติสามารถใช้เพื่อการพิจารณาได้

4.1.1.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) จากกราฟ Versus Fits ของรูปที่ 4.1 ด้านขวามือพบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวที่เป็นแบบอิสระ ไม่เป็นรูปแบบแน่นอนแสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันทั้งด้านบวกและด้านลบไม่เป็นลักษณะของรูปแบบลำโพงปากเปิดด้านใดด้านหนึ่ง จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ข้อมูลพิจารณาได้

4.1.1.4 ลำดับส่วนต่อด้านส่วนตกค้าง (Residual Plot versus Order) ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเป็นการกระจายแบบสุ่มพบว่า ไม่เป็นรูปแบบการกระจายที่ชัดเจน มีรูปแบบไม่แน่นอนไม่สามารถประมาณได้เป็นรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าส่วนตกค้างมีอิสระต่อกันสามารถใช้พิจารณาได้

กราฟซ้ายบนและซ้ายล่างแสดงเงื่อนไขการเป็น Normal เนื่องจากข้อมูลอยู่บนเส้นแสดงให้เห็นการแจกแจงแบบปกติ และกราฟด้านขวามือและขวาล่าง Versus fits แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแบบสุ่ม แสดงว่าความแปรปรวนแต่ละกลุ่มเท่าๆกัน ส่วน Versus Order แสดงค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ไม่เป็นรูปแบบใดแบบหนึ่งชัดเจน ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการพิจารณาต่อไปได้ และอ่านค่า P-Value ที่ได้

#### 4.1.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการวิเคราะห์ความพอเพียงของแบบจำลองจากกราฟ 4 in 1 แล้วสรุปได้ว่าผลการทดลองที่ได้ มีความน่าเชื่อถือสามารถใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบหาสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ว่าปัจจัยใดเป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อความสูงของโลหะบัดกรีจากกระบวนการพิมพ์

สมมติฐานการวิจัย:

- 1) ปัจจัย A มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 2) ปัจจัย B มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี

- 3) ปัจจัย C มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 4) ปัจจัย D มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 5) ปัจจัย E มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 6) ปัจจัยร่วม AB มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 7) ปัจจัยร่วม AC มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 8) ปัจจัยร่วม AD มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 9) ปัจจัยร่วม AE มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 10) ปัจจัยร่วม BC มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 11) ปัจจัยร่วม BD มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 12) ปัจจัยร่วม BE มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 13) ปัจจัยร่วม CD มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 14) ปัจจัยร่วม CE มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี
- 15) ปัจจัยร่วม DE มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี

สมมติฐานทางสถิติ:

- 1)  $H_{0A} : \alpha_i = 0$  ทุกค่า  $i \quad i = 7, 12$   
 $H_{1A} : \alpha_i \neq 0$  บางค่า  $i$
- 2)  $H_{0B} : \beta_j = 0$  ทุกค่า  $j \quad j = 50, 100$   
 $H_{1B} : \beta_j \neq 0$  บางค่า  $j$
- 3)  $H_{0C} : \gamma_k = 0$  ทุกค่า  $k \quad k = 0.5, 2.0$   
 $H_{1C} : \gamma_k \neq 0$  บางค่า  $k$
- 4)  $H_{0D} : \delta_m = 0$  ทุกค่า  $m \quad m = 0.2, 2$   
 $H_{1D} : \delta_m \neq 0$  บางค่า  $m$
- 5)  $H_{0E} : \epsilon_n = 0$  ทุกค่า  $n \quad n = 0.0, 0.1$   
 $H_{1E} : \epsilon_n \neq 0$  บางค่า  $n$
- 6)  $H_{0AB} : (\alpha\beta)_{ij} = 0$  ทุกค่า  $i, j \quad i = 7, 12$  และ  $j = 50, 100$

- $H_{IAB} : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$  บางค่า  $i, j$   
 7)  $H_{0AC} : (\alpha\gamma)_{ik} = 0$  ทุกค่า  $i, k$   $i = 7, 12$  และ  $k = 0.5, 2.0$   
 $H_{IAC} : (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$  บางค่า  $i, k$   
 8)  $H_{0AD} : (\alpha\delta)_{im} = 0$  ทุกค่า  $i, m$   $i = 7, 12$  และ  $m = 0.2, 2$   
 $H_{IAD} : (\alpha\delta)_{im} \neq 0$  บางค่า  $i, m$   
 9)  $H_{0AE} : (\alpha\varepsilon)_{in} = 0$  ทุกค่า  $i, n$   $i = 7, 12$  และ  $n = 0.0, 0.1$   
 $H_{IAE} : (\alpha\varepsilon)_{in} \neq 0$  บางค่า  $i, n$   
 10)  $H_{0BC} : (\beta\gamma)_{jk} = 0$  ทุกค่า  $j, k$   $j = 50, 100$  และ  $k = 0.5, 2.0$   
 $H_{IBC} : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$  บางค่า  $j, k$   
 11)  $H_{0BD} : (\beta\delta)_{jm} = 0$  ทุกค่า  $j, m$   $j = 50, 100$  และ  $m = 0.2, 2$   
 $H_{IBD} : (\beta\delta)_{jm} \neq 0$  บางค่า  $j, m$   
 12)  $H_{0BE} : (\beta\varepsilon)_{jn} = 0$  ทุกค่า  $j, n$   $j = 50, 100$  และ  $n = 0.0, 0.1$   
 $H_{IBE} : (\beta\varepsilon)_{jn} \neq 0$  บางค่า  $j, n$   
 13)  $H_{0CD} : (\gamma\delta)_{km} = 0$  ทุกค่า  $k, m$   $k = 0.5, 2.0$  และ  $m = 0.2, 2$   
 $H_{ICD} : (\gamma\delta)_{km} \neq 0$  บางค่า  $k, m$   
 14)  $H_{0CE} : (\gamma\varepsilon)_{kn} = 0$  ทุกค่า  $k, n$   $k = 0.5, 2.0$  และ  $n = 0.0, 0.1$   
 $H_{ICE} : (\gamma\varepsilon)_{kn} \neq 0$  บางค่า  $k, n$   
 15)  $H_{0DE} : (\delta\varepsilon)_{mn} = 0$  ทุกค่า  $m, n$   $m = 0.2, 2$  และ  $n = 0.0, 0.1$   
 $H_{IDE} : (\delta\varepsilon)_{mn} \neq 0$  บางค่า  $m, n$

ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้ออกมา สามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อความสูงของโลหะบัดกรี

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units) ของ  
กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		120.463	0.7099	169.68	0.000
A	-9.533	-4.767	0.7099	-6.71	<b>0.000</b>
B	0.575	0.287	0.7099	0.4	0.688
C	-0.192	-0.096	0.7099	-0.13	0.893
D	6.225	3.112	0.7099	4.38	<b>0.000</b>
E	0.867	0.433	0.7099	0.61	0.546
A*B	2.217	1.108	0.7099	1.56	0.128
A*C	0.417	0.208	0.7099	0.29	0.771
A*D	-1.133	-0.567	0.7099	-0.8	0.431
A*E	-0.308	-0.154	0.7099	-0.22	0.829
B*C	0.008	0.004	0.7099	0.01	0.995
B*D	-0.508	-0.254	0.7099	-0.36	0.723
B*E	2.883	1.442	0.7099	2.03	0.051
C*D	-2.292	-1.146	0.7099	-1.61	0.116
C*E	0.033	0.017	0.7099	0.02	0.981
D*E	-0.717	-0.358	0.7099	-0.5	0.617
S = 4.91848		PRESS = 1741.79			
R-Sq = 70.14%		R-Sq(pred) = 32.82%		R-Sq(adj) = 56.15%	

จากตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลจะพบว่า จะพิจารณาค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 70.14 เปอร์เซ็นต์ และ R-Sq(Adj) มีค่าเท่ากับ 56.15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการทดสอบ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจที่ปรับแล้ว R-Sq(Adj) ซึ่งบ่งบอกว่าปัจจัยทั้ง 5 ที่นำมาทดลองมีอิทธิพลต่อตัวแปรอิสระและตัวแปรตามซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับ 56.15 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะมีส่วนที่เหลืออีก 43.85 เปอร์เซ็นต์ที่มีอิทธิพลจากปัจจัยอื่นที่ยังไม่อาจทราบได้ในการทดลองครั้งนี้ ซึ่งอาจจะมาจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้อื่นๆ

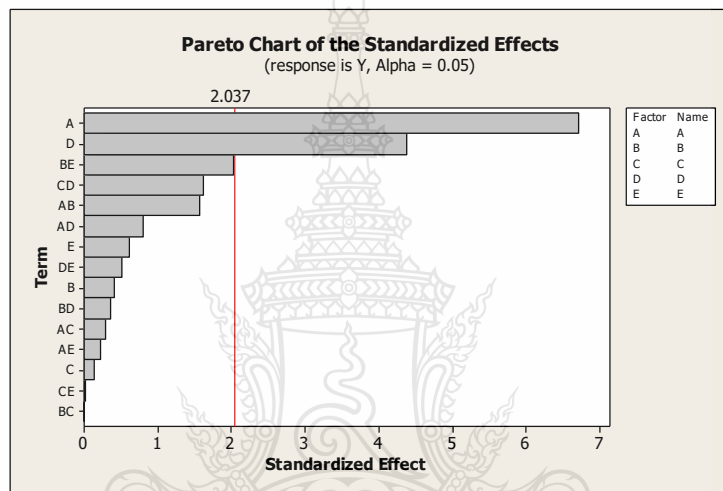
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	1569.04	1569.04	313.81	12.97	0.000
A	1	1090.61	1090.61	45.08	<b>0.000</b>	
B	1	3.97	3.97	0.16	0.688	
C	1	0.44	0.44	0.02	0.893	
D	1	465.01	465.01	19.22	<b>0.000</b>	
E	1	9.01	9.01	0.37	0.546	
2-Way Interactions	10	249.66	249.66	24.97	1.030	0.440
A*B	1	58.96	58.96	2.44	0.128	
A*C	1	2.08	2.08	0.09	0.771	
A*D	1	15.41	15.41	0.64	0.431	
A*E	1	1.14	1.14	0.05	0.829	
B*C	1	0.00	0.00	0.00	0.995	
B*D	1	3.10	3.10	0.13	0.723	
B*E	1	99.76	99.76	4.12	0.051	
C*D	1	63.02	63.02	2.61	0.116	
C*E	1	0.01	0.01	0.00	0.981	
D*E	1	6.16	6.16	0.25	0.617	
Residual Error	32	774.13	774.13	24.19		
Pure Error	32	774.13	774.13	24.19		
Total	47	2592.83				

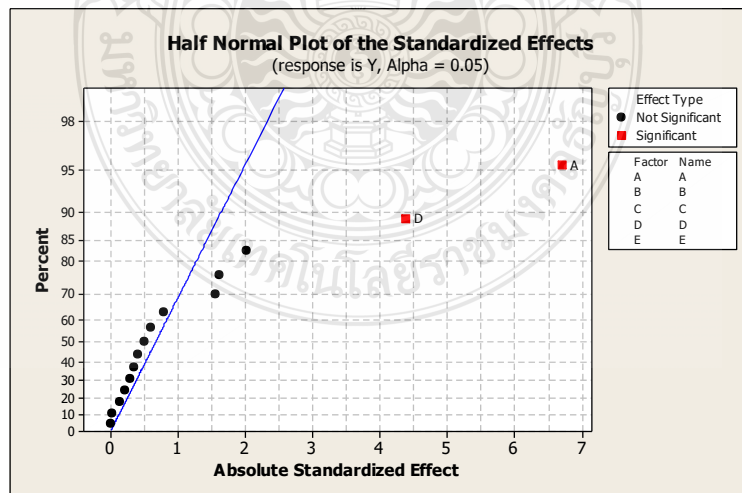
การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากผลการทดลองโดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ได้จากผลวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)ของผลกระทบจากปัจจัยหลัก(Main Effect)และผลกระทบจากปัจจัยร่วม(Interaction Effect) ที่จะนำมาพิสูจน์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ(Significant)ที่ระดับ 0.05 โดยหากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  แสดงว่าปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วมนั้นมีอิทธิพลกับความสูงของโลหะบัดกรี จากตารางที่ 4.4 ผลกระทบของปัจจัยที่ทำการทดลองพบว่ามีเพียงปัจจัยหลักเท่านั้นที่มีอิทธิพลกับความสูงของโลหะบัดกรีอยู่ 2 ปัจจัย คือ A : Pressure Spec แรง

ในการกด และ D: Separate Distance ระยะของการแยกจากระหว่าง Stencil กับ แผ่นพีซีบีโดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสูงของโลหะบัดกรีที่ 4.92  $\mu\text{m}$ .

นอกจากจะอ่านค่าปัจจัยที่มีผลกระทบจากตาราง ANOVA แล้วยังสามารถดูจากกราฟ (Pareto Chart of the Standardized Effects) และกราฟ (Half Normal Plot of the Standardized Effects) เพื่อดูปัจจัยที่มีผลกับคุณภาพการพิมพ์โลหะบัดกรี โดยจะแสดงสัญลักษณ์ “ ■ “ ให้เห็นปัจจัย A : Pressure Spec แรงในการกด และ D: Separate Distance ระยะของการแยกจากระหว่าง Stencil กับแผ่นพีซีบีว่าเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบกับคุณภาพการพิมพ์โลหะบัดกรีอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.2 กราฟ Pareto Chart of the Standardized Effects ของการพิมพ์โลหะบัดกรี



รูปที่ 4.3 กราฟ Half Normal Plot of the Standardized Effects ของการพิมพ์โลหะบัดกรี



จากราฟรูปที่ 4.3 สามารถแสดงเปอร์เซ็นต์ของปัจจัยที่มีผลกระทบกับคุณภาพการพิมพ์โลหะบัดกรีอย่างมีนัยสำคัญระดับ  $\alpha = 0.05$  คือปัจจัย ที่ significant พบว่าปัจจัย A และปัจจัย D ตามลำดับ

#### 4.1.3 การวิเคราะห์โครงสร้างคู่แฝดแฝง (Aliases Structure)

เมื่อทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน Fractional Factorial Design ( $2^{5-1}$ ) ซึ่งเป็นการทดลองไม่ครบก่อให้เกิด ปรากฏการณ์หนึ่งเสมอเรียกว่าอันตรกิริยาคู่แฝดแฝง (Aliases) หรือคอนฟาวด์ (Confound) หมายถึงการปนกันหรือติดกันจนแยกไม่ออก ซึ่งจะมีผลให้ Effect ที่ได้มีค่าปนกันหรือเรียกว่ามีโครงสร้างคู่แฝดแฝง ทำการแยก Aliases โดยพิจารณาจากกฎคือ

4.1.3.1 ถ้าปัจจัยหลัก(Main Effect) เป็น Aliases กับ 3 Way interaction ขึ้นไปให้ถือว่า Effect นั้นเป็นของปัจจัยหลัก

4.1.3.2 ถ้าปัจจัยร่วม (Interaction) เป็น Aliases กับ Interaction ที่มี Order ไม่เท่ากันให้ถือว่า Effect นั้นเป็น Interaction ของ Interaction ที่มี Order น้อยกว่า

4.1.3.3 ถ้าปัจจัยร่วม (Interaction) เป็น Aliases กับ Interaction ที่มี Order เท่ากันให้ปฏิบัติดังนี้

1) ถ้ามีความรู้ก่อนหน้าจากการแยก Aliases ของ Main Effect เพียงพอก็สามารถแยกได้

2) ถ้ามีความรู้ก่อนหน้าไม่เพียงพอ ก็ไม่สามารถแยก Aliases ได้ ต้องทำการทดลองเพิ่มอีก 1 เท่าของการทดลองเดิม

จาก Alias Structure ของปัจจัย A และ D เลือกพิจารณาปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

$A + C*B*D*E$  กฎข้อที่ 1 เป็น Effect ของ A

$D + A*B*C*E$  กฎข้อที่ 1 เป็น Effect ของ D

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัย A : Pressure Spec แรงในการกด และ D: Separate Distance ระยะของการแยกจากระหว่าง Stencil กับแผ่นพีซีบีที่มีผลต่อความสูงของโลหะบัดกรีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

#### 4.1.4 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาการลัดวงจร (Bridging) น้อยลงโดยกำหนดเป้าหมายความสูงของโลหะบัดกรีที่ระดับความสูงที่ระดับ  $125 \mu\text{m} \pm 5\mu\text{m}$ . โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ด้วยฟังก์ชัน Stat>DOE>Factorial>Factorial Plots>Main Effects Plot โดยจะทำการตัดปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบออกและนำเฉพาะปัจจัยที่มีผลกระทบคือปัจจัย (A: Pressure) และ

ปัจจัย (D: Separate Distance) สำหรับการวิเคราะห์และแสดงค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะปัจจัยที่มีผลกระทบของการทดลองดังตารางที่ 4.5 และสมการที่ 4.1 พร้อมแสดงกราฟ Main Effects ดังรูปที่ 4.4

**ตารางที่ 4.5** ค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูลหลังการตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

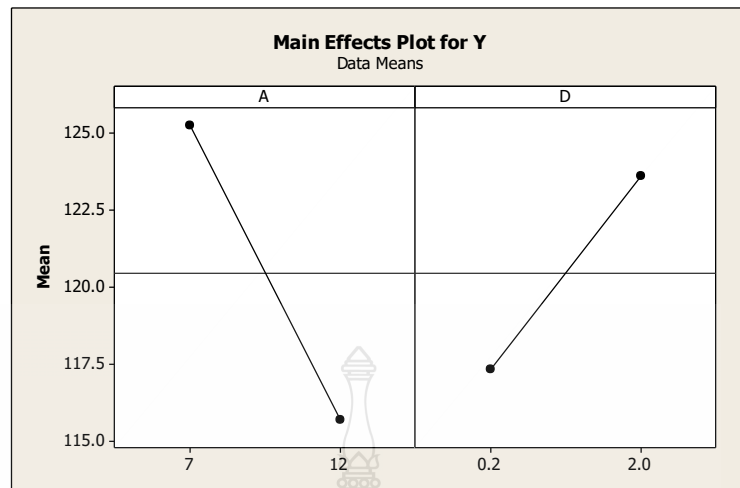
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	1555.62	1555.62	777.81	33.75	0.000
A	1	1090.61	1090.61	1090.61	47.32	0.000
D	1	465.01	465.01	465.01	20.17	0.000
Residual Error	45	1037.21	1037.21	23.05		
Lack of Fit	1	15.41	15.41	15.41	0.66	0.420
Pure Error	44	1021.80	1021.80	23.22		
Total	47	2592.83				

Estimated Coefficients for Y using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	134.772
A	-1.90667
D	3.45833

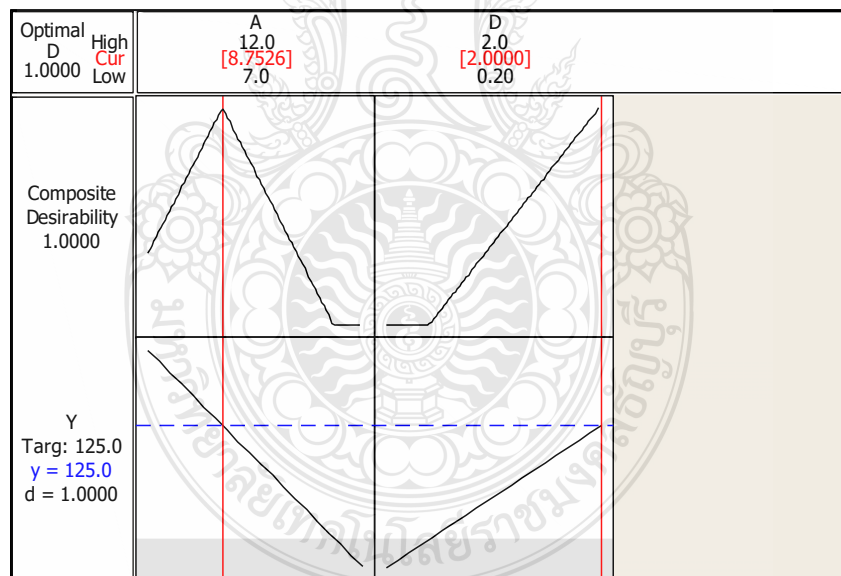
สมการสัมประสิทธิ์ของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีแสดงได้ดังนี้

$$Y = 134.772 - 1.90667(A) + 3.45833(D) \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.4 กราฟ Main Effect ของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อขนาดความสูงของโลหะบัดกรี

จากนั้นใช้ Minitab 16 หาค่าที่ดีที่สุด ด้วย Stat>DOE>Factorial>Factorial>Plots>Response Optimizer ทำการหาระดับปัจจัยที่ความสูงครีมีโลหะบัดกรีที่ระดับ  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ .



รูปที่ 4.5 กราฟ Optimization Plot แสดงขนาดปัจจัยที่ให้ความสูงของโลหะบัดกรีที่  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ .

จากกราฟการหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการที่ต้องการความสูงของโลหะบัดกรีที่ค่าเป้าหมายที่  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ . ซึ่งเป็นความสูงที่เกิดปัญหาการลัดวงจรน้อยที่สุด จะได้ค่าการปรับตั้ง

แรงกด (Pressure Spec) บ้างจ้ย A ที่ 8.75 Kg. และระยะห่างการแยกจาก (Separate Distance) บ้างจ้ย D ที่ 2 mm. จะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด

## 4.2 ผลการออกแบบการทดลองของกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีและกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี

ในส่วนที่ 2 เป็นการออกแบบการทดลองของกระบวนการลำดับถัดมาจากระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี สำหรับการทดลองเพื่อหาบ้างจ้ยที่ส่งต่อปัญหาการฉีกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial เพื่อพิจารณาระดับบ้างจ้ยสำหรับการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดปริมาณการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้น โดยกำหนดบ้างจ้ยในการออกแบบการทดลองในตารางที่ 4.5 ที่รูปแบบของการหลอมโลหะบัดกรี 2 รูปแบบ คือ Soak Reflow และ Linear Reflow กำหนด บ้างจ้ยตอบสนอง Y คือ ปริมาณการเกิดปัญหาการลัดวงจรที่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบี นำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ออกแบบการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ระดับของบ้างจ้ยในการออกแบบการทดลองของกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กับกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี

บ้างจ้ย	ระดับ	ระดับ		
		1	2	3
A <sub>mount</sub> : ระดับในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level)	3	0.0 mm.	0.3 mm.	0.5 mm.
B <sub>Reflow</sub> : รูปแบบการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Type)	2	Soak Reflow	Linear Reflow	

กำหนดตัวแปรต้น 2 บ้างจ้ย คือ บ้างจ้ยที่ส่งผลกระทบต่อความสูงของโลหะบัดกรี ได้แก่ บ้างจ้ย

A<sub>mount</sub>: Mount Level,

B<sub>Reflow</sub>: Reflow Type

กำหนดตัวแปรตามคือจำนวนลักษณะปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้น นำค่าที่ได้ไปใส่ในตารางที่ออกแบบการทดลองดังตารางที่ 4.7

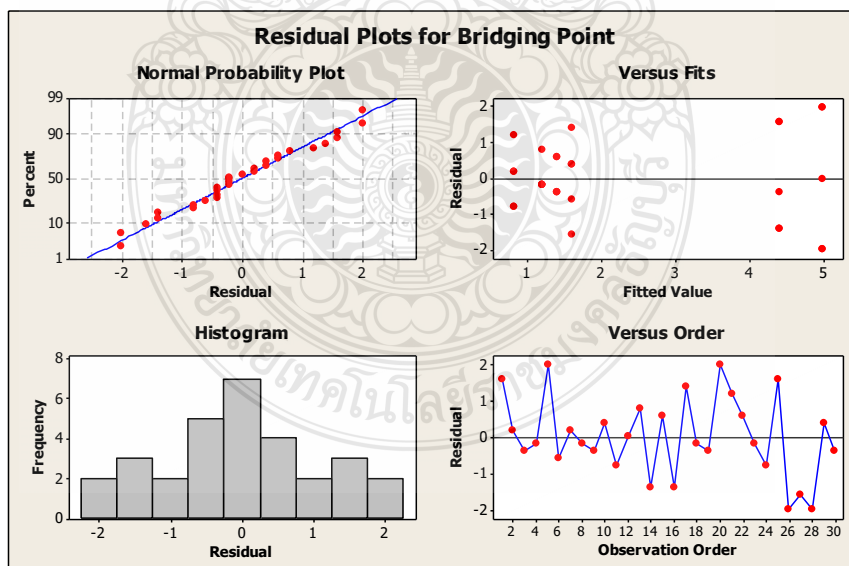
ตารางที่ 4.7 บันทึกผลการออกแบบการทดลอง General Full Factorial โดยใช้โปรแกรม Minitab 16

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Mount Level	Reflow Type	Y : Bridging (Point)
29	1	1	1	0.5	1	6
1	2	1	1	0	1	1
5	3	1	1	0.5	1	4
14	4	1	1	0	2	1
24	5	1	1	0.5	2	7
21	6	1	1	0.3	1	1
13	7	1	1	0	1	1
2	8	1	1	0	2	1
28	9	1	1	0.3	2	1
27	10	1	1	0.3	1	2
25	11	1	1	0	1	0
30	12	1	1	0.5	2	5
8	13	1	1	0	2	2
11	14	1	1	0.5	1	3
10	15	1	1	0.3	2	2
23	16	1	1	0.5	1	3
15	17	1	1	0.3	1	3
20	18	1	1	0	2	1
22	19	1	1	0.3	2	1
6	20	1	1	0.5	2	7
7	21	1	1	0	1	2
4	22	1	1	0.3	2	2
26	23	1	1	0	2	1
19	24	1	1	0	1	0
17	25	1	1	0.5	1	6

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	Mount Level	Reflow Type	Y : Bridging (Point)
18	26	1	1	0.5	2	3
3	27	1	1	0.3	1	0
12	28	1	1	0.5	2	3
9	29	1	1	0.3	1	2
16	30	1	1	0.3	2	1

จากการนำข้อมูลจากการทดลองลงในตารางที่ได้จากโปรแกรม Minitab 16 เพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์โดยเลือกคำสั่ง Stat>DOE>Display Design โดยต้องจัดลำดับเป็นรูปแบบ Standard order for design เสียก่อนเพื่อจัดเรียงข้อมูลให้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ตามขั้นตอนการใช้โปรแกรมลำดับถัดมาจากนั้นให้ใช้คำสั่ง Stat> DOE > Factorial > Analyze Factorial Design เพื่อทำการวิเคราะห์จะปรากฏกราฟดังรูปที่ 4.6 และข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8 ตามลำดับ

#### 4.2.1 การทดสอบความพอเพียงของการทดลองของระดับวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และรูปแบบของรูปแบบของ Reflow Soldering



รูปที่ 4.6 กราฟ 4 in 1 Chart ระดับการวาง Mount Level และรูปแบบของ Reflow Type

การพิจารณาความพอเพียงของการทดลองเป็นการตรวจสอบเพื่อทบทวนให้ทราบว่า ข้อมูลที่ได้ทำการทดลองมีสมมติฐานว่ารูปแบบของส่วนตกค้าง (Residual) ที่ได้จากข้อมูลการทดลอง ต้องเป็นไปตามหลักการ  $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$  คือค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระด้วย ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์ และ  $\sigma^2$  ความแปรปรวนมีค่าคงตัว (Stability) จึงทำให้ข้อมูลจากการทดลองถูกต้อง และเชื่อถือได้ โดยการใชโปรแกรม Minitab Function : Stat > DOE > Factorial > Analysis Factorial Design วิเคราะห์ความพอเพียงจากกราฟ 4 in 1 Graph ที่แสดงส่วนที่เหลือของผล (Residual Plot for Y) ทั้ง 4 กราฟเพื่อการทดสอบโดยข้อมูลทั้ง 4 เงื่อนไขจะใช้ตรวจสอบความเพียงพอของการทดลอง

4.2.1.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot) รูปบน ด้านขวาของรูปที่ 4.6 ค่าของส่วนตกค้างโดยดูจากการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งการกระจายตัวของข้อมูล มีการกระจายตัวรอบเส้นตรงแบบปกติ ซึ่งแสดงได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

4.2.1.2 ฮิสโตแกรม (Histogram) จากรูปกราฟด้านซ้ายล่างของรูปที่ 4.6 โดยจะมี ลักษณะเป็นรูปแบบการกระจายแบบระฆังคว่ำ มีลักษณะข้อมูลที่อยู่ทั้งสองฝั่งซึ่งเป็นการกระจายตัวในรูปแบบของการกระจายตัวแบบปกติสามารถใช้พิจารณาความพอเพียงได้

4.2.1.3 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) จากกราฟ Versus Fits ด้านขวามือ พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวที่เป็นแบบอิสระ ไม่เป็นรูปแบบแน่นอนอนแสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันทั้งด้านบวกและด้านลบไม่เป็นลักษณะของรูปแบบลำโพงปาก เปิดด้านใดด้านหนึ่ง จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ข้อมูลพิจารณาได้

4.2.1.4 ลำดับส่วนต่อด้านส่วนตกค้าง (Residual Plot versus Order) ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเป็นการกระจายแบบสุ่มพบว่า ไม่เป็นรูปแบบการกระจายที่ชัดเจน มีรูปแบบไม่แน่นอนไม่สามารถประมาณได้เป็นรูปแบบที่ทำนายได้ แสดงว่าส่วนตกค้างมีอิสระต่อกันสามารถใช้พิจารณาได้

กราฟซ้ายบนและซ้ายล่างแสดงเงื่อนไขการเป็น Normal เนื่องจากข้อมูลอยู่บนเส้น แสดงให้เห็นการแจกแจงแบบปกติ และกราฟด้านขวามือและขวาล่าง Versus fits แสดงการกระจายตัวของข้อมูลแบบสุ่ม แสดงว่าความแปรปรวนแต่ละกลุ่มเท่าๆกัน ส่วน Versus Order แสดงค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ไม่เป็นรูปแบบใดแบบหนึ่งชัดเจน ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการพิจารณาต่อไปได้ และอ่านค่า P-Value ที่ได้

#### 4.2.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการวิเคราะห์ความพอเพียงของแบบจำลองจากกราฟ 4 in 1 แล้วสรุปได้ว่าผลการทดลองที่ได้ มีความน่าเชื่อถือสามารถใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อ

ทดสอบหาสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ว่าปัจจัยใดเป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อจำนวนปริมาณจุดที่เกิดลักษณะ  
ปัญหาการลัดวงจร(Bridging)บนแผ่นพีซีบี

สมมติฐานการวิจัย:

- 1) ปัจจัย A มีผลต่อปริมาณการเกิดปัญหาการลัดวงจร(Bridging)บนแผ่นพีซีบี
- 2) ปัจจัย B มีผลต่อปริมาณการเกิดปัญหาการลัดวงจร(Bridging)บนแผ่นพีซีบี
- 3) ปัจจัย AB มีผลต่อปริมาณการเกิดปัญหาการลัดวงจร(Bridging)บนแผ่นพีซีบี

สมมติฐานทางสถิติ:

- 1)  $H_{0A} : \alpha_i = 0$  ทุกค่า  $i$   $i = 0.0, 0.3, 0.5$   
 $H_{1A} : \alpha_i \neq 0$  บางค่า  $i$
- 2)  $H_{0B} : \beta_j = 0$  ทุกค่า  $j$   $j = 1, 2$   
 $H_{1B} : \beta_j \neq 0$  บางค่า  $j$
- 3)  $H_{0AB} : (\alpha\beta)_{ij} = 0$  ทุกค่า  $i = 0.0, 0.3, 0.5$  และ  $j = 1, 2$   
 $H_{1AB} : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$  บางค่า  $i, j$

ตารางที่ 4.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)ระดับการวาง (Mount Level) และชนิด  
ของรูปแบบการให้ความร้อน (Reflow Type)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mount Level	2	80.6	80.6	40.3	27.48	0.000
Reflow Type	1	0.533	0.533	0.533	0.36	0.552
Mount Level*Reflow Type	2	0.867	0.867	0.433	0.3	0.747
Error	24	35.2	35.2	1.467		
Total	29	117.2				

S = 1.21106                      R-Sq = 69.97%      R-Sq(adj) = 63.71%



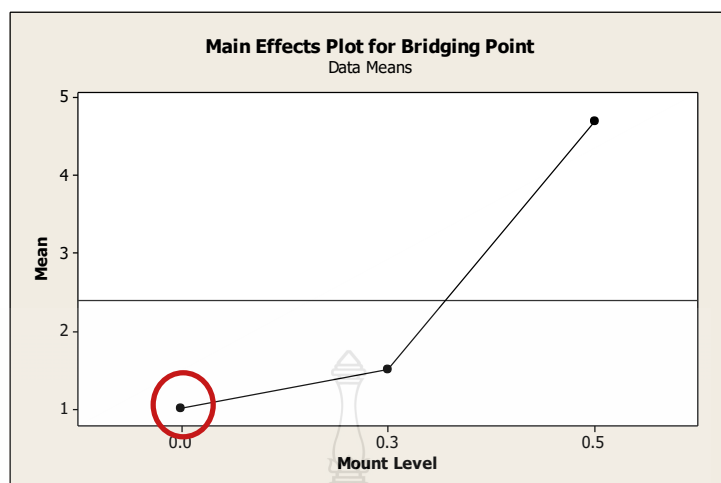
การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากผลการทดลองโดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ได้จากผลวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบจากปัจจัยร่วม (Interaction Effect) เพื่อพิสูจน์ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) ที่ระดับ 0.05 โดยหากค่า P-Value จากตาราง ANOVA มีค่าน้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  แสดงว่าปัจจัยหลักของระดับการวางอุปกรณ์ (Mount Level) หรือ รูปแบบของการให้ความร้อน (Reflow Type) มีอิทธิพลกับจำนวนปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงจรสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองจากตารางที่ 4.7 ตามสมมติฐานการวิจัยได้ดังนี้

4.2.2.1 ปัจจัย A : ระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) มีค่า P-Value = 0.000 มีค่าน้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงปฏิเสธสมมติฐานว่าง  $H_{0A}$  และยอมรับสมมติฐาน  $H_{1A}$  นั่นคือระดับของการวาง (Mount Level) มีอิทธิพลต่อจำนวนการเกิดลักษณะปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ของกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

4.2.2.2 ปัจจัย B : รูปแบบของการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Type) มีค่า P-Value = 0.552 มีค่ามากกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงยอมรับสมมติฐานว่าง  $H_{0B}$  และปฏิเสธสมมติฐาน  $H_{1B}$  นั่นคือรูปแบบการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Type) ไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนการเกิดลักษณะปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ของกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

4.2.2.3 ปัจจัยร่วม AB : ระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) กับรูปแบบของการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Type) มีค่า P-Value = 0.747 มีค่ามากกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงยอมรับสมมติฐานว่าง  $H_{0AB}$  และปฏิเสธสมมติฐาน  $H_{1AB}$  นั่นคืออิทธิพลร่วมของระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) กับ รูปแบบของการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Type) ไม่มีผลต่อจำนวนการเกิดการลัดวงจร (Bridging) ของกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

การทดสอบ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจที่ปรับแล้ว R-Sq(Adj) ซึ่งบ่งบอกว่าปัจจัยทั้ง 2 ที่นำมาทดลองมีอิทธิพลต่อตัวแปรอิสระและตัวแปรตามซึ่งมีความสัมพันธ์ระดับ 63.71 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จะมีส่วนที่เหลืออีก 36.29 เปอร์เซ็นต์ที่มีอิทธิพลจากปัจจัยอื่นที่ยังไม่ทราบได้ในการทดลองนี้ จากข้อมูลที่ได้นำมาทำการพล็อตโดยเลือกเฉพาะปัจจัยหลักที่มีผลเท่านั้นซึ่งคือปัจจัย A : ระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) ทำการพล็อตหาค่าที่ดีที่สุดของผลการทดลองด้วย Minitab 16 ดังนี้ Stat>DOE>Factorial Plot>Main effects Setup แสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าระยะของ Mount Level ที่ระยะ 0.0 mm. จะให้ค่าของจำนวนลักษณะปัญหาการลัดวงจร (Bridging) น้อยที่สุด



รูปที่ 4.7 กราฟ Main Effects Plot แสดงระดับการการวาง(Mount Level)ที่เกิดปัญหาน้อยที่สุด

### 4.3 ผลการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากผลของการดำเนินการตามลำดับการออกแบบทดลองของกระบวนการประกอบ ประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีที่ผ่านมาทั้งหมดนี้ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดผล กระทบต่อกระบวนการเพื่อกำหนดปัจจัยสำหรับกระบวนการผลิตของแต่ละกระบวนการภายใน กระบวนการผลิตหลักทั้งหมดซึ่งได้แก่กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีและกระบวนการวางชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีผลกระทบกับจำนวนลักษณะปัญหาการลัดวงจร(Bridging)ของกระบวนการผลิต

#### 4.3.1 กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีและปัจจัยที่เหมาะสม

นำเสนอให้กำหนดวิธีการแก้ไขโดยใช้ปัจจัยที่เหมาะสมในการการกำหนดกระบวนการ ดังนี้

4.3.1.1 ปัจจัย A : ปัจจัยแรงกดใบปาด(Pressure Spec)หรือปัจจัยในการตั้งแรงกดใบ ปาดของเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี ซึ่งเป็นปัจจัยนี้มีผลกระทบกับค่าความสูงของโลหะบัดกรีที่เป็น ต้นเหตุให้เกิดปัญหาการลัดวงจร โดยเป้าหมายความสูงที่ทำให้พบปัญหาการลัดวงจรน้อยที่สุดจะ ต้องการความสูงของโลหะบัดกรีอยู่ในระยะความสูง  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ . โดยจากผลการหาค่าที่ เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองและหาค่าที่เหมาะสมแล้วจะกำหนดในกระบวนการให้ปรับตั้ง อยู่ที่ระดับ 8.75 กิโลกรัม ดังนั้นการปรับตั้งจะใช้ค่านี้ในการตั้งค่าของเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี

4.3.1.2 ปัจจัย D : ปัจจัยระยะห่างการแยกจาก(Separate Distance)หรือปัจจัยระยะห่าง ของการถอดแบบพิมพ์(Stencil)ของเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี ซึ่งปัจจัยนี้มีผลกระทบกับค่าความสูงของ

โลหะบัดกรีด้วย โดยจากการออกแบบการทดลองได้ค่าที่เหมาะสมและนำมากำหนดในการปรับตั้งเครื่องอยู่ที่ระดับ 2.0 มิลลิเมตร

4.3.1.3 ส่วนปัจจัยที่ได้ผลจากการออกแบบการทดลอง แสดงผลการวิเคราะห์ออกมาว่าไม่มีผลกระทบกับกระบวนการนั้น จะทำการปรับตั้งให้อยู่ในช่วงของค่าที่ใช้งานปกติในช่วงของการทดลองค่าใดก็ได้ดังที่นี้ เพื่อกำหนดให้กับกระบวนการเพื่อการทำงานที่สั้นและทำการปรับตั้งในมาตรฐานการทำงานเดียวกันดังนี้

ปัจจัย B : ปัจจัยความเร็วของการปาด(Print Speed) หรือความเร็วในการพิมพ์ ตั้งที่ระดับ 100 มิลลิเมตร./วินาที

ปัจจัย C : ปัจจัยความเร็วการแยกจาก(Separate Speed)หรือความเร็วในการแยกจากของแบบพิมพ์ ตั้งที่ระดับ 2 มิลลิเมตร

ปัจจัย E : ปัจจัยช่องว่างระหว่างแผ่นพิมพ์ (Stencil) กับแผ่นพีซีบี (Print Gap) หรือระยะห่างของแบบพิมพ์กับแผ่นพีซีบีตั้งที่ระยะ 0.0 มิลลิเมตร

4.3.2 กระบวนการวางชิ้นส่วนลงบนแผ่นพีซีบีและกระบวนการให้ความร้อนการหลอมโลหะบัดกรีและปัจจัยที่เหมาะสม

นำเสนอให้กำหนดวิธีการแก้ไขโดยใช้ปัจจัยที่เหมาะสมในการกำหนดกระบวนการดังนี้

4.3.2.1 ปัจจัยของการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) ตามแนวแกน Z ตำแหน่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับ 0.0 mm. ที่ให้ผลของจำนวนลักษณะปัญหาการลัดวงจรที่ต่ำที่สุด

4.3.2.2 ปัจจัยของรูปแบบความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรี (Reflow Type) ซึ่งจากการทดลองแม้จะไม่มีผลกระทบกับปัญหาการลัดวงจรของกระบวนการนี้ แต่เพื่อให้เป็นรูปแบบการทำงานมาตรฐานเดียว ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้รูปแบบของอุณหภูมิในการหลอมโลหะบัดกรีแบบเดียวคือแบบ Soak Reflow

#### 4.4 ผลการดำเนินการปรับปรุง

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการและทราบถึงระดับปัจจัยที่ให้ผลตอบสนองต่อกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงนำแนวทางในการกำหนดปัจจัยต่างให้ผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตรับทราบและทำความเข้าใจ และดำเนินงานโดยใช้วิธีการทำงาน และการปรับตั้ง เป็นมาตรฐานใหม่ โดยควบคุมตามแผนการผลิตที่มีคำสั่งจากลูกค้าเป็น

ระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือน มิถุนายน ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 โดยผู้วิจัยกำหนดค่าให้แต่ละกระบวนการ

การปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี กำหนดการปรับตั้งและใช้ค่าปัจจัยของความสูงโลหะบัดกรีที่ค่าความสูงเป้าหมาย  $125 \text{ um} \pm 5 \text{ um}$ . โดยกำหนดปัจจัยของเครื่องพิมพ์โลหะดังนี้

**ตารางที่ 4.9** ปัจจัยและระดับที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ

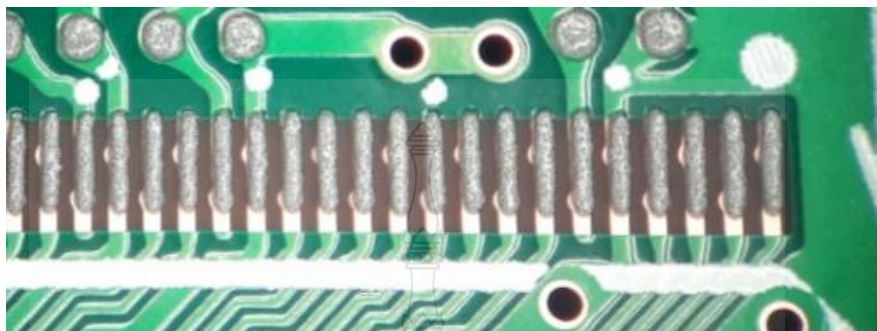
ปัจจัย	ค่าการปรับตั้ง
A : Pressure Spec	8.75 Kg.
B : Print Speed	100 mm./sec
C : Separate Speed	2 mm./sec
D : Separate Distance	2 mm.
E : Print Gap	0.0 mm.

การปรับตั้งระดับที่ใช้ในกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยการควบคุม ระดับของการวาง(Mount Level)ของหัวจับชิ้นส่วนไอซีเพื่อวางลงบนบอร์ดตามแนวแกน Z ของหัวจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์(Nozzle) ของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไอซี 1501 ที่ระดับ 0.00 mm.และรูปแบบสำหรับใช้ในกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี โดยการควบคุมรูปแบบอุณหภูมิในการหลอมโลหะบัดกรีในแบบ Soak Reflow ตามชนิดของโลหะบัดกรีที่ใช้ในปัจจุบัน

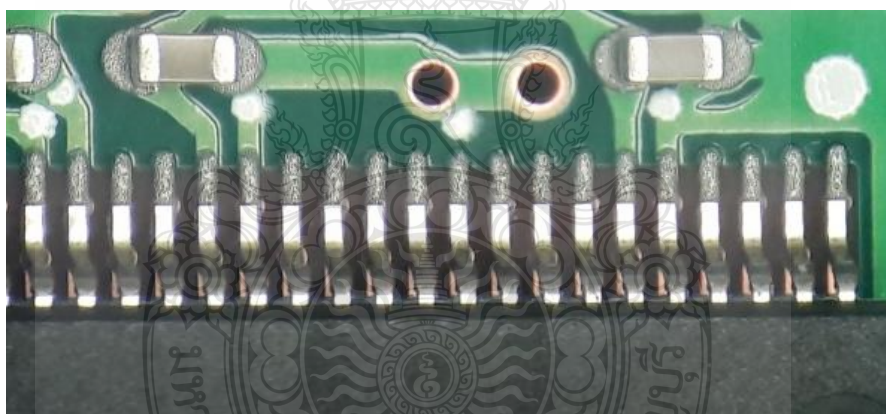
ปัจจัย	ค่าการปรับตั้ง
A <sub>mount</sub> : Mount Level	0.00 mm.
B <sub>Reflow</sub> : Reflow Type	Soak Reflow

ในส่วนพนักงานที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีที่แรงดัน(Pressure Spec) และระยะห่างของการถอดแบบพิมพ์(Separate Distance) ที่ได้จากการทดลองและวิธีการกำหนดรูปแบบของการวางแท่นรองรับ(Pin Support) รวมถึงการเติมปริมาณโลหะบัดกรีที่จะต้องทำการเติมครั้งละ 125 กรัมทุกๆ 2 ชั่วโมงเมื่อปริมาณของโลหะบัดกรีบนแผ่นแบบพิมพ์ลดลงให้สอดคล้องกับรูปแบบที่ใช้ในการทดลองและติดตามกระบวนการ เพื่อลดความผันแปรวิธีการที่อาจเกิดจากกระบวนการภายนอกประกอบด้วย ผลการเก็บ

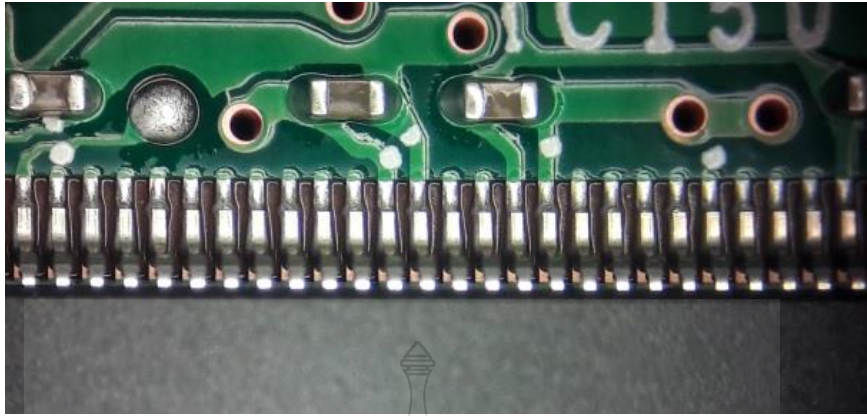
ข้อมูลหลังการปรับปรุงจากการควบคุมการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิตและนำมาทดลองใช้งานเป็นระยะเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.8 โลหะบัดกรีจากการพิมพ์ที่มีความสูง  $125\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$ . ตามค่าที่ที่เหมาะสมที่ทดสอบ



รูปที่ 4.9 โลหะบัดกรีจากการพิมพ์ที่มีความสูง  $125\ \mu\text{m} \pm 5\ \mu\text{m}$ . โดยใช้ค่าการวางที่ระดับ 0.0 mm.



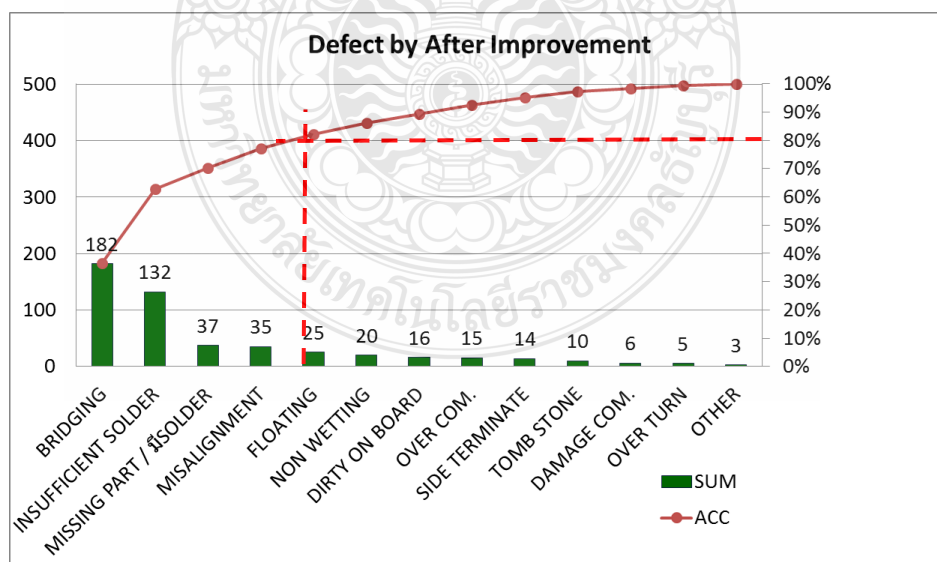
รูปที่ 4.10 ลักษณะของโลหะบัดกรีที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนพีซีบีโดยสมบูรณ์

ตารางที่ 4.10 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยปัจจัยที่เหมาะสม

หัวข้อ	เดือน						รวม
	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	
จำนวนยอดการผลิต (ชิ้น)	24,796	26,326	17,000	7,740	3,000	4,640	83,502
จำนวนชิ้นงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ชิ้น)	182	123	69	39	10	15	438
อัตราส่วนของเสียที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (%)	0.73%	0.47%	0.41%	0.50%	0.33%	0.32%	0.52%

ตารางที่ 4.11 จำนวนจุดของเสียบนแผ่นพีซีบี ที่เป็นของเสียแบ่งตามลักษณะปัญหาหลังการปรับปรุง

หัวข้อปัญหา	มิ.ย-58	ก.ค-58	ส.ค-58	ก.ย-58	ต.ค-58	พ.ย-58	รวม
Bridging	85	51	23	17	1	5	182
Insufficient Solder	59	41	13	11	4	4	132
Missing Part/มี Solder	15	8	7	7	0	0	37
Misalignment	5	17	12	0	1	0	35
Floating	9	4	4	6	0	2	25
Non Wetting	6	3	8	2	1	0	20
Dirty on Board	4	4	4	2	0	2	16
Over Component	3	9	2	0	0	1	15
Tomb Stone	4	9	1	0	0	0	14
Side Terminate	3	4	0	1	0	2	10
Damage Component	3	1	1	0	1	0	6
Over Turn	1	3	1	0	0	0	5
Other	0	0	3	0	0	0	3
Total	197	154	79	46	8	16	500



รูปที่ 4.11 แผนภูมิพารโตจำนวนของเสียที่พบหลังจากการปรับปรุงด้วยค่าที่เหมาะสม



จากแผนภูมิพารेटโตแสดงให้เห็นว่าจำนวนของลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบีของหัวข้อปัญหาการลัดวงจร(Bridging)อยู่ที่ร้อยละ 36.40 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเดิมในรูปแบบที่ 1.2 ที่เกิดปัญหาการลัดวงจร(Bridging)ที่ร้อยละ 59.02 ซึ่งจะพบว่าของเสียชนิดนี้มีสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลง

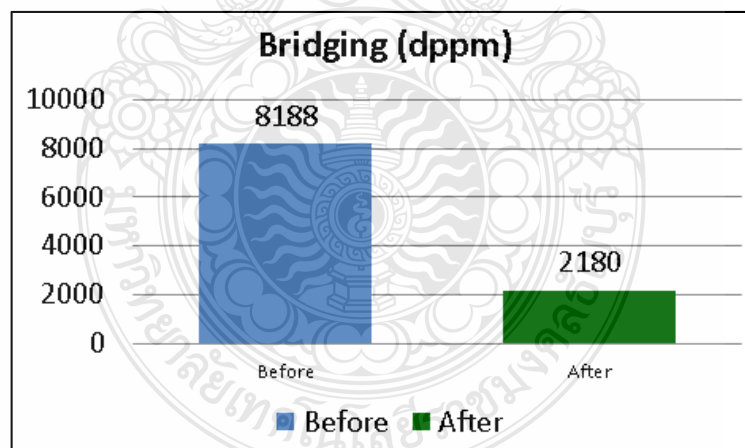
**ตารางที่ 4.12** ปริมาณของเสียในรูปแบบต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

หัวข้อปัญหา	ปริมาณปัญหา (ตำแหน่ง)	สัดส่วน (เปอร์เซ็นต์)	สัดส่วนสะสม
BRIDGING	182	36.40	36.40
INSUFFICIENT SOLDER	132	26.40	62.80
MISSING PART/มี Solder	37	7.40	70.20
MIAALIGNMENT	35	7.00	77.20
FLOATING	25	5.00	82.20
NON WETTING	20	4.00	86.20
DIRTY ON BOARD	16	3.20	89.40
OVER COMPONENT	15	3.00	92.40
TOME STONE	14	2.80	95.20
SIDE TERMINATE	10	2.00	97.20
DAMAGE COMPONENT	6	1.20	98.40
OVER TURN	5	1.00	99.40
OTHER	3	0.60	100
TOTAL	500	100	



ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบผลการปรับปรุงก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

รายการ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	เปอร์เซ็นต์ของเสียลดลง
จำนวนบอร์ดที่ผลิต (บอร์ด)	526,147	83,502	
จำนวนบอร์ดที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ (บอร์ด)	519,120	83,064	
ของเสีย (บอร์ด)	7,025	438	61.19 %
เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	1.34 %	0.52 %	
จำนวนลักษณะปัญหาการลัดวงจร (Bridging)ที่เกิดขึ้น (บอร์ด)	4,308	182	
จำนวนลักษณะปัญหาการลัดวงจร (Bridging)ที่เกิดขึ้น(DPPM)	8,188	2,180	73.38 %



รูปที่ 4.12 สัดส่วนของเสียจากลักษณะปัญหาการลัดวงจร(Bridging)ก่อนและหลังปรับปรุง

#### 4.5 การยืนยันผลทางสถิติ

ผู้วิจัยทำการยืนยันผลโดยการทดสอบสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่  $\alpha$  เท่ากับ 0.05 โดยสมมุติฐานที่กำหนดไว้คือ

สมมติฐานการวิจัย:

สัดส่วนของปัญหาการลัดวงจรหลังการปรับปรุงน้อยกว่าสัดส่วนของปัญหาการปรับปรุง  
สมมติฐานทางสถิติ:

$$H_0 : P_1 = P_2 \quad (4.3)$$

$$H_1 : P_1 > P_2 \quad (4.4)$$

$P_1$  = สัดส่วนของปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

$P_2$  = สัดส่วนของปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยของกระบวนการหลังการปรับปรุง

ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการใช้โปรแกรม Minitab 16 ทดสอบความแตกต่างสัดส่วนของปัญหาการลัดวงจร (Bridging) แสดงดังรูปที่ 4.13 ค่า P-Value ที่ได้เท่ากับ 0.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha = 0.05$ ) ส่งผลให้ไม่สามารถยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  ได้ ดังนั้นหมายความว่าปริมาณของเสียจากปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยของกระบวนการหลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าน้อยกว่าปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	4308	526147	0.008188
2	182	83502	0.002180

Difference = p (1) - p (2)  
Estimate for difference: 0.00600824  
95% lower bound for difference: 0.00567324  
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 29.50 P-Value = 0.000  
Fisher's exact test: P-Value = 0.000

รูปที่ 4.13 ผลการยืนยันทางสถิติของสัดส่วนของเสียลักษณะปัญหาการลัดวงจรก่อนและหลัง

จากยอดการผลิตแบบเดิมที่เกิดของเสียทั้งหมดที่ร้อยละ 1.34 และกระบวนการใหม่มีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นร้อยละ 0.52 ซึ่งหากยอดการผลิตเท่าๆกันสามารถคิดเป็นมูลค่าของค่าใช้จ่ายจากการซ่อมที่ลดลงจาก 110,058 บาท/เดือน เหลือเพียง 42,714 บาท/เดือนซึ่งเมื่อเทียบจากสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นแล้วสามารถลดของเสียภาพรวมของกระบวนการได้ถึงร้อยละ 61.19

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยหัวข้อนี้ เป็นการศึกษาเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสม ในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี ซึ่งจากข้อมูลที่ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลของกระบวนการในอดีต พร้อมจำแนกลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือคุณภาพได้แก่ แผนภูมิพาเรโต เพื่อจัดลำดับของปัญหาของกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าปัญหาการลัดวงจร(Bridging)เป็นลักษณะปัญหาที่ก่อให้เกิดปริมาณของเสียมากที่สุด และใช้แผนผังเหตุและผล เพื่อระดมสมองจากผู้ปฏิบัติงานและจากผู้มีประสบการณ์ประกอบกับการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่มีอิทธิพลกับลักษณะปัญหา เพื่อนำไปสู่วิธีการแก้ไขปรับปรุงในการลดความแปรปรวนของกระบวนการปัจจุบัน จากกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง 3 กระบวนการคือ กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี โดยนำทฤษฎีการออกแบบการทดลองมาทำการออกแบบการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สำหรับกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเศษส่วน  $2^{k-p}$  มีปัจจัยที่จะทำการออกแบบทดลอง 5 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยที่ 2 ระดับ กำหนดการทำซ้ำ (Replicates) ที่ 3 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมด 48 การทดลองและ ส่วนที่ 2 สำหรับอีก 2 กระบวนการคือกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี โดย การออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial กำหนดปัจจัยของระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ 3 ระดับ และรูปแบบการให้ความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรี(Reflow Type) 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ Soak Reflow และ Linear Reflow กำหนดการทำซ้ำ(Replicates)ที่ 5 ครั้ง จำนวน 30 การทดลอง โดยจากการผลการออกแบบการทดลองทั้ง 2 ส่วนนี้ที่ได้ สามารถกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน

##### 5.1.1 สรุปผลการหาสาเหตุของลักษณะปัญหาจากการออกแบบการทดลอง

จากข้อมูลของปัญหาของเสียจากกระบวนการประกอบอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีของโรงงานกรณีศึกษาระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2557 พบว่าผลิตภัณฑ์รุ่นการผลิต YWX-5032 เกิดปัญหาของเสียในกระบวนการผลิต โดยจากแผนภูมิพาเรโตพบว่าปัญหาลักษณะปัญหาการลัดวงจร(Bridging) เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมากที่สุด จึงนำปัญหานี้มาการวิเคราะห์ปัจจัยของปัญหาคุณภาพพร้อมกับทีมงาน โดยทำการทดลอง โดยนำปัจจัยของเครื่องจักรที่ใช้ในสายการผลิตมาทำการออกแบบการทดลอง ได้แก่ เครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี เครื่องวางอุปกรณ์

อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีและเครื่องให้ความร้อนในการเชื่อมขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผ่นพีซีบี โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 เป็นการออกแบบการทดลองของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นพีซีบี โดยสมมติฐานที่ความสูงของครีมโลหะบัดกรี (Solder Paste) ที่ระดับใดที่มีอิทธิพลให้เกิดปัญหาการลัดวงจร (Bridging) น้อยที่สุด โดยทำการปรับตั้งความสูงของโลหะบัดกรีที่ควบคุม 3 ระดับ ณ ตำแหน่ง IC1501 คือ 115  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ . และ 135  $\mu\text{m}$ . โดยมีค่า  $\pm 5 \mu\text{m}$ . ทุกระดับมีส่วนส่วนของปัญหาการลัดวงจรแตกต่างกันพิจารณาสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการ สิ่งพบจากการทดลองจากกระบวนการปัจจุบันที่ระดับความสูง 125  $\mu\text{m}$ .  $\pm 5 \mu\text{m}$ . จะเป็นระดับที่เกิดปัญหาการลัดวงจรต่ำที่สุด จากนั้นนำปัจจัยปรับตั้งที่ได้จากการวิเคราะห์ของเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีมาทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเศษส่วน  $2^{5-1}$  เพื่อกำหนดค่าการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีที่ความสูงโลหะบัดกรีกับเป้าหมาย 125  $\mu\text{m}$ .  $\pm 5 \mu\text{m}$ . ซึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสูงของโลหะบัดกรีที่ส่งผลให้เกิดปัญหาการลัดวงจรได้แก่ ปัจจัยของแรงกดในการพิมพ์โลหะบัดกรี และ ระยะห่างของการถอดแบบพิมพ์ (Stencil) โดยการหาระดับของค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเพื่อการปรับตั้งที่แรงกดในการพิมพ์โลหะบัดกรีที่ 8.75 Kg. และระยะห่างของการถอดแบบที่ระยะ 2.0 mm.

ส่วนที่ 2 ตั้งสมมติฐานที่ว่าระดับของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวางชิ้นส่วนที่ (Mount Level) ที่ 3 ระดับคือ 0.0, 0.3, และ 0.5 mm. และรูปแบบของอุณหภูมิในการหลอมโลหะบัดกรีที่ 2 รูปแบบ คือ แบบ Soak Reflow และแบบ Linear Reflow เพื่อทดสอบระดับของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) และรูปแบบของการให้ความร้อนในการเชื่อมโลหะบัดกรีแบบใดจะมีอิทธิพลกับผลของการเกิดปัญหาการลัดวงจรและพบปัญหาการลัดวงจรต่ำที่สุด โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ General Full Factorial ผลการทดลองพบปัจจัยที่มีอิทธิพลเพียงปัจจัยเดียวคือระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) โดยระดับการวางที่ 0.0 mm. จะพบการเกิดปัญหาน้อยที่สุด

#### 5.1.2 สรุปผลการลดของเสียในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี

การกำหนดปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ได้พบจากการวิจัยมากำหนดใช้ปรับปรุงในกระบวนการผลิตทดลองเป็นเวลา 6 เดือนเพื่อติดตามผลการปรับปรุงซึ่งผลที่ได้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบ ข้อมูลก่อนทำการปรับปรุง ที่มีของเสียในช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2557 โดยเฉลี่ยที่ 1.34 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบการทดลองหลังการปรับปรุงในช่วงเดือน มิถุนายน ถึง เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงมาอยู่ในระดับเฉลี่ยที่ร้อยละ 0.52 หรือ

ลดลงมาก่อนการปรับปรุงที่ร้อยละ 61.19 ซึ่งให้ผลลดของเสียของอย่างน้อยร้อยละ 50 ตามวัตถุประสงค์

### 5.1.3 สรุปผลการกำหนดวิธีการหลังการปรับปรุงเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน

จากผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองทั้งสองส่วน จึงนำค่าปัจจัยควบคุมที่ได้มาดำเนินการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมกระบวนการด้วยเอกสารปฏิบัติงาน ดังหัวข้อที่ได้ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

5.1.3.1 กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Screen Printing) กำหนดความสูงของโลหะบัดกรีบนแผ่นพีซีบี โดยการกำหนดค่ากลางเป้าหมายของความสูงเฉลี่ยของจุดวัดตำแหน่งชิ้นส่วนหมายเลข IC 1501 ที่ค่าความสูงโลหะบัดกรีในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีที่  $125 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ . และค่าแรงกดการพิมพ์ (Pressure Spec) ในการปรับตั้งที่ 8.75 Kg. และ ระยะการแยกจาก (Separate Distance) ที่ 2.0 mm. เป็นค่าควบคุมสำหรับการปรับตั้ง (Setup) เท่านั้น

5.1.3.2 กระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี (Pick and Place) ระดับของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นพีซีบีในกระบวนการให้กำหนดการตรวจสอบค่าควบคุมสำหรับการปรับตั้ง (Setup) โดยกำหนดให้ใช้ระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (Mount Level) ที่ระดับค่า 0.0 mm.

5.1.3.3 การกำหนดรูปแบบอุณหภูมิสำหรับการเชื่อมโลหะบัดกรี เพื่อความสะดวกและการควบคุม กำหนดให้ใช้รูปแบบของอุณหภูมิในการเชื่อมโลหะบัดกรีแบบ Soak Reflow gแบบหลักแบบเดียวลงในคู่มือการปฏิบัติงาน

5.1.3.4 การอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงานในการติดตามกระบวนการ โดยกระบวนการเติมโลหะบัดกรีบนแผ่นแบบพิมพ์โลหะบัดกรี (Stencil) กำหนดให้ใช้ปริมาณโลหะบัดกรีเริ่มต้นปรับตั้ง 250 กรัมและเมื่อทุกๆ 2 ชั่วโมงให้มีการเติมในปริมาณ 125 กรัมเท่าๆกัน เพื่อควบคุมการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับผู้ปฏิบัติงานมาตรฐานเดียวกับการควบคุมในการทดลอง

## 5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลที่ได้จากการวิจัยทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยอ้างอิงที่เป็นประเภทของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ประเภทเดียวกัน [20],[30],[36] และงานวิจัยในอุตสาหกรรมประเภทอื่น [21],[31],[34]กันพบว่าผลงานวิจัยนี้จะดำเนินการวิจัยโดยใช้รูปแบบของการดำเนินงานที่เป็นลำดับขั้นตอนในลักษณะเดียวกันคือ การศึกษาข้อมูลในอดีตที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน และรวบรวมข้อมูล

มาทำการศึกษาระบบการและจัดลำดับของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ เช่น พารโต มาช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์กระบวนการหรือปัญหาโดยใช้ แผนผังก้างปลาหรือแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)[20],[30],[34] หรือ บางงานวิจัยก็จะใช้การวิเคราะห์โดยเทคนิคแบบ (Why-Why Analysis)[21] เพื่อที่จะดำเนินการหาปัจจัยควบคุมที่มีอิทธิพลกับกระบวนการ ซึ่งจะใช้เทคนิคทางสถิติวิศวกรรม การทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนความบกพร่องแบบ 2 Proportions Test[30],[36] และเทคนิคการออกแบบการทดลองในรูปแบบ การออกแบบการทดลองแบบ  $2^{k-p}$  แฟกทอเรียลบางส่วน [20],[36] General Full Factorial แฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ[30] และการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีการ Response Optimize เพื่อกำหนดปัจจัยที่เหมาะสม[20],[36] นำไปสู่การหาวิธีการที่จะดำเนินการปรับปรุง และใช้สำหรับควบคุมกระบวนการนั้นให้สามารถดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามที่ต้องการ

ดังนั้นผลที่ได้จากการครั้งนี้ทำให้เข้าใจ วิธีการ เทคนิค และแนวคิดของของงานวิจัยอ้างอิง ซึ่งมีผู้ศึกษาวิจัยมาก่อน เพื่อเลือกใช้สำหรับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับทรัพยากรและข้อจำกัดซึ่งเป็นความแตกต่างของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพจนสามารถดำเนินการปรับปรุงกระบวนการที่เลือกมาทำการวิจัย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นแล้วงานวิจัยนี้จะแตกต่างในด้านประเภทของปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยควบคุมเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาของเสียประเภทการลัดวงจร (Bridging) ที่เกิดขึ้นมากที่สุดเป็นการเฉพาะ โดยเกิดขึ้นกับกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีที่ตำแหน่ง IC 1501 ซึ่งเป็นไอซีชนิด Quad Flat Package (QFP) 256 ขา ที่มีขนาดขาของอุปกรณ์เชื่อมต่อลายวงจรขนาดเล็ก ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ชนิดนี้ ที่ระยะห่างของขาอุปกรณ์จะมีช่องว่างระหว่างขาเพียง 0.2 mm. ภายในกระบวนการผลิต ทั้ง 3 กระบวนการได้แก่ การพิมพ์โลหะบัดกรี การวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และการหลอมโลหะบัดกรีเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ภาพรวมของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการหลักทั้งหมดลดลงตามวัตถุประสงค์

#### 5.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบผลที่ได้ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการควบคุมปัจจัยในการทำงานของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรในโรงงานกรณีศึกษา จากข้อมูลก่อนการปรับปรุงซึ่งมีปริมาณของเสียของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรทั้งหมดของรุ่นการผลิต YWX-5032 ที่ 1.34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัญหาการลัดวงจรเป็นปัญหาที่มีปริมาณสะสมเป็นอันดับ 1 โดยมีปริมาณที่เกิดขึ้น

8,188 คีพีพีเอ็ม หรือคิดเป็น 59.02 เปอร์เซ็นต์ของทุกปัญหาทั้งหมดภายในกระบวนการผลิต เมื่อทำการปรับปรุงด้วยวิธีการปรับตั้งกระบวนการ โดยใช้ผลจากการออกแบบการทดลองมาทดลองใช้และเก็บข้อมูลปัญหาหลังการปรับปรุงกระบวนการระยะเวลาตั้งแต่เดือน มิถุนายน – พฤศจิกายน 2558 มีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการหลังการปรับปรุงทั้งหมดอยู่ในระดับร้อยละ 0.52 หรือคิดเป็นการลดของเสียเทียบจากกระบวนการเดิมลงร้อยละ 61.19 โดยปัญหาการลัดวงจรซึ่งเป็นปัญหาที่มากที่สุดลดลงเหลือ 2,180 คีพีพีเอ็มหรือลดปริมาณปัญหาการลัดวงจรลงมาอยู่ที่ร้อยละ 36.33 ของทุกปัญหาทั้งหมด จะเห็นได้ว่าเมื่อกระบวนการถูกควบคุมปัจจัยให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมแล้วสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้ตามวัตถุประสงค์

### 5.2.2 อภิปรายผลการทดสอบสมมุติฐาน

ผู้วิจัยได้สรุปผลจากข้อมูลของสภาพปัญหาคุณภาพจากการผลิตจากกระบวนการผลิตแบบเดิมก่อนการปรับปรุงและกระบวนการใหม่หลังการปรับปรุง โดยทำการยืนยันผลการปรับปรุงโดยใช้ 2 Proportion-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $\alpha = 0.05$  สามารถยืนยันผลได้ว่า การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีมีผลต่อคุณภาพในกระบวนการผลิตแตกต่างกัน ซึ่งหากมีการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่กำหนดให้กับกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม สามารถทำให้ปัญหาด้านคุณภาพของกระบวนการเดิมที่เกิดการลัดวงจร(Bridging) แตกต่างกันได้ และควบคุมระดับปัจจัยเหล่านี้สามารถทำให้ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดลงไปมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ตามวัตถุประสงค์

## 5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยไปทำการปฏิบัติ และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

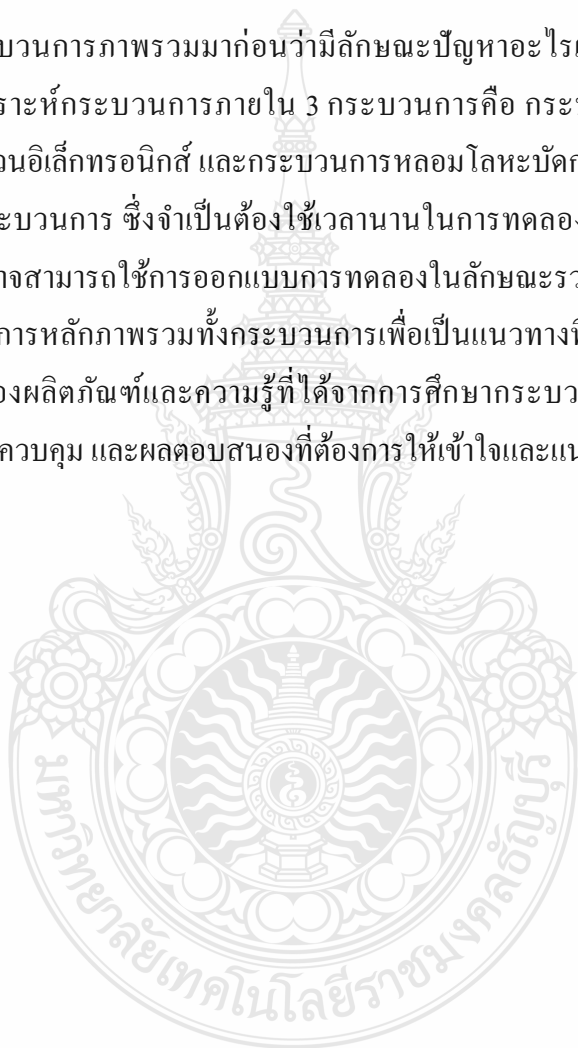
### 5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยไปทำการปฏิบัติ

โดยสำหรับผู้วิจัยที่จะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชนิดงานอื่นของกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีได้ ซึ่งแนวทางที่แนะนำคือจะต้องศึกษาชนิดของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการวิจัยนั้นก่อนว่ามีกระบวนการรายละเอียดอย่างไร ตลอดจนเครื่องมือเครื่องจักรที่มีว่ามีวิธีการใช้งานอย่างไร ซึ่งสามารถจะแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยใดบ้างที่จำเป็นต่อการพิจารณาศึกษาปัจจัยเหล่านั้น เพื่อนำไปออกแบบการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความจำเป็นจะต้องขอความร่วมมือกับวิศวกรและผู้มีความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติและใช้งานเครื่องมือเครื่องจักร หากผู้ทำการวิจัยไม่มีความชำนาญในเครื่องจักรแต่ละชนิดที่มีผลกระทบกับ

กระบวนการอย่างถูกวิธี เนื่องจากจะมีประโยชน์และได้ประโยชน์อย่างมากในการช่วยให้การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ของกระบวนการได้อย่างถูกต้อง ตรงตามที่ต้องการและประหยัดเวลาในการดำเนินการได้อย่างเหมาะสม

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต จากการออกแบบการทดลองปัจจัยหลายปัจจัยซึ่งจำเป็นต้องใช้จำนวนตัวอย่างและเวลาในการทดลองมาก โดยงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาสภาพปัญหาจากกระบวนการภาพรวมมาก่อนว่ามีลักษณะปัญหาอะไรเพื่อคัดเลือกปัญหา แล้วจึงนำมาสู่การศึกษาวิเคราะห์กระบวนการภายใน 3 กระบวนการคือ กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี ซึ่งเป็นการศึกษาแบบต่อยอดเป็นลำดับตามกระบวนการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลานานในการทดลองและจากผลอ้างอิงนี้ผู้ที่ศึกษาวิจัยในอนาคตอาจสามารถใช้ออกแบบการทดลองในลักษณะรวมเอาปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาในลักษณะของกระบวนการหลักภาพรวมทั้งกระบวนการเพื่อเป็นแนวทางที่สามารถประยุกต์ใช้ได้แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และความรู้ที่ได้จากการศึกษากระบวนการ ของ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการวัดและควบคุม และผลตอบสนองที่ต้องการให้เข้าใจและแนวทางจัดการได้สะดวกขึ้น





## บรรณานุกรม

- [1] The Office of Industrial Economics, “รายงานภาวะอุตสาหกรรมไตรมาสที่ 2 ปี 2557”. หน้า 82. (online), 2557, Available: [http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry\\_overview/r\\_aprjun57.pdf](http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/industry_overview/r_aprjun57.pdf) (August 2014)
- [2] RLC Innovation Co., Ltd, “**Surface Finish ของ PCB คืออะไร**”. (on-line), 2559. Available: <http://www.rlcinnovation.com/15396916/surface-finish-ของ-pcb-คืออะไร> (5 May 2016)
- [3] ธรรมบุญ อุดมมัน, “**Solder paste ในอุตสาหกรรมประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์**”. (on-line), 2559. Available: <http://www.mut.ac.th/uploaded/Solder%20paste%20ในอุตสาหกรรมประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.pdf> (5 May 2016)
- [4] วิทยาลัยเทคนิคลำปาง, “**SMD Surface Mount Device**”. (on-line), 2559. Available: <http://www.lampangtc.ac.th/mnfile/branch5/file/knowledge/SMD.pdf> (5 May 2016)
- [5] Act Source Ltd, “**SMT Manufacturing**”. (on-line), 2016. Available: <http://www.act-source.com/pcb-assembly/smt-manufacturing> (5 May 2016)
- [6] Glenn R. Blackwell, **The Electronic Packaging Hand Book**, CRC Press, 1999
- [7] IPC Association Connecting Electronics Industries, “**IPC-7525A Stencil Design Guidelines**”. Page 6. (Online), 2007, Available: <http://electronix.ru/forum/index.php?act=Attach&type=post&id=70433> (February 14, 2007)
- [8] Wojciech Stęplewski, Grazyna Koziol, and Janusz Borecki “**Influence of Stencil Design and Parameters of Printing Process on Lead-Free Paste Transfer Efficiency**”. International Conference of IMAPS - CPMP IEEE, Poland, Pultusk, 2008, Available: <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BAT5-0036-0017>
- [9] Jianbiao Pan, “**Critical Variables of Solder Paste Stencil Printing for Micro-BGA and Fine-Pitch QFP**”. IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, Vol. 27 (April 2004)
- [10] Sekharan Gopal, Jafri Mohd Rohani, Sha’Ri Mohd Yusuf, and Zailis Abu bakar, “**Optimization Of Solder Paste Printing Parameters Using Design Of Experiments (DOE)**”. Journal of Technology, 43(A), 2006

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Masri Ayob, “**Optimisation of surface mount device placement machine in printed circuit board assembly**” University of Nottingham, 2005, Page 34-35(on-line) Available : <http://www.cs.nott.ac.uk/~pszg/xk/papers/mxaPhdthesis/mxaPhDThesis.pdf>
- [12] John Vivari, “**First Principles of Solder Reflow**” EFD Inc. (on-line) Available: [https://www.smtnet.com/library/files/upload/EFD\\_First\\_Principles\\_of\\_Solder\\_Reflow.pdf](https://www.smtnet.com/library/files/upload/EFD_First_Principles_of_Solder_Reflow.pdf) (October 4, 2014)
- [13] สายชล สิ้นสมบุญรัตน์ทอง, การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติและวิศวกรรม, กรุงเทพฯ, จามจุรีโปรดักท์, 2554, หน้า 1
- [14] ศุภชัย นาทะพันธ์, การควบคุมคุณภาพ, กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2551, หน้า 9-10
- [15] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, การควบคุมคุณภาพ Statistical quality control, กรุงเทพฯ, ท้อป, 2557 หน้า 2-9
- [16] สิทธิศักดิ์ พุกภัยพิติกุล, การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546 หน้า 188 -192
- [17] Douglas C. Montgomery, **Introduction to Statistical Quality Control, 6<sup>th</sup> Edition, USA,** John Wiley & Sons Inc., 2009
- [18] สิทธิศักดิ์ พุกภัยพิติกุล, การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546 หน้า 188 -192
- [19] ยุทธ ไกยวรรณ, การวางแผนการทดลองสำหรับงานวิจัย, กรุงเทพฯ, ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2554
- [20] จาตุรงค์ จันทร์ดี, การวิเคราะห์ปัจจัยในการเจาะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล รัตนบุรี, 2554
- [21] ภักจิรา พิงสุข, การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในโรงงานผลิตเครื่องซักผ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554
- [22] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, “จำนวนตัวอย่างกับการทดสอบสมมติฐาน”. วารสาร Q Production, ฉบับที่ 140 (มิถุนายน 2552) หน้า 59-60.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

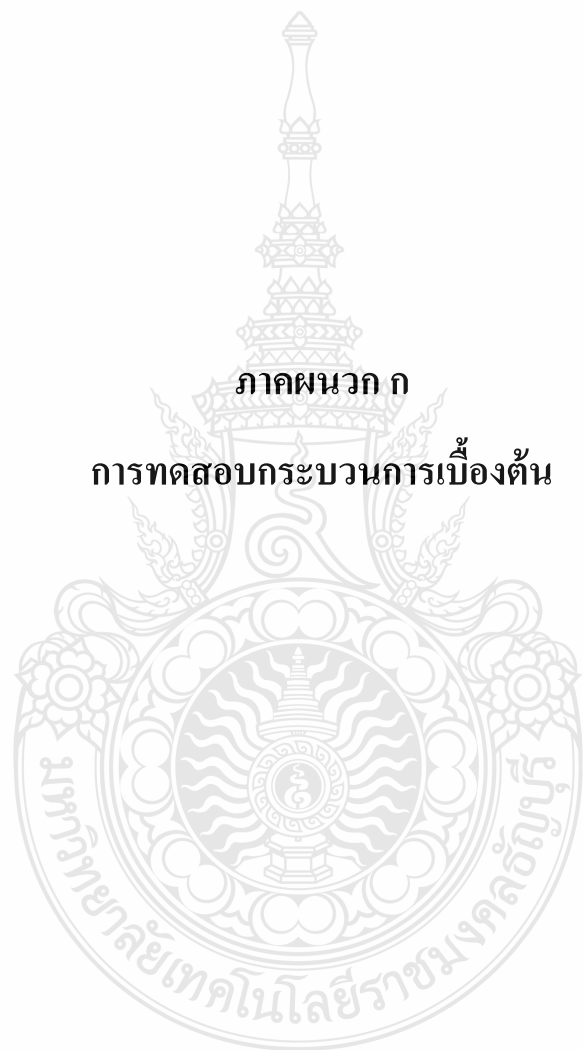
- [23] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ), กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2558
- [24] ปารเมศ ชุตินา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- [25] จุฑามาศ รัตนกุล, “การลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิแช่แข็ง”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554
- [26] เนติ วัชรระ โชติพิมาย, “การลดของเสียในการผลิตผักแช่แข็งโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกมา”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554
- [27] เพ็ญประภา กล้ากสิการ, “การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อกชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553
- [28] สมเกียรติ ตั้งจิตติตเจริญ, “การลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 22, ฉบับที่ 3 (ก.ย.-ธ.ค. 55), หน้า 610-621.
- [29] Tsung-Nan Tsai, “**Thermal parameters optimization of a reflow soldering profile in printed circuit board assembly**”: A comparative study, Department of Logistics Management, Shu-Te University, Kaohsiung, Taiwan, 2012
- [30] วีระพงษ์ บุญสมปอง, “การลดปัญหาทูนสโตน คอมโพเน้นท์ โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมากรณีศึกษา : กระบวนการประกอบแผ่นวงจรชนิดอ่อน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554
- [31] บุญส่ง คำอ่อน ศศิธร จันทร์เทียน พงษ์ศักดิ์ ชมจันทร์, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตปาวาล์ว”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2556

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [32] วันชัย ลีลาทวิวงศ์ สุวัฒน์ เฌรโต สิริพงษ์ จิ่งถาวรณ และณัฐวุฒิ ขุนสอาดศรี, “การปรับปรุงกระบวนการเจียรไนเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของเพลาด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2554
- [33] โสภิตา ท่วมมี, “การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก”, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550
- [34] ณัฐกานต์ รสดี, “การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการขัดเลนส์ด้วยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาโรงงานขัดและประกอบเลนส์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555
- [35] ชีรเดช เรืองศรี, “การพัฒนากระบวนการควบคุมการพิมพ์กล่องบรรจุภัณฑ์เพื่อลดความสูญเสีย กรณีศึกษา : โรงงานผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550
- [36] ศิวะ ไวทยรุ่งโรจน์, การเพิ่มผลผลิตของการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยเทคนิค DMAIC กรณีศึกษา : โรงงานประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มทร., ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 ม.ค.- มิ.ย 2556

ภาคผนวก



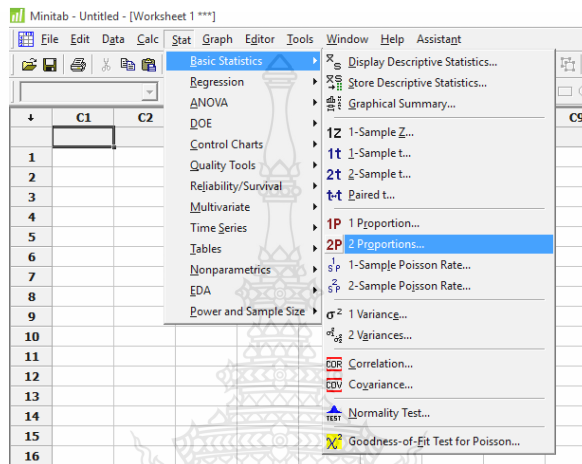


ภาคผนวก ก

การทดสอบกระบวนการเบื้องต้น

## การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องด้วย 2 Proportion Test โดย Minitab 16

1. เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab 16 เลือก Menu: Stat > Basic Statistics > 2 Proportions  
ดังรูปที่ ก.1

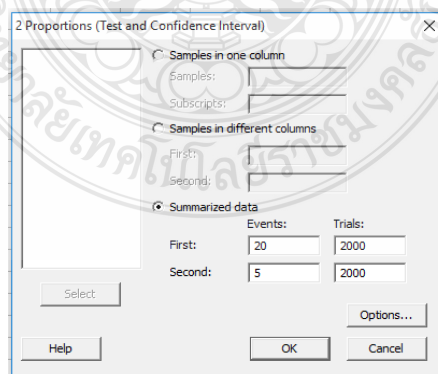


รูปที่ ก.1 การเลือกการทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องด้วย 2 Proportion test

2. เลือกแบบการทดสอบเป็นรูปแบบของ Summarized data และใส่ข้อมูลที่ต้องการเปรียบเทียบลงในตาราง โดย

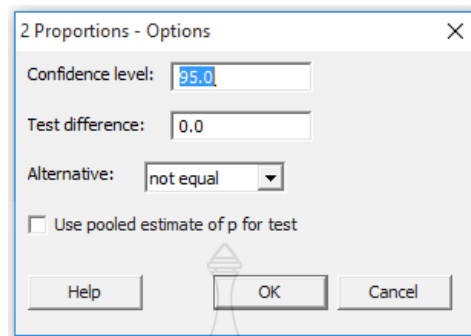
Events คือ จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้น

Trials คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในแต่ละกลุ่มที่จะเปรียบเทียบ



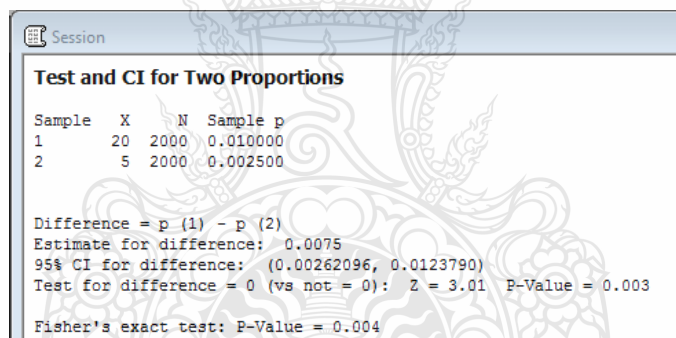
รูปที่ ก.2 แสดงการเลือกรูปแบบการทดสอบแบบ Summarized data

3. กำหนด Options เพื่อกำหนดรายละเอียดในการทดสอบดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 แสดงค่าที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

4. ดำเนินการทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยกดที่ปุ่ม OK เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการทั้งสองแบบตามรูปที่ ก.2 และจะแสดงผลดังรูปที่ ก.4



Sample	X	N	Sample p
1	20	2000	0.010000
2	5	2000	0.002500

Difference = p (1) - p (2)  
Estimate for difference: 0.0075  
95% CI for difference: (0.00262096, 0.0123790)  
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 3.01 P-Value = 0.003  
Fisher's exact test: P-Value = 0.004

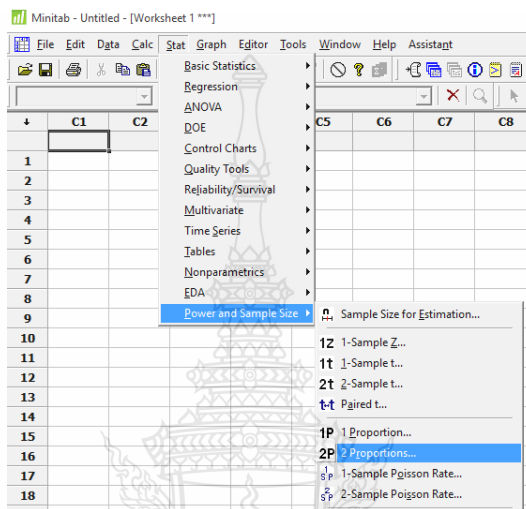
รูปที่ ก.4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง



## การหาจำนวนตัวอย่างเพื่อทำการทดลอง (Power and Sample size for 2 Proportions)

โดย Minitab 16

1. เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab 16 เลือก Menu: Stat > Power and Sample Size > 2 Proportions...  
ดังรูปที่ ก.5



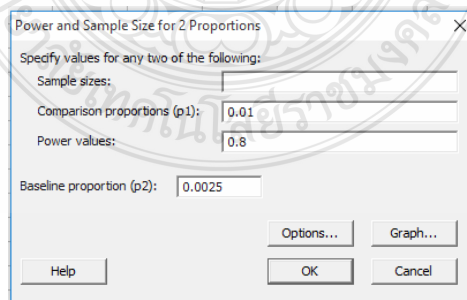
รูปที่ ก.5 การหาจำนวนตัวอย่างเพื่อทำการทดลองด้วย 2 Proportion test

2. ใส่ข้อมูลที่ต้องการเปรียบเทียบลงในตารางดังรูปที่ ก.6 โดย

Baseline proportion ( $p_1$ ) คือ สัดส่วนพื้นฐานผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นชุดที่1

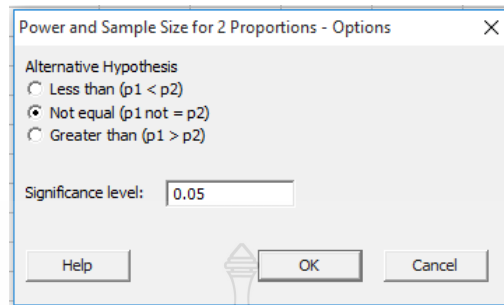
Comparison proportion ( $p_2$ ) คือ สัดส่วนเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นชุดที่2

Power values คือ อำนาจการทดสอบที่ใช้ทดสอบที่ 0.8



รูปที่ ก.6 แสดงการใส่ข้อมูลในการทดสอบหาขนาดตัวอย่างที่อำนาจการทดสอบ 0.8

3. กำหนด Options เพื่อกำหนดรายละเอียดในการทดสอบดังรูปที่ ก.7



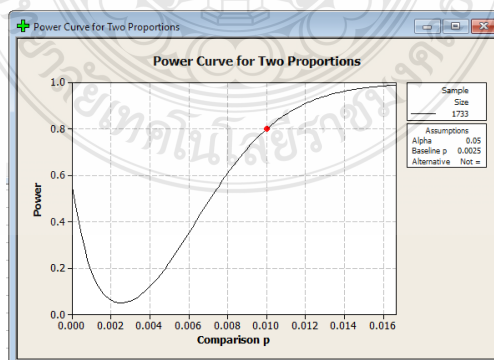
รูปที่ ก.7 แสดงค่าที่ใช้ในการหาขนาดตัวอย่างที่อำนาจการทดสอบที่ Significance level 0.05

4. ดำเนินการหาจำนวนตัวอย่างเพื่อทำการทดลองด้วย 2 Proportion test โดยกดที่ปุ่ม OK เพื่อหาจำนวนตัวอย่าง ตามรูปที่ ก.6 และจะแสดงผลดังรูปที่ ก.8 และ รูปที่ ก.9

Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.01	1733	0.8	0.800201

The sample size is for each group.

รูปที่ ก.8 แสดงผลการหาจำนวนตัวอย่างเพื่อทำการทดลองด้วย 2 Proportion test



รูปที่ ก.9 แสดงกราฟ Power Curve for Two Proportions



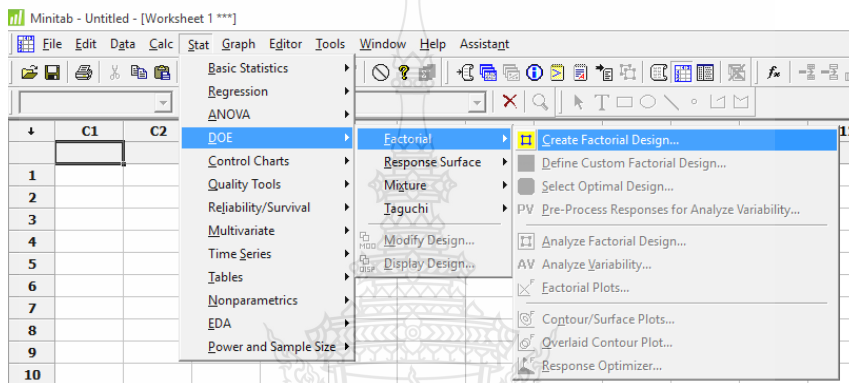
## การออกแบบทดลองส่วนที่ 1

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี (SCREEN PRINTING) ที่ระดับ  $125 \pm 5 \mu\text{m}$ . โดยใช้โดย Minitab 16

การออกแบบการทดลอง ( $2^{5-1}$ ) โดยใช้ Minitab 16

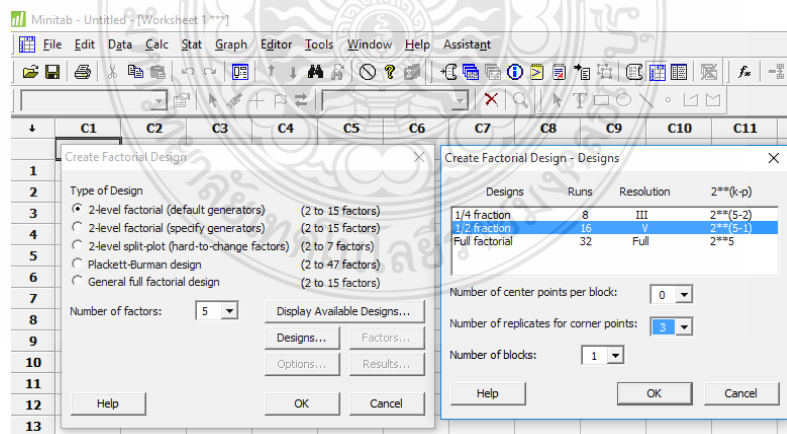
1. เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab 16

เลือก Menu: Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design ดังรูปที่ ข.1



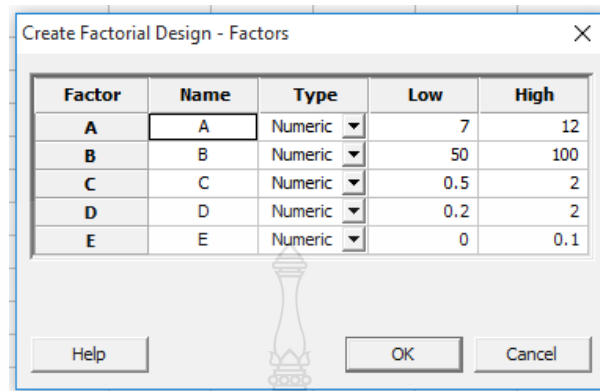
รูปที่ ข.1 การเลือกการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

2. จากนั้นป้อนค่าจำนวนปัจจัย (Factor) และจำนวนครั้ง (Replicate) เลือกการออกแบบการทดลองแบบ  $\frac{1}{2}$  Fraction Resolution V ในการทดลองดังรูปที่ ข.2



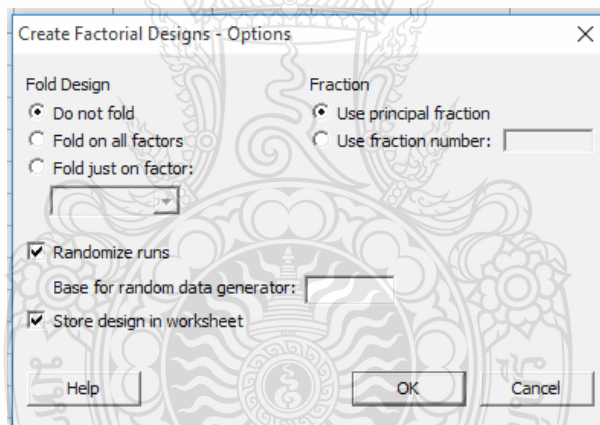
รูปที่ ข.2 การเลือกการออกแบบการทดลองแบบ ( $2^{5-1}$ )

3. ระบุชื่อปัจจัยและการเลือกระดับการทดลองดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 การเลือกระดับปัจจัยการออกแบบการทดลอง

4. การเลือกการออกแบบการทดลองแบบสุ่มดังรูปที่ ข.4



รูปที่ ข.4 การเลือกการทดลองแบบสุ่ม

5. เลือก Stat > DOE > Display Design ให้การทดลองทำการเรียงข้อมูล Run Order for Design ดังรูปที่ ข.5 และ ข.6

Minitab - การทดลองที่1.MPJ - [Worksheet 1 \*\*\*]

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder						D	E
1	12								
2	42								
3	41								
4	6								
5	21								
6	24								
7	2								
8	10								
9	29								
10	7	10	1	1	7	100	2.0	0.2	0.1
11	37	11	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0
12	48	12	1	1	12	100	2.0	2.0	0.1
13	3	13	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0

รูปที่ ข.5 การเลือกการเรียงลำดับของการออกแบบการทดลอง

Minitab - การทดลองที่1.MPJ - [Worksheet 1 \*\*\*]

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E
1	12	1	1	1	12	100	0.5	2.0	0.0
2	42	2	1	1	12	50	0.5	2.0	0.1
3	41	3	1	1	7	50	0.5	2.0	0.0
4	6	4	1	1	12	50	2.0	0.2	0.1
5	21	5	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0
6	24	6	1	1	12	100	2.0	0.2	0.0
7	2	7	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0
8	10	8	1	1	12	50	0.5	2.0	0.1
9	29	9	1	1	7	50	2.0	2.0	0.1
10	7	10	1	1	7	100	2.0	0.2	0.1
11	37	11	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0
12	48	12	1	1	12	100	2.0	2.0	0.1
13	3	13	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0
14	46	14	1	1	12	50	2.0	2.0	0.0
15	47	15	1	1	7	100	2.0	2.0	0.0

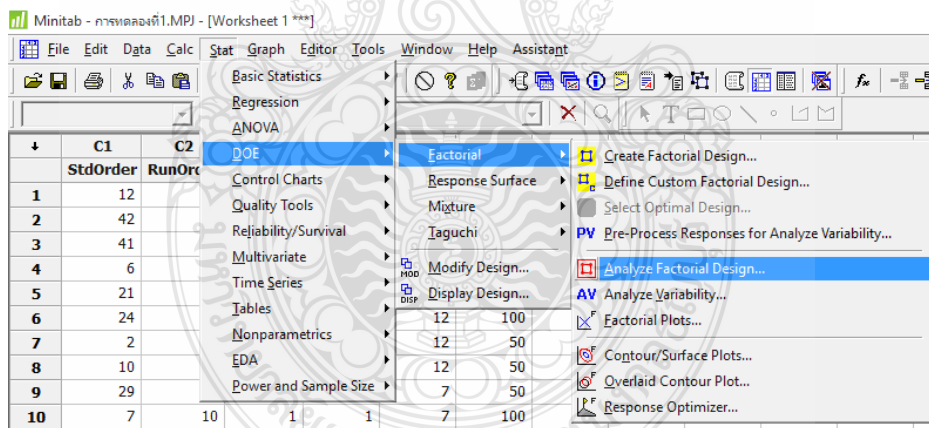
รูปที่ ข.6 การกำหนดให้เรียงลำดับการทดลองตาม Run Order for design

6. ทำการทดลองตามตารางที่ได้จากการออกแบบ แล้วบันทึกผลการทดลอง โดยป้อนข้อมูลจากการทดลองลงในช่อง C10 ในตารางที่ออกแบบไว้โดย Minitab 16 ดังรูปที่ ข.7

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Y
1	12	1	1	1	12	100	0.5	2.0	0.0	119.0
2	42	2	1	1	12	50	0.5	2.0	0.1	116.7
3	41	3	1	1	7	50	0.5	2.0	0.0	134.4
4	6	4	1	1	12	50	2.0	0.2	0.1	111.0
5	21	5	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0	124.4
6	24	6	1	1	12	100	2.0	0.2	0.0	121.1
7	2	7	1	1	12	50	0.5	0.2	0.0	108.7
8	10	8	1	1	12	50	0.5	2.0	0.1	115.5
9	29	9	1	1	7	50	2.0	2.0	0.1	130.3
10	7	10	1	1	7	100	2.0	0.2	0.1	124.2
11	37	11	1	1	7	50	2.0	0.2	0.0	122.3
12	48	12	1	1	12	100	2.0	2.0	0.1	127.3
13	3	13	1	1	7	100	0.5	0.2	0.0	121.6
14	46	14	1	1	12	50	2.0	2.0	0.0	116.2
15	47	15	1	1	7	100	2.0	2.0	0.0	116.3
16	20	16	1	1	12	100	0.5	0.2	0.1	127.9

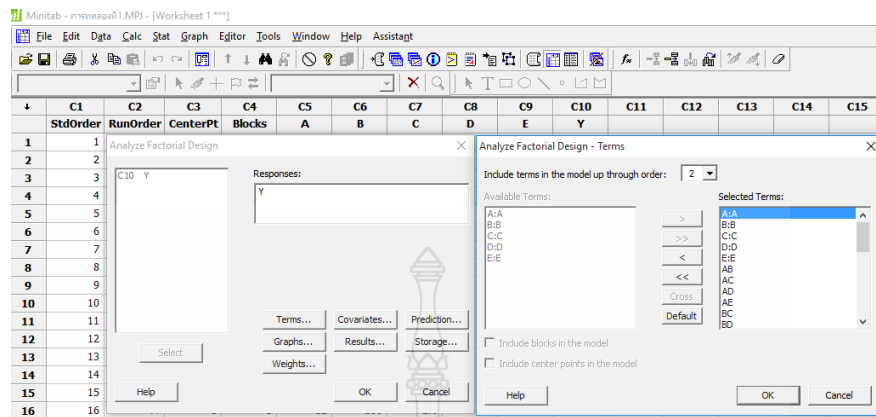
รูปที่ ข.7 การบันทึกผลตอบสนองในตาราง Minitab

7. ปรับข้อมูลให้เป็น Standard order for design ก่อนทุกครั้งที่จะวิเคราะห์ข้อมูล โดยเลือก Menu การวิเคราะห์แฟคทอเรียล Stat > DOE > Factorial > Analysis Factorial Design ดังรูปที่ ข.8



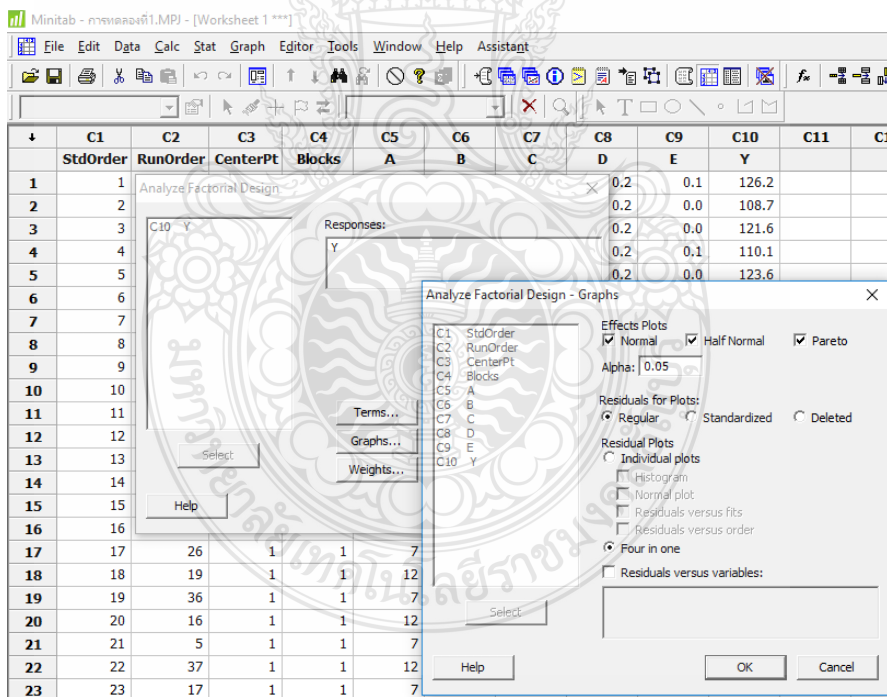
รูปที่ ข.8 การเลือกเมนูการวิเคราะห์การทดลองแบบแฟคทอเรียล

8. เลือกผลตอบสนองและกลุ่มปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 การเลือกผลตอบสนองและกลุ่มปัจจัย

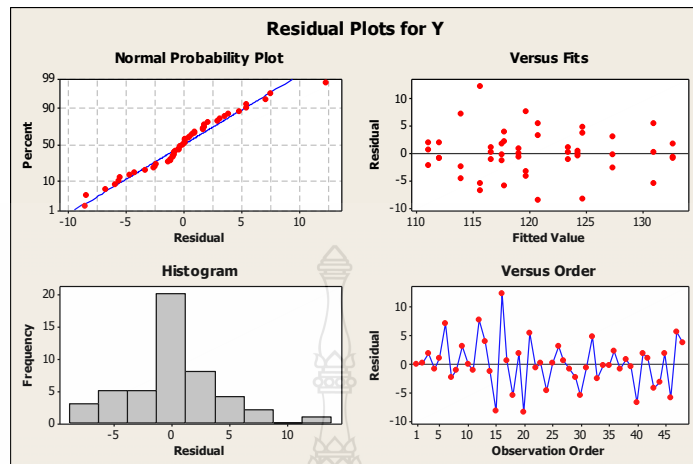
9. การเลือกชนิดกราฟการทดสอบความพอเพียงดังรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.10 การเลือกการแสดงผลการทดสอบด้วยกราฟ

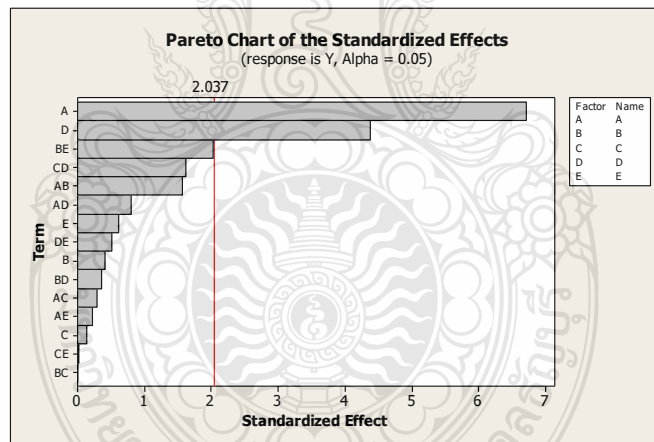


10. กราฟผลการทดสอบความพอเพียงที่ได้จาก Minitab รูปที่ ข.11



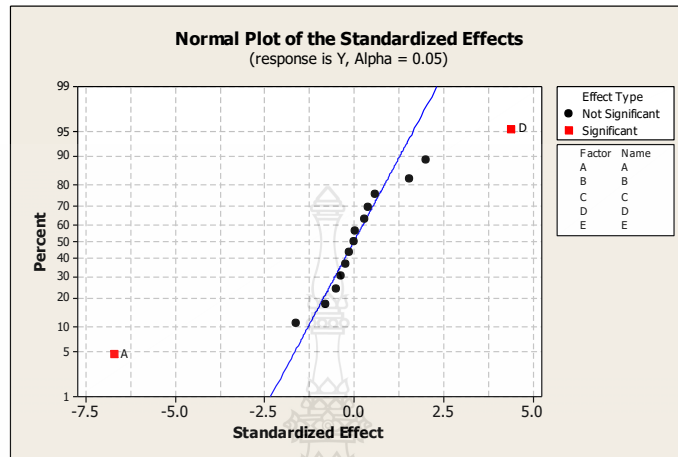
รูปที่ ข.11 กราฟ Residual Plot ของผลตอบสนอง

11. ผลการทดสอบด้วยกราฟพารโตดังรูปที่ ข.12

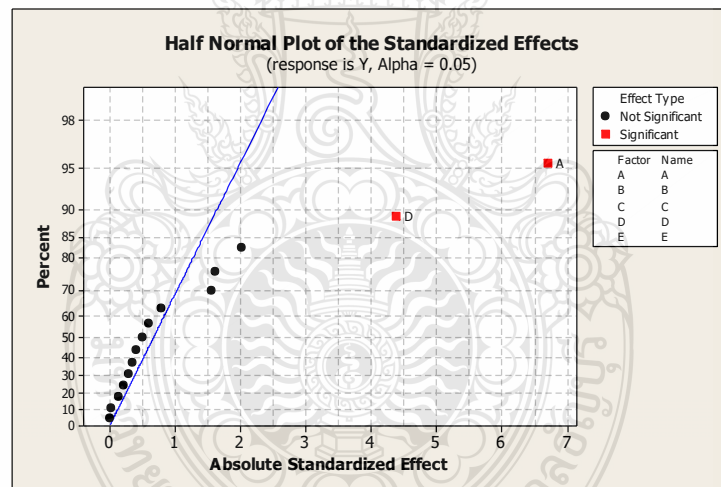


รูปที่ ข.12 กราฟ Pareto Chart of the Standardized Effect  $\alpha = 0.05$

12. การทดสอบด้วยกราฟปกติและปกติครึ่งหนึ่งของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง ดังรูปที่ ข.13 และรูปที่ ข.14



รูปที่ ข.13 กราฟ Normal Plots of the Standardized Effect  $\alpha = 0.05$



รูปที่ ข.14 กราฟ Half Normal Plots of the Standardized Effect  $\alpha = 0.05$

13. ผลการคำนวณค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ ข.15

### Factorial Fit: Y versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		120.463	0.7099	169.68	0.000
A	-9.533	-4.767	0.7099	-6.71	0.000

B	0.575	0.287	0.7099	0.40	0.688
C	-0.192	-0.096	0.7099	-0.13	0.893
D	6.225	3.112	0.7099	4.38	0.000
E	0.867	0.433	0.7099	0.61	0.546
A*B	2.217	1.108	0.7099	1.56	0.128
A*C	0.417	0.208	0.7099	0.29	0.771
A*D	-1.133	-0.567	0.7099	-0.80	0.431
A*E	-0.308	-0.154	0.7099	-0.22	0.829
B*C	0.008	0.004	0.7099	0.01	0.995
B*D	-0.508	-0.254	0.7099	-0.36	0.723
B*E	2.883	1.442	0.7099	2.03	0.051
C*D	-2.292	-1.146	0.7099	-1.61	0.116
C*E	0.033	0.017	0.7099	0.02	0.981
D*E	-0.717	-0.358	0.7099	-0.50	0.617

S = 4.91848      PRESS = 1741.79  
R-Sq = 70.14%      R-Sq(pred) = 32.82%      R-Sq(adj) = 56.15%

Analysis of Variance for Y (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	1569.04	1569.04	313.81	12.97	0.000
A	1	1090.61	1090.61	1090.61	45.08	0.000
B	1	3.97	3.97	3.97	0.16	0.688
C	1	0.44	0.44	0.44	0.02	0.893
D	1	465.01	465.01	465.01	19.22	0.000
E	1	9.01	9.01	9.01	0.37	0.546
2-Way Interactions	10	249.66	249.66	24.97	1.03	0.440
A*B	1	58.96	58.96	58.96	2.44	0.128
A*C	1	2.08	2.08	2.08	0.09	0.771
A*D	1	15.41	15.41	15.41	0.64	0.431
A*E	1	1.14	1.14	1.14	0.05	0.829
B*C	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.995
B*D	1	3.10	3.10	3.10	0.13	0.723
B*E	1	99.76	99.76	99.76	4.12	0.051
C*D	1	63.02	63.02	63.02	2.61	0.116
C*E	1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.981
D*E	1	6.16	6.16	6.16	0.25	0.617
Residual Error	32	774.13	774.13	24.19		
Pure Error	32	774.13	774.13	24.19		
Total	47	2592.83				

Unusual Observations for Y

Obs	StdOrder	Y	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
20	20	127.900	115.600	2.840	12.300	3.06R
33	33	112.200	120.767	2.840	-8.567	-2.13R
47	47	116.300	124.700	2.840	-8.400	-2.09R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Alias Structure

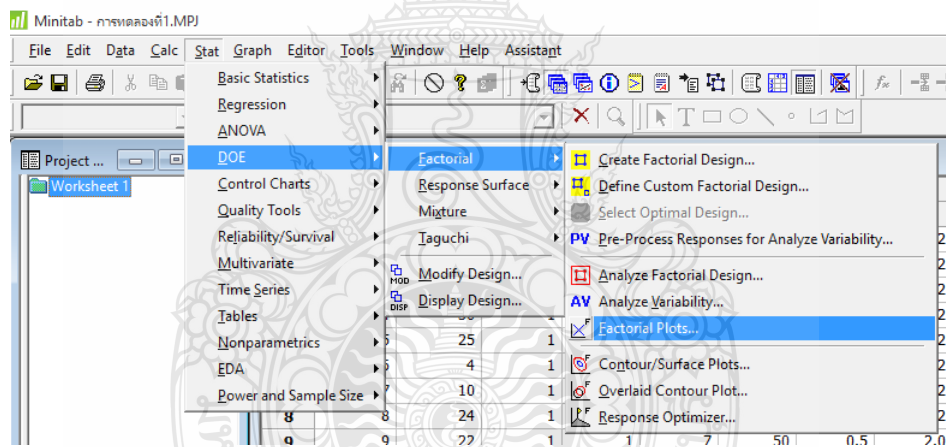
I + A\*B\*C\*D\*E  
A + B\*C\*D\*E

$B + A * C * D * E$   
 $C + A * B * D * E$   
 $D + A * B * C * E$   
 $E + A * B * C * D$   
 $A * B + C * D * E$   
 $A * C + B * D * E$   
 $A * D + B * C * E$   
 $A * E + B * C * D$   
 $B * C + A * D * E$   
 $B * D + A * C * E$   
 $B * E + A * C * D$   
 $C * D + A * B * E$   
 $C * E + A * B * D$   
 $D * E + A * B * C$

รูปที่ ข.15 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนและโครงสร้างคู่แฝดแฝง

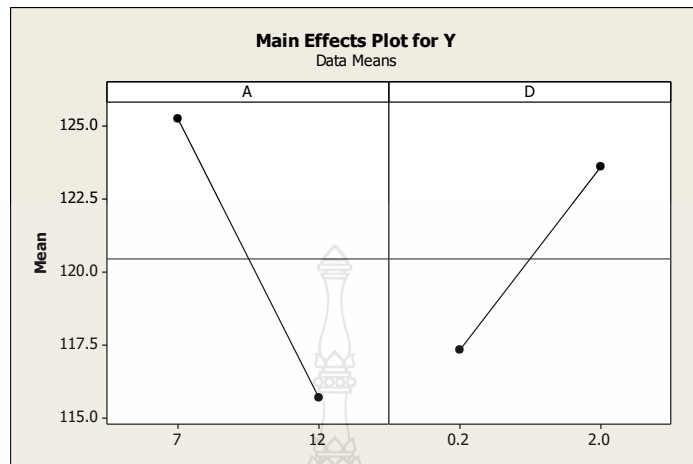
14. การเลือกเมนูแสดงกราฟผลของแฟคทอเรียล Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots

ดังรูปที่ ข. 16



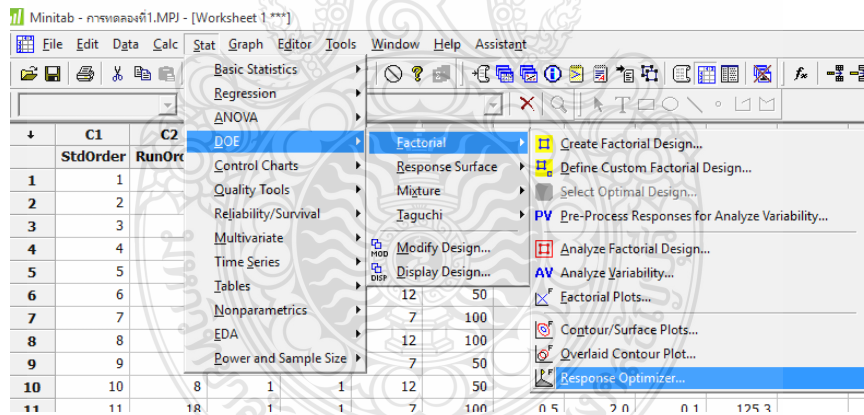
รูปที่ ข.16 การเลือกเมนูกราฟผลของแฟคทอเรียล

15. กราฟผลการทดลองของแต่ละระดับปัจจัยหลักดังรูปที่ ข.17



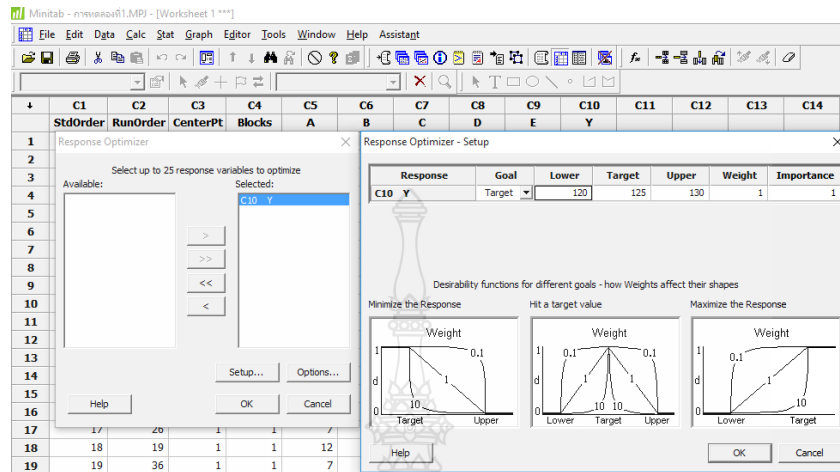
รูปที่ ข.17 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบแต่ละระดับปัจจัยหลัก (การทดลองนี้ไม่มีอิทธิพลร่วมที่ Significant)

16. เลือกเมนูของการหาผลตอบสนองที่ดีที่สุด Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer  
 ดังรูปที่ ข.18



รูปที่ ข.18 การเลือกเมนูหาผลตอบสนองที่ดีที่สุด

17. การกำหนดขอบเขต เพื่อหาค่าของผลตอบสนองที่ดีที่สุด ดังรูปที่ ข.19 และผลลัพธ์ที่ได้ดังรูปที่ ข.20 และรูปที่ ข.21



รูปที่ ข.19 การกำหนดขอบเขตในการหาค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุด

## Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Y	Target	120	125	130	1	1

Global Solution

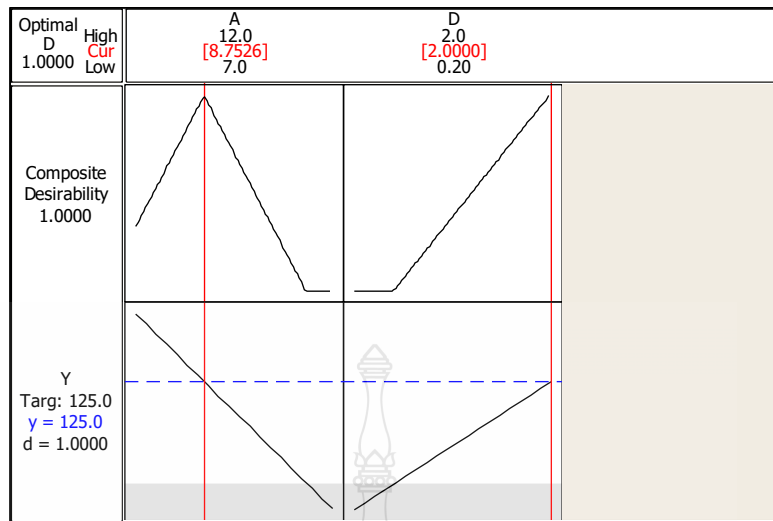
A	=	8.75262
D	=	2

Predicted Responses

Y	=	125	,	desirability =	1.000000
---	---	-----	---	----------------	----------

Composite Desirability = 1.000000

รูปที่ ข.20 ผลลัพธ์ของค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุด



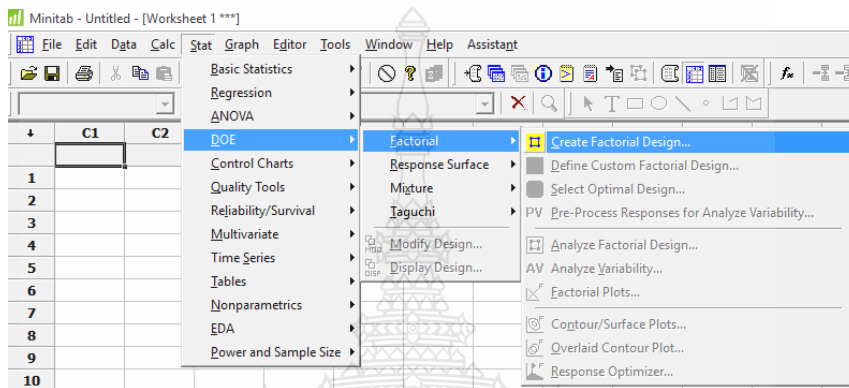
รูปที่ ข.21 กราฟของผลลัพธ์ของค่าผลตอบแทนที่ดีที่สุด



## การออกแบบทดลองส่วนที่ 2

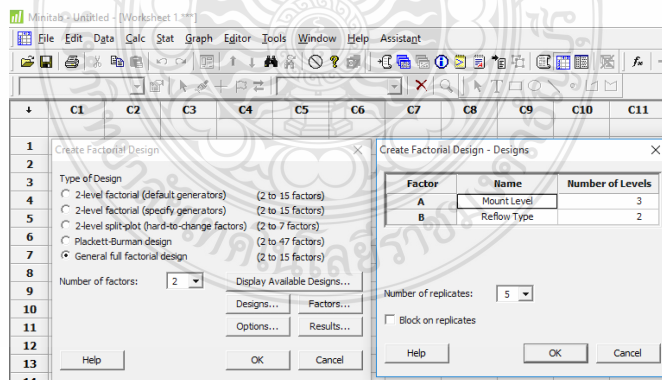
การทดลองของกระบวนการ Pick and Place ร่วมกับกระบวนการ Reflow Soldering ด้วย  
การออกแบบการทดลอง General Full Factorial โดยใช้ Minitab 16

1. เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab 16 เลือก Menu: Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design  
ดังรูปที่ ข.22



รูปที่ ข.22 การเลือกการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

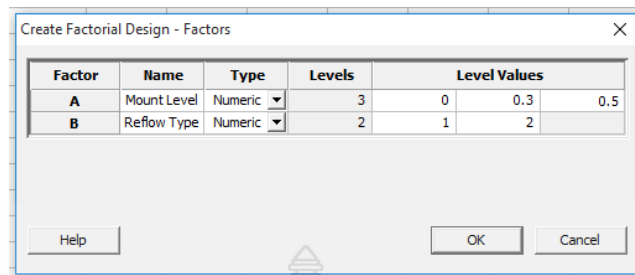
2. เลือกการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design จากนั้นป้อนค่าจำนวนปัจจัย (Number of factors) ระดับของแต่ละปัจจัย (Number of Levels) และจำนวนครั้ง (Number of replicates) ในการทดลองดังรูปที่ ข.23



รูปที่ ข.23 การเลือกการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design

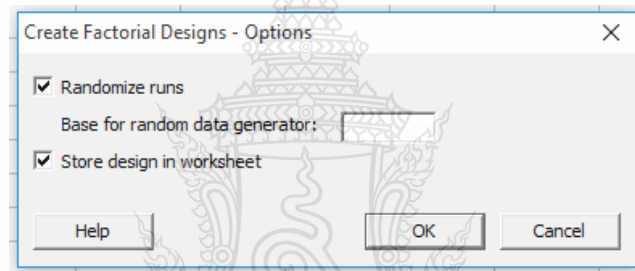


3. ระบุชื่อปัจจัยและการเลือกระดับการทดลองดังรูปที่ ข.24



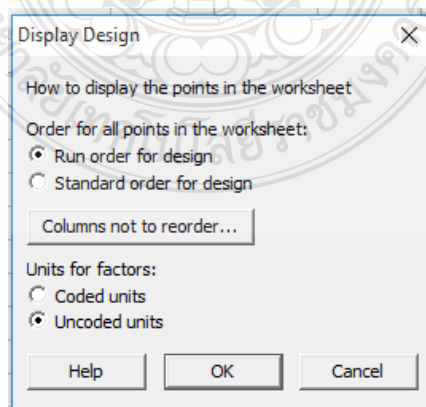
รูปที่ ข.24 การเลือกระดับปัจจัยการออกแบบการทดลอง

4. การเลือกการออกแบบการทดลองแบบสุ่มดังรูปที่ ข.25

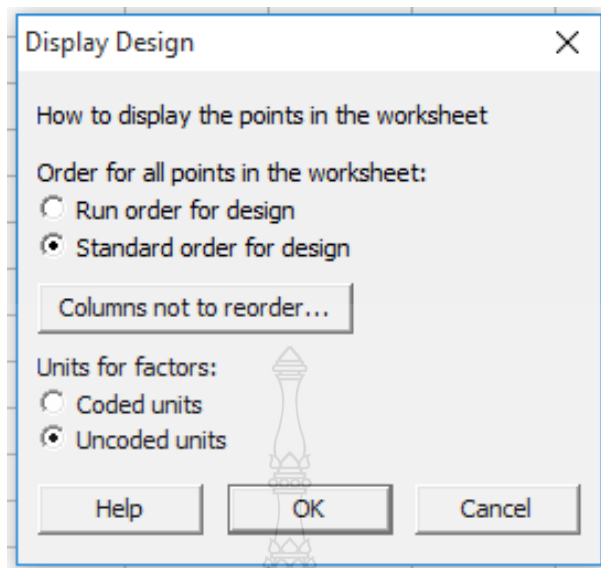


รูปที่ ข.25 การเลือกการทดลองแบบสุ่ม

5. เลือก Stat > DOE > Display Design ให้การทดลองทำการเรียงข้อมูล Run order for Design ดังรูปที่ ข.26 และ การเรียงข้อมูล Standard Order ดังรูปที่ ข.27



รูปที่ ข.26 การเลือกการเรียงลำดับของการออกแบบการทดลองแบบ Run order for design



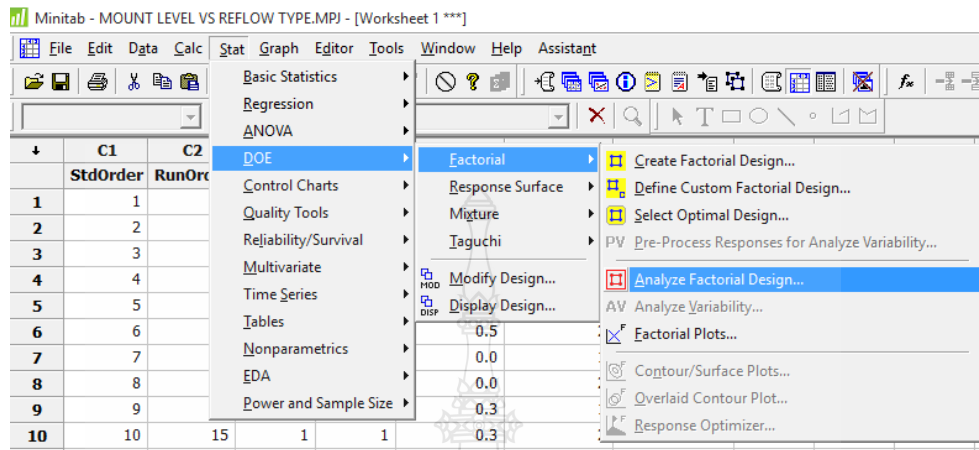
รูปที่ ข.27 การกำหนดให้เรียงลำดับการทดลองตาม Standard Order

6. ทำการทดลองตามตารางที่ได้จากการออกแบบ แล้วบันทึกผลการทดลอง โดยป้อนข้อมูลจากการทดลองลงในช่อง C7 (Bridging Point) ในตารางที่ออกแบบไว้โดย Minitab 16 ดังรูปที่ ข.28

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Mount Level	Reflow Type	Bridging Point
1	29	1	1	1	0.5	1	6
2	1	2	1	1	0.0	1	1
3	5	3	1	1	0.5	1	4
4	14	4	1	1	0.0	2	1
5	24	5	1	1	0.5	2	7
6	21	6	1	1	0.3	1	1
7	13	7	1	1	0.0	1	1
8	2	8	1	1	0.0	2	1
9	28	9	1	1	0.3	2	1
10	27	10	1	1	0.3	1	2
11	25	11	1	1	0.0	1	0
12	30	12	1	1	0.5	2	5
13	8	13	1	1	0.0	2	2
14	11	14	1	1	0.5	1	3
15	10	15	1	1	0.3	2	2
16	23	16	1	1	0.5	1	3
17	15	17	1	1	0.3	1	3
18	20	18	1	1	0.0	2	1
19	22	19	1	1	0.3	2	1

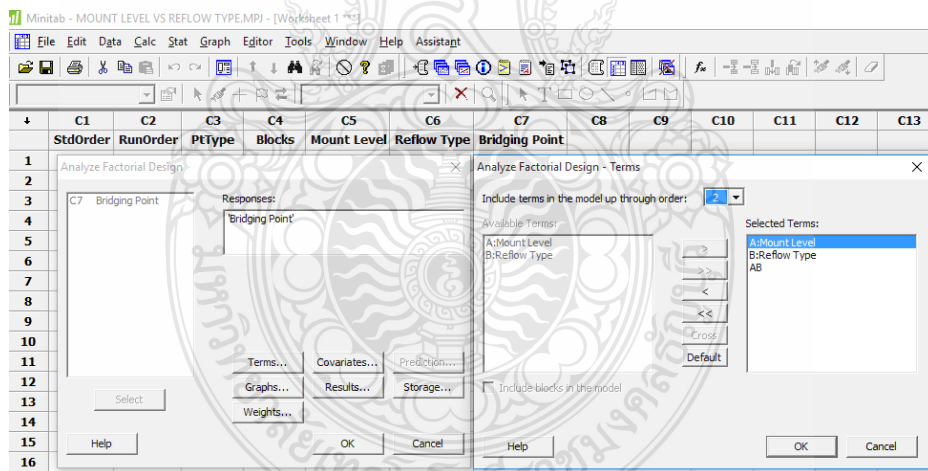
รูปที่ ข.28 การบันทึกผลตอบสนองในตาราง Minitab

7. ปรับข้อมูลให้เป็น Standard order for design ก่อนทุกครั้งที่จะวิเคราะห์ข้อมูล โดยเลือก Menu การวิเคราะห์แฟคทอเรียล Stat > DOE > Factorial > Analysis Factorial Design ดังรูปที่ ข.29



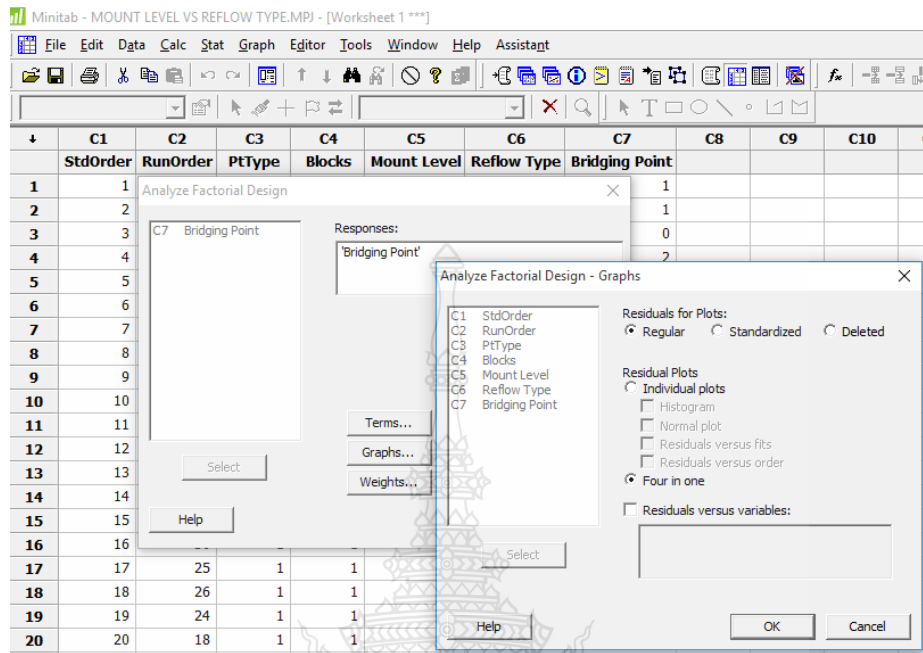
รูปที่ ข.29 การเลือกเมนูการวิเคราะห์การทดลองแบบแฟคทอเรียล

8. เลือกผลตอบแทนและกลุ่มปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ดังรูปที่ ข.30



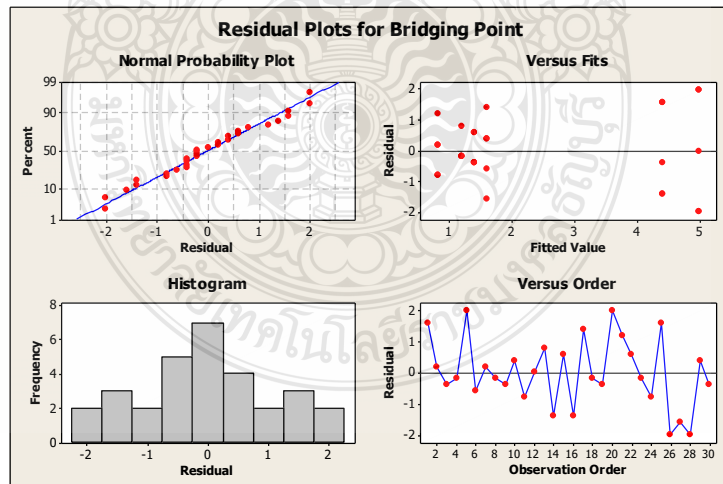
รูปที่ ข.30 การเลือกผลตอบแทนและกลุ่มปัจจัย

9. การเลือกชนิดกราฟการทดสอบความพอเพียงซึ่งรูปที่ ข.31



รูปที่ ข.31 การเลือกการแสดงผลการทดสอบด้วยกราฟ

10. กราฟผลการทดสอบความพอเพียงที่ได้จาก Minitab รูปที่ ข.32



รูปที่ ข.32 กราฟ Residual Plot ของผลตอบสนอง

## 11. ผลการคำนวณค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ ข.33

### Multilevel Factorial Design

Factors: 2 Replicates: 5  
 Base runs: 6 Total runs: 30  
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Number of levels: 3, 2

### General Linear Model: Bridging Point versus Mount Level, Reflow Type

Factor	Type	Levels	Values
Mount Level	fixed	3	0.0, 0.3, 0.5
Reflow Type	fixed	2	1, 2

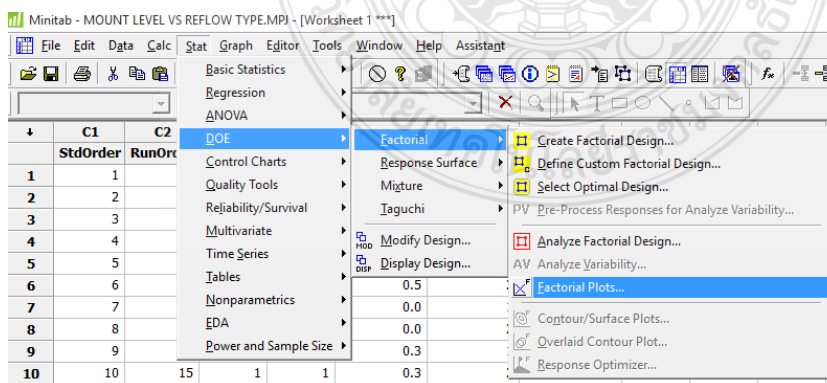
Analysis of Variance for Bridging Point, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Mount Level	2	80.600	80.600	40.300	27.48	0.000
Reflow Type	1	0.533	0.533	0.533	0.36	0.552
Mount Level*Reflow Type	2	0.867	0.867	0.433	0.30	0.747
Error	24	35.200	35.200	1.467		
Total	29	117.200				

S = 1.21106 R-Sq = 69.97% R-Sq(adj) = 63.71%

รูปที่ ข.33 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

## 12. การเลือกเมนูแสดงกราฟผลของแฟคทอเรียล Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots ดังรูปที่ ข. 34



รูปที่ ข.34 การเลือกเมนูกราฟผลของแฟคทอเรียล

Minitab - MOUNT LEVEL VS REFLOW TYPE.MPJ - [Worksheet 1 \*\*\*]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help Assistant

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Mount Level	Reflow Type	Bridging Point				
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11	11	14	1	1	0.5						
12	12	28	1	1	0.5						
13	13	7	1	1	0.0						
14	14	4	1	1	0.0						
15	15	17	1	1	0.3						
16	16	30	1	1	0.3						

Factorial Plots - Main Effects

Responses: 'Bridging Point'

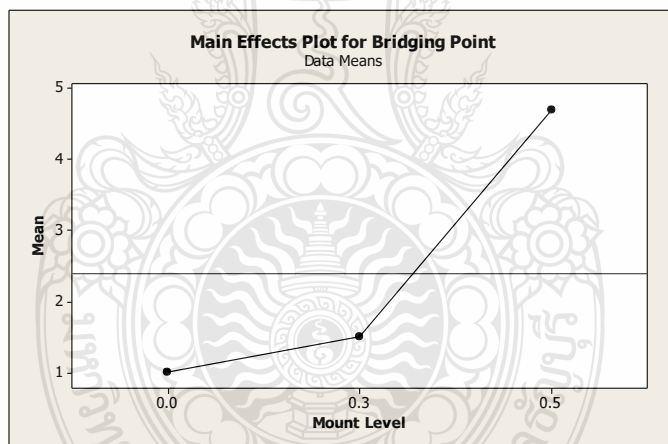
Factors to Include in Plots

Available: B:Reflow Type

Selected: A:Mount Level

รูปที่ ข.35 การเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลเท่านั้นเพื่อทำการพล็อตกราฟผลกระทบของแต่ละระดับ

13. กราฟผลการทดลองของแต่ละระดับปัจจัยหลักและผลการตอบสนองดังรูปที่ ข.36



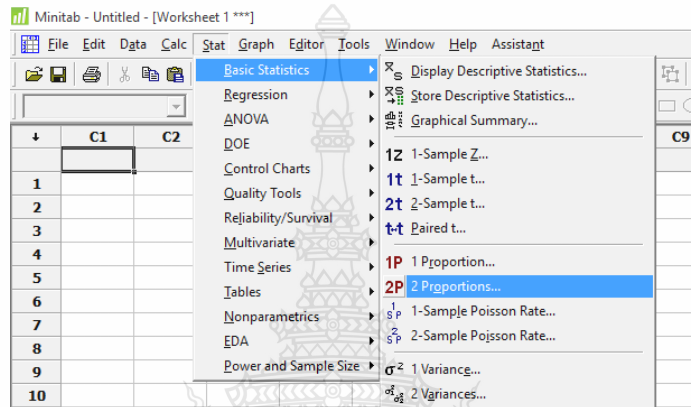
รูปที่ ข.36 ค่าเฉลี่ยของผลกระทบของปัจจัยหลักแต่ละระดับ



## การทดสอบกระบวนการหลังการปรับปรุงโดยการทดสอบสมมติฐาน

โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องด้วย 2 Proportion Test โดย Minitab 16

1. เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab 16 เลือก Menu: Stat > Basic Statistics > 2 Proportions ดังรูปที่ ข.36

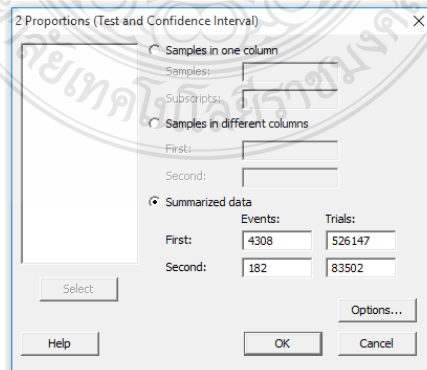


รูปที่ ข.36 การเลือกการทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องด้วย 2 Proportion test

2. เลือกแบบการทดสอบเป็นรูปแบบของ Summarized data และใส่ข้อมูลที่ต้องการเปรียบเทียบลงในตารางดังรูปที่ ข.37 โดย

Events คือ จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้น

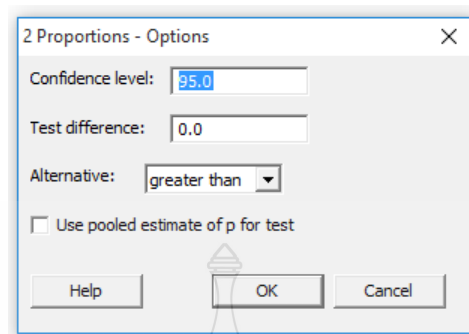
Trials คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในแต่ละกลุ่มที่จะเปรียบเทียบ



รูปที่ ข.37 แสดงการเลือกรูปแบบการทดสอบแบบ Summarized data



3. กำหนด Options เพื่อกำหนดรายละเอียดในการทดสอบดังรูปที่ ข.38



รูปที่ ข.38 แสดงค่าที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

4. ดำเนินการทดสอบความแตกต่างของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง โดยกดที่ปุ่ม OK เพื่อเปรียบเทียบผลของความแตกต่างของวิธีการทั้งสองแบบตามรูปที่ ข.37 และจะแสดงผลดังรูปที่ ข.39

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	4308	526147	0.008188
2	182	83502	0.002180

Difference = p (1) - p (2)  
Estimate for difference: 0.00600824  
95% lower bound for difference: 0.00567324  
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 29.50 P-Value = 0.000  
Fisher's exact test: P-Value = 0.000

รูปที่ ข.39 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

ภาคผนวก ก

เอกสารปฏิบัติงาน



# เอกสารการระเบียบปฏิบัติงานสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (WORK INSTRUCTION)

## 1. กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี (Solder Paste Screen Printing)

<b>FACTORY</b> <small>XXXXX MOO X XXXXX XXXXX                  PATHUMTHANEE XXXXXX THAILAND</small>	Doc. No. : WI-XXXX-XX	Project No. :	Page :
	Title : SOLDER PASTE SCREEN PRINT	Project Name :	Rev. :
Customer :		Checked By :	Approved By :

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. พายปาดตะกั่วยาง (RUBBER)      2. เครื่องปาดตะกั่ว

**\* Special Characteristic (SC)**  
กระบวนการที่ต้องควบคุมลักษณะพิเศษ

**SCREEN PRINT CONDITION AND PROCESS PARAMETER**

SOLDER PASTE BRAND/TYPE. = NO...

STENCIL THICKNESS = ... Mils      ... mm.

SOLDER THICKNESS SPEC. = ... mm.

**ค่าควบคุม Min นวค ค่า Max** = ... mm.

SUPPORT PCB = ...

SQUEEGEE TYPE = ...

MACHINE NAME	MC : MODEL#Line				
PRINT MODE	: PRINT/PRINT				
FRONT PRINT SPEED (mm./s)	: mm./s				
REAR PRINT SPEED (mm./s)	: mm./s				
FRONT PRESSURE (Kg.)	: Kg.				
REAR PRESSURE (Kg.)	: Kg.				
SEPARATION SPEED (mm./s)	: mm./s				
SEPARATION DISTANCE	: mm.				
PRINT GAP (mm.)	: mm.				
AUTO CLEANING	: BOARD				

*This document is PROPRIETARY and CONFIDENTIAL*

DOC-ME0XXX / C  
Ref\_WI0XX-0XX

<b>FACTORY NAME</b> <small>XXXXX MOO X XXXXX XXXXX                  PATHUMTHANEE XXXXXX THAILAND</small>	Doc. No. : WI-XXXX-XX	Project No. :	Page :
	Title : SOLDER PASTE SCREEN PRINT	Project Name :	Rev. :
Customer :		Checked By :	Approved By :

ความหนาของ Stencil = xx

Spec ความสูง: 125 +/- 5 um.

**\* Special Characteristic (SC)**  
กระบวนการที่ต้องควบคุมลักษณะพิเศษ

จุดที่ทำการวัด	ค่าความสูง (mm)		Solder volume	
	ตำแหน่ง	ค่าสูง	ต่ำสุด	สูงสุด
1	CNXXX			
2	ICXXX			
3	JCXXX			
4	CNXXX			

**REMARK :** ให้นำทำการวัดค่าตามตำแหน่งที่กำหนดทุกบอร์ด

ข้อควรระวัง : เมื่อมีการ Run งานครบ ... Magazines / ... บอร์ด พนักงานจะเติมตะกั่ว 125 กรัม ซึ่งทุกส่วนที่เกี่ยวข้องจะต้องเผื่อระวังมีขนาดคุณภาพ เช่น Bridging solder , Insufficient solder

*This document is PROPRIETARY and CONFIDENTIAL*

DOC-ME0XXX / C  
Ref\_WI0XX-0XX

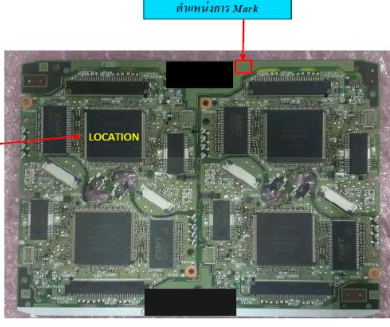
## 2. กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี (Pick and Place)

FACTORY NAME XXXXX MOO K XXXXX XXXXX PATHUMTHANEE XXXXXX THAILAND	Doc. No. : WI-XXXX-XX	Project No. : _____	Page : _____
	Title : PICK & PLACE	Project Name : _____	Rev. : _____
		Customer : _____	Checked By : _____
		Approved By : _____	

**ขั้นตอนการปฏิบัติงาน**

- 1 ใ้พนักงานทำการตรวจสอบชิ้นงานจะต้องได้ครบทุกตำแหน่งตามที่ระบุใน Work Guide ก่อนปล่อย IR
- 2 ใ้ตรวจสอบอุปกรณ์ที่มีขั้วทุกตัว ต้องไม่กลับขั้ว, ไม่ติดค่า, ไม่ผิดตำแหน่ง ก่อนปล่อย IR
- 3 ตรวจสอบอุปกรณ์ทุกตัวจะต้องไม่ตก PAD หรือ ชกถอย
- 4 ในกรณีที่เป็บอร์ด Set up, First หรือ Machine Finetue จะต้องทำการเขียน IDENTIFY ดังรูป
- 5 ต้องสวมสายกราวด์ทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน

\* Special Characteristic (SC)  
กระบวนการที่ต้องควบคุมลักษณะพิเศษ



REMARK : ในกรณีที่ Mark " S, F, N ลงในบอร์ดจะต้องเป็นบอร์ดที่

1. " S " >>> บอร์ด SET UP
2. " F " >>> บอร์ด FIRST
3. " N " >>> Machine Finetue " เท่านั้น "

This drawing and/or information there on is confidential and proprietary

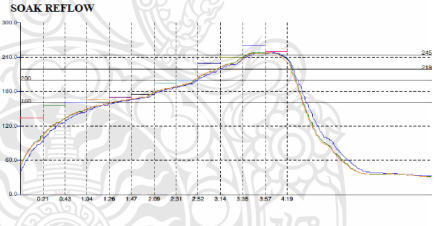
DOC-ME00XX / B

### 3. กระบวนการหลอมของโลหะบัดกรี (Reflow Soldering)

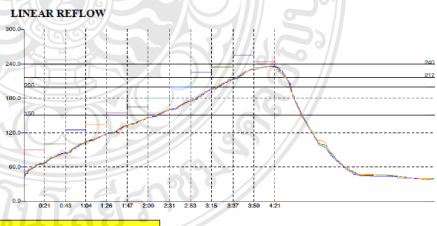
FACTORY NAME XXXXX MOO K XXXXX XXXXX PATHUMTHANEE XXXXXX THAILAND	Doc. No. : WI-XXXX-XX	Project No. : _____	Page : _____
	Title : IR REFLOW TEMPERATURE	Project Name : _____	Rev. : _____
		Customer : _____	Checked By : _____
		Approved By : _____	

PROCESS RECIPE Model Name...

1. IR REFLOW : SOAK			2. IR REFLOW : LINEAR		
Zone	Top	Bottom	Zone	Top	Bottom
1	135 °C	135 °C	1	90 °C	90 °C
2	155 °C	155 °C	2	100 °C	100 °C
3	160 °C	160 °C	3	125 °C	125 °C
4	165 °C	165 °C	4	135 °C	135 °C
5	170 °C	170 °C	5	155 °C	155 °C
6	175 °C	175 °C	6	165 °C	165 °C
7	195 °C	195 °C	7	180 °C	180 °C
8	200 °C	200 °C	8	200 °C	200 °C
9	230 °C	230 °C	9	230 °C	230 °C
10	240 °C	240 °C	10	240 °C	240 °C
11	260 °C	260 °C	11	260 °C	260 °C
12	250 °C	250 °C	12	250 °C	250 °C



SOAK REFLOW



LINEAR REFLOW

ใ้เปิดใช้ในโครงการ (i.e.) โดยควบคุมอุณหภูมิบน ต้องใ้ต่ำกว่า 3000 PPM  
โดยค่าที่แนะนำสมควร Set ค่า อุณหภูมิใ้ที่ 1800 PPM-2600 PPM

This document is PROPRIETARY and CONFIDENTIAL

DOC-ME00XX / C  
Ref\_ WIXXX-XXX

#### 4. กระบวนการตรวจสอบ (QC INSPECTION)

<b>FACTORY NAME</b> XXXX MOO X XXXX XXXX PATHUMTHANI XXXXX THAILAND	Doc. No. : WI-XXXX-XX Title : QC VISUAL INSPECTION	Project No. : Project Name : Customer :	Page : Rev. : Checked By : Approved By :
---	---	---	---

**QC ใช้ SPEC ในตารางด้านล่างในการตรวจสอบชิ้นงาน**  
**Standard Visual Check Process SMT**  
**มาตรฐานการตรวจสอบชิ้นงาน**

<b>Crack</b>	<b>Crack</b>	<b>Crack</b>	<b>Crack</b>	<b>Crack</b>	<b>Crack</b>	<b>Crack</b>	<b>Crack</b>
<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>	<b>Component Damage</b>
<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>	<b>Pin bend</b>
<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>	<b>Up stand</b>
<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>	<b>Wiring</b>

This drawing and/or information there on is confidential authorized use and/or Reproduction with out a permit is prohibited.

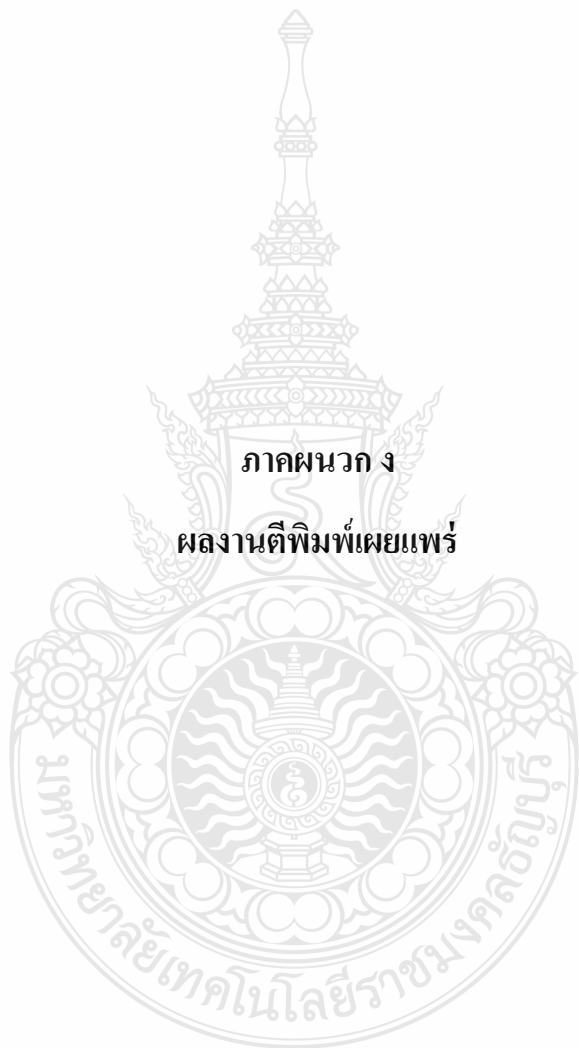
DOC-MEXXXX / B



5. ตารางบันทึกผลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ตารางบันทึกผลปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหลังการนำค่าควบคุมมาปฏิบัติงานในช่วงเดือน มิถุนายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2558

Date	MODEL	POINT	JOB QTY.	INPUT BD.	OUTPUT BD.	FAIL POINT	FAIL BD.	YIELD %	TOTAL POINT	PPM	MISSING PART/No Mount	MISSING PART/InGate	MISSING PART/InGate	MISSING PART/InGate	MISSING PART/InGate	MISALIGNMENT	SOLDER BALL	INSUFFICIENT SOLDER	NON WETTING	COOL SOLDER	OVER TURN	FLLOATING	SOLDER CRACK	DAMAGE COM.	OVER COM.	OVER GLUE/SOLDER	EXPOSED COPPER	PCB BROKEN	LEAD TO SHORT	LEAD TO LONG	NO SOLDER	TOMB STONE	SIDE TERMINATE	DIRTY ON BOARD	OTHER	TOTAL
5-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	2996	2356	2,348	8	8	99.66	308936	26					5			1						1												8
6-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	5000	5000	4,977	23	23	99.54	655000	35					12			5	1		1	2										2				23
10-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	5000	3000	2,984	16	16	99.47	393000	41					9			4						1									2			16
17-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	5000	2000	1,996	4	4	99.80	262000	15					1			1	2																	4
18-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	5000	1600	1,585	28	15	99.06	209600	134					22			2				2		1											28	
19-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	5000	3840	3,776	64	64	98.33	503040	127					20			1	25		3			3											64	
20-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,981	20	19	99.05	262000	76					3			14				1													20	
22-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	3000	3000	2,987	13	13	99.57	393000	33					3			4				1													13	
30-มิ.ย.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,980	21	20	99.00	262000	80					10			4				1													21	
6-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	3300	3,286	14	14	99.58	432300	32					4			6																		14
7-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	4720	4,688	38	32	99.32	618320	61					12			14				1		2											38	
8-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	1700	1,684	19	16	99.06	222700	85					8			5				1		1											19	
9-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	3006	3006	2,989	37	17	99.43	393786	94					19			2				1		3											37	
14-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	1200	1,194	8	6	99.50	157200	51					2			1																		8
15-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	1600	1,597	3	3	99.81	209600	14					1			2																		3
27-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	3800	3,786	14	14	99.63	497800	28					1			8				1														14
28-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	5000	4,985	15	15	99.70	655000	23					4			3																		15
29-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,994	6	6	99.70	262000	23					4			1																		15
10-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	5000	4,979	28	21	99.58	655000	43					10			1				3		1												6
11-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,992	8	8	99.60	262000	31					1			1																		8
13-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	5000	4,977	24	23	99.54	655000	37					2			3																		8
18-ก.ค.-18	YWX-XXXX	131	5000	2880	2,868	14	12	99.58	377280	37					9			6				1														14
31-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	5000	2120	2,115	5	5	99.76	277200	18					2			1																		5
4-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	1900	1,898	2	2	99.89	248900	8					1			1				1														2
5-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	1000	840	833	7	7	99.17	110040	64					5			1																		7
10-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,978	29	22	98.90	262000	111					10			8				3														29
26-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	1000	1000	995	5	5	99.50	131000	38					2			2																		5
29-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,997	3	3	99.85	262000	11					1			1				2														3
4-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	1000	1000	992	8	8	99.20	131000	61					1			3																		6
12-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,998	2	2	99.90	262000	8					5			1					1													2
5-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	2000	2000	1,992	9	8	99.60	262000	34					5			1																		9
18-ก.ค.-15	YWX-XXXX	131	3000	2640	2,633	7	7	99.73	345840	20					1			3				1														7
			110002	83,502	83,064			99.47			0	0	0	0	37	0	0	0	132	20	0	5	25	0	6	15	0	0	0	0	0	14	10	16	3	500



**ภาคผนวก ง**  
**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**



Industrial Engineering

# IE Network Conference 2016

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2559

## นวัตกรรมอุตสาหกรรมไทยก้าวไกลสู่ประชาคมโลก

Local Industrial Innovations for Global Community

7 – 8 กรกฎาคม 2559

โรงแรมโมโหะ จังหวัดขอนแก่น

45 ปี วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

### ปฏิทินงานและกำหนดการที่สำคัญ

วันที่	กำหนดการ
17 เมษายน 2559	วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์
15 พฤษภาคม 2559	แจ้งผลการพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์
15 พฤษภาคม 2559	เปิดระบบการลงทะเบียน และชำระค่าลงทะเบียนล่วงหน้า
31 พฤษภาคม 2559	วันสุดท้ายของการส่งบทความฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการแก้ไข
15 มิถุนายน 2559	วันสุดท้ายของการชำระค่าลงทะเบียนล่วงหน้า
6 กรกฎาคม 2559	Welcome Party
7-8 กรกฎาคม 2559	งานประชุมวิชาการ

### สาขาวิชาในการประชุม

- Operations Research
- Production and Operation Management
- Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management
- Quality Engineering
- Energy Management
- Green and Sustainability in Industrial Engineering
- Materials and Manufacturing Engineering
- Supply Chain and Logistics
- Innovation Management, Industrial Technology Transfer
- Engineering Management
- Maintenance and Reliability Engineering
- Others Related to Industrial Engineering and Innovation



วันที่ 2 มิถุนายน 2559

เรื่อง ผลการพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์  
 เรียน เจ้าของบทความหมายเลข 18

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความวิชาการเข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการถ่ายทอดงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2559 (IE Network Conference 2016) ระหว่างวันที่ 7-8 กรกฎาคม 2559 ณ โรงแรมโฆษะขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ในการนี้ทางคณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการ IE Network 2016 ขอแจ้งผลการพิจารณาบทความฉบับสมบูรณ์ ในการประชุมวิชาการถ่ายทอดงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมของท่าน ดังนี้

หมายเลข	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียนบทความ	ผลการพิจารณา
18	การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง	Udom Lopsoonthorn	ตอบรับให้ตีพิมพ์และนำเสนอบทความ

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ทรัพย์พัฒนา)  
 ประธานถ่ายทอดงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2559

## กำหนดการประชุม

### การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2559 (IE Network Conference 2016)

ระหว่างวันที่ 6-8 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมโฆษะ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

#### วันพุธที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

15.00 น.	18.00 น.	ลงทะเบียน
15.30 น.	17.00 น.	ประชุมสามัญหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
18.00 น.	20.00 น.	งานเลี้ยงต้อนรับ (Welcome Party)
10:45 น.	11:00 น.	รับประทานอาหารว่าง

#### วันพฤหัสบดีที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

08.00 น.	09.00 น.	ลงทะเบียน
09.00 น.	09.45 น.	พิธีเปิดการประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2559 - กล่าวต้อนรับ และรายงานการจัดประชุมวิชาการฯ โดย ผศ.ดร.ปณิธาน ทรัพย์พัฒนา หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม - กล่าวเปิดการประชุมวิชาการฯ โดย ศ.ดร.อภิรัฐ ศิริธราจิวัชร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
09.45 น.	10.45 น.	การบรรยายพิเศษ โดย คุณวินัส เตโฬลูพงษ์ ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน)
10.45 น.	11.00 น.	รับประทานอาหารว่าง
11.00 น.	12.00 น.	การบรรยายพิเศษ โดย คุณเมษิต สุขสิงห์ ผู้ช่วยกรรมการผู้อำนวยการใหญ่ บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)
12.00 น.	13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน

#### Parallel Session 1

Room	ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มงกุฎหยก	มงกุฎทับทิม	มงกุฎแก้ว	มงกุฎเงิน	มงกุฎทอง	มงกุฎนาก	
Topic	Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Operations Research	Quality Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Supply Chain and Logistics	Engineering Management	Engineering Management + Other Related	
13:00 น.	13:15 น.	15	165	14	18	6	9	8	4
13:15 น.	13:30 น.	16	173	53	43	57	11	25	157
13:30 น.	13:45 น.	22	178	83	45	72	63	70	168
13:45 น.	14:00 น.	24	182	85	48	75	97	95	210
14:00 น.	14:15 น.	26	192	87	105	234	130	101	235
14:15 น.	14:30 น.	28	207	127	107	324	246	245	372
14:30 น.	14:45 น.	96	212	206	155	430	302	407	64
14:45 น.	15:00 น.	374	298	422	348	439	404	425	412
15:00 น.	15:15 น.	รับประทานอาหารว่าง							

#### วันพฤหัสบดีที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 (ต่อ)

#### Parallel Session 2

Room	ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มงกุฎหยก	มงกุฎทับทิม	มงกุฎแก้ว	มงกุฎเงิน	มงกุฎทอง	มงกุฎนาก	
Topic	Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Operations Research	Maintenance and Reliability Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Production and Operation Management	Engineering Management	Others Related to Industrial Engineering and Innovation	
15:15 น.	15:30 น.	31	78	133	118	12	121	103	49
15:30 น.	15:45 น.	36	223	134	120	77	143	106	98
15:45 น.	16:00 น.	41	276	321	136	89	329	111	129
16:00 น.	16:15 น.	66	277	327	138	93	333	249	153
16:15 น.	16:30 น.	68	370	342	198	94	336	263	142
16:30 น.	16:45 น.	69	395	437	203	175	367	280	145
16:45 น.	17:00 น.	426	401	445	418	308	421	301	423
18:30 น.	22:00 น.	งานเลี้ยงรับรองผู้เข้าร่วมประชุม IE Network 2016 และพิธีส่งมอบงานประชุมวิชาการ IE Network							

วันศุกร์ที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

Parallel Session 3									
Room	ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มณฑุทยก	มณฑุฑัฒัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั
Topic	Materials and Manufacturing Engineering	Energy Management, Innovation Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Production and Operation Management	Production and Operation Management	Supply Chain and Logistics	Engineering Management	
8:30 น.	8:45 น.	27	91	13	147	21	151	253	196
8:45 น.	9:00 น.	123	115	34	174	30	152	275	205
9:00 น.	9:15 น.	126	236	50	396	37	160	284	350
9:15 น.	9:30 น.	137	261	139	176	42	170	326	393
9:30 น.	9:45 น.	162	273	140	180	44	171	330	397
9:45 น.	10:00 น.	259	247	146	187	62	229	340	416
10:00 น.	10:15 น.	270	349	222	268	65	411	383	452
10:15 น.	10:30 น.	รับประทานอาหารเช้า							

วันศุกร์ที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 (ต่อ)

Parallel Session 4									
Room	ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มณฑุทยก	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั
Topic	Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Operations Research	Quality Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Production and Operation Management	Supply Chain and Logistics	Maintenance and Reliability Engineering	
10:30 น.	10:45 น.	71	135	102	219	23	154	116	169
10:45 น.	11:00 น.	406	239	108	279	40	163	128	185
11:00 น.	11:15 น.	267	300	110	59	167	380	352	286
11:15 น.	11:30 น.	269	304	368	124	337	384	390	398
11:30 น.	11:45 น.	319	371	429	148	358	385	432	399
11:45 น.	12:00 น.	323	377	449	419	440	149	435	415
12:00 น.	13:00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน							

Parallel Session 5									
Room	ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มณฑุทยก	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั
Topic	Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Green and Sustainability in Industrial Engineering	Quality Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Production and Operation Management	Production and Operation Management	Production and Operation Management	Others Related to Industrial Engineering and Innovation
13:00 น.	13:15 น.	150	201	99	197	35	47	202	82
13:15 น.	13:30 น.	189	215	172	200	114	67	231	213
13:30 น.	13:45 น.	208	271	224	211	119	74	227	241
13:45 น.	14:00 น.	278	272	232	225	287	79	255	320
14:00 น.	14:15 น.	221	378	295	251	291	80	303	347
14:15 น.	14:30 น.	226	391	331	252	297	100	307	351
14:30 น.	14:45 น.	299	394	345	313	413	382	362	402
14:45 น.	15:00 น.	242	84	436	335	417	433	428	414
15:00 น.	15:15 น.	รับประทานอาหารเช้า							

Parallel Session 6									
Room	ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มณฑุทยก	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั	มณฑุฑัฒัฒั
Topic	Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Supply Chain and Logistics	Quality Engineering	Others Related to Industrial Engineering and Innovation	Production and Operation Management	Production and Operation Management		
15:15 น.	15:30 น.	237	408	60	81	86	191	76	
15:30 น.	15:45 น.	256	409	61	392	132	193	288	
15:45 น.	16:00 น.	257	431	434	446	216	194	290	
16:00 น.	16:15 น.	281	450	441	447	233	322	373	
16:15 น.	16:30 น.	355	451	453		318	365		

นวัตกรรมการอุตสาหกรรมไทยก้าวไกลสู่ประชาคมโลก



# PROCEEDINGS IE Network 2016 Conference

Local Industrial Innovations  
for Global Community

July 7-8, 2016

Kosa Hotel, Khon Kaen, Thailand





## คณะกรรมการดำเนินงาน

### ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย  
ศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ปทุมนานกุล

อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองคณบดีฝ่ายวิจัย บัณฑิตศึกษา และอุตสาหกรรมสัมพันธ์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน พิธีพัฒนา

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### รองประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมกฤช ปิติฤกษ์  
อาจารย์ ดร. อภิชาติ บุญมา

รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### กรรมการ

ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนานกุล  
รองศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ขอบจายเกียรติ  
รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา เศรษฐนันท์  
รองศาสตราจารย์ ดร. ชาญมรงค์ สายแก้ว  
รองศาสตราจารย์ ดร. ศีขรินทร์ สุขโต  
รองศาสตราจารย์ ดร. ดนัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ เศรษฐสุเมธูรณ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขอังคณา แดงลงกัณฑ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาพจน์ เจริญอภิบาล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา ราษฎร์ภักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล  
อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ หอมดี  
อาจารย์ ดร.ปนิทัศน์ สุริยธนาภาส  
อาจารย์ ดร.ศิริวดี อรัญนารถ  
อาจารย์ ดร.ธนาพรรัตน์ นิยะไม่สถ  
อาจารย์ อ.พระพงศ์ ท้าวเพชร  
อาจารย์ อ.ทวิ นาครัชตะอมร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

### กรรมการและเลขานุการ

อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

โปรแกรมวิชาช่างกลโรงงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

### ผู้ช่วยเลขานุการ

นางกรรณิการ์ เรืองศรีวิรัตน์  
นางสาวธิดารัตน์ บุตรราช  
นางสาวณัฐภา ศักดิ์ศิลาพร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วีโรจน์ ศรีสุรภานนท์  
รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา วสุศรี  
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ  
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์  
อาจารย์ สุทธิพงษ์ โสภา

รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ ชูติมา  
รองศาสตราจารย์ สันติรัฐ นันสะอาจ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา วัฒนาภา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล มณฑาทิพย์กุล  
อาจารย์ ดร.ปรัชญา เทียสุระ  
อาจารย์ แบงค์ งามอรุณโชติ

### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.ก้องกิติ พุสวัตต์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันท์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ สุพิทักษ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธิภา องค์คุณารักษ์  
อาจารย์ ดร.วรวุฒิ หวังวัชรกุล  
อาจารย์ ดร.โสภา ตริรัตน์ตระกูล  
อาจารย์ ดร.ศักดิ์ดา คำจันทร์  
อาจารย์ ดร.พัชรา ศรีพระบุ  
อาจารย์ ดร.รญา เนื่องมัจฉา  
อาจารย์ ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬา พิชิตลำเค็ญ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน  
อาจารย์ ดร.พัชรี โตแก้ว ทองรัตน์  
อาจารย์ ดร.เขมรุต ชำนาญหล่อ  
อาจารย์ ดร.วิเรชา คำจันทร์  
อาจารย์ ดร.ชาตินักรบ แสงสว่าง  
อาจารย์ สุวิวัฒน์ สืบสานกุล  
อาจารย์ ปริญญา พัฒนสันต์พร

### มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.เชอรลิน สุขศรีวงศ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย นาทะพันธ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บันลือ เอมะรุจิ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณชัย ศิริโรจนกุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ราษฎร์ศิริ

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปฐมศิริ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วเรศรา วีระวัฒน์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงยศ สุภิกิตย  
อาจารย์ ดร.จิรพรรณ เลียงโรคาพาธ

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรณกร เก่งพล  
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยธัช เมื่อกสามัญ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์

รองศาสตราจารย์ รัตนา อัทภูมಿಸุวรรณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนารี สุขเสกสรร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิพัฒน์ พูลสวัสดิ์  
อาจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม

### มหาวิทยาลัยบูรพา

รองศาสตราจารย์ ดร.เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทร์ทา นาควิตรตระกูล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อธิวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ  
อาจารย์ ดร.ฤกษ์วัลย์ จันทรส

### มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ โสภาคแดง  
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ฉัตรทิณวัฒน์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินท

รองศาสตราจารย์ ดร.ชนนาค กฤตวรกาญจน์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงศ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ เสรีรัตน์

## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.เสมอจิตร์ หอมรสสุนทร  
รองศาสตราจารย์ ดร.บุษบา พงกษาพันธ์รัตน์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ธรรมนิวิฏฐ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศน์เกียรติ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวัสดิ์ ภาระราช  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ ตันตีไพบุลย์วุฒิ

### จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย  
อาจารย์ ดร.พิศิษฐ์ จารุมนโรจน์

รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เขาวลิตวงศ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจินทร์ดีไชย

### มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร  
อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์  
อาจารย์ ดร.คณิศ พันธุ์สวัสดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์  
อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม

### มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล  
รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล  
อาจารย์ สุรียา จิรสถิตสิน

รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สงวน ตั้งโพธิธรรม  
อาจารย์ ภาคภูมิ ชีรสันติกุล

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล มณฑาทิพย์กุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภัศร ชัยวัฒน์

รองศาสตราจารย์ ดร. ธนัญญา วสุศรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำพล การณสุนทวงษ์  
อาจารย์ ดร.วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์

### มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน  
อาจารย์ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทย์ศักดิ์  
อาจารย์ วิสาข์ เจ้าสกุล

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล

### มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเขาวน

อาจารย์ ดร.จริยาภรณ์ อนุวงศ์

### มหาวิทยาลัยรังสิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวรรณ อัครไพบูลย์  
อาจารย์ ดร.พิชญ มนต์สปีติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สินี สุขกรมใส มอเออร์  
อาจารย์ ศิลปชัย วัฒนเสย

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ วรรณศรี  
อาจารย์ ดร.อิทธิวัฒน์ บุญมี

อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์

## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

### มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ

ว่าที่ร้อยตรีจอมภาพ ละออ

### มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์

### มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อาจารย์ ดร.โรจน์ ทอมขาลี

### สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อัญชลี สุพิทักษ์

### มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

อาจารย์อรอุมา กอสนาน

### มหาวิทยาลัยสยาม

อาจารย์ ขาณิศา พิทยานนท์

### มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รัตนวงษ์

อาจารย์ ดร.ธรมินทร์ สัจจวิริยทรัพย์

### มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

อาจารย์ ดร.ทศพร แจ่มใส

อาจารย์ปิยะณัฐ ไตอ่อน

### มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

อาจารย์อำนาจ อมฤก

### มหาวิทยาลัยทักษิณ

อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัทธสิทธิ์

### มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

อาจารย์ ดร.ธีรินทร์ คงพันธุ์

อาจารย์ สลิตเทพ สังข์ทอง

### มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง

อาจารย์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์



## ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

อาจารย์ พงษ์ศักดิ์ เกิดลาภี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรมณี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร จันทวี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง

บริษัท เอ็มโฟกัส จำกัด

ดร.ปรีชา พันธมสินชัย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนากุล

รองศาสตราจารย์ ดร.สมจิตร อาจอินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ดนัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรพัฒน์ เศรษฐสมบุรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนา ราษฎร์ภักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขอังกณา แถลงกัณท์

อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ หอมดี

อาจารย์ ดร. อภิชาติ บุญมา

อาจารย์ ดร.ปณิตศน์ สุริยธนาภาส

อาจารย์ ดร.ศิริวดี อรัญนารถ

อาจารย์ โกวิทย์ พลหาญ

รองศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ขอบจายเกียรติ

รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา เศรษฐนันท์

รองศาสตราจารย์ ดร. ศิวรินทร์ สุขโต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน พีรพัฒนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาพจน์ เจริญอภิบาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รักษิณ อัครรุ่งเรืองกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมกฤษ ปิติฤกษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อีรวรรณ เหล่านภากุล

อาจารย์ ดร.ธรรณวรัตน์ นิยะโมสถ

อาจารย์ ดร.อาทิตย์ อภิโชติธนกุล

อาจารย์ ทวี นาครชตะอมร

Topic:	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management (ต่อ)	หน้า
ID_094	การศึกษาเวลามาตรฐานและการปรับปรุงกระบวนการมันลง กรณีศึกษา บริษัทผลิตอาหารสัตว์	603
ID_114	การปรับปรุงการผลิตในกระบวนการประกอบเครื่องปรับอากาศ	610
ID_119	การปรับปรุงกระบวนการผลิตโรงงานผลิตน้ำจิ้มไก่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา	616
ID_139	การลดมลภาวะฝุ่นละอองภายในโรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก กรณีศึกษา โรงงานอิญอร์ เซรามิก จังหวัดลำปาง	625
ID_140	การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อหาปริมาณและตำแหน่งการเติมอากาศสำหรับระบบระบายควันไฟในโรงสูง	633
ID_146	การจำลองการแพร่กระจายของควันไฟด้วยวิธีเชิงตัวเลข กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	639
ID_147	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเส้นท่อน้ำ	648
ID_167	การลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อยืดแบบมีแขน กรณีศึกษา บริษัทตัดเย็บเสื้อผ้าในจังหวัดนครราชสีมา	654
ID_174	การศึกษาเบื้องต้นเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเตรียมผลิตผ้าถัก	661
ID_175	การลดของเสียในกระบวนการหล่อเครื่องประดับเงิน	669
ID_176	การศึกษาระดับความไม่สบายในนักศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยที่ใช้เก้าอี้ที่มีแผ่นรองเขียน	675
ID_180	การลดของเสียก้นวาล์วเป็นรอยที่เกิดจากการเจียรใน	681
ID_187	การปรับปรุงผังโรงงานเพื่อการเพิ่มผลผลิต	689
ID_222	การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าและสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา บริษัท Holm Machinery Asia	699
ID_234	การวิเคราะห์กระบวนการผลิตใส่กรองอากาศด้วยเทคนิคการจำลองแบบปัญหา	706
ID_268	การจำลองการอพยพหนีไฟบนแท่นขุดเจาะก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยด้วยโปรแกรม Pathfinder	712
ID_287	การปรับปรุงวิธีเตรียมสีลงยาเครื่องราชอิสริยาภรณ์	718
ID_291	การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนลำโพงขนาดเล็ก	726
ID_297	การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยอาศัยเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา	733
ID_308	การประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานทางการยศาสตร์ด้วยวิธี RURA REBA และ WERA กรณีศึกษา หนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา	740
ID_324	การกำหนดเวลามาตรฐานการทำงานของพนักงานมีครรภ์ กรณีศึกษา บริษัทผลิตเครื่องถ่ายเอกสาร	748
ID_337	การปรับปรุงงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์	754
ID_358	การพัฒนากระบวนการจัดการฐานข้อมูลสำหรับการฝึกอบรมในบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	760
ID_396	การศึกษาสภาพปัญหาและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต กรณีศึกษา โรงงานไผ่สุคนธ์ จังหวัดลำปาง	766
ID_413	ความเหมาะสมของเฟอร์นิเจอร์สำหรับนิสิตในมหาวิทยาลัย	772
ID_417	การออกแบบเชิงการยศาสตร์ของเฟอร์นิเจอร์สำหรับเด็กปฐมวัย	780
ID_430	การประเมินความเสี่ยงและแนวทางการแก้ปัญหาทางการยศาสตร์ในโรงงานผลิตของเด็กเล่นไม้ยางพารา	787
ID_439	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไอศกรีม ด้วยเทคนิคโคเซ็น กรณีศึกษา โรงงานผลิตไอศกรีม	793
ID_440	การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตรวจสอบชิ้นงาน	798
Topic:	Quality Engineering	
ID_018	การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรถอนิกสไลด์บนแผ่นพีซีบี โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง	807
ID_043	การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดความแปรปรวนในการวัดค่าอนุภาคบนแป้นตักค้ำ ของแขนจับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	816
ID_045	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพันสีผลิตภัณฑ์ตัวถังเครื่องซักผ้าโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง	822
ID_048	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปโอริงโดยการออกแบบการทดลอง	829



การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีโดยการ  
ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง  
Defect Reduction in Electronic Assembly Process on Print Circuit Board By  
applying Design of Experiment (DOE)

อุดม ลพสุนทร<sup>1\*</sup> และ ณฐา คุปต์ชฐีเยร์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: 1156704410041@mail.mutt.ac.th\*

Udom Lopsoonthom<sup>1\*</sup> and Natha Kuptasthien<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: 1156704410041@mail.mutt.ac.th\*

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร จากการศึกษากระบวนการผลิตภายในโรงงานกรณีศึกษา มีปริมาณของเสีย 1.34 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัญหาการลัดวงจรเป็นปัญหาอันดับที่ 1 โดยมีปริมาณที่เกิดขึ้น 8,188 ดีพีทีเอ็มหรือคิดเป็น 59.02 เปอร์เซ็นต์ของทุกปัญหาทั้งหมดภายในกระบวนการผลิตระเบียบวิธีวิจัยเริ่มต้นด้วยการนำแผนภูมิพาเรโตมาใช้ในการลำดับปัญหาที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรรวมกับการใช้แผนผังแสดงเหตุและผลในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาภายในกระบวนการ จากนั้นทำการทดลองและหาอันดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ก่อให้เกิดปัญหาน้อยที่สุดโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองกับปัจจัยที่มีอิทธิพลของกระบวนการ 3 กระบวนการภายในได้แก่ การพิมพ์โลหะบัดกรี การวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และการหลอมโลหะบัดกรี โดยแบ่งการออกแบบการทดลองทางสถิติเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ออกแบบการทดลองปัจจัยที่ทำให้เกิดการลัดวงจรจากกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีโดยการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน 2<sup>5-1</sup> และ ส่วนที่ 2 ออกแบบการทดลองปัจจัยที่ทำให้เกิดการลัดวงจรที่มาจากกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับกระบวนการหลอมโลหะบัดกรีโดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป ผลการดำเนินงานทั้งหมดพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการพิมพ์โลหะบัดกรีเพื่อให้ควบคุมค่าความสูงของครีมีโลหะบัดกรีที่มีความสูง 125 ไมโครเมตร โดยมีค่าอิทธิพลที่เหมาะสมคือ แรงกดที่ 8.75 กิโลกรัม ระยะห่างของการถอดแบบพิมพ์ที่ 2.0 มิลลิเมตรและกำหนดระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ระดับ 0.0 มิลลิเมตรจากนั้นนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดมากำหนดในกระบวนการผลิตทำการทดลองผลิตเป็นเวลา 6 เดือนพบว่าปัญหาการลัดวงจรลดลงเหลือ 2,180 ดีพีทีเอ็มหรือคิดเป็น 36.33 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาทั้งหมดและทำให้ผลรวมปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการทั้งหมดอยู่ที่ 0.52 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียจากกระบวนการเดิม ลง 61.19 เปอร์เซ็นต์

**คำหลัก** การลดของเสีย, ปัญหาการลัดวงจร, การประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร, การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน, การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

#### Abstract

This research aims to reduce defect in the assembly process of electronic parts on Printed Circuit Boards. From the data at the case studied factory, the current defection rate was 1.34 percent. The bridging problem was ranked as problem number with high defects of 8,188 ppm (parts per million) or



accounted for 59.02 percent of the whole production process. Research methodology started with using Pareto Diagram to prioritize the problems. Next, the Cause and Effect Diagram helped identify factors affecting the problem occurrence. The Design of Experiments (DoE) showed the factors influencing the process output regarding 3 manufacturing process; solder printing, electronic components placing and solder melting. The statistical design of experiments divided into 2 parts. Part 1 focused on analyzing the bridging from solder printing process by a Fractional Factorial Design  $2^{5-1}$ . Part 2 examined the electronic components placing together with the soldering process by a general Full Factorial Design. The results indicated that the appropriate factors to control the height of the solder paste at 125 micrometer in the solder printing process were pressure at 8.75 kilograms, a distance of stencil removing at 2.0 millimeter and area specification for placing electronic components at 0.0 millimeters. The optimum values of 3 factors were implemented to the production testing for 6 months. The final outcome revealed a marvelous reduction of defect to 2,180 ppm or accounted for 36.33 percent. The total defective rate was decreased to 0.52 percent accounting for 61.19 percent reduction from the original process.

**Keywords:** defect reduction, bridging problem, electronic part assembly on printed circuit boards (PCB), fractional factorial design, full factorial design

## 1. บทนำ

ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศกำลังพัฒนาประเทศหนึ่งซึ่งรายได้หลักของประเทศมาจากการผลิตและส่งออกสินค้าเป็นหลัก โดยเป็นฐานการผลิตสินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญประเทศหนึ่งในภูมิภาคเอเชีย โดยปัจจุบันมีสินค้าอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากมายหลายชนิดที่ผลิตจากในประเทศไทยเพื่อการส่งออก ดังนั้นการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร(PCB)จึงเป็นกระบวนการในการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ออกสู่ผู้บริโภค โดยการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ขนาดต่างๆ ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์โดยดำเนินการผลิตตามการสั่งซื้อจากลูกค้า

ปัจจุบันโรงงานการผลิตนี้เป็นโรงงานหนึ่งซึ่งดำเนินการแข่งขันในธุรกิจประเภทนี้มีการแข่งขันที่สูงขึ้น โรงงานจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงที่มีมาตรฐานและคุณภาพเพื่อลดปริมาณของเสียและงานการทำซ้ำให้น้อยที่สุดเพื่อ ลดต้นทุนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

จากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2557 พบว่ากระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของรุ่นการผลิตYWX5032มีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบมากที่สุดที่ 7,025 ชิ้นคิดเป็น 1.34 เปอร์เซ็นต์ จากการแบ่งประเภทของเสียพบว่า ปัญหาการลัดวงจร(Bridging)เป็นปัญหาที่มากที่สุด โดยมีปริมาณที่ 59.02 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำ

ปัญหานี้มาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและดำเนินการปรับปรุง โดยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกับการผลิตและทำการปรับปรุงกระบวนการได้อย่างเหมาะสม

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการลดปริมาณของเสียปัจจุบันที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยการใช้เครื่องมือคุณภาพและทฤษฎีทางสถิติได้แก่

### 2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดคือเครื่องมือสำหรับศึกษาสภาพของกระบวนการ จัดลำดับความสำคัญ คัดเลือกปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้น โดยศึกษาวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นต้นตอของปัญหาที่แท้จริง เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงอย่างถูกต้องบนหลักการคุณภาพ ซึ่งเครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิดประกอบด้วย ใบตรวจสอบ(Check Sheet) กราฟ(Graph) แผนภูมิพาเรโต(Pareto Diagram) แผนผังก้างปลา(Cause & Effect Diagram) ฮิสโตแกรม(Histogram) แผนผังการกระจาย(Scatter Diagram) และแผนภูมิควบคุม(Control Chart)[1][2]

### 2.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัยนำเข้า(Factor) ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง





(Response) หรือผลลัพธ์ที่เป็นคุณลักษณะที่สนใจ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปตีความถึงสาเหตุและผล เพื่อนำไปสู่การตัดสินใจได้อย่างน่าเชื่อถือ[3][4] ซึ่งในการออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้คือ รูปแบบการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design ซึ่งเป็นตัวแบบการทดลองที่กำหนดระดับปัจจัยได้หลายระดับ และใช้ได้ทั้งกรณีที่มีตัวแปรเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ส่วนการออกแบบการทดลองอีกรูปแบบคือ  $2^{k-p}$  fractional factorial design เป็นแบบการทดลองที่ทุกปัจจัยมี 2 ระดับแต่ไม่ได้ทำการครบทุกการทดลองจะทำการทดลองบางส่วนเท่านั้น เช่น  $\frac{1}{2}$  หรือ  $\frac{1}{4}$  ทำให้ลดต้นทุนในการทดลองที่มีจำนวนครั้งมากๆ ได้

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

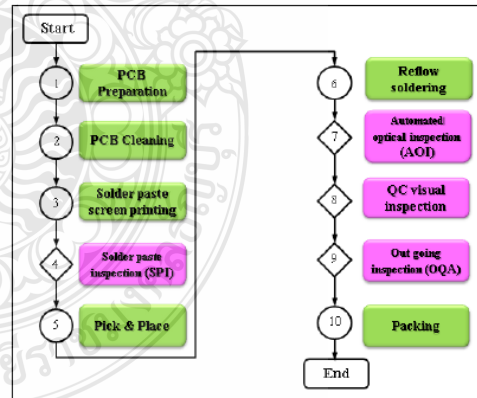
วิธีการการออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาที่เป็นที่นิยมวิธีการหนึ่งโดยการกำหนดเงื่อนไขหรือวิธีการสำหรับการทดลอง เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปตีความถึงสาเหตุและผลเพื่อนำไปสู่การตัดสินใจได้อย่างน่าเชื่อถือ สามารถลดเวลาและจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองและปรับใช้กับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมต่างๆได้เป็นอย่างดี อาทิเช่น การออกแบบการทดลองแบบ  $2^{k-1}$  แฟคทอเรียลบางส่วนเพื่อกรองหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความสูงดีบุกที่ความสูง 0.126 mm. ในกระบวนการประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์[5] การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ ( $2^{k-1}$  Factorial Design) ในการเจาะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง โดยการคัดเลือกปัญหา การวิเคราะห์แผนผังแสดงเหตุและผล แล้วนำปัจจัยที่ได้ 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง ซึ่งเมื่อนำผลที่ได้มากำหนดควบคุมใช้กระบวนการเจาะแผ่นวงจรสามารถลดสัดส่วนของเสียจากเดิม 1.248 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 0.575 เปอร์เซ็นต์[6] การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ ( $2^{k-1}$  Factorial Design) เพื่อลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยการศึกษาระบวนการฉีดพลาสติกและรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นนำมาวิเคราะห์ด้วย (Why Why Analysis) ปัจจัยที่นำมาออกแบบได้แก่ ความเร็วในการฉีดใน 5 ช่วงและอุณหภูมิของบริเวณแม่พิมพ์ ทั้งหมด 6 ปัจจัยเพื่อหาปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา จากนั้นหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้กระบวนการจริงพบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากเดิมที่ 2.62 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 2.02 เปอร์เซ็นต์[7] จะเห็นว่าการออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ร่วมกับเครื่องมือคุณภาพเพื่อการปรับปรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้เป็นอย่างดี

### 3. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการการผลิตการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร
2. เก็บข้อมูลของปัญหาคุณภาพที่ส่งผลต่อกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร
3. วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในกระบวนการผลิตในปัจจุบันด้วยเครื่องมือคุณภาพและวิธีการทางสถิติ
4. ออกแบบการทดลองหาปัจจัยควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานเพื่อปรับปรุง
5. ทดลองและเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงและเปรียบเทียบผลการปรับปรุง
6. การยืนยันผลทางสถิติ
7. สรุปผลการวิจัย

#### 3.1 ศึกษากระบวนการการผลิต

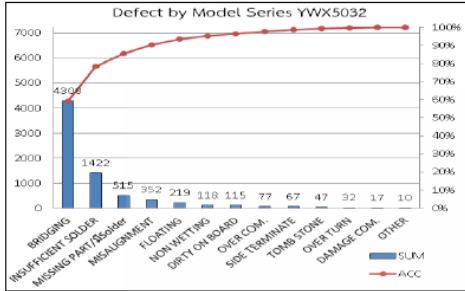
ผู้วิจัยเข้าไปทำการศึกษารายละเอียดกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตั้งแต่กระบวนการจัดเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการทำความสะอาด PCB กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี กระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ กระบวนการหลอมโลหะบัดกรี กระบวนการบรรจุเพื่อจัดส่งโดยมีลำดับขั้นตอนดังรูปที่ 1



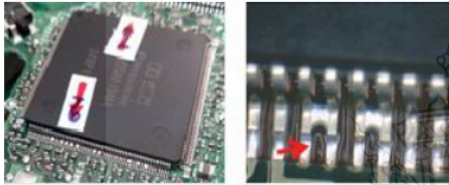
รูปที่ 1 กระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

#### 3.2 สภาพของปัญหา

จากศึกษากระบวนการและข้อมูลจากหน่วยการผลิตที่สรุปรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นและจัดลำดับของการเกิดของเสียในกระบวนการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่น PCB ในช่วงเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม 2557 พบว่ามีของเสียในลักษณะของการลัดวงจร(Bridging) ของ IC1501 เป็นปัญหาอันดับที่ 1 โดยคิดเป็น 59.02 เปอร์เซ็นต์ของลักษณะปัญหาทั้งหมด โดยมีปริมาณที่เกิดขึ้น 8,188 dppm.



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียแยกตามลักษณะปัญหา



รูปที่ 3 ลักษณะปัญหาลัดวงจรหรือ Bridging Defect

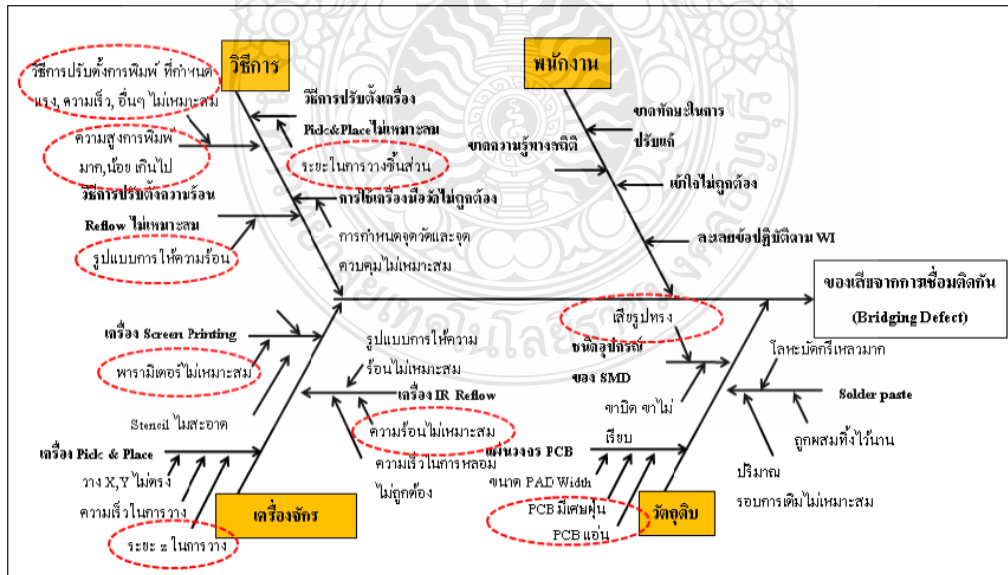
### 3.3 การวิเคราะห์ปัญหา

จัดตั้งทีมงานเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา(Causes and Effects

Diagrams) ในการวิเคราะห์สาเหตุของการลัดวงจร (Bridging)ร่วมกับทีมงานซึ่งจากการวิเคราะห์ลักษณะปัญหา การเกิดการลัดวงจร(Bridging)ตำแหน่ง IC1501ในกระบวนการผลิตพบว่ากระบวนการที่เป็นกระบวนการที่สำคัญที่มีโอกาสที่จะเป็นที่มาของปัญหาจากกระบวนการ 3กระบวนการหลัก ได้แก่

1. การปรับตั้งกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี โดยค่าตอบสนองที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหาลัดวงจรคือความสูงจากการพิมพ์โลหะบัดกรี ซึ่งมีปัจจัยควบคุมจากการปรับตั้งเครื่อง 5 ปัจจัยเพื่อให้ได้ความสูงที่ต้องการ
2. ปัจจัยของระยะเวลาการวางในกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่น PCB ซึ่งมีค่าปรับตั้งที่ต้องควบคุมคือระยะเวลาในการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผงวงจร ซึ่งระยะ Z จะทำให้เกิดแรงในการวางอาจทำให้ระยะห่างของโลหะบัดกรีที่ผ่านมาจากเครื่องพิมพ์เกิดปัญหาลัดวงจร (Bridging)ได้

3.รูปแบบการกำหนดความร้อนของกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี ซึ่งมีรูปแบบการใช้งานอุณหภูมิซึ่งมีความสำคัญต่อการหลอมโลหะบัดกรีโดยปัจจัยของรูปแบบการให้ความร้อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะบัดกรี ซึ่งลักษณะรูปแบบของความเปลี่ยนแปลงความร้อนอาจเป็นสาเหตุของปัญหาได้



รูปที่4 แผนผังก้างปลา(Causes and Effects Diagrams)



### 3.4 การออกแบบการทดลอง

#### 3.4.1 แบบการทดลองในกระบวนการ Screen Printing

โดยทำการทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นโดยทำการทดลองตั้งสมมติฐานว่าค่าการปรับตั้งความสูงของโลหะบัดกรีที่ควบคุม 3 ระดับ ณ ตำแหน่ง IC1501 คือ 115 um., 125 และ 135 um. โดยมีค่า  $\pm 5$  um. ทุกระดับมีสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรแตกต่างกัน โดยทดลองผลิตตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบหาสัดส่วนของปัญหาลัดวงจรที่ระดับความสูง 3 ระดับที่ตำแหน่ง IC1501 ที่พบปัญหาลัดวงจร

ลำดับ	ค่า Setting Hi	จำนวน Input	จำนวน Bridging Defect	สัดส่วน Bridging Defect
1	115 um.	2000	20	0.0100
2	125 um.	2000	5	0.0025
3	135 um.	2000	30	0.0133

พิจารณาสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน โดยให้สัดส่วนของเสียของประชากรกลุ่มแรกอยู่ที่ 0.0100 (ได้จากข้อมูลสัดส่วนของเสียปัจจุบัน ณ ช่วงเวลาทดสอบ) และให้สัดส่วนของเสียของประชากรอีกกลุ่มหนึ่งอยู่ที่ 0.0025 (ซึ่งเป็นสัดส่วนของเสียที่น้อยที่สุด) หาค่าจำนวนตัวอย่างในการทดลองใช้โปรแกรม Minitab 16 การหา Power of Sample Size ที่ระดับ 0.8 เพื่อการยอมรับโดยขนาด Sample size จะต้องเท่ากับ 1,733 ขึ้น โดยการทดลองนี้ปรับให้เหมาะสมโดยใช้กับชุดการผลิตที่ 2,000 บอร์ดตามของที่โรงงานให้อยู่ปกติปัจจุบัน

Power and Sample Size				
Test for Two Proportions				
Testing comparison p = baseline p (versus not =)				
Calculating power for baseline p = 0.0025				
Alpha = 0.05				
	Sample	Target		
Comparison p	Size	Power	Actual Power	
0.01	1733	0.8	0.800201	
The sample size is for each group.				

รูปที่ 5 ผลการหาขนาด Sample Size ของการทดลอง

จากทดสอบเบื้องต้นพบว่าผลการทดลองจากค่าการปรับตั้งจากการทดลองที่ระดับ 125 um  $\pm$  5 um. ให้ผลสัดส่วนของปัญหาน้อยที่สุด ดังนั้นทำการ ทดสอบความแตกต่างของกระบวนการปัจจุบันที่ระดับควบคุม 115 um  $\pm$  um. โดยใช้

2 Proportion test ด้วยโปรแกรม Minitab R16 เพื่อทดสอบว่า สัดส่วนของเสียการปรับตั้งที่ระดับ 125 um  $\pm$  5um. แตกต่างจากการปรับตั้งที่ระดับ 115 um  $\pm$  5 um. อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

$$H_0 : P_1 = P_2 \quad (1)$$

$$H_1 : P_1 \neq P_2 \quad (2)$$

$P_1$  = สัดส่วนของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้ความสูงที่ระดับ 115 um  $\pm$  5 um.

$P_2$  = สัดส่วนของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้ความสูงที่ระดับ 125 um  $\pm$  5 um.

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	20	2000	0.010000
2	5	2000	0.002500
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.0075			
95% CI for difference: (0.00262096, 0.0123790)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 3.01 P-Value = 0.003			
Fisher's exact test: P-Value = 0.004			

รูปที่ 6 ผลการทดสอบสัดส่วนของเสียด้วย 2 Proportion Test

ส่วนที่ 1 ออกแบบการทดลองในกระบวนการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี โดยเลือกปัจจัยปรับตั้งเครื่อง ภาการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเศษส่วน  $2^{5-1}$  เรโซลูชัน V มีปัจจัยที่จะทำการออกแบบทดลอง 5 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยที่ 2 ระดับ ทำซ้ำ(Replicates)ที่ 3 ครั้ง จะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $2^{5-1} \times 3$  เท่ากับ 48 การทดลอง โดยการเลือกระดับในแต่ละระดับปัจจัยจะใช้ระดับใดนั้น พิจารณาจากการระดับหรือช่วงการใช้งานภายในขีดจำกัดของเครื่องจักร เพื่อป้องกันผลกระทบจากการการเกิดอันตรายจากค่าที่ด้านสูงสุดและต่ำสุด และอ้างอิงค่าการปรับตั้งปกติที่กำหนดใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันความเสียหายแก่เครื่องมือและอุปกรณ์ตลอดจนผลิตภัณฑ์ที่ดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 2 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับทดลองในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	Low(-)	Hi(+)	
A: Pressure Spec	7	12	Kg.
B : Print Speed	50	100	mm/sec.
C: Separate Speed	0.5	2.0	mm/sec.
D: Separate Distance	0.2	2.0	mm.
E: Print Gap	0.00	0.10	mm.





### 3.4.2 แบบการทดลองในกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี

ส่วนที่ 2 จะใช้ค่าเป้าหมายปรับตั้งความสูงของโลหะบัดกรีที่  $125 \text{ um} \pm 5 \text{ um}$ . มาใช้ในกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี ออกแบบการทดลองในส่วนของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร และการให้ความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรีเพื่อเชื่อมต่อขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับลายวงจรบนแผ่น PCB โดยออกแบบการทดลอง แบบ General Full Factorial กำหนดปัจจัยของระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ตำแหน่ง IC1501 ที่ 3 ระดับ ได้แก่ระดับ 0.0, 0.3 และ 0.5 mm. และรูปแบบการให้ความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรี 2 แบบ ได้แก่ รูปแบบ Soak Reflow และ Linear Reflow กำหนดการทำซ้ำ (Replicates) ที่ 5 ครั้ง จะต้องทำการทดลองทั้งหมด  $3 \times 2 \times 5$  เท่ากับ 30 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองมีขนาด 2,000 บอร์ดต่อชุดการผลิต ปัจจัยที่นำมาออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เงื่อนไขในการตั้งเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และรูปแบบของการให้ความร้อนในการหลอมโลหะบัดกรีบนแผ่น PCB

ปัจจัย	ระดับ	ระดับ		
		1	2	3
ระดับในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์	3	0.0 mm.	0.3 mm.	0.5 mm.
รูปแบบการหลอมโลหะบัดกรี	2	Soak Reflow	Linear Reflow	

## 4. ผลการวิจัย

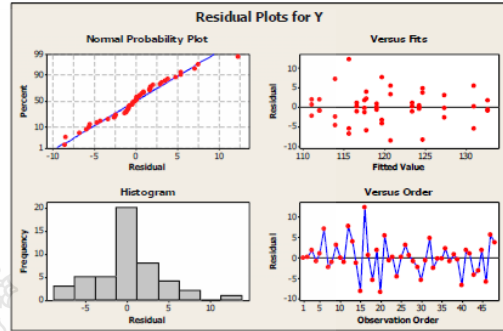
### 4.1 ผลการออกแบบการทดลอง $2^{k-p}$ ในส่วนของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี

กำหนดระดับปัจจัยสำหรับการทดลองของเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรีดังตารางที่ 2 จาก 5 ปัจจัยหลักในการพิมพ์โลหะบัดกรีทำการออกแบบการทดลองที่ 2 ระดับ และทดลองซ้ำที่ 3 ครั้ง โดยออกแบบการทดลองแบบ  $2^{5-1}$  จะมีการทดลองทั้งหมดจำนวน 48 ครั้ง

#### 4.1.1 การทดสอบความพอเพียงของแบบการทดลอง

จากรูปที่ 7 ตรวจสอบความพอเพียงของข้อมูลจากการฟร่ายบนและฟร่ายล่างแสดงการกระจายตัวแบบปกติ Normal Distribution โดยข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่บนเส้นตรง และจากกราฟฟาวบนแสดงความเป็นอิสระของส่วนตักค้างที่มีการกระจายตัวทั้งทางบวกและทางลบอย่างสม่ำเสมอ กราฟฟาวบนแสดงส่วนตักค้างกับลำดับการ

ทดลองมีลักษณะเป็นอิสระจากกันไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลนี้สามารถเชื่อถือได้



รูปที่ 7 แสดงกราฟ 4 in 1 เพื่อทดสอบความพอเพียงของการทดลอง

### 4.1.2 วิเคราะห์การทดลองจาก Minitab R16

Factorial Fit: Y versus A, B, C, D, E					
Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		120.463	0.7099	169.68	0.000
A	-9.533	-4.767	0.7099	-6.71	0.000
B	0.575	0.287	0.7099	0.40	0.688
C	-0.192	-0.096	0.7099	-0.13	0.893
D	6.225	3.112	0.7099	4.38	0.000
E	0.867	0.433	0.7099	0.61	0.546
A*B	2.217	1.108	0.7099	1.56	0.128
A*C	0.417	0.208	0.7099	0.29	0.771
A*D	-1.133	-0.567	0.7099	-0.80	0.431
A*E	-0.308	-0.154	0.7099	-0.22	0.829
B*C	0.008	0.004	0.7099	0.01	0.995
B*D	-0.508	-0.254	0.7099	-0.36	0.723
B*E	2.883	1.442	0.7099	2.03	0.051
C*D	-2.292	-1.146	0.7099	-1.61	0.116
C*E	0.033	0.017	0.7099	0.02	0.981
D*E	-0.717	-0.358	0.7099	-0.50	0.617

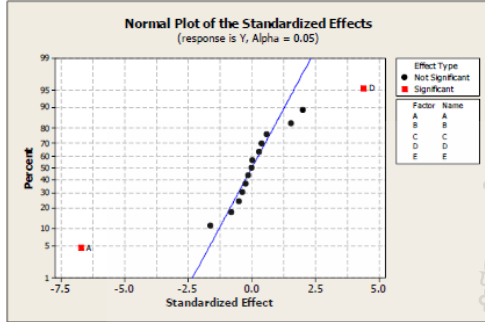
S = 4.91848 PRESS = 1741.79  
 R-sq = 70.14% R-sq(pred) = 32.82% R-sq(adj) = 56.15%

รูปที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์หิอพิลของปัจจัยในการทดลอง

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	1569.04	1569.04	313.81	12.97	0.000
2-Way Interactions	10	249.66	249.66	24.97	1.03	0.440
Residual Error	32	774.13	774.13	24.19		
Pure Error	32	774.13	774.13	24.19		
Total	47	2592.83				

รูปที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)





รูปที่ 10 แสดงผลจากกราฟอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลของปัจจัยตอบสนอง (Effect Plot for Y)

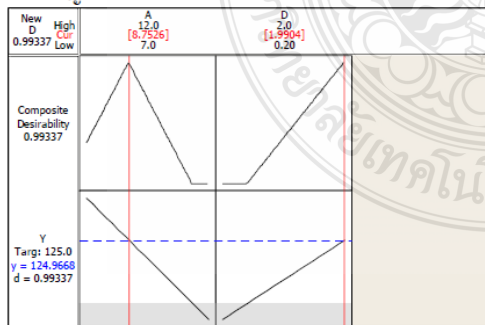
จากการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยและการแยกคู่แฝดแฝงสามารถสรุปผลดังนี้ โดยพิจารณาปัจจัยหลักดังนี้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์โครงสร้างคู่แฝดแฝง(Alias Structure)

Alias Structure		ผลลัพธ์การแยก Alias	กฎการวิเคราะห์ Alias
I	A*B*C*D*E		
A	B*C*D*E	A	กฎข้อที่ 1
D	A*B*C*E	D	กฎข้อที่ 1

สามารถสรุปผลดังนี้ โดยพิจารณาปัจจัยหลักดังนี้

1. ปัจจัย A มีผลต่อความสูงที่ระดับเป้าหมายอย่างน้อยสำคัญที่ระดับ 0.05
2. ปัจจัย D มีผลต่อความสูงที่ระดับเป้าหมายอย่างน้อยสำคัญที่ระดับ 0.05



รูปที่ 11 กราฟผลของการหาปัจจัยที่เหมาะสม (Optimization Plot)

ผลการออกแบบการทดลองของกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีลงบนแผ่นวงจร โดยจากปัจจัยมาออกแบบการทดลอง 5 ปัจจัย โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน  $2^{5-1}$  ได้ผลดังนี้และนำผลของปัจจัยที่

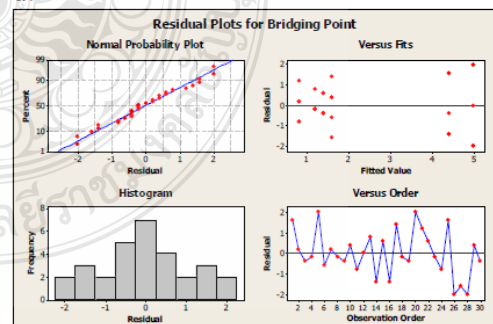
ผลกระทบกับกระบวนการมาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยได้ค่าความสูงที่ระดับ  $125 \text{ um.} \pm 5 \text{ um.}$  โดยจะต้องปรับตั้งปัจจัย A ค่าแรงกดที่ 8.75 Kg. และปัจจัย D ระยะของห่างของ Stencil ที่ 2 mm. ซึ่งจะให้ผลที่ดีที่สุดมาทำการปรับตั้งเครื่องพิมพ์โลหะบัดกรี

#### 4.2 ผลการออกแบบการทดลองของกระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่น PCB และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี

จากปัจจัยในส่วนของการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่น PCB และกระบวนการหลอมโลหะบัดกรี โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ General Full Factorial โดยกำหนดระดับในการวางอุปกรณ์ IC ที่เกิดปัญหาที่ 3 ระดับคือ 0.0, 0.3 และ 0.5 mm. และรูปแบบการหลอมโลหะบัดกรี 2 ระดับ คือรูปแบบการให้ความร้อนแบบ Soak Reflow และ Linear Reflow โดยทดลองซ้ำที่ 5 ครั้งในแต่ละการทดลอง จะมีการทดลองทั้งหมด 30 การทดลอง

##### 4.2.1 การทดสอบความพอเพียงของแบบจำลอง

จากรูปที่ 12 ตรวจสอบความพอเพียงของข้อมูลจากการพารามิเตอร์และซ้ายล่างแสดงการกระจายตัวแบบปกติ โดยรูปแบบของส่วนตกค้าง(Residual)มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และจากกราฟขวามือแสดงความเป็นอิสระของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ กราฟขวาล่างแสดงส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองมีลักษณะเป็นอิสระจากกันไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงว่าข้อมูลนี้สามารถเชื่อถือได้



รูปที่ 12 แสดงกราฟ 4 in 1 เพื่อทดสอบความพอเพียงของการทดลองส่วนที่ 2



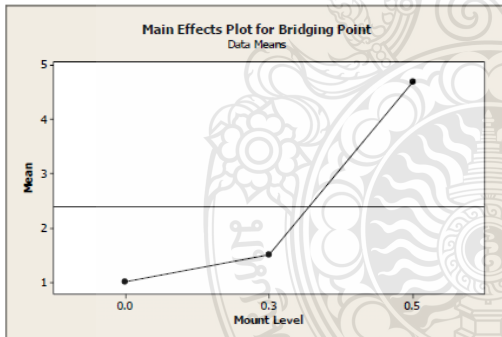
#### 4.2.2 วิเคราะห์การทดลองจาก Minitab R16

Analysis of Variance for Bridging Point using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
Mount Level	2	80.600	80.600	40.300	27.48	0.000
Reflow Type	1	0.533	0.533	0.533	0.36	0.552
Mount Level*Reflow Type	2	0.867	0.867	0.433	0.30	0.747
Error	24	35.200	35.200	1.467		
Total	29	117.200				

S = 1.21108 R-Sq = 69.97% R-Sq(adj) = 63.71%

รูปที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการทดลอง

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับจำนวนจุดที่เกิดปัญหาลัดวงจรพบว่า ปัจจัยของระดับในการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีค่า P value ที่น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  ดังนั้น ปัจจัยนี้จึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนจุดของปัญหาการลัดวงจรอย่างมีนัยสำคัญ โดยระดับที่ทำให้เกิดปัญหาน้อยที่สุดคือระดับของการวางที่ระดับ 0.0 mm.



รูปที่ 14 แสดงกราฟ Main Effect Plot ของจำนวน Bridging

#### 4.3 ผลการทดลองผลิตเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาควบคุมกระบวนการโดยทำการทดลองกำหนดเป็นมาตรฐานใหม่ให้กับกระบวนการและทดลองใช้เป็นเวลา 6 เดือน คือตั้งแต่เดือน มิถุนายน - พฤศจิกายน 2558 ซึ่งมีผลการทดลองที่ได้ดังนี้ โดยควบคุมปัจจัยกระบวนการดังนี้

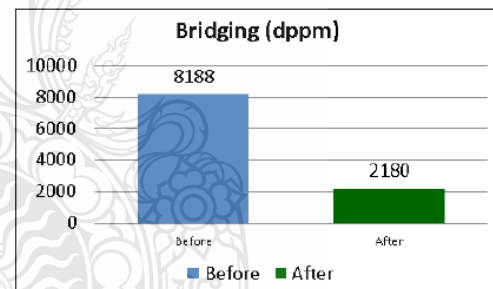
กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีควบคุมค่าความสูงเป้าหมาย ที่ 125  $\mu\text{m}$ .  $\pm$  5  $\mu\text{m}$ . โดยปรับแรงกดที่ 8.75 Kg. และระยะของห่างของ Stencil ที่ 2 mm.

กระบวนการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ กำหนดการ

ปรับตั้งไว้ที่ Placement Mount Gap ที่ 0.0 mm.  
 กระบวนการหลอมโลหะบัดกรีใช้รูปแบบ Soak Reflow แบบเดียว

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
จำนวนบอร์ด(Input)	526,147	83,502
จำนวนบอร์ด(Output)	519,120	83,064
Yield (%)	98.66	99.48
Defect (%)	1.34	0.52
จำนวนของปัญหาการลัดวงจร(Bridging)	4308	182
จำนวนของปัญหาการลัดวงจร(Bridging)ที่เกิดขึ้น (DPPM)	8,188	2,180



รูปที่ 15 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียจากปัญหาการลัดวงจร (Bridging) ก่อนและหลังปรับปรุง

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าจำนวนของเสียประเภทการลัดวงจรซึ่งเป็นปัญหาที่มากที่สุดลดลงเหลือเพียง 36.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทำให้ภาพรวมของปัญหาทั้งหมดในกระบวนการ ลดลงจาก 1.34 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 0.52 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็นลดของเสียลง 61.19 เปอร์เซ็นต์

#### 4.4 การยืนยันผลทางสถิติ

จากข้อมูลของเสีย (Defect) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการและหลังการปรับปรุงกระบวนการสามารถทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานโดยใช้ 2 Proportion-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $\alpha = 0.05$ ) ซึ่งจากวัตถุประสงค์การวิจัยต้องการให้ของเสีย (Defect) ลดลงโดยการทดสอบสมมติฐานงานวิจัยดังนี้



$$H_0 : P_1 \leq P_2 \quad (3)$$

$$H_1 : P_1 > P_2 \quad (4)$$

$P_1$  = เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง

$P_2$  = เปอร์เซ็นต์ของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

Test and CI for Two Proportions				
Sample	X	N	Sample p	
1	4308	526147	0.008186	
2	182	83502	0.002180	
Difference = p (1) - p (2)				
Estimate for difference: 0.00600824				
95% lower bound for difference: 0.00567324				
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 29.50 P-Value = 0.000				
Fisher's exact test: P-Value = 0.000				

รูปที่ 16 ผลการยืนยันผลทางสถิติของสัดส่วนของเสียการลัดวงจรก่อนและหลัง

การทดสอบสมมติฐานได้ทำการประมวลผลโดยใช้ Minitab ทำการทดสอบสมมติฐานผลการทดสอบพบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก สรุปได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียในกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $\alpha = 0.05$ )

## 5. สรุปผลการวิจัย

ผลการออกแบบการทดลองทั้งหมดพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการพิมพ์โลหะบัดกรีที่ค่าควบคุมความสูงของคริมโลหะบัดกรีที่ความสูง  $125 \pm 5$  ไมโครเมตร โดยมีปัจจัยที่เหมาะสมคือ แรงกดที่ 8.75 กิโลกรัม ระยะห่างของการถอดแบบพิมพ์ที่ 2.0 มิลลิเมตรและกำหนดระดับการวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องจักรที่ระดับ 0.0 มิลลิเมตรสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการก่อนปรับปรุงทำให้ปัญหาการลัดวงจรซึ่งเป็นปัญหาที่มากที่สุดจากเดิมมีจำนวน สัดส่วนของเสียที่ 8,188 dppm หรือคิดเป็น 59.02 เปอร์เซ็นต์ของทุกปัญหาหลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 2,180 dppm หรือคิดเป็น 36.33 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาทั้งหมดส่งผลกระทบต่อให้ผลรวมปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการทั้งหมดอยู่ที่ 0.52 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียจากกระบวนการเดิมลง 61.19 เปอร์เซ็นต์

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ณฐา คุปต์ชัยเรียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้ และการสนับสนุนจากโรงงานการศึกษาในการสนับสนุนทางด้าน ทีมงานเครื่องจักร วัสดุดิบ และสถานที่ในการทำการวิจัย สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวและเพื่อนทุกคนที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล, การควบคุมคุณภาพ Statistical quality control, กรุงเทพฯ, ท็อป, 2557
- [2] สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล, การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546
- [3] วิบูลย์ พงศ์พรทรัพย์, สถิติสำหรับวิศวกรโรงงาน (ภาคปฏิบัติ), กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2558.
- [4] ปารเมศ ชูติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [5] ศิวะ ไวยรุ่งโรจน์, การเพิ่มผลิตภาพของการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยเทคนิค DMAIC กรณีศึกษา : โรงงานประกอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มทร., ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 ม.ค.- มิ.ย 2556
- [6] จาตุรนต์ จันทร์ดี, การวิเคราะห์ปัจจัยในการเจาะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554
- [7] กัดจิรา พิงสุข, การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในโรงงานผลิตเครื่องซักผ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554

## ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน นาย อุดม ลพสุนทร  
วัน เดือน ปีเกิด 2 กุมภาพันธ์ 2518  
ที่อยู่ 83/1 หมู่ 1 ตำบลบางไผ่ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000  
การศึกษา ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ประสบการณ์การทำงาน วิศวกรอาวุโส บริษัททีเอ็มพีริชชั่น จำกัด (มหาชน)  
พ.ศ. 2549 ถึง ปัจจุบัน  
เบอร์โทรศัพท์ 08-1655-9399  
อีเมล 1156704410041@mail.rmutt.ac.th

