

การควบคุมความหนาของทองแดงเคลือบผิวบนแผ่นพิมพ์ลายวงจร

นางสาวภัสรา บรรจงเกษม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# THE COPPER THICKNESS CONTROLLING ON PRINTED CIRCUIT BOARD

Miss Passara Banjongkasem



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมความหนาของทองแดงเคลือบผิวบนแผ่นพิมพ์ ลายวงจร
โดย	นางสาวภัศรา บรรจงเกษม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูตีมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ธิวัชรวิชัย)

ภัสรา บรรจงเกษม : การควบคุมความหนาของทองแดงเคลือบผิวบนแผ่นพิมพ์ลายวงจร (THE COPPER THICKNESS CONTROLLING ON PRINTED CIRCUIT BOARD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร, 202 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ลดค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูซึ่งเกินจากค่าเป้าหมายและ (2) ลดความผันแปรความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของกระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้หลักการของซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ปริมาณค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดลูกค้าซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 21 ไมครอน โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนด คือ ปริมาณค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยที่ลดลง จากการศึกษาข้อมูลขั้นต้นพบว่าก่อนการปรับปรุงค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวเท่ากับ  $27 \pm 2.0$  ไมครอน มีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวที่จุดคุณภาพวิกฤต (Critical Quality Specification; CQS) เท่ากับ 0.92 และมีโอกาสการเกิดของเสียเท่ากับ 2890 ppm

ขั้นตอนงานวิจัยดำเนินการตามหลักการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และสุดท้ายคือ ระยะติดตามควบคุม พบว่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  และปริมาณลูก Copper Anode ซึ่งได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูในกระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าจากค่าควบคุมความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  จากเดิมควบคุมอยู่ที่  $62.5 \pm 7.5$  g/L หลังการปรับปรุงแก้ไขจึงกำหนดการควบคุมอยู่ที่  $61.0$  g/L  $\pm 2.0$  g/L ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ลงได้เท่ากับ 25 และ  $\pm 1.0$  ไมครอน ตามลำดับ ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวที่จุดคุณภาพวิกฤต (Critical Quality Specification; CQS) เพิ่มขึ้นจาก 0.92 เป็น 1.31 และมีโอกาสการเกิดของเสียลดลงเท่ากับ 42 ppm สามารถลดการใช้ปริมาณทองแดงได้เท่ากับ 7.5 % คิดเป็นเงิน 770,000 ต่อเดือน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....



# # 5770262621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: COPPER THICKNESS, PRINTED CIRCUIT BOARD, PLATING PROCESS, VARIATION

PASSARA BANJONGKASEM: THE COPPER THICKNESS CONTROLLING ON PRINTED CIRCUIT BOARD. ADVISOR: ASST. PROF. SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., 202 pp.

The objective of this research was to (1) reduce the average In-hole copper thickness being over target, and (2) reduce the variation In-hole copper thickness of the printed circuit board (PCB) in plating process by Six Sigma Approach. The efficient improvement is measured by the reduction of average In-hole copper thickness. With the preliminary survey, the average In-hole copper thickness of  $27 \pm 2.0$  mm that exceeded to the target specified by client requirement of 21 mm, the process capability index (Cpk) of in-hole thickness at (Critical Quality Specification; CQS) point was 0.92 and ODPM was 2890 ppm.

The study has been proceeded according to the five-phase improvement model of Six Sigma methodology. The process begins with defining phase, measuring phase, analyzing phase, improve phase and controlling phase respectively. At 95% confidence, board positions on fly bar,  $\text{CuSO}_4$  concentration and copper anode quantity. The results of the process is to determine KPIVS that significant effect to decrease In-hole copper thickness in plating process.

After process improvement, the data show  $\text{CuSO}_4$  concentration controlling before improvement process set  $\text{CuSO}_4$  concentration specification at  $62.5 \pm 7.5$  g/l after improvement process set  $\text{CuSO}_4$  concentration specification at  $61.0 \pm 2.0$  g/l . As a result,  $\text{CuSO}_4$  concentration in copper plating tank controlling could reduce the average and standard deviation of In-hole copper thickness of the printed circuit board (PCB) to 25 and  $\pm 1.0$ , respectively. The process capability index (Cpk) of in-hole thickness at CQS point is increased from 0.92 to 1.31 and ODPM is reduced from 2890 to 42 ppm. And it could reduce cost by 7.5% or 770,000 per month.

Department: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2016

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ หลักการทฤษฎี ตลอดจนคำแนะนำและแนวทางการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะผู้บริหารโรงเรียนการณีศึกษา ที่อนุญาตให้ผู้วิจัยได้ศึกษาดำเนินการวิจัยภายในโรงงาน ขอขอบพระคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมระดมความคิด ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบของพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง และครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และกำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 .....	1
บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา .....	3
1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	6
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	11
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย .....	11
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	12
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	12
บทที่ 2 .....	14
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	14
2.1 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) .....	14
2.2 ชุดเครื่องมือแก้ปัญหา 7 อย่าง .....	20
2.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด.....	23
2.4 ทฤษฎีการซูปโลหะ .....	27
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 .....	37

ระยະນิยามปัญหา.....	37
3.1 บทนำ.....	37
3.2 การกำหนดทีมงานในการดำเนินงาน .....	37
3.3 ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ .....	38
3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน .....	46
3.5 บทสรุป .....	49
บทที่ 4 .....	51
ระยະการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา .....	51
4.1 บทนำ.....	51
4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis).....	51
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix.....	73
4.4 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา .....	79
บทที่ 5 .....	81
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา .....	81
5.1 บทนำ.....	81
5.2 การทดสอบสมมติฐาน.....	81
5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	93
บทที่ 6 .....	143
ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ .....	143
6.1 บทนำ.....	143
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	143
6.3 ตัวแปรตอบสนอง.....	143
6.4 วิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ .....	144

6.4 แบบการทดลอง .....	153
6.6 ขั้นตอนการทดลอง .....	157
บทที่ 7 .....	161
การควบคุมกระบวนการผลิต .....	161
7.1 บทนำ.....	161
7.2 การดำเนินงานการควบคุมตัวแปรต่างๆ .....	161
7.2.1 ปัจจัยควบคุม.....	161
7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	166
7.3 ความสามารถหลังกระบวนการปรับปรุงกระบวนการ .....	168
7.4 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีซิกซ์ ซิกมา.....	169
7.5 มูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดได้ .....	170
บทที่ 8 .....	172
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	172
8.1 บทนำ.....	172
8.2 บทสรุปจากระยะนิยามปัญหา.....	172
8.3 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา.....	172
8.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	173
8.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ .....	173
8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุม .....	174
8.7 ข้อจำกัดในการ.....	174
8.8 ข้อเสนอแนะ .....	175
รายการอ้างอิง .....	199
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	202

## สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่ 1.1	ดัชนีผลผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์.....	1
รูปที่ 1.2	มูลค่าการส่งออกของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์.....	2
รูปที่ 1.3	แผนผังของโรงงานกรณีศึกษา .....	3
รูปที่ 1.4	แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียว (Single Sided PCB) .....	5
รูปที่ 1.5	แผ่นวงจรพิมพ์แบบ 2 ด้าน (Double Sided PCB) .....	5
รูปที่ 1.6	แผ่นวงจรพิมพ์แบบหลายชั้น (Multilayer boards) .....	5
รูปที่ 1.7	ผลิตภัณฑ์แผ่นพิมพ์ลายวงจร (Printed Circuit Board) ของโรงงานกรณีศึกษา.....	6
รูปที่ 1.8	ค่าความหนาของแผ่นทองแดงโดยเฉลี่ยตั้งแต่เดือนม.ค 2559 ถึงเดือนมิ.ย 2559.....	10
รูปที่ 1.9	ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงเคลือบ.....	11
รูปที่ 2.1	การกระจายภายใต้โค้งปกติบนพื้นฐานของค่าพิสัย 1,2 และ 3 จากค่าเฉลี่ย (Verma & Boyer, 2009: 421).....	15
รูปที่ 2.2	คุณภาพระดับ Six Sigma.....	16
รูปที่ 2.3	ฮีสโตแกรมของกระบวนการที่ระดับ 3 Sigma (Goetsch and Davis, 2006 : 29)...	18
รูปที่ 2.4	ฮีสโตแกรมของกระบวนการที่ระดับ 6 Sigma (Goetsch and Davis, 2006 : 29)...	18
รูปที่ 2.5	แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546).....	23
รูปที่ 2.6	องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546) .....	24
รูปที่ 2.7	คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด(กิตติศักดิ์ 2546).....	25
รูปที่ 2.8	คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546).....	26
รูปที่ 2.9	คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้ของระบบการวัด(กิตติศักดิ์ 2546).....	26
รูปที่ 2.10	คุณสมบัติด้านรีพีทะบิลิตี้ของระบบการวัด(กิตติศักดิ์ 2546).....	27
รูปที่ 3.1	ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์กลุ่มผลิตภัณฑ์ A.....	38

รูปที่ 3.2	ผังกระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์ลายวงจร.....	43
รูปที่ 3.3	ค่าความหนาของแผ่นทองแดงโดยเฉลี่ยตั้งแต่เดือนม.ค 2559 ถึงเดือนมิ.ย2559 .....	46
รูปที่ 3.4	ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงในรู.....	47
รูปที่ 4.1	เครื่องวัด Cu Scope (Fisher Scope).....	53
รูปที่ 4. 2	เครื่องวัด Isoscope (Micro Scope) .....	53
รูปที่ 4.3	แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) .....	56
รูปที่ 4.4	ภาพพนักงานขณะทำการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูด้วยเครื่อง Cu Scope (a) และ Isoscope (Micro scope) (b).....	62
รูปที่ 4.5	แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) .....	64
รูปที่ 4.6	แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Micro scope).....	66
รูปที่ 4. 7	โครงสร้าง (a) และรูปถ่าย (b) การตัด cross-section จาก Isoscope (50X) .....	68
รูปที่ 4.8	แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper .....	70
รูปที่ 4. 9	แผนภูมิ Normality Proability Plot ของค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper .....	71
รูปที่ 4.10	ผลการทดสอบความแปรปรวนที่ได้จากการวัดที่ได้จาก Cu Scope (Fisherscope) และ .....	72
รูปที่ 4.11	ผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่เกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ .....	74
รูปที่ 4. 12	แผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆจากการวิเคราะห์ด้วย Cause and Effect Matrix.....	78

รูปที่ 5.1 การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างในกรณี 2 sample t-test.....	85
รูปที่ 5.2 การเติม Copper Anode ที่ความสูงตะแกรง (50 cm) และตำแหน่งชิ้นงานด้านข้าง (Side View) ภายในบ่อชุบ (a) และ การเติม Copper Anode ที่ความสูงตะแกรง (60 cm) ภายในบ่อชุบ (b).....	88
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทดลองส่วนที่ 1 เพื่อทดสอบเพื่อทดสอบปัจจัยนำเข้าสำคัญ.....	89
รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดลองปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu2 Acid.....	90
รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทดลองชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating.....	91
รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดลองจำนวนร็อตหนัก (Rack) ต่อชิ้นงาน.....	92
รูปที่ 5.7 ขนาดบ่อน้ำยา เครื่อง CU-2 Plant-B (a) และการจัดเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านบน (Top View) (b).....	94
รูปที่ 5.8 การจัดเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านหน้า (Side View).....	94
รูปที่ 5.9 ตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) และตำแหน่ง Panel ในแต่ละบอร์ด (a) ขณะลงชุบในบ่อ Cu1 Acid plating machine (b) ขณะลงชุบในบ่อ Cu2 Acid plating machine.....	95
รูปที่ 5.10 ภาพรวมพื้นที่ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูบาง (Thin Area) และหนา (Thick Area).....	95
รูปที่ 5.11 ตำแหน่ง Panel ที่สุ่มวัดและ Panel (H4) ที่ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูต่ำที่สุด.....	96
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (5 รอบการชุบ) กับตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu2 Acid Plating Machine.....	96
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูรอบที่ 1 และรอบที่ 5 กับตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu2 Acid Plating Machine.....	96
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ย (5 รอบการชุบ) กับตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu2 Acid Plating Machine.....	97
รูปที่ 5.15 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง Front Fly Bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	98



รูปที่ 5.16 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง Back Fly Bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine .....	99
รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Fly Bar .	100
รูปที่ 5.18 ตำแหน่ง panel ขณะลงชุบในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine .....	101
รูปที่ 5.19 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่งขอบ ด้านบนที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	102
รูปที่ 5.20 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่งขอบ ด้านล่างที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	103
รูปที่ 5.21 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตำแหน่ง Panel ที่วัดใน แต่.....	103
รูปที่ 5.22 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง H1 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	105
รูปที่ 5.23 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	106
รูปที่ 5.24 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Panel H1,H3.....	107
รูปที่ 5.25 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง H2.....	109
รูปที่ 5.26 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง H4.....	109
รูปที่ 5.27 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Panel H2,H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine .....	110
รูปที่ 5.28 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยทั้งหมด 5 รอบการชุบที่ตำแหน่ง H1 ถึง H5 ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ .....	112
รูปที่ 5.29 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง บอร์ดริม (1,8) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	113
รูปที่ 5.30 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง บอร์ดกลาง (4,5) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine..	113

รูปที่ 5.31 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตำแหน่งบอร์ดงาน บน .....	114
รูปที่ 5.32 ตำแหน่งชิ้นงานแบ่งเป็น zone ต่างๆภายในบ่อชุบ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine	116
รูปที่ 5.33 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยทั้งหมด 5 รอบการชุบ (80 บอร์ด) ในแต่ละ ตำแหน่งที่วัดตาม zone ต่างๆ ภายในบ่อชุบ .....	116
รูปที่ 5.34 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)แต่ละรอบการชุบ (ตำแหน่งวัด H1 ถึง H5) ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ.....	117
รูปที่ 5.35 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เฉลี่ย 5 รอบการชุบ (ตำแหน่งวัด H1 ถึง H5) ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ.....	117
รูปที่ 5.36 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> .....	119
รูปที่ 5.37 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> .....	119
รูปที่ 5.38 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากชนิดของ dummy.	120
รูปที่ 5.39 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่หนีบด้วยจำนวนน้อยตลับ (rack) 2 ตัว.....	122
รูปที่ 5.40 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่หนีบด้วยจำนวนน้อยตลับ (rack) 4 ตัว.....	122
รูปที่ 5.41 แสดงผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนน้อยตลับ แผ่นงานต่อบอร์ด .....	123
รูปที่ 5.42 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ CuSO <sub>4</sub> เท่ากับ 61.81 กรัมต่อลิตร (Batch 1) .....	125
รูปที่ 5.43 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ CuSO <sub>4</sub> เท่ากับ 60.82 กรัมต่อลิตร (Batch 5).....	125
รูปที่ 5.44 แสดงผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเข้มข้น ของ .....	126

รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทองแดงในรู Cu <sub>2</sub> layer (μm) ที่ตำแหน่ง H4 กับ ความ.....	129
รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทองแดงในรู Cu <sub>2</sub> layer (μm) ที่ตำแหน่ง H4 กับ ความ.....	130
รูปที่ 5.47 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) กับ ความ.....	131
รูปที่ 5.48 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) กับ ความ.....	132
รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO <sub>4</sub> ต่อรอบการ ชุบ.....	133
รูปที่ 5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO <sub>4</sub> ต่อรอบการ ชุบ.....	133
รูปที่ 5.51 ความเข้มข้นน้ำยา CuSO <sub>4</sub> (g/l) กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) ตามตำแหน่งชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar รุ่นผลิตภัณฑ์ A1 .....	134
รูปที่ 5.52 ความเข้มข้นน้ำยา CuSO <sub>4</sub> (g/l) กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) ตามตำแหน่งชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar รุ่นผลิตภัณฑ์ A2 .....	135
รูปที่ 5.53 การเติม Copper Anode ตะแกรงที่สูง (H <sub>0</sub> =50 cm) และการเติม Copper Anode ตะแกรงที่สูง (H <sub>1</sub> =60 cm) ภายในบ่อชุบ (b) .....	138
รูปที่ 5.54 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง (H <sub>0</sub> =50 cm).....	139
รูปที่ 5.55 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง (H <sub>1</sub> =60 cm).....	139
รูปที่ 5.56 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากปริมาณ copper ...	140
รูปที่ 6.1 ตำแหน่ง Panel (H4) ที่ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูต่ำที่สุดในบอร์ดหรือจุด Critical Point.....	144
รูปที่ 6.2 ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU <sub>2</sub> Acid Plating Machine.....	145

รูปที่ 6.3 .เส้นขอบเขตการควบคุมความหนาทองแดงในรู Cu2 layer ( $\mu\text{m}$ ) ที่ตำแหน่ง H4 กับ ความ.....	147
รูปที่ 6.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงภายในรู (ตำแหน่ง H4) ของรู	147
รูปที่ 6.5 อัตราการลดลงของน้ำยา $\text{CuSO}_4$ (g/l) กับรอบการชุบแผ่นงาน .....	148
รูปที่ 6.6 ความเข้มข้นน้ำยา $\text{CuSO}_4$ (g/l) กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) ตาม.....	148
รูปที่ 6.7 ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเคลือบผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 .....	149
รูปที่ 6.8 ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเคลือบผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรุ่นผลิตภัณฑ์ A2 .....	150
รูปที่ 6.9 ขนาดอุปกรณ์ต่างๆ และตำแหน่ง Overlap ภายในบ่อชุบ .....	150
รูปที่ 6.10 ตำแหน่งความสูง (Height) และความกว้าง (Width) ของชิ้นงานรุ่น A1(a), A2(b),A3(c) ที่ใช้ในการทดลอง .....	151
รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง %C.V. กับรุ่นผลิตภัณฑ์ .....	152
รูปที่ 6. 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Overlap กับ Range %CV .....	152
รูปที่ 6.13 การเติมลูก Copper Anode ตะแกรงที่ขอบล่าง ( $H_0=50$ cm) ภายในบ่อชุบ (a) และ การเติมลูก Copper Anode ตะแกรงที่ขอบบน ( $H_1=60$ cm) ภายในบ่อชุบ (b) .....	154
รูปที่ 6.14 ตำแหน่งการเพิ่มตะแกรงภายในบ่อชุบ $\text{Cu}_2$ Acid Plating Machine.....	154
รูปที่ 6.15 ระดับปัจจัยในการศึกษาปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ	155
รูปที่ 6.16 ตำแหน่งและการจัดเรียงชิ้นงานภายในบ่อชุบ.....	156
รูปที่ 6.17 ตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) และตำแหน่ง Panel ในแต่ละขณะลง ชุบในบ่อ $\text{Cu}_2$ Acid plating machine .....	157
รูปที่ 6.18 ตำแหน่งรู (Panel) ภายในบอร์ดเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล .....	157
รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ของค่าพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวที่ตำแหน่ง H4 (CQS) กับ ..	158
รูปที่ 6. 20 ความสัมพันธ์ของ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; C.V.).....	159
รูปที่ 6. 21 ความสัมพันธ์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่ตำแหน่ง H4 (CQS) กับ ..	159

รูปที่ 7.1 กฎการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลที่ออกนอกการควบคุม.....	163
รูปที่ 7.2 ใบตรวจสอบ Parameter ของเครื่อง Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machin .....	164
รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อความเข้มข้น CuSO <sub>4</sub> ของสารละลายภายในบ่อชุบออกนอกค่าที่กำหนด.....	165
รูปที่ 7.4 มาตรฐานการทำงานเครื่องชุบทองแดง Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine .....	166
รูปที่ 7.5 แผนภูมิควบคุม ImR สำหรับความเข้มข้น CuSO <sub>4</sub> ของสารละลายภายในบ่อชุบ....	167
รูปที่ 7.6 แผนภูมิควบคุมค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังการปรับปรุง .....	168
รูปที่ 7.7 แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงในรู.....	168
รูปที่ 7.8 สรุปผลการดำเนินงานแก้ไข .....	170



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ระดับของ Sigma และข้อบกพร่องที่ยังคงอยู่ (Kemp, 2006 :207).....	17
ตารางที่ 2.2	สรุปการใช้ชุดเครื่องมือ 7 อย่างเพื่อแก้ปัญหาตามจุดประสงค์.....	21
ตารางที่ 3. 1	การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ 47	
ตารางที่ 3.2	การคำนวณมูลค่าความสูญเสียจากข้อมูลย้อนหลังในเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559.....	49
ตารางที่ 4.1	ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลแปรผัน 52	
ตารางที่ 4.2	ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) .....	54
ตารางที่ 4.3	ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope).....	55
ตารางที่ 4.4	ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) .....	55
ตารางที่ 4.5	ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection) .....	59
ตารางที่ 4.6	ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection).....	59
ตารางที่ 4.7	ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection) .....	60
ตารางที่ 4. 8	เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการยอมรับ.....	63
ตารางที่ 4.9	ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) หลังปรับปรุง.....	63
ตารางที่ 4.10	ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) หลังปรับปรุง .....	64

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิว ในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) .....	64
ตารางที่ 4.12 ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วย เครื่อง Cu Isoscope (Microsection) หลังปรับปรุง .....	65
ตารางที่ 4.13 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิว ในรูด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection) หลังปรับปรุง .....	65
ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิว ในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection) .....	65
ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการ ทดสอบค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness) .....	69
ตารางที่ 4.16 ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วย .....	69
ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความแปรปรวนที่ได้จากการวัดที่ได้จาก Cu Scope (Fisherscope) .....	71
ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จาก Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope .....	72
ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อหนาทองแดงในรูที่ เกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ .....	76
ตารางที่ 4. 20 ผลลัพธ์การให้คะแนนจากตาราง Cause & Effect Matrix .....	77
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Fly Bar ภายใน บ่อชุบ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine .....	99
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจ พิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง fly bar ภายในบ่อชุบ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine .....	101
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Panel ที่ .....	103
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจ พิมพ์ที่เกิด .....	104

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง H1 และ H3.....	106
ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง Panel H1,H3 (Up) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	108
ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง H2 และ H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine .....	110
ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจาก Panel H2, H4 (Down)ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine .....	111
ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่งบอร์ดงานในแต่ละ fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Electro plating.....	114
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine .....	115
ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากชนิดของ dummy .....	120
ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากชนิดของ dummy ที่ใช้.....	121
ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนน็อตหนีบแผ่นงานต่อบอร์ด .....	123
ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากจำนวนน็อตหนีบแผ่นงานต่อบอร์ด.....	124
ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเข้มข้นของ .....	126
ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากความเข้มข้นของ CuSO <sub>4</sub> ในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine.....	127
ตารางที่ 5.17 รูปแบบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา CuSO <sub>4</sub> กับความหนา.....	128
ตารางที่ 5.18 รูปแบบแนวโน้มค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงภายในรูกับ.....	130
ตารางที่ 5.19 รูปแบบแนวโน้มและค่าR-Squaredของความสัมพันธ์ในสมการรูปแบบต่างๆ .	132



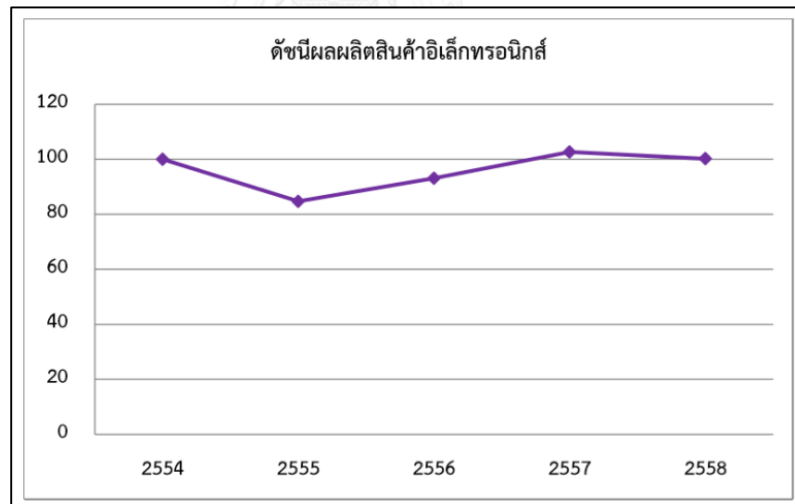
ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากปริมาณ copper.....	140
ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากปริมาณ copper anode ในบ่อชุบ Cu <sub>2</sub> Electro plating .....	141
ตารางที่ 5.22 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหนาทองแดงในรู.....	142
ตารางที่ 6.1 ผลของ %Overlap และ ผลต่างของ %C.V. ที่ตำแหน่งบอร์ดริมและบอร์ดกลางของ Model แต่ละรุ่น (ใช้จุด CQS** ในการวิเคราะห์ข้อมูล).....	152
ตารางที่ 6.2 แสดงค่าระดับปัจจัยในการทดลอง .....	153
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ Cu <sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่ระดับปัจจัยต่างๆ .....	158
ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง.....	169
ตารางที่ 7.2 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียจากข้อมูลในเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือน.....	171
ตารางที่ 8.1 สรุปผลงานวิจัย.....	176

## บทที่ 1

### บทนำ

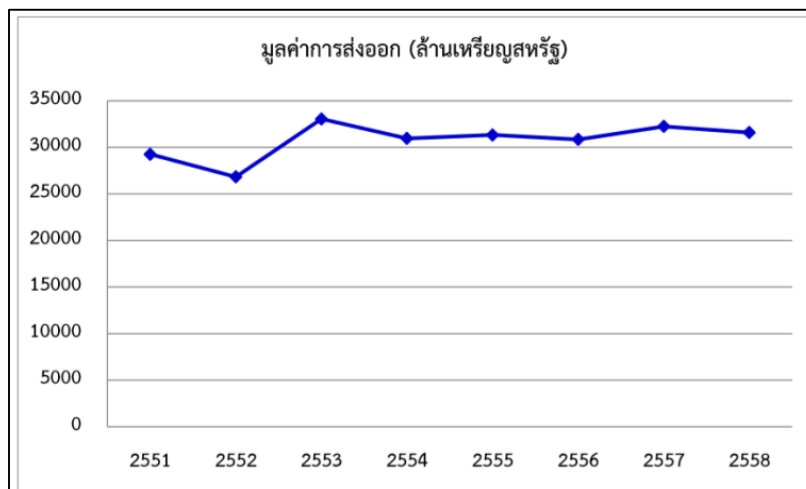
#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนทุกเพศทุกวัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นยุคของข้อมูลข่าวสาร และทุกคนต้องการความสะดวกสบายมากขึ้น ส่งผลให้เทคโนโลยีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการแข่งขันที่สูงขึ้นในกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ประเทศไทยถือเป็นหนึ่งในประเทศที่มีฐานการผลิตชิ้นส่วนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญของโลก และมีแนวโน้มมูลค่าการส่งออกของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และ รูปที่ 1.2 พบว่าดัชนีผลผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ปี 2558 มีค่าดัชนีผลผลิตเป็น 100.16 และมูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ปี 2558 มีมูลค่าการส่งออกสูงถึง 31,584.77 ล้านบาท



รูปที่ 1.1 ดัชนีผลผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (รวบรวมและวิเคราะห์โดย ศูนย์ข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรม ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (E&E Intelligence Unit: EIU) สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์)



รูปที่ 1.2 มูลค่าการส่งออกของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

ที่มา: กรมศุลกากร (รวบรวมและวิเคราะห์โดย ศูนย์ข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (E&E Intelligence Unit: EIU) สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์)

อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed circuit board; PCB) จัดเป็นประเภทหนึ่งของอุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยที่มีการขยายตัวสูง และผลิตภัณฑ์วงจรพิมพ์ติด 5 อันดับแรกของมูลค่าส่งออกของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ในปี 2558 โดยปรับตัวเพิ่มขึ้นในเกาหลีและไต้หวันเป็นหลัก มีมูลค่าส่งออก 1,293.77 (ล้านเหรียญสหรัฐ) โดยปรับตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.54 อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์มีการแข่งขันกันทางธุรกิจค่อนข้างสูงในกลุ่มผู้ผลิต ทำให้บริษัทต้องทำการเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดของตนเอง โดยให้ความสำคัญต่อการบริหารคุณภาพ เพื่อลดต้นทุนการผลิตของตนเองให้มากที่สุดเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดได้ โดยทำการปรับปรุงและการควบคุมคุณภาพสินค้าในกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อให้มีของเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด และลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นที่กระบวนการผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้า

แผ่นวงจรพิมพ์ (Printed circuit board; PCB) หรือแผ่นปริ้นต์ เป็นแผ่นพลาสติกที่ผิวด้านหนึ่งถูกเคลือบด้วยแผ่นทองแดงบาง เพื่อใช้ทำลายวงจรพิมพ์ (Printed Circuit) ทำให้เกิดเป็นวงจรไฟฟ้าต่างๆ ตามต้องการ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด ใช้สำหรับการต่อเข้ากับชิ้นส่วนไฟฟ้า เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น แผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้สำหรับ วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องขยายเสียง คอมพิวเตอร์ เครื่องเรดาห์ เป็นต้น จุดเด่นของการต่อเชื่อมวงจรด้วยแผ่นวงจรพิมพ์แทนการใช้สายต่อ คือ ง่ายต่อการประกอบวงจร และประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการควบคุมความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (Copper-In-Hole thickness) ของกระบวนการชุบแผ่นในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเกินจากค่าเป้าหมายและลดความผันแปร

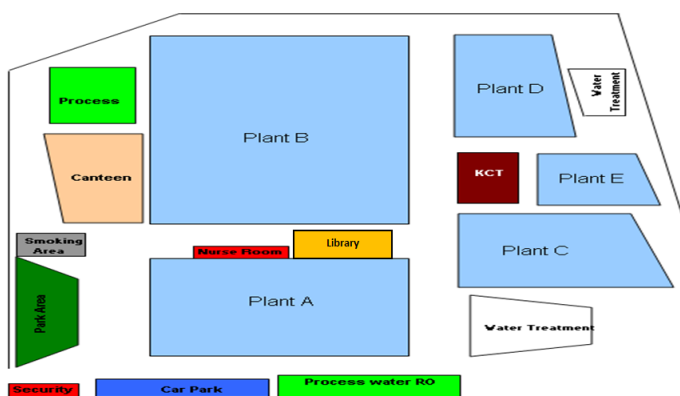
ความหนาของแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ในกระบวนการชุบแผ่น เนื่องจากความหนาของแดงเคลือบผิวในรู (Copper-In-Hole thickness) เป็นข้อกำหนดหนึ่งที่มีค่าพิถีพิถันที่เข้มงวด และเป็นข้อกำหนดที่ลูกค้าให้ความสำคัญ และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

## 1.2 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานการศึกษา

โรงงานการศึกษาเป็นโรงงานผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) เริ่มก่อตั้งบริษัทด้วยเงินลงทุน 316 ล้านบาทเพื่อก่อสร้างโรงงานสำนักงาน เริ่มกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ในปี 2545 และเพิ่มการลงทุนเป็น 508 ล้านบาท เพื่อขยายกำลังการผลิตและเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของโรงงานในการผลิต Mass Production และขยายกลุ่มลูกค้าในส่วนของยุโรปโรงงานการศึกษาได้รับการรับรองระบบคุณภาพต่างๆ เช่น

- ได้รับการรับรองมาตรฐานคุณภาพ ISO 9001
- ได้รับการรับรองมาตรฐานคุณภาพ QS-9000
- ได้รับประกาศนียบัตรรับรองมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14001
- ได้รับรอบมาตรฐานคุณภาพ ISO/TS-16949
- ได้รับการรับรองประกาศนียบัตรรับรองมาตรฐานแรงงานไทย TLS : 8001 – 2010
- ได้รับการรับรองมาตรฐานด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย (OHSAS 18001)

โรงงานเปิดทำการวันจันทร์ – วันเสาร์ เวลา 8:00 – 17:00 น. มีพนักงานในสายการผลิตประมาณ 3000 คน ในสายการผลิตเกิดการผลิตร 24 ชั่วโมง แบ่งพนักงานออกเป็น 2 กะ คือ กะเช้าและกะดึก กะละ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 1.3 แผนผังของโรงงานการศึกษา

### 1.2.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

โรงงานการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board; PCB) เป็นแผ่นพลาสติกที่ผิวด้านหนึ่งถูกเคลือบด้วยแผ่นทองแดงบาง เพื่อใช้ทำลายวงจรพิมพ์ (Printed Circuit) ทำให้เกิดเป็นวงจรไฟฟ้าต่างๆ ตามต้องการ ซึ่งมีลายวงจรไฟฟ้าเป็นตัวนำสัญญาณไฟฟ้า โดยผลิตเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและส่งออก

### ก. ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB)

แผ่นวงจรพิมพ์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

(1) แผ่น Glass epoxy เป็นแผ่น fiberglass ที่ถูกเคลือบด้วย epoxy resin ทำหน้าที่เป็นฐานหรือซับสเตรท (substrate) ให้ตัวนำสัญญาณไฟฟ้า (เส้นลายวงจร) เป็นฉนวนไฟฟ้ากั้นระหว่างลายวงจรในแต่ละชั้น และเพิ่มความแข็งแรงให้แก่แผ่นวงจรพิมพ์ วัสดุที่นำมาเป็นฐานของทองแดง เช่น FR-4 (woven E-glass fabric multifunctional epoxy) ผ้าไฟเบอร์กลาสทอด้วยเครื่องผูก อีพอกซีเรซิน, ฟีนอลิก (phenolic,FR-2), เทฟลอน (teflon), เคมวัน (CEM1) และ เฟล็กซีเบิล (flexible) เป็นต้น โดยทางโรงงานกรณีศึกษา มี 2 ชนิดหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือ

(1.1) แผ่น CCL (Copper Clad Laminate) ชนิด FR-4 เป็นแผ่นวงจรที่ทำมาจาก ใยแก้ว ยึดตัวด้วยอีพอกซี สามารถใช้กว้างขวางกับงานหลายประเภททนต่อความชื้นสูง อุณหภูมิสูง และสามารถใช้งานกับแรงดันสูงได้

(1.2) แผ่น CCL (Copper Clad Laminate) ชนิด CEM-3 เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่มี ใยแก้ว ทอเป็นผิวสองด้าน ยึดติดกันด้วยอีพอกซี มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า ดีเยี่ยม ทนต่อความร้อนได้ดีมาก ทนต่อการบุบสลาย และสามารถ Punch ที่อุณหภูมิต่ำได้

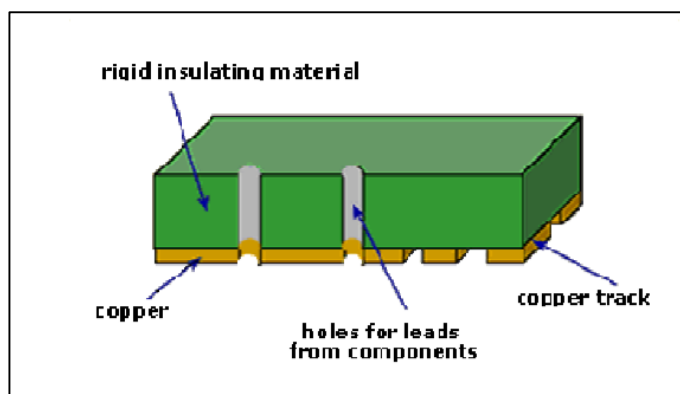
(2) ลายวงจรทองแดง ทำหน้าที่เป็นตัวนำสัญญาณไฟฟ้าให้ไหลผ่านระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แต่ละตัวที่ประกอบบนแผ่นวงจรพิมพ์

### ข. ผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

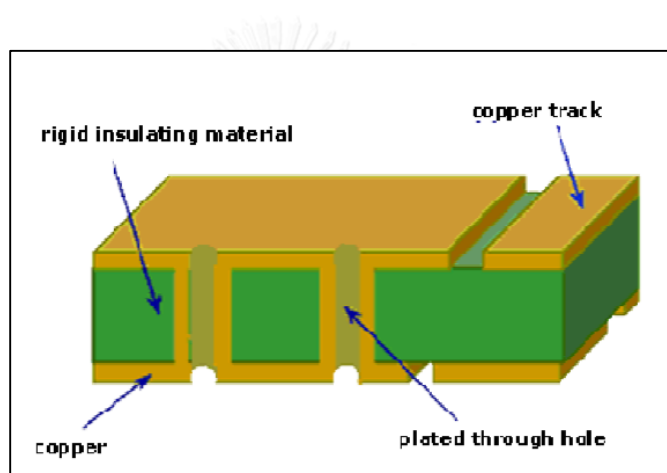
1.) แบบหน้าเดียว (Single Sided PCB) ประเภทนี้จะมีลายทองแดงเคลือบอยู่เพียงหน้าเดียว โดยทั่วไปจะใส่อุปกรณ์ ทางด้านตรงข้ามกับลายทองแดง เหมาะสำหรับวงจรที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนจนเกินไป แสดงดังรูปที่ 1.4

2.) แบบ 2 ด้าน (Double Sided PCB) ประเภทนี้จะมีลายทองแดงอยู่ทั้งสองด้าน และจะมีการทำ PTH (Plated Through Hole) หรือการชุบทองแดงอยู่ในรูด้วย เพื่อให้เกิดการต่อเชื่อมทางไฟฟ้าระหว่างลายวงจรด้านบนและด้านล่าง แผ่นวงจรพิมพ์ประเภทนี้ส่วนใหญ่ จะมีการวางอุปกรณ์ทั้งสองด้าน และลดพื้นที่ได้มาก แสดงดังรูปที่ 1.5

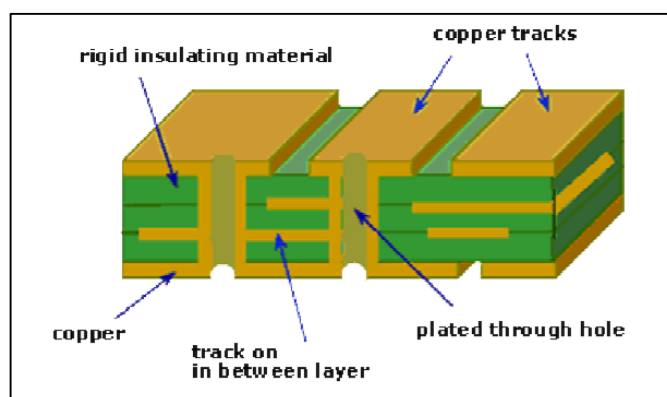
3.) แบบหลายชั้น (Multilayer boards) เป็นแผ่นลายวงจรแบบ 2 ด้านแบ่งออกเป็น 4 และ 6 ชั้น โดยใช้เครื่องอัดด้วยความร้อน (Hot press) ให้ติดเป็นแผ่นเดียวกันแผ่นวงจรพิมพ์ประเภทนี้ จะมีความซับซ้อนมาก โดยจะมีลายทองแดงอยู่ด้านใน และมีการเชื่อมต่อกันผ่านทางรูที่ทำพิเศษ หรือ PTH (Plated through Hole) แผ่นวงจรพิมพ์ประเภทนี้สามารถลดพื้นที่ของแผ่น PCB ลงทำให้การออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กลง ประเภทนี้มีราคาแพง แสดงดังรูปที่ 1.6



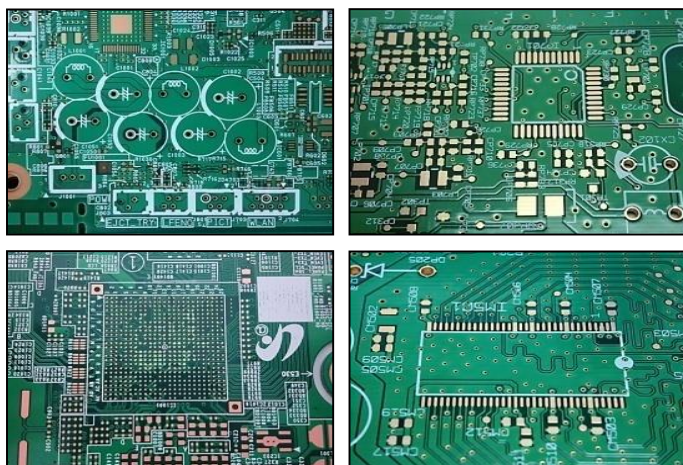
รูปที่ 1.4 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหน้าเดียว (Single Sided PCB)



รูปที่ 1.5 แผ่นวงจรพิมพ์แบบ 2 ด้าน (Double Sided PCB)



รูปที่ 1.6 แผ่นวงจรพิมพ์แบบหลายชั้น (Multilayer boards)



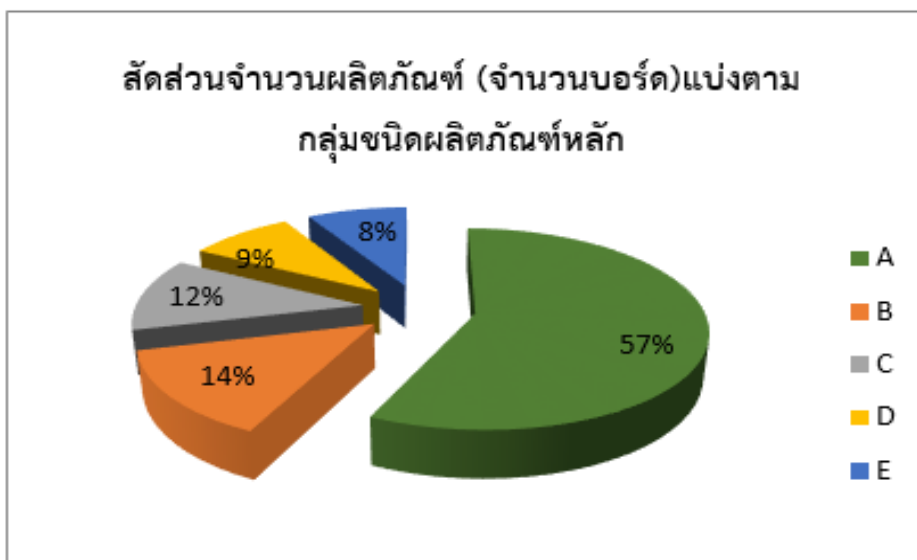
รูปที่ 1.7 ผลิตภัณฑ์แผ่นพิมพ์ลายวงจร (Printed Circuit Board) ของโรงงานกรณีศึกษา

### 1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

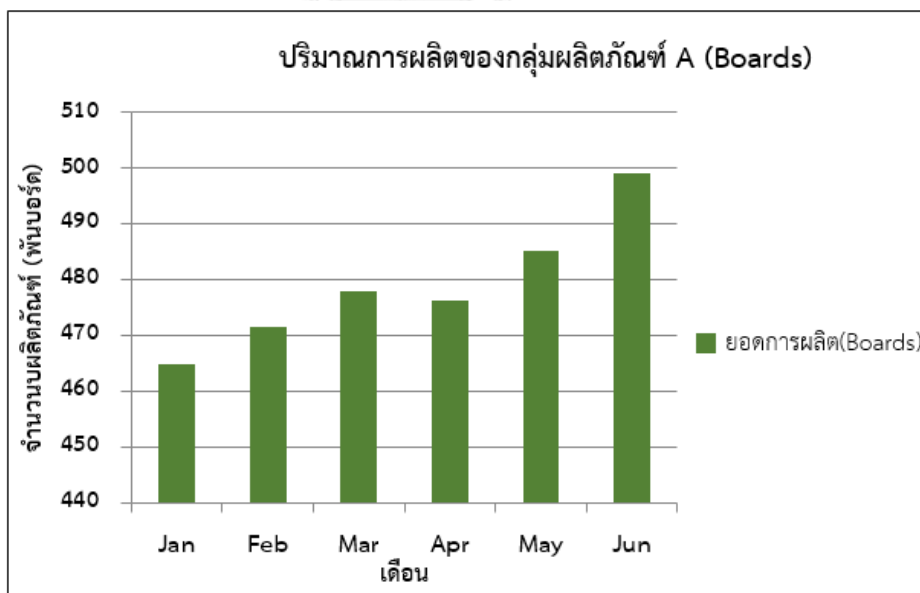
เนื่องจากปัจจุบันผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีสูงขึ้น ทางผู้ผลิตจึงต้องมีการพัฒนาและออกแบบอุปกรณ์ให้มีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายขึ้นและมีขนาดเล็กลง ดังนั้นบริษัทที่ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board) จึงมีการออกแบบให้มีขนาดเล็กลงด้วยเช่นกัน โดยการผลิตออกมาในรูปแบบ double layer และ multilayer ซึ่งจะมีการชุบแบบ PTH (Plated Through Hole) หรือการชุบทองแดงด้วยปฏิกิริยาเคมี ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการชุบแบบไฟฟ้า (Electro Plating) ต่อไปเพื่อให้เกิดการต่อเชื่อมทางไฟฟ้าระหว่างลายวงจรในแต่ละชั้น ซึ่งขนาดความหนาของทองแดงเคลือบผิวในรู (Copper-In-Hole thickness) ต้องมีขนาดไม่มากหรือน้อยกว่าข้อกำหนดเพราะถ้ามีความหนามากเกินไปจะส่งผลให้ใส่ขาอุปกรณ์ไม่เข้า หรือถ้าหนาน้อยเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาเส้นลายวงจรเปิดได้ (Open Circuit) ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ มีผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากปัจจุบันมีการออกแบบข้อกำหนดตามความต้องการของลูกค้าโดยปัจจุบันกำหนดค่าความหนาทองแดงในรูไม่ต่ำกว่า 21 ไมครอน ทำให้กระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์จะต้องมีการควบคุมที่เข้มงวดหรือลดความผันแปรของกระบวนการเพื่อให้สินค้ามีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า และเพื่อสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้ามากที่สุด ดังนั้นพารามิเตอร์ค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness) จึงเป็นพารามิเตอร์ของผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีความสำคัญ จำเป็นต้องมีการกำหนดข้อกำหนดที่แน่นอน และจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพของสินค้าอย่างเข้มงวด

จากการศึกษาสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าปริมาณการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A มีสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์แบ่งตามกลุ่มลูกค้าหลักสูงสุดของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 ที่มีสัดส่วนสูงถึง 57% ดังแสดงในรูปที่ 1.8 และเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ทางกลุ่มลูกค้าให้ความสำคัญในเรื่องความหนาของทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness) เนื่องจากเป็นข้อกำหนดหนึ่งที่มีค่าพิคัดความเผื่อที่เข้มงวด เนื่องจากเป็นข้อกำหนดที่

ลูกค้าให้ความสำคัญ และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และมีปริมาณการผลิตที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆดังแสดงในรูปที่ 1.9

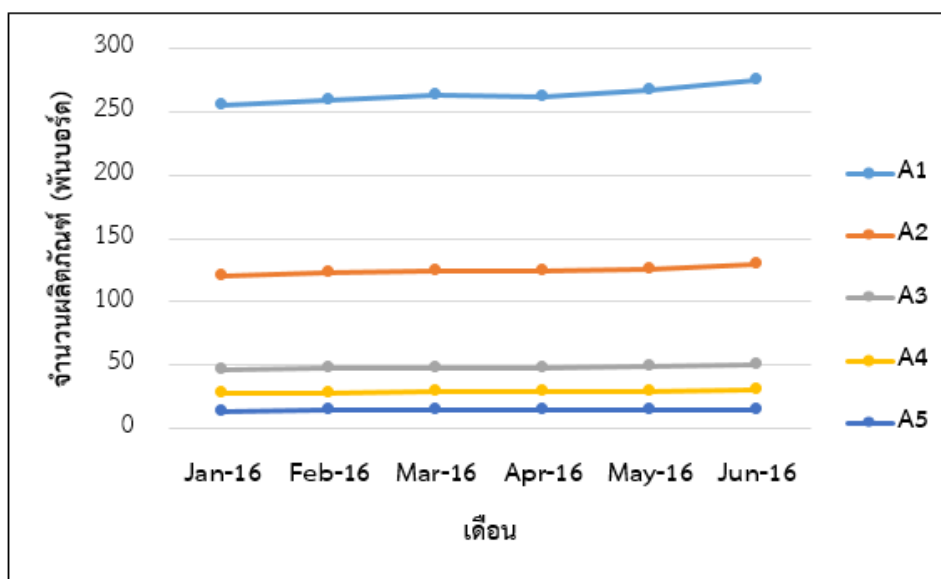


รูปที่ 1.8 สัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์ (จำนวนบอร์ดบอร์ด) แบ่งตามชนิดผลิตภัณฑ์หลัก

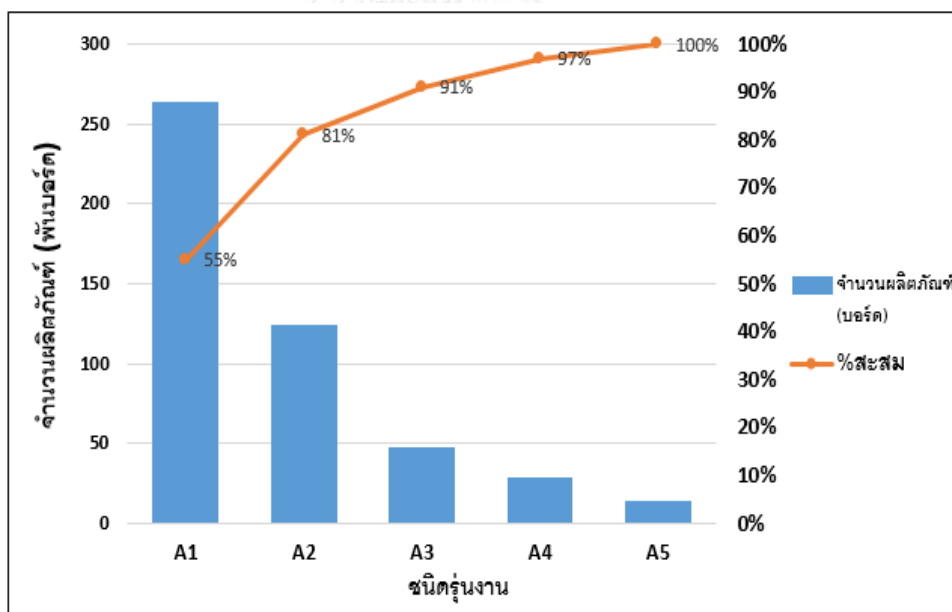


รูปที่ 1.9 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559

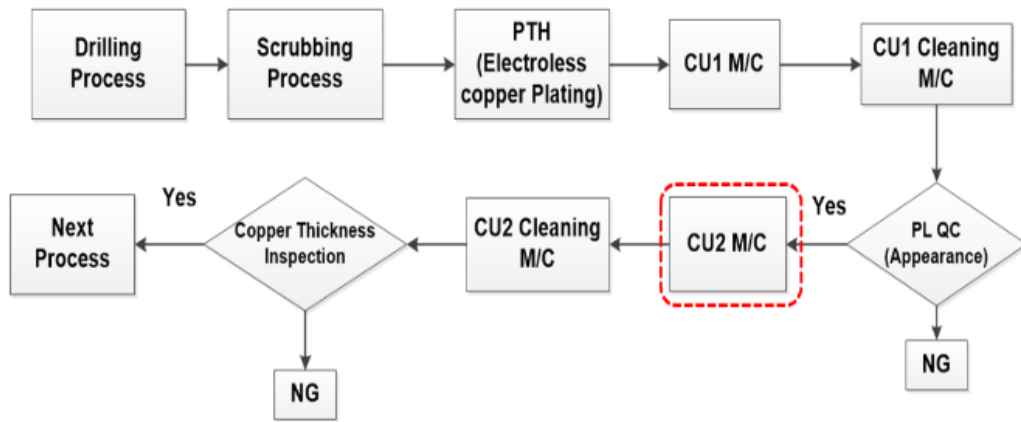




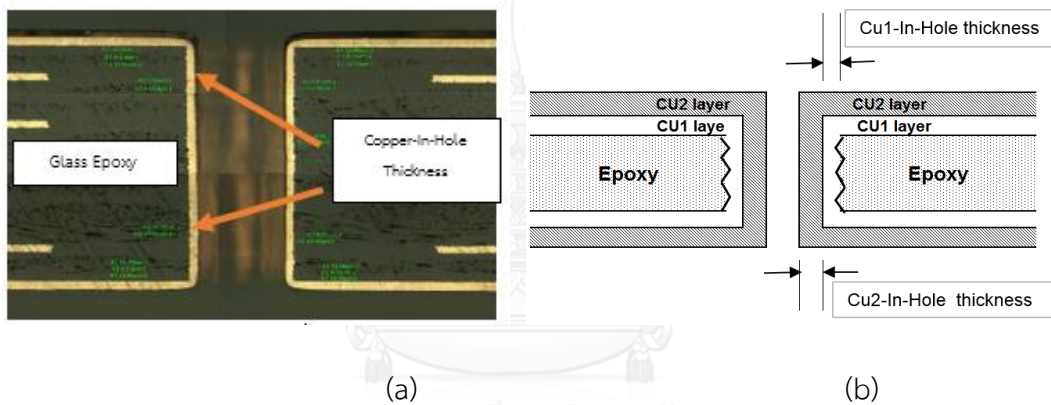
รูปที่ 1.10 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559



รูปที่ 1.11 จำนวนชนิดรื่องานในกลุ่มผลิตภัณฑ์งาน A ตั้งแต่เดือน ม.ค 2560 ถึงเดือนมิ.ย 2560



รูปที่ 1.2 ผังกระบวนการชุบแผ่น (Plating Process)



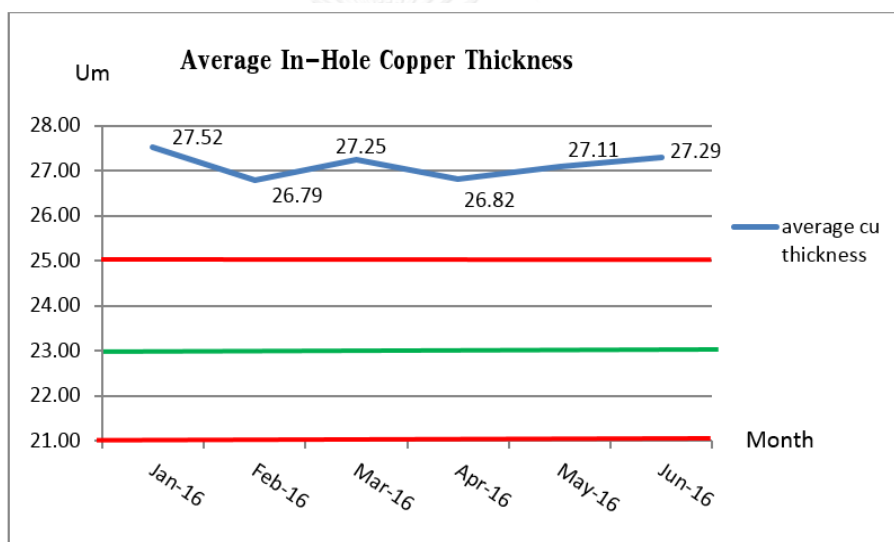
รูปที่ 1.13 รูปถ่าย (a) และโครงสร้าง (b) ภาคตัดขวางของทองแดงที่เคลือบผิวภายในรูของแผ่นวงจรพิมพ์

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงทำการศึกษาข้อมูลกระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์ภายในโรงงาน ตัวอย่างดังรูปที่ 1.12 เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการชุบแผ่น โดยจากการศึกษาพบว่า กระบวนการชุบทองแดงเป็นกระบวนการที่สำคัญในกระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์ลายวงจร เนื่องจากเป็นกระบวนการแรกที่จะส่งผลต่อคุณภาพในการผลิตก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการถัดไป เพราะถ้าแผ่น CCL (Copper Clad Laminate) ที่ผ่านกระบวนการชุบแผ่น (Plating Process) ไม่มีคุณภาพจะส่งผลต่อกระบวนการต่อไปซึ่งอาจทำให้มีของเสียเพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษาผังกระบวนการชุบแสดงดังรูปที่ 1.12 พบว่าในกระบวนการชุบแผ่นของโรงงาน ตัวอย่างแบ่งกระบวนการชุบย่อยออกเป็น 2 รอบโดยรอบที่ 1 จะผ่าน CU1 Machine โดยวัตถุประสงค์ของการชุบรอบที่ 1 เพื่อเคลือบผิวในรูให้เรียบจากการชุบแบบ PTH ในกระบวนการก่อนหน้า และการชุบรอบที่ 2 จะผ่าน CU2 Machine โดยวัตถุประสงค์ของการชุบรอบที่ 2 เพื่อเพิ่ม

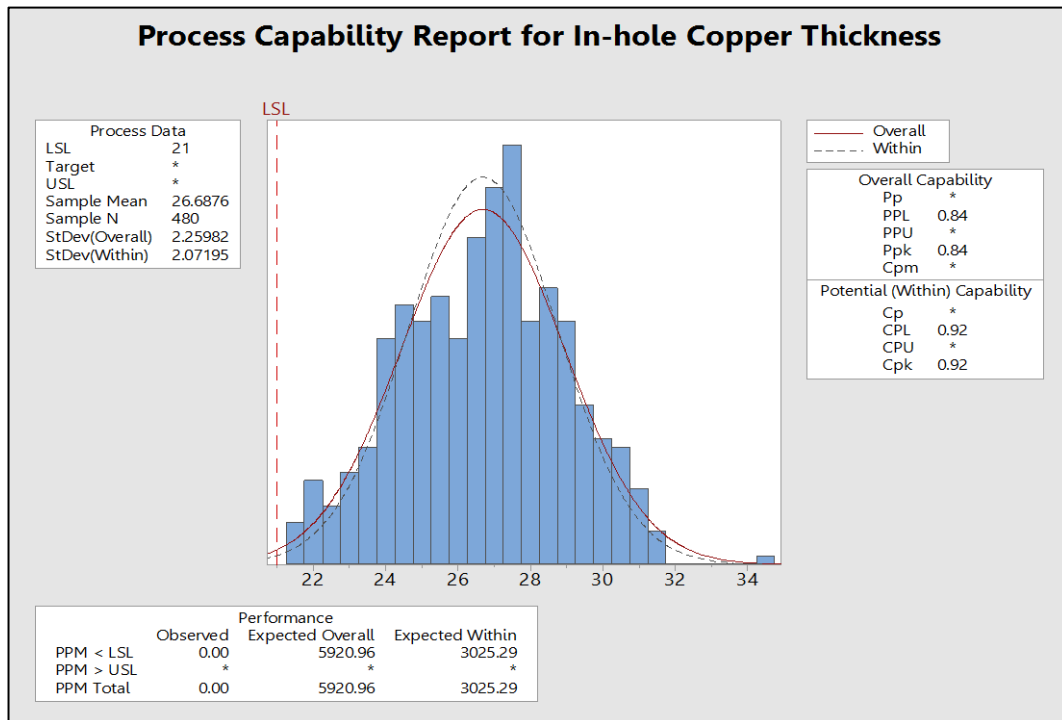
ความหนาทองแดงให้กับชิ้นงาน และจะมีการวัดค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากที่ผ่านกระบวนการชุบ 2 รอบ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเฉพาะในส่วนการชุบรอบที่ 2 ที่ผ่าน CU2 Machine เท่านั้น เพื่อควบคุมความหนาทองแดงในรูในชั้น CU2 layer ของแผ่นวงจรพิมพ์ โดยแสดงโครงสร้างและรูปถ่ายภาคตัดขวางในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ดังรูปที่ 1.13

ผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์จะมีการควบคุมค่าความหนาทองแดงในรู (Copper-In-Hole thickness) ของแผ่น CCL ให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ทางลูกค้ากำหนดคือ 21 Um เนื่องจากเงื่อนไขทางการค้า และจากการตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูลของบริษัท ระหว่างเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 ที่ผ่านมา พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์มีค่าความหนาทองแดงในรู (Copper-In-Hole thickness) โดยเฉลี่ยแต่ละเดือนสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านต่ำ โดยเฉลี่ยแต่ละเดือนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 27  $\mu\text{m}$  แสดงดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.8 ค่าความหนาของแผ่นทองแดงโดยเฉลี่ยตั้งแต่เดือนม.ค 2559 ถึงเดือนมิ.ย 2559

จากสภาพปัญหา ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการชุบแผ่นของผลิตภัณฑ์รุ่น A1 พบว่ามีค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) ตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.92 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.25 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นมีความแปรผันสูงและมีความมั่นคงต่ำในระดับคุณภาพ 3 $\sigma$  ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตดังกล่าวมีความสามารถที่จะให้ค่าของผลิตภัณฑ์ถูกต้องตรงตามค่าจริง (True Value) ก่อนข้างต่ำ กล่าวโดยสรุปคือ ความสามารถของกระบวนการ ( $C_{pk}$ ) ยังไม่ดี



รูปที่ 1.9 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูในกระบวนการชุบแผ่น

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีดังนี้

1. ลดค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเกินจากค่าเป้าหมาย
2. ลดความผันแปรความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ในกระบวนการชุบแผ่น

#### 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยมีดังนี้

1. งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาวิจัยเฉพาะกลุ่มชนิดผลิตภัณฑ์ A เท่านั้น
2. ทำการศึกษาเฉพาะการปรับปรุงค่าความหนาของทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์ในกระบวนการชุบแผ่นในส่วนของการชุบรอบที่ 2 ที่ผ่าน CU2 Machine เท่านั้น
3. ใช้การวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In Hole Copper Thickness) เป็นกระบวนการในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ
4. ใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณข้อมูลที่ต้องใช้การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

#### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ค่าปัจจัยต่างๆในกระบวนการผลิตที่สามารถเพิ่มค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ
2. แผนการควบคุมคุณภาพในกระบวนการชุบแผ่นในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นลายวงจรพิมพ์
3. ลดความสูญของปริมาณทองแดงที่ใช้และลดความผันแปรในกระบวนการชุบ

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ปริมาณทองแดงที่ใช้ในกระบวนการชุบทองแผ่นวงจรพิมพ์ลดลง
2. ควบคุมคุณภาพกระบวนการชุบแผ่นให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน
4. เพื่อเป็นแนวทางในการใช้กระบวนการมาตรฐานของ ชิکش ชิคมามาใช้ปรับปรุงกระบวนการในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นลายวงจรพิมพ์

### 1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดชิکش ชิคม่าเพื่อปรับปรุงกระบวนการชุบแผ่นในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นพิมพ์ลายวงจรเพื่อลดปริมาณทองแดงที่ใช้ในกระบวนการชุบและควบคุมความหนาของทองแดงที่เหมาะสมในกระบวนการชุบแผ่น โดยการวิจัยจะใช้ขั้นตอนตามแนวทางของชิکش ชิคม่า ในการปรับปรุง โดยดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. สํารวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)
  - ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์ลายวงจร โดยการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับทุกกระบวนการ และจัดทำแผนการไหลในกระบวนการ (Flow Process Chart)
  - กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
  - พิจารณาความสามารถของกระบวนการชุบแผ่น
  - จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมโครงการ โดยการกำหนดคณะทำงานจะทำการคัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนของกระบวนการ คณะทำงานร่วมระดมสมองรวบรวมปัญหา แจกแจงสาเหตุและผลกระทบ เพื่อหาวิธีและแนวทางควบคุมความหนาของทองแดงที่เหมาะสมในกระบวนการชุบแผ่น
3. ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
  - วิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)
  - เก็บข้อมูลเพื่อกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา
  - ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Input Variable หรือ KPIV)

- หาสาเหตุที่เป็นไปได้โดยใช้แผนผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram)
    - กำหนดปัจจัยที่อาจมีผล (KPIV) โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)
    - สรุปผลวางแผนการทดลองและการเก็บข้อมูลในขั้นตอนต่อไป
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)
    - เลือกปัจจัยที่จะนำไปทดสอบจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)
    - ทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
    - ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้หลักการสถิติทางวิศวกรรม เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Key Input Variable หรือ KPIV) ที่ต้องนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ
    - สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป
  5. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต (Improvement Phase)
    - กำหนดตัวแปรและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อการทดลอง
    - กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล
    - ดำเนินการทดลองจากปัจจัยที่กำหนดเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการให้ปริมาณความสูญเสียลดลงและนำไปปรับปรุงจริงในกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป
    - วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
  6. ระยะเวลาการติดตามควบคุม (Control Phase)
    - พิจารณาลักษณะและข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุม
    - จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) และวิธีการควบคุมอื่นๆที่เหมาะสม จากนั้นกำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่างและความถี่ในการวัด เพื่อควบคุมกระบวนการ
    - สรุปผลการปรับปรุงที่ได้โดยพิจารณาจากระดับความสูญเสียที่ลดลง
  7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
  8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงค่าความหนาทองแดงเกินความจำเป็นตามข้อกำหนดลูกค้าในกระบวนการชุบแผ่นอุตสาหกรรมแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีความผันแปรสูง เพื่อให้มีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้น โดยประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) มาใช้ในการปรับปรุง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้า แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

##### 2.1.1 ความหมายของซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

Pande and Holpp (2002: 2-6) ได้ให้ความหมายของ Six Sigma ว่าเป็นแนวทางการบริหารธุรกิจหรือแผนงาน มีการวัดกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์โดยใช้การวัดเชิงสถิติ คำนึงถึงลูกค้าเป็นอันดับแรก และใช้ความเป็นจริงและข้อมูลนำไปสู่ทางแก้ไขปัญหาที่ดีขึ้น โดยมีจุดมุ่งหมาย 3 ประการ ได้แก่ 1) การปรับปรุงความพึงพอใจของลูกค้า 2) การลดเวลาในวงจรการผลิต 3) การลดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์หรือบริการ

Ramasary (2009: 13.4) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพและปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นความพึงพอใจของลูกค้าและมุ่งเน้นคุณภาพ

บริษัท GE ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกมาไว้ว่า เป็นวิสัยทัศน์ในด้านคุณภาพที่ยอมให้มีของเสียในกระบวนการผลิตได้เพียง 3.4 ชิ้นต่อการผลิตสินค้าล้านชิ้น โดยเน้นความมุ่งมั่นเพื่อความสมบูรณ์แบบของสินค้าและบริการ

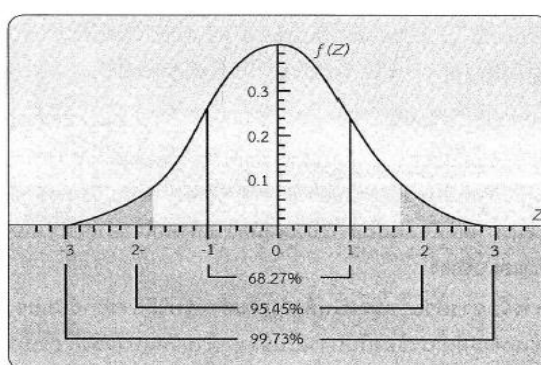
สำหรับ Kemp (2006 : 205) พิจารณาว่า Six Sigma เป็นวิธีการ (methodology) ซึ่งองค์กรสามารถเลือกใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพและบรรลุเป้าหมายทางธุรกิจ

ซิกซ์ ซิกมาเป็นระบบที่ครอบคลุมและมีความยืดหยุ่นเพื่อประสบความสำเร็จในความสำเร็จที่ยั่งยืนทางธุรกิจ โดยเน้นความต้องการของลูกค้าด้วยการใช้ข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยมุ่งมั่นในเรื่องของการบริหารจัดการ การปรับปรุง และการนำเสนอกระบวนการทางธุรกิจ

##### 2.1.2 กรอบแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา

Verma & Boyer (2009: 421) ได้สรุปแนวคิดหลักของวิธีการซิกซ์ ซิกมา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. มุ่งเน้นความเข้าใจในความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าโดยแท้จริง คำนิยามของลูกค้าและการประเมินคุณภาพเป็นศูนย์กลางของวิธีการซิกซ์ ซิกมา ดังนั้น วิธีการทางซิกซ์ ซิกมาจึงเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ได้นำมาใช้สนับสนุนในการประเมินความพึงพอใจของลูกค้า และข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับการเสนอสินค้าและบริการ
2. การบริหารจัดการด้วยข้อมูลเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวิธีการซิกซ์ ซิกมา การมุ่งเน้นข้อเรียกร้องของบริษัทใช้เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการเก็บข้อมูลด้านวัตถุประสงค์จากกระบวนการตัดสินใจและละเว้นการพิจารณาตัดสินใจโดยใช้อคติส่วนตัว
3. หน่วยของการวิเคราะห์ภายในวิธีการซิกซ์ ซิกมา คือ กระบวนการ กระบวนการประกอบด้วย การบริหารจัดการข้อมูล ดังนั้น ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการวิธีการซิกซ์ ซิกมา จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยอัตโนมัติด้วยคุณภาพของสินค้าและบริการที่ส่งมอบแก่ลูกค้า
4. วิธีการซิกซ์ ซิกมาได้นับย้ำความต้องการในรูปแบบการบริหารจัดการเชิงรุก (proactive management style) แทนที่จะรอให้ปัญหาคุณภาพเกิดขึ้น การบริหารจัดการควรมุ่งเน้นไปที่การระบुरากเหง้าของปัญหาตั้งแต่เนิ่นๆ เพื่อที่ว่าปัญหานั้นจะได้ไม่เกิดขึ้นตั้งแต่แรก
5. การประสานงานเชิงรุกและการร่วมมือร่วมใจกันระหว่างพนักงานที่ทำงานในแผนงานที่แตกต่างกันในบริษัท หากวิธีการซิกซ์ ซิกมาประสบความสำเร็จ ทีมงานที่มีระดับหน้าที่ที่แตกต่างกันจะต้องข้ามสายงานเพื่อลดอุปสรรคของลำดับชั้นงานที่แตกต่างกัน
6. สุดท้ายคือวิธีการซิกซ์ ซิกมามุ่งมั่นความสมบูรณ์แบบ วิธีการซิกซ์ ซิกมาอ้างถึงช่วงของค่าสถิติ ซึ่งก็ยอมให้มีโอกาสเกิดของเสีย 3.4 ส่วนใน 1 ล้านส่วน สมมติว่ากระบวนการมีการกระจายปกติ พื้นที่ภายใต้โค้งจะถูกกำหนดโดยค่าพิสัยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) จากค่าเฉลี่ย ( $\mu$ ) ในรูปที่ 2.1 ค่าพิสัยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $1\sigma$ ) จากค่าเฉลี่ยมีค่าประมาณ 68.27% ภายใต้โค้งของการกระจายแบบปกติ (normal curve) ค่าพิสัย 2 ใน 3 ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 95.45% และ 99.73% ภายใต้การกระจายโค้งปกติ

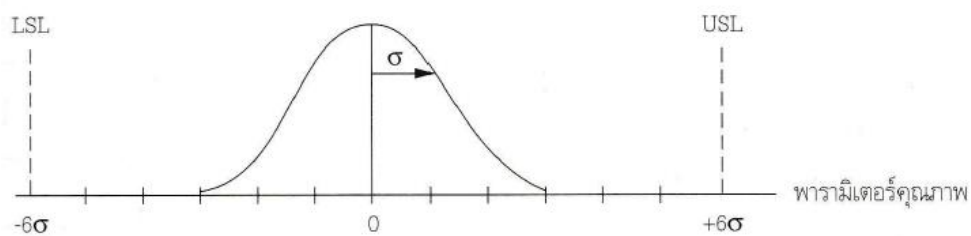


รูปที่ 2.1 การกระจายภายใต้โค้งปกติบนพื้นฐานของค่าพิสัย 1,2 และ 3 จากค่าเฉลี่ย (Verma & Boyer, 2009: 421)



### 2.1.3 การบริหารจัดการแบบ Six Sigma

วิธีการ Six Sigma ได้รับการพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกโดยสถาบันวิจัยแห่งบริษัทโมโตโรลา จำกัด ที่มี Dr. Mikel Harry เป็นหัวหน้าทีม ภายใต้การสนับสนุนของประธานเจ้าหน้าที่บริหาร Bob Galvin โดยมีจุดมุ่งหมายสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพในระยะยาวสำหรับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยผ่านการประเมินผลถึงโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (defect per million opportunities; DPMO) ที่ผ่านการคำนวณดัชนีความสามารถ Cp และ Cpk (Folaron and Morgan (2003), p.42) โดยคำว่า Six Sigma มาจากระดับคุณภาพที่ลดความแปรผันในระยะยาวจนทำให้มีโอกาสเกิดข้อบกพร่อง 3.4 ppm ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 คุณภาพระดับ Six Sigma

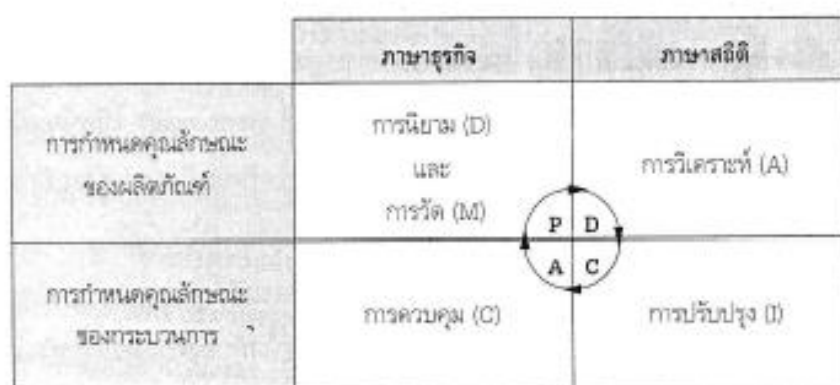
ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาของตัวแบบ Six Sigma นั้น ในระยะแรก Harry และ Lawson แห่งโมโตโรลา ได้เสนอแนวทางแก้ไขปัญหาโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักๆ คือ การนิยามพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ (D-define) การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ (A-analysis) การหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ของกระบวนการ (C-control) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กลยุทธ์การกำหนดคุณลักษณะของกระบวนการ (Harry and Lawson (1998))

ในระยะเวลาต่อมา บริษัท IBM จำกัด ได้ทำการจำแนกการนิยาม (D) ออกเป็น D-Define เพื่อสร้างความมั่นใจว่าปัญหาได้รับการนิยามอย่างถูกต้องแต่เริ่มแรก และ M-Measure สำหรับการ

กำหนดหัวข้อปัญหา (จาก (Folaron and Morgan (2003), p.42) และ Harry ได้ทำการเปลี่ยนขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ (O) เป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ (I) ดังนั้นกระบวนการแก้ปัญหาแบบ Six Sigma จึงได้รับการพัฒนาออกเป็น 5 ขั้นตอนย่อยคือ การนิยาม (Define-D) การวัด (Measure-M) การวิเคราะห์ (Analyse-A) การปรับปรุง (Improve-I) และการควบคุม (Control-C) และอาจเรียกสั้นๆ DMAIC โดยกิตติศักดิ์ (2545 a) ได้กำหนดความสัมพันธ์กับขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพ (PDCA) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลยุทธ์การแก้ปัญหาแบบ DMAIC (กิตติศักดิ์ (2545 a))

ในตารางที่ 2.1 แสดงระดับของ Sigma และจำนวนข้อบกพร่องของการผลิตและเปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องที่จะต้องขจัดจากระดับ Sigma ก่อนหน้านี้

ตารางที่ 2.1 ระดับของ Sigma และข้อบกพร่องที่ยังคงอยู่ (Kemp, 2006 :207)

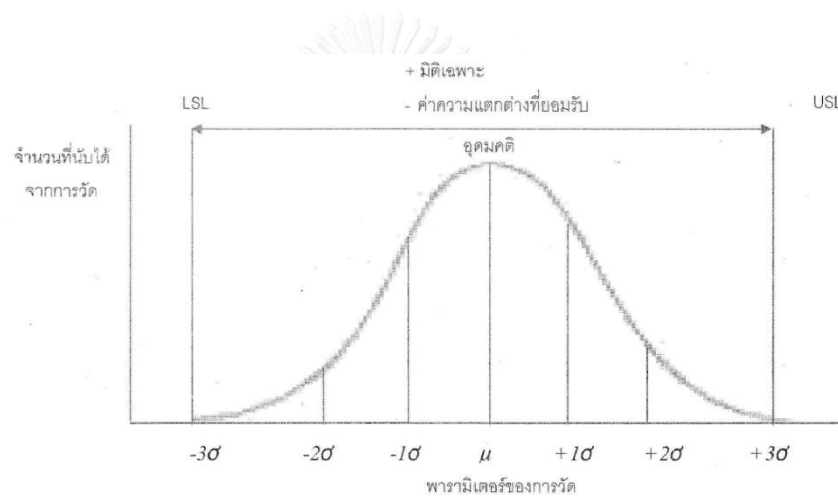
ระดับของ Sigma	ข้อบกพร่องต่อจำนวนพันล้าน	เปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่องที่ต้องเปลี่ยนแปลงจากระดับ Sigma ก่อนหน้านี้
6	2	99.70%
5	573	91.10%
4	63342	97.80%
3	2700000	94.10%
2	45500000	85.70%
1	317000000	n/a

จาก Sigma แสดงเส้นโค้งปกติ (normal curve) ไม่ใช่เส้นตรง (linear) การเปลี่ยนไปสู่ Sigma ในแต่ละระดับเป็นเรื่องยากที่จะบรรลุผลสำเร็จ โดยจะต้องลดข้อบกพร่องให้น้อยลง เมื่อพิจารณา Six Sigma ในเชิงสถิติ การผลิตจะต้องมีปริมาณเป็นล้านหน่วยหรือจำนวนพันล้านที่จะวัดในบริบทนี้จึงมีข้อจำกัดเหมาะสมกับโรงงานผลิตที่มีหน่วยผลิตเป็นล้านหน่วยหรือจำนวนพันล้าน

Six Sigma เหมาะสมกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตาม Six Sigma สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสเกลการผลิตอื่นๆ ใช้ในธุรกิจการบริการขนส่ง ธุรกิจการจัดการ เป็นต้น (นิตยา 2555)

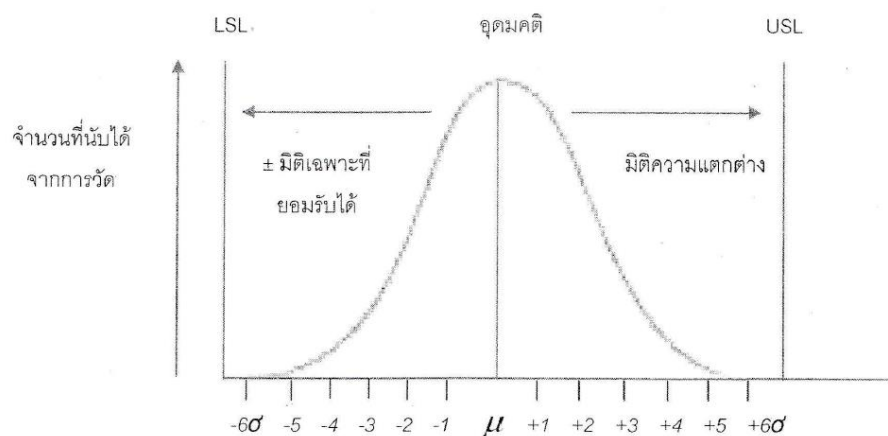
Six Sigma มาจากแนวคิดของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งวัดจากการกระจายของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ว่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย (mean) หรือจุดที่เป็นอุดมคติ (ideal point)

กระบวนการในองค์กรที่ดีที่สุดจะมีระดับ Sigma อยู่ระหว่าง 3 กับ 4 ซึ่งอธิบายได้ว่า 99.73% ของผลผลิต (outputs) ของกระบวนการจะตกอยู่ระหว่าง  $\pm 3$  ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ 3 Sigma หรือ 99.9937% ณ 4 Sigma ถ้ารายละเอียดเฉพาะสำหรับชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งกระบวนการผลิตออกมาควรจะเป็น  $\pm 3$  Sigma ดังนั้นกระบวนการที่ระดับ 3 Sigma จะมีข้อบกพร่องของชิ้นส่วนต่างๆ 2,700 ชิ้นในทุกการผลิต 1,000,000 ชิ้น หรือ 2,700 ppm ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.3 ฮิสโตแกรมของกระบวนการที่ระดับ 3 Sigma (Goetsch and Davis, 2006 : 29)

ถ้าข้อกำหนดอยู่ที่  $\pm 3$  Sigma พอดี 99.73% ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะตกอยู่ในขอบเขตที่เฉพาะ (99.73% conforming)



รูปที่ 2.4 ฮิสโตแกรมของกระบวนการที่ระดับ 6 Sigma (Goetsch and Davis, 2006 : 29)

ถ้าข้อกำหนดอยู่ที่  $\pm 6\text{Sigma}$  ซึ่งกระบวนการได้ถูกปรับปรุง 99.999998% ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะตกอยู่ในขอบเขตที่เฉพาะ (99.999998% conforming)

#### 2.1.4 โมเดลซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมาเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ทางสถิติในการค้นหาแหล่งข้อผิดพลาด รวมไปถึงวิธีในการขจัดข้อผิดพลาดเหล่านี้ ซิกซ์ ซิกมาเป็นแนวทางในการดำเนินงานเชิงรุก ถึงแม้ว่าวงจร PDCA จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ แต่ซิกซ์ ซิกมานั้นจัดเป็นเครื่องมือการควบคุมคุณภาพทางสถิติวิธีใหม่ที่น่ามาใช้ในการปรับปรุงรูปแบบของกระบวนการ DMAIC เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการ 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการนิยาม (D) ในขั้นตอนแรกของกระบวนการแก้ปัญหาแบบ Six Sigma จะเป็นการกำหนดปัญหาทางธุรกิจโดยการใช้แนวความคิดของการมองภาพองค์รวม (holistic approach) ในการนิยามปัญหาจากตัววัด (metric) แล้วมองปัญหาในภาพองค์รวมโดยอาศัยตัววัดทางธุรกิจ (business metric) เพื่อกำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไขโดยอาศัยตัววัดโครงการ (project metric) และเมื่อได้ปัญหาแล้วจะดำเนินการกำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาโดยพิจารณาจากการเทียบเคียงเชิงแข่งขัน (competitive benchmarking) และผลงานที่เคยทำได้ดีที่สุดในอดีต (entitlement) เพื่อการตัดสินใจบนพื้นฐานของระดับคุณภาพที่สามารถทำได้ในสภาพปัจจุบัน (กิตติศักดิ์ 2550)

ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมาย องค์กรต้องพิจารณาความต้องการลูกค้าและทิศทางของผู้บริหารเพื่อการปรับปรุง ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดเป้าหมายและจากโครงการ Six Sigma ต้องกำหนดความมุ่งหมายของโครงการ วัตถุประสงค์ทางธุรกิจ กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย สมาชิกทีม และผู้ให้การสนับสนุนต่างๆ (นิตยา 2555)

2. ขั้นตอนการวัด(M) ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการกำหนดระบบการวัดหรือเกจ (gauge) เพื่อเป็นการป้องกันผลิตภัณฑ์บกพร่องมิให้หลุดไปถึงมือลูกค้า จากนั้นจะทำการทวนสอบความแปรผันจากระบบการวัดว่ามาจากแหล่งใดเพื่อการกำจัดหรือลดความผันแปรดังกล่าว และอาจเรียกกระบวนการนี้ว่า การวิเคราะห์ระบบการวัด (measurement system analysis ; MSA) จากนั้นจะทำการเลือกพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะจะเป็นสาเหตุของปัญหา (Potential causes) ผ่านการวิเคราะห์หน้าที่กระบวนการ (function analysis) โดยเทคนิควิเคราะห์การขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (A) เมื่อทราบถึงพารามิเตอร์ที่คาดว่าจะจะเป็นสาเหตุของปัญหาแล้ว ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการพิสูจน์ว่าสาเหตุดังกล่าวเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โดยการพิสูจน์สามารถใช้ได้ทั้งวิธีการอุปนัย (inductive) และวิธีการนิรนัย (deductive)

4. ขั้นตอนการปรับปรุง (I) เมื่อทราบถึงพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เป็นสาเหตุแท้จริงของปัญหาแล้ว ในขั้นตอนต่อมาจะเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์ดังกล่าว โดยคำนึงถึงเทคโนโลยีที่อยู่ในปัจจุบันรวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ของกระบวนการด้วย ซึ่งกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์นี้มักจะอาศัยกลยุทธ์ของการออกแบบการทดลอง (design of experiment ; DOE) ทั้งนี้เนื่องจากในการหาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์มักต้องดำเนินการภายใต้สภาพในปัจจุบันของกระบวนการซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อระบบการผลิตจึงมีความจำเป็นต้องออกแบบการทดลอง
5. ขั้นตอนการควบคุม (C) ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการแก้ปัญหาแบบ Six Sigma จะเป็นการควบคุมกระบวนการ โดยความพยายามในการมอบอำนาจและหน้าที่ (empower) ให้พนักงานปฏิบัติการหน้างานทำหน้าที่ควบคุมด้วยตนเอง (self-control) และกระบวนการใดก็ตามที่เราทราบพฤติกรรมทั้งหมดของกระบวนการแล้ว ก็ควรจะควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติเพื่อให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด

## 2.2 ชุดเครื่องมือแก้ปัญหา 7 อย่าง

### 2.2.1 การประยุกต์ชุดเครื่องมือแก้ปัญหา 7 อย่าง

กิตติศักดิ์ (2539) ได้ทำการจำแนกชุดเครื่องมือแก้ปัญหา 7 อย่างนี้ โดยพิจารณาตามคิวชีสตอรี แล้วจะจำแนกการใช้ชุดเครื่องมือนี้ ออกเป็น 3 กลุ่มการประยุกต์ ตามตารางที่ 2.2 คือ

- ก. ชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีจุดประสงค์เป็นการศึกษาผ่านการประเมินผล (Enumerative Study) เพื่อการพิจารณาว่าประชากรที่พิจารณาได้รับการทำให้เป็นมาตรฐานแล้วหรือไม่ โดยชุดเครื่องมือภายใต้จุดประสงค์นี้จะประกอบด้วยแผนภาพพาเรโต สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท เช่น ประเภทต่างๆของข้อบกพร่อง ประเภทต่างๆของคำร้องเรียนจากลูกค้า ประเภทต่างๆของพัสดุคงคลัง และกรณีของข้อมูลที่ไม่มีการจำแนกประเภท เช่น น้ำหนัก แรงดึง สัดส่วนข้อบกพร่อง ทั้งข้อมูลแบบวัดและข้อมูลแบบนับซึ่งจะวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิควบคุม
- ข. ชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความผันแปรในข้อมูลที่มีจุดประสงค์เป็นการศึกษาผ่านการประเมินผลและศึกษาผ่านการวิเคราะห์ ซึ่งในจุดประสงค์แรกจะประกอบด้วยใบตรวจสอบ กราฟและฮิสโตแกรม สำหรับในจุดประสงค์แบบวิเคราะห์จะใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับการแยกจากความผันแปรสาเหตุแบบไม่ธรรมชาติออกจากความผันแปรจากสาเหตุแบบธรรมชาติ
- ค. ชุดเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สาเหตุและผล ซึ่งโดยปกติจะเป็นการศึกษาที่มีจุดประสงค์ศึกษาแบบวิเคราะห์ และควรศึกษาผ่านสถิติอนุมาน จึงจะมีประสิทธิภาพ

มากที่สุดแต่ด้วยหลักการทำให้ง่ายของ JUSE จึงมีการแนะนำให้ใช้สถิติเชิงพรรณนา แทนซึ่งประกอบด้วยแผนภาพก้างปลาสำหรับการกำหนดสมมติฐานของสาเหตุและ พิสูจน์สาเหตุและผลโดยอาศัยแผนภาพการกระจาย ฮีสโตแกรม และกราฟ

ตารางที่ 2.2 สรุปการใช้ชุดเครื่องมือ 7 อย่างเพื่อแก้ปัญหาตามจุดประสงค์

จุดประสงค์	เครื่องมือ	แนวความคิด
1. วิเคราะห์ ความเสถียร	1.1 แผนภาพพาเรโต  1.2 แผนภูมิควบคุม	ภายใต้ความเสถียร ข้อมูลที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) แต่ข้อมูลที่มีจำนวนมากมายจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial Many) ภายใต้ความเสถียร ความผันแปรโดยส่วนใหญ่ ต้องมาจากสาเหตุธรรมชาติ
2. วิเคราะห์ความผันแปร	2.1 ใบตรวจสอบ  2.2 กราฟ  2.3 ฮีสโตแกรม  2.4 แผนภูมิควบคุม	ความผันแปรภายใต้เวลา สถานที่ หรือ แหล่งต่าง ๆ ความผันแปรภายใต้เวลา ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ จะต้องมีการ แจกแจงแบบสมมาตรรอบค่าค่าหนึ่ง (รูปทรงแบบระฆังคว่ำหรือรูปทรงปกติ) ภายใต้การคาดการณ์ขนาดความผันแปรจากข้อมูลในอดีต พบว่าความผันแปรจะต้องมีขนาดไม่เกินพิกัดควบคุมที่ประมาณความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติที่กำหนดสมมติฐาน
3. วิเคราะห์สาเหตุ และผล	3.1 แผนภาพ ก้างปลา  3.2 แผนภาพการกระจาย  3.3 ฮีสโตแกรม  3.4 กราฟ	สาเหตุและผลจากหลักการระดมสมอง การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล การเปลี่ยนแปลงของค่ากลาง หรือการกระจาย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของสาเหตุ การแสดงความแตกต่างของค่านับผลงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของสาเหตุ

### 2.2.2 QC 7 Tools

7 QC Tools คือ เครื่องมือ 7 ชนิดที่ใช้ในการค้นหาปัญหา สํารวจสภาพปัญหา ค้นหาสาเหตุที่แท้จริง เพื่อดำเนินการแก้ไข ซึ่งประกอบด้วย

1. แผ่นตรวจสอบ (Check sheet) คือ แบบฟอร์มที่ใช้เก็บข้อมูลดิบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น และอาจใช้เป็นเครื่องเตือนพนักงานระดับปฏิบัติการ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการซ้ำขึ้นตอนในการปฏิบัติงาน เน้นที่ความสะดวกในการบันทึกหลีกเลี่ยงการเขียนให้มากที่สุดโดยสัญลักษณ์ต่างๆในการบันทึกแทน
2. กราฟ (Graph) คือ การใช้ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งสองสิ่งขึ้นไป เช่น ระหว่างของเสียกับเวลาที่ใช้ในการผลิต เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงกับจำนวนพนักงานซ่อมบำรุง เป็นต้น นิยมใช้กันอยู่ 3 ประเภท คือ กราฟแท่ง (Bar Chart) กราฟเส้น (Line Graph) และกราฟวงกลม (Pie Chart)
3. ฮิสโตแกรม (Histogram) คือ เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลความแปรปรวนของกระบวนการ เพื่อสังเกตแนวโน้มของกระบวนการ และปรับกระบวนการเพื่อให้เข้าสู่มาตรฐาน เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการรักษา และควบคุมคุณภาพ
4. ผังพาเรโต (Pareto Diagram) คือ กราฟที่แสดงความสำคัญหรือความวิกฤติของข้อบกพร่องในการทำงานโดยแยกแยะชนิดของความผิดพลาดและบันทึกความถี่ของความผิดพลาดแต่ละชนิดสามารถใช้ในการจัดลำดับก่อนหลังของการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการจัดทำแผนผังพาเรโต(Pareto Diagram) มีขั้นตอนที่สำคัญที่สุดคือการแยกแยะประเภทของความผิดพลาด ถ้าแยกแยะไม่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์
5. ผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิชิกาวา (Ishikawa Diagram) คือ ผังที่ใช้วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของข้อผิดพลาด โดยใช้การระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานนั้น วิเคราะห์ลึกลงไปเรื่อยๆจนพบสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งอาจพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหามากกว่าหนึ่งสาเหตุก็ได้ อย่างไรก็ตามผังก้างปลาช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องแก้ปัญหาได้ถูกต้องไม่สับสนในการแก้ปัญหา
6. ผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือ ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสองปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าปัจจัยที่ 1 มีผลทำให้เกิดความบกพร่องในปัจจัยที่ 2 หรือไม่ เช่น อายุของคณงานมีผลกระทบต่อปริมาณการเกิดของเสียในการผลิต ต้องมีการเก็บข้อมูลทางสถิติเพื่อนำมาสร้างผังการกระจาย และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ต่อไป
7. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ เครื่องมือที่ใช้ควบคุมคุณภาพในการทำงาน โดยใช้พิจารณาแนวโน้มของการผลิตที่กำลังผลิตไปในทิศทางใด อาจ

เกิดปัญหาขึ้นในอนาคตอันใกล้หรือไม่ และควรเข้าหาสาเหตุและปรับปรุงแก้ไขเมื่อใด

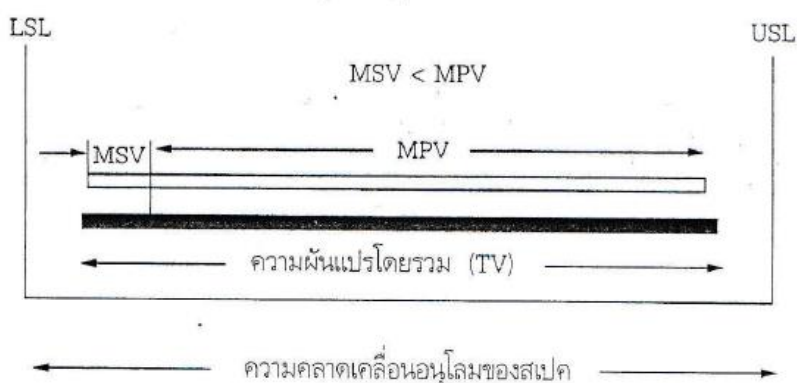
สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิดนี้ บางชนิดจะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของงานประจำ เช่น แผ่นตรวจสอบ กราฟ อีสโตแกรม และ แผนภูมิควบคุม เนื่องจากใช้เพื่อเก็บข้อมูลและเป็นเครื่องมือที่เตือนผู้เกี่ยวข้องว่ากำลังจะมีปัญหาเกิดขึ้น ส่วนผังพาเรโต ผังก้างปลา และผังการกระจาย จะใช้ต่อเมื่อมีความจำเป็น ที่จะต้องทำการวิเคราะห์ตามความจำเป็นและความสามารถของแต่ละผังประโยชน์ของ 7 QC Tools

- ใช้บันทึกข้อมูลที่จำเป็นในการทำงาน
- ใช้วิเคราะห์การทำงานและหาสาเหตุเพื่อแก้ไขปรับปรุงผลิตภาพ
- ใช้บันทึกข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์และแนวทางการทำงานแก่องค์กรในอนาคต

## 2.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด

### 2.3.1 ความผันแปรของระบบการวัด

ในการประเมินผลระบบการวัด (measurement system evaluation; MSE) จะเป็นการประเมินว่าความผันแปรเนื่องจากระบบการวัด (measurement system variation; MSV) มีค่าเท่าใดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (ในกรณีใช้ระบบการวัดสำหรับจำแนกผลิตภัณฑ์ที่ทำการวัดออกเป็นผลิตภัณฑ์ดีหรือบกพร่อง) หรือทำการเปรียบเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (total variation; TV) ที่ได้จากความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ (manufacturing process variation; MPV) โดยเกณฑ์ในการประเมินระบบการวัดคือต้องพยายามทำให้ MSV มีค่าต่ำๆเมื่อเปรียบเทียบกับ TV หรือความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.5 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546)

ในกรณีที่ความผันแปรจากระบบการวัดมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ TV หรือ USL-LSL แล้ว จะถือว่ากระบวนการวัดดังกล่าวไม่มีความสามารถ (uncapable process) จึงมีความจำเป็นต้องทำ



การวิเคราะห์หาเหตุความผันแปรจากระบบการวัด(measurement system analysis; MSA) เพื่อการปรับปรุงระบบการวัดต่อไป



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546)

### 2.3.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

(กิตติศักดิ์ 2549) การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด และเนื่องจากการวัดความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ โดยการสอบเทียบนี้หมายความว่า ภาระบการวิธีในการถ่ายค่ามาตรฐานของค่าวัดจากมาตรฐานที่สูงกว่าสู่มาตรฐานที่ต่ำกว่า โดยระบบการสอบเทียบดังกล่าวนี้ต้องสามารถสอบกลับได้ (traceability) หลังจากการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบแล้ว จะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการวัด จากที่กล่าวมานี้ จะพบว่าหากพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

$$\text{ค่าวัด } X_{ij} = \mu + b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

โดยกำหนดค่าวัดในรูปของความผันแปร (measurement variation) ได้ว่า

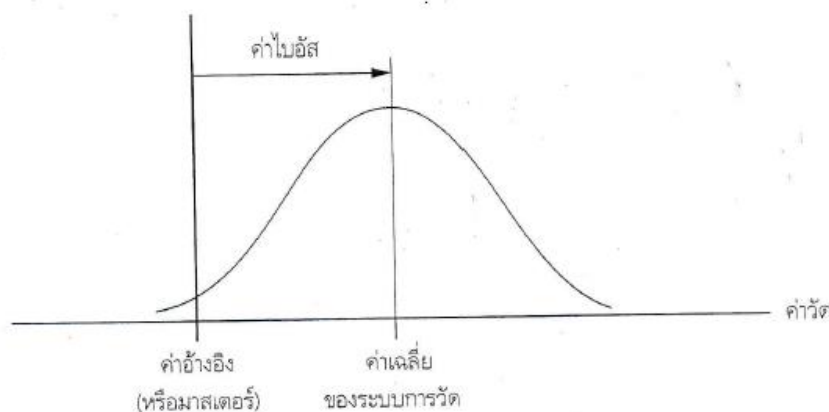
$$\sigma_x^2 = \sigma^2\alpha + \sigma^2\beta + \sigma^2\alpha\beta + \sigma^2$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part – to – Part Variation ; PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation ; AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation ; IV) และแหล่งผันแปรอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติมักจะเป็นแหล่งความผันแปรหลักๆ มาจาก

อุปกรณ์วัด (Equipment Variation ; EV) ทั้งนี้การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะอยู่ภายใต้ค่าที่ได้จากการประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation ; MSE)

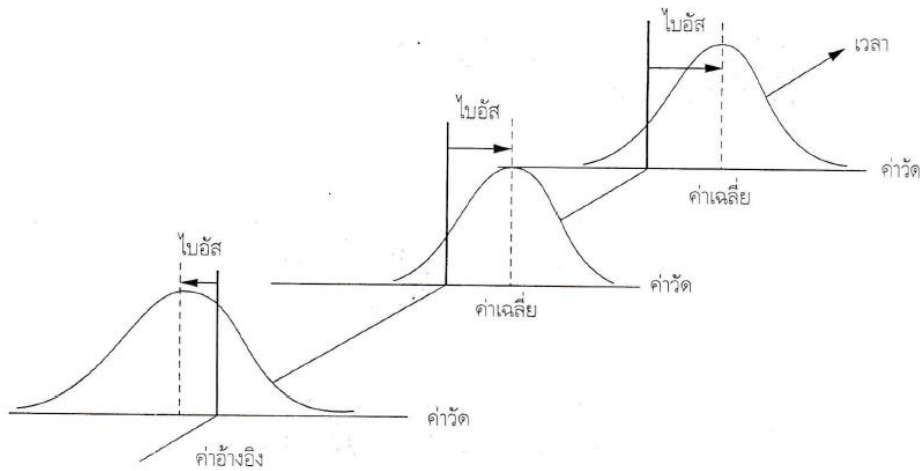
ในการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัด สามารถจำแนกความผันแปรออกเป็น 5 ประเภทด้วยกัน คือ ไบอัส(bias) ความมีเสถียรภาพ(stability) คุณสมบัติเชิงเส้นตรง(linearity) รีพีทอะบิลิตี้(repeatability) และรีโพรดูซิบิลิตี้(reproducibility)

ไบอัส (bias) จะเป็นการกำหนดถึงการประเมินคุณสมบัติด้วยความถูกต้องของระบบการวัด โดยที่ AIAG(2002, p. 49) ได้ให้นิยามว่า คือความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกัน ดังแสดงรูปที่ 2.10 ซึ่งคุณลักษณะด้านไบอัสนี้จะแสดงถึงความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัดที่ได้มาจากการออกแบบระบบการวัด



รูปที่ 2.7 คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546)

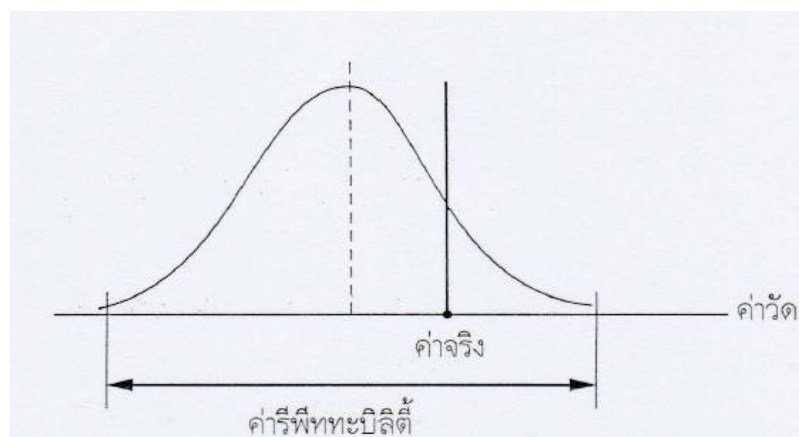
ความมีเสถียรภาพ(stability) คุณสมบัติประการที่สองสำหรับความผันแปรของระบบวัดโดย AIAG(2002, p. 49) ได้ให้นิยามว่า คือ ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการวัดหนึ่งบนค่ามาตรฐานเดียวกัน หรือชิ้นงานที่ทำการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงระยะที่ยาวนานขึ้นดังรูปที่ 2.11 โดยคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพนี้แสดงถึงสาเหตุจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ทั้งภายในและภายนอกกระบวนการ เช่น การเกิดสนิม การสึกหรอของอุปกรณ์ จึงมีความจำเป็นต้องกำหนดช่วงเวลาในการสอบเทียบและปรับเทียบเครื่องมือ



**รูปที่ 2.8** คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ 2546)

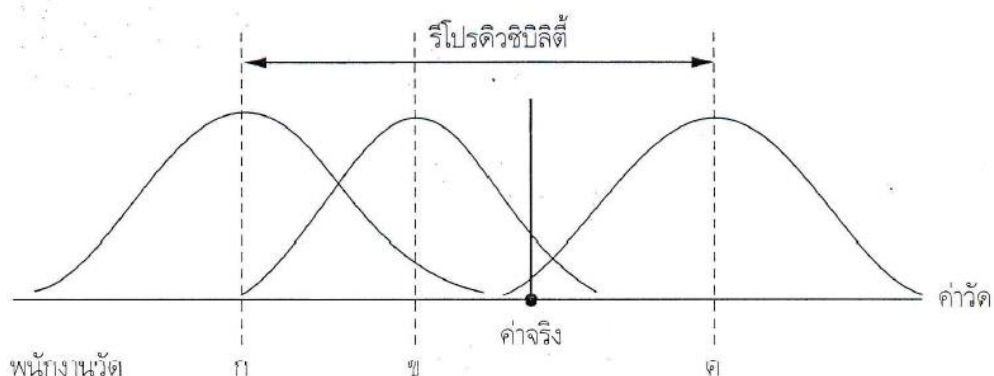
คุณสมบัติเชิงเส้นตรง(linearity) ความผันแปรสำหรับประการสุดท้ายของระบบการวัด คือ คุณสมบัติเชิงเส้นตรง AIAG(2002, p. 50) ได้ให้นิยามว่าเป็น ความแตกต่างของค่าไบอัสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์วัดในการวัดสิ่งหนึ่งด้วยระบบการวัดหนึ่งจะพบว่าค่าวัดที่ได้จะมีความผันแปรโดยจะเรียกความผันแปรนี้ว่าความผันแปรด้านกว้าง (width variation) ซึ่งประกอบด้วยความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกัน และความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด

ความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัด หรือรีพีทเทบิลิตี หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (expected value) ของระบบการวัดที่ได้มาจากการวัดงานชิ้นเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน อุปกรณ์วัดงานเดียวกัน แล้วทำการวัดแบบซ้ำๆ ซึ่งจะสามารถลดความผันแปรนี้ได้ด้วยการปรับวิธีการวัดใหม่ หรือทำการลดความผันแปรภายในตัวพนักงาน เช่น ความล้าหรือปัจจัยแวดล้อมในช่วงสั้นๆ การวัด ส่วนมากมักจะมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์วัด จึงเรียกว่า Equipment Variation (EV)



**รูปที่ 2.9** คุณสมบัติด้านรีพีทเทบิลิตีของระบบการวัด(กิตติศักดิ์ 2546)

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด หรือรีโพรดูซิบิลิตี้ หมายถึง ความผันแปรของค่าเฉลี่ยจากการวัดที่เกิดมาจากการเปลี่ยนเงื่อนไขในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน ซึ่งโดยทั่วไปมักเกิดจากการเปลี่ยนพนักงานวัดและในบางครั้งอาจจะมาจากการเปลี่ยนปัจจัยอื่นๆ ที่มีใช้พนักงานวัด อาทิ การเปลี่ยนกะงาน การเปลี่ยนอุปกรณ์วัด ซึ่งจะสามารถลดความผันแปรประเภทนี้ได้ด้วยการควบคุมการตั้งของเครื่องมือวัด รวมถึงการปรับวิธีการทำงานให้ความผันแปรระหว่างพนักงานลดลงโดยอาศัยอุปกรณ์ปรับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 2.10 คุณสมบัติด้านรีพิทเทบิลิตี้ของระบบการวัด(กิตติศักดิ์ 2546)

ในการประเมินค่าความผันแปรของระบบการวัด จะสามารถดำเนินการได้ 2 ประการคือ การประเมินผลในระยะสั้น (short-term assessment) และการประเมินผลในระยะยาว (long-term assessment) โดยจะเรียกความผันแปรของระบบการวัดในการศึกษาระยะสั้นว่า ความสามารถ (capability) ของระบบการวัดซึ่งจะมีค่าความผันแปรหลักอยู่ 2 ประการ คือ รีพิทเทบิลิตี้และรีโพรดูซิบิลิตี้ รวมถึงความผันแปรจากคุณสมบัติเชิงเส้น

$$\text{ดังนั้น } \sigma_{\text{capability}}^2 = \sigma_{\text{GR\&R}}^2 + \sigma_{\text{linearity}}^2$$

ในบางอุตสาหกรรมมักจะกำหนดให้ระบบการวัดหนึ่งๆ ทำการวัดงานที่ยานวัดเดียวกัน จึงมักจะประเมินความสามารถของกระบวนการวัดจากค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากรีพิทเทบิลิตี้และรีโพรดูซิบิลิตี้ ซึ่งในบางครั้งอาจเรียกสั้นๆว่า GR & R (gauge repeatability and reproducibility)

การประเมินผลในระยะยาว ซึ่งอาจเรียกค่าความผันแปรที่ได้ว่า สมรรถนะ (performance) หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดทั้งความคลาดเคลื่อนเชิงระบบและความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยความผันแปรในระยะยาวนี้จะประกอบด้วยความผันแปรในระยะสั้น และรวมถึงความผันแปรจากคุณสมบัติเสถียรภาพและความสอดคล้องกัน (consistency)

$$\text{ดังนั้น } \sigma_{\text{performance}}^2 = \sigma_{\text{capability}}^2 + \sigma_{\text{stability}}^2 + \sigma_{\text{consistency}}^2$$

## 2.4 ทฤษฎีการชุบโลหะ

กระบวนการชุบทองแดงในอุตสาหกรรมแผ่นวงจรพิมพ์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การชุบโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating) และการชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electro Plating)

### 2.4.1 หลักการชุบโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating)

กระบวนการชุบทองแดงในอุตสาหกรรมแผ่นวงจรพิมพ์แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การชุบโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating) และการชุบโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electro Plating)

#### 2.4.1.1 กระบวนการชุบทองแดงแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating)

หรือ autocatalytic copper plating เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดสำหรับการชุบในรู (Through hole plating; THP) ของแผ่นวงจรพิมพ์ โดยวิธี indirect-conventional method เพื่อเป็นตัวนำไฟฟ้าเชื่อมระหว่างแผ่นวงจรแต่ละชั้นสำหรับแผ่นวงจรพิมพ์แต่ละชั้นสำหรับแผ่นสองหน้า (Double layer) และประเภทหลายชั้น (Multilayer) แบ่งเป็น 6 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

(1) ขั้นตอน Conditioner เพื่อกำจัดไขมัน สารอินทรีย์ปนเปื้อนและฝุ่นละอองบนผิวของบอร์ด

(2) ขั้นตอน Micro-Etch เป็นขั้นตอนการกัดผิว เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อน, ส่งเสริมการยึดเกาะและกำจัดออกไซด์จากผิวทองแดง

(3) ขั้นตอน Pre-dip เป็นการเร่งผิวให้ไวต่อปฏิกิริยา สารละลายนี้ประกอบด้วย  $\text{Sn}^{2+}$  เพื่อป้องกันการ drag-through จากตัวออกซิไดซ์จากขั้นตอนก่อนหน้าไปสู่บ่อ catalyst ในขั้นตอนถัดไป ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



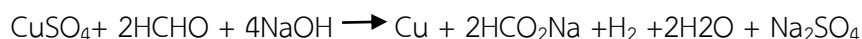
(4) ขั้นตอน Activating ประกอบด้วย Colloidal Pd/Sn catalyst ในสารละลายเกลือ  $\text{Sn}^{2+}$  นี้จะถูกผสมกับ  $\text{Pd}^{2+}$  ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้ [7]



ทำให้เกิดคอลลอยด์และยึดติดบนผิวฉนวน (เช่น โพลีเมอร์ ไฟเบอร์กลาส)

(5) ขั้นตอน Accelerator เพื่อกำจัด  $\text{Sn}^{4+}$  ที่มีมากเกินไปบนผิว เหลือทิ้งไว้เพียงอนุภาค Pd บนผิวฉนวน อนุภาค Pd จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนถัดไป

(6) Electroless Copper เกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยาฟอร์มมาดีไฮด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้ [6]



### 2.4.2 หลักการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro plating)

#### 2.4.2.1 สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes)

สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารที่เมื่อละลายในน้ำจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวก หรือไอออนลบเคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นี้อาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ ตัวอย่างเช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ  $\text{KNO}_3$  เป็นต้น โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน  $\text{H}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{K}^+$  และ  $\text{NO}_3^-$  ตามลำดับ

โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ขั้วแอโนดเป็นขั้วอิเล็กโทรดอนุภาคเล็กๆ ของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแคโทด (ขั้วลบ) ซึ่งอนุภาคที่วิ่งไปยังขั้วบวกและขั้วลบเหล่านี้ เรียกว่า ไอออน(Ions) แต่ละไอออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัว แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ แอนไอออน (Anions) มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ และแคทไอออน (Cathions) มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก

#### 2.4.2.2 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต

เมื่อนำสารละลายของ  $\text{CuSO}_4$  ทำการแยกสลายด้วยไฟฟ้า ใช้แผ่นแพลทินัมเป็นขั้วลบ ใช้แผ่นทองแดงบริสุทธิ์เป็นขั้วบวกโดยต่อขั้วบวกและขั้วลบเข้ากับแบตเตอรี่ จะเกิดปฏิกิริยา



คอปเปอร์ซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำยาจะแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ 2 ส่วน คืออนุภาคทองแดง ( $\text{Cu}^{++}$ ) มีประจุไฟฟ้าบวก และซัลเฟต ( $\text{So}_4^-$ ) มีประจุไฟฟ้าลบ เมื่อต่อกระแสไฟฟ้าครบวงจร อนุภาคเล็กๆของทองแดงจะวิ่งไปหาแพลทินัมเกาะติดเป็นผงสีแดงอยู่บนแผ่นแพลทินัม ส่วนอนุภาคเล็ก ๆของซัลเฟตจะวิ่งไปหาแผ่นทองแดงและทำปฏิกิริยากับแผ่นทองแดง เพื่อละลายแทนคอปเปอร์ซัลเฟตแทนตัวก่อนที่หมดไป ปฏิกิริยาจะเกิดหมุนเวียนเช่นนี้ต่อไปตราบที่ยังคงมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และอนุภาคซัลเฟตจะวิ่งไปที่ขั้วบวกทำปฏิกิริยากับขั้วบวกกลายเป็นคอปเปอร์ซัลเฟต จากกฎเกณฑ์ดังต่อไปนี้ จึงนำไปใช้ประโยชน์ในการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Plating) และการแยกโลหะบริสุทธิ์ (Refinery) เช่น ถ้าเรามีทองแดงไม่บริสุทธิ์แล้วต้องการจะแยกทองแดงบริสุทธิ์ให้นำทองแดงไปทำเป็นขั้วบวกแล้วจุ่มลงในคอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านครบวงจรทองแดงบริสุทธิ์จะไปเกาะบนแผ่นขั้วลบตามต้องการ

#### 2.4.2.3 กฎของฟาราเดย์

เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วแคโทดและแอโนดผ่าน electrolyte โลหะจะละลายจากขั้วแอโนดหรือมี  $\text{O}_2$  เกิดขึ้น และโลหะจะมาเกาะที่ขั้วแคโทดหรือมี  $\text{H}_2$  เกิดขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน electrolyte และระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไว้ดังนี้

**กฎของฟาราเดย์ข้อที่ 1** ปริมาณโลหะที่มาเกาะหรือละลายที่ขั้วไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์

**กฎของฟาราเดย์ข้อที่ 2** ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงสมมูลของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์นั้น" ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$Q = F \times \text{No. equivalents} \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อการไหลของกระแส (i) คงที่ที่ 1 แอมแปร์ (A) ในเวลา (t) 1 วินาที (s) จะได้ว่า

$$Q = i \times t \quad \dots\dots\dots (2)$$

จาก (1) และ (2) จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Fx \text{ No. equivalents} = i \times t$$

$$Fx n \left\{ \frac{m(g)}{MW} \right\} = Q$$

$$\text{Mole} = \frac{Q}{nF}$$

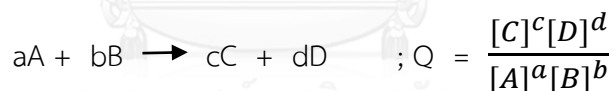
เมื่อ  $n$  คือ จำนวนโมลของอิเล็กตรอน

จากกฎของฟาราเดย์สามารถอธิบายในส่วนของกระบวนการชุบโลหะ คือ

- 1) ปริมาณโลหะมาเกาะจับที่ขั้วแคโทดเป็นส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า และเวลาที่ใช้ในกระบวนการชุบ ซึ่งเมื่อต้องการโลหะปริมาณหนึ่งให้มาจับที่ขั้วแคโทด เราจะสามารถปรับได้ 2 วิธีคือ ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำและใช้เวลาในการชุบนานขึ้น หรือใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นและใช้เวลาสั้นลง
- 2) โลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการแยกสลายไม่เหมือนกัน กล่าวคือ เมื่อการไหลของกระแสคงที่ในเวลา 1 วินาที โลหะแต่ละชนิดจะแยกสลายได้มากน้อยไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมมูลเคมีของโลหะนั้นๆ

#### 2.4.2.4 สมการของเนิร์นสต์ (Nernst's Equation)

ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์(หรือความดันของแก๊ส) กับค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์มีความสัมพันธ์กัน และสามารถอธิบายโดยสมการของเนิร์นสต์ (Nernst's Equation)



จาก thermodynamics (free energy change)

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

$$\text{เมื่อ } \Delta G = -nFE \quad \text{และ} \quad \Delta G^\circ = -nFE^\circ$$

$$\therefore -nFE = -nFE^\circ + RT \ln Q$$

$$E_{\text{cell}} = E^\circ_{\text{cell}} - \frac{RT}{nF} \ln K = E^\circ_{\text{cell}} - \frac{2.303RT}{nF} \log K$$

$E$  = ค่าศักย์ของเซลล์ที่สภาวะใดๆ

$R$  = ค่าคงที่ของแก๊ส (8.31J/K)

$Q$  = อัตราส่วนผลคูณความเข้มข้น (Reaction Quotient)

$n$  = จำนวน  $e$  ที่มีการถ่ายเทระหว่างสองครึ่งเซลล์

$F$  = ค่าคงที่ Faraday ( $9.6485 \times 10^4$  c/mol) = ประจุ  $e$  1 mole

ที่ 25 °C จะได้

$$E_{\text{cell}} = E^{\circ}_{\text{cell}} - \frac{0.059}{n} \log K$$

จากสมการฟาราเดย์และสมการของเนิร์นสต์ (Nernst's Equation) สามารถใช้คำนวณหาปริมาณโลหะที่ชุบ คำนวณได้จาก

$$W_e = \frac{j}{96500} \frac{M}{Z} \eta$$

$$W_e = \text{g/s-m}^2$$

J = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตร.ม.)

M = น้ำหนักอะตอมในหน่วยกรัม (กรัม/ลิตร)

Z = Valence (ประจุ/ไอออน)

$\eta$  = ค่าประสิทธิภาพ (ปกติประมาณ 0.9)

สามารถคำนวณหาความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการชุบทองแดงได้จากความสัมพันธ์

$$\rho_{\text{Cu}} = \text{ความถ่วงจำเพาะ Cu} = 8.96 \text{ g/cm}^3$$

$$M_{\text{Cu}} = 63.546 \text{ กรัม/โมล}$$

$$\text{Thickness} = \frac{W_e}{\rho_{\text{Cu}}} \times \text{time}$$

$$\text{Thickness} = \frac{j}{96500} \times \frac{63.546}{2} \times \eta \times \text{time} \quad ; j = I/A$$

$$\text{Thickness} = \frac{I}{A \times 96500} \times \frac{63.546}{2} \times \eta \times \text{time}$$

$$\text{โดยค่าคงที่ } K_0 = \frac{63.546\eta}{A \times 96500 \times 2} \times I$$

$$\text{Thickness} = K_0 \times I \times \text{time}$$

$$\text{จากกฎของโอห์ม } E = IR$$



$$\text{Thickness} = K_0 \times \frac{E}{R} \times \text{time}$$

$$\text{โดยค่าคงที่ } K_1 = \frac{K_0}{R} \times E$$

$$\text{Thickness} = K_1 E$$

จากความสัมพันธ์สมการของเนิร์นสต์ (Nernst's Equation) จะได้ว่า

$$\text{Thickness} = K_1 \left( E^\circ_{\text{cell}} - \frac{0.059}{n} \log K \right)$$

โดยในกระบวนการชุบทองแดงสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ  $\text{CuSO}_4$

$$\text{ดังนั้น Thickness} = K_1 \left( E^\circ_{\text{cell}} - \frac{0.059}{2} \log [\text{CuSO}_4] \right)$$

ความเข้มข้นของสารอิเล็กโทรไลต์จะเกี่ยวข้องกับสมการของเนิร์นสต์ ที่กล่าวว่าความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ เมื่อความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ลดลงจะมีผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟาลดลง และเนื่องจากวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการชุบเป็นชนิดกระแสตรง (ค่า R คงที่) จึงเป็นไปตามกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรแปรผันโดยตรงกับแรงดัน ( $I \propto E$ ) และจากสมการของเนิร์นสต์จะเห็นว่าแรงดันจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้น ถ้าความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์มีค่าลดลงจะส่งผลให้ปริมาณโลหะที่มากาะลดลงหรือชิ้นงานมีความหนาของผิวเคลือบลดลงตามไปด้วย

#### 2.4.2.5 ค่าของ pH (pH Value)

ค่าของ pH มีผลต่ออิทธิพลของน้ำยาชุบ กล่าวคือ ถ้าค่าของ pH น้อย แสดงว่าน้ำยาชุบมีสภาพความเป็นกรด จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคโทดต่ำลง ถ้าค่าของ pH มาก แสดงว่าน้ำยาชุบมีสภาพความเป็นด่าง จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแอโนดต่ำลงเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การควบคุมค่า pH ให้อยู่ในขอบเขตตามที่กำหนดจึงสำคัญมาก น้ำยาแต่ละชนิดจะมีค่า pH ที่เหมาะสมโดยเฉพาะค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถทราบได้จากคู่มือการใช้งานน้ำยานั้นๆ

#### 2.4.2.6 ค่าความหนาแน่นของกระแส (Current Density) (ธีรยุทธ, 2548)

ความหนาแน่นของกระแสของขั้วลบ คือกระแสที่ช่วยให้เกิดการเคลือบที่ขั้วลบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ปกติมักจะใช้แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร (ASD) หรือแอมแปร์ต่อตารางฟุต (ASF) การคำนวณหาพื้นที่ของแคโทด เพื่อหาปริมาณความหนาแน่นกระแสที่ต้องจ่ายเนื่องจากงานแต่ละชิ้นมีพื้นที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้กระแสและพื้นที่จึงควรพิจารณาเป็นอันดับแรกเสมอ ก่อนที่จะจุ่มชิ้นงานลงในบ่อก่อนเข้าสู่กระบวนการชุบ ในกระบวนการชุบจะมีการใช้เครื่องกวนหรือลมเป่า และเพิ่มอุณหภูมิตามคู่มือการใช้งานน้ำยา จะช่วยให้สามารถใช้ความหนาแน่นกระแสได้เพิ่มมากขึ้น

#### 2.4.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว

ในกระบวนการชุบเคลือบผิว รูปร่างและลักษณะของชิ้นงานอาจมีรูปร่างต่างๆกัน ซึ่งรูปร่างต่างๆเหล่านี้จะมีผลทำให้การเคลือบเกาะของโลหะที่ชุบมีการเกาะจับหนาเท่ากันโดยตลอดทั่วชิ้นงาน

ย่อมยาก จากการศึกษาถึงธรรมชาติการเดินทางของกระแสในกระบวนการซูป พบว่ากระแสเดินทางไปยังจุดที่ใกล้เคียงสุดอย่างหนาแน่น จุดที่ห่างออกไปจะมีกระแสเบาบางลงไปด้วย เนื่องจากการเดินทางของแคทไอออนไปยังขั้วลบ ดังนั้นส่วนใดที่มีกระแสเดินไปหาอย่างหนาแน่นย่อมมีการจับหนากว่าส่วนที่มีกระแสเดินไปหาอย่างเบาบาง

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**ธีรยุทธ มัดจูปะ(2548)** ได้นำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามวอธีซิกซ์ ชิคมามาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยความทองแดงในรู และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ค่าของความหนาทองแดงในรู มีค่าเฉลี่ยเข้าสู่เป้าหมายและของเสียลดลงได้ โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย PPM ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 14,872 PPM จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นประมาณ 77 PPM ซึ่งคิดเป็น 99.5 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต และสามารถลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 839,837 บาทต่อปี

**สมบัติ สุขนิจ (2548)** ได้นำแนวทาง ชิซซ ชิคมามาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนเจล ที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยการวิจัยดำเนินการตามขั้นตอนชิซซ ชิคม่าทั้ง 5 ขั้นตอน ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการสามารถกำหนดค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าจำนวนเจล โดยการนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อให้ได้ค่าจำนวนเจลที่ต่ำที่เหมาะสมที่สุดคือ 7 จุด โดยการกำหนดอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดเป็น 145 องศาเซลเซียส และขนาดเม็ดพีวีซีฟิม 108 ไมครอน แล้วทำการทดสอบยืนยันผลการทดสอบก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต และทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งสองด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ พบว่าสามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตจาก 0.2 เปอร์เซ็นต์เป็น 0 เปอร์เซ็นต์

**โสภิตา ท่วมมี(2550)** ทำการศึกษาและวิจัยในกระบวนการผลิตพลาสติกพีวีซีแผ่นเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่อุณหภูมิในการหลอม PVC Compound ที่ Mixing Rolls 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพีวีซีที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing Rolls 30 กิโลกรัม/Batch จะทำให้ค่าจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตารางเมตร อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ ไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตร ซึ่งทำให้สามารถลด

จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ลงได้ 73.08 เปอร์เซ็นต์

**วสันต์ พุกผาสุก และอรรถกร เก่งพล(2551)** ได้ทำการศึกษาเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานซุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา ในการศึกษาพบว่า การเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงานเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด ผลจากการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความสูญเสียจาก 774,714 บาทต่อเดือนเหลือ 128,648 บาทต่อเดือนโดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์

**ทิวา แสนสม (2551)** ได้ประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ โดยวัดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากเม็ดฝุ่นต่อปริมาณการผลิตเท่ากับ 151,259 DPPM (Defect Part per Million) ซึ่งสาเหตุหลักมาจากความสกปรกของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี และระบบจ่ายอากาศในห้องพ่นสี จึงปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยนำเอาแนวทางของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอนมาใช้ จากการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ ด้วยแนวทางซิกซ์ ซิกมา พบว่าจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์หลังการปรับปรุงเท่ากับ 46,892 DPPM ซึ่งสามารถลดของเสียได้ 69% ของของเสียก่อนการปรับปรุง

**รุจิรา อุไรพงษ์ (2552)** ได้นำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับผลิตงานท่อที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและบรรจุภัณฑ์ เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความชื้น และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสม จากการดำเนินโครงการได้นำระดับปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ผลจากการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ลดลงจาก 440 PPM หรือ  $440 \text{ mg}^3/\text{kg}$  หรือ 0.044% เหลือ 334.15 PPM หรือ  $334.15 \text{ mg}^3/\text{kg}$  หรือ 0.033%

**ชัยพันธ์ พัทธิกุล(2552)** ได้ทำการวิจัยใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ 5 ขั้นตอน เพื่อแก้ปัญหาดของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องประเภท Open Circuit และ Hi-pot โดยเริ่มต้นการทำวิจัยด้วยการนิยามปัญหา ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด (Measurement System Analysis ; MSA) การวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆของปัญหาโดยแผนผังแสดงเหตุและผล และลำดับความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis ; FMEA) จากนั้นวิเคราะห์ถึงสาเหตุต่างๆที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการด้วยการทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ จากนั้นจึงดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียโดยการ

ออกแบบการทดลอง จากนั้นทดสอบยืนยันผลและการจัดทำเป็นมาตรฐาน จากการปรับปรุงแล้วพบว่าสัดส่วนของเสีย 1157DPPM ลดลงมาอยู่ที่ 257 DPPM

**เพ็ญประภา กล้ากสิการ(2553)(กล้ากสิการ, 2553)**ทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล้อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล โดยประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุง โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define) ทำการศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายคือลดอัตราของเสียจาก 27,600 DPPM เหลือ 500 DPPM และขอบเขตของการปรับปรุงจะศึกษาเฉพาะกระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ล้อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 เท่านั้น ต่อมาในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดทั้ง ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด พบว่า ระบบการวัดผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AIAG จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อระยะความสูงของบอลโดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะ และผลกระทบ (FMEA) จากนั้นในระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) ได้ทำการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญคือ การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน ระยะกดพิน ของเครื่องประกอบการประกอบชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน อันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน ระยะกดพินของเครื่องประกอบการประกอบชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน ในระยะการปรับปรุงกระบวนการ(Improve) ได้หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด และระยะควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ได้ทดสอบยืนยันผลเป็นเวลา 1 เดือน และจัดทำแผนควบคุมเป็นมาตรฐานในการตรวจติดตามและควบคุมปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง หลังจากการปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียลดลงจาก 27600 DPPM มาอยู่ที่ 80 DPPM

**มยุรา หนองเส (2554)**ได้ทำการปรับปรุงอัตราส่วนของเสียของค่าแรงบิดและค่าเรโซแนนซ์เพื่อลดอัตราส่วนของเสียจากปัญหาค่าแรงบิดและค่าเรโซแนนซ์ออกนอกค่าการยอมรับของลูกค้า โดยดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา หลังจากระยะการปรับปรุงพบว่า ค่าแรงบิดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.79 gf.cm ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าก่อนทำการปรับปรุง ซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.63 gf.cm ส่งผลให้ค่า Cpk ดีขึ้นจาก 0.75 เป็น 1.55 และความสามารถของค่าเรโซแนนซ์ชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.99 kHz ซึ่งมีค่าดีขึ้นกว่าก่อนทำการปรับปรุงซึ่งค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.65 kHz ส่งผลให้ค่า Cpk ดีขึ้นจาก 0.83 เป็น 1.53 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานยอมรับ Cpk 1.33 และอัตราส่วนของเสียเฉลี่ยหลังปรับปรุงลดลงจาก 2% เป็น 0.78%

**ภูธิป อินทรักษ์ (2554)** ได้ศึกษากระบวนการติดตามของโรงงานผลิตและบรรจุ เพื่อลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดตาม จากของเสียหลัก 3 ประเภท คือ ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ฉลากไม่ตรง โดยได้นำการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อหารูปแบบการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ และใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจในการหาผลลัพธ์ร่วมที่ดีที่สุดของผลตอบสนอง เพื่อให้ได้ค่าระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดและนำไปเป็นมาตรฐานใหม่ของการปรับตั้งเครื่องติดตาม ผลที่ได้

พบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ยของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ฉลากพับ ฉลากเหลื่อม และโลโก้ไม่ตรงกันได้ 89.9 75.6 และ 75.1% ตามลำดับและลดความสูญเสียและความถี่ในการหยุดเครื่องจักรลงได้ 40.28 และ 72.72% ตามลำดับเมื่อเทียบกับเดือนก่อนหน้า

อัจฉราภรณ์ ดำรงค์วัฒน์ (2555) ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการอ่าน-เขียนของหัวอ่านเขียนในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เกี่ยวข้องกับค่าอัตราการบิดผิดพลาด ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลพบว่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของอัตราบิดผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.72 ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์แบบพิกัดด้านเดียวคือด้านต่ำที่มีค่าเท่ากับ 1.25 ดังนั้นจึงประยุกต์ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงค่า Cpk ของอัตราบิดผิดพลาด ผลจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่า Cpk ของอัตราบิดผิดพลาดเพิ่มขึ้นจาก 0.72 เป็น 2.38 และสัดส่วนของเสียประเภท Head related ลดลงจาก 21.85% เป็น 9.86%



### บทที่ 3

#### ระยะนียมปัญหา

##### 3.1 บทนำ

ระยะนียมปัญหาเป็นขั้นตอนแรกของการกำหนดจุดเริ่มต้นและกำหนดทิศทางดำเนินตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อใช้ในการกำหนดปัญหา และคัดเลือกหัวข้อที่จะนำมาปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ที่จะศึกษา โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์ โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาในปัจจุบัน ดำเนินการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อระบุปัญหา ขอบเขตและเป้าหมายที่ชัดเจน รวมทั้งการจัดตั้งคณะทำงานโดยคัดเลือกจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระบวนการซุบทองแดงแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อเป็นการระดมความคิด วิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิต โดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

##### 3.2 การกำหนดทีมงานในการดำเนินงาน

ผู้วิจัยทำการกำหนดทีมงานในการดำเนินงานจากผู้มีประสบการณ์ ผู้ที่มีความรู้ความชำนาญในส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการซุบทองแดงในแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อช่วยระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภท Copper Thickness Over Plate (ความหนาของทองแดงเกิน) ในกระบวนการซุบทองแดง อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนการทดลองต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการทดลอง โดยทีมงานวิจัยประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนงานต่าง ๆ ดังนี้

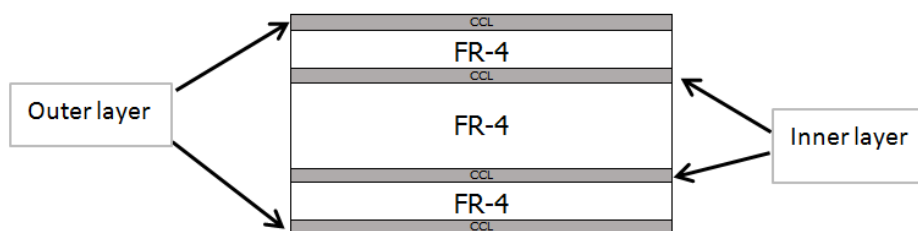
1. ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Manager)
2. ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Manager)
3. ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม (Assistant Engineering Manager )
4. วิศวกรฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineering)
5. วิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา (Maintenance Engineering)
6. วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Engineering)
7. หัวหน้าฝ่ายผลิต (Manufacturing Supervisor)
8. ช่างเทคนิคที่ดูแลกระบวนการ (Technician)

ในทีมงานนี้ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineering)

### 3.3 ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

#### 3.3.1 ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์

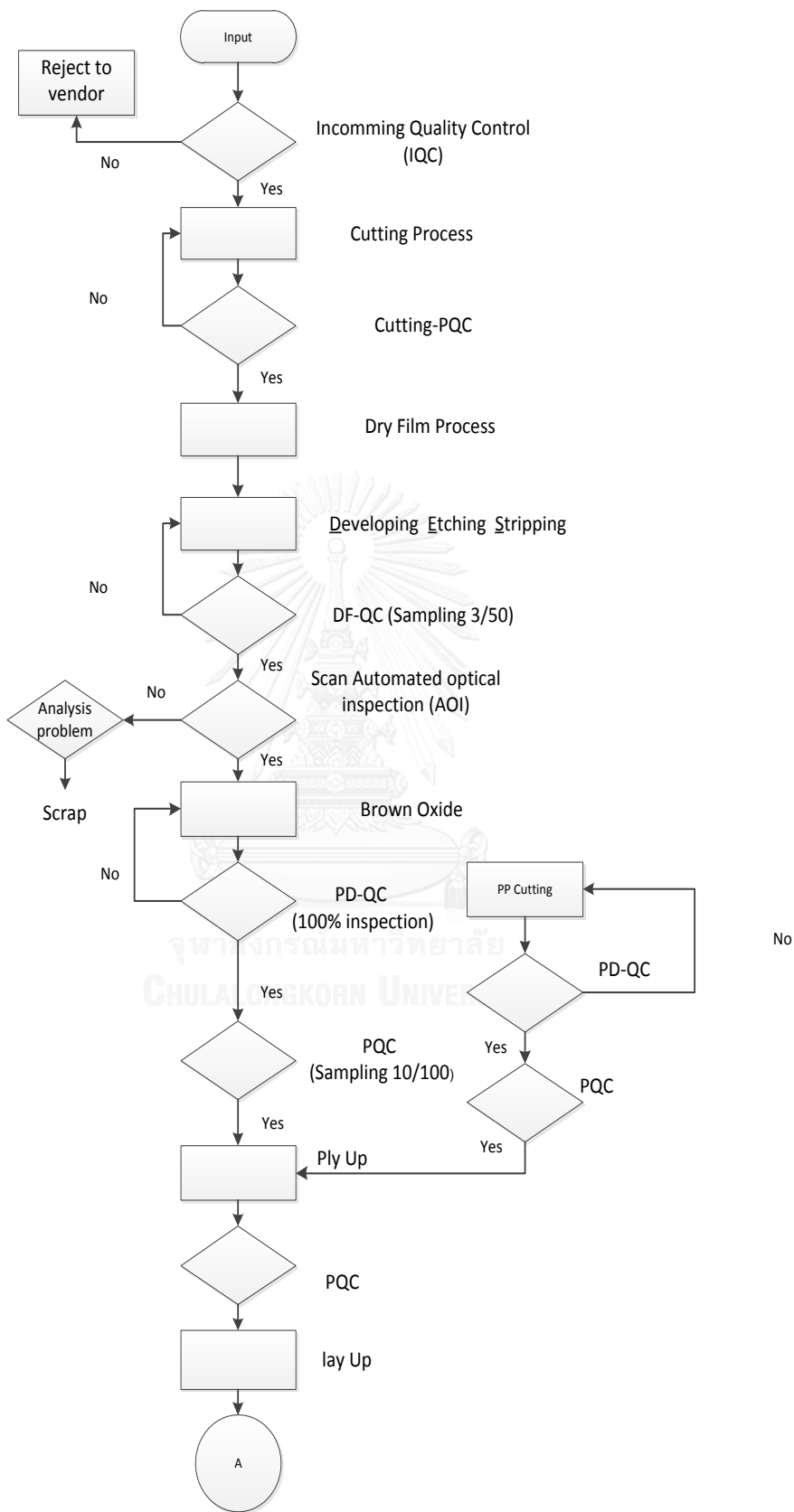
ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ศึกษาแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) กลุ่มผลิตภัณฑ์ A ที่สนใจทำการศึกษา วัสดุที่นำมาเป็นฐานของทองแดง ได้แก่ FR-4 (woven E-glass fabric multifunctional epoxy) จัดเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดหลายชั้น (Multilayer) โดยประกอบไปด้วยจำนวนชั้น (layer) ทั้งหมด 4 ชั้นดังรูปที่ 3.1



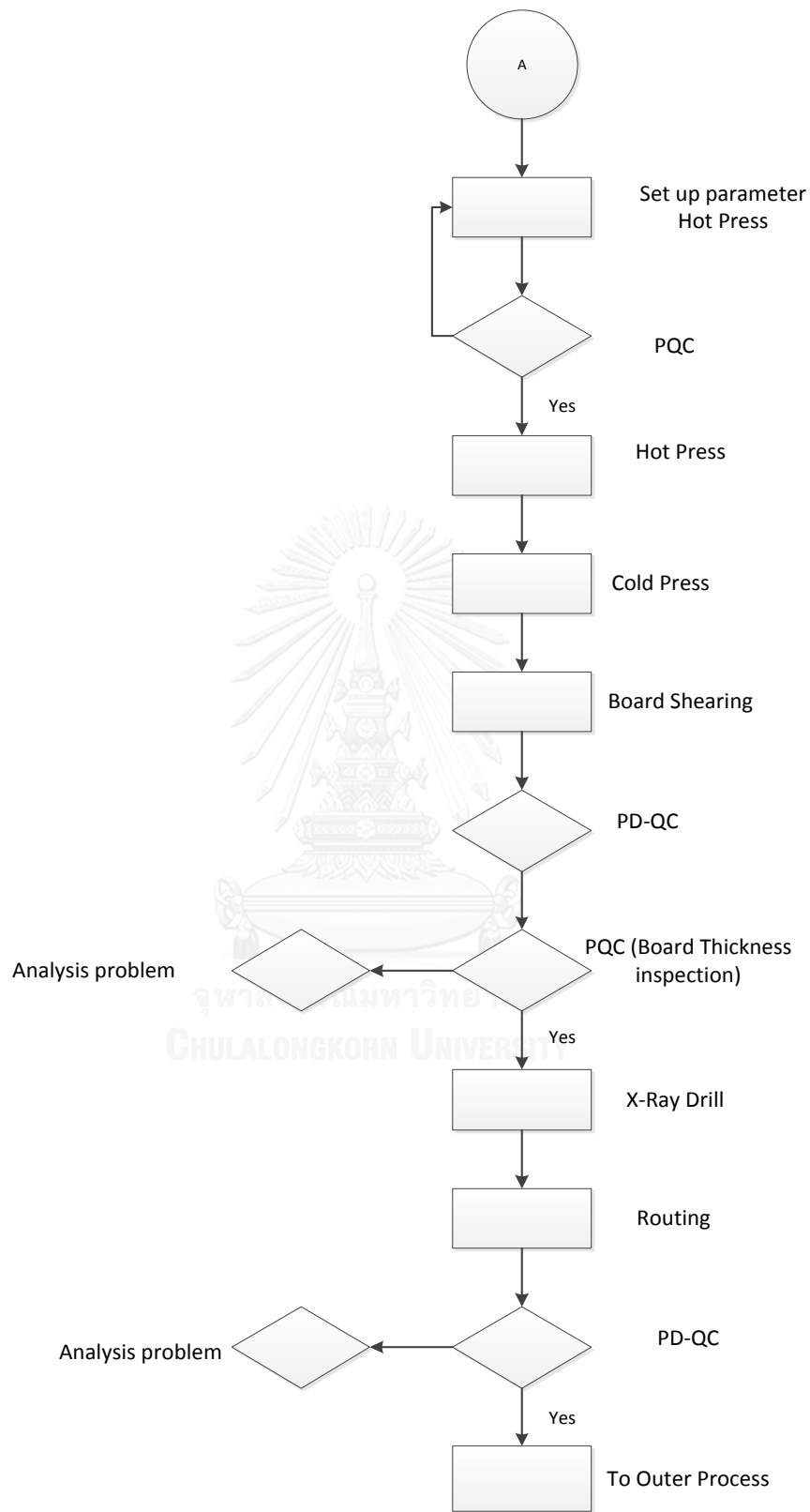
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) กลุ่มผลิตภัณฑ์ A

#### 3.3.2 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

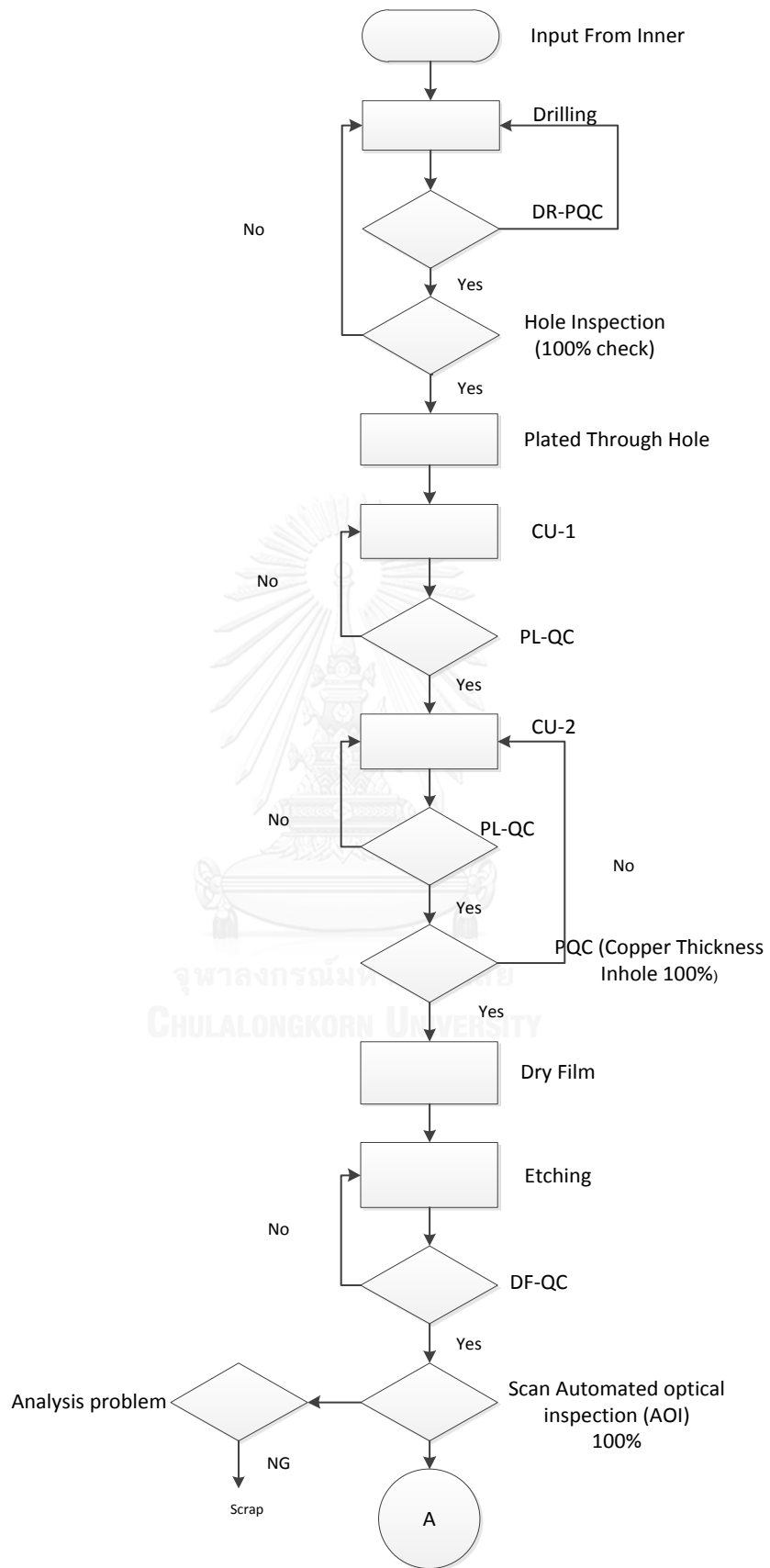
ขั้นตอนการศึกษากระบวนการผลิตเป็นขั้นตอนแรกที่จะทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ จะมีขั้นตอนการผลิตแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ Inner Process และ Outer Process โดยมีผังกระบวนการผลิตตามรูปที่ 3.2

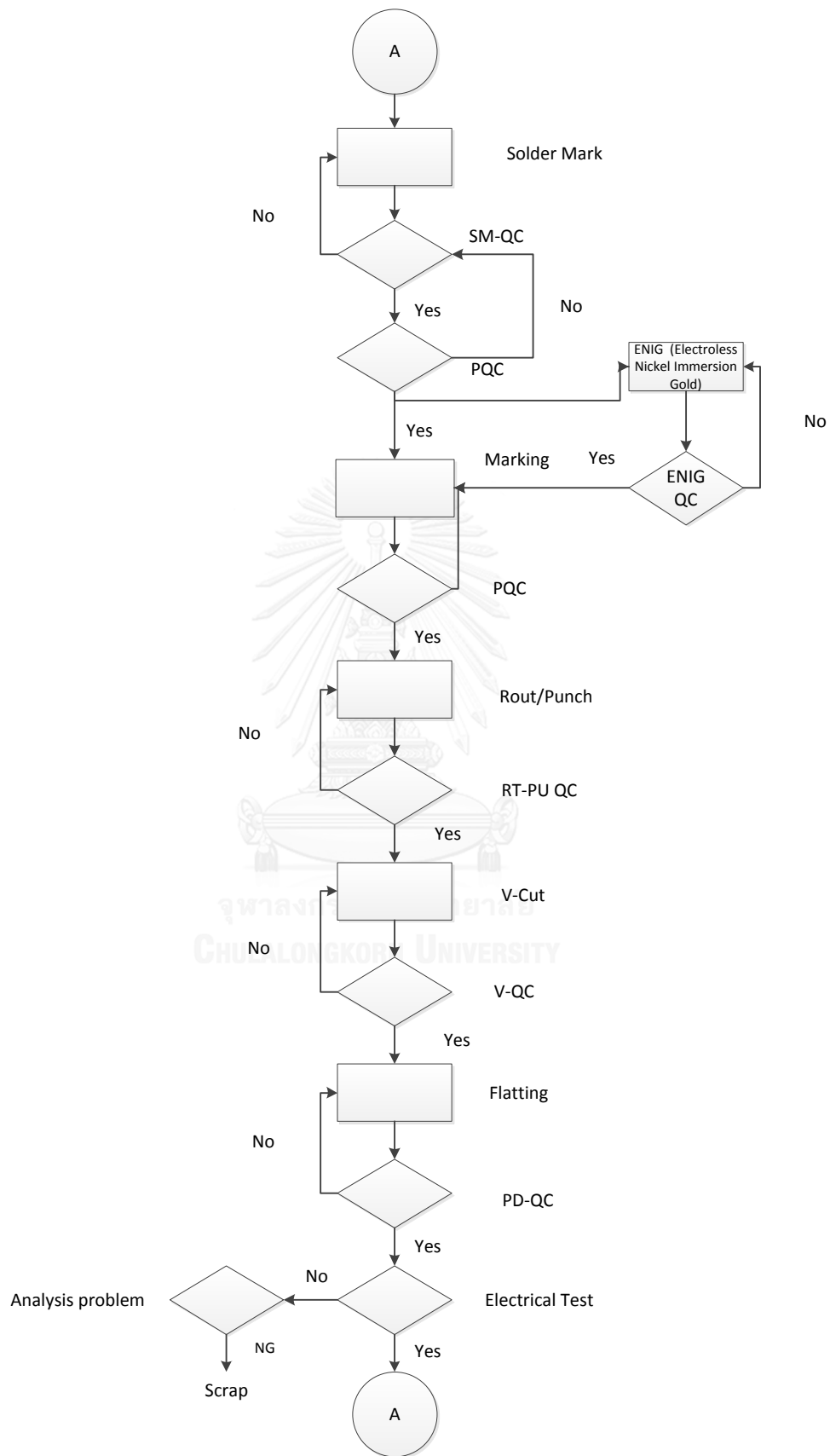


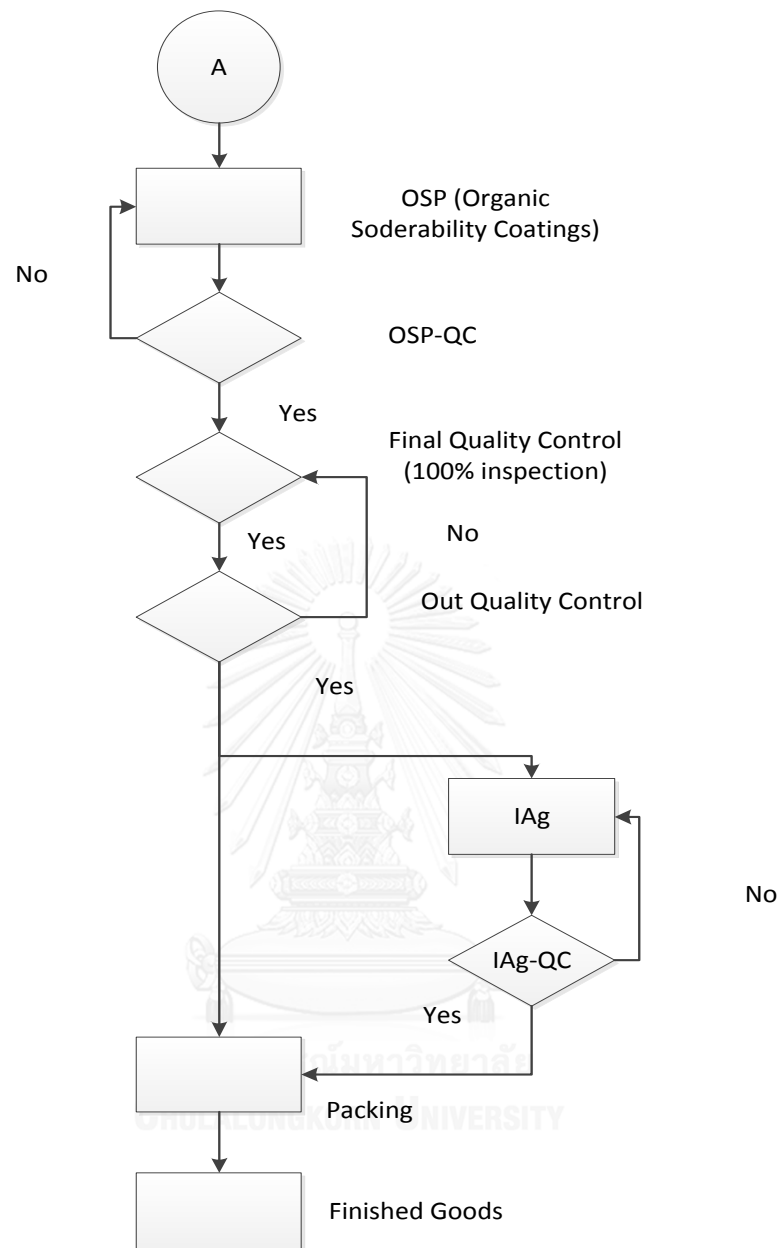




Inner Process Quality Control







### Outer Process Quality Control

รูปที่ 3.2 ผังกระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์ลายวงจร

#### 3.3.3 รายละเอียดผังกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board)

สามารถแบ่งกระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์ลายวงจร (Printed Circuit Board) หลักๆ ออกเป็น 9 กระบวนการผลิต มีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

- 1.) ตัดแผ่น (Cutting) คือขั้นตอนการตัดแผ่น CCL (Copper Clad Laminate) ให้มีขนาดเล็กลงตามแบบที่ต้องการ เพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต

- 1.1. เจาะรู(Drilling) คือ ขั้นตอนเจาะรูลงบนแผ่นงานตามที่ถูกกำหนดไว้ โดยใช้เครื่อง CNC ซึ่งสามารถเจาะรูพร้อมกันได้ทีละหลายๆ หัวเจาะ โดยขนาดรูจะมีหลายขนาด เพื่อนำไปใส่ขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ และใช้เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างชั้นของแผ่นวงจร
- 2.) ชุบทองแดง( Plating ) คือ ขั้นตอนการชุบแผ่นงานให้มีความหนาของทองแดงเพิ่มขึ้น ซึ่งการชุบจะมี 2 ขั้นตอน
  - 2.1. ชุบแผ่นงานด้วยน้ำยา(PTH) ซึ่งน้ำยาจะไปติดบนแผ่นงาน และในรู เพื่อเตรียมพื้นที่ผิวให้พร้อมสำหรับขั้นตอนการชุบด้วยไฟฟ้าต่อไป
  - 2.2. ชุบแผ่นงานด้วยกระแสไฟฟ้า (Cu1, Cu2) เพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงบนผิวและในรูให้หนาขึ้น
- 3.) ติดฟิล์ม ( DryFilm )คือ ขั้นตอนการติดฟิล์มที่มีลักษณะบางใสลงบนแผ่นงานด้วยลูกกลิ้งความร้อนทั้ง 2 ด้านให้แน่นสนิท โดยฟิล์มที่ใช้จะมีคุณสมบัติไวต่อแสง เพื่อใช้ในการถ่ายแบบสร้างเส้นลายวงจรในขั้นตอน Exposure
  - 3.1. ถ่ายแบบ ( Exposure ) คือ ขั้นตอนการถ่ายแบบโดยใช้ฟิล์มต้นแบบติดบนกระจกเครื่องถ่าย แล้วนำแผ่นงานวางลงบนกระจกเครื่องถ่ายแบบ จากนั้นเครื่องจะฉายแสงความเข้มสูงผ่านฟิล์มต้นแบบไปกระทบที่แผ่นงาน เพื่อทำให้เกิดเป็นเส้นลายวงจรเหมือนกับฟิล์มต้นแบบบริเวณที่ฟิล์มถูกแสงจะแข็งตัว และจะล้างไม่ออกบริเวณที่ฟิล์มไม่ถูกแสงก็จะล้างออก
  - 3.2. ล้างฟิล์ม - กัดลายวงจร ( Developing Etching Stripping ) D.E.S คือ ขั้นตอนที่ล้างฟิล์มในส่วนที่ไม่ถูกแสงออกให้เหลือแต่ส่วนที่ต้องการ คือฟิล์มที่เป็นเส้นลายวงจร จากนั้นแผ่นงานจะผ่านเครื่องกัดลายวงจรด้วยน้ำยา ซึ่งน้ำยาจะกัดทองแดงในบริเวณที่ไม่มีฟิล์มปิดอยู่ออกจนหมด แล้วล้างฟิล์มที่เหลือออกให้เหลือแต่เส้นลายวงจร
- 4.) ตรวจสอบเส้นวงจร ( AOI )ตรวจสอบด้วยการสแกนด้วยเครื่อง AOI คือ ขั้นตอนที่ใช้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเส้นวงจรโดยใช้เครื่องสแกนเปรียบเทียบกับต้นแบบซึ่งเครื่องจะระบุตำแหน่งที่เกิดปัญหาบนแผ่นวงจร จากนั้นตรวจสอบอีกครั้งด้วยเครื่อง (Verify) เพื่อทำการแก้ไข หรือแยกออกเป็นของเสีย
- 5.) สกปรินหมึก ( Soldermask ) ขั้นตอนที่สกปรินหมึกลงบนแผ่นงานเพื่อปิดเส้นวงจรซึ่งเป็นทองแดงในส่วนที่ไม่ต้องให้ตะกั่วติดในขั้นตอนการลงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และไม่ให้เส้นวงจรเป็นสนิม ซึ่งหมึกที่สกปรินจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการ ช็อตกันระหว่างเส้นวงจร

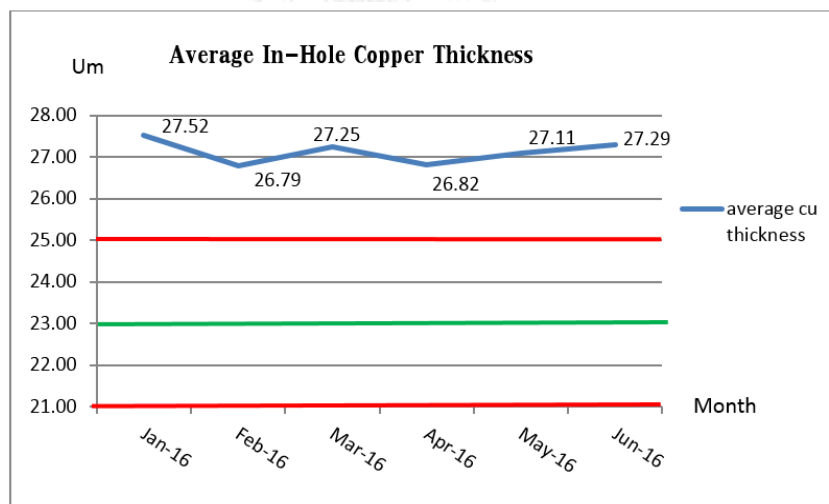
- 5.1. ถ่ายแบบ SolderMask ( Exposure ) คือ ขั้นตอนการถ่ายแบบโดยใช้ฟิล์มต้นแบบติดบนกระจกเครื่องถ่าย แล้วนำแผ่นงานวางลงบนกระจกเครื่องถ่ายแบบ จากนั้นเครื่องจะฉายแสงความเข้มสูงผ่านฟิล์มต้นแบบไปกระทบที่แผ่นงานให้เหมือนกับฟิล์มต้นแบบ จากนั้นนำแผ่นงานไปผ่านเครื่อง Developer เพื่อล้างหมึกที่ไม่ถูกแสงออก บริเวณหมึกสีเขียวที่ถูกแสงจะแข็งตัว และจะล้างไม่ออก บริเวณหมึกสีเขียวที่มีฟิล์มปิดอยู่จะไม่ถูกแสง หมึกจะไม่แข็งตัว และจะล้างออกเป็นจุดเปิดเห็น ทองแดงเพื่อให้ตะกั่วยึดติดกับขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 6.) สกรีนสัญลักษณ์เพื่อบอกตำแหน่งของตัวอุปกรณ์ ( Marking ) คือ ขั้นตอนการสกรีนตัวเลข, ตัวอักษร และสัญลักษณ์ต่างๆ เพื่อใช้ระบุตำแหน่งของอุปกรณ์บนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- 7.) ปั๊มแผ่นงานด้วยแม่พิมพ์ ( Punching ) คือ ขั้นตอนการปั๊มแผ่นงานด้วยแม่พิมพ์ (Tooling) จากขนาดแผ่นใหญ่(Board) ให้เป็นรูปร่างตามแบบที่กำหนด ซึ่งแผ่นงานที่ผ่านการปั๊มมาแล้ว จะเรียกเป็นพาแนล (Panel) เพื่อให้ลูกค้านำไปใช้ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่น PCB.
- 7.1. ตัดแผ่นงานด้วยเครื่อง ( Routing ) คือ ขั้นตอนการตัดแผ่นงานด้วยเครื่อง (Routing) จากขนาดแผ่นใหญ่ (Board) ให้เป็นรูปร่างตามแบบที่กำหนด ซึ่งแผ่นงานที่ผ่านการตัดมาแล้วจะเรียกเป็นพาแนล (Panel) เพื่อให้ลูกค้านำไปใช้ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ลงบนแผ่น PCB. การ Routing คือการใช้ดอก Rout bit (คล้ายดอกสว่าน) วิ่งตัดแผ่นงานให้เป็นงานให้เป็น รูปแบบตามโปรแกรม
- 8.) ตรวจสอบเส้นวงจรด้วยไฟฟ้า ( F – Test ) คือ ขั้นตอนการตรวจสอบเส้นวงจรขาด , เส้นวงจรช็อตด้วยกระแสไฟฟ้า โดยเครื่องจะปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านเข็ม Test ไปตามเส้นลายวงจร และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์
- 9.) ตรวจสอบขั้นสุดท้าย ( FOC ) คือ ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สำเร็จรูปแล้วก่อนส่งให้ลูกค้า โดยมีวิธีการตรวจสอบแบ่งออกเป็น 2 วิธี
- 1.) ใช้สายตาผ่านกล้องขยาย เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ทั่วไป และบริเวณจุดที่สำคัญต่างๆบนแผ่น
  - 2.) ใช้เครื่อง AVI สแกนเทียบกับต้นแบบ ซึ่งจะตรวจสอบได้ละเอียดกว่าสายตาผ่านกล้องขยาย หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาทำการ verify อีกครั้งหนึ่ง
- 10) การบรรจุ (PACKING) เพื่อป้องกันและรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดจนถึงมือลูกค้า ซึ่งมีส่วนสำคัญในการรักษาคุณภาพดังนี้ลดแรงกระแทก

ขณะขนส่งลดการเสียหายจากสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ, ความชื้นสามารถระบุ SPEC สินค้าได้อย่างถูกต้อง

### 3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากการศึกษาบริษัทกรณีศึกษาปริมาณการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A มีสัดส่วนจำนวนผลิตภัณฑ์แบ่งตามกลุ่มผลิตภัณฑ์สูงสุดของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 ที่มีสัดส่วนสูงถึง 57% และเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ทางกลุ่มลูกค้าให้ความสำคัญในเรื่องความหนาของทองแดงในรู (Copper-In-Hole thickness) ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ เนื่องจากเป็นข้อกำหนดหนึ่งที่มีค่าพิคัดความเผื่อที่เข้มงวดเป็นข้อกำหนดที่ลูกค้าให้ความสำคัญ และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมาตรฐานค่าความหนาที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดลูกค้าต้องไม่ต่ำกว่า 21 ไมครอน แผ่นวงจรพิมพ์จึงต้องมีการควบคุมความหนาทองแดงให้อยู่ในเกณฑ์คุณภาพที่ลูกค้ากำหนดก่อนส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งนี้เนื่องมาจากเงื่อนไขทางการค้า

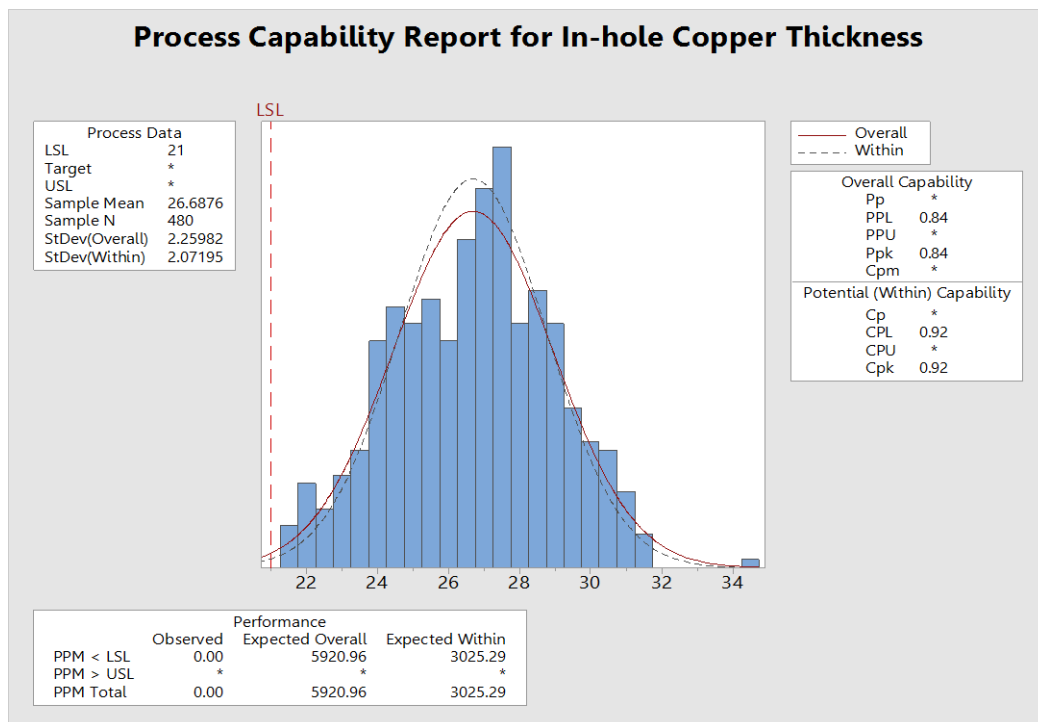
จากการตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูลของบริษัท ระหว่างเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 ที่ผ่านมาพบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์มีค่าความหนาของแผ่นวงจรพิมพ์โดยเฉลี่ยแต่ละเดือนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ 27  $\mu\text{m}$  แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ค่าความหนาของแผ่นทองแดงโดยเฉลี่ยตั้งแต่เดือนม.ค 2559 ถึงเดือนมิ.ย.2559

จากสภาพปัญหานี้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาดูด้วยกระบวนการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ สะท้อนด้วยค่า Process Capability ( $C_{pk}$ ) โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้นรวมถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางการลดความผันแปรที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ วิธีการดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาศึกษาความสามารถของกระบวนการเริ่มด้วยสุ่มตัวอย่างจากกระบวนการชุบแผ่นของแผ่นวงจรพิมพ์ จำนวน 30 กลุ่มตัวอย่าง ขนาดกลุ่มตัวอย่างละ 16 ชิ้นงาน

แล้วนำไปวัดค่าความหนาด้วยเครื่อง Cu Scope โดยมีผลการวิเคราะห์จากการเก็บข้อมูลแสดงถึงความสามารถของกระบวนการ ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดลูกค้า



รูปที่ 3.4 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงในรู

ตารางที่ 3. 1 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ	$C_{pk}$	$P_{pk}$
ค่ามาตรฐาน	มากกว่า 1.25	มากกว่า 1.25
ค่าที่คำนวณได้ (ข้อกำหนดลูกค้า)	0.92	0.84

เมื่อพิจารณาจาก Montgomery (1996) ได้กำหนดค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่ต่ำที่สุดของข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียวคือ 1.25 จากตารางที่ 3.1 พบว่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) ตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.92 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.25 แสดงว่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรค่อนข้างสูงในระดับคุณภาพระดับ 3 $\sigma$  ซึ่งส่งผลมาจากในกระบวนการดังกล่าวมีความสามารถของระบบการวัด เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกันต่ำ และค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ( $P_{pk}$ ) ตามข้อกำหนดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ มีค่า



เท่ากับ 0.84 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.25 แสดงว่า การเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรค่อนข้างสูงในระดับคุณภาพระดับ 3 $\sigma$

จากค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk) ตามข้อกำหนดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 0.84 กรณีศึกษาซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (Cpk) ตามข้อกำหนดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 0.92 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า กระบวนการทดสอบค่าความหนาทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์ พบปัญหาเรื่องการควบคุมกระบวนการ กล่าวคือ การเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรสูง โดยค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าสูงจากด้าน LSL มากเกินไป โดยกระบวนการนี้มีค่าเฉลี่ยความหนาทองแดง เท่ากับ 26.69 Um และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.07

### 3.4.1 ข้อมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น

จากปัญหาข้อบกพร่องประเภท Copper Thickness Over Plate (ความหนาของทองแดงเกิน) ในกระบวนการชุบทองแดงในกรณีรุ่นที่ศึกษาคือกลุ่มผลิตภัณฑ์ A จากข้อมูลปริมาณการผลิตของกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ในรุ่น A1 จากในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 สามารถคำนวณความสูญเสียได้ ดังต่อไปนี้

#### ตัวอย่างการคำนวณมูลค่าความสูญเสียในเดือนมกราคม

ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A1 ในเดือนมกราคม = 255,685 Board

คำนวณพื้นที่ที่ต่อบอร์ดเฉลี่ย = 0.62 Square Metre

ดังนั้น ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A ในเดือนมกราคม เท่ากับ 255,685 Board สามารถคำนวณพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 158,524 Square Metre

ในกรณีที่ความหนาทองแดงเฉลี่ยในเดือนมกราคม เท่ากับ 27.52 Um สามารถหาปริมาณทองแดงที่ใช้ได้ ดังสูตรต่อไปนี้

$$M = \rho V$$

M = ปริมาณทองแดงที่ใช้ (kg)

$\rho$  = ความหนาแน่นทองแดง (kg/m<sup>3</sup>) = 8960 kg/m<sup>3</sup>

V = ปริมาตรของชิ้นงานที่ชุบ (m<sup>3</sup>)

= พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยทั้งหมด x ความหนาทองแดงเฉลี่ยทั้งหมด x 2 (จำนวนด้าน)

ปริมาณทองแดงที่ใช้ (kg) = 8,960 kg/m<sup>3</sup> x 158,524 m<sup>2</sup> x 27.52 x 10<sup>-6</sup>m

= 39,089 kg

ราคาทองแดงที่รับเข้าของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบัน กิโลกรัมละ 250 บาท

ดังนั้นทองแดงที่ใช้ในเดือนมกราคมมีมูลค่า = 39,089 kg x 250บาท

= 9,772,180 บาท

ตามข้อกำหนดที่ทางโรงงานกำหนดมีค่าขอบเขตด้านล่างอยู่ที่ 21 Um คิดเป็นมูลค่า 7,456,750.00 บาท ซึ่งคิดเป็นค่าความสูญเสีย (COPQ) = 9,772,180 - 7,456,969 = 2,315,200 บาทในเดือนมกราคม

ทางผู้วิจัยจึงทำการคำนวณมูลค่าความสูญเสียจากข้อมูลย้อนหลังในเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 ตามตารางที่ 3.2

**ตารางที่ 3.2** การคำนวณมูลค่าความสูญเสียจากข้อมูลย้อนหลังในเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือน มิถุนายน 2559

Month	ปริมาณการผลิตของ ผลิตภัณฑ์ A1 (Board)	พื้นที่ A1	Lower Copper Thickness Specification (µm)	Average Copper Thickness (µm)	Over Copper Thickness Specification (µm)	มูลค่าความสูญเสีย A1 (Baht)
Jan-16	255,685	0.62	21	27.52	6.5	2,315,217
Feb-16	259,423	0.62	21	26.79	5.8	2,086,059
Mar-16	262,813	0.62	21	27.25	6.3	2,281,218
Apr-16	261,949	0.62	21	26.82	5.8	2,117,282
May-16	266,925	0.62	21	27.11	6.1	2,265,014
Jun-16	274,447	0.62	21	27.29	6.3	2,397,443
Average	263,540	0.62	21.00	27.13	6.13	2,243,706

คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียในรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 เฉลี่ย 2,243,706 บาท/เดือน หรือคิดเป็น 370,000 บาท/เดือน/1 ไมครอน ที่ยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 260,000 บอร์ด

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าในกระบวนการชุบแผ่นของแผ่นวงจรพิมพ์ยังมีความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการชุบทองแดงซึ่งหนาเกินความจำเป็นจากข้อกำหนดลูกค้าซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 21 ไมครอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงกระบวนการชุบแผ่น ตลอดจนปัจจัยที่มีผลต่อความหนาทองแดงเกิน ทั้งนี้เพื่อที่จะลดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดลูกค้า ด้วยเหตุนี้จึงทำการศึกษาถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดค่าความหนาทองแดงเกิน และทำการแก้ไขป้องกันเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น

### 3.5 บทสรุป

จากการที่ได้กล่าวมาทั้งหมดในส่วนขั้นตอนนิยามปัญหานั้น พบว่ามูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในบริษัทกรณีศึกษาคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียในรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 1,971,182 บาท/เดือน ซึ่งเกิดจากกระบวนการชุบทองแดงที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเกินความจำเป็นจากข้อกำหนดลูกค้าซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 21 ไมครอน การทำการศึกษาข้อมูลย้อนหลังในเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 พบว่าความหนาทองแดงของผลิตภัณฑ์ A1 ซึ่งมีปริมาณการผลิตสูงถึง 51% จากยอดการผลิตในกลุ่มผลิตภัณฑ์หลักคือกลุ่มผลิตภัณฑ์ A ของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งมีส่วน 57%

ของยอดการผลิตทั้งหมด จากการเก็บข้อมูลพบว่ามีความหนาทองแดงเกินเฉลี่ยเท่ากับ 27.13 Um ซึ่งเกินจากข้อกำหนดลูกค้าที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 21 ไมครอน ซึ่งส่งผลกระทบต่อโรงงานกรณีศึกษา และเป็นการก่อให้เกิดมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการผลิต ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการชุบแผ่น ตลอดจนปัจจัยที่มีผลต่อความหนาทองแดงเคลือบผิว ในรูที่ไม่ตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ด้านเดียวคือ ด้านต่ำ โดยจะทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ A รุ่น A1 และ A2



## บทที่ 4

### ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

#### 4.1 บทนำ

หลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพและสถิติช่วยในการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัดในการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In Hole Copper Thickness) ของแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อเพิ่มความเชื่อถือและเป็นการประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่อไปและทำการเก็บข้อมูลเพื่อพิจารณาความสามารถกระบวนการของค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ จากนั้นระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า โดยวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรพิมพ์มีค่าสูงเกินกว่าข้อกำหนด โดยใช้ผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผล จากนั้นวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลโดยการให้คะแนนเพื่อเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้า เพื่อนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

#### 4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด และเนื่องจากการวัดความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐาน จากนั้นจึงดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

ระบบการวัดของบริษัทกรณีศึกษามีลักษณะการประเมินผลแบบข้อมูลเชิงแปรผัน (Variable data) คือ ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ โดยทำการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องมือวัดซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัด 2 ด้านดังนี้

ความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัด (Repeatability) หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (expected value) ของระบบการวัดที่ได้มาจากการวัดงานชิ้นเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน อุปกรณ์วัดงานเดียวกัน แล้วทำการวัดแบบซ้ำๆ เพื่อแสดงความผันแปรของอุปกรณ์วัด จึงเรียกว่า Equipment Variation (EV)

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรของค่าเฉลี่ยจากการวัดที่เกิดมาจากการเปลี่ยนเงื่อนไขในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน ซึ่งโดยทั่วไปมัก

เกิดจากการเปลี่ยนพนักงานวัดและในบางครั้งอาจจะมาจากการเปลี่ยนปัจจัยอื่นๆ ที่มีใช้พนักงานวัด อาทิ การเปลี่ยนกะงาน การเปลี่ยนอุปกรณ์วัด

ในการกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำ (Fasser and Brettner, 1992) มีคำแนะนำสำหรับกรณีค่าวัด ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบการวัดของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยพนักงานวัดจำนวน 3 คน อุปกรณ์การวัดจำนวน 1 เครื่อง จึงใช้จำนวนชิ้นงานที่วัดจำนวน 10 ชิ้น และจำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงานจำนวน 2 ครั้ง

**ตารางที่ 4.1** ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลแปรผัน

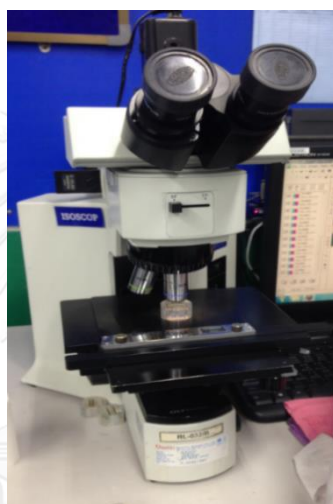
จำนวนผู้ทดสอบ (พนักงานวัด)	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน
1	2	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

ในกระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์ (Plating Process) ผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นจะมีพนักงานควบคุมคุณภาพในฝ่ายผลิตวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูก่อนนำส่งในกระบวนการต่อไป เครื่องมือที่ใช้วัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูมีทั้งหมด 2 ชนิด

- 1) เครื่องวัด Cu Scope (Fisher Scope) ซึ่งเป็นเครื่องมือซึ่งใช้วัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยหัว Probe หลังผ่านกระบวนการชุบแผ่นด้วยไฟฟ้า (Electroplating) แสดงดังรูปที่ 4.1
- 2) เครื่องวัด Isoscope (Micro Scope) ซึ่งเป็นเครื่องมือซึ่งใช้วัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ หลังผ่านกระบวนการชุบแผ่นด้วยไฟฟ้า (Electroplating) โดยในการวัดต้องนำชิ้นงานมาเตรียมตัวอย่างโดยการตัดขวาง (Cross Section) และนำมาหล่อเป็น Coupon ทุกครั้งก่อนทำการวัด แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 เครื่องวัด Cu Scope (Fisher Scope)



รูปที่ 4. 2 เครื่องวัด Isoscope (Micro Scope)

#### 4.2.1 การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

##### ก) พารามิเตอร์ที่พิจารณา

คือ ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (Copper-In-hole thickness) หลังผ่านกระบวนการชุบแผ่นด้วยไฟฟ้า (Electroplating) จาก CU1 Machine (รอบที่ 1) และ CU2 Machine (รอบที่ 2)

##### ข) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R

จำนวนพนักงานที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 3 คน โดยพนักงานได้รับการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าว และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ศึกษาเป็นประจำ

##### ค) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

สิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลักษณะเป็น Panel จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่ง ตัวอย่าง โดยทำการคัดเลือกแบบสุ่มและเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดจะใช้หัว Probe ของเครื่อง Cu Scope ใส่เข้าไปในรูของแผ่นวงจรพิมพ์

#### ง) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง ด้วยวิธีการเดียวกันและบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2

#### จ) การสอบเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องวัดจะถูกสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด โดยใช้วิธีการสอบเทียบของมาตรฐานของเครื่องมือวัดนั้น

#### ฉ) ขั้นตอนการทดลองที่ใช้ศึกษา GR&R

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการวัด
- บันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลองในตารางที่ 4.2
- ให้พนักงานคนที่ 2 และคนที่ 3 ดำเนินตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกชิ้นงาน และจำนวนซ้ำที่กำหนด โดยในการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของชิ้นงานแต่ละครั้งต้องทำอย่างสุ่ม

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

Sample (Range)	Copper Thickness (In hole) : Um					
	Operator 1		Operator 2		Operator 3	
lot no.	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>
1	26.03	26.06	26.70	26.79	26.72	26.72
2	26.50	26.30	26.44	26.32	26.03	26.12
3	27.78	27.94	27.52	26.81	27.60	27.78
4	27.47	27.77	27.88	27.74	27.74	27.84
5	31.33	31.38	31.26	31.31	31.10	31.31
6	26.15	26.57	26.11	26.05	26.96	26.48
7	27.16	27.17	27.61	27.64	27.22	27.25
8	25.32	25.44	25.87	25.87	25.64	25.54
9	26.85	26.94	26.63	25.93	25.94	26.02
10	26.32	26.42	26.21	26.25	26.65	26.66

#### 4.2.2 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่องวัด Cu Scope (Fisher Scope)

##### ก) ผลลัพธ์ในการศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัด

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$ )

ตารางที่ 4.3 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	137.163	15.2403	82.6970	0.000
Operator	2	0.005	0.0025	0.0135	0.987
Part * Operator	18	3.317	0.1843	6.2720	0.000
Repeatability	30	0.882	0.0294		
Total	59	141.367			

Alpha to remove interaction term = 0.05

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

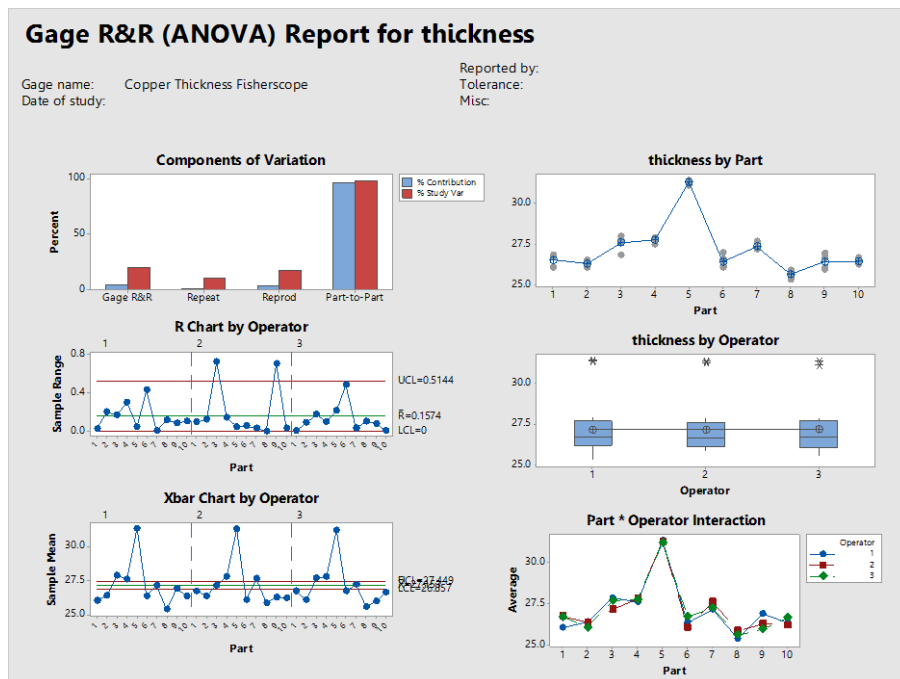
Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.10684	4.08
Repeatability	0.02938	1.12
Reproducibility	0.07745	2.96
Operator	0.00000	0.00
Operator*Part	0.07745	2.96
Part-To-Part	2.50934	95.92
Total Variation	2.61617	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.32686	1.96116	20.21
Repeatability	0.17142	1.02849	10.60
Reproducibility	0.27831	1.66983	17.21
Operator	0.00000	0.00000	0.00
Operator*Part	0.27831	1.66983	17.21
Part-To-Part	1.58409	9.50453	97.94
Total Variation	1.61746	9.70476	100.00

Number of Distinct Categories = 6





รูปที่ 4.3 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

#### การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

- รูปที่ 4.3 จากกราฟ Components of Variation พบว่าค่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชิ้นงาน (Part to Part) เท่ากับ 95.92% ซึ่งมีค่ามากกว่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากระบบการวัดของเครื่องมือ (Total Gage R&R) ที่มีค่าเพียง 4.08% เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความผันแปรส่วนใหญ่ของระบบการวัดนี้มาจากความแตกต่างของลักษณะชิ้นงาน
- รูปที่ 4.3 จากแผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart) พบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี เนื่องจากมีลักษณะการกระจายของค่าพิสัยอย่างอิสระหรือไม่มีรูปแบบเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอ และมีค่าพิสัยอยู่ในเส้นควบคุม
- รูปที่ 4.3 จากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (X bar Chart) พบว่าค่าเฉลี่ยเกือบทุกจุดอยู่นอกขอบเขตเส้นควบคุม เนื่องจากความผันแปรส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากชิ้นงานที่มีลักษณะแตกต่างกันหรือจากสาเหตุของระบบการผลิต แต่ความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมาก
- จากกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าการตัดกันอย่างไม่ชัดเจน
- จากตารางที่ 4.4 จากค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 6 ซึ่งมากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดออกเป็น 6 ประเภทที่มีความ

แตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ อ้างอิงจาก AIAG

6. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า 1.61746 หน่วย ความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 1.58409 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 0.32686 หน่วย
7. ความผันแปรที่ประมาณได้จากระบบการวัด จะมีความผันแปรของค่าวัด 9.70476 หน่วย ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 9.50453 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 1.96116 หน่วย
8. จากค่า “VarComp” แสดงความแปรปรวนของการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งจะพบความแปรปรวนจากกระบวนการจากข้อมูลทั้งหมด 2.61617 หน่วย<sup>2</sup> โดยมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 2.50934 หน่วย<sup>2</sup> และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.10684 หน่วย<sup>2</sup>
9. จากความแปรปรวนของการทดลอง เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละ พบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดคือ 100 หน่วย<sup>2</sup> จะมาจาก ความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 97.94 หน่วย<sup>2</sup> และความแปรปรวนจากระบบการวัด 4.08 หน่วย<sup>2</sup>
10. ผลการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 4.4 พบว่ามีค่าเท่ากับ 20.21% ซึ่งมีค่ามากกว่า 10% ทั้งนี้ โดยมีความผันแปรจากเครื่องมือวัด 10.60% และแปรผันจากผู้ทำการทดลอง 17.21% Cu scope ในกระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่าเครื่องมือวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี
11. เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังผลในตารางที่ 4.3 จะพบว่า อิทธิพลของชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-Value ของ Part มีค่าน้อยกว่า 0.05 มาก ส่วนอิทธิพลของพนักงานวัดไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจาก P-Value ของ Operator มีค่ามากกว่า 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.2.3 การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดเครื่อง Isoscope (Microsection)

##### ก) พารามิเตอร์ที่พิจารณา

คือ ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (Copper-In-hole thickness) หลังผ่านกระบวนการชุบแผ่นด้วยไฟฟ้า (Electroplating) จาก CU1 Machine (รอบที่ 1) และ CU2 Machine (รอบที่ 2)

### ข) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R

จำนวนพนักงานที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 3 คน โดยพนักงานได้รับการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าว และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ศึกษาเป็นประจำ

### ค) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

สิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลักษณะเป็น Panal หลังผ่านกระบวนการชุบแผ่นไมใช้กระแสไฟฟ้าด้วยเคมี (Electroless Plating) และผ่านกระบวนการชุบแผ่นด้วยไฟฟ้า (Electroplating) จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง และนำไปตัดขวาง (Cross Section) และนำไปขัดด้วยกระดาษทรายหยาบและทรายละเอียดและหล่อเป็น Coupon โดยทำการคัดเลือกแบบสุ่มและเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 10

### ง) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง ด้วยวิธีการเดียวกันและบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.5

### จ) การสอบเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดจะถูกสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด โดยใช้วิธีการสอบเทียบของมาตรฐานของเครื่องมือวัดนั้น

### ฉ) ขั้นตอนการทดลองที่ใช้ศึกษา GR&R

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการวัด
- บันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลองในตารางที่ 10
- ให้พนักงานคนที่ 2 และคนที่ 3 ดำเนินตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกชิ้นงาน และจำนวนซ้ำที่กำหนด โดยในการวัดความหนาทองแดงในรูของชิ้นงานแต่ละครั้งต้องทำอย่างสุ่ม

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection)

Sample (Range)	Copper Thickness (In Hole) : Um					
	Operator 1		Operator 2		Operator 3	
lot no.	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>
1	25.85	25.88	25.66	25.56	26.02	26.26
2	26.85	26.99	27.21	27.69	26.45	26.95
3	25.45	25.63	25.69	25.72	24.80	24.92
4	28.99	29.23	28.36	28.45	28.41	28.66
5	31.82	31.85	31.05	31.08	31.79	31.82
6	26.89	26.94	27.61	27.02	27.52	27.55
7	30.43	30.11	30.79	30.66	30.33	30.79
8	26.29	26.50	26.38	26.72	26.96	26.83
9	26.63	26.73	27.04	27.01	26.42	26.50
10	25.17	26.00	25.15	25.56	25.48	25.40

#### 4.2.4 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่องวัด Isoscope (Micro scope)

ก) ผลลัพธ์ในการศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัด

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$ )

ตารางที่ 4.6 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection)

Two-Way ANOVA Table With Interaction						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Part	9	240.585	26.7317	113.427	0.000	
Operator	2	0.008	0.0039	0.017	0.983	
Part * Operator	18	4.242	0.2357	5.686	0.000	
Repeatability	30	1.243	0.0414			
Total	59	246.079				

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

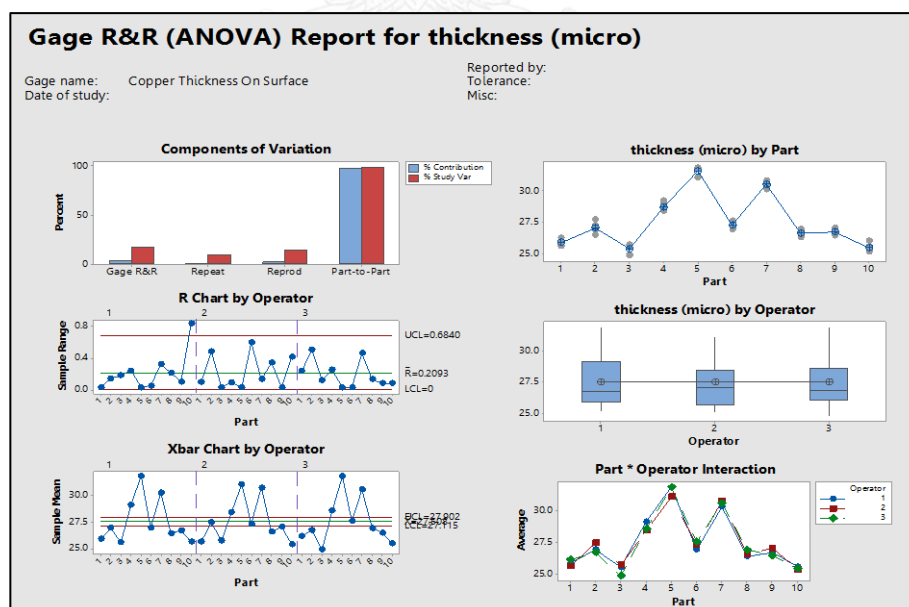
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection)

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.13856	3.04
Repeatability	0.04145	0.91
Reproducibility	0.09711	2.13
Operator	0.00000	0.00
Operator*Part	0.09711	2.13
Part-To-Part	4.41600	96.96
Total Variation	4.55456	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.37224	2.2334	17.44
Repeatability	0.20358	1.2215	9.54
Reproducibility	0.31163	1.8698	14.60
Operator	0.00000	0.0000	0.00
Operator*Part	0.31163	1.8698	14.60
Part-To-Part	2.10143	12.6086	98.47
Total Variation	2.13414	12.8049	100.00

Number of Distinct Categories = 7



รูปที่ 4.4 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection)

### การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

1. รูปที่ 4.4 จากกราฟ Components of Variation พบว่าค่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชิ้นงาน (Part to Part) เท่ากับ 96.96% ซึ่งมีค่ามากกว่าความแปรปรวนอันเนื่องมาจากระบบการวัดของเครื่องมือ (Total Gage R&R) ที่มีค่าเพียง 3.04% เท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความผันแปรส่วนใหญ่ของระบบการวัดนี้มาจากความแตกต่างของลักษณะชิ้นงาน
2. รูปที่ 4.4 จากแผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart) พบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี เนื่องจากมีลักษณะการกระจายของค่าพิสัยอย่างอิสระหรือไม่มีรูปแบบเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอ และมีค่าพิสัยอยู่ในเส้นควบคุม
3. รูปที่ 4.4 จากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (X bar Chart) พบว่าค่าเฉลี่ยเกือบทุกจุดอยู่บนขอบเขตเส้นควบคุม เนื่องจากความผันแปรส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากชิ้นงานที่มีลักษณะแตกต่างกันหรือจากสาเหตุของระบบการผลิต แต่ความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมาก
4. จากกราฟพหิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าไม่มีการตัดกันอย่างชัดเจน
5. จากตารางที่ 4.7 จากค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งมากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดออกเป็น 7 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ อ้างอิงจาก AIAG
6. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า 2.13414 หน่วย ความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 2.10143 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 0.37224 หน่วย
7. ความผันแปรที่ประมาณได้จากระบบการวัด จะมีความผันแปรของค่าวัด 12.8049 หน่วย ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 12.6086 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัด 2.2334 หน่วย
8. จากค่า “VarComp” แสดงความแปรปรวนของการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งจะพบความแปรปรวนจากกระบวนการจากข้อมูลทั้งหมด  $4.55456$  หน่วย<sup>2</sup> โดยมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต  $4.41600$  หน่วย<sup>2</sup> และความแปรปรวนจากระบบการวัด  $0.138156$  หน่วย<sup>2</sup>
9. จากความแปรปรวนของการทดลอง เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละ พบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดคือ  $100$  หน่วย<sup>2</sup> จะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต  $96.96$  หน่วย<sup>2</sup> และความแปรปรวนจากระบบการวัด  $3.04$  หน่วย<sup>2</sup>

10. ผลการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 4.7 พบว่ามีค่าเท่ากับ 17.44% ซึ่งมีความมากกว่า 10% ทั้งนี้ โดยมีความผันแปรจากเครื่องมือวัด 9.56% และแปรผันจากผู้ทำการทดลอง 14.60%
11. เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังผลในตารางที่ 4.6 จะพบว่าอิทธิพลของชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-Value ของ Part มีค่าน้อยกว่า 0.05 ส่วนอิทธิพลของพนักงานวัดไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจาก P-Value ของ Operator มีความมากกว่า 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

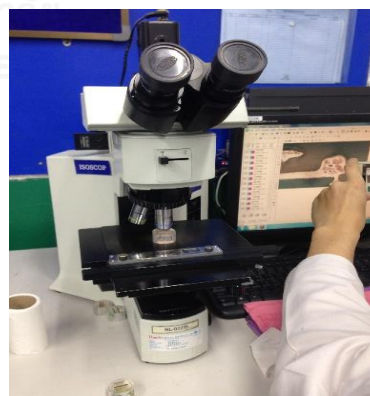
#### 4.2.6 การปรับปรุงความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู

จากผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope และ Isoscope (Microsection) พบว่าค่าความผันแปรของกระบวนการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV พบว่ามีค่ามากกว่า 10% ทั้ง 2 เครื่องมือวัดซึ่งมีค่าเกินกว่าเกณฑ์การตัดสินใจยอมรับ ดังตารางที่ 4.8

ทางผู้วิจัยจึงปรับปรุงความผันแปรของการวัดด้วยเครื่อง Cu Scope และ Isoscope (Microscope) เนื่องจากเป็นเครื่องมือวัดที่ไม่มีการอบรมวิธีการใช้เครื่องมือที่ถูกต้องกับพนักงานจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยให้ทำการฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือวัดทั้งสองในขณะการปฏิบัติงานจากผู้มีความรู้ความชำนาญร่วมกับทางบริษัทผู้จำหน่าย (Supplier) ของเครื่องมือวัดเพื่อดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือวัดใหม่ จากนั้นทางผู้วิจัยจึงดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อวัดผลค่า Gage R&R อีกครั้ง



(a)



(b)

รูปที่ 4.5 ภาพพนักงานขณะทำการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูด้วยเครื่อง Cu Scope (a) และ Isoscope (Microscope) (b)

ตารางที่ 4. 8 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการยอมรับ

ค่า Gage R&R	ความหมายในการยอมรับ
P/T หรือ P/TV < 10%	สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัด
10% < P/T หรือ P/TV < 30%	อาจจะยอมรับได้ขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ
P/T หรือ P/TV >= 30%	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

4.2.6.1 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่องวัด Cu Scope (Fisher Scope) และ Isoscope (Micro scope) หลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) หลังปรับปรุง

Sample	Copper Thickness (In Hole) : $\mu\text{m}$		
	Operator 1		
lot no.	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
1	24.71	24.59	24.61
2	26.73	26.92	26.81
3	22.92	22.79	22.87
4	27.80	27.68	27.64
5	25.04	25.12	25.07
6	26.84	26.84	26.88
7	25.82	25.76	26.10
8	27.52	27.49	27.53
9	21.66	21.58	21.69
10	27.32	27.41	27.39



ตารางที่ 4.10 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) หลังปรับปรุง

One-Way ANOVA Table					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	116.115	12.9017	1990.69	0.000
Repeatability	20	0.130	0.0065		
Total	29	116.245			

Alpha to remove interaction term = 0.05

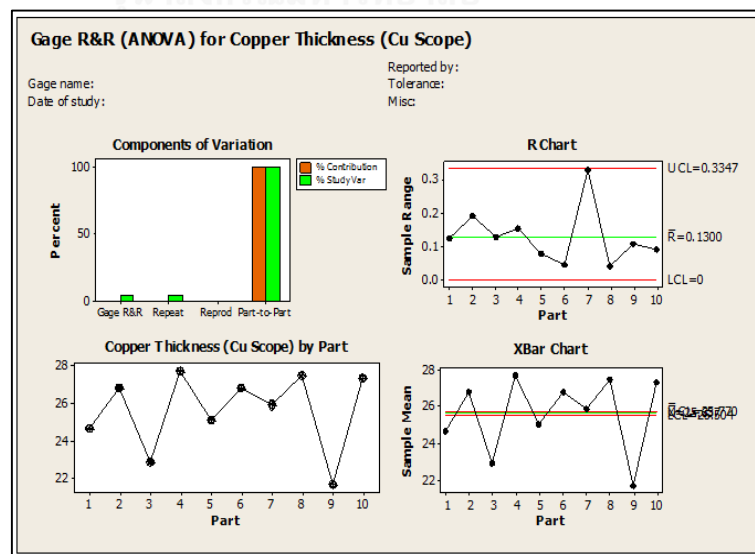
ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.00648	0.15
Repeatability	0.00648	0.15
Part-To-Part	4.29841	99.85
Total Variation	4.30489	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.08050	0.4830	3.88
Repeatability	0.08050	0.4830	3.88
Part-To-Part	2.07326	12.4396	99.92
Total Variation	2.07482	12.4489	100.00

Number of Distinct Categories = 36



รูปที่ 4.6 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)

ตารางที่ 4.12 ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Cu Isoscope (Microsection) หลังปรับปรุง

Sample	Copper Thickness (In Hole) : $\mu\text{m}$		
	Operator 1		
lot no.	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	3 <sup>rd</sup>
1	26.26	26.25	26.20
2	27.64	27.69	27.60
3	25.93	26.09	26.04
4	24.90	24.95	24.94
5	26.26	26.25	26.26
6	26.21	26.11	26.21
7	25.68	25.64	25.69
8	24.72	24.71	24.57
9	26.21	26.21	26.24
10	24.91	24.92	24.90

ตารางที่ 4.13 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection) หลังปรับปรุง

One-Way ANOVA Table					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	20.8556	2.31729	1100.03	0.000
Repeatability	20	0.0421	0.00211		
Total	29	20.8978			

Alpha to remove interaction term = 0.05

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection)

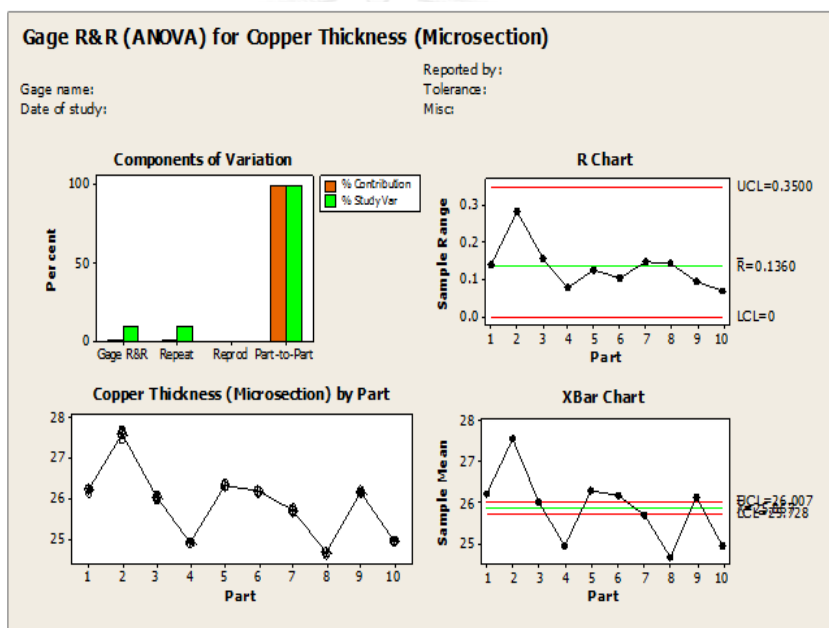
**Gage R&R**

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.002107	0.27
Repeatability	0.002107	0.27
Part-To-Part	0.771729	99.73
Total Variation	0.773835	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.045897	0.27538	5.22
Repeatability	0.045897	0.27538	5.22
Part-To-Part	0.878481	5.27089	99.86
Total Variation	0.879679	5.27807	100.00

Number of Distinct Categories = 26



รูปที่ 4.7 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Micro scope)

จากผลการปรับปรุงพบว่า ค่าความผันแปรของกระบวนการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ในเครื่องวัด Cu Scope และ Microsection พบว่ามีค่าเท่ากับ 3.88% และ 5.22% ตามลำดับ ซึ่งอุปกรณ์วัดทั้งสองมีค่าน้อยกว่า 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามการอ้างอิงจาก AIAG ดังนั้นระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและความผันแปรที่ยอมรับได้

4.2.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) และ Isoscope (Micro scope)

เนื่องจากกระบวนการชุบแผ่นของโรงงานจะแบ่งกระบวนการชุบย่อยออกเป็น 2 รอบ โดยรอบที่ 1 จะผ่าน CU1 Machine โดยวัตถุประสงค์ของการชุบรอบที่ 1 เพื่อเคลือบผิวในรูให้เรียบจากการชุบแบบ PTH ในกระบวนการก่อนหน้า และการชุบรอบที่ 2 จะผ่าน CU2 Machine โดยวัตถุประสงค์ของการชุบรอบที่ 2 เพื่อเพิ่มความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูให้กับชิ้นงาน และจะมีการวัดค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากที่ผ่านกระบวนการชุบ 2 รอบ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเฉพาะในส่วนการชุบรอบที่ 2 ที่ผ่าน CU2 Machine เท่านั้น เพื่อควบคุมความหนาทองแดงในรูในชั้น CU2 layer ของแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูในชั้น CU2 layer ที่วัดด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) และ Isoscope (Micro scope)

### ก) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณา

คือค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ในชั้น Cu2 layer ที่วัดด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microscope) และเนื่องจากค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ที่วัดจากเครื่อง Cu Scope จะเป็นค่าที่วัดได้จากความหนาทองแดงรวมในชั้น CU1 layer (tp1) กับ ชั้น CU2 layer (tp2) แสดงดังรูป 4.5(a) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะในส่วนกระบวนการชุบ CU2 Machine เท่านั้น จึงต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ในชั้น Cu2 layer ที่ได้จากเครื่องวัดทั้งสองเครื่องมีค่าเท่ากันโดยกำหนดให้

ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่วัดจาก Cu Scope ชั้น Cu1 layer เป็น tp 1

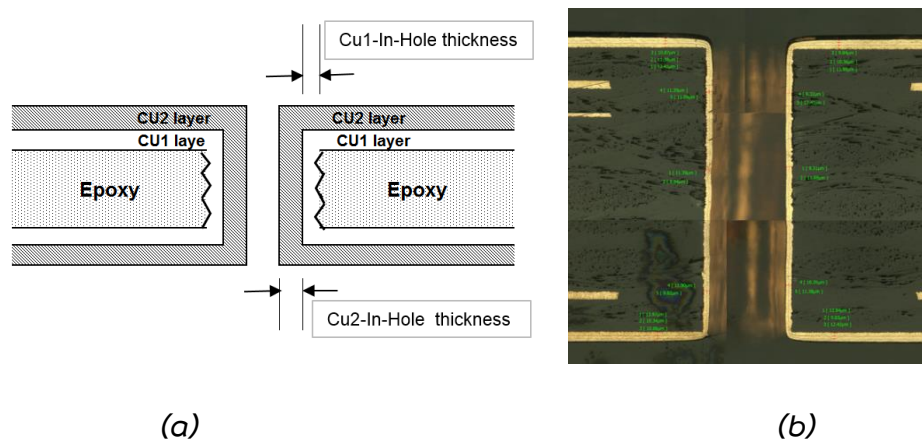
ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่วัดจาก Cu Scope ชั้น Cu2 layer เป็น tp 2

ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่วัดจาก Isoscope ชั้น Cu1 layer เป็น tm 1

ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่วัดจาก Isoscope ชั้น Cu2 layer เป็น tm 2

ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ในชั้น Cu2 layer ที่วัดด้วยเครื่อง Cu Scope จะเทียบจากค่าความหนาทองแดงรวม Cu1 Layer (tp1) + Cu2 Layer (tp2) เนื่องจากการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่วัดได้จาก Cu Scope ไม่สามารถรู้ค่าของ Cu1 layer จึงต้องทำการลบด้วยค่าความหนาทองแดงชั้น Cu1 layer ที่วัดได้จาก Isoscope (tm1) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ในชั้น Cu2 layer ที่วัดด้วยเครื่อง Isoscope ตัวอย่างการตัด Crosssection แสดงดังรูปที่ 4.5 (b) สามารถมองเห็นชั้นของการชุบ Cu1 Layer (tm1) และ Cu2 Layer (tm2)

เนื่องจากเครื่องมือวัดทั้งสองมีคุณลักษณะเฉพาะเครื่องและมีเทคนิคการวัดที่แตกต่างกัน เพื่อต้องการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดที่ได้จากเครื่องวัดทั้งสองเครื่องมีค่าเท่ากัน เพื่อที่จะลดเวลาในการทดลองด้วยการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole Copper Thickness) ด้วยเครื่อง Cu Scope (Fisher Scope) เพื่อประหยัดเวลาในการวัดค่าและชิ้นงานในขั้นตอนการเตรียมการวัดเนื่องจากมี scrap เกิดขึ้นจากขั้นตอนการตัด cross-section



รูปที่ 4. 8 โครงสร้าง (a) และรูปถ่าย (b) การตัด cross-section จาก Isoscope (50X)

#### ข) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R

จำนวนพนักงานในแต่ละกะการปฏิบัติ 1 คนต่อ 1 เครื่องมือวัด รวมพนักงาน 2 คน และเป็นพนักงานได้รับการฝึกอบรมในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าว และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ศึกษาเป็นประจำในการทดลองจำเป็นต้องให้พนักงานต่างคนต่างวัดชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัด 2 ระบบนี้ เนื่องจากมีวิธีการวัดที่แตกต่างกัน และต้องการผู้ชำนาญเฉพาะของแต่ละเครื่องมือวัดในการทดสอบ

#### ค) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

สิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ แผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลักษณะเป็น Panel จำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งตัวอย่าง โดยทำการคัดเลือกแบบสุ่มและเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 15 การทดสอบนี้เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยกรณีข้อมูลแบบคู่ (Paired-t Test) วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม Minitab 17 และกำหนดค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. กำหนดระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05
2. ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน ( $\beta$ ) เท่ากับ 0.10 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.90
3. ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 2.0745 Um เนื่องจากผู้วิจัยต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ถ้าค่าเฉลี่ย 2 ระดับใดๆ มีความแตกต่างกันเท่ากับ 1 เนื่องจากสามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน
4. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.0745 (จากการศึกษาความสามารถกระบวนการในบทที่ 1)

5. ผลที่ได้จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความมึนยสำคัญคือ  $n_1 = n_2 = 13$  สิ่งตัวอย่าง (หรือ 13 คู่) ซึ่งการทดสอบสมมติฐานในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ 15 คู่ ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบ

**ตารางที่ 4.15** ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness)

Power and Sample Size			
Paired t Test			
Testing mean paired difference = 0 (versus $\neq 0$ )			
Calculating power for mean paired difference = difference			
$\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation of paired differences = 2.07			
Results			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
2.07	13	0.9	0.910708

ง) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 1 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

จ) ขั้นตอนการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการวัดโดยใช้เครื่อง Cu Scope (Fisherscope)
- บันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลองในตารางที่ 4.16
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกชิ้นทั้งหมด 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 ทำการสุ่มตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการวัดโดยใช้เครื่อง Isoscope (Microsection) โดยการนำไปตัด Cross section และวัดค่าจนครบทุกชิ้นงาน
- บันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลองในตารางที่ 4.16
- นำค่าที่ได้มาทดสอบสมมติฐานและความมึนยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 4.16** ผลการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-hole copper thickness) ด้วยเครื่อง Isoscope (Microsection)

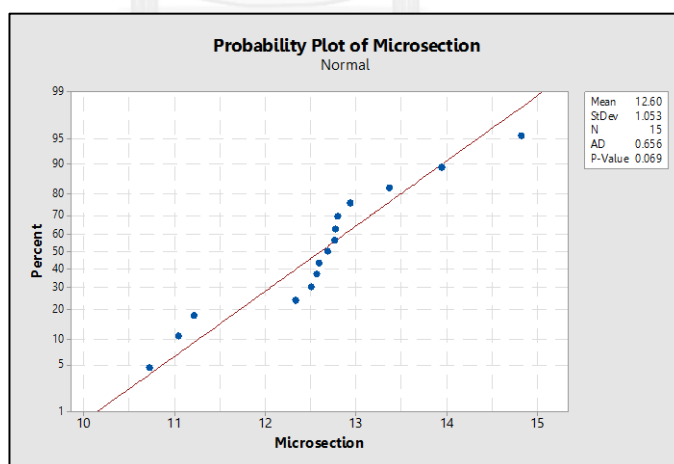
Sample	Cu scope	Isoscope
1	14.47	13.36
2	11.69	12.76
3	13.11	10.72
4	11.85	12.68
5	13.21	12.59
6	10.25	11.21
7	14.13	12.50
8	14.47	12.93
9	11.26	12.33
10	12.75	12.77
11	12.30	11.04
12	13.21	13.94
13	12.74	14.82
14	12.46	12.56
15	13.47	12.79

#### ฉ) ผลลัพธ์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือวัด

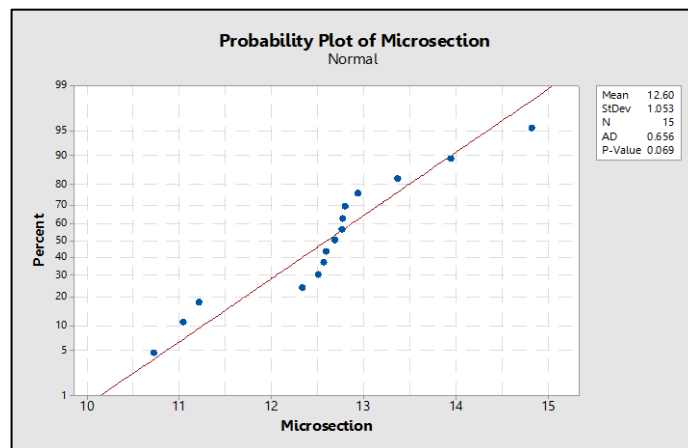
ทดสอบความเป็น Normality ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

$H_1$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ



รูปที่ 4.9 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness) โดยใช้เครื่อง Cu Scope (Fisher Scope)



รูปที่ 4. 10 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าความหนาทองแดงในรู (In-Hole Copper Thickness) โดยใช้เครื่อง Isoscope (Micro scope)

- ทดสอบความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

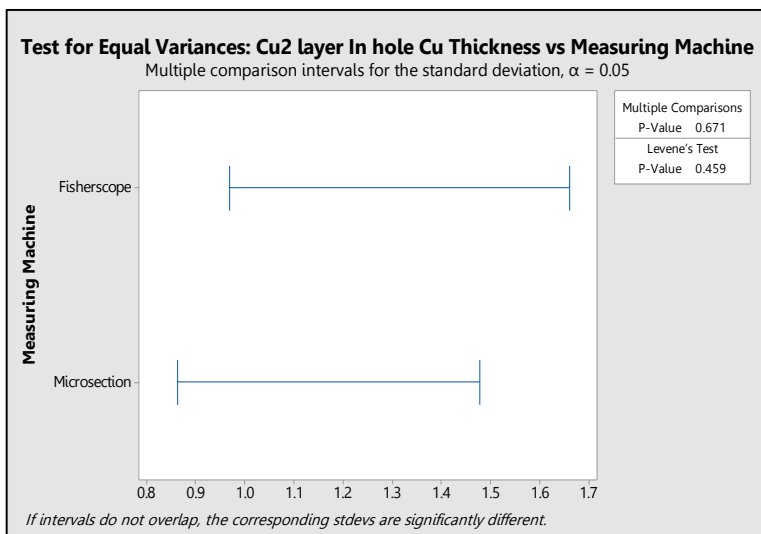
$$H_0: \sigma^2_{\text{Cu scope}} = \sigma^2_{\text{Isoscope}}$$

$$H_1: \sigma^2_{\text{Cu scope}} \neq \sigma^2_{\text{Isoscope}}$$

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบความแปรปรวนที่ได้จากการวัดที่ได้จาก Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microsection)

Test for Equal Variances: Cu2 layer In hole Cu Thickness versus Measuring Machine			
Method			
Null hypothesis	All variances are equal		
Alternative hypothesis	At least one variance is different		
Significance level	$\alpha = 0.05$		
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations			
Measuring Machine	N	StDev	CI
Fisherscope	15	1.18307	(0.787846, 2.08867)
Microsection	15	1.05301	(0.667676, 1.95248)
Individual confidence level = 97.5%			
Tests			
Method	Test Statistic	P-Value	
Multiple comparisons	0.18	0.671	
Levene	0.56	0.459	





รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบความแปรปรวนที่ได้จากการวัดที่ได้จาก Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microsection)

- ทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดงในรูระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu^2_D = 0$$

$$H_1 : \mu^2_D \neq 0$$

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จาก Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microsection)

**Paired T-Test and CI: Fisherscope, Microsection**

Paired T for Fisherscope - Microsection

	N	Mean	StDev	SE Mean
Fisherscope	15	12.758	1.183	0.305
Microsection	15	12.599	1.053	0.272
Difference	15	0.158	1.277	0.330

95% CI for mean difference: (-0.548, 0.865)  
T-Test of mean difference = 0 (vs  $\neq$  0): T-Value = 0.48 P-Value = 0.638

จากผลการทดสอบความเป็น Normality ของข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microsection) ด้วยการทดสอบ Anderson-Darling Normality Test เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการประมวลผลจากโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value ของการทดสอบที่มีค่ามากกว่า 0.05

จากผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูจากเครื่องมือวัด Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microsection) ดังตารางที่ 4.17 พบว่าค่า P-Value ของการ

ทดสอบความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ 0.671 ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95% และจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองดังตารางที่ 4.18 พบว่า P-Value ของการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.638 ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 95 % จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูจากเครื่องมือวัด Cu Scope (Fisherscope) และ Isoscope (Microsection) ในชั้น Cu<sub>2</sub> layer ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95%

#### 4.3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาสาเหตุที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุดที่ส่งผลต่อความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่เกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ โดยจะทำการระดมความคิดจากสมาชิกที่ได้รับการคัดเลือกจากผู้ที่มีความชำนาญและเกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบแผ่นโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electro Plating) จากกระบวนนิยามปัญหาซึ่งประกอบไปด้วยผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Manager) ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Manager) ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม (Assistant Engineering Manager) วิศวกรฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineering) วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Engineering) หัวหน้าฝ่ายผลิต (Manufacturing Supervisor) และช่างเทคนิคที่ดูแลกระบวนการ (Technician) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์อย่างละเอียดโดยใช้แผนภาพกระบวนการผลิตดังแสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.3.2
2. ขั้นตอนการระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่เกินตรงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์โดยการใช้ผังก้างปลาหรือผังสาเหตุและผลการใช้ผังสาเหตุและผลนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อที่จะสามารถจะทำการระดมความคิดโดยอิสระ เพราะผลลัพธ์ที่ต้องการคือจำนวนปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้สามารถรวบรวมสาเหตุและแนวทางแก้ปัญหาที่ง่ายขึ้น
3. นำปัจจัยต่างๆที่ได้จากการระดมความคิดโดยใช้ผังสาเหตุและผลมาใส่ลงในตาราง Cause and Effect Matrix เพื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจจะมีผล และทำการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยและเพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อมีความสำคัญต่อค่าความหนาทองแดงในรูเมื่อค่าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่ส่งผลต่อลูกค้า ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญเท่ากับ 10 เนื่องจากข้อกำหนดของงานวิจัยนี้มีเพียงข้อ



4. ให้สมาชิกในทีมทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับทุกปัจจัย ซึ่งการให้คะแนนนี้จะขึ้นอยู่กับความรู้ความชำนาญ และประสบการณ์ของสมาชิกแต่ละคนในทีม คะแนนที่ให้จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน ซึ่งเกณฑ์ในการให้คะแนนมีดังนี้
  - 0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง
  - 1 = ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อยมาก
  - 5 = ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง
  - 10 = ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมากที่สุด
5. ผู้ทำการวิจัยรวบรวมคะแนน และทำการคูณคะแนนของแต่ละปัจจัยในแต่ละสมาชิกด้วยอัตราความสำคัญที่มีผลกระทบเท่ากับ 10 จากนั้นทำการรวบรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัยและทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect Matrix ดังแสดงในตาราง ซึ่งพบว่าผลของการให้คะแนนของสมาชิกในทีมมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือถ้าให้คะแนนมากก็จะมีแนวโน้มมากขึ้นทั้งหมดในทีม แต่ถ้ามีการให้คะแนนน้อยก็จะมีแนวโน้มน้อยกันทั้งหมดในทีมจากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อยด้วยแผนภูมิพารेटโต้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

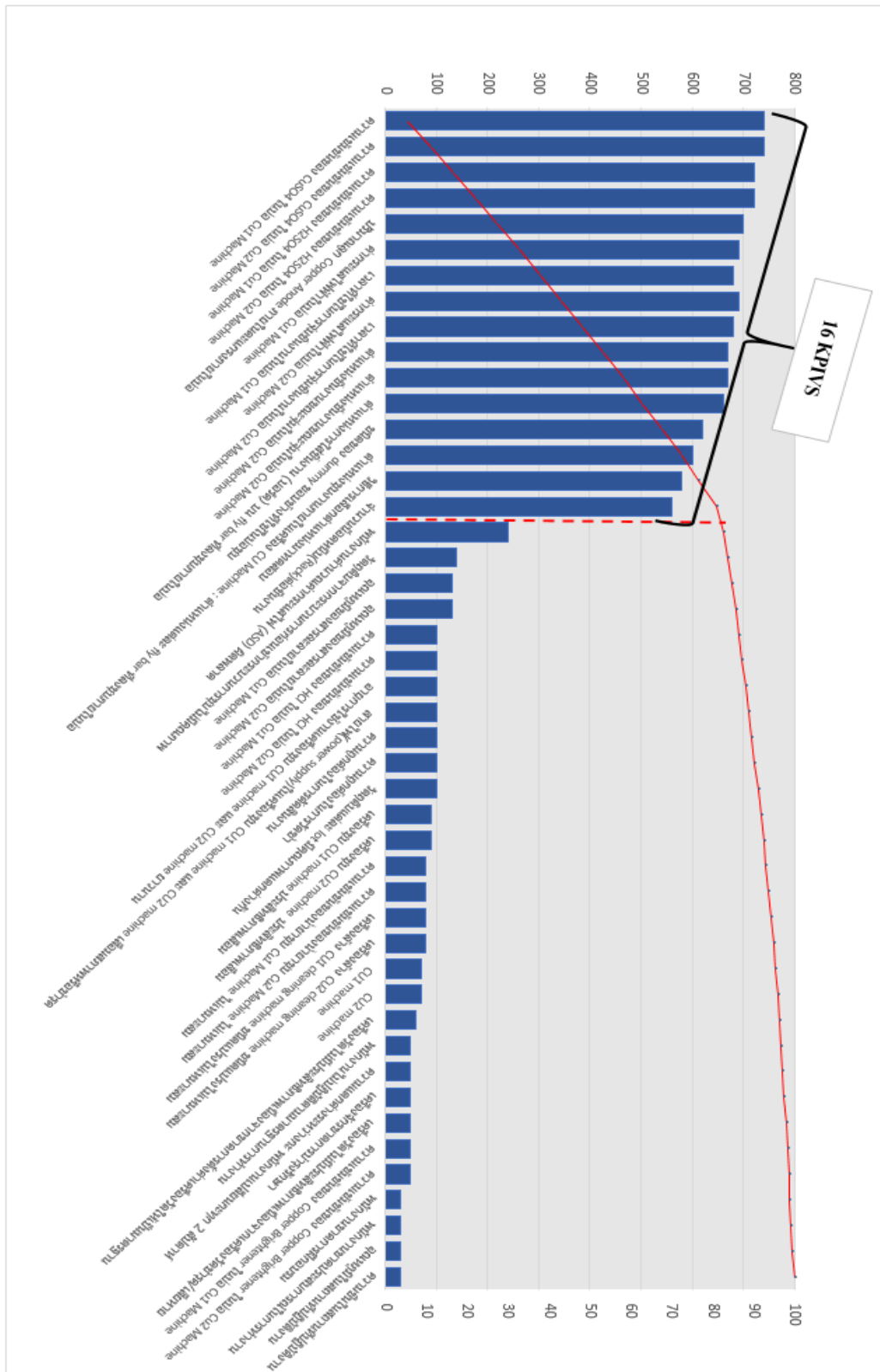
ผลจากการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนาทองแดงในรูที่เกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ของสมาชิกภายในทีมทั้งหมด 45 ปัจจัย จะมีค่าคะแนนรวมเท่ากับ 12620 จากนั้นทำการเรียงปัจจัยตามลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยดังตารางที่ 4.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีทั้งสิ้น 15 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่สูงเกินข้อกำหนดตามกฎ 80/20 ของพาราโตคิดเป็น 80.03% ของคะแนนรวมทั้งหมด โดยในขั้นตอนต่อไปจะนำปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไปทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบต่อความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่สูงเกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตารางที่ 4.19 ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อหนาทองแดงในรูที่เกิน  
ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์

Item	Area Cause	Process Input		Total
1	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu1	ความเข้มข้นของ CuSO4 ในบ่อ Cu1 Machine	740
2	Materials	น้ำของน้ำยาชุบ Cu2 Machine ไม่เพียงพอ	ความเข้มข้นของ CuSO4 ในบ่อ Cu2 Machine	740
3	Materials	น้ำของน้ำยาชุบ Cu1 Machine ไม่เพียงพอ	ความเข้มข้นของ H2SO4 ในบ่อ Cu1 Machine	720
4	Materials	น้ำของน้ำยาชุบ Cu2 Machine ไม่เพียงพอ	ความเข้มข้นของ H2SO4 ในบ่อ Cu2 Machine	720
5	Materials	ปริมาณสกรู Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ		700
6	Methods	CU1 machine	ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu1 Machine	690
7	Methods	CU1 machine	เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu1 Machine	680
8	Methods	CU2 machine	ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu2 Machine	690
9	Methods	CU2 machine	เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu2 Machine	680
10	Methods	CU1 machine	ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu2 Machine	670
11	Methods	CU2 machine	ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu2 Machine	670
12	Methods	ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน Sy bar ที่จุ่มภายในบ่อ		660
13	Materials	แผ่น dummy ขอบข้าง	ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ	620
14	Machine	ตำแหน่งรูบนภายในเครื่อง CU Machine : ตำแหน่งแผ่น Sy bar ที่จุ่มภายในบ่อ		600
15	Methods	วิธีการเลือกตำแหน่งขมวดลอบ		580
16	Machine	จำนวนน็อคหนีบ(Rack)ต่อชิ้นงาน		560
17	Man	พนักงานคำนวณค่ากระแสไฟ (ASD) ผิดพลาด		240
18	Materials	วัสดุคืบจากกระบวนการก่อนเข้ากระบวนการชุบ ไม่มีคุณภาพ		140
19	Methods	CU1 machine	อุณหภูมิของสารละลายภายในบ่อ Cu1 Machine	130
20	Methods	CU2 machine	อุณหภูมิของสารละลายภายในบ่อ Cu2 Machine	130
21	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu1	ความเข้มข้นของ HCl ในบ่อ Cu1 Machine	100
22	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu2	ความเข้มข้นของ HCl ในบ่อ Cu2 Machine	100
23	Machine	อายุการใช้งานเครื่องชุบ CU1 machine และ CU2 machine อายุนาน		100
24	Machine	สายไฟ(power supply)ในเครื่องชุบ CU1 machine และ CU2 machine เสื่อมสภาพหรือชำรุด		100
25	Measurement	ความถูกต้องในการวัดชิ้นงาน		100
26	Measurement	ความถูกต้องในการวัดซ้ำ		100
27	Materials	วัสดุคืบแผ่น lot มีคุณภาพแตกต่างกัน		100
28	Machine	เครื่องชุบ CU1 machine ประสิทธิภาพเสื่อม		90
29	Machine	เครื่องชุบ CU2 machine ประสิทธิภาพเสื่อม		90
30	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu1 Machine	ความเข้มข้นของ leveller ในบ่อ Cu1 Machine	80
31	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu2	ความเข้มข้นของ leveller ในบ่อ Cu2 Machine	80
32	Machine	เครื่องล้าง CU1 cleaning machine ชนิดแปรไม่เหมาะสม		80
33	Machine	เครื่องล้าง CU2 cleaning machine ชนิดแปรไม่เหมาะสม		80
34	Methods	CU1 machine	จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในบ่อ Cu1 Machine	70
35	Methods	CU2 machine	จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในบ่อ Cu2 Machine	70
36	Measurement	เครื่องวัด ไม่ประสิทธ์ภาพเนื่องจากขาดการตั้งค่าเครื่องวัดให้เป็นมาตรฐาน		60
37	Man	พนักงาน ไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน	ขาดความรู้ความเข้าใจการปรับพารามิเตอร์	50
38	Man	ความแตกต่างระหว่างกะ พนักงานเปลี่ยนกะทุก 2 สัปดาห์		50
39	Machine	เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา		50
40	Measurement	เครื่องวัด ไม่ประสิทธ์ภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุดเสียหาย		50
41	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu1	ความเข้มข้นของ Copper Brightener ในบ่อ Cu1 Machine	50
42	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu2	ความเข้มข้นของ Copper Brightener ในบ่อ Cu2 Machine	50
43	Man	พนักงานขาดการฝึกอบรม		30
44	Man	พนักงานขาดประสบการณ์ในการทำงาน		30
45	Environment	อุณหภูมิในสถานที่ปฏิบัติงาน		30
46	Environment	ความชื้นในสถานที่ปฏิบัติงาน		30

ตารางที่ 4. 20 ผลลัพธ์การให้คะแนนจากตาราง Cause & Effect Matrix

Item	Area Cause	Process Input	Total	% Cumulative
1	Materials	ความเข้มข้นของ CuSO <sub>4</sub> ในบ่อ Cu1 Machine	740	5.615
2	Materials	ความเข้มข้นของ CuSO <sub>4</sub> ในบ่อ Cu2 Machine	740	11.229
3	Materials	ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ในบ่อ Cu1 Machine	720	16.692
4	Materials	ความเข้มข้นของ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ในบ่อ Cu2 Machine	720	22.155
5	Materials	ปริมาณออก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ	700	27.466
6	Methods	ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu1 Machine	690	32.701
7	Methods	เวลาที่เริ่มการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu1 Machine	690	37.860
8	Methods	ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu2 Machine	690	43.096
9	Methods	เวลาที่เริ่มการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu2 Machine	690	48.179
10	Methods	ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu2 Machine	670	53.263
11	Methods	ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu2 Machine	670	58.270
12	Methods	ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอรัล) บน fly bar ที่ลงรูปภายในบ่อ	660	62.974
13	Materials	ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อรูป	620	67.678
14	Machine	ตำแหน่งรูปภายในเครื่อง CU Machine : ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงรูปภายในบ่อ	600	72.231
15	Methods	วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ	580	76.631
16	Machine	จำนวนน็อตบน(Rack)ต่อชิ้นงาน	560	80.880
17	Man	พนักงานคำนวณค่ากระแสไฟ (ASD) ผิดพลาด	240	82.701
18	Materials	วัดอุณหภูมิจากกระบวนการก่อนเข้ากระบวนการชุบ ไม่มีอุณหภูมิ	140	83.763
19	Methods	อุณหภูมิของสารละลายภายในบ่อ Cu1 Machine	130	84.750
20	Methods	อุณหภูมิของสารละลายภายในบ่อ Cu2 Machine	130	85.736
21	Materials	ความเข้มข้นของ HCl ในบ่อ Cu1 Machine	100	86.495
22	Materials	ความเข้มข้นของ HCl ในบ่อ Cu2 Machine	100	87.253
23	Machine	อายุการใช้งานเครื่องรูป CU1 machine และ CU2 machine 8174747	100	88.012
24	Machine	สายไฟ(power supply)ในเครื่องรูป CU1 machine และ CU2 machine เสื่อมสภาพหรือชำรุด	100	88.771
25	Measurement	ความถูกต้องในการคัดชิ้นงาน	100	89.530
26	Measurement	ความถูกต้องในการวัดซ้ำ	100	90.288
27	Materials	วัดอุณหภูมิต่อ lot มีอุณหภูมิแตกต่างกัน	100	91.047
28	Machine	เครื่องรูป CU1 machine ประสิทธิภาพเสื่อม	90	91.730
29	Machine	เครื่องรูป CU2 machine ประสิทธิภาพเสื่อม	90	92.413
30	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu1 Machine ไม่เหมาะสม	80	93.020
31	Materials	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Cu2 Machine ไม่เหมาะสม	80	93.627
32	Machine	เครื่องล้าง CU1 cleaning machine ชนิดแปร่งไม่เหมาะสม	80	94.234
33	Machine	เครื่องล้าง CU2 cleaning machine ชนิดแปร่งไม่เหมาะสม	80	94.841
34	Methods	CU1 machine	70	95.372
35	Methods	CU2 machine	70	95.903
36	Measurement	เครื่องวัด ไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากขาดการตั้งค่าเครื่องวัดให้เป็นมาตรฐาน	60	96.358
37	Man	พนักงาน ไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน ขาดความรู้ความเข้าใจการปรับพารามิเตอร์	50	96.737
38	Man	ความแตกต่างระหว่างกะ พนักงานเปลี่ยนกะทุก 2 สัปดาห์	50	97.117
39	Machine	เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา	50	97.496
40	Measurement	เครื่องวัด ไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุดเสียหาย	50	97.876
41	Materials	ความเข้มข้นของ Copper Brightener ในบ่อ Cu1 Machine	50	98.255
42	Materials	ความเข้มข้นของ Copper Brightener ในบ่อ Cu2 Machine	50	98.634
43	Man	พนักงานขาดการฝึกอบรม	30	98.962
44	Man	พนักงานขาดประสบการณ์ในการทำงาน	30	99.090
45	Environment	อุณหภูมิในสถานที่ปฏิบัติงาน	30	99.317
46	Environment	ความชื้นในสถานที่ปฏิบัติงาน	30	100.000



รูปที่ 4. 13 แผนภูมิพารेटโต้เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างจากการวิเคราะห์ด้วย Cause and Effect Matrix

#### 4.4 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

1. จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่กระบวนการชุบแผ่น PCB พบว่าผลการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ในเครื่องวัด Cu Scope และ Microsection พบว่ามีค่าระบบวัดดังกล่าวอยู่ที่ 20.21% กับ 17.44% ซึ่งมีค่ามากกว่า 10% สูงเกินกว่าเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการยอมรับ จึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยให้ทำการฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือวัดทั้งสองในขณะการปฏิบัติงานจากผู้มีความรู้ความชำนาญร่วมกับทางบริษัทผู้จำหน่าย (Supplier) ของเครื่องมือวัดเพื่อดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือวัดใหม่ หลังจากการปรับปรุงพบว่า ผลการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ในเครื่องวัด Cu Scope และ Microsection มีค่าเท่ากับ 3.88% และ 5.22% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามการอ้างอิงจาก AIAG ดังนั้นระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี จึงสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษาได้

2. จากผลการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในกระบวนการชุบแผ่นด้วย Cause and Effect Matrix พบว่าปัจจัยที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูมีทั้งสิ้น 16 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่สูงเกินข้อกำหนดตามกฎ 80/20 ของพาราโตคิดเป็น 80.03% ของคะแนนรวมทั้งหมด

- ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu1 Acid Plating Machine
- ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine
- ความเข้มข้นของ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu1 Acid Plating Machine
- ความเข้มข้นของ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine
- ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ
- ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu1 Acid Plating Machine
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu1 Acid Plating Machine
- ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine
- ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu1 Acid Plating Machine



- ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
- ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ
- ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ
- วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
- ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ
- จำนวนน็อตหนีบ(Rack)ต่อชิ้นงาน

แต่เนื่องจากกระบวนการชุบแผ่น (Plating Process) ของโรงงานจะแบ่งกระบวนการชุบย่อยออกเป็น 2 รอบโดยรอบที่ 1 จะผ่าน CU1 Acid Plating Machine โดยวัตถุประสงค์ของการชุบรอบที่ 1 เพื่อเคลือบผิวในรูให้เรียบจากการชุบแบบ PTH ในกระบวนการก่อนหน้า และการชุบรอบที่ 2 จะผ่าน CU2 Acid Plating Machine โดยวัตถุประสงค์ของการชุบรอบที่ 2 เพื่อเพิ่มความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูให้กับชิ้นงาน และจะมีการวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังจากที่ผ่านกระบวนการชุบ 2 รอบ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเฉพาะในส่วนการชุบรอบที่ 2 ที่ผ่าน CU2 Acid Plating Machine เท่านั้น เพื่อควบคุมความหนาทองแดงในรูในชั้น CU2 layer ของแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในกระบวนการชุบแผ่นจึงคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบในรอบที่ 2 คือ CU2 Acid Plating Machine เท่านั้น พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่สูงเกินข้อกำหนดใน CU2 Acid Plating Machine มีทั้งสิ้น 11 ปัจจัย ดังนี้

- ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
- ความเข้มข้นของ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
- ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ
- ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
- ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
- ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ
- ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ
- วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
- ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ
- จำนวนน็อตหนีบ(Rack) ต่อชิ้นงาน

โดยในขั้นตอนต่อไปจะนำปัจจัยต่างๆเหล่านี้ไปทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบต่อความหนาทองแดงในรูที่เกินข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

#### 5.1 บทนำ

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่ 3 ในวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา โดยเป็นการทดลองและวินิจฉัยเพื่อหาผลสรุปในปัจจัยต่างๆ ที่ได้เรียงเรียงลำดับความสำคัญที่มีผลต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ จากการระดมความคิด โดยใช้ Cause and Effect Matrix เป็นเครื่องมือในการถ่วงน้ำหนักปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเบื้องต้น ซึ่งวัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหามีดังนี้

1. เพื่อศึกษาถึงความสำคัญระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่คัดเลือกมากับลักษณะทางคุณภาพที่เป็นเป้าหมายของการวิจัย ในที่นี้คือค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole copper thickness)
2. เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าที่คัดเลือกมา ที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (In-Hole copper thickness)

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงแหล่งที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและสามารถที่จะคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะศึกษาต่อไป ซึ่งเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามเป้าหมายที่วางไว้ต่อไป

#### 5.2 การทดสอบสมมติฐาน

##### 5.2.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบสมมติฐาน

เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ว่ามีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

##### 5.2.2 ปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบ

จากการคัดเลือกขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยจะพิจารณาทั้งหมด 11 ปัจจัย ได้แก่

1. ความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine
2. ความเข้มข้นของ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine
3. ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ
4. ค่ากระแสไฟฟ้าในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine

5. เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงานในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
6. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
7. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
8. ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ
9. วิธีการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
10. ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ
11. จำนวนน๊อตหนีบ (Rack) ต่อชิ้นงาน

ในการทดสอบสมมติฐาน ก่อนที่จะทดสอบปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่างๆ ในกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine จะต้องมียปัจจัยที่ต้องคัดเลือกก่อนการลงเพื่อควบคุมและลดค่าความผันแปรค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่จะเกิดขึ้น โดยมีปัจจัยควบคุม (Control Factor) ก่อนวิเคราะห์ข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากบอร์ดงานทุกชิ้นจะต้องผ่านกระบวนการชุบแผ่นในบ่อ Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine มาก่อนซึ่งกระบวนการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบผิวชิ้นงานในรูและพื้นผิวให้เรียบก่อนจะเข้าสู่กระบวนการชุบแผ่นใน Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine เพื่อเพิ่มความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูต่อไป ทางผู้วิจัยจึงทำการควบคุมและคัดเลือกชิ้นงานในผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 ที่ผ่านกระบวนการชุบแผ่นในบ่อ Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine ก่อนเข้าสู่กระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine โดยควบคุมความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของ CU<sub>1</sub> layer อยู่ที่  $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$

2) เนื่องจากความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยเรื่องกระแสไฟ ASD (Ampere Square Decimeter) และความเข้มข้นของน้ำยาที่ชุบตามสมการของเนิร์นสท์และสมการของฟาราเดย์ กล่าวได้ว่าความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์สัมพันธ์กับค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ เมื่อความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ลดลงจะมีผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าลดลง และเนื่องจากวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการชุบเป็นชนิดกระแสตรง (ค่า R คงที่) จึงเป็นไปตามกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรแปรผันโดยตรงกับแรงดัน ( $I \propto E$ ) ดังนั้นในการทดลองจึงต้องทำการควบคุมปัจจัยกระแสไฟที่ใช้ชุบแผ่นงานในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid plating machine เพื่อศึกษาความเข้มข้นของน้ำยาในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating ที่ใช้ในกระบวนการชุบ โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่กำหนดจะควบคุมตามค่า ASD (Ampere Square Decimeter) ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าในการชุบทองแดงต่อพื้นที่  $100 \text{ cm}^2$  มีค่าการใช้งานปัจจุบันอยู่ที่ 1.60

3) เวลาที่ใช้ชุบแผ่นงานในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid plating machine คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าในกระบวนการชุบทองแดงเพื่อความหนาทองแดงเคลือบผิวแผ่นงานหน่วยที่ใช้คือ นาที (min) มีค่าการใช้งานปัจจุบันอยู่ที่ 40 นาที ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยจำเป็นต้องควบคุมเวลาที่ใช้ชุบแผ่นงานในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid plating machine เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของทางโรงงานกรณีศึกษา

4) ปัจจัยความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine และความเข้มข้นของ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน ไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent) เพราะในกระบวนการชุบทองแดงด้วยไฟฟ้า (Electroplating) สาร CuSO<sub>4</sub> ที่มีอยู่ในน้ำยาจะแยกสารละลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ 2 ส่วน คืออนุภาคทองแดง (Cu<sup>++</sup>) มีประจุไฟฟ้าบวก และซัลเฟต (SO<sup>2-</sup><sub>4</sub>) มีประจุไฟฟ้าลบ เมื่อต่อกระแสไฟฟ้าครบวงจรจะเกิดปฏิกิริยา

$$\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$$
 อนุภาคเล็กๆของทองแดงจะเคลือบบนผิวชิ้นงาน ส่วนอนุภาคซัลเฟต (SO<sup>2-</sup><sub>4</sub>) จะวิ่งไปหาขั้วทองแดง (ขั้วบวก) ทำปฏิกิริยากับทองแดงเป็นเหตุให้ทองแดงละลายเป็นคอปเปอร์ซัลเฟตแทนที่คอปเปอร์ซัลเฟตตัวก่อนที่หมดไป ปฏิกิริยาจะเกิดหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไปตราบที่ยังคงต่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน และกรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) จะถูกเติมเพื่อเพิ่มอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากอนุภาคซัลเฟต (SO<sup>2-</sup><sub>4</sub>) จากกรดซัลฟิวริกจะวิ่งไปที่ทำปฏิกิริยากับขั้วทองแดง (ขั้วบวก) กลายเป็นคอปเปอร์ซัลเฟตขึ้นมาแทนที่อีก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ปัจจัยความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

5) ปริมาตรบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid plating machine มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ  
1.50 m x 4.60 m x 1.00 m = 6,900 m<sup>3</sup>

6) ขนาดของรูนที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 2 รูน ซึ่งมีขนาดดังต่อไปนี้

รูนงาน A1 มีขนาด (WxH) = 51.0 cm x 60.7 cm

รูนงาน A2 มีขนาด (WxH) = 46.6 cm x 61.8 cm

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินงานปรับปรุงกระบวนการในรูนงาน A1 เท่านั้นเนื่องจากมียอดการผลิตสูงที่สุดในรูนงาน A2 ใช้เพื่อศึกษาปัจจัยความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> ปัจจัยในส่วน %Overlap ภายในบ่อชุบเท่านั้น

### 5.2.3 สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบ

จะคัดเลือกมาจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยจะพิจารณาทั้งหมด 7 ปัจจัย ได้แก่

1. การเลือกตำแหน่งมาทดสอบ

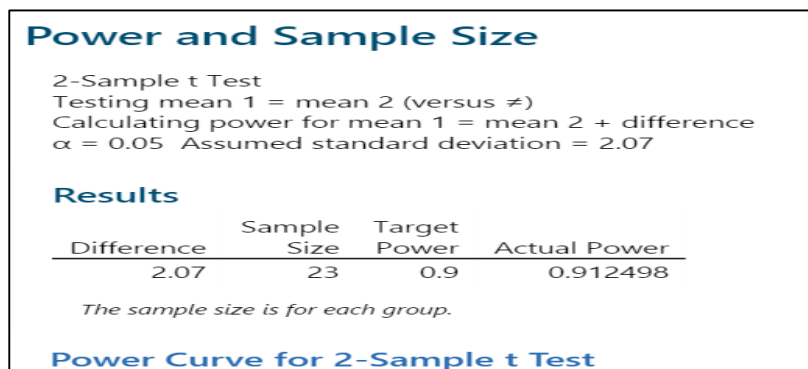
2. ตำแหน่งชุปงานภายในเครื่อง CU Machine : ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU-2 Acid Plating Machine
3. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) CU-2 Acid Plating Machine
4. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU-2 Acid Plating Machine
5. ความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ CU-2 Acid Plating Machine
6. ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ CU-2 Acid Plating Machine
7. ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ CU-2 Acid Plating Machine
8. จำนวนน็อตหนีบ (Rack) ต่อชิ้นงาน

#### 5.2.4 วิธีการตัดสินใจ

โดยกำหนดระดับนัยสำคัญการทดสอบอยู่ที่ค่า 0.05 และใช้การทดสอบแบบ F test สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายแบบเป็นปกติ และใช้การทดสอบแบบ Levene's test สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายแบบไม่เป็นปกติ

#### 5.2.5 การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

- การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างในกรณี 2 sample t-test  
วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม Minitab และกำหนดค่าต่างๆดังนี้
  - ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05
  - ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน ( $\beta$ ) เท่ากับ 0.10 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.90
  - ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 2.0745 เนื่องจากต้องการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ถ้าค่าเฉลี่ยของ 2 ระดับใดๆ มีความแตกต่างกันเท่ากับ  $1\sigma$  เนื่องจากสามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน
  - ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) เท่ากับ 2.0745



รูปที่ 5.1 การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างในกรณี 2 sample t-test

ดังนั้น จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 23 ตัวอย่างทั้งแบบ 2 sample t-test แสดงดังรูป 5.7 ซึ่งในการทดสอบสมมติฐานครั้งนี้จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 24 ตัวอย่าง (2 sample t-test) ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

#### 5.2.6 การเตรียมการทดลอง

- จัดเตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการชุบแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating) และผ่านกระบวนการชุบแบบใช้กระแสไฟฟ้า (Electro Plating) ในบ่อ Cu1 Acid Plating Machine มาแล้ว
- ทุกๆการทดลองจะมีการใส่แผ่น Dummy Board ด้านข้างบอร์ดที่ 1 และ บอร์ดที่ 8 ซึ่งมีความกว้าง 10 cm ยาว 60 cm เพื่อป้องกันขอบบอร์ดด้านข้างบอร์ดที่ 1 และ บอร์ดที่ 8 หนาเกินไปเนื่องจากข้างบ่อเป็นส่วนที่กระแสไฟฟ้าเข้าโดยตรงและเป็นส่วนช่องว่างด้านข้างที่มีน้ำยาชุบภายในบ่อชุบไหลผ่านระหว่างแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) หน้าและหลัง
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ บ่อชุบของ Cu2 Acid Plating machine ดังรูปที่ 5.1(a) และ 5.1(b) แสดงภาพขนาดบ่อชุบและลักษณะการวางจัดเรียงแผ่นชุบด้านบน (Top View) ซึ่งภายในบ่อเดียวกันจะแบ่งแถววางชิ้นงาน (fly bar) เป็น 2 แถวๆละ 8 แผ่น คือ แถวหน้า (Front Fly Bar) และแถวหลัง (Back Fly Bar) รวม 16 บอร์ดต่อรอบการชุบ ด้านข้างของบ่อด้านซ้ายและขวาสุดคือแผ่นเสริม(dummy) แถวริมขอบบ่อด้านยาว 2 ฝั่ง คือ ส่วนของตะแกรง Copper Anode
- ลักษณะการวางชิ้นงานในการทดสอบภายในบ่อชุบ Cu2 Acid plating machine แสดงดังรูปที่ 5.2 เป็นการเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านหน้า (Side View) ในแต่ละแถววางชิ้นงาน (fly bar) จะเรียงชิ้นงานตั้งแต่บอร์ด 1 ถึงบอร์ดที่ 8 โดยเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละแถว โดยมีน็อตหนีบ (Rack) หนีบแผ่นงานไว้กับแถววางชิ้นงาน (fly bar)

- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ (8 บอร์ด/Fly Bar) ต่อรอบการชุบ โดยวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังการชุบในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid plating machine บอร์ดละ 5 panel (ที่ตำแหน่ง H1,H2,H3,H4,H5) ดังรูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งที่ใช้ใน
- การวัดค่าความหนาทองแดงในรู panel ละ 1 รู
- จัดเตรียมความพร้อมของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในส่วนของ บ่อชุบของ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine รวมทั้งปัจจัยต่างๆ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำยาในกระบวนการชุบแผ่น (Plating Process) ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
- ตัวแปรที่ควบคุมในการทดลอง
  - ในการทดสอบแต่ละปัจจัยจะใช้ชิ้นงานที่มาจาก batch เดียวกันทั้งหมด หรือผ่านกระบวนการก่อนหน้ามาอย่างต่อเนื่องเป็นกลุ่มเดียวกัน ในการทดลองนี้ จะคัดเลือกชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบแผ่นในบ่อ Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine ก่อนเข้าสู่กระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine โดยควบคุมความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของ Cu<sub>1</sub> layer อยู่ที่  $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$
  - ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันในการทดลอง
  - ใช้บ่อชุบเดียวกันในการทดลอง
  - ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน
  - ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมในสถานที่ปฏิบัติงาน

### 5.2.7 ขั้นตอนในการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามชนิดของปัจจัยนำเข้าสำคัญที่ทดสอบ ได้แก่

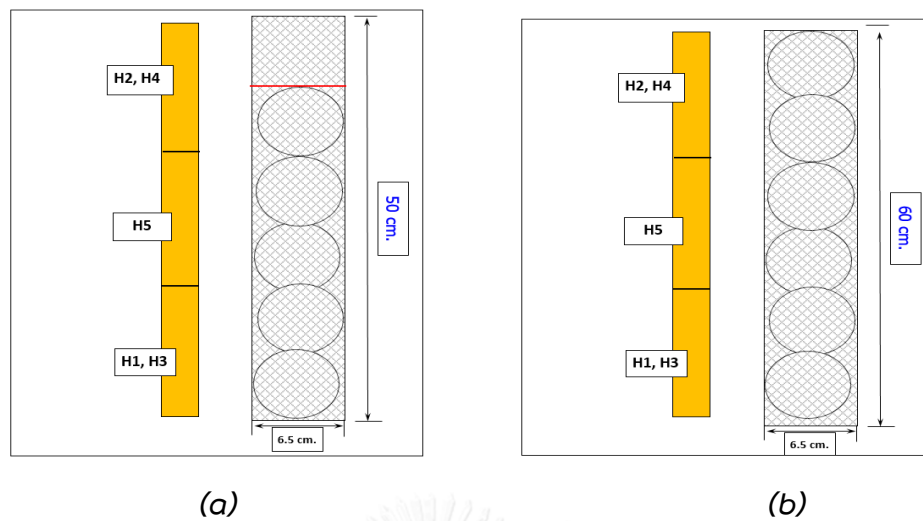
ส่วนที่ 1) ขั้นตอนแรกคัดเลือกชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบจาก Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine ให้มีความหนาทองแดงในรู  $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$  ด้วยเครื่อง CU Scope ก่อนนำมาชุบในกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine จากจำนวนสิ่งตัวอย่างที่คำนวณไว้คือ 80 บอร์ด จากนั้นให้พนักงานประจำเครื่องชุบทองแดง Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ปรับค่ากระแสไฟฟ้า (ASD) ตามข้อกำหนด (Specification) ของผลิตภัณฑ์ A1 รุ่นที่ศึกษาโดยมีค่ากำหนดอยู่ที่ 1.6 และเวลาในการชุบกำหนดให้เป็นค่าคงที่อยู่ที่ 40 นาที (เป็นข้อจำกัดของโรงงานกรณีศึกษา) เมื่อปรับปัจจัยตามที่กำหนดแล้วจึงนำแผ่นชิ้นงานแต่ละบอร์ดหนีบบนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) ทั้งหน้าและหลัง ลงชุบภายในบ่อ (16 บอร์ด/ 1 รอบการชุบ / 2 Fly Bar) และเก็บตัวอย่างชิ้นงานเมื่อครบตามเวลาที่กำหนด จากนั้นนำชิ้นงานลงชุบในรอบต่อไป โดยทำต่อเนื่องกันทั้งหมด 5 รอบ จากนั้นจึงนำงานทดลองทั้งหมดนี้ไปวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่เครื่องวัด Cu Scope แขนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองแสดงในรูปที่ 5.8 เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัยดังต่อไปนี้

1. การเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
2. ตำแหน่งชุบงานภายในเครื่อง CU Machine : ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
3. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
4. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
5. ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ส่วนที่ 2) ในการทดลองปัจจัยเรื่องปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ว่ามีผลต่อความหนาเฉลี่ยทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หลังจากคัดเลือกชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบจาก Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine ให้มีความหนาทองแดงในรู  $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$  ด้วยเครื่อง CU Scope ก่อนนำมาชุบในกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine จากจำนวนสิ่งตัวอย่างที่คำนวณไว้คือ 16 บอร์ด จากนั้นให้พนักงานประจำเครื่องชุบทองแดง Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ปรับค่ากระแสไฟฟ้า (ASD) ตามข้อกำหนด (Specification) ของผลิตภัณฑ์ A1 รุ่นที่ศึกษาโดยมีค่ากำหนดอยู่ที่ 1.60 และเวลาในการชุบกำหนดให้เป็นค่าคงที่อยู่ที่ 40 นาที (เป็นข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา) การทดลองปัจจัยนี้เป็นการเพิ่มลูก Copper Anode ที่ 2 ระดับคือ ความสูงตะแกรง (50 cm) และความสูงตะแกรง (60 cm) โดยตำแหน่งชิ้นงานและตำแหน่งปริมาณลูก Copper Anode ที่เติมแสดงดังรูปที่ 5.8 (a) และ 5.8 (b) แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองแต่ละระดับ แสดงดังรูปที่ 5.10

ส่วนที่ 3) ในการทดลองปัจจัยนำเข้าสำคัญชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ในกระบวนการชุบ dummy board จะใช้สำหรับหนีบแผ่นงานขอบข้างกัน ความหนาทองแดงที่มีใช้ผลิตอยู่ปัจจุบันมีทั้งหมด 2 คือ แผ่น CCL (Copper Clad Laminate) และ Stainless Steel แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองแต่ละระดับ แสดงดังรูปที่ 5.11



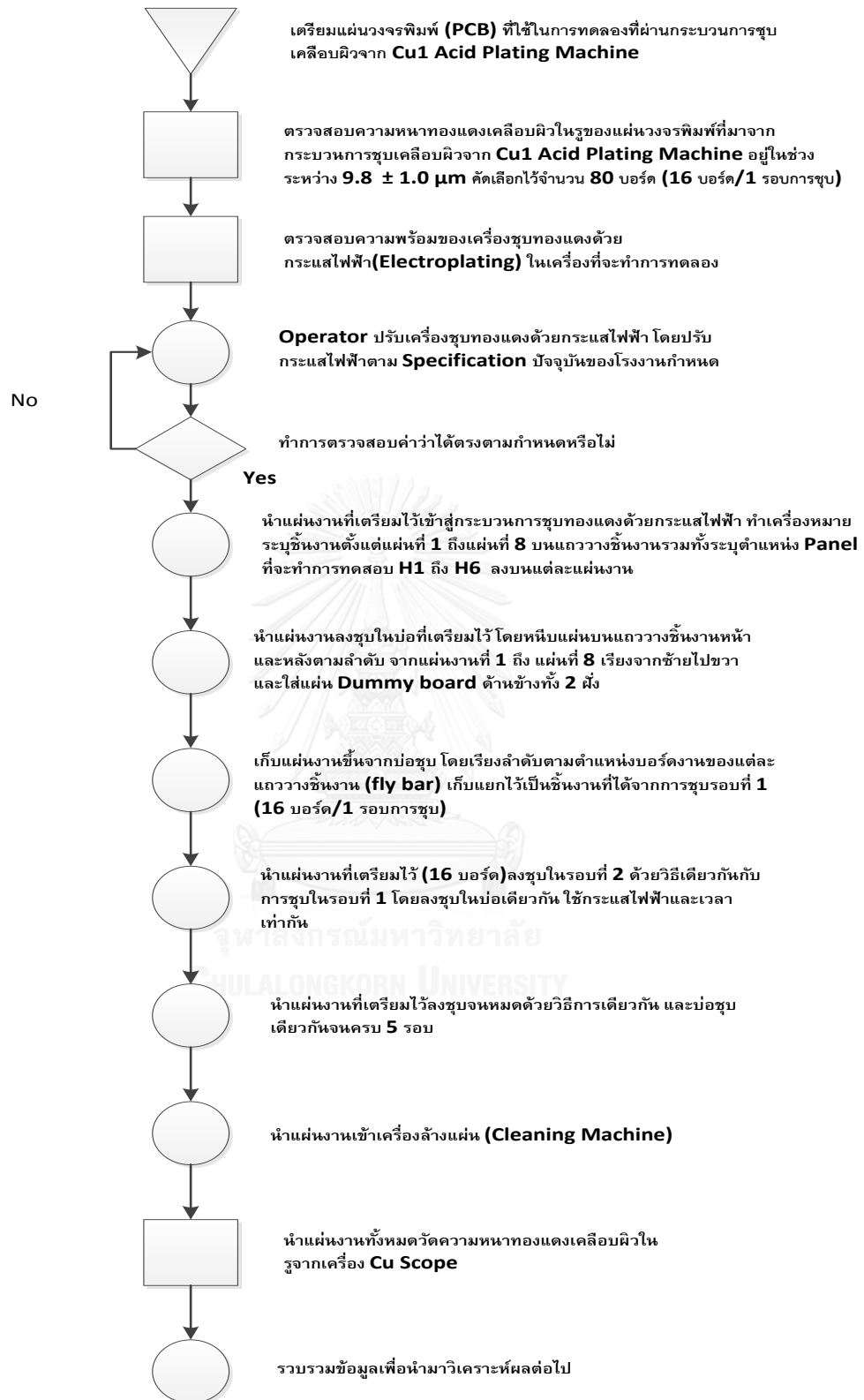


รูปที่ 5.2 การเติม Copper Anode ที่ความสูงตะแกรง (50 cm) และตำแหน่งชิ้นงานด้านข้าง (Side View) ภายในบ่อชุบ (a) และ การเติม Copper Anode ที่ความสูงตะแกรง (60 cm) ภายในบ่อชุบ (b)

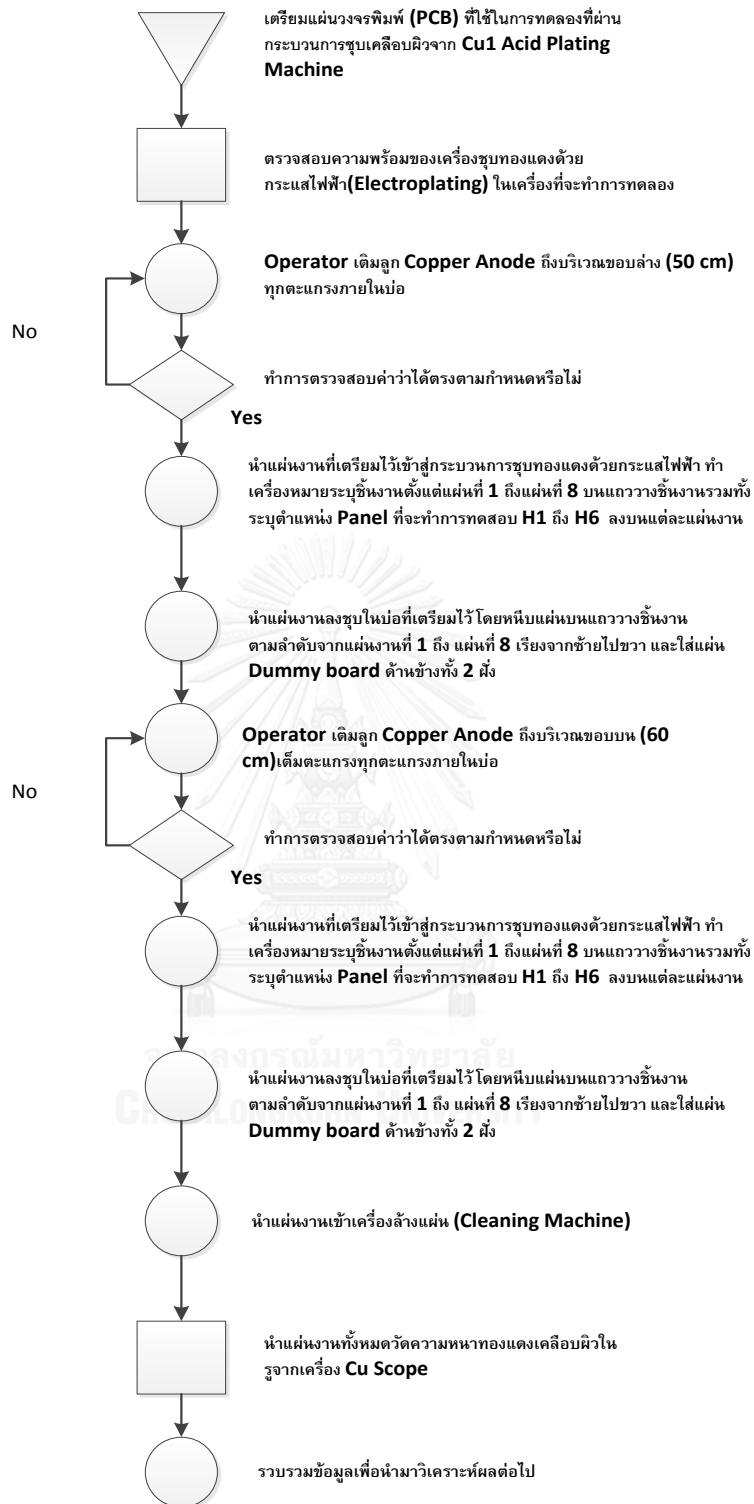
ส่วนที่ 4) ในการทดลองปัจจัยนำเข้าสำคัญจำนวนน้อยหนึ่บต่อแผ่นงาน ในกระบวนการชุบแผ่นน้อยหนึ่บ (rack) ที่ถูกติดตั้งอยู่บนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) ใช้สำหรับยึดแผ่นงานขณะลงชุบในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ในโรงงานปัจจุบันมีการใช้น้อยหนึ่บเพื่อหนึ่บแผ่นงานลงชุบไม่เท่ากันเนื่องจากขนาดของชิ้นงานเอง และน้อยหนึ่บถูกยึดติดอยู่กับ Fly Bar ในงานวิจัยนี้จึงทดสอบจำนวนของน้อยหนึ่บที่ใช้หนึ่บแผ่นงานแบ่งเป็น 2 ระดับคือจำนวนน้อยหนึ่บ (rack) 2 ตัว และจำนวนน้อยหนึ่บ (rack) 4 ตัว แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองแต่ละระดับ แสดงดังรูปที่ 5.12

ในการทดลองจะดำเนินการทดลองให้เสร็จสมบูรณ์ทีละปัจจัย โดยให้ช่างเทคนิคที่ดูแลกระบวนการเป็นผู้ปรับสภาวะของปัจจัยเป็นไปตามกำหนด เมื่อได้ค่าของระดับปัจจัยที่ต้องการแล้วจะนำชิ้นงานที่คัดเลือกความหนาทองแดงในรูจากกระบวนการ Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine เข้าสู่การทดลองอย่างต่อเนื่องจนครบจำนวนสิ่งตัวอย่างที่คำนวณไว้ หลังจากนั้นจึงทำการปรับค่าระดับที่เหลือของปัจจัยจนครบ และนำงานเข้าสู่กระบวนการทดลองจนเสร็จ เมื่อทำการทดลองจนครบทุกระดับของปัจจัยแล้วจึงนำชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการทดลองทั้งหมดไปวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู จากนั้นให้ทำการทดลองปัจจัยอื่นๆต่อไปจนครบทุกระดับปัจจัยที่ได้เลือกไว้

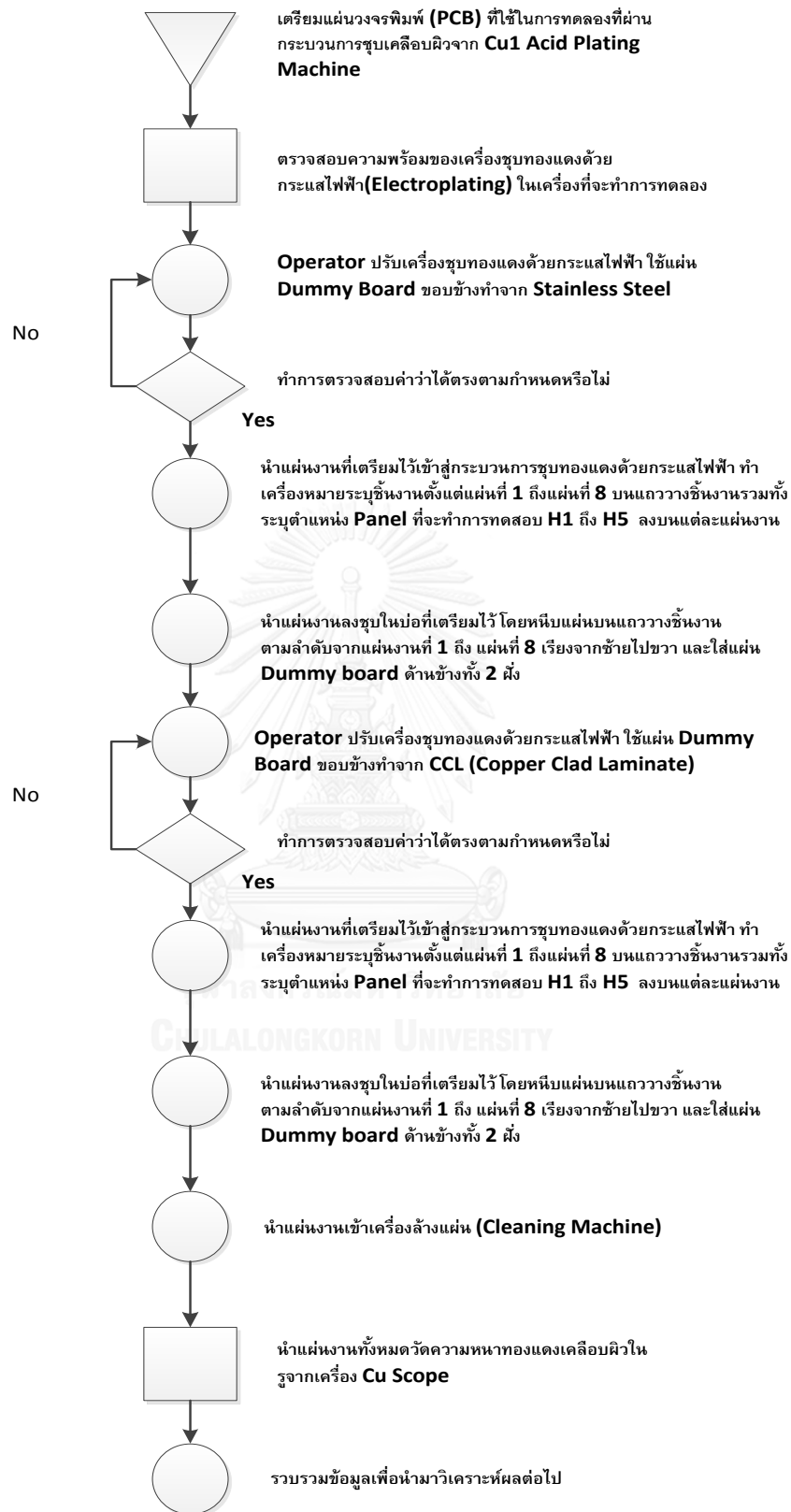
5.2.8 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและนำข้อมูลการทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อทำการคำนวณทางสถิติ



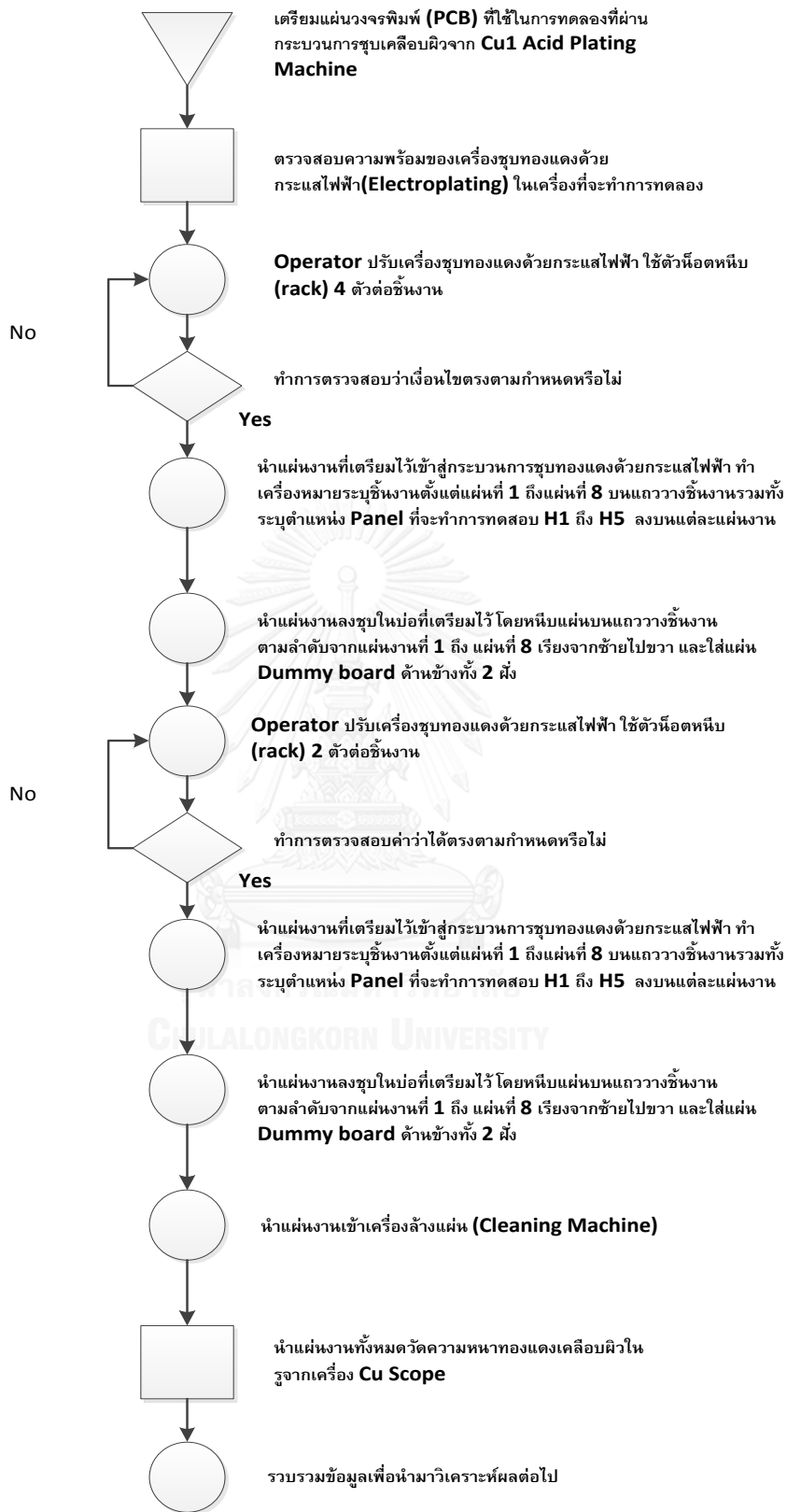
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทดลองส่วนที่ 1 เพื่อทดสอบเพื่อทดสอบปัจจัยนำเข้าสำคัญ



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดลองปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทดลองชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ **Cu2 Acid Plating Machine**



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดลองจำนวนน็อตหนีบ (Rack) ต่อชิ้นงาน

### 5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

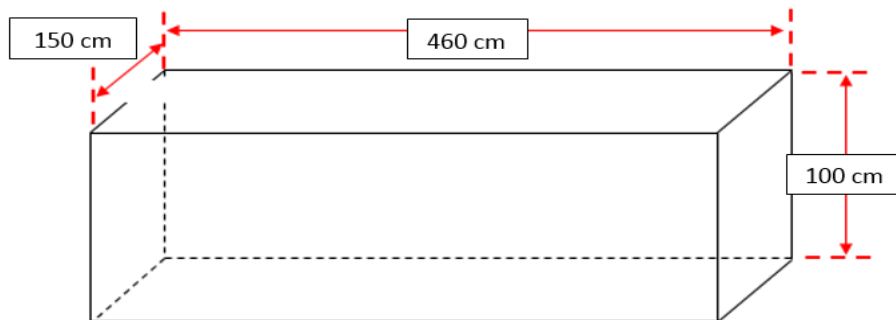
การคำนวณผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ โดยใช้ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ตลอดจนการวิเคราะห์ในทศปัจจัย โดยแยกการวิเคราะห์ห่ออกแต่ละปัจจัยที่ทำการทดลองดังต่อไปนี้

#### 5.3.1 การเลือกตำแหน่งมาทดสอบ

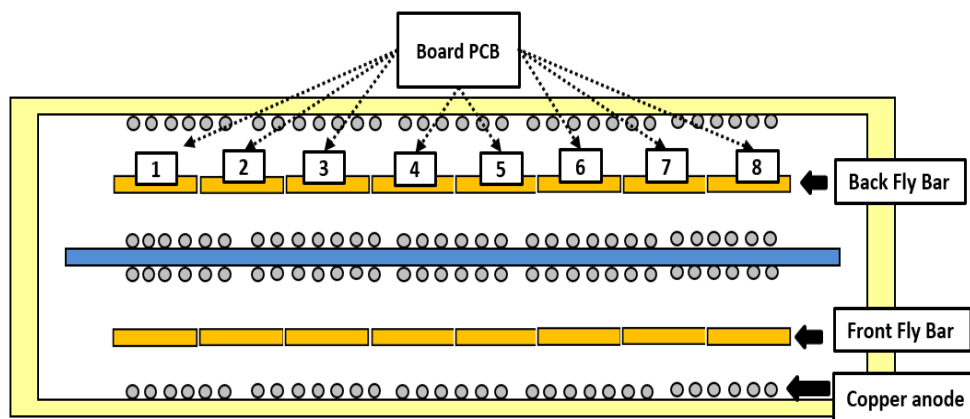
ปัจจัยการเลือกตำแหน่งมาทดสอบ เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดจุดการวัดในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน โดยกำหนดเป็นจุด (Control Quality Specification; CQS) ในการตรวจสอบชิ้นงานทุกชิ้นก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป เนื่องจากเป็นจุด Critical Point ซึ่งมีความหนาทองแดงในรูต่ำกว่าจุดอื่นๆ ภายในบอร์ดงานแต่ละบอร์ด

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูกับตำแหน่ง Panel ต่างๆภายในบอร์ดงาน เพื่อเป็นการยืนยันตำแหน่งทดสอบกับทางโรงงานกรณีศึกษา โดยรายละเอียดการศึกษามีดังต่อไปนี้

- 1) จากตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) และตำแหน่ง Panel ในแต่ละบอร์ดขณะลงชุบในบ่อ Cu1 Acid plating Machine แสดงดังรูปที่ 5.9 (a) จะเห็นได้ว่า ตำแหน่ง H1,H3 จะเป็นส่วนที่ถูกยึดด้วยน็อตหนีบด้านบน ส่วนตำแหน่ง H2 และ H4 เป็นส่วนด้านล่างที่ชุบลงในบ่อ
- 2) เมื่อเข้าสู่กระบวนการชุบรอบที่ 2 ตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) และตำแหน่ง Panel ในแต่ละบอร์ดขณะลงชุบในบ่อ Cu2 Acid plating machine จะสลับกับการชุบในบ่อ Cu1 Acid plating machine แสดงดังรูปที่ 5.9 (b) โดยตำแหน่ง H2 และ H4 จะเป็นส่วนที่ถูกยึดด้วยน็อตหนีบด้านบน ส่วนตำแหน่ง H1, H3 เป็นส่วนด้านล่างที่ชุบลงในบ่อ เพื่อให้ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูมีความสม่ำเสมอ (evenness) กระจายทั่วทั้งแผ่นวงจรพิมพ์ เนื่องจากสมมติฐานที่ว่ากระแสไฟฟ้าจะผ่านจากตัวน็อตหนีบไปสู่ชิ้นงานที่ทดสอบ ด้านที่ถูกตัวน็อตหนีบยึดแผ่นงานจะมีความหนาทองแดงมากกว่าด้านที่ลงชุบภายในบ่อ
- 3) จากนั้นจึงวิเคราะห์ต่อโดยสุ่มตำแหน่ง Panel ต่างๆภายในบอร์ดเพื่อทำการวัดค่าความหนาทองแดงในรูหลังผ่านกระบวนการ Cu2 Acid Plating Machine แสดงดังรูปที่ 5.11 เพื่อกำหนดตำแหน่ง Panel เก็บข้อมูลจากการทดลอง โดยชิ้นงาน 1 บอร์ดแบ่งเป็น 9 Panel จึงทำการสุ่มวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู 5 Panel (Panel ละ 1 Hole) คือ H1, H2, H3, H4, H5 ต่อบอร์ด เพื่อหาค่าความหนาทองแดงเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งที่วัด

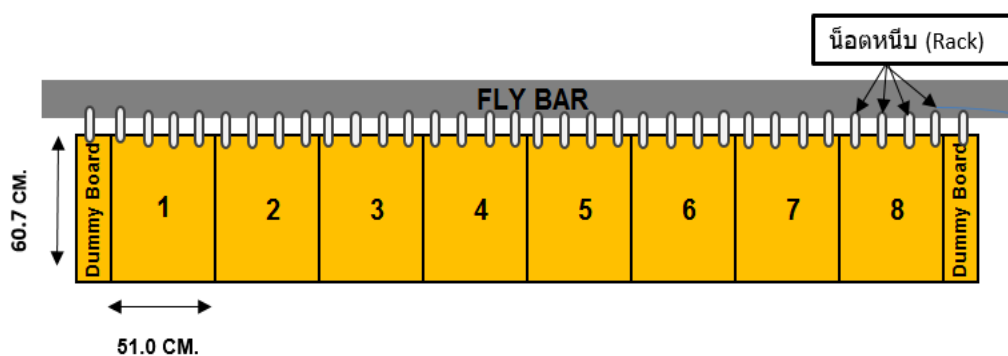


(a) ขนาดบ่อน้ำยา เครื่อง CU-2 Plant-B

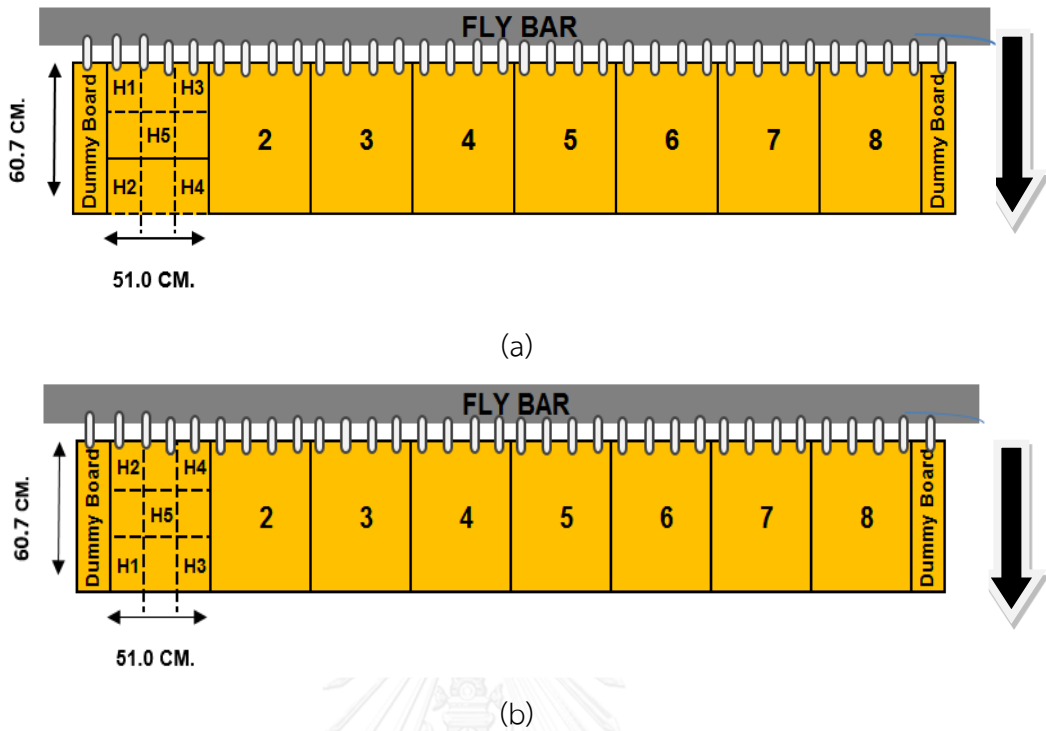


(b) การจัดเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านบน (Top View)

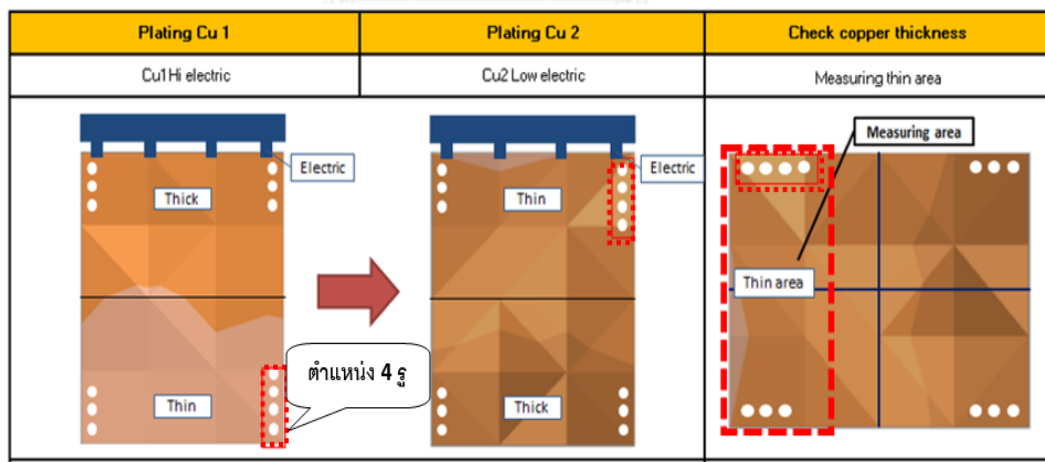
รูปที่ 5.7 ขนาดบ่อน้ำยา เครื่อง CU-2 Plant-B (a) และการจัดเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านบน (Top View) (b)



รูปที่ 5.8 การจัดเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านหน้า (Side View)

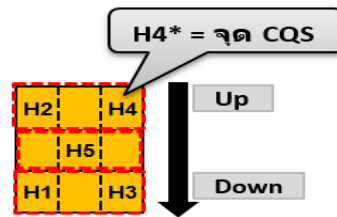


รูปที่ 5.9 ตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) และตำแหน่ง Panel ในแต่ละบอร์ด (a) ขณะลงชุบในบ่อ Cu1 Acid plating machine (b) ขณะลงชุบในบ่อ Cu2 Acid plating machine

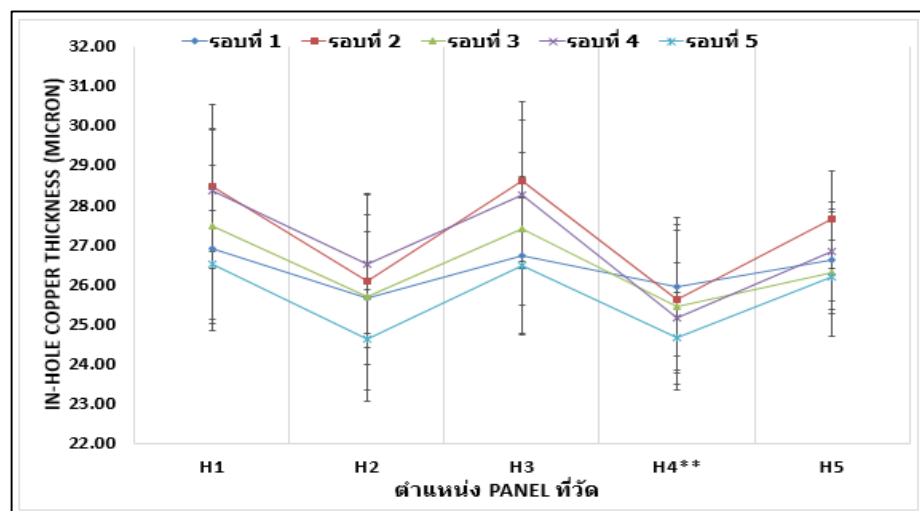


รูปที่ 5.10 ภาพรวมพื้นที่ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูบาง (Thin Area) และหนา (Thick Area) ในกระบวนการชุบรอบที่ 1 และรอบที่ 2 ในบ่อ Cu1 Acid plating machine และ บ่อ Cu2 Acid plating machine ตามลำดับ

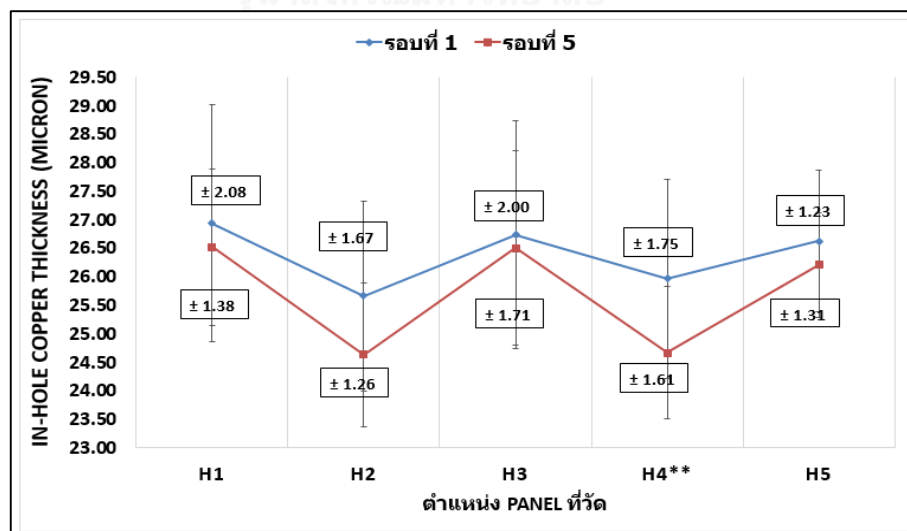




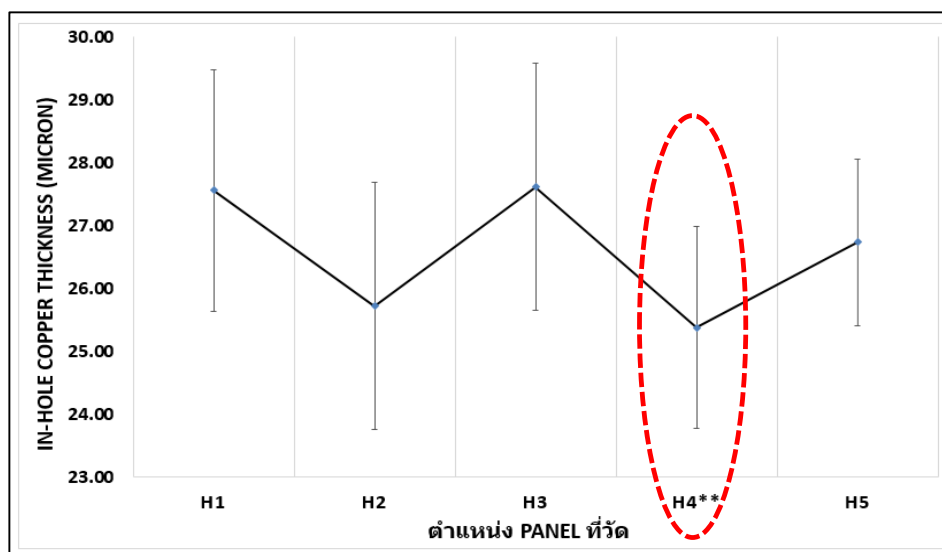
รูปที่ 5.11 ตำแหน่ง Panel ที่สุ่มวัดและ Panel (H4) ที่ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูต่ำที่สุดในบอร์ดหรือจุด CQS ของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (5 รอบการชุบ) กับตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูรอบที่ 1 และรอบที่ 5 กับตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ย (5 รอบการชุบ) กับ ตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

จากรูปที่ 5.12 พบว่าหลังผ่านกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ในส่วนตำแหน่ง H2, H4 เป็นพื้นที่ที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูบาง (Thin Area) และตำแหน่ง H1, H3 เป็นพื้นที่ที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหนา (Thick Area) เป็นส่วนด้านล่างที่ชุบลงในบ่อและการชุบในรอบที่ 1 จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่ารอบที่ 5 ในทุกตำแหน่งที่วัดแสดงในรูปที่ 5.13 และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ย (5 รอบการชุบ) กับ ตำแหน่งที่วัดภายในบอร์ดหลังผ่านกระบวนการ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine แสดงในรูปที่ 5.14 จะพบว่าตำแหน่ง H4 เป็นตำแหน่งที่ใช้ความหนาทองแดงในรูบางที่สุดและเป็นตำแหน่งเดียวกับที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดเป็นจุด (Control Quality Specification; CQS) ในการตรวจสอบชิ้นงาน ดังนั้นจึงใช้ตำแหน่ง H4 เป็นตำแหน่งที่ใช้ศึกษาความหนาทองแดงในรู ซึ่งในกระบวนการชุบแผ่นของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจะมีการทำสัญลักษณ์การเจาะรู (drilling) 4 รู ในฝั่งพื้นที่ที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูบาง (Thin Area) บนชิ้นงานที่ตำแหน่ง H4 เพื่อเป็นสัญลักษณ์บอกตำแหน่งการใส่ชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu<sub>1</sub> Acid Plating Machine และบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.10

### 5.3.2 ตำแหน่งแถววางชิ้นงาน (fly bar) ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ตำแหน่งชุบงานภายในเครื่อง CU Machine คือ ตำแหน่งแต่ละแถววางชิ้นงาน (fly bar) ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine มีลักษณะเป็นบาร์ที่ใช้สำหรับวางแผ่นงานลงชุบในบ่อ CU<sub>2</sub> Acid Plating Machine ทำหน้าที่เป็นสะพานไฟโดยภายในบ่อเดียวกันจะประกอบด้วยแถววางชิ้นงาน (fly bar) 2 แถวคู่ ซึ่งในกระบวนการผลิตจะถูกลงชุบพร้อมกัน 2 fly bar แบ่งเป็น Front fly bar และ Back fly bar

ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตำแหน่ง H4 (จุด CQS)

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

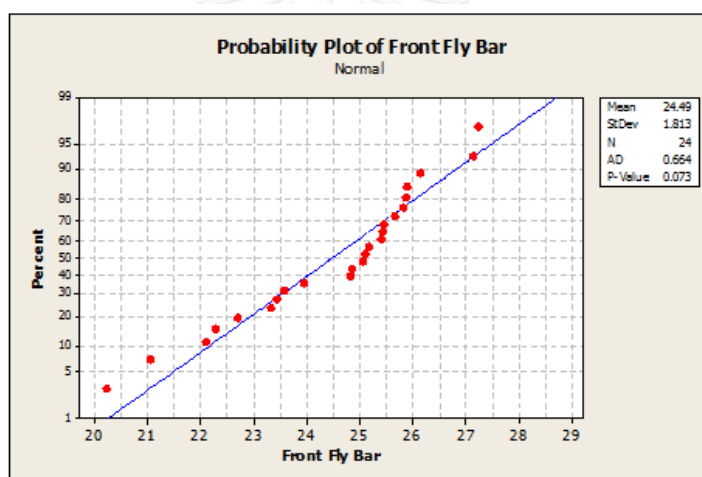
5.3.2.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

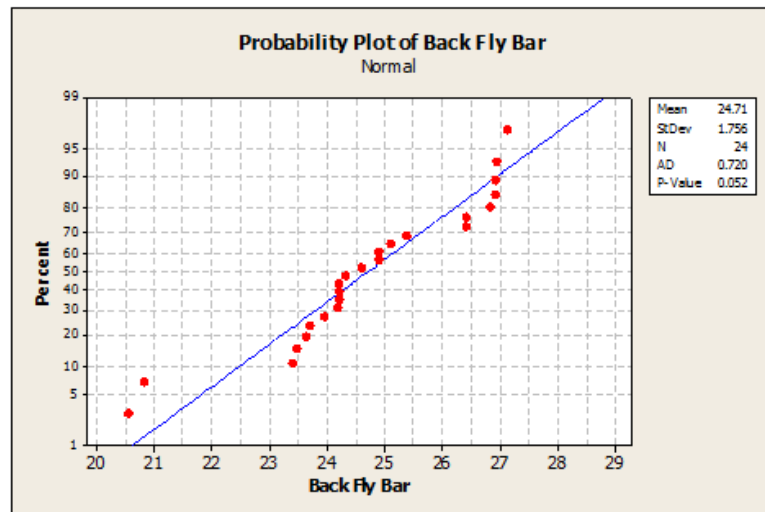
$H_1$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายเป็นแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.15 และ 5.16

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.15 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง Front Fly Bar ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine



รูปที่ 5.16 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง Back Fly Bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

#### 5.3.2.2.) การทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \sigma^2_{y1} = \sigma^2_{y2}$$

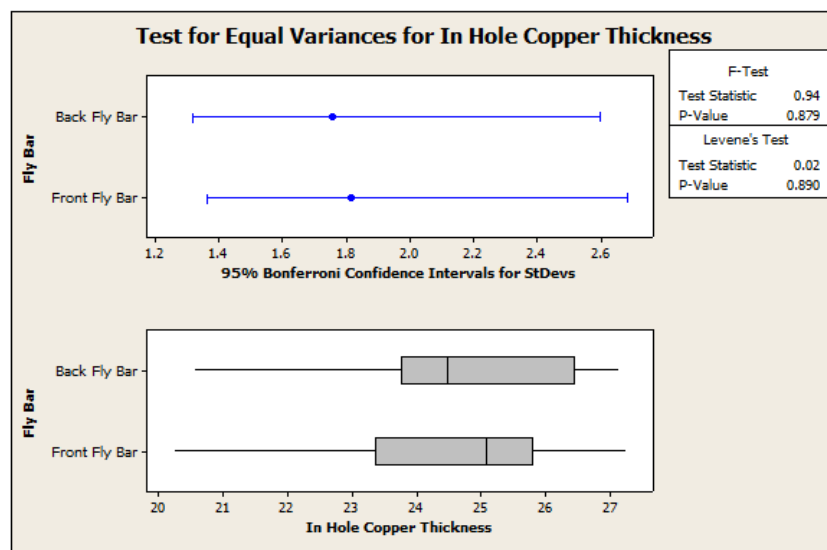
$$H_1: \sigma^2_{y1} \neq \sigma^2_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\sigma^2_{y1}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง Front Fly Bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\sigma^2_{y2}$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ ที่ตำแหน่ง Back Fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.17

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Fly Bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Test for Equal Variances: In Hole Copper Thickness versus Fly Bar					
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations					
	Fly Bar	N	Lower	StDev	Upper
	Back Fly Bar	24	1.31826	1.75564	2.59481
	Front Fly Bar	24	1.36134	1.81302	2.67961
F-Test (Normal Distribution)					
Test statistic = 0.94, p-value = 0.879					
Levene's Test (Any Continuous Distribution)					
Test statistic = 0.02, p-value = 0.890					



รูปที่ 5.17 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Fly Bar

ภายในบ่อชุบ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง Front Fly Bar และ Back Fly Bar ภายในบ่อชุบ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง fly bar ภายในบ่อชุบ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine

5.3.2.3) สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ย คือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่น แผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง fly bar ภายในบ่อชุบ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine ได้แก่ตำแหน่ง Front และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ ตำแหน่ง fly bar ภายในบ่อชุบ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine ได้แก่ ตำแหน่ง Back ตามลำดับ

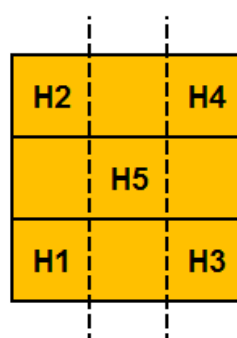
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง fly bar ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

Two-Sample T-Test and CI: Front Fly Bar, Back Fly Bar				
Two-sample T for Front Fly Bar vs Back Fly Bar				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Front Fly Bar	24	24.49	1.81	0.37
Back Fly Bar	24	24.71	1.76	0.36
Difference = $\mu$ (Front Fly Bar) - $\mu$ (Back Fly Bar)				
Estimate for difference: -0.223				
95% CI for difference: (-1.261, 0.814)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.43 P-Value = 0.667 DF = 45				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ตำแหน่ง fly bar ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 5.3.3 ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine)

ตำแหน่งรูที่วัดในแต่ละบอร์ดโดยแบ่งเป็นตำแหน่ง panel ซึ่งในแต่ละบอร์ดประกอบด้วย 9 panel โดยตำแหน่งที่สุ่มวัดจะแบ่งตามด้านที่ลงชุบในบ่อ แบ่งเป็น ตำแหน่ง panel ขอบด้านบน (Up) ได้แก่ ตำแหน่ง H1,H3 ซึ่งเป็นด้านที่น้อยตหนึบขณะลงชุบในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ตำแหน่งกลางแผ่น (Middle) คือตำแหน่งกลางแผ่น และขอบด้านล่าง ได้แก่ ตำแหน่ง H2,H4 เป็นด้านที่ลงชุบในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine



รูปที่ 5.18 ตำแหน่ง panel ขณะลงชุบในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตำแหน่ง H2,H4 (Up) และตำแหน่ง H1,H3 (down)

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 5.3.3.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

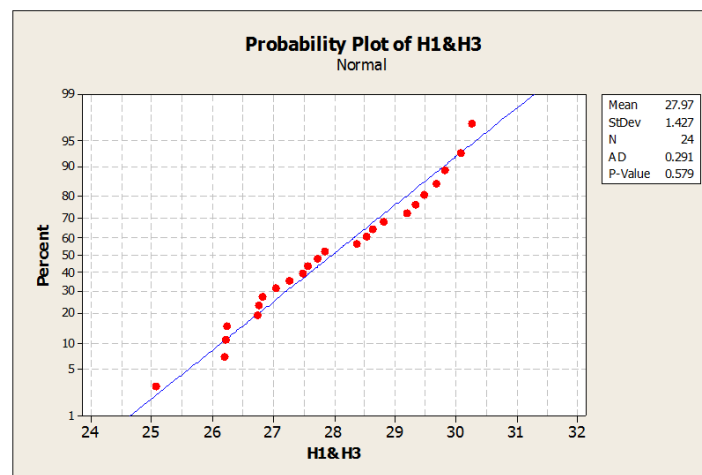
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

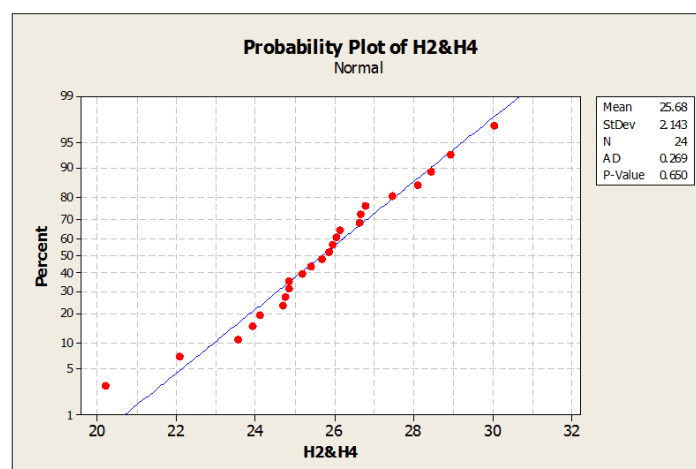
$H_1$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.19 และ 5.20

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.19 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่งขอบด้านบนที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ  $Cu_2$  Acid Plating Machine



รูปที่ 5. 20 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่งขอบ  
ด้านล่างที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

### 5.3.3.2) การทดสอบสมมติฐาน

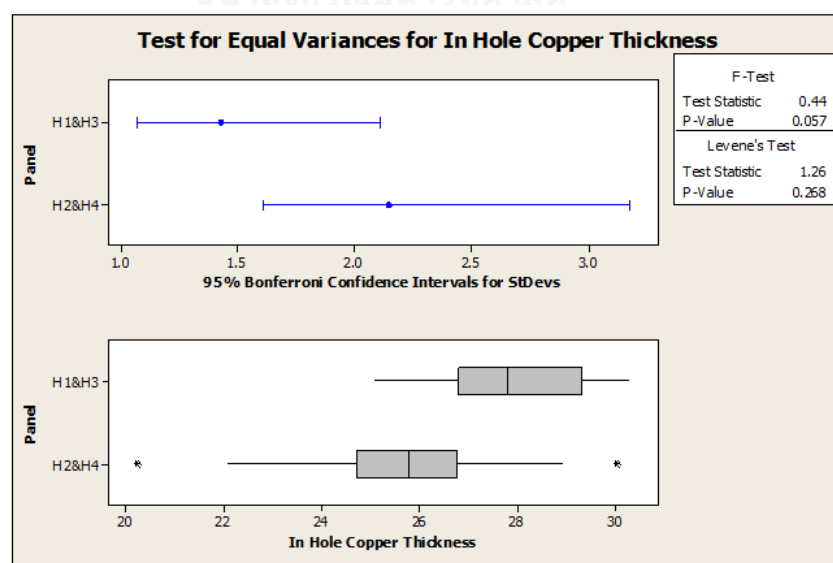
$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์  
ตำแหน่งขอบด้านบนที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine  
และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ขอบ  
ด้านล่างที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ  
จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.21

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Panel ที่  
วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Test for Equal Variances: In Hole Copper Thickness versus Panel				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Panel	N	Lower	StDev	Upper
H1&H3	24	1.07181	1.42742	2.10971
H2&H4	24	1.60941	2.14340	3.16792
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 0.44, p-value = 0.057				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 1.26, p-value = 0.268				



รูปที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตำแหน่ง Panel ที่วัดในแต่ละ



### ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Electro plating

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ตำแหน่ง panel ขอบบนบนและด้านล่างที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ CU-2 Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง panel ขอบด้านบนและด้านล่างที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

#### 5.3.3.3) สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ย คือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง panel ขอบด้านบนที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ตำแหน่งรู panel ขอบด้านล่างที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.4** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง Panel ที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Electro plating

Two-Sample T-Test and CI: H1&H3, H2&H4				
Two-sample T for H1&H3 vs H2&H4				
	N	Mean	StDev	SE Mean
H1&H3	24	27.97	1.43	0.29
H2&H4	24	25.68	2.14	0.44
Difference = mu (H1&H3) - mu (H2&H4)				
Estimate for difference: 2.288				
95% CI for difference: (1.226, 3.350)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 4.35 P-Value = 0.000 DF = 40				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า ตำแหน่ง Panel ที่วัดในแต่ละบอร์ดงานบน fly bar ภายในบ่อชุบ CU-2 Acid Plating Machine มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความ

จากนั้นทดสอบตำแหน่ง H1 กับ H3 และตำแหน่ง H2 และ H4 ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

### ➤ ทดสอบตำแหน่ง H1 กับ H3

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

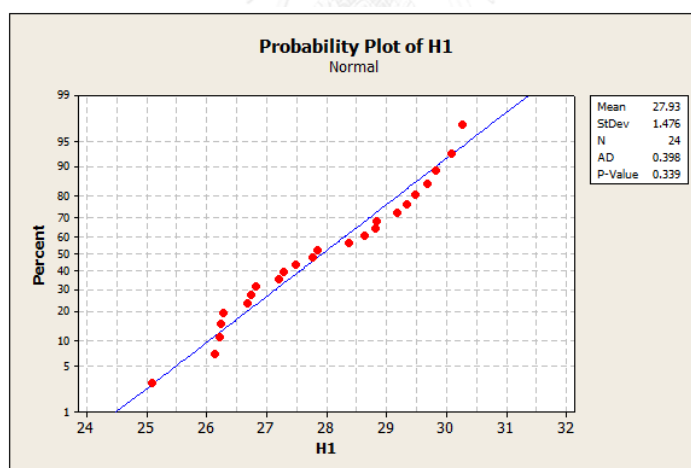
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

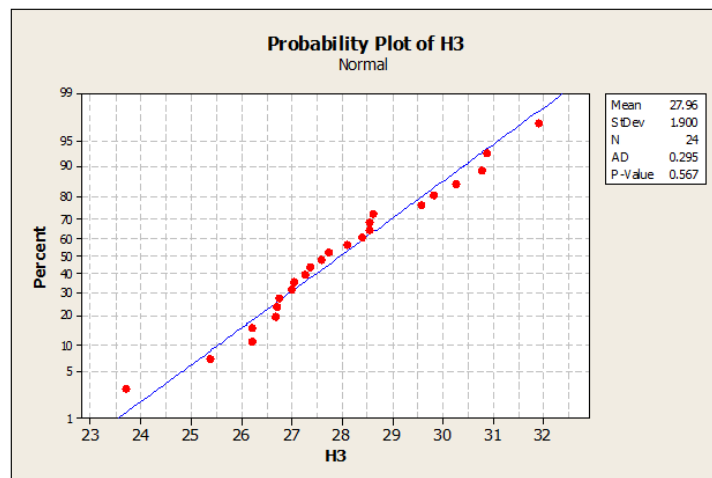
$H_1$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.22 และ 5.23

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.22 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง H1 ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine



รูปที่ 5.23 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

2.) การทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

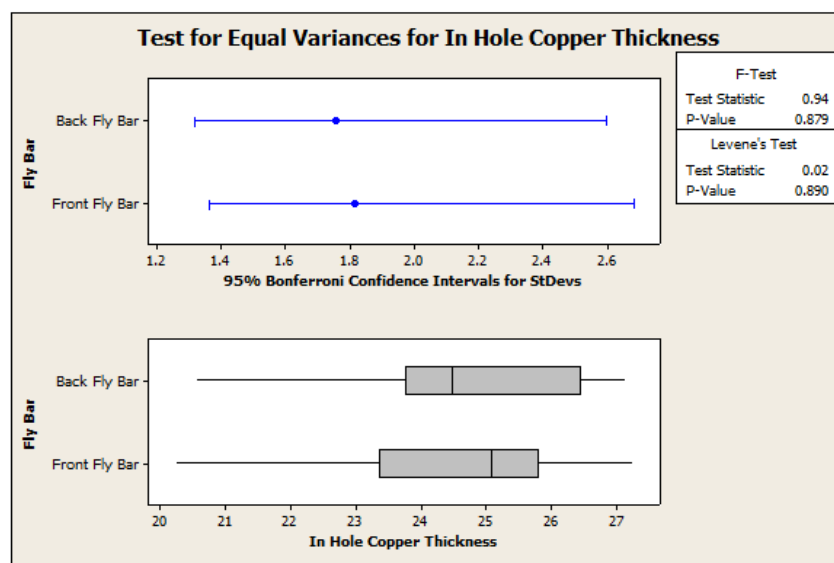
โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ตำแหน่ง H1 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ที่ตำแหน่ง H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.24

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง H1 และ H3

(Up) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Test for Equal Variances: In Hole Copper Thickness_ versus Panel_				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Panel_	N	Lower	StDev	Upper
H1	24	1.10805	1.47569	2.18104
H3	24	1.42682	1.90022	2.80850
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 0.60, p-value = 0.233				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				



**รูปที่ 5.24** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Panel H1,H3

(Up) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง Panel H1 และ H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง Panel H1 และ H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

3.) สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ย คือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง Panel H1,H3 (Up) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ได้แก่ ตำแหน่ง H1 และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ตำแหน่ง Panel H1,H3 (Up) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ได้แก่ ตำแหน่ง H3 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง Panel H1,H3 (Up) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Two-Sample T-Test and CI: H1, H3				
Two-sample T for H1 vs H3				
	N	Mean	StDev	SE Mean
H1	24	27.93	1.48	0.30
H3	24	27.96	1.90	0.39
Difference = mu (H1) - mu (H3)				
Estimate for difference: -0.031				
95% CI for difference: (-1.021, 0.960)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.06 P-Value = 0.950 DF = 43				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ตำแหน่ง Panel H1 และ H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### ➤ ทดสอบตำแหน่ง H2 กับ H4

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

##### 1.) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

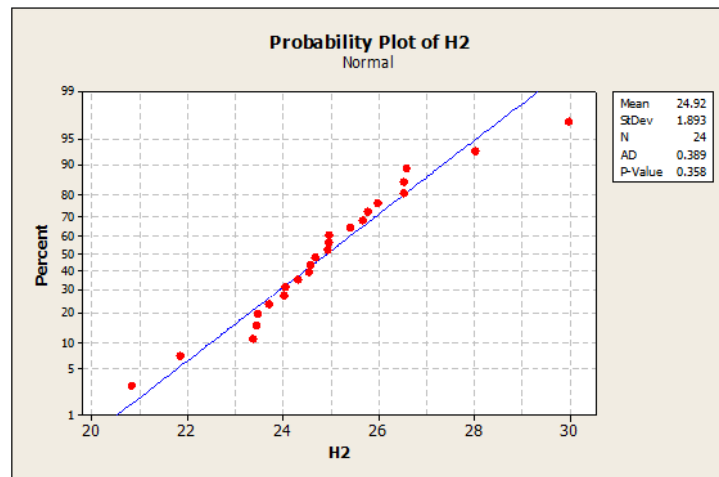
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H<sub>0</sub>: ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

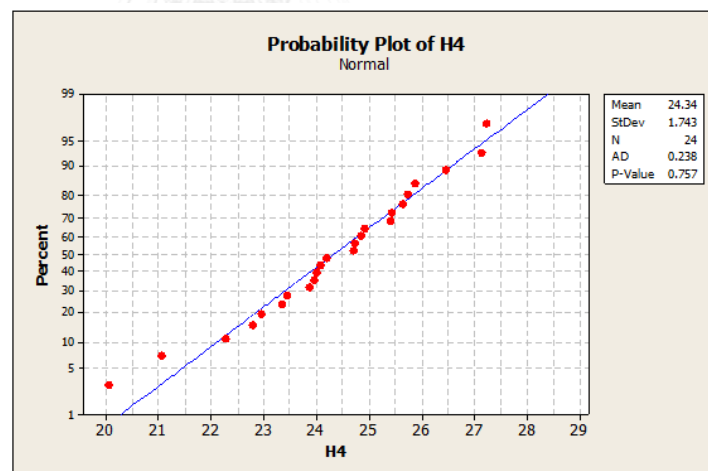
H<sub>1</sub>: ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.25 และ 5.26

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.25 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง H2  
ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine



รูปที่ 5.26 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง H4  
ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

2.) การทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

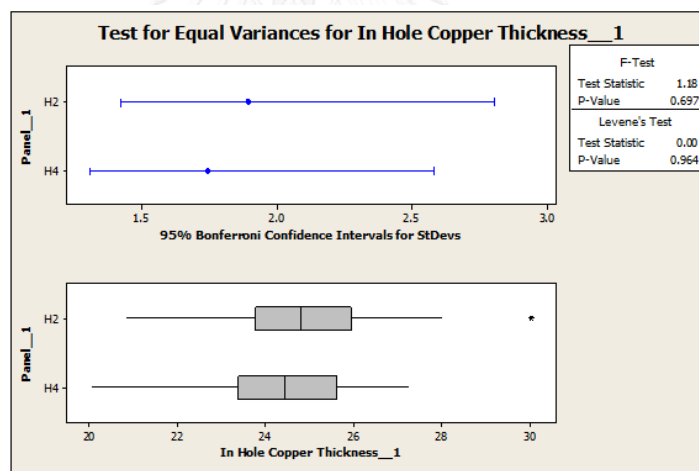
โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง H2 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความ

แปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ที่ตำแหน่ง H4 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.27

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง H2 และ H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Test for Equal Variances: In Hole Copper Thickness__1 versus Panel__1				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Panel__1	N	Lower	StDev	Upper
H2	24	1.42129	1.89286	2.79762
H4	24	1.30906	1.74339	2.57671
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 1.18, p-value = 0.697				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.00, p-value = 0.964				



รูปที่ 5.27 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่ง Panel H2, H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง Panel H1 และ H3 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่ง Panel H2, H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

3.) สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ย คือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่น แผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่ง Panel H2,H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ได้แก่ ตำแหน่ง H2 และ กำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ ตำแหน่ง Panel H2,H4 (Down) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ได้แก่ ตำแหน่ง H4 ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.8** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจาก Panel H2, H4 (Down)ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Two-Sample T-Test and CI: H2, H4				
Two-sample T for H2 vs H4				
	N	Mean	StDev	SE Mean
H2	24	24.92	1.89	0.39
H4	24	24.34	1.74	0.36
Difference = mu (H2) - mu (H4)				
Estimate for difference: 0.584				
95% CI for difference: (-0.474, 1.642)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.11 P-Value = 0.272 DF = 45				

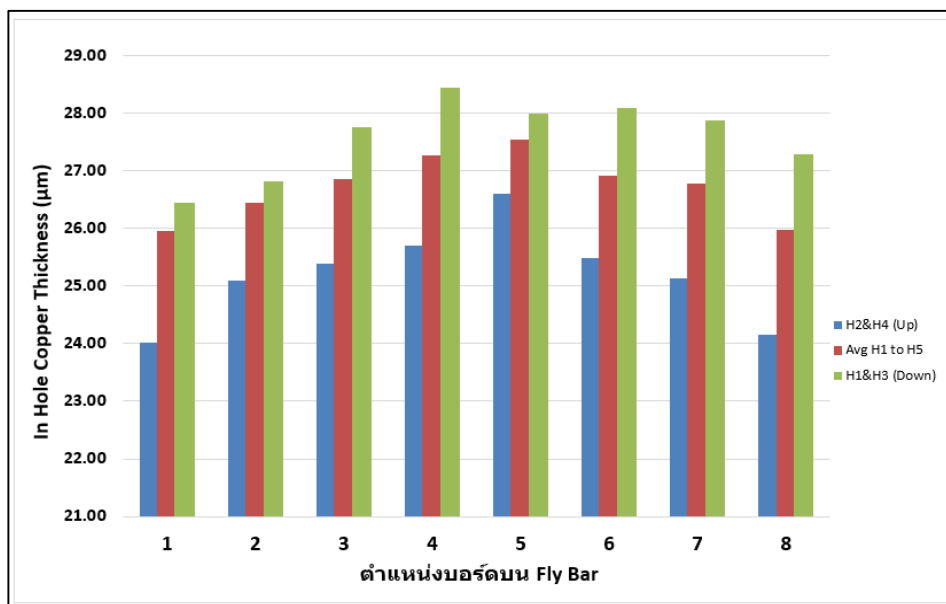
จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ตำแหน่ง Panel H2 และ H4 ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ดังนั้นจึงสามารถสรุปผลค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูกับตำแหน่ง Panel ภายในบอร์ดขณะชุบในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ได้ดังนี้

- ตำแหน่ง H1 ไม่แตกต่างกับตำแหน่ง H3 อย่างมีนัยสำคัญ
- ตำแหน่ง H2 ไม่แตกต่างกับตำแหน่ง H4 อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นจึงสามารถแบ่งโซนตามพื้นที่ค่าความหนาทองแดงในรูได้ดังนี้ คือตำแหน่ง H1และ H3 (Up) > ตำแหน่ง H5 (Middle) > ตำแหน่ง H2 และ H4 (down) และตำแหน่ง H4 (CQS) เป็นตำแหน่งที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวภายในบอร์ดต่ำที่สุด ผลแสดงดังรูปที่ 5.28





รูปที่ 5.28 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยทั้งหมด 5 รอบการชุบที่ตำแหน่ง H1 ถึง H5 ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ

### 5.3.4 ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine คือตำแหน่งบอร์ดงานที่หนีบอยู่บนแต่ละแถววางชิ้นงาน (fly bar) เพื่อลงชุบในบ่อ CU<sub>2</sub> Acid Plating Machine โดยในแต่ละแถววางชิ้นงาน (fly bar) จะประกอบไปด้วยบอร์ดงาน 8 บอร์ด โดยการทดสอบแบ่งเป็นบอร์ดงานแผ่นริม (แผ่นที่ 1 และแผ่นที่ 8) และบอร์ดงานแผ่นกลาง (แผ่นที่ 4 และแผ่นที่ 5) เนื่องจากจากสมมติฐานความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ

ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตำแหน่ง H2 และ H4 เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อให้เพียงพอกับการทดสอบสมมติฐาน

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 5.3.4.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

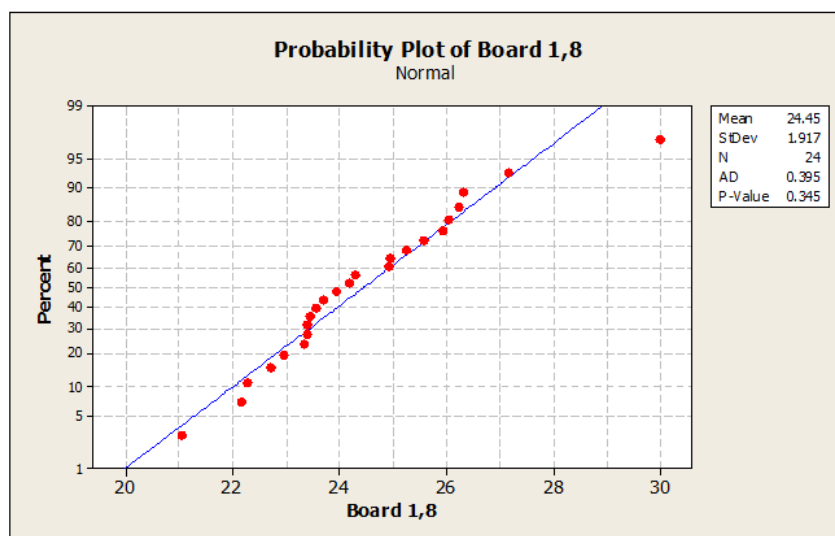
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H<sub>0</sub>: ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

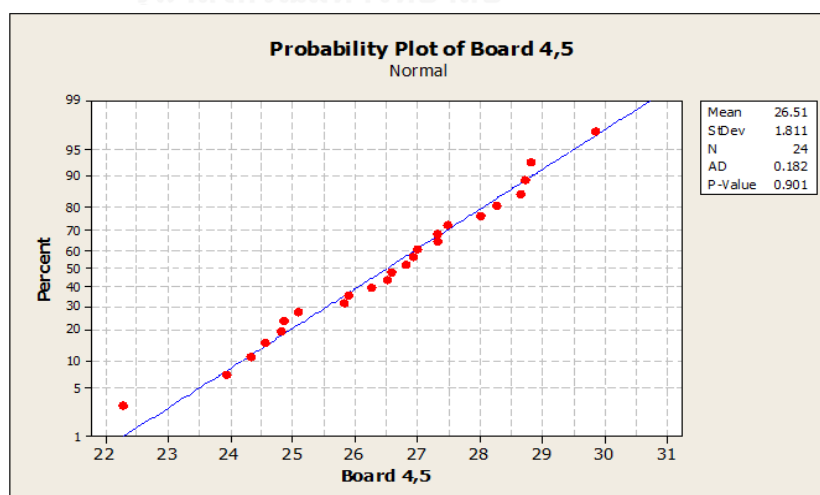
H<sub>1</sub>: ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายเป็นแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.29 และ 5.30

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.29 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง บอร์ดริม (1,8) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine



รูปที่ 5.30 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่ง บอร์ดกลาง (4,5) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

#### 5.3.4.2) การทดสอบสมมติฐาน

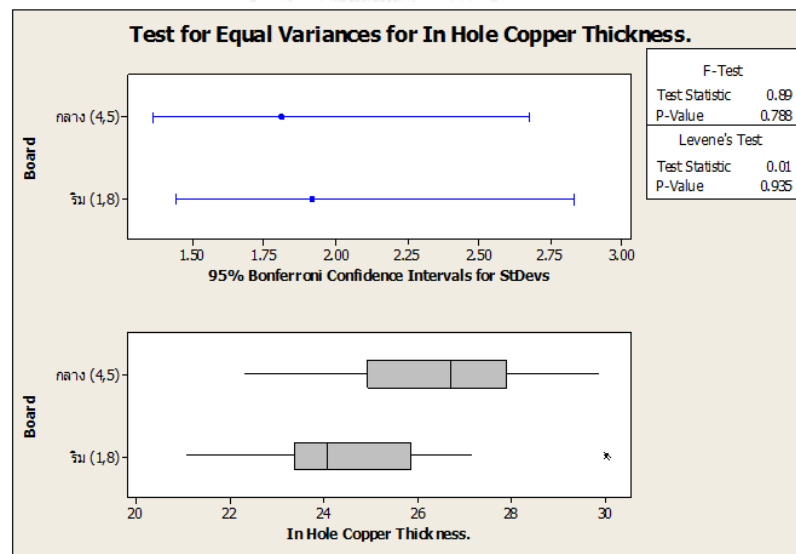
$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ตำแหน่งบอร์ดริม (1,8) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ตำแหน่งบอร์ดกลาง (4,5) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.31

**ตารางที่ 5.9** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก ตำแหน่งบอร์ดงานในแต่ละ fly bar ภายในบ่อชุบ Cu2 Electro plating

Test for Equal Variances: In Hole Copper Thickness. versus Board				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Board	N	Lower	StDev	Upper
กลาง (4,5)	24	1.35999	1.81122	2.67695
ริม (1,8)	24	1.43941	1.91699	2.83328
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 0.89, p-value = 0.788				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.01, p-value = 0.935				



**รูปที่ 5.31** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตำแหน่งบอร์ดงานบน แถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตำแหน่งบอร์ดงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากตำแหน่งบอร์ดงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

#### 5.3.4.3) สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ยคือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ตำแหน่งบอร์ดริม (1,8) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ CU-2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรมพิมพ์ ตำแหน่งบอร์ดกลาง (4,5) บนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ CU-2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.10** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Two-Sample T-Test and CI: Board 1,8, Board 4,5				
Two-sample T for Board 1,8 vs Board 4,5				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Board 1,8	24	24.45	1.92	0.39
Board 4,5	24	26.51	1.81	0.37
Difference = mu (Board 1,8) - mu (Board 4,5)				
Estimate for difference: -2.059				
95% CI for difference: (-3.143, -0.974)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.82 P-Value = 0.000 DF = 45				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า ตำแหน่งบอร์ดงานในแต่ละ fly bar ภายในบ่อชุบ CU-2 Electro plating มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### ➤ ผลการวิเคราะห์ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูตามตำแหน่ง panel ที่ชุบภายในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine แบ่งตามตำแหน่งบอร์ดบนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar)

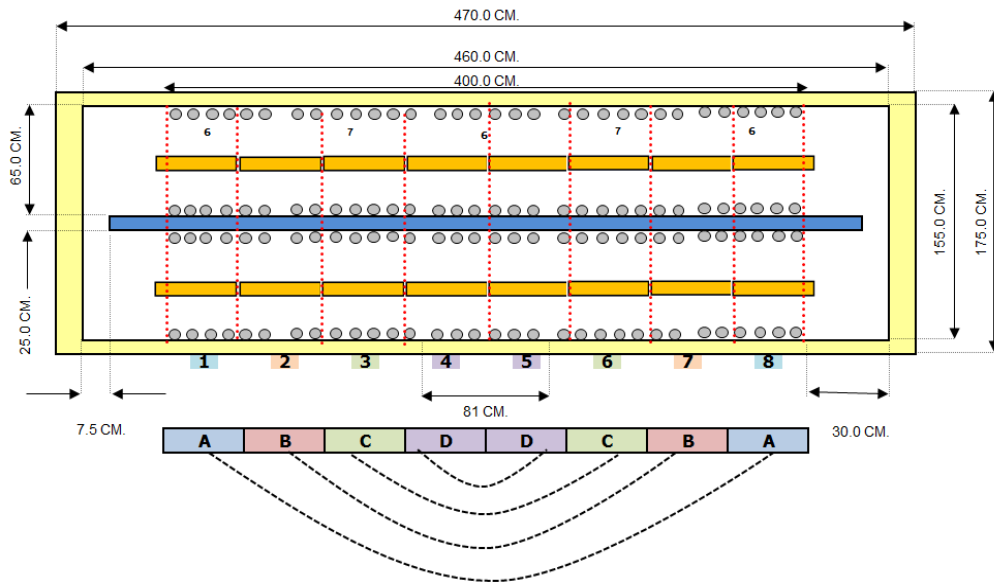
จากนั้นทำการวิเคราะห์ตำแหน่งชิ้นงานขณะชุบในบ่อ (ตำแหน่ง panel) ในกระบวนการชุบแผ่นในขั้นตอน Cu2 Acid Plating Machine ในแต่ละบอร์ดบนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) โดยการวิเคราะห์ตำแหน่งของแผ่นงานที่ใช้ชุบโดยแบ่งเป็น zone ตามสมมติฐานความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าภายในบ่อชุบแสดงดังรูปที่ 5.31 ทางผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูแบ่งตาม Zone ดังต่อไปนี้

Zone A ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 1 แผ่นที่ 8

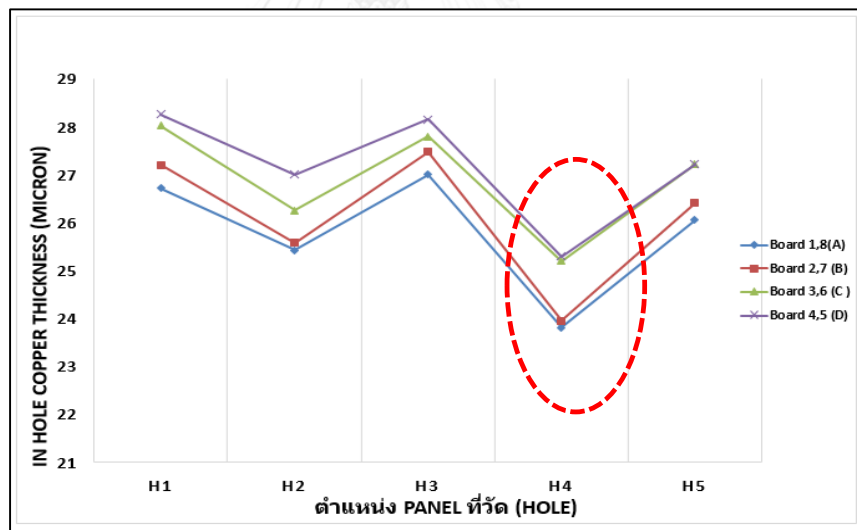
Zone B ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 2 แผ่นที่ 7

Zone C ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 3 แผ่นที่ 6

Zone D ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 4 แผ่นที่ 5



รูปที่ 5.32 ตำแหน่งชิ้นงานแบ่งเป็น zone ต่างๆภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

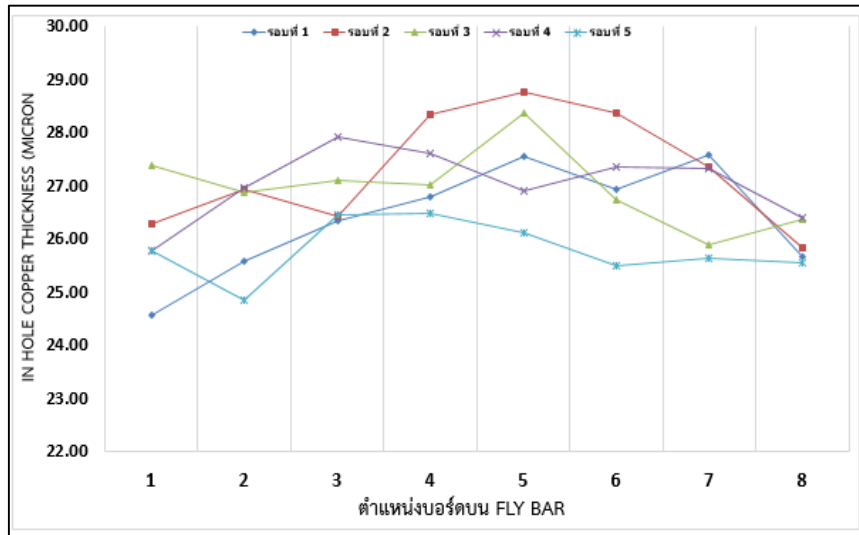


รูปที่ 5.33 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยทั้งหมด 5 รอบการชุบ (80 บอร์ด) ในแต่ละตำแหน่งที่วัดตาม zone ต่างๆ ภายในบ่อชุบ

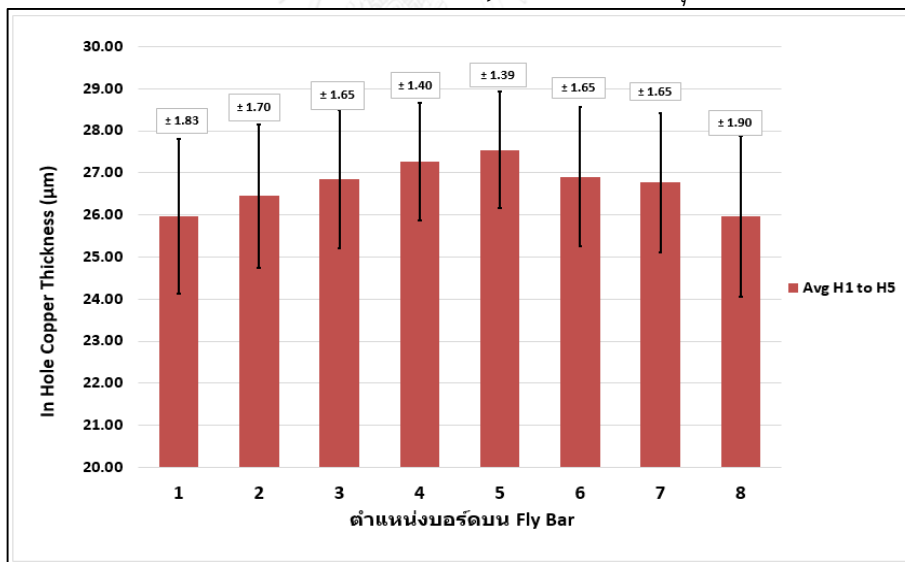
ผลในการวิเคราะห์แสดงในกราฟรูปที่ 5.33 แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่ง H4 เป็นตำแหน่งที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูต่ำที่สุดของทุก zone ภายในบ่อชุบ หรือกล่าวได้ว่าเป็นตำแหน่ง Panel ที่บางที่สุดของทุกบอร์ดภายในบ่อชุบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ตำแหน่ง H4 เป็นจุดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และเป็นจุดที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้เป็นจุด CQS ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

จากข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองชุบแผ่นงานจำนวน 5 รอบ ทางผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งชิ้นงานขณะลงชุบภายในบ่อโดยแบ่งวิเคราะห์ตามตำแหน่งบอร์ดงานที่อยู่บนแถวงาน

ชิ้นงาน (Fly Bar) จะเรียงชิ้นงานตั้งแต่บอร์ด 1 ถึงบอร์ดที่ 8 โดยเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละแถว วิเคราะห์ตำแหน่งที่ H1 ถึง H5 ของแต่ละบอร์ด โดยจะใส่ชิ้นงานลงชุบบนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) แบบเดียวกันทุกครั้งในรอบการชุบในกระบวนการชุบแผ่น  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine



รูปที่ 5.34 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) แต่ละรอบการชุบ (ตำแหน่งวัด H1 ถึง H5) ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ



รูปที่ 5.35 ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เฉลี่ย 5 รอบการชุบ (ตำแหน่งวัด H1 ถึง H5) ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ

จากรูปที่ 5.35 แสดงให้เห็นค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละบอร์ดภายในบ่อชุบ พบว่า ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยของแต่ละบอร์ดเป็นดังนี้ ตำแหน่งบอร์ด 1,8 < ตำแหน่งบอร์ด 2,7 < ตำแหน่งบอร์ด 3,6 < ตำแหน่งบอร์ด 4,5 หรืออธิบายเป็น Zone คือ (Zone A) < (Zone B) < (Zone C) < (Zone D)

ในส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H1 ถึง H5) ในแต่ละตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar ภายในบ่อชุบ พบว่าผลที่ได้จะตรงกันข้ามกับค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยของแต่ละบอร์ด ดังนี้ ตำแหน่งบอร์ด 1,8 > ตำแหน่งบอร์ด 2,7 > ตำแหน่งบอร์ด 3,6 > ตำแหน่งบอร์ด 4,5 หรืออธิบายเป็น Zone คือ (Zone A) > (Zone B) > (Zone C) > (Zone D)

ผลการทดลองเป็นไปตามข้อสมมติฐานตามบริเวณที่มีความหนาแน่นกระแสชุบมากที่สุดและน้อยที่สุด ซึ่งเป็นไปตามกฎการแยกสารด้วยไฟฟ้าของฟาราเดย์ ซึ่งกล่าวไว้ว่า "ปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงสมมูลของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าของเซลล์นั้น" เนื่องจากบริเวณตรงกลาง Fly Bar เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นกระแสชุบมากที่สุดและเป็นบริเวณที่มีสารอิเล็กโทรไลต์(CuSO<sub>4</sub>) เข้มข้นสูงเนื่องจากแกวตะแกรง Copper Anode อยู่เรียงกันหนาแน่น บอร์ดงานตรงกลาง (บอร์ดที่ 4,5) จึงมีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูสูงกว่าบอร์ดงานด้านข้าง (บอร์ดที่ 1,8)

### 5.3.5 ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ในกระบวนการชุบ dummy board จะใช้สำหรับหนีบแผ่นงานขอบข้างกันความหนาทองแดงที่มีใช้ผลิตอยู่ปัจจุบันมีทั้งหมด 2 คือ แผ่น CCL และ Stainless Steel

**ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ** คือ ตำแหน่ง H2 และ H4 เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อให้เพียงพอกับการทดสอบสมมติฐาน

**วิธีการทดสอบ** ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 5.3.5.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

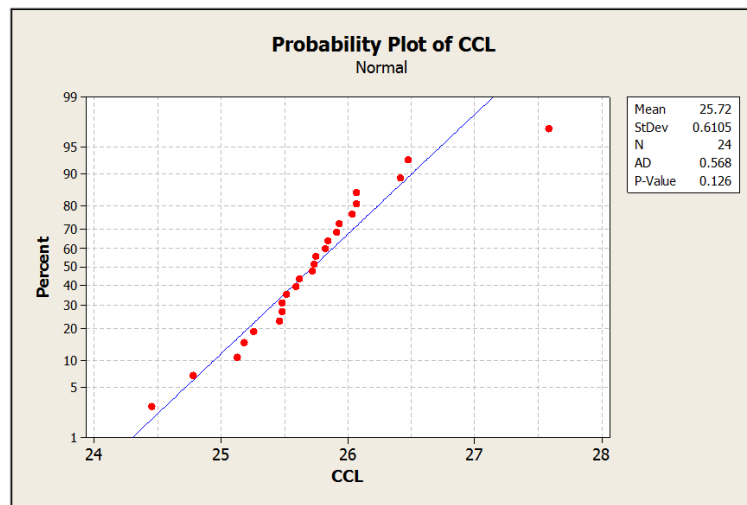
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H<sub>0</sub>: ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

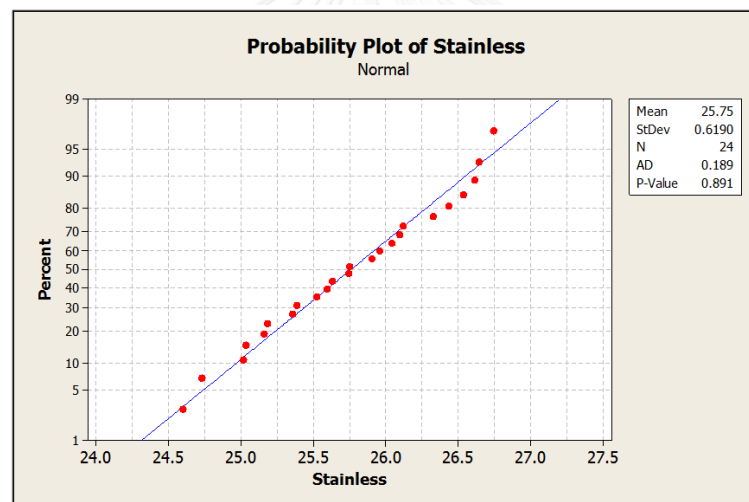
H<sub>1</sub>: ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.36 และ 5.37

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.36 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่ใช้ dummy เป็น CCL (Copper Clad laminate)



รูปที่ 5.37 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่ใช้ dummy เป็น Stainless Steel

#### 5.3.5.2) การทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

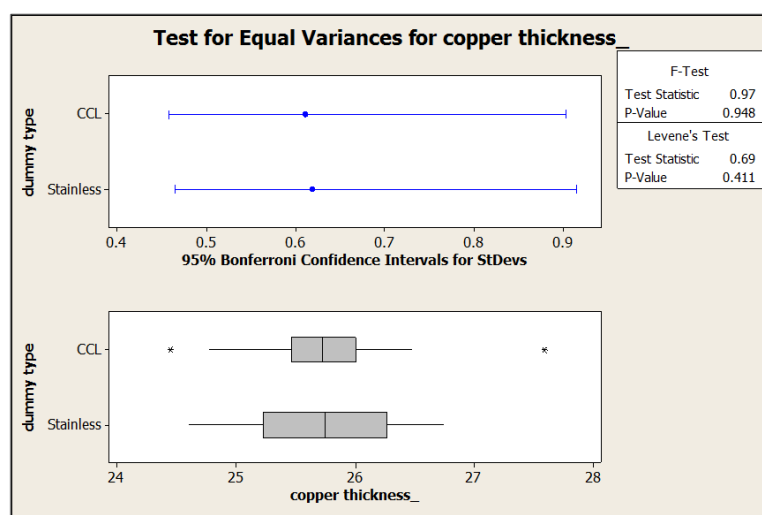
โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้ dummy ขอบเป็น CCL (Copper Clad laminate) ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ที่ใช้ dummy ขอบเป็น Stainless Steel ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.38



ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากชนิดของ dummy  
ขอบที่ใช้

Test for Equal Variances: copper thickness_ versus dummy type				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
dummy type	N	Lower	StDev	Upper
CCL	24	0.458402	0.610496	0.902304
Stainless	24	0.464755	0.618956	0.914808
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 0.97, p-value = 0.948				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.69, p-value = 0.411				



รูปที่ 5.38 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากชนิดของ dummy  
ขอบที่ใช้

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ตามชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์ที่เกิดจากชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

### 5.3.5.3 สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ยคือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้ dummy ขอบเป็น CCL (Copper Clad laminate) ภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine และกำหนดให้

$\mu_{y2}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้ dummy ขอบเป็น Stainless Steel ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.12** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากชนิดของ dummy ที่ใช้

Two-Sample T-Test and CI: CCL, Stainless				
Two-sample T for CCL vs Stainless				
	N	Mean	StDev	SE Mean
CCL	24	25.719	0.610	0.12
Stainless	24	25.753	0.619	0.13
Difference = mu (CCL) - mu (Stainless)				
Estimate for difference: -0.034				
95% CI for difference: (-0.391, 0.324)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.19 P-Value = 0.850 DF = 45				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ชนิดของ dummy ที่ใช้ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 5.3.6 จำนวนน็อตหนีบแผ่นงานต่อบอร์ด

จำนวนน็อตหนีบต่อแผ่นงาน ในกระบวนการชุบน็อตหนีบ (rack) ที่ถูกติดตั้งอยู่บนแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) ใช้สำหรับยึดแผ่นงานขณะลงชุบในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine

**ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ** คือ ตำแหน่ง H2 และ H4 เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อให้เพียงพอกับการทดสอบสมมติฐาน

**วิธีการทดสอบ** ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 5.3.6.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

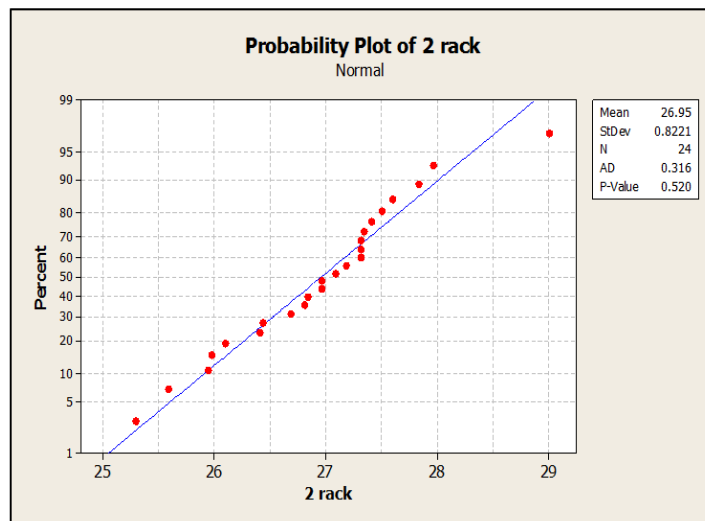
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

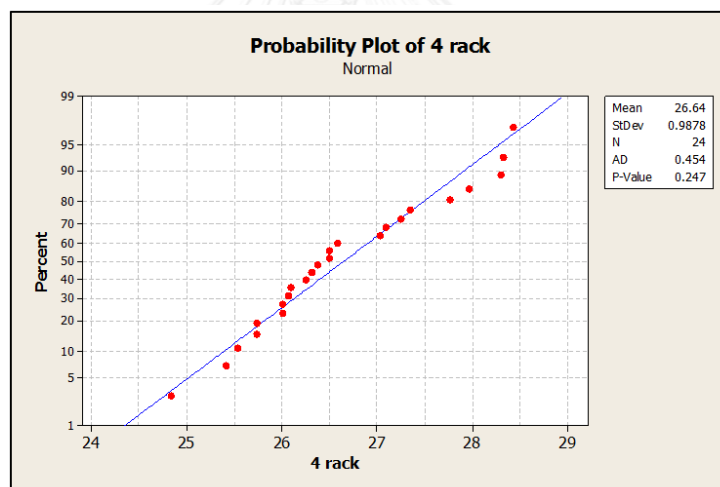
$H_1$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายเป็นแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.39 และ 5.40

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.39 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่หนีบด้วยจำนวนน็อตหนีบ (rack) 2 ตัว



รูปที่ 5.40 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่หนีบด้วยจำนวนน็อตหนีบ (rack) 4 ตัว

#### 5.3.6.2) การทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

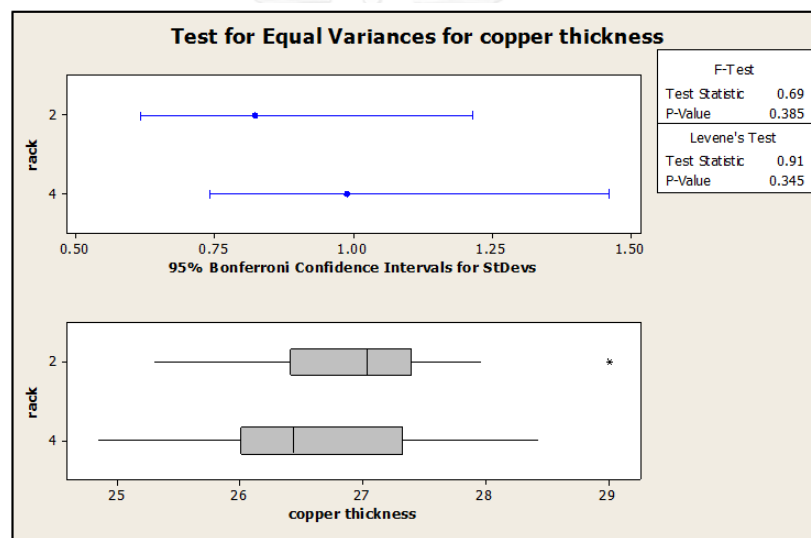
$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่หนีบด้วยจำนวนน็อตหนีบ (rack) 2 ตัว ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ ที่หนีบด้วยจำนวนน็อตหนีบ (rack) 4 ตัว ภายในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine ตามลำดับ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.12 และรูปที่ 5.41

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนน็อตหนีบแผ่นงานต่อบอร์ด

Test for Equal Variances: copper thickness versus rack				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
rack	N	Lower	StDev	Upper
2	24	0.617263	0.822065	1.21500
4	24	0.741707	0.987799	1.45995
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 0.69, p-value = 0.385				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.91, p-value = 0.345				



รูปที่ 5.41 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากจำนวนน็อตหนีบแผ่นงานต่อบอร์ด

5.3.6.3) สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ยคือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ชุบลงใบบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่หนีบด้วยจำนวนน็อตหนีบ (rack) 2 ตัว และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงใบบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่หนีบด้วยจำนวนน็อตหนีบ (rack) 4 ตัว ตามลำดับ

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากจำนวนเนื้อทึบแผ่นงานต่อบอร์ด

Two-Sample T-Test and CI: 2 rack, 4 rack				
Two-sample T for 2 rack vs 4 rack				
	N	Mean	StDev	SE Mean
2 rack	24	26.954	0.822	0.17
4 rack	24	26.644	0.988	0.20
Difference = mu (2 rack) - mu (4 rack)				
Estimate for difference: 0.310				
95% CI for difference: (-0.219, 0.839)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.18 P-Value = 0.244 DF = 44				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า จำนวนเนื้อทึบแผ่นงานต่อบอร์ดภายในบ่อชุบ CU-2 Electro plating ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

### 5.3.7 ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4$ ในบ่อ $\text{Cu}_2$ Acid Plating Machine

ความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine เป็นค่าความเข้มข้นของ Copper Sulfate ในสารละลายน้ำยาที่ใช้กระบวนการชุบทองแดงโดยใช้กระแสไฟฟ้า (Electro Plating) ของแผ่นงาน มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร (g/l) ในปัจจุบันค่ามาตรฐานควบคุมคือ 55-70 g/l ในการทดลองนี้ เก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 รอบการชุบ จึงแบ่งระดับการทดสอบออกเป็น 2 ระดับคือรอบการชุบรอบที่ 1 และรอบการชุบรอบที่ 5

ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตำแหน่ง H2 และ H4 เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อให้เพียงพอกับการทดสอบสมมติฐาน

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 5.3.7.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

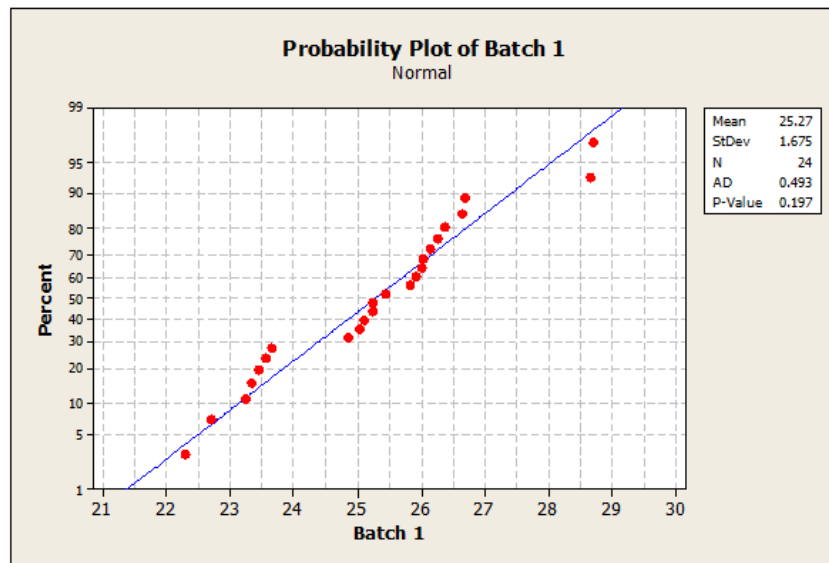
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

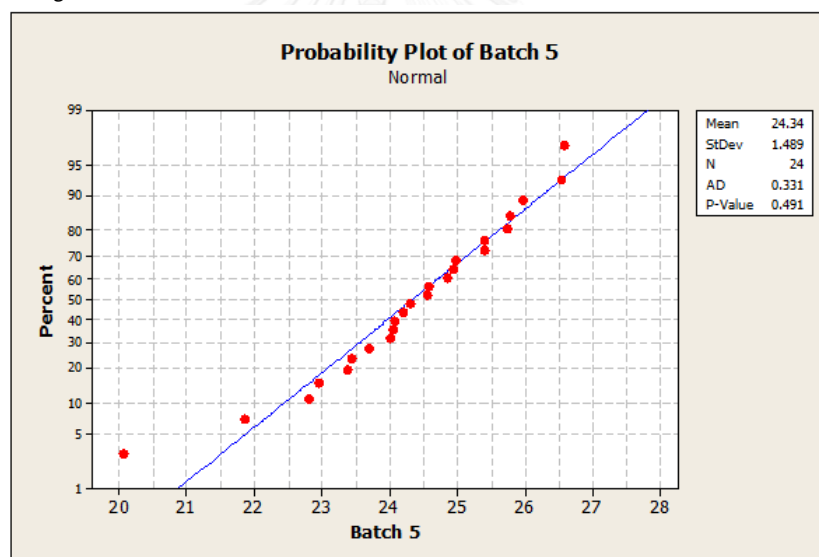
$H_1$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.42 และ 5.43

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.42 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  เท่ากับ 61.81 กรัมต่อลิตร (Batch 1)



รูปที่ 5.43 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  เท่ากับ 60.82 กรัมต่อลิตร (Batch 5)

#### 5.3.7.2) การทดสอบสมมติฐาน

$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

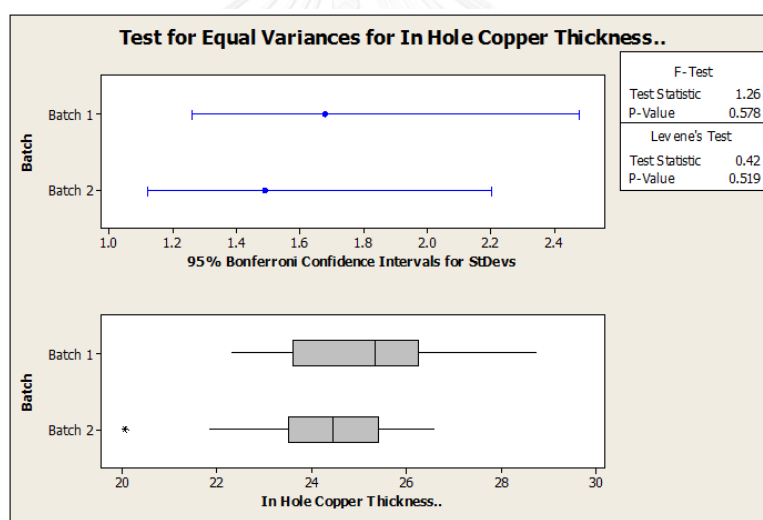
โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  เท่ากับ 61.81 กรัมต่อลิตร (Batch 1) และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของ

แผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงไนบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> เท่ากับ 60.82 กรัมต่อลิตร (Batch 5) ตามลำดับ

จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.15 และรูปที่ 5.44

**ตารางที่ 5.15** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ ชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

Test for Equal Variances: In Hole Copper Thickness.. versus Batch				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Batch	N	Lower	StDev	Upper
Batch 1	24	1.25764	1.67491	2.47549
Batch 2	24	1.11842	1.48950	2.20146
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 1.26, p-value = 0.578				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 0.42, p-value = 0.519				



**รูปที่ 5.44** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเข้มข้นของ

CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ ชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงไนบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

5.3.7.3) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ย คือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  เท่ากับ 61.81 กรัมต่อลิตร (Batch 1) และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  เท่ากับ 60.82 กรัมต่อลิตร (Batch 5) ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.16** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์ที่เกิดจากความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine

Two-Sample T-Test and CI: Batch 1, Batch 5				
Two-sample T for Batch 1 vs Batch 5				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Batch 1	24	25.27	1.67	0.34
Batch 5	24	24.34	1.49	0.30
Difference = mu (Batch 1) - mu (Batch 5)				
Estimate for difference: 0.933				
95% lower bound for difference: 0.164				
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 2.04 P-Value = 0.024 DF = 45				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### ➤ ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4$ ในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine

จากการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์ตำแหน่งชิ้นงานขณะชุบในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu2 Acid Plating Machine ในกระบวนการชุบแผ่นในขั้นตอน Cu2 Acid Plating Machine เพื่อหาตำแหน่งที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีต่อความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ซึ่งในการทดลองทางผู้วิจัยได้ใช้ตำแหน่ง H4 (จุด CQS) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูต่ำที่สุดของทุกบอร์ดและค่าความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ในแต่ละรอบการชุบ เพื่อลดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของกระบวนการชุบแผ่น และความผันแปรภายในบ่อชุบที่เกิดขึ้น วิเคราะห์จากข้อมูลดังต่อไปนี้

- 1) รุ่นผลิตภัณฑ์ A1 เก็บข้อมูลทั้งหมด 5 รอบ (16 บอร์ด/รอบการชุบ)
- 2) รุ่นผลิตภัณฑ์ A2 เก็บข้อมูลทั้งหมด 7 รอบ (18 บอร์ด/รอบการชุบ)

โดยหัวข้อที่ศึกษา มีดังต่อไปนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงภายในรูกับความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$



3. อัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยาต่อรอบการชุบ
4. ตำแหน่งชิ้นงานในบ่อชุบที่มีผลกับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู

### 1.) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา $\text{CuSO}_4$ ในบ่อ $\text{Cu}_2$ Acid Plating Machine กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5.45 และ 5.46 กราฟและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทองแดงในรู  $\text{Cu}_2$  layer ( $\mu\text{m}$ ) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 ได้สมการความสัมพันธ์แบบต่างๆ ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 รูปแบบแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูและค่า R-Squared ของความสัมพันธ์ในสมการรูปแบบต่างๆ ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2

Model	Equation	Trend line	R-Squared
A1	$y = 1.2079X - 58.616$	Linear	0.9711
	$y = 0.1284e^{0.0781x}$	Exponential	0.9742
A2	$y = 0.5175X - 15.104$	Linear	0.9207
	$y = 0.19205e^{0.0353x}$	Exponential	0.9239

ค่า R-Squared หรือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) คือตัวสถิติที่ใช้วัดว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้ี้มีความสมรูปกับข้อมูลมากน้อยอย่างไร ดังนั้นหากมีสมการมีค่า R-squared สูง ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R-squared อย่างน้อย 0.75 (Haaland , 1989 และ Hu , 1999) หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก ค่า R-squared มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ R-squared = 0 ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นไม่สามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนอง ต่างที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เลย

ส่วน R-squared = 1 แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นสามารถอธิบายความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนอง ต่างที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

ในการเลือกใช้สมการในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทองแดงในรู  $\text{Cu}_2$  layer ( $\mu\text{m}$ ) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  (g/l) จะเลือกใช้จากค่า R-Squared จากตารางที่ 5.17 จึงเลือกใช้สมการความสัมพันธ์แบบ Exponential ทั้งรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$y = 0.1284e^{0.0781x}; R^2 = 0.9742 \quad (1)$$

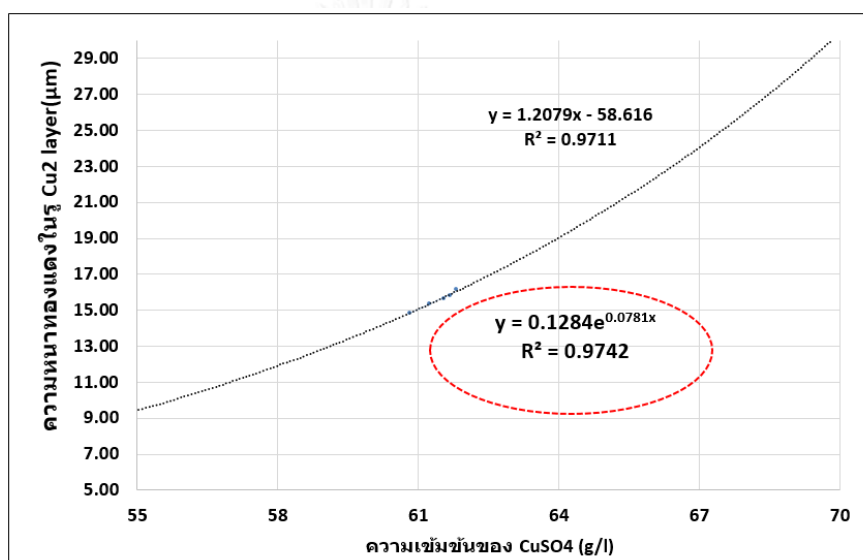
$$y = 0.19205e^{0.0353x}; R^2 = 0.9239 \quad (2)$$

โดยที่  $x$  = ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$ (g/l)

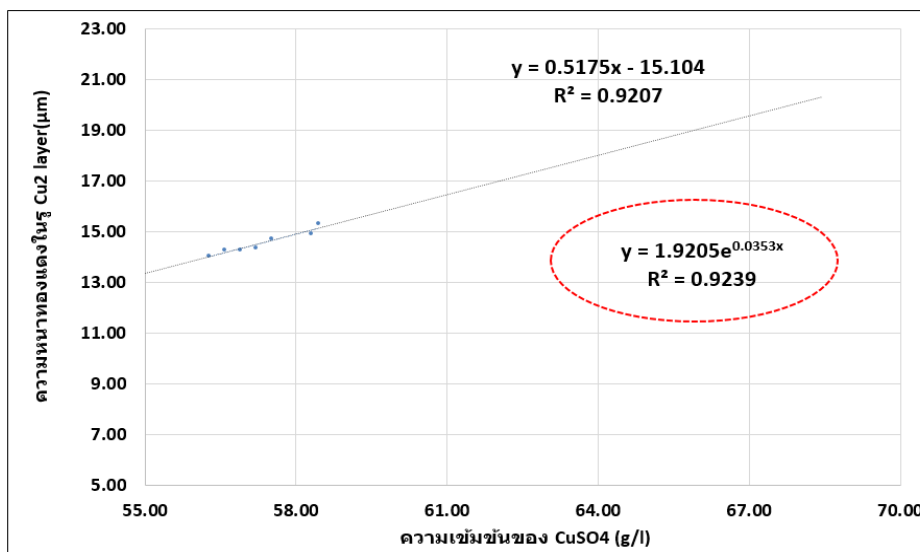
$Y$  = ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ )

โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 มีค่า R Square = 0.9742 หรือ 97.42 % ค่า R Square นี้อธิบายได้ว่า ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ ) ( $y$ ) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$ (g/l) ( $x$ ) 97.42 % ส่วนที่เหลืออีก 2.58 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้

โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ A3 มีค่า R Square = 0.9239 หรือ 92.39 % ค่า R Square นี้อธิบายได้ว่า ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ ) ( $y$ ) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$ (g/l) ( $x$ ) 92.39 % ส่วนที่เหลืออีก 7.61 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้



รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทองแดงในรู  $\text{Cu}_2$  layer ( $\mu\text{m}$ ) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของแสงในรู Cu<sub>2</sub> layer (μm) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A2

## 2.) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาของแสงภายในรูกับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub>

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาของแสงภายในรูกับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> แสดงดังรูปที่ 5.47 และ 5.48 กราฟและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของแสงในรู Cu<sub>2</sub> layer (μm) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 ได้สมการความสัมพันธ์แบบต่างๆ ดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 รูปแบบแนวโน้มค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาของแสงภายในรูกับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> และค่า R-Squared ของความสัมพันธ์ในสมการรูปแบบต่างๆ ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2

Model	Equation	Trend line	R-Squared
A1	$y = 0.4437x - 25.829$	Linear	0.7173
	$y = 5E-09e^{0.3161x}$	Exponential	0.7618
A2	$y = 0.314x - 16.401$	Linear	0.902
	$y = 2E-05e^{0.1943x}$	Exponential	0.9072

ในการเลือกใช้สมการในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาของแสงภายในรู (ตำแหน่ง H4) กับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> จึงเลือกใช้จากค่า R-

Squared จากตารางที่ 5.17 จึงเลือกใช้สมการความสัมพันธ์แบบ Exponential ทั้งรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$y = 5E-09e^{0.3161x}; R^2 = 0.7618 \quad (3)$$

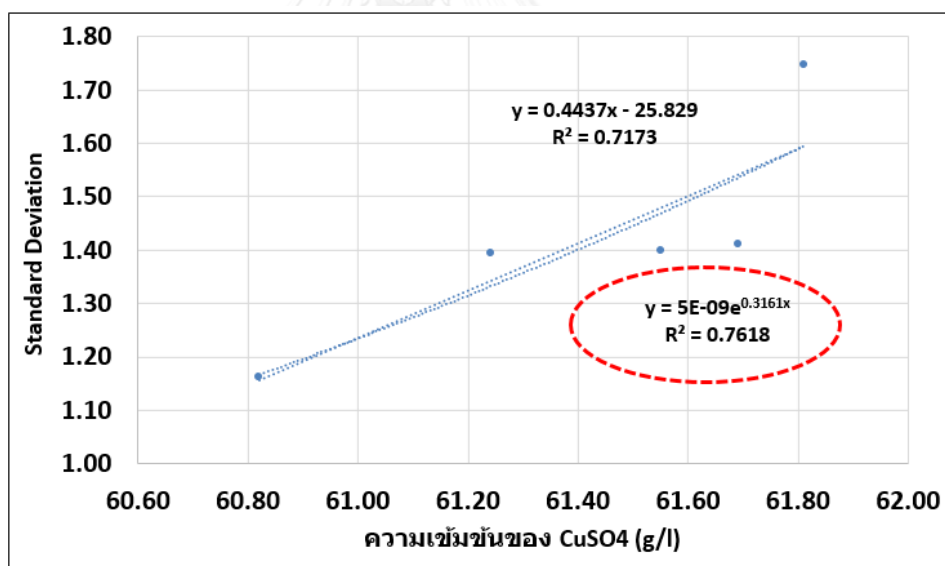
$$y = 2E-05e^{0.1943x}; R^2 = 0.9072 \quad (4)$$

โดย  $x$  = ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l)

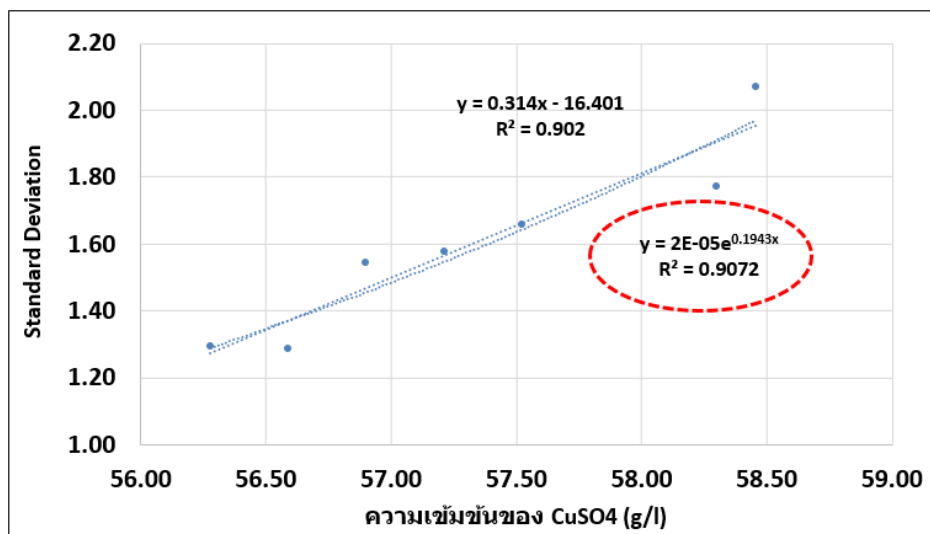
$Y$  = ค่า SD ของความหนาทองแดงภายในรู

โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 มีค่า R Square = 0.7618 หรือ 76.18% ค่า R Square นี้อธิบายได้ว่า ค่า SD ของความหนาทองแดงภายในรู ( $y$ ) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ( $x$ ) 76.18 % ส่วนที่เหลืออีก 23.82 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้

โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ A2 มีค่า R Square = 0.9072 หรือ 90.72% ค่า R Square นี้อธิบายได้ว่า ค่า SD ของความหนาทองแดงภายในรู ( $y$ ) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ( $x$ ) 90.72 % ส่วนที่เหลืออีก 9.28 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้



รูปที่ 5.47 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) กับความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 5.48 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาของแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) กับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A2

### 3.) อัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> ต่อรอบการชุบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> ต่อรอบการชุบแสดงดังรูปที่ 5.49 และ 5.50 กราฟและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> ต่อรอบการชุบ ได้สมการความสัมพันธ์แบบต่างๆ ดังตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 รูปแบบแนวโน้มและค่า R-Squared ของความสัมพันธ์ในสมการรูปแบบต่างๆ

Model	Equation	Trend line	R-Squared
A1	$y = -0.243X + 62.151$	linear	0.9310
	$y = 62.155e^{-0.004x}$	Exponential	0.9299
A2	$y = -0.3776X + 58.832$	Linear	0.9747
	$y = 58,845e^{-0.007x}$	Exponential	0.9759

ในการเลือกใช้สมการในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> ต่อรอบการชุบ จึงเลือกใช้จากค่า R-Squared จากตารางที่ 6.3 จึงเลือกใช้สมการความสัมพันธ์แบบ linear ในรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ สมการความสัมพันธ์แบบ Exponential ในรุ่นผลิตภัณฑ์ A2 ดังสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$y = -0.243x + 62.151; R^2 = 0.9310 \quad (5)$$

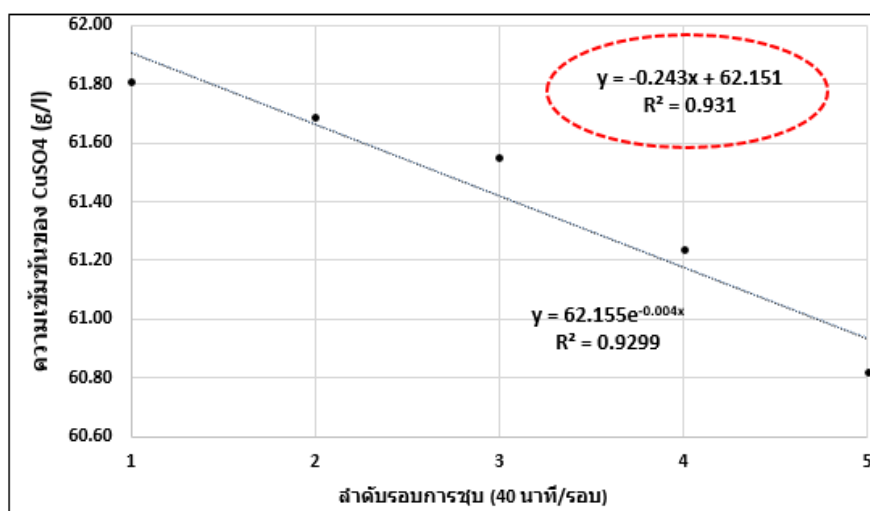
$$y = 58,845e^{-0.007x}; R^2 = 0.9759 \quad (6)$$

โดย X = ลำดับรอบการชุบ (40 นาที/16 บอร์ด/รอบ)

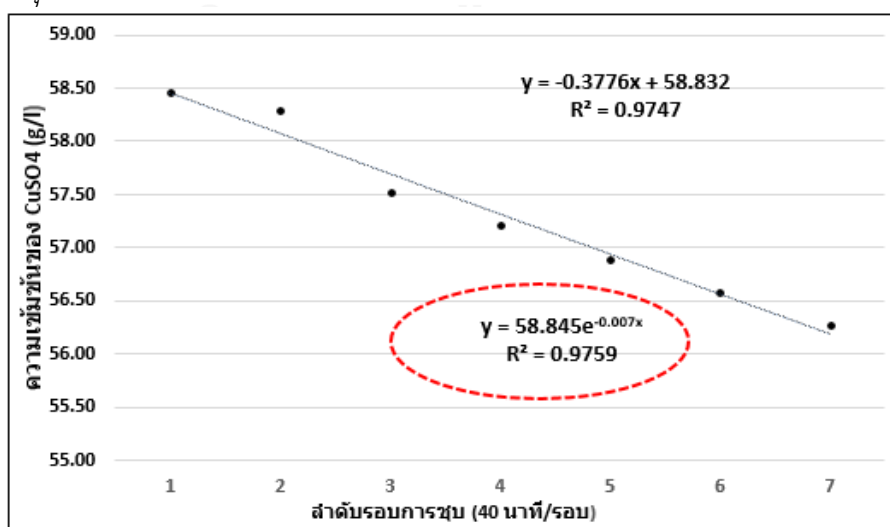
Y = ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ )

โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 มีค่า R Square = 0.9310 หรือ 93.10 % ค่า R Square นี้้อธิบายได้ว่า ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ ) (y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร ลำดับรอบการชุบ (x) 93.10 % ส่วนที่เหลืออีก 6.90 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้

โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ A2 มีค่า R Square = 0.9759 หรือ 97.59 % ค่า R Square นี้้อธิบายได้ว่า ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ ) (y) ที่ได้เป็นผลหรืออิทธิพลจากตัวแปร ลำดับรอบการชุบ (x) 97.59 % ส่วนที่เหลืออีก 2.41 % เป็นผลจากตัวแปรหรือปัจจัยอื่นที่ไม่ทราบได้



รูปที่ 5.49 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ต่อรอบการชุบ ในรุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 5.50 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ต่อรอบการชุบ ในรุ่นผลิตภัณฑ์ A2

#### 4) ตำแหน่งชิ้นงานในบ่อชุบที่มีผลกับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู

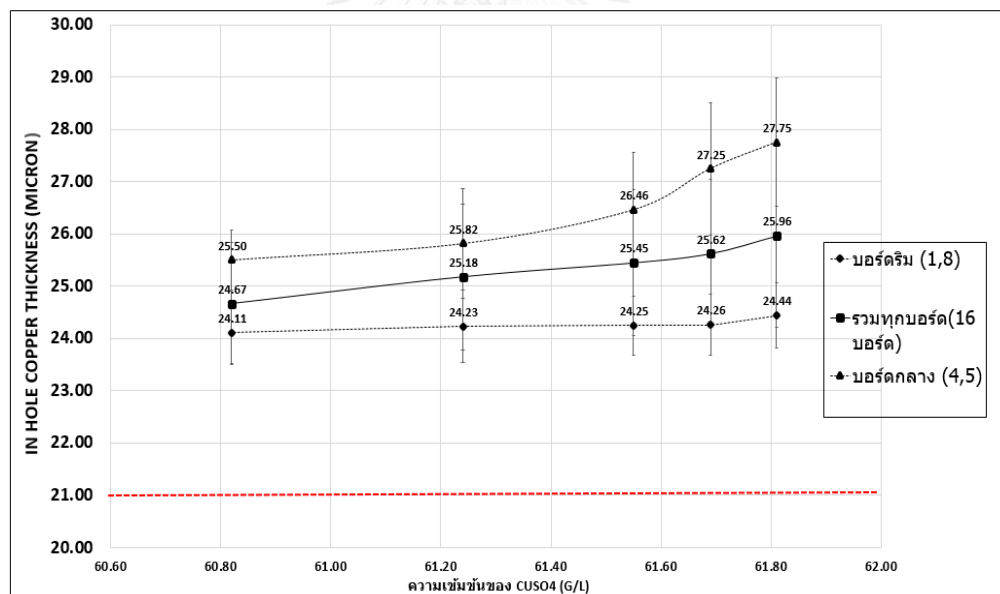
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูตามตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูที่ตำแหน่ง H4 ของชิ้นงานตามตำแหน่งที่ชุบภายในบ่อและความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ในแต่ละรอบการชุบ โดยแบ่งเป็นตำแหน่งตามรุ่นผลิตภัณฑ์คือ

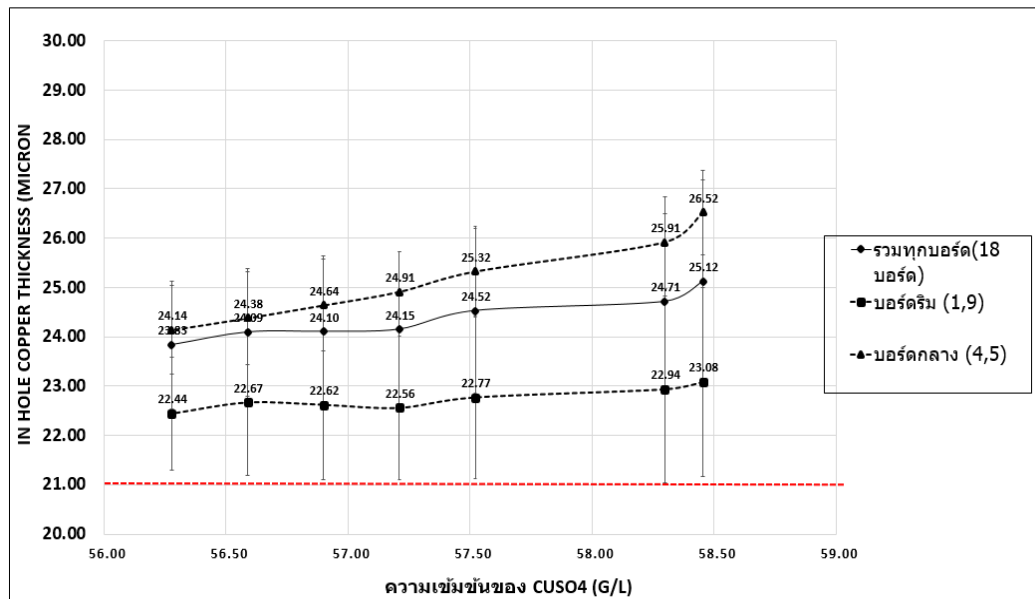
รุ่นผลิตภัณฑ์ A1 เป็นเป็นบอร์ดริม คือบอร์ด 1 และ 8 และตำแหน่งบอร์ดกลาง คือบอร์ด 4 และ 5 (16 บอร์ด/รอบการชุบ)

รุ่นผลิตภัณฑ์ A2 เป็นเป็นบอร์ดริม คือบอร์ด 1 และ 9 และตำแหน่งบอร์ดกลาง คือบอร์ด 4, 5, และ 6 (18 บอร์ด/รอบการชุบ)

โดยแบ่งตามข้อสมมติฐานตามบริเวณที่มีความหนาแน่นกระแสชุบมากที่สุดและน้อยที่สุด ผลที่ได้ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 แสดงดังรูปที่ 5.51 และ 5.52 ตามลำดับ

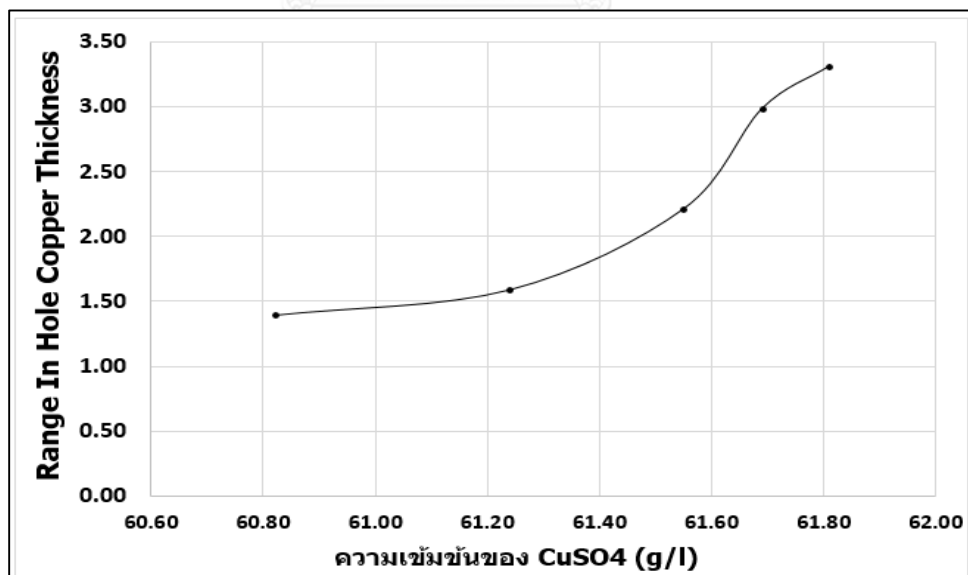


รูปที่ 5.51 ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/L) กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) ตามตำแหน่งชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar รุ่นผลิตภัณฑ์ A1



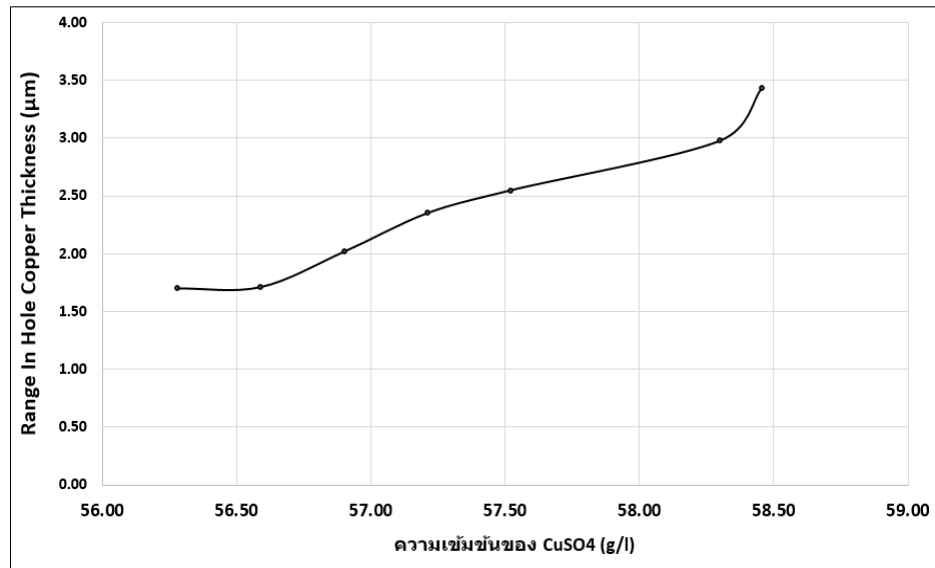
รูปที่ 5.52 ความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) ตามตำแหน่งชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ค) บน fly bar รุ่นผลิตภัณฑ์ A2

4.2 ความสัมพันธ์ความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) กับพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) จากผลต่างบอร์คกลาง (Max) กับบอร์คริม (Min)



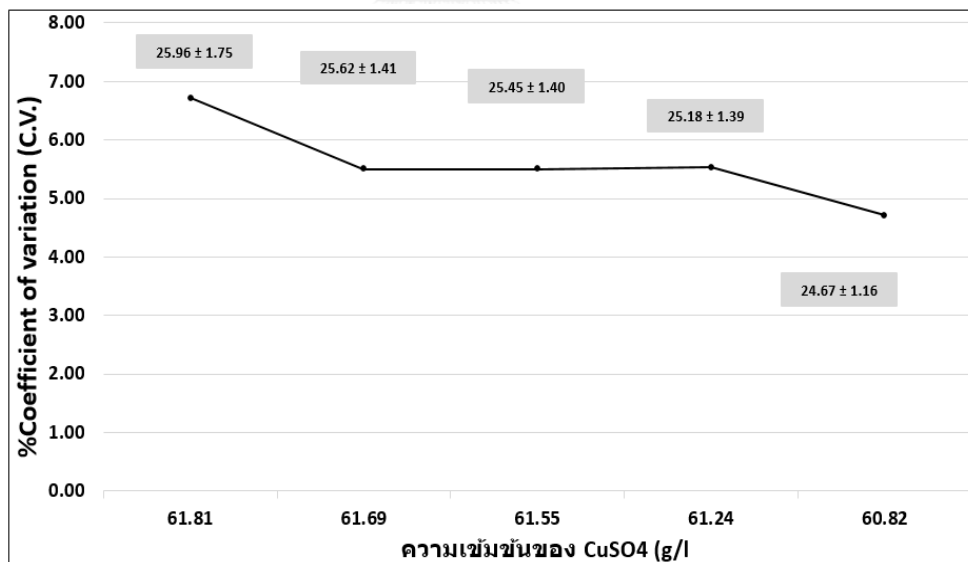
รูปที่ 5.52 ความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) กับพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) จากผลต่างบอร์คกลาง (Max) กับบอร์คริม (Min) รุ่นผลิตภัณฑ์ A1



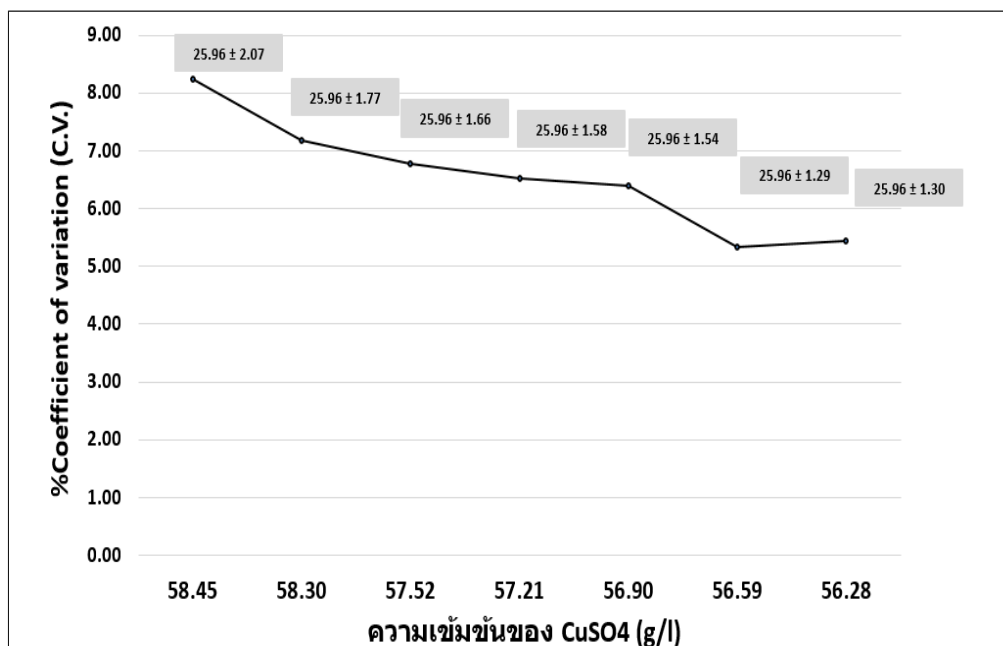


รูปที่ 5.53 ความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) กับพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) จากผลต่างบอร์ตกกลาง(Max) กับบอร์ตริม (Min) รุ่นผลิตภัณฑ์ A2

4.3 ความสัมพันธ์ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation ; C.V.) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l)



รูปที่ 5.54 ความสัมพันธ์ของ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation ; C.V.) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) รุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 5.55 ความสัมพันธ์ของ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation ; C.V.)

ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) รุ่นผลิตภัณฑ์ A2

จากรูป 5.51 และรูป 5.52 จะพบว่าทั้งรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 เมื่อความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) มีค่าลดลงค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ที่ตำแหน่ง บอร์ดริม บอร์ดกลาง และรวมทุกบอร์ดบน fly bar มีค่าลดลง โดยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่ ตำแหน่งบอร์ดกลาง Fly Bar จะสูงกว่าตำแหน่งบอร์ดริมทุกความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) แต่ในรุ่น ผลิตภัณฑ์ A2 ที่บอร์ดริมจะมีค่า SD สูงกว่ารุ่นผลิตภัณฑ์ A1 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากรุ่นผลิตภัณฑ์ A2 จะลงชุบ 9 บอร์ดต่อแถววางชิ้นงาน แต่รุ่นผลิตภัณฑ์ A1 จะลงชุบ 8 บอร์ดต่อแถววางชิ้นงาน ซึ่ง อาจเกิดจาก %Overlap ของชิ้นงานภายในบ่อชุบซึ่งจะวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาในบทที่ 6 โดยจะ ทำการศึกษาเฉพาะรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 เท่านั้นเนื่องจากมียอดการผลิตสูงสุด และเมื่อทำการศึกษา % สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation ; C.V.) ที่ตำแหน่ง H4 (CQS) กับความเข้มข้น น้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) ในแต่ละรอบการชุบ จะพบว่าทั้งรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 ยิ่งความเข้มข้นของ น้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) ลดลงค่า %C.V. จะมีค่าลดลงด้วยแสดงให้เห็นถึงค่าความผันแปรภายในบ่อชุบที่ ลดลง เนื่องมาจาก CuSO<sub>4</sub> ที่มีอยู่ในน้ำยาจะแยกสารละลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ 2 ส่วน คืออนุภาค ทองแดง (Cu<sup>++</sup>) กับ ซัลเฟต (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) และมีอิทธิพลต่อค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ยิ่งสารละลายมี ความเข้มข้นสูงจะยิ่งส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่สูงขึ้น มีผลต่อค่า ความผันแปรภายในบ่อชุบที่สูงขึ้น และจากการศึกษาค่าความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) กับพิสัย ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) โดยคำนวณจากผลต่างบอร์ดกลาง (Max) กับบอร์ด ริม (Min) ในรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 แสดงให้เห็นว่าค่าพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> (g/l) มีค่าลดลง หรือกล่าวได้ว่าค่าความ

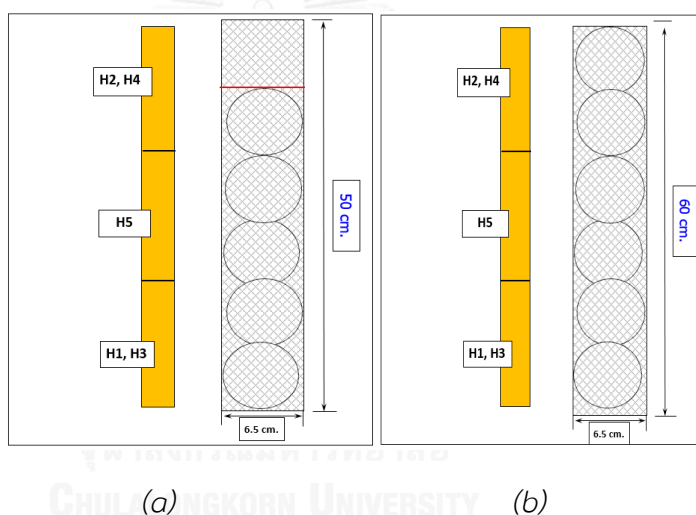
ทองแดงเคลือบผิวในรูที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ของบอร์ดริมนจะมีค่าเข้าใกล้กับบอร์ดกลางบน fly bar มากขึ้น

สรุปได้ว่าเมื่อความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) มีค่าลดลงค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ของทุบบอร์ดบน fly bar มีค่าลดลง และมีผลให้ค่าความผันแปรภายในบ่อชุบลดลง เนื่องจากส่งผลให้ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation ; C.V.) และค่าพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูมีค่าลดลงตามไปด้วย

### 5.3.8 ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ $\text{Cu}_2$ Acid Plating

#### Machine

การทดลองปัจจัยนี้เป็นการเพิ่มลูก Copper Anode ที่ 2 ระดับคือขอบตะแกรงล่าง (50 cm) และขอบตะแกรงบน (60 cm) โดยตำแหน่งชิ้นงานและตำแหน่งปริมาณลูก Copper Anode ที่เติมแสดงดังรูปที่ 5.53 (a) และ 5.53 (b)



รูปที่ 5.53 การเติม Copper Anode ตะแกรงที่สูง ( $H_0=50$  cm) และการเติม Copper Anode

ตะแกรงที่สูง ( $H_1=60$  cm) ภายในบ่อชุบ (b)

ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ คือ ตำแหน่ง H2 และ H4 เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเพื่อให้เพียงพอกับการทดสอบสมมติฐาน

วิธีการทดสอบ ใช้การทดสอบด้วย 2 sample t-test และจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ 24 ตัวอย่าง จากการคำนวณสิ่งตัวอย่างในหัวข้อ 5.2.5

#### 5.3.8.1) การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ

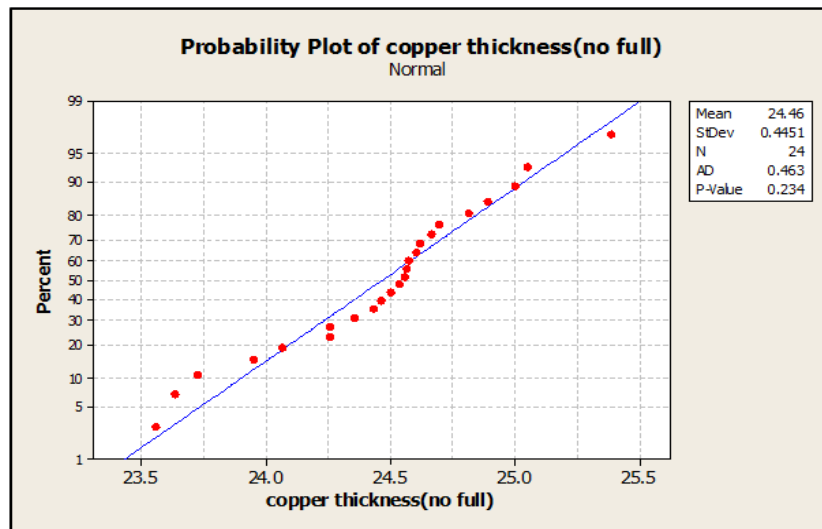
โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

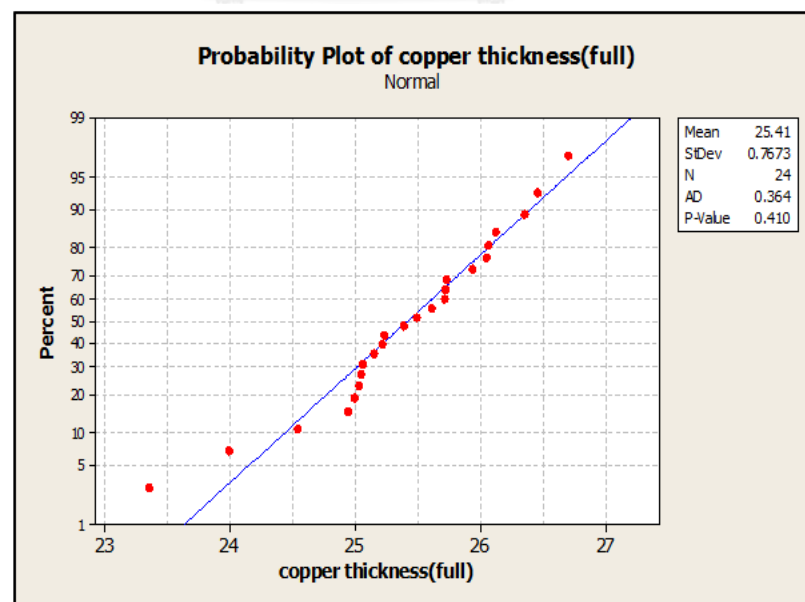
$H_1$ : ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า ข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีการกระจายเป็นแบบปกติด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 5.54 และ 5.55

ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายแบบปกติ ดังนั้นจึงใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F-Test เพื่อทดสอบความแปรปรวน และใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย



รูปที่ 5.54 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง ( $H_0=50$  cm)



รูปที่ 5.55 กราฟ Normality Plot ของความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง ( $H_1=60$  cm)

## 5.3.8.2 การทดสอบสมมติฐาน

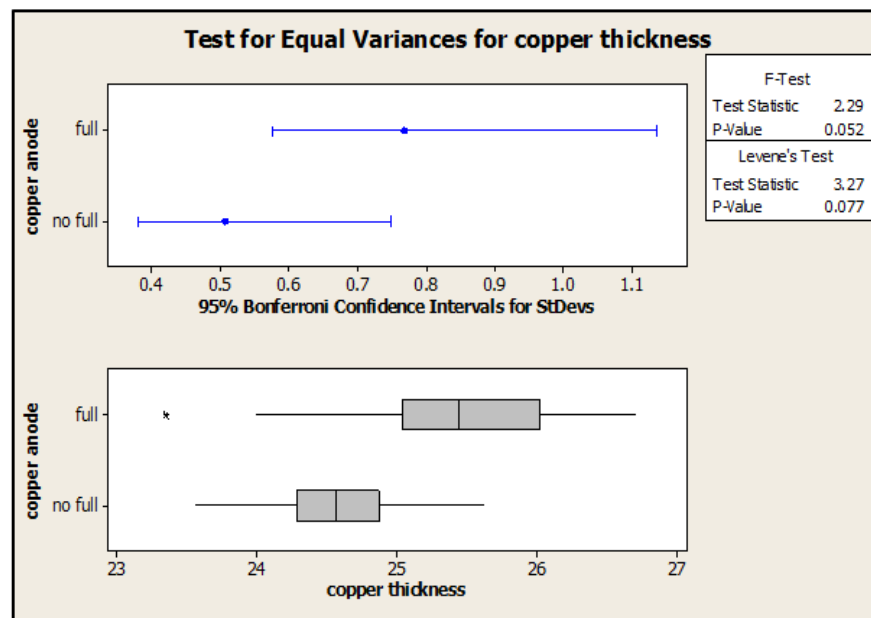
$$H_0: \sigma_{y1}^2 = \sigma_{y2}^2$$

$$H_1: \sigma_{y1}^2 \neq \sigma_{y2}^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_{y1}^2$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง ( $H_0=50$  cm) และกำหนดให้  $\sigma_{y2}^2$  และ  $\mu_{y2}$  แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง ( $H_0=60$  cm) จากการตรวจสอบด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังตารางที่ 5.20 และรูปที่ 5.56

**ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากปริมาณ copper anode ในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine**

Test for Equal Variances: copper thickness versus copper anode				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
copper				
anode	N	Lower	StDev	Upper
full	24	0.576120	0.767271	1.13402
no full	24	0.380586	0.506860	0.74913
F-Test (Normal Distribution)				
Test statistic = 2.29, p-value = 0.052				
Levene's Test (Any Continuous Distribution)				
Test statistic = 3.27, p-value = 0.077				



**รูปที่ 5.56 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากปริมาณ copper anode ในบ่อชุบ Cu2 Acid Plating Machine**

จากผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงใบบ่อ Cu2 Acid Plating Machine พบว่าค่า P-Value (F-Test) มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

5.3.8.3) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์ที่เกิดจากปริมาณ copper anode ในบ่อชุบ CU2 Electro plating สมมติฐานทดสอบค่าเฉลี่ย คือ

$$H_0: \mu_{y1} = \mu_{y2}$$

$$H_1: \mu_{y1} \neq \mu_{y2}$$

โดยกำหนดให้  $\mu_{y1}$  แทนค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงใบบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง ( $H_0=50$  cm) และกำหนดให้  $\mu_{y2}$  แทนค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ชุบลงใบบ่อ Cu2 Acid Plating Machine ที่มีปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงสูง ( $H_0=60$  cm) ตามลำดับ

**ตารางที่ 5.21** ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์ที่เกิดจากปริมาณ copper anode ในบ่อชุบ Cu2 Electro plating

Two-Sample T-Test and CI: copper thickness(no full), copper thickness(full)				
Two-sample T for copper thickness(no full) vs copper thickness(full)				
	N	Mean	StDev	SE Mean
copper thickness(no full)	24	24.465	0.445	0.091
copper thickness(full)	24	25.411	0.767	0.16
Difference = mu (copper thickness(no full)) - mu (copper thickness(full))				
Estimate for difference: -0.947				
95% CI for difference: (-1.311, -0.582)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -5.23 P-Value = 0.000 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.6272				

จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่า ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu2 Acid Plating Machine มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 5.22 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความหนาทองแดงในรู

ลำดับ	ปัจจัย	วิธีการทดสอบสมมติฐาน	P-Value	สรุปผลการทดลอง
1	ตำแหน่ง fly bar	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ตำแหน่ง fly bar ในบ่อชุบ ได้แก่ Front Bar และ Back bar	0.263	ไม่มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ
2	ตำแหน่งรูที่วัด	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ตำแหน่ง panel ขอบด้านบน (Up) และตำแหน่ง panel ขอบด้านล่าง (down)	<0.005	มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ
3	ตำแหน่งบอร์ดงาน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ตำแหน่งบอร์ดงานบน fly bar ในบ่อชุบ ได้แก่ บอร์ดริม และ บอร์ดกลาง	<0.005	มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ
4	ชนิดของ dummy	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ แผ่น CCL และ Stainless Steel	0.850	ไม่มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ
5	จำนวน <u>น็อต</u> หนีบแผ่นงาน	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ <u>น็อต</u> หนีบ (rack) แผ่นงานขณะลงชุบ 2 ตัวและ 4 ตัว	0.244	ไม่มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ
6	ความเข้มข้นของ $CuSO_4$	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ รอบการชุบที่ 1 และรอบการชุบที่ 5 และใช้สมการพยากรณ์	<0.005	มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ
7	ปริมาณ copper anode	กำหนดระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ตะแกรงทองแดงที่ขอบล่าง ( $H_0 = 50$ cm) และตะแกรงทองแดงขอบบน ( $H_1 = 60$ CM)	<0.005	มีผลต่อความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 7 ปัจจัยที่ได้คัดเลือกมาจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ดังตารางที่ 5.22 พบว่ามีเพียง 4 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยลำดับที่ 2,3,6 และ 7 ที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของการผลิตแผ่น PCB ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ตำแหน่งรูที่วัด, ตำแหน่งบอร์ดงาน, ความเข้มข้นของ  $CuSO_4$  และ ปริมาณ copper anode ดังนั้นขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

## บทที่ 6

### ปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

#### 6.1 บทนำ

หลังจากการทดสอบความมีนัยสำคัญเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูจากขั้นตอนวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนต่อไปในการดำเนินการ คือ การนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญมาทำการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ 4 ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ คือ

- เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูในสถานะต่างๆ และลดค่าความผันแปรของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูภายในกระบวนการชุบแผ่นของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
- เพื่อกำหนดสถานะของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ได้แก่ ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine, ตำแหน่งลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ, ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU-2 Acid Plating Machine, ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่ทำให้ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

#### 6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

1. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
2. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU<sub>2</sub> Acid Plating Machine
3. ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
4. ตำแหน่งลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

#### 6.3 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ผู้ทำการศึกษาสนใจที่จะศึกษาผลกระทบของปัจจัยนำเข้าที่มีต่อค่าความหนาทองแดงในเคลือบผิวในรูของกระบวนการชุบแผ่น และความผันแปรภายในบ่อชุบที่เกิดขึ้นในแต่ละปัจจัย ดังนั้นตัวแปรตอบสนองคือค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

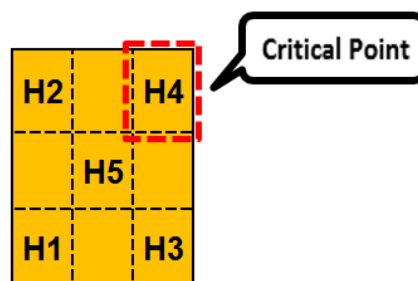


(Standard Deviation) ที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับของปัจจัย และ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; C.V.)

#### 6.4 วิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าสำคัญ

##### 1. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ตำแหน่ง Panel ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สาเหตุปัญหาและปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจะใช้ตำแหน่ง H4 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ความหนาทองแดงในรูปร่างที่สุดภายในบอร์ด และเป็นตำแหน่งเดียวกับที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดเป็นจุด (Control Quality Specification; CQS) ในการตรวจสอบชิ้นงาน

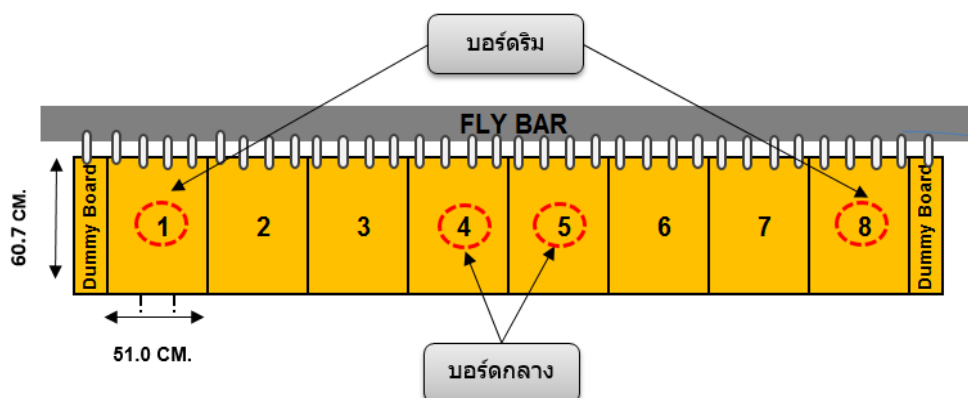


รูปที่ 6.1 ตำแหน่ง Panel (H4) ที่ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูปร่างที่สุดในบอร์ดหรือจุด Critical Point

##### 2. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU<sub>2</sub> Acid Plating Machine

ตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาและปรับปรุงแก้ไขกระบวนการโดยแบ่งออกตามสมมติฐานความหนาแน่นกระแสที่สูงที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ

- ตำแหน่งบอร์ดริม ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 1 แผ่นที่ 8 (4 แผ่นต่อรอบการชุบ)
- ตำแหน่งบอร์ดกลาง ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 4 แผ่นที่ 5 (4 แผ่นต่อรอบการชุบ)
- ตำแหน่งบอร์ดรวมทุกบอร์ด ได้แก่ ตำแหน่งแผ่นงานที่ 1 ถึง แผ่นที่ 8 (16 แผ่นต่อรอบการชุบ)



รูปที่ 6.2 ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine

### 3. ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4$ ในบ่อ $\text{Cu}_2$ Acid Plating Machine

ในงานวิจัยนี้จะปรับปรุงเฉพาะผลิตภัณฑ์ A1 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูให้เป็นไปตามข้อกำหนดลูกค้าซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 21 ไมครอน แต่เนื่องจากมีค่าความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ภายในบ่อ จึงต้องกำหนดค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเนื่องจากข้อกำหนดลูกค้า โดยกำหนดจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  กับความหนาทองแดงในรูซึ่งได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ (1) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงภายในรูกับความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ตามสมการที่ (2) จากผลการวิเคราะห์พบว่า สามารถลดค่าเฉลี่ยทองแดงภายในรูได้ต่ำสุดโดยไม่มีของเสียเกิดขึ้นอยู่ที่ 25 ไมครอน เนื่องจากบอร์ดริมมีค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวต่ำที่สุด โดยความหนาทองแดงที่ผ่านกระบวนการ CU1 M/C ก่อนเข้าสู่ CU-2 M/C เท่ากับ  $9.8 \pm 1$  ไมครอน จากการวิเคราะห์ที่ปัจจัยความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine ในบทที่ 5 ผลที่ได้เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

#### 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาทองแดงในรู $\text{Cu}_2$ layer ( $\mu\text{m}$ ) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4$ (g/L) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1

$$y = 0.1284e^{0.0781x}; R^2 = 0.9742 \quad (1)$$

โดยที่  $x$  = ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$ (g/L)

$Y$  = ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ )

#### 3.2 ความสัมพันธ์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) กับความเข้มข้นน้ำยา $\text{CuSO}_4$ (g/L) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1

$$y = 2E-05e^{0.1943x}; R^2 = 0.9072 \quad (2)$$

โดย  $x$  = ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l)

$Y$  = ค่า SD ของความหนาทองแดงภายในรู

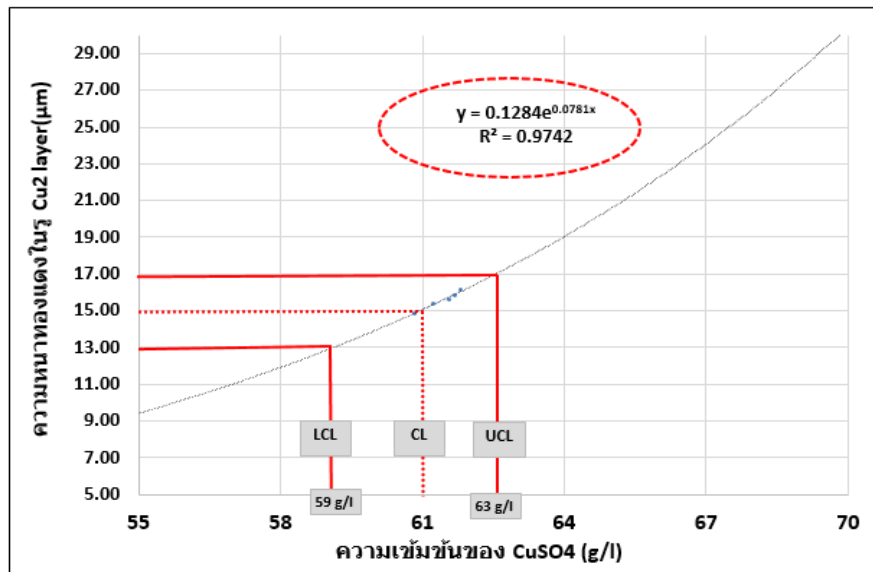
### 3.3 ความสัมพันธ์อัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา $\text{CuSO}_4$ ต่อรอบการชุบ

$$y = 58,845e^{-0.007x}; R^2 = 0.9759 \quad (3)$$

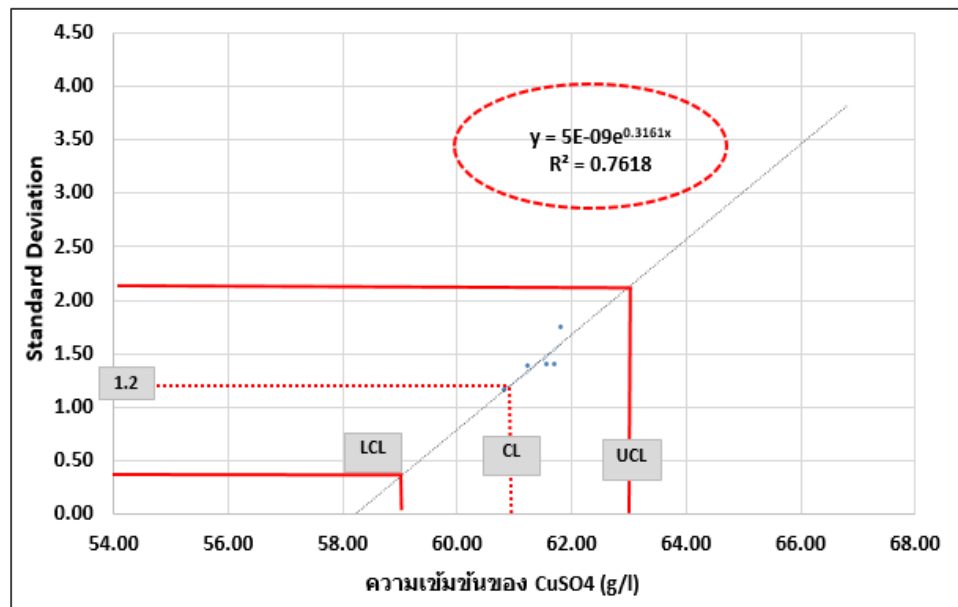
โดย  $X$  = ลำดับรอบการชุบ (40 นาที/16 บอร์ด/รอบ)

$Y$  = ความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ( $\mu\text{m}$ )

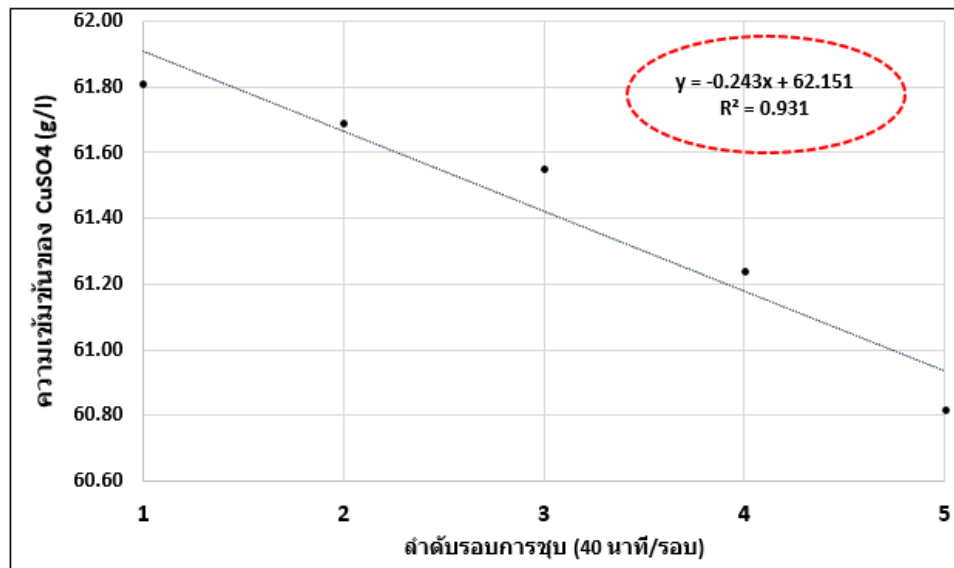
ดังนั้นจึงต้องควบคุมความหนาทองแดงในชั้น  $\text{Cu}_2$  layer เหลืออยู่ที่  $15 \mu\text{m}$  จากการคำนวณความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) พบว่าจะต้องกำหนดความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  เหลืออยู่ใน  $61.0 \text{ g/l}$  และจากการคำนวณความสัมพันธ์ในสมการที่ (2) ตามความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ที่คำนวณจากสมการที่ (1) เหลืออยู่ใน  $61.0 \text{ g/l}$  พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่  $\pm 1.2$  ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการกำหนด specification ของความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ซึ่งกำหนดอยู่ที่  $62.5 \pm 7.5 \text{ g/l}$  ( $55 - 70 \text{ g/l}$ ) และมีการปรับค่าน้ำยาทุกๆ 24 ชั่วโมง ทางผู้วิจัยจึงทำการควบคุมความหนาทองแดงในรูโดยการปรับช่วงค่า specification ของความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ใหม่ให้อยู่ในช่วง  $61.0 \pm 2.0 \text{ g/l}$  ( $59 - 63 \text{ g/l}$ ) ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์อัตราการลดลงของน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) กับรอบการชุบแผ่นงานในสมการที่ (3) พบว่า specification ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  ใหม่ในช่วง  $61.0 \pm 2.0 \text{ g/l}$  สามารถชุบงานได้ประมาณ 16 รอบการชุบหรือประมาณ 10 ชั่วโมง (40 นาที/รอบการชุบ) จึงทำการเติมสารเคมีเพื่อปรับค่าน้ำยาให้อยู่ใน specification อีกครั้ง ดังนั้นค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูจากสภาพก่อนการควบคุมมีความหนาเหลืออยู่ที่  $27 \pm 2.0 \mu\text{m}$  หลังจากการควบคุมความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  พบว่ามีค่าความหนาเคลือบผิวทองแดงเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงอยู่ที่  $25 \pm 1.2 \mu\text{m}$



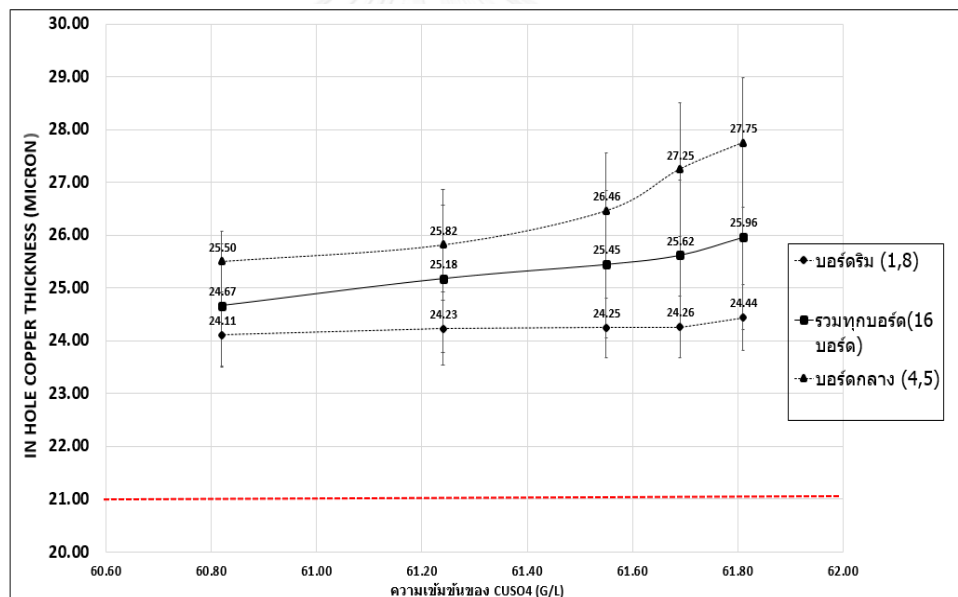
รูปที่ 6.3 เส้นขอบเขตการควบคุมความหนาทองแดงในรู  $\text{Cu}_2$  layer ( $\mu\text{m}$ ) ที่ตำแหน่ง H4 กับความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 6.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงภายในรู (ตำแหน่ง H4) ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 กับความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$



รูปที่ 6.5 อัตราการลดลงของน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) กับรอบการชุบแผ่นงาน

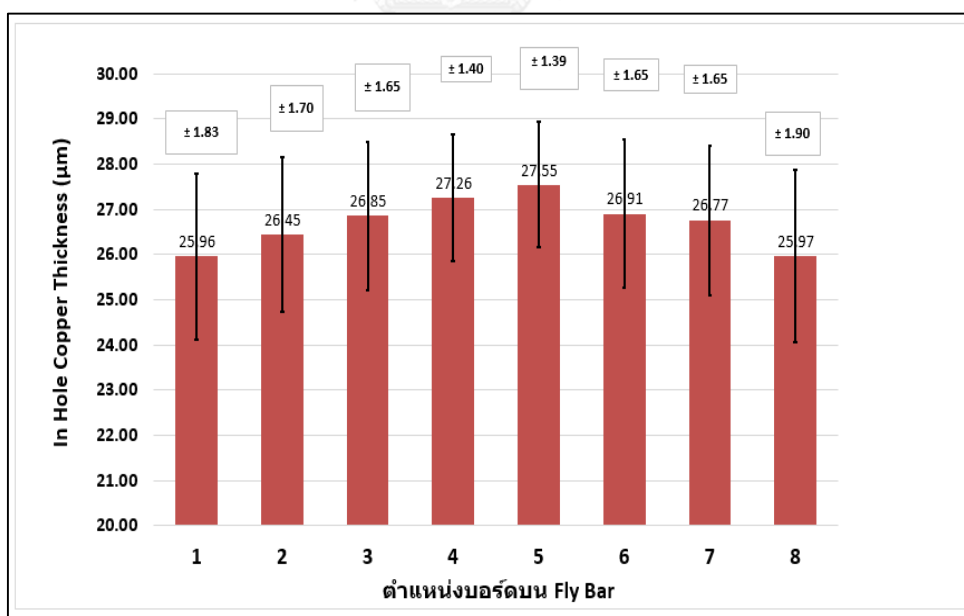


รูปที่ 6.6 ความเข้มข้นน้ำยา  $\text{CuSO}_4$  (g/l) กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู (ตำแหน่ง H4) ตามตำแหน่งชิ้นงาน (ตำแหน่งบอร์ด) บน fly bar รุ่นผลิตภัณฑ์ A1

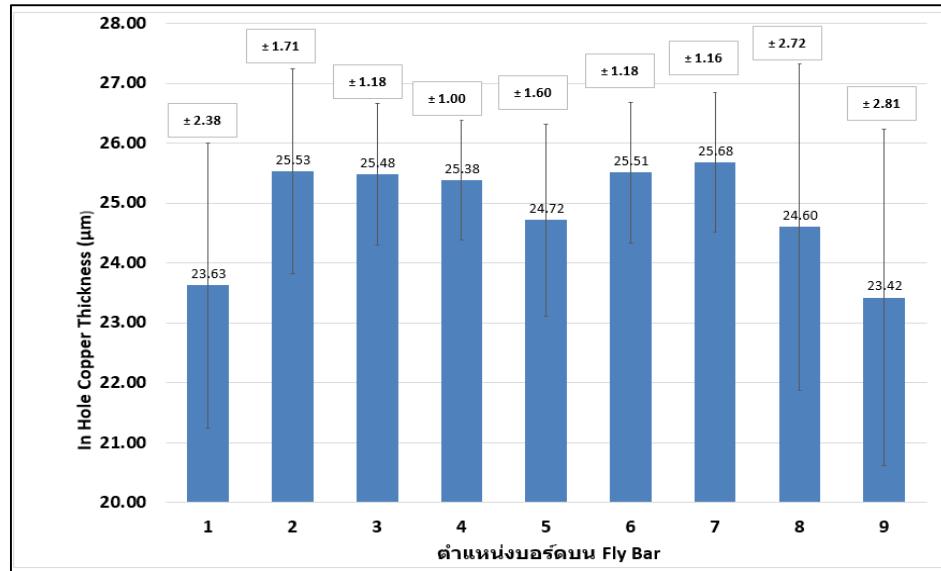
#### 4 ปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ $\text{Cu}_2$ Acid Plating Machine

ตามกฎของฟาราเดย์ที่กล่าวว่า “ปริมาณโลหะที่มากเกาะหรือละลายที่ขั้วไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน” ดังนั้น ปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine จะไม่มีผลกับความหนาทองแดงเคลือบผิวภายในบ่อแต่วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อลดความผันแปร

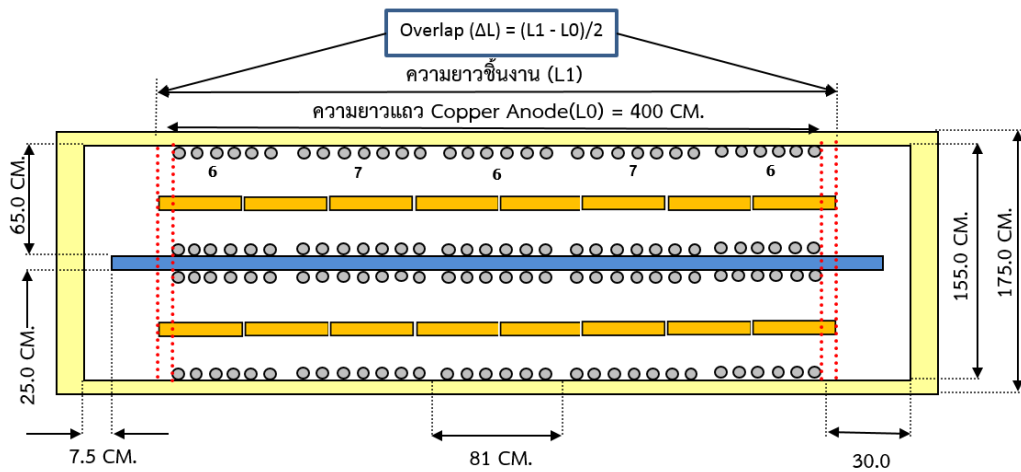
ในกระบวนการชุบ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine พบว่ามีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของวงจรมีพ้อยอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine โดยรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเคลือบผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 และ A2 จากรูปที่ 6.7 และ 6.8 จะเห็นได้ชัดว่าตำแหน่งบอร์ดที่ 1,8 (บอร์ดริม) มีค่าความหนาทองเคลือบผิวเฉลี่ยต่ำที่สุดภายในแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) อย่างเห็นได้ชัด และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตำแหน่งบอร์ดริม Fly Bar สูงหรือมีค่าความผันแปรสูงภายในบอร์ดที่ตำแหน่ง 1 และ 8 อย่างเห็นได้ชัด และวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในบ่อชุบ ทางผู้วิจัยจึงใช้การระดมสมองกับทีมงานเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยทำการศึกษาขนาด (dimension) ของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ่อชุบอย่างละเอียด พบว่าความยาวรวมทุกชิ้นงาน (L<sub>1</sub>) มีความยาวมากกว่า (Overlap) แถวของตะแกรง Copper Anode (L<sub>0</sub>) ทางผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพิ่มเติมส่วน %Overlap ซึ่งเป็น %การเหลื่อมของชิ้นงานกับตะแกรง Copper Anode ด้านข้างในโดยขนาดอุปกรณ์ต่างๆ และตำแหน่ง Overlap ภายในบ่อชุบแสดงในรูปที่ 6.9 โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง %Overlap กับ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร ของรุ่นผลิตภัณฑ์ A1, A2



รูปที่ 6.7 ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเคลือบผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรุ่นผลิตภัณฑ์ A1 (5 รอบการชุบ) ที่ตำแหน่ง H1 ถึง H5 แบ่งตามตำแหน่งบอร์ดบน Fly Bar



รูปที่ 6.8 ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเคลือบผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรุ่นผลิตภัณฑ์ A2 (7 รอบการชุบ) ที่ตำแหน่ง H1 ถึง H5 แบ่งตามตำแหน่งบอร์คบน Fly Bar



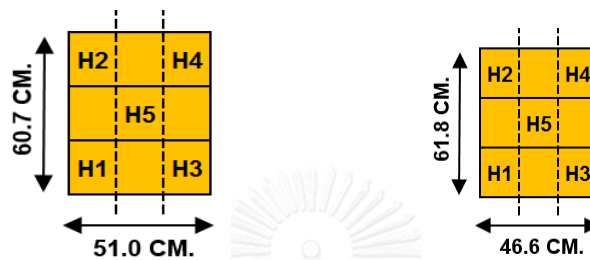
รูปที่ 6.9 ขนาดอุปกรณ์ต่างๆ และตำแหน่ง Overlap ภายในบ่อชุบ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ  $\Delta\text{Overlap}$

$$\Delta L = \frac{L1 - L0}{2}$$

L1 = ความยาวของชิ้นงานรวมทุกแผ่นบนแถววางชิ้นงาน (CM.)

L0 = ความยาวของแถวตะแกรง Copper Anode ภายในบ่อชุบ (400 CM.)



รูปที่ 6.10 ตำแหน่งความสูง (Height) และความกว้าง (Width) ของชิ้นงานรุ่น A1(a), A2(b) ที่ใช้ในการทดลอง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ  $\% \Delta\text{Overlap}$

$$\% \text{Overlap} = \frac{\Delta L}{\text{Width} - \Delta L} \times 100$$

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ %สัมประสิทธิ์ของความผันแปร (Coefficient of variation; %C.V.)

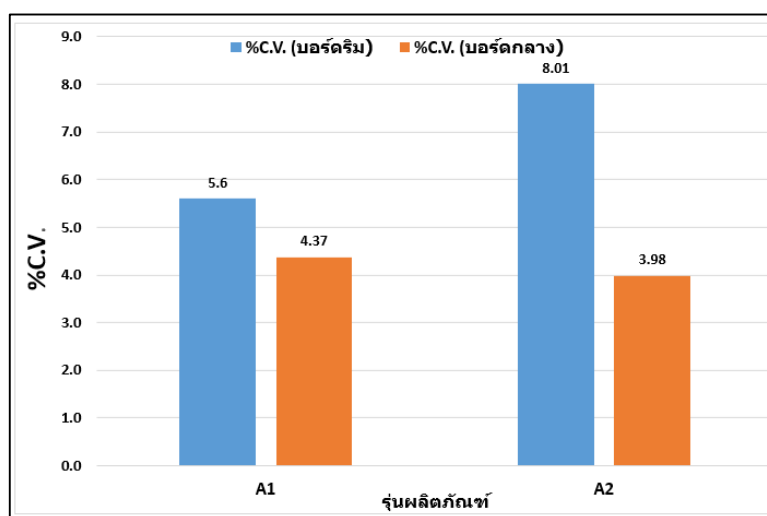
$$\text{Coefficient of Variation (\%CV)} = \frac{SD}{\bar{X}} * 100$$

$$\text{Range \%CV} = \% \text{CV บอร์ดริม(Max)} - \% \text{CV บอร์ดกลาง(Min)}$$

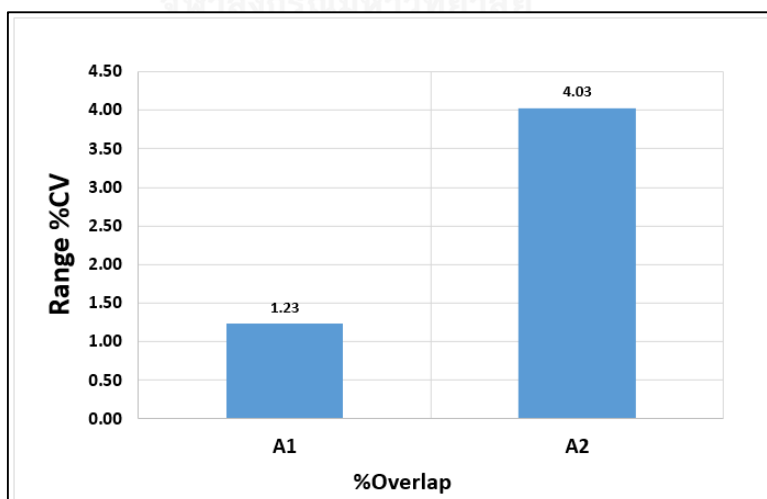


ตารางที่ 6.1 ผลของ %Overlap และ ผลต่างของ %C.V. ที่ตำแหน่งบอร์ดริมและบอร์ดกลางของ Model แต่ละรุ่น (ใช้จุด CQS\*\* ในการวิเคราะห์ข้อมูล)

Model	H (CM.)	W (CM.)	จำนวน บอร์ดต่อ Fly Bar	ความกว้างตะแกรง Copper Anode (Lo)(CM.)	ความกว้างของ ชิ้นงานที่ลงชุบ (L <sub>c</sub> )(CM.)	ΔL	%Overlap	%C.V. (บอร์ดริม)	%C.V. (บอร์ดกลาง)	Range %CV**	Max (บอร์ดกลาง)	Min (บอร์ดริม)	Range (Max-Min)
A1 (5 รอบการชุบ)	61	51.0	8	400	408	4.0	8.51	5.60	4.37	1.23	26.56	24.26	2.30
A2 (7 รอบการชุบ)	62	47	9	400	419	9.7	26.29	8.01	3.98	4.03	25.12	22.72	2.40



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง %C.V. กับรุ่นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Overlap กับ Range %CV

จากผลการทดลองในตารางที่ 6.1 พบว่าผลของ %Overlap ของชิ้นงานมีผลต่อความผันแปรที่เกิดขึ้นในบ่อชุบซึ่งดูจากค่า %C.V. ที่ตำแหน่งบอร์ตริมจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ %Overlap สูงขึ้น ส่งผลให้ค่า Range %CV สูง อธิบายได้ คือ % สัมประสิทธิ์ของความผันแปรที่ตำแหน่งบอร์ตริมจะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งบอร์ตกลางมากขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการออกทดลองต่อโดยการปรับเพิ่มส่วนตะแกรง Copper Anode ภายในบ่อชุบ เพื่อลด % Overlap ของชิ้นงานกับตะแกรงลูก Copper Anode

#### 6.4 แบบการทดลอง

แบบการทดลองที่พิจารณาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ เพื่อเพิ่มขยายพื้นที่ส่วน Copper Anode

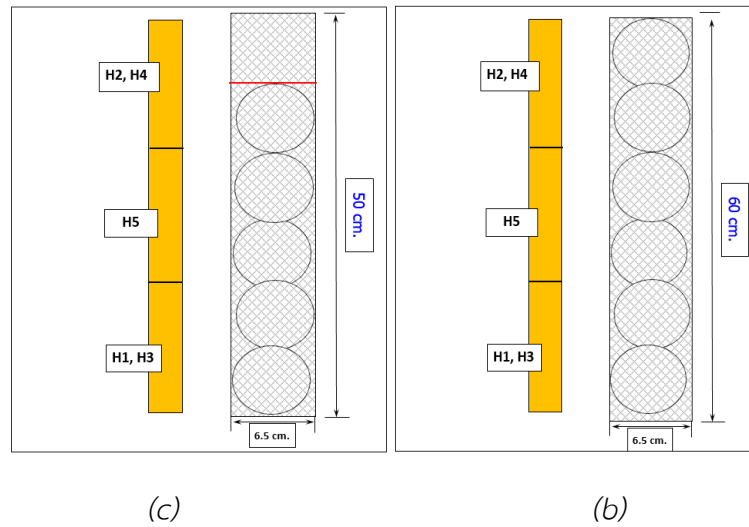
ส่วนที่ 1 ศึกษาส่วนของปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อโดยการเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ด้านบน (แกน Z) โดยกำหนดปัจจัยเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การเพิ่มลูก Copper Anode ตะแกรงความสูง 50 cm ( $H_0$ ) กับ การเพิ่มลูก Copper Anode ตะแกรงความสูง 60 cm ( $H_1$ ) ดังรูปที่ 6.13

ส่วนที่ 2 ศึกษาส่วนของปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อโดยการเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ด้านข้าง (แกน Y) โดยกำหนดปัจจัยเป็น 2 ระดับ ได้แก่ โดยการปรับเพิ่มลูกตะแกรง Copper Anode ที่ด้านริมแถวด้านซ้ายและด้านขวาภายในบ่อชุบเพื่อทำให้ % Overlap = 0 จากเดิมแถวละ 32 ตะแกรงเป็นแถวละ 34 ตะแกรง โดยกำหนดปัจจัยเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การเพิ่มลูก Copper Anode แถวตะแกรงมีความยาว 400 cm ( $L_0$ ) กับ การเพิ่มลูก Copper Anode ตะแกรงมีความยาว 420 cm ( $L_1$ ) ดังรูปที่ 6.14 การกำหนดปัจจัยเนื่องมาจากความยาวของบ่อชุบที่ศึกษามีความยาว 420 CM จึงเพิ่มตะแกรงได้สูงสุดเพียง 34 ตะแกรงต่อแถว

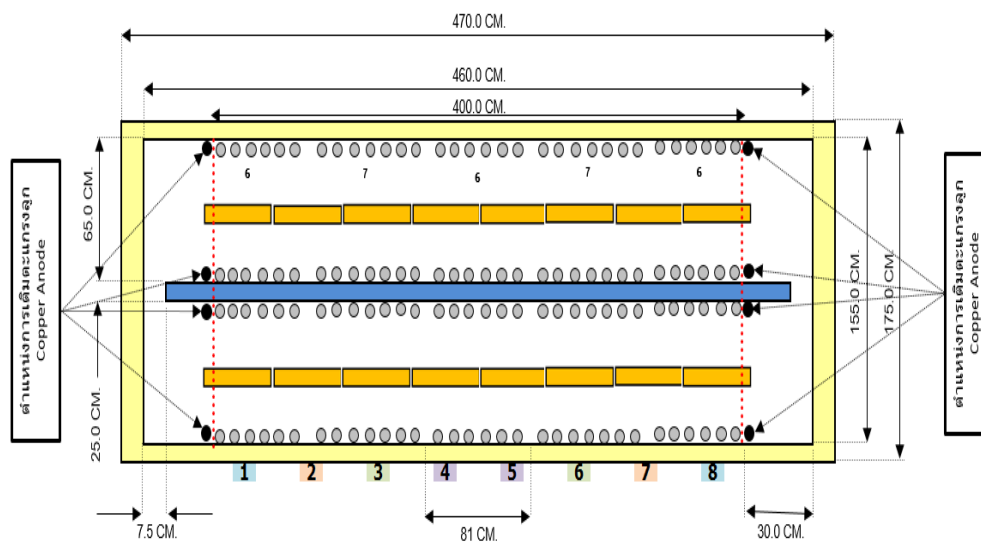
การเพิ่มตะแกรง Copper Anode ในส่วนของแกน x ไม่สามารถทำได้เนื่องจากบ่อชุบมีความกว้างที่จำกัดจึงไม่สามารถขยายในส่วนนี้ได้

ตารางที่ 6.2 ค่าระดับปัจจัยในการทดลอง

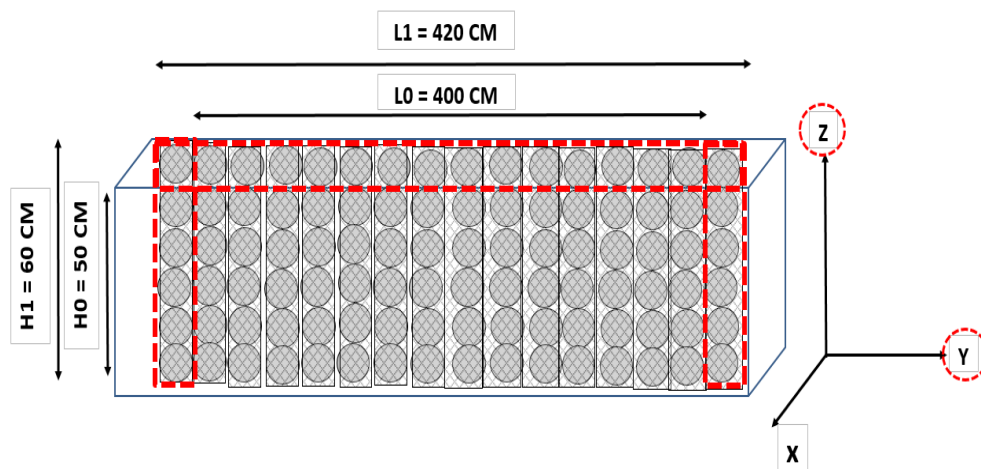
ลำดับ	ปัจจัย	-1	1	หน่วย
1	ปริมาณลูก Copper Anode ด้านบน (แกน Z)	$H_0 = 50$	$H_1 = 60$	cm
2	ปริมาณลูก Copper Anode ด้านข้าง (แกน Y)	$L_0 = 400$	$L_1 = 420$	cm



รูปที่ 6.13 การเติมลูก Copper Anode ตะแกรงที่ขอบล่าง ( $H_0=50$  cm) ภายในบ่อชุบ (a) และ การเติมลูก Copper Anode ตะแกรงที่ขอบบน ( $H_1=60$  cm) ภายในบ่อชุบ (b)



รูปที่ 6.14 ตำแหน่งการเพิ่มตะแกรงภายในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

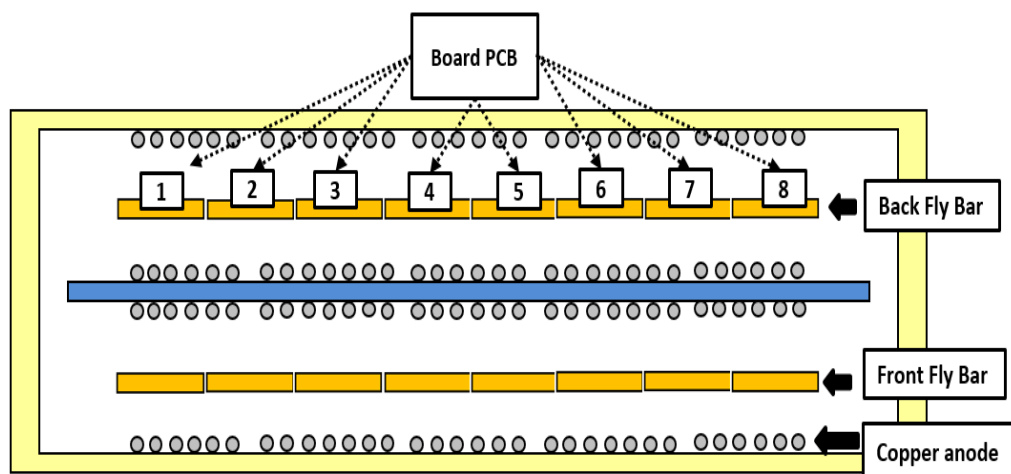


รูปที่ 6.15 ระดับปัจจัยในการศึกษาปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ

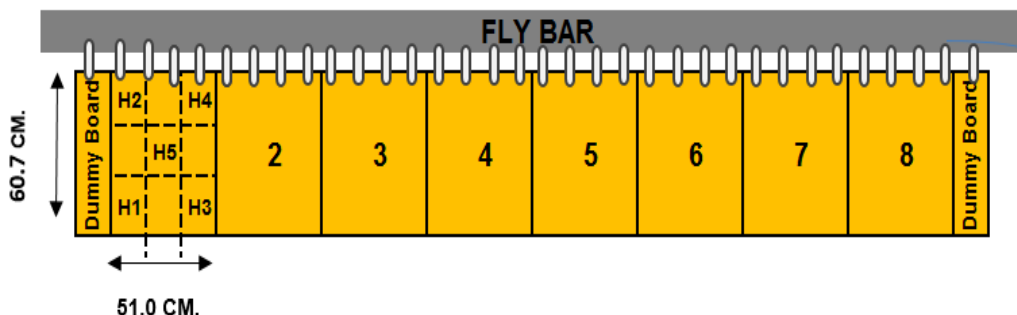
### 6.5 การเตรียมการทดลอง

- จัดเตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผ่นวงจรมพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการชุบแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Plating) และผ่านกระบวนการชุบแบบใช้กระแสไฟฟ้า (Electro Plating) ในบ่อ CU-1 Acid Plating Machine มาแล้ว
- ทุกๆการทดลองจะมีการใส่แผ่น Dummy Board ด้านข้างบอร์ดที่ 1 และ บอร์ดที่ 8 ซึ่งมีความกว้าง 10 cm ยาว 60 cm เพื่อป้องกันขอบบอร์ดด้านข้างบอร์ดที่ 1 และ บอร์ดที่ 8 หนาเกินไปเนื่องจากข้างบ่อเป็นส่วนที่กระแสไฟฟ้าเข้าโดยตรงและเป็นส่วนช่องว่างด้านข้างที่มีน้ำยาชุบภายในบ่อชุบไหลผ่านวาระหว่างแถววางชิ้นงาน (Fly Bar) หน้าและหลัง
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ บ่อชุบของ CU-2 Acid Plating machine ดังรูปที่ 6.16 แสดงภาพขนาดบ่อชุบและลักษณะการวางจัดเรียงแผ่นชุบด้านบน (Top View) ซึ่งภายในบ่อเดียวกันจะแบ่งแถววางชิ้นงาน (fly bar) เป็น 2 แถวๆละ 8 แผ่น คือ แถวหน้า (Front Fly Bar) และแถวหลัง (Back Fly Bar) รวม 16 บอร์ดต่อรอบการชุบ ด้านข้างของบ่อด้านซ้ายและขวาสุดคือแผ่นเสริม(dummy) แถวริมขอบบ่อด้านยาว 2 ฝั่ง คือ ส่วนของตะแกรง Copper Anode
- ลักษณะการวางชิ้นงานในการทดสอบภายในบ่อชุบ CU-2 Acid plating machine แสดงดังรูปที่ 6.17 เป็นการเรียงชิ้นงานในบ่อชุบด้านหน้า (Side View) ในแต่ละแถววางชิ้นงาน (fly bar) จะเรียงชิ้นงานตั้งแต่บอร์ด 1 ถึงบอร์ดที่ 8 โดยเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละแถว โดยมีน็อตหนีบ (Rack) หนีบแผ่นงานไว้กับแถววางชิ้นงาน (fly bar)

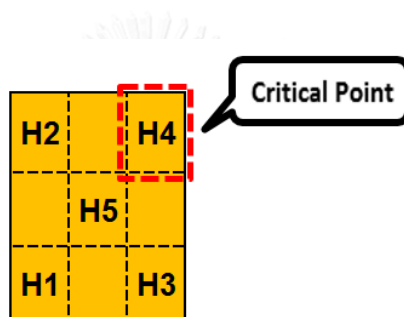
- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ (8 บอร์ด/Fly Bar) ต่อรอบการชุบ โดยวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังการชุบในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid plating machine ตำแหน่ง H4 คือตำแหน่ง CQS ดังรูปที่ 6.18
- จัดเตรียมความพร้อมของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าในส่วนของ บ่อชุบของ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine รวมทั้งปัจจัยต่างๆ และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างน้ำยาในกระบวนการชุบแผ่น (Plating Process) ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง
- ตัวแปรที่ควบคุมในการทดลอง
  1. ในการทดสอบแต่ละปัจจัยจะใช้ชิ้นงานที่มาจาก batch เดียวกันทั้งหมด หรือผ่านกระบวนการก่อนหน้ามาอย่างต่อเนื่องเป็นกลุ่มเดียวกัน ในการทดลองนี้ จะคัดเลือกชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบแผ่นในบ่อ CU<sub>1</sub> Acid Plating Machine ก่อนเข้าสู่กระบวนการ CU<sub>2</sub> Acid Plating Machine โดยควบคุมความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของ CU<sub>1</sub> layer อยู่ที่  $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$
  2. ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันในการทดลอง
  3. ใช้บ่อชุบเดียวกันในการทดลอง
  4. ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน
  5. ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมในสถานที่ปฏิบัติงาน



รูปที่ 6.16 ตำแหน่งและการจัดเรียงชิ้นงานภายในบ่อชุบ



รูปที่ 6.17 ตำแหน่งชิ้นงานบนแถววางชิ้นงาน (fly bar) และตำแหน่ง Panel ในแต่ละขณะลงชุบใน บ่อ CU-2 Acid plating machine



รูปที่ 6.18 ตำแหน่งรู (Panel) ภายในบอร์ดเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล

#### 6.6 ขั้นตอนการทดลอง

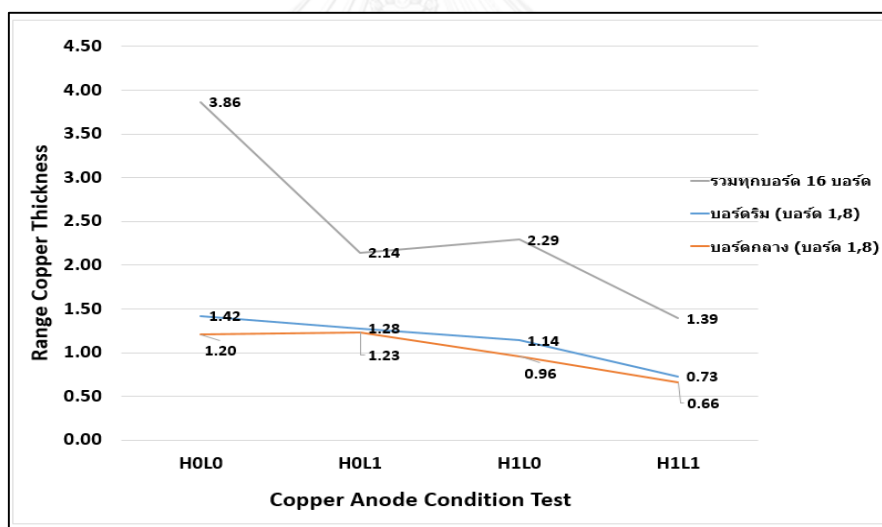
ขั้นตอนแรกคัดเลือกชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบจาก CU-1 Acid Plating Machine ให้มีความหนาทองแดงในรู  $9.8 \pm 1.0 \mu\text{m}$  ด้วยเครื่อง CU Scope ก่อนนำมาชุบในกระบวนการ CU2 Acid Plating Machine ในการทดลองนี้เพื่อลดความผันแปรค่าความหนาทองแดงที่จุด CQS ภายในบ่อชุบ จากการศึกษาความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine ซึ่งได้กำหนดความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ควบคุมอยู่ที่ 61 g/l ในการทดลองปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode จึงต้องทำการควบคุมความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ควบคุมอยู่ที่ 61 g/l ก่อนที่จะปรับแต่ละระดับของปัจจัย โดยให้พนักงานประจำเครื่องชุบทองแดง CU2 Acid Plating Machine ปรับค่าปัจจัยนำเข้าให้ตรงตามที่กำหนดไว้ เมื่อได้ค่าปัจจัยตามที่ต้องการแล้วจึงนำชิ้นงานที่ผ่านการคัดเลือกเข้าสู่กระบวนการจนครบจำนวน ทำการทดลองจนครบ 4 สภาวะ จากนั้นนำงานทดลองนี้ไปวัดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู ตำแหน่งที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือตำแหน่ง H4 (จุด CQS)

## 6.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

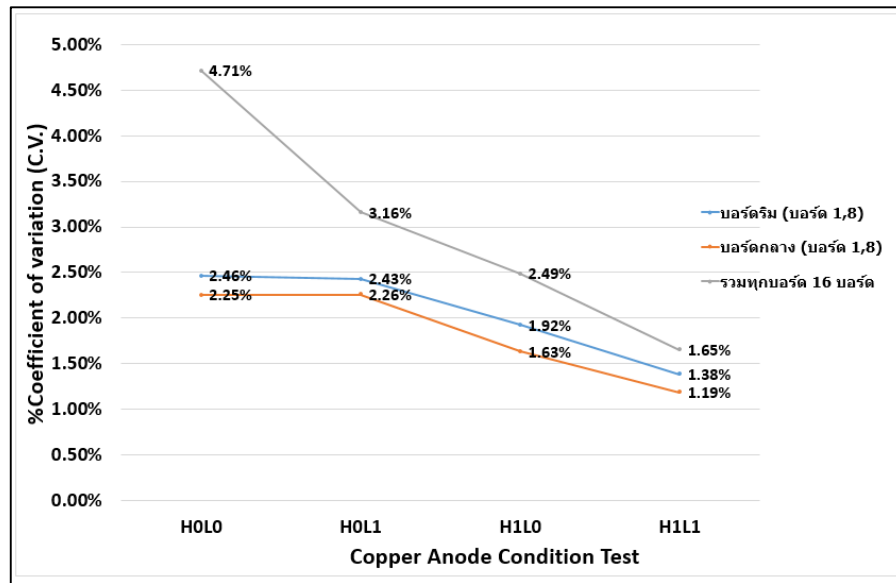
จากการวิเคราะห์ผลข้อมูลความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ที่ระดับปัจจัยต่างๆ

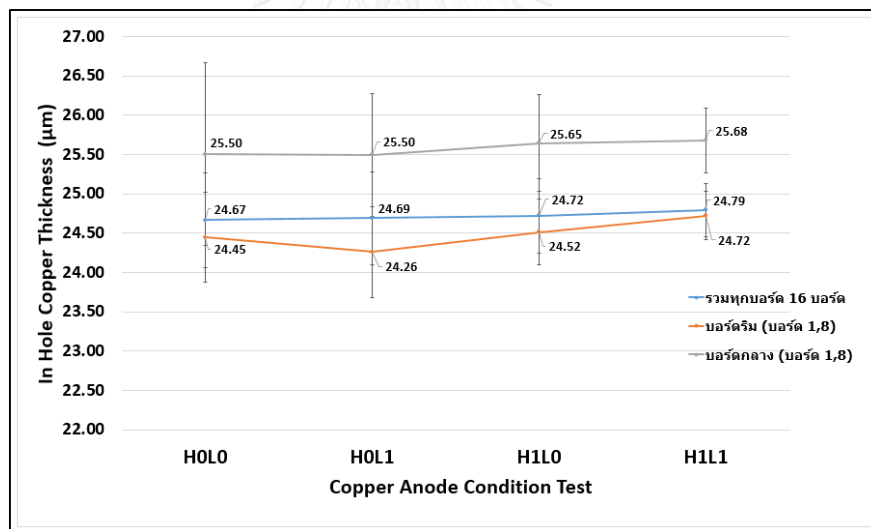
Condition Test	รวมทุกบอร์ด 16 บอร์ด						บอร์ดริม (บอร์ด 1,8)						บอร์ดกลาง (บอร์ด 1,8)					
	X-bar	SD	Max	Min	R	%CV	X-bar	SD	Max	Min	R	%CV	X-bar	SD	Max	Min	R	%CV
H0L0	24.67	1.16	26.35	22.49	3.86	4.71%	24.45	0.60	25.24	23.82	1.42	2.46%	25.50	0.57	26.35	25.15	1.20	2.25%
H0L1	24.69	0.78	25.93	23.79	2.14	3.16%	24.26	0.59	25.13	23.86	1.28	2.43%	25.50	0.58	25.93	24.70	1.23	2.26%
H1L0	24.72	0.61	26.14	23.85	2.29	2.49%	24.52	0.47	25.29	24.15	1.14	1.92%	25.65	0.42	26.44	25.48	0.96	1.63%
H1L1	24.79	0.41	25.57	24.18	1.39	1.65%	24.72	0.34	25.39	24.66	0.73	1.38%	25.68	0.31	25.06	24.40	0.66	1.19%



รูปที่ 6.19 ความสัมพันธ์ของค่าพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวที่ตำแหน่ง H4 (CQS) กับ ตำแหน่งบอร์ดรุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 6. 20 ความสัมพันธ์ของ %สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; C.V.) ที่ตำแหน่ง H4 (CQS) กับตำแหน่งบอร์ดรุ่นผลิตภัณฑ์ A1



รูปที่ 6. 21 ความสัมพันธ์ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูที่ตำแหน่ง H4 (CQS) กับตำแหน่งบอร์ดรุ่นผลิตภัณฑ์ A1

จากผลการทดลองปรับปรุงปัจจัยปริมาณลูก Copper Anode ในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine โดยทดลองที่ความเข้มข้น CuSO<sub>4</sub> 61 g/l ผลที่ได้พบว่า

- 1) การเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ที่ปัจจัย H1L1 จะมีผลให้ค่าพิสัยความหนาทองแดงเคลือบผิวที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ H0L0 ซึ่งเป็นปัจจัยเดิมของโรงงานกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุง จาก 3.86 ลดเหลือ 1.39 ดังรูปที่ 6.18



- 2) การเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ที่ปัจจัย H1L1 จะมีผลให้ค่า%สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; C.V.) ที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ H0L0 ซึ่งเป็นปัจจัยเดิมของโรงงานกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุง จาก 4.71% ลดเหลือ 1.65%
- 3) การเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ที่ปัจจัย H1L1 จะมีผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ตำแหน่ง H4 (CQS) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ H0L0 ซึ่งเป็นปัจจัยเดิมของโรงงานกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุง จาก 1.16 ลดเหลือ 0.4

ดังนั้นสรุปได้ว่า การเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ด้านบน (แกน Z) และการเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ด้านข้าง (แกน Y) จะสามารถลดค่าความผันแปรภายในบ่อชุบได้ เนื่องจากมีผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ ค่า%สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; C.V.) มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง



## บทที่ 7

### การควบคุมกระบวนการผลิต

#### 7.1 บทนำ

จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ และค่าระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine เป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยการนำความรู้และเครื่องทางสถิติเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistic Process Control : SPC) มาประยุกต์ใช้

#### 7.2 การดำเนินงานการควบคุมตัวแปรต่างๆ

##### 7.2.1 ปัจจัยควบคุม

กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการกำหนดแผนการควบคุมคือ กระบวนการชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating และปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่พิจารณาในการกำหนดแผนการควบคุม ได้แก่ ปัจจัยความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 7.2.1.1 ปัจจัยความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine สามารถควบคุมได้ด้วยการนำสารละลายไปตรวจสอบหาค่าปริมาณความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ด้วยวิธีการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.05 M ในห้องปฏิบัติการเคมี และสามารถปรับเพิ่มความเข้มข้นด้วยการเติมสารละลาย CuSO<sub>4</sub> หรือลดความเข้มข้นด้วยการเติมน้ำลงไปภายในบ่อชุบตามปริมาณที่เหมาะสมที่คำนวณได้ ซึ่งในปัจจุบันแผนการตรวจสอบค่า ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ภายในบ่อชุบ จะมีนักเคมีของห้องปฏิบัติการเป็นผู้รับผิดชอบ และทำการบันทึกผลลงในใบตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 7.1 โดยมีความถี่ 24 ชั่วโมงต่อครั้ง

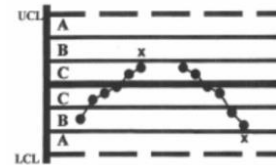
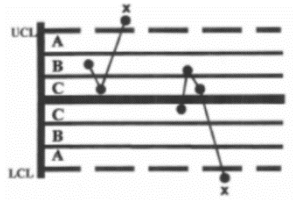
แผนการควบคุมปัจจัยความเข้มข้นของสารละลาย CuSO<sub>4</sub> ภายในบ่อชุบหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต จะกำหนดค่าความเข้มข้นของสารละลาย CuSO<sub>4</sub> ภายในบ่อชุบที่เหมาะสมจาก  $62.5 \pm 7.5$  g/l (55 – 70 g/l) เป็น  $61.0 \pm 2.0$  g/l (59 – 63 g/l) ไว้ในเอกสารที่ใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำการปฏิบัติงาน ว่าด้วยกระบวนการชุบทองแดงด้วยไฟฟ้า Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine และได้เปลี่ยนระยะเวลาหรือความถี่ในการตรวจสอบความเข้มข้นของ

สารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ภายในบ่อชุบเพื่อปรับค่าน้ำยาให้อยู่ใน Specification ที่กำหนดเป็น 10 ชั่วโมงต่อครั้ง (ในการปฏิบัติจริงจะกำหนด 12 ชั่วโมง/ครั้ง)

นอกจากนี้ได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมแบบ ImR มาใช้ในการตรวจจับและควบคุมปัจจัยดังกล่าวว่าอยู่ในสถานะที่ต้องการหรือไม่ เนื่องจากข้อมูลของปัจจัยความเข้มข้นของสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  ภายในบ่อชุบ เป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable data) และเป็นแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับกระบวนการทางเคมีที่มีการผลิตแบบ Batch หรือกระบวนการทางเคมีที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งจะกำหนดแผนการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติของปัจจัยทั้งสองนี้ในคู่มือการปฏิบัติงาน WI (Work Instruction) เพื่อให้พนักงานที่เกี่ยวข้องปฏิบัติงานในทิศทางเดียวกัน โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้

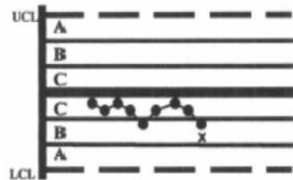
- ขนาดสิ่งตัวอย่าง  
การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการตรวจสอบ จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 1 ตัวอย่างต่อการสุ่มวัดต่อช่วงเวลาที่กำหนด
- ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง  
จากข้อมูลความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine พบว่ามีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงกำหนดความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่างสำหรับปัจจัยเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงต่อหนึ่งครั้ง
- วิธีการวัด  
ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการชุบตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นนำน้ำยาดังกล่าวมาหาความเข้มข้น  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ด้วยวิธีการไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.05 M ในห้องปฏิบัติการเคมี
- กฎการตัดสินใจ  
กฎในการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสถานะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุม จะอ้างอิงกฎในการตัดสินใจ 4 ข้อ ดังนี้
  - ก) ค่าเปลี่ยนไปอย่างกะทันหัน : มี 1 จุดของข้อมูลล่าสุดออกนอกเส้นควบคุมขีดจำกัดบนล่าง โดยที่จุดของข้อมูลที่ผ่านมาจำนวน 4-5 จุดส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่รอบเส้นกึ่งกลาง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 7.1 ก
  - ข) มีแนวโน้มเคลื่อนขึ้นหรือลง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 6 จุดมีแนวโน้มเคลื่อนตัวขึ้นหรือลงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 7.1 ข
  - ค) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 6 จุดมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับข้อมูลในช่วงต่อไป 9 จุดนี้ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 7.1 ค

- ง) ข้อมูลแกว่งตัวไปมารอบเส้นกลาง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 14 จุดแกว่งตัวไปมาในช่วงกว้างทั้งด้านบนและล่างของเส้นกึ่งกลาง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 7.1 ง



- ก) มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกโซน A  
สม่ำเสมอ

- ข) มีจุด 6 จุดเรียงตัวแบบเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่าง  
สม่ำเสมอ



- ค) มีจุด 9 จุดต่อเนื่องอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกลาง      ง) มีจุด 14 จุดเรียงสลับขึ้นลงรอบเส้นกลาง

**รูปที่ 7.1** กฎการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลที่ออกนอกการควบคุม

ในการควบคุมกระบวนการผลิตจึงได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากพบว่าค่าความเข้มข้น  $\text{CuSO}_4$  (g/l) ในสารละลายที่ใช้ในการชุบไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยมีนักเคมีประจำห้องปฏิบัติการเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบ ทำการหยุดเครื่องจักรและแก้ไขค่าความเข้มข้น  $\text{CuSO}_4$  ในสารละลายที่ใช้ในกระบวนการชุบให้กลับมาที่ค่าที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 7.3 ซึ่งแผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นมาใหม่นี้จะบันทึกไว้ในเอกสารที่ใช้เป็นมาตรฐานการทำงานเครื่องจักร Cu Plating เพื่อให้พนักงานประจำกระบวนการชุบทองแดงด้วยไฟฟ้าปฏิบัติงานเป็นไปในแนวทางเดียวกันในรูปที่ 7.4

**Measurement Chemical of Cu2 Report / ใบบันทึกผลการตรวจสอบน้ำยา Cu2**

Machine No. \_\_\_\_\_

ช่วงเวลาสุ่มตรวจตัวอย่าง \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

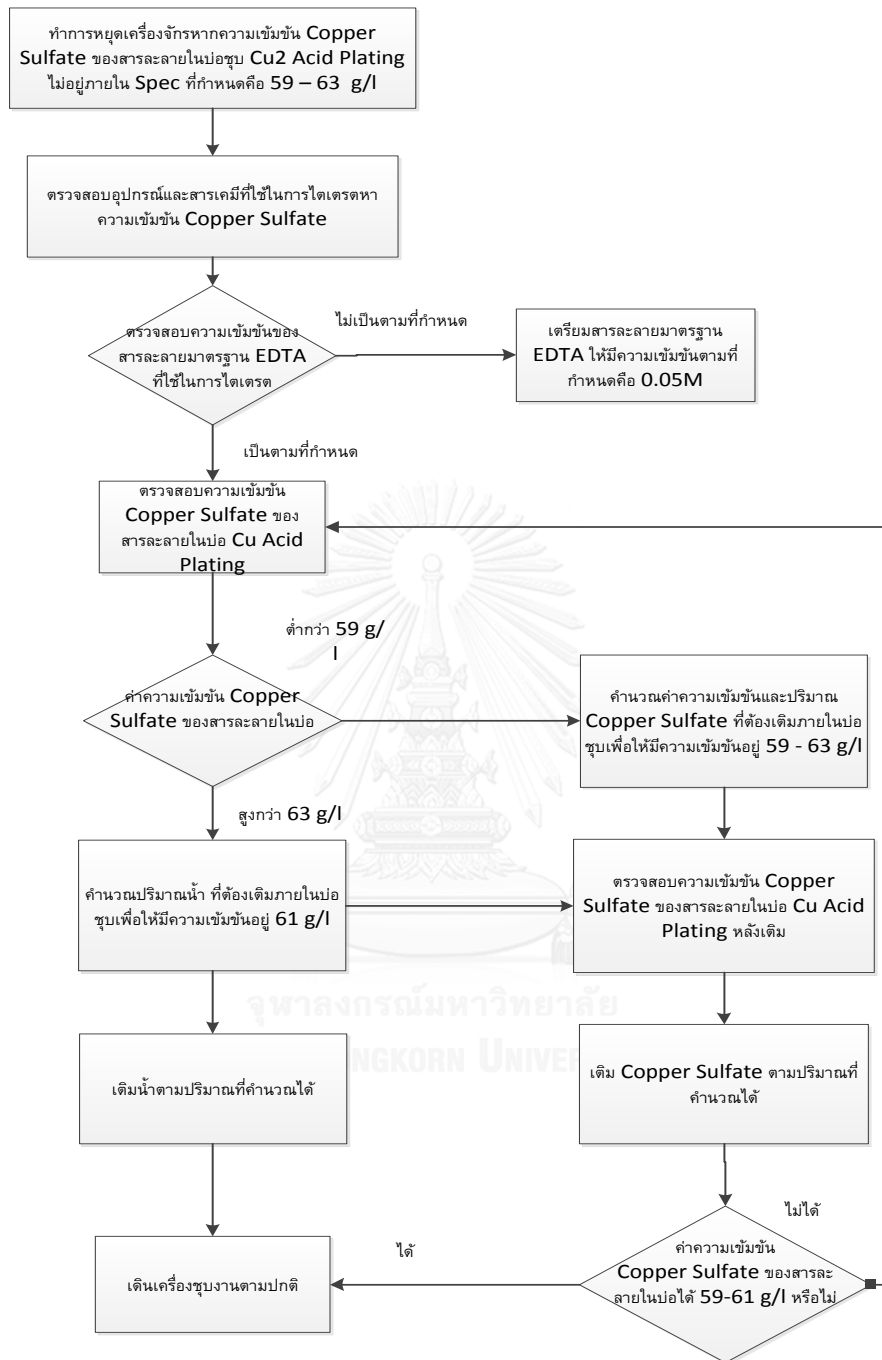
Time: \_\_\_\_\_

Time: \_\_\_\_\_

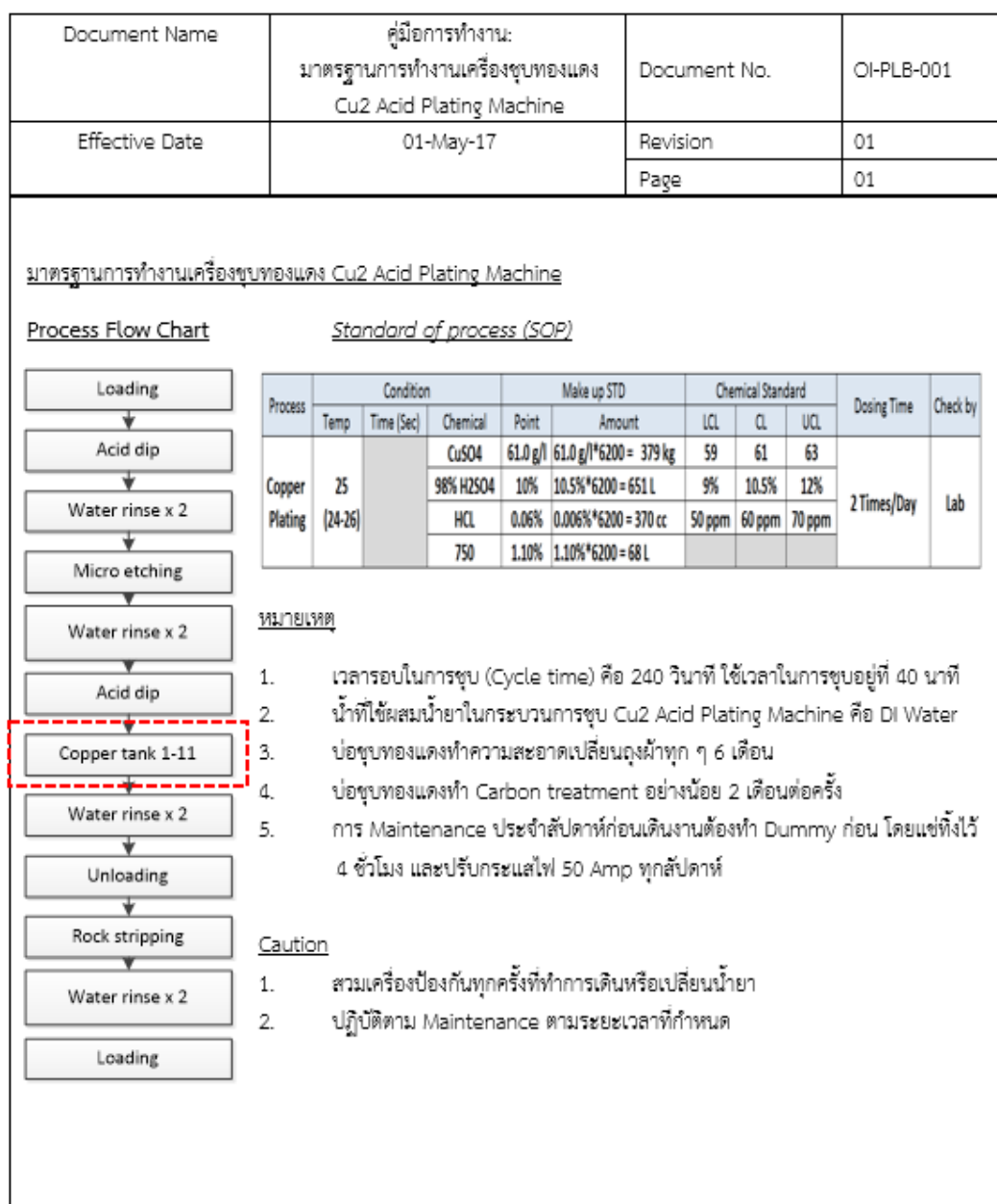
Item	Tank	Chemical check	Std. spec	Std. control limit	Normal check			ค่าที่ได้อีก 2			Result after action	
					Result	Actual	Action	ค่าที่ได้อีก 2	Result	Actual		Action
ลำดับ	บิอ	หัวข้อการตรวจสอบ	มาตรฐาน	มาตรฐานควบคุม	ค่าที่ได้	ผล	เข้าเกณฑ์	จำนวน	ค่าที่ได้อีก 2	Result	Actual	Action
1		Quantity Cu SO4	55.0 - 70.0 g/L	59.0 - 63.0 g/L		-		-				
2	Copper tank 1	Composition H2SO4	9.0 - 14.0 %	10.0 - 12.0 %		-		-				
3		Quantity Cl -	40.0 - 80.0 ppm	50.0 - 70.0 ppm		-		-				
Remark: เครื่องหมาย "-" หมายถึง ไม่ได้ตรวจสอบ												

ชื่อพนักงาน : \_\_\_\_\_  
 ชื่อหัวหน้า : \_\_\_\_\_  
 ชื่อผู้ตรวจสอบ : \_\_\_\_\_  
 เวลาบันทึก : \_\_\_\_\_

รูปที่ 7.2 ใบตรวจสอบ Parameter ของเครื่อง Cu2 Acid Plating Machine



รูปที่ 7.3 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อความเข้มข้น  $CuSO_4$  ของสารละลายภายในบ่อชุบออกนอกค่าที่กำหนด



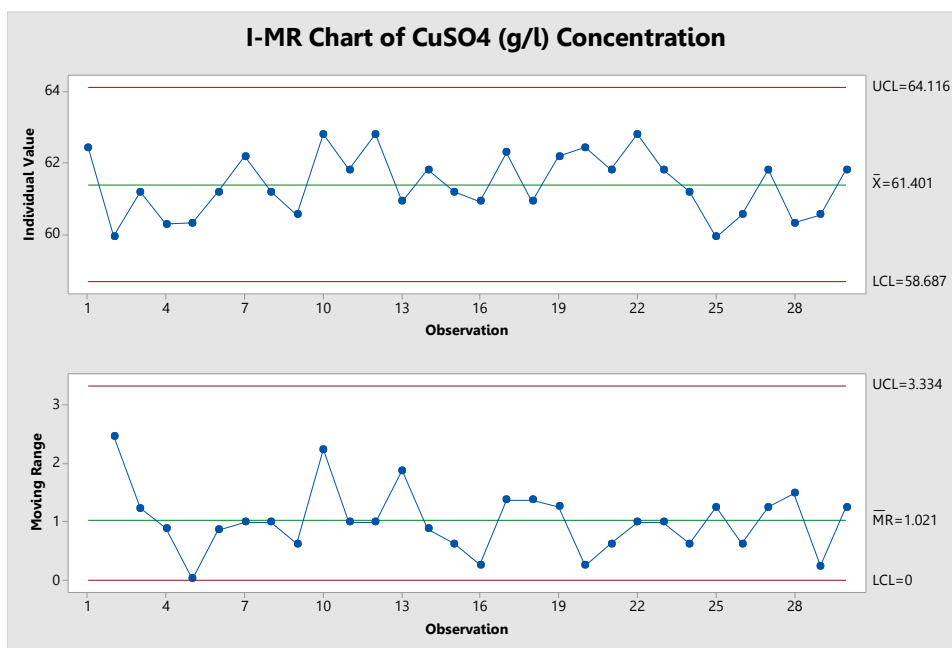
รูปที่ 7. 4 มาตรฐานการทำงานเครื่องชุบทองแดง Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

## 7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

แผนการควบคุมของปัจจัยนำเข้าที่กำหนด หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต และเพื่อควบคุมให้ปัจจัยนำเข้าอยู่ในค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในที่นี่ คือ ค่าความเข้มข้น CuSO<sub>4</sub> ของสารละลายภายในบ่อชุบ และทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิ X bar – R Chart มาใช้ในการควบคุมปัจจัย ว่าอยู่ในสภาวะที่ต้องการหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนอง จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตแผนวงจรพิมพ์ภายใน

เดือนเมษายน 2560 เพื่อพิจารณาผลของการปรับปรุงกระบวนการในระยะยาวทั้งปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและตัวแปรเป้าหมาย

### 7.2.1 ความเข้มข้น $\text{CuSO}_4$ ของสารละลายภายในบ่อชุบ



#### รูปที่ 7.5 แผนภูมิควบคุม $ImR$ สำหรับความเข้มข้น $\text{CuSO}_4$ ของสารละลายภายในบ่อชุบ

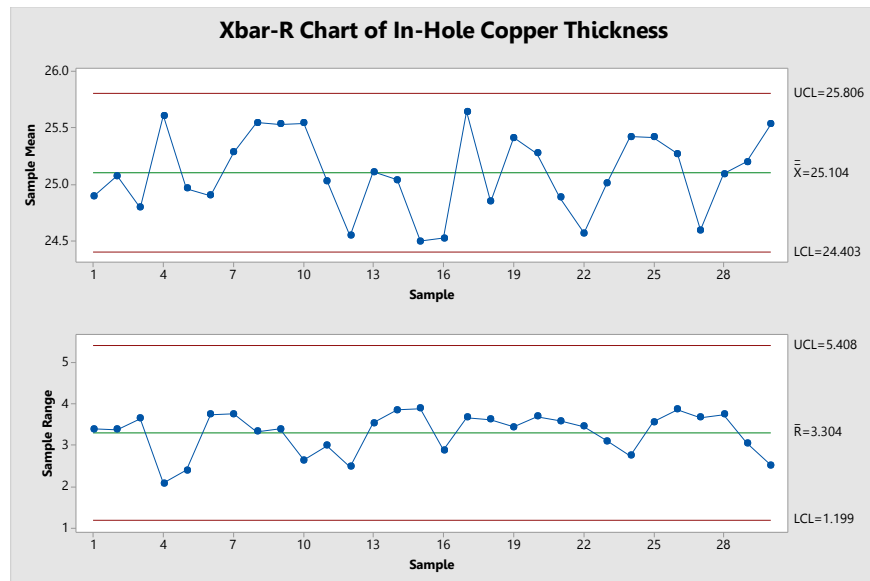
จากแผนภูมิควบคุมดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น  $\text{CuSO}_4$  ของสารละลายภายในบ่อชุบ อยู่รอบๆ 61.4 g/l ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและเป็นไปตามที่กำหนดไว้ คือ 61.0 g/l

### 7.2.2 ค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังการปรับปรุง

เมื่อทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ คือ ความเข้มข้น  $\text{CuSO}_4$  ของสารละลายภายในบ่อชุบตามค่าที่กำหนด จากนั้นพิจารณาในส่วนค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยเพื่อควบคุมค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูให้มีค่าอยู่ใกล้ค่ากลางของขอบเขตควบคุมมากที่สุด โดยทำการเก็บข้อมูล 30 กลุ่มข้อมูล (ตัวอย่างจากการวัดชิ้นงานทั้ง 16 ชิ้น) จากข้อมูลเดือนเมษายน 2560 พิจารณาจากแผนภูมิควบคุม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7.6

จากแผนภูมิควบคุม ดังรูปที่ 7.6 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าความหนาทองแดงเฉลี่ยอยู่ที่ 25.104 ไมครอน ซึ่งถือว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้

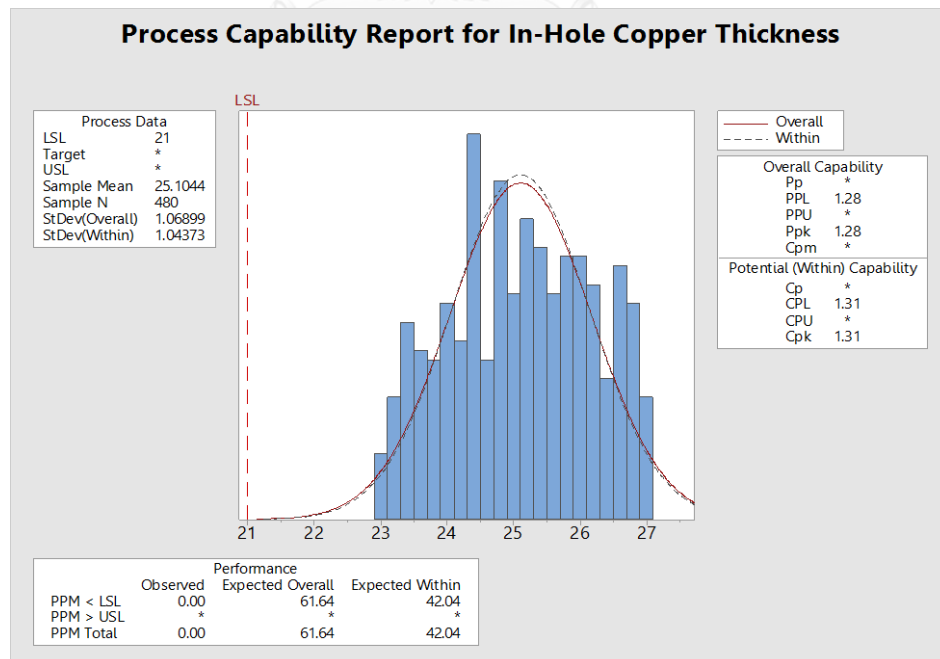




รูปที่ 7.6 แผนภูมิควบคุมค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังการปรับปรุง

### 7.3 ความสามารถหลังกระบวนการปรับปรุงกระบวนการ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้นนั้น แสดงดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 แสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงในรูหลังปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 7.7 เมื่อทำการพิจารณาความสามารถกระบวนการก่อนการดำเนินการแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากเดิมแสดงดังตารางที่ 7.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังทำการปรับปรุงกระบวนการสามารถลดความผันแปรของกระบวนการได้

**ตารางที่ 7.1** การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

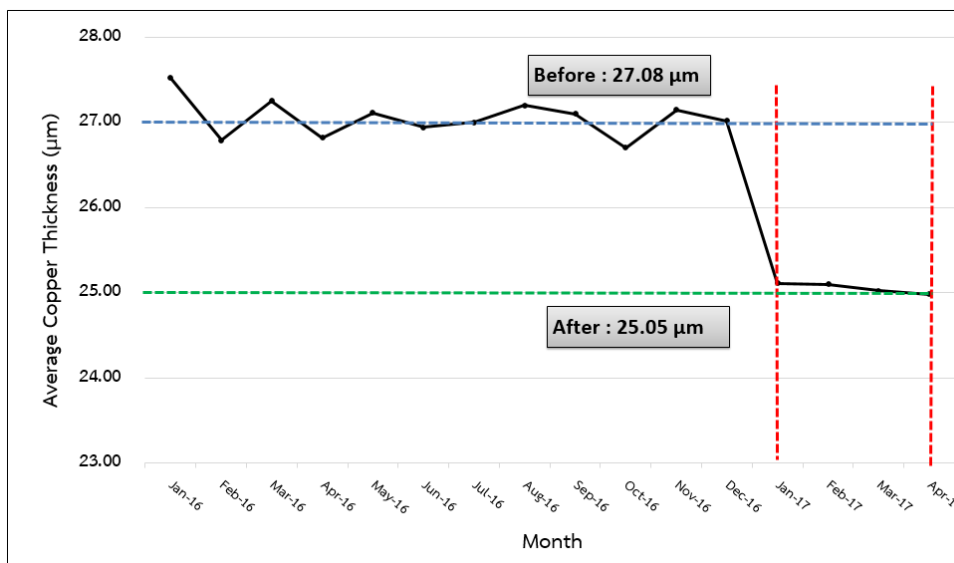
	$C_{pk}$	$P_{pk}$	Std
ค่ามาตรฐาน	มากกว่า 1.25	มากกว่า 1.25	-
ค่าที่คำนวณได้ (ก่อนปรับปรุง)	0.92	0.84	2.07
ค่าที่คำนวณได้ (หลังปรับปรุง)	1.31	1.28	1.04

จากรูปที่ 7.7 พบว่า การกระจายของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายตามข้อกำหนด คือ 25  $\mu\text{m}$  และมีค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูในรูปของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1.04 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยืนยันให้เห็นว่ากระบวนการหลังการปรับปรุงทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูมีค่าเข้าใกล้เป้าหมาย อีกทั้งกระบวนการควบคุมปัจจัยนำเข้าสำคัญยังสามารถลดค่าความผันแปรของกระบวนการชุบแผ่นวงจรพิมพ์ได้

เมื่อวิเคราะห์ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูหลังปรับปรุงกระบวนการ พบว่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) มีค่า 1.31 และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ( $P_{pk}$ ) มีค่า 1.28 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.92 และ 0.84 ตามลำดับ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 2.07 เหลือ 1.04

#### 7.4 สรุปผลการดำเนินงานตามวิธีซิกซ์ ซิกม่า

จากวัตถุประสงค์ในการทำงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อลดค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูและลดความผันแปรในกระบวนการชุบแผ่นอุตสาหกรรมแผ่นวงจรพิมพ์ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่า แล้วสามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 7.6



### รูปที่ 7.8 สรุปผลการดำเนินงานแก้ไข

จากรูปที่ 7.6 แสดงให้เห็นปริมาณค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูในช่วงก่อนการปรับปรุง ซึ่งเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนมิถุนายน 2559 มีค่าเฉลี่ยความหนาของแดงเคลือบผิวในรูอยู่ที่ประมาณ 27.08 µm โดยมีค่าความแปรปรวนอยู่ที่ 2.07 และเมื่อทำการปรับค่าระดับปัจจัยต่างๆ ตามขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยควบคุมความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ของสารละลายภายในบ่อชุบ อยู่ที่ 61 ± 2.0 g/l พบว่าค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูลดเหลือเฉลี่ยเพียง 25.10 และค่าความแปรปรวนลดลงเหลือเพียง 1.04 ในช่วงเดือนธันวาคม 2559 ถึง เมษายน 2560 ซึ่งสามารถลดค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูลงได้

### 7.5 มูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดได้

จากปัญหาข้อบกพร่องประเภท Copper Thickness Over Plate (ความหนาของทองแดงเกิน) ในกระบวนการชุบทองแดงในกรณีรุ่นที่ศึกษาคือผลิตภัณฑ์ A หลังจากการดำเนินแก้ไขปัญหาด้วยวิธี ซิกซ์ ซิกมา ส่งผลให้ค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูของผลิตภัณฑ์ A มีค่าเข้าใกล้เกณฑ์ข้อกำหนดของลูกค้ามากที่สุดอยู่ที่ 25 µm ซึ่งจากก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะมีค่าความหนาของแดงเคลือบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 27 µm

ตารางที่ 7. 2 แสดงการคำนวณมูลค่าความสูญเสียจากข้อมูลในเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560

Month	Output Product A (Board)	Average Copper Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Copper Usage (Baht)
Jan-16	237089	27.52	9,061,500
Feb-16	291556	26.79	10,847,610
Mar-16	243699	27.25	9,222,756
Apr-16	242898	26.82	9,047,360
May-16	247513	27.11	9,318,944
Jun-16	254487	27.29	9,645,145
Jul-16	244593	27.00	9,171,648
Aug-16	237138	27.20	8,957,984
Sep-16	240233	27.10	9,041,542
Oct-16	247315	26.70	9,170,671
Nov-16	245275	27.15	9,248,312
Dec-16	244616	27.02	9,179,303
<b>Avg</b>	<b>248,034</b>	<b>27.08</b>	<b>9,326,065</b>
Jan-17	240,980	25.11	8,403,643
Feb-17	250,725	25.10	8,739,999
Mar-17	251,096	25.02	8,725,044
Apr-17	240,622	24.98	8,347,697
<b>Avg</b>	<b>245,856</b>	<b>25.05</b>	<b>8,554,096</b>
<b>สรุปมูลค่าความสูญเสียที่ลดได้</b>		<b>2.03</b>	<b>771,969</b>

จากตารางที่ 7.2 ข้อมูลปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ A1 จากในช่วงเดือนมกราคม 2559 ถึงเดือนธันวาคม 2559 พบว่า จำนวนยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 248,034 บอร์ดต่อเดือน ซึ่งมีความหนาทองแดงเคลือบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 27.08  $\mu\text{m}$  คิดเป็นมูลค่าทองแดงที่ใช้ในกระบวนการชุบเท่ากับ 9,326,065 บาทต่อเดือน และหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตในช่วงเดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนเมษา 2560 พบว่า จำนวนยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 245,856 บอร์ดต่อเดือน ซึ่งมีความหนาทองแดงเคลือบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 25.05  $\mu\text{m}$  ซึ่งลดลงมาจากก่อนการปรับปรุง 2.03  $\mu\text{m}$  คิดเป็นมูลค่าทองแดงที่ใช้ในกระบวนการชุบเท่ากับ 771,969 บาทต่อเดือน จึงสามารถลดการใช้ปริมาณทองแดงคิดเป็น 7.5% หรือคิดเป็นเงิน 770,000 บาทต่อเดือน

## บทที่ 8

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอนได้แก่ การนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา และการวิเคราะห์ปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และการควบคุมกระบวนการผลิต ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรู และเพื่อลดความหนาของแดงเคลือบผิวในรู เพื่อให้เข้าใกล้ข้อกำหนดตลกค่ามากที่สุด ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

#### 8.2 บทสรุปจากระยะนิยามปัญหา

งานวิจัยนี้จะเริ่มจากระยะนิยามปัญหาเป็นขั้นตอนแรกเพื่อใช้ในการกำหนดปัญหา และคัดเลือกหัวข้อที่จะทำการปรับปรุง โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาในปัจจุบัน และจากการตรวจสอบข้อมูลทางสถิติพบว่าสาเหตุสำคัญนั้นมาจากปัญหาด้านคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูเกินความจำเป็นจากข้อกำหนดตลกค่าซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 21 ไมครอน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องทำการศึกษากระบวนการชุบแผ่น (Plating Process) ของแผ่นวงจรพิมพ์ โดยจะคำนวณหาความสามารถกระบวนการเพื่อเป็นดัชนีเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการดำเนินงานด้วยแนวคิดซิกซ์ ซิกม่าเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งผลจากการหาความสามารถกระบวนการพบว่าความสามารถของกระบวนการชุบแผ่นมีความแปรปรวนสูงและมีความมั่นคงน้อย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งมาจากการออกแบบกระบวนการ และจากผลการพิจารณาดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางในการกำหนดแผนงานเพื่อแก้ไขต่อไป

#### 8.3 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ระบบการวัด เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด ในการวัดค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรู ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ ซึ่งสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา จากนั้นระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า โดยวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้ค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูเกินโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลโดยการให้คะแนนเรียงลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้า (KPIV) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูที่สูงเกินข้อกำหนดใน CU2 Acid Plating Machine มีทั้งสิ้น 11

ปัจจัย แต่เนื่องจากมีปัจจัยบางตัวไม่เป็นอิสระต่อกัน (dependent) และเป็นข้อจำกัดของโรงงานที่ต้องควบคุมจึงต้องคัดกรองปัจจัยปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบเหลือเพียง 8 ปัจจัย ได้แก่

1. การเลือกตำแหน่งมาทดสอบ
2. ตำแหน่งแต่ละ fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
3. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
4. ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
5. ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
6. ชนิดของ dummy ขอบข้างที่ใช้ในบ่อชุบ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
7. จำนวนน็อตหนีบ(Rack) ต่อชิ้นงาน
8. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

#### 8.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเป็นระยะที่มีการนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลที่ทำให้ค่าความหนาทองแดงในรูที่เกินจากขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบทางสถิติว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ พบว่าที่ส่งผลต่อค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูอย่างมีนัยสำคัญมีทั้งหมด 4 ปัจจัย เพื่อหาปัจจัยระดับที่เหมาะสม ได้แก่

1. ความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine,
2. ตำแหน่งการใส่ชิ้นงาน (บอร์ด) บน fly bar ที่ลงชุบภายในบ่อ CU-2 Acid Plating Machine
3. ตำแหน่งชิ้นงานขณะจุ่มในบ่อ (ตำแหน่ง panel) Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine
4. ปริมาณลูก Copper Anode ภายในตะแกรงภายในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine

#### 8.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเป็นระยะที่นำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูจากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุมาวิเคราะห์ต่อเพื่อหาปัจจัยระดับที่เหมาะสมจากการศึกษาพบว่า มีเพียงปัจจัยความเข้มข้นของ CuSO<sub>4</sub> ในบ่อ Cu<sub>2</sub> Acid Plating Machine เป็นเพียงปัจจัยเดียวที่สามารถปรับค่าระดับพารามิเตอร์ได้โดยใช้วิธีการสร้าง Scatter Plot เพื่อสมการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> กับความหนาทองแดงเคลือบผิวในรู , ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความหนาทองแดงภายในรูกับความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> และอัตราการลดลงของความเข้มข้นน้ำยา CuSO<sub>4</sub> ต่อรอบการชุบ เพื่อหาปัจจัยระดับที่เหมาะสมและสามารถควบคุมเพื่อให้ตัวแปรตอบสนองคือค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด

และลดความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบแผ่น และจากการศึกษาตำแหน่งลูก Copper Anode เพื่อลดค่าความผันแปรภายในบ่อชุบโดยการศึกษา %Overlap ของชิ้นงานภายในบ่อชุบ กับค่าความผันแปรภายในบ่อชุบพบว่าเมื่อปรับปรุงแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ด้านบน (แกน Z) และการเพิ่มปริมาณลูก Copper Anode ด้านข้าง (แกน Y) จะสามารถลดค่าความผันแปรภายในบ่อชุบได้ เนื่องจากมีผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ ค่า%สัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; C.V.) มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

## 8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุม

ระยะติดตามควบคุมเป็นระยะสุดท้ายของงานวิจัยนี้ จากผลการควบคุมกระบวนการผลิตที่ผ่านมา พบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่จากการหาค่าระดับที่เหมาะสมรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยเทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ โดยหลังจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุงมีค่า 1.31 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงก่อนปรับปรุงและมีค่าความหนาของแดงเคลือบผิวในรูเฉลี่ยอยู่ที่ 25.10 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากที่สุดเนื่องจากกระบวนการชุบมีค่าความผันแปรสูงเนื่องจากตัวเครื่องจักรของกระบวนการชุบแผ่นเอง นอกจากนี้การควบคุมความเข้มข้นของ  $\text{CuSO}_4$  ในบ่อ  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตในช่วงเดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนเมษายน 2560 พบว่า จำนวนยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 245,856 บอร์ดต่อเดือน ซึ่งมีความหนาของแดงเคลือบผิวเฉลี่ยอยู่ที่ 25.05  $\mu\text{m}$  ซึ่งลดลงมาจากก่อนการปรับปรุง 2.03  $\mu\text{m}$  คิดเป็นมูลค่าทองแดงที่ใช้ในกระบวนการชุบเท่ากับ 771,969 บาทต่อเดือน จึงสามารถลดการใช้ปริมาณทองแดงคิดเป็น 7.5% หรือคิดเป็นเงิน 770,000 บาทต่อเดือน

## 8.7 ข้อจำกัดในการทดลอง

- 1) เนื่องจากชิ้นงานในรุ่นผลิตภัณฑ์ A เป็นชิ้นงานเดียวกับชิ้นงานจริง ดังนั้นในการทดลองปัจจัยต่างๆจำเป็นต้องทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด และระยะเวลาในการทดลองต้องทำภายใน 1 วันเท่านั้น เนื่องจากทุกชิ้นงานเป็นชิ้นงานออเดอร์ลูกค้า
- 2) เครื่องจักร  $\text{Cu}_2$  Acid Plating Machine ที่ใช้ในการทดลอง มีการตั้งเวลารอบการชุบให้กับทุกๆ บ่อชุบอยู่แล้ว เนื่องจากในไลน์ผลิตจะเปิดผลิตสินค้าตลอด 24 ชั่วโมง ปัจจัยนี้จึงเป็นข้อจำกัดที่ผู้วิจัยไม่สามารถทำการศึกษาได้
- 3) เนื่องจากการศึกษาปัจจัยลูก Copper Anode ในบ่อชุบเพื่อเพิ่มพื้นที่ใส่ลูก Copper Anode จะทำการศึกษาได้เพียง 2 แกน คือ แกน Y และ แกน Z เนื่องจากแกน x มีพื้นที่จำกัดไม่สามารถขยายได้ และในการศึกษานี้ต้องใช้เวลาในการตัดแปลงบ่อชุบ และต้องหาอุปกรณ์ตะแกรงเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการทดลอง ซึ่งปัจจัยตรงนี้ทางผู้วิจัยได้ศึกษาโดยทดลองเก็บข้อมูลเพียง 1 ครั้งเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดของทางโรงงานกรณีศึกษาเอง และยังไม่ได้ปรับใช้จริง

ในกระบวนการชุบแผ่นเนื่องจากการดัดแปลงบ่อชุบต้องใช้เวลา และมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์เพิ่มเติม

### 8.8 ข้อเสนอแนะ

- 1) งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาค่าความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูของแผ่น PCB ในกระบวนการชุบ เพื่อทำการลดค่าความหนาทองแดงและค่าความผันแปรภายในบ่อ จากการทดลองควบคุมความเข้มข้นน้ำยาชุบ  $\text{CuSO}_4$  จะสามารถลดความหนาทองแดงและความผันแปรได้เพียงส่วนหนึ่ง ซึ่งถ้างานวิจัยต่อไป จึงควรศึกษาปัจจัยของปริมาณ Copper Anode ควบคู่กับความเข้มข้นน้ำยาชุบด้วย ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพิ่มพื้นที่ Copper Anode ให้ครอบคลุมชิ้นงานในการชุบสามารถลดความผันแปรในบ่อชุบได้มาก และจะส่งผลให้สามารถลดค่าความหนาทองแดงและสามารถควบคุมความหนาทองแดงได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกินจำเป็น และได้รับความพึงพอใจจากลูกค้ามากขึ้นด้วย
- 2) ในการประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า นั้น บุคลากรภายในองค์กรทุกคนมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาทักษะความรู้ เพื่อที่จะสามารถดำเนินงานปรับปรุงแก้ไขปัญหาต่างๆของกระบวนการได้



ตารางที่ 8.1 สรุปผลงานวิจัย

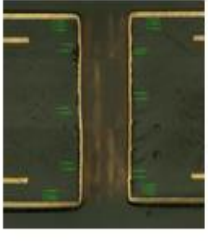
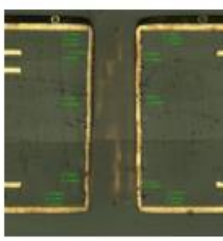
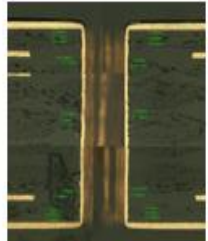
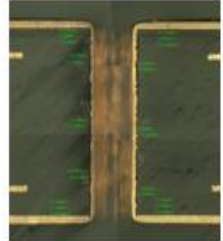
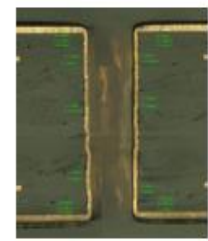
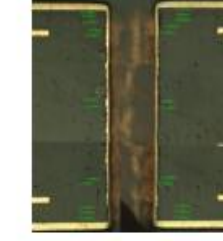
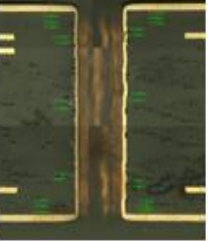
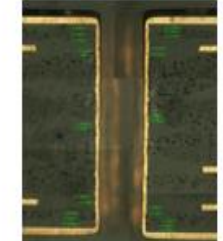
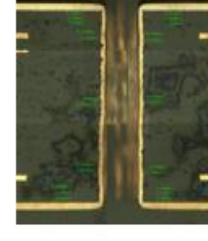

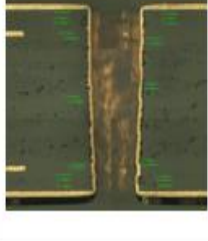
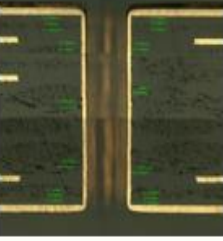
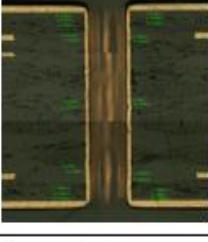
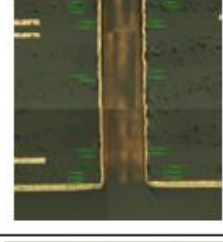
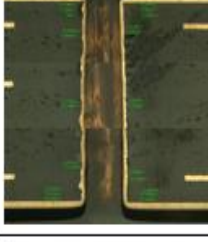
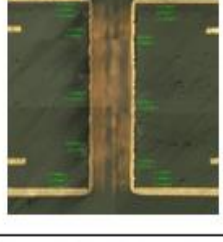
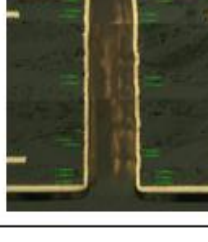
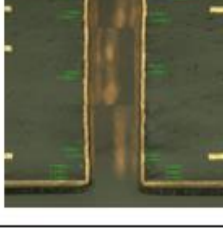
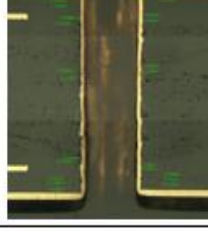
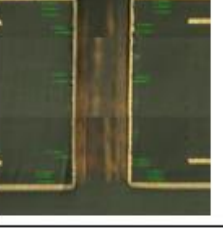
Model	ก่อนการศึกษา	การทดลอง	
		ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
Overall A1-A5	-	-	-
A1( 5 Batch) สัดส่วนการผลิต 55% ในกลุ่ม ผลิตภัณฑ์ A	Specification	≥ 21	≥ 21
		26.70 ± 2.07 (n=480) DPMO = 2890 ppm	หลังจากการควบคุมค่า CuSO4 จาก 62.5 ± 7.5 g/l เป็น 61.0 ± 2.0 g/l CQS Copper Thickness รวม = 25.10 ± 1.04 (n = 480)
	CQS Copper Thickness	CQS Copper Thickness รีม = 24.26 ± 1.36 (n= 20) CQS Copper Thickness กลาง = 26.56 ± 1.16 (n= 20) CQS Copper Thickness รวม = 25.37 ± 1.61 (n= 80)	
	Cpk	Cpk บอร์ดรีม = 0.80 , DPMO = 8200 ppm Cpk บอร์ดกลาง = 1.60, DPMO = 0.79 ppm Cpk รวม = 0.90, DPMO = 3470 ppm	Cpk รวม = 1.31, DPMO = 42 ppm
A2( 7 Batch) สัดส่วนการผลิต 26% ในกลุ่ม ผลิตภัณฑ์ A	Specification	≥ 21	≥ 21
		25.90 ± 1.80 (n=540) DPMO = 2640	
	CQS Copper Thickness	CQS Copper Thickness รีม = 22.72 ± 1.82 (n= 28) CQS Copper Thickness กลาง = 25.12 ± 1.00 (n= 28) CQS Copper Thickness รวม = 24.36 ± 1.77 (n= 126 )	
	Cpk	Cpk บอร์ดรีม = 0.32, DPMO = 168530 ppm Cpk บอร์ดกลาง = 1.37, DPMO = 20 ppm Cpk รวม = 0.63, DPMO = 29380 ppm	



ตารางผลการให้คะแนน C&E Matrix

Item	Area Cause	Process Input	PMI	Eng Mgr	Asst Eng	Process Mgr	PE	ME	QE	technician	Total
1	Man	พนักงานปฏิบัติงานตามมาตรฐาน	1	0	0	0	1	0	2	1	50
2	Man	พนักงานปฏิบัติงานตามมาตรฐาน	0	0	0	1	0	1	1	0	30
3	Man	พนักงานปฏิบัติงานตามมาตรฐาน	0	0	0	1	0	1	1	0	30
4	Man	พนักงานปฏิบัติงานตามมาตรฐาน	0	2	5	5	2	3	4	3	240
5	Man	พนักงานปฏิบัติงานตามมาตรฐาน	0	0	0	2	0	0	2	1	50
6	Machine	อุปกรณ์ทำงานเครื่องจักร CUI machine และ CU2 machine ยาวนาน	2	0	0	2	0	2	2	2	100
7	Machine	เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา	0	0	0	0	0	0	0	0	50
8	Machine	เครื่องจักร CUI machine ประสิทธิภาพเสื่อม	6	3	0	3	0	0	0	0	120
9	Machine	เครื่องจักร CUI machine ประสิทธิภาพเสื่อม	2	2	2	0	1	1	0	0	80
10	Machine	เครื่องจักร CU2 machine ประสิทธิภาพเสื่อม	6	3	0	3	0	0	0	0	120
11	Machine	สภาพ High power supply ในเครื่องจักร CUI machine และ CU2 machine เสื่อมสภาพหรือชำรุด	2	2	2	3	0	0	0	0	100
12	Machine	พนักงานปฏิบัติงานไม่พร้อม	7	8	6	7	8	9	7	8	580
13	Machine	จำนวนพนักงานไม่เพียงพอ CU Machine : พนักงานแม่ fly bar ที่ลงท้ายในใบ	8	7	7	8	6	8	9	7	560
14	Machine	เครื่องจักรไม่พร้อมประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องจักรชำรุด/เสียหาย	1	0	1	0	1	0	1	1	50
15	Measurement	เครื่องวัดไม่พร้อมประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุด/เสียหาย	2	0	0	0	2	0	2	0	60
16	Measurement	เครื่องวัดไม่พร้อมประสิทธิภาพเนื่องจากเครื่องวัดชำรุด/เสียหาย	1	1	1	1	2	2	1	0	100
17	Measurement	ความถูกต้องในการวัดชิ้นงาน	1	1	2	1	2	2	1	0	100
18	Measurement	ความถูกต้องในการวัดซ้ำ	1	1	2	1	2	2	1	0	100
19	Materials	ความชื้นของน้ำยาขุ่น CUI Machine ไม่เหมาะสม	8	10	9	9	9	9	9	8	720
20	Materials	ความชื้นของ HCl ในใบ CUI Machine	10	10	9	9	10	8	9	9	740
21	Materials	ความชื้นของ leveler ในใบ CUI Machine	0	0	1	2	2	2	1	2	100
22	Materials	ความชื้นของ leveler ในใบ CUI Machine	0	0	0	2	2	1	1	2	80
23	Materials	ความชื้นของ Copper Brightener ในใบ CUI Machine	0	0	0	1	1	1	1	1	50
24	Materials	ความชื้นของ H2SO4 ในใบ CU2 Machine	8	10	9	9	9	9	8	10	720
25	Materials	ความชื้นของ CuSO4 ในใบ CU2 Machine	10	10	9	9	10	8	9	9	740
26	Materials	ความชื้นของ HCl ในใบ CU2 Machine	0	0	1	2	2	2	1	2	100
27	Materials	ความชื้นของ leveler ในใบ CU2 Machine	0	0	0	2	2	1	1	2	80
28	Materials	ความชื้นของ Copper Brightener ในใบ CU2 Machine	0	0	0	1	1	1	1	1	50
29	Materials	ปริมาณลูก Copper Anode ภายในระบบการจ่ายในใบ	10	9	8	9	9	9	8	8	700
30	Materials	วัดชิ้นจากกระบวนการของชิ้นงานการจ่ายในใบ	1	2	3	2	2	2	1	2	140
31	Materials	วัดชิ้นแม่เหล็ก lot มีคุณภาพแตกต่างกัน	1	2	2	1	1	1	1	1	100
32	Materials	ชนิดของ dumpy ของชิ้นงานในใบ	10	5	7	10	7	7	7	9	600
33	Methods	วิธีการผลิตในใบ CUI Machine	8	9	9	9	9	9	8	8	690
34	Methods	อุณหภูมิของสารละลายในใบ CUI Machine	2	0	3	3	3	1	1	0	130
35	Methods	เวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานในใบ CUI Machine	8	8	9	9	9	9	8	8	680
36	Methods	จำนวนชิ้นงานในการชุบแต่ละครั้งในใบ CUI Machine	0	0	0	3	0	1	1	2	70
37	Methods	จำนวนชิ้นงานในการชุบแต่ละครั้งในใบ CU2 Machine	9	8	8	9	9	9	8	8	670
38	Methods	วิธีการผลิตในใบ CU2 Machine	8	9	9	9	9	9	8	8	690
39	Methods	อุณหภูมิของสารละลายในใบ CU2 Machine	2	0	3	3	3	1	1	0	130
40	Methods	เวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานในใบ CU2 Machine	8	8	9	9	9	9	8	8	680
41	Methods	จำนวนชิ้นงานในการชุบแต่ละครั้งในใบ CU2 Machine	0	0	0	3	0	1	1	2	70
42	Methods	จำนวนชิ้นงานในการชุบแต่ละครั้งในใบ CU2 Machine	9	8	8	8	9	9	8	8	670
43	Methods	ปริมาณการใส่ชิ้นงาน (unit) บน fly bar ที่ลงท้ายในใบ	8	8	8	8	8	8	8	8	640
44	Methods	วิธีการเลือกตำแหน่งการทดสอบ	7	6	8	8	8	8	7	8	580
45	Environment	อุณหภูมิในสถานที่ปฏิบัติงาน	0	1	1	1	0	0	0	0	30
46	Environment	ความชื้นในสถานที่ปฏิบัติงาน	0	1	1	1	0	0	0	0	30
Total											13180

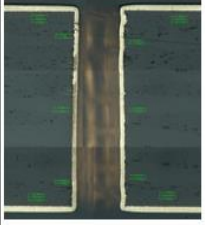
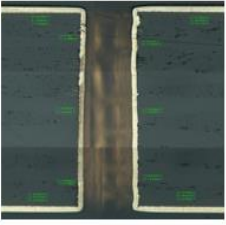
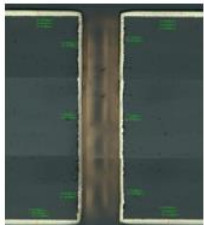
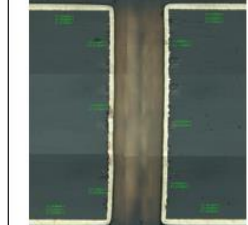
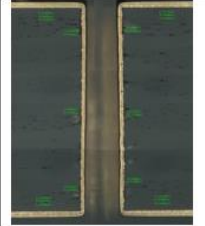
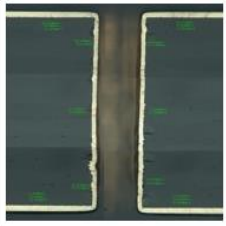

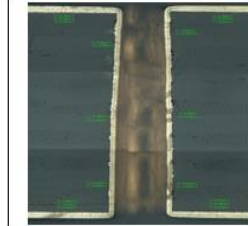
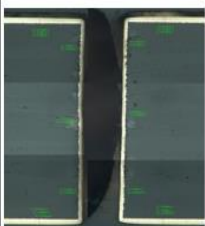
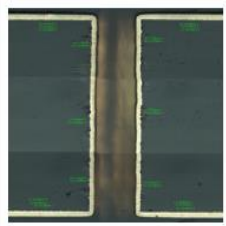
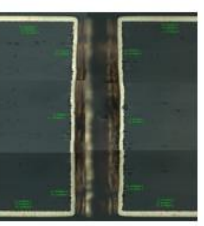
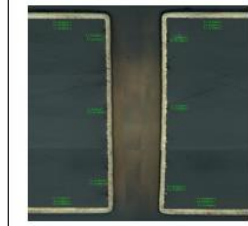
**ภาพสั่มตัด Microsection ในรุ่นผลิตภัณฑ์ A2**

Batch	แคววางชั้นงาน (Fly Bar)			
	Front		Back	
	ตำแหน่ง Board ริม (Board 1)	ตำแหน่ง Board กลาง (Board 5)	ตำแหน่ง Board ริม (Board 1)	ตำแหน่ง Board กลาง (Board 5)
1				
2				
3				
4				
5				

ตารางผลการสุ่มตัด **Microsection** การทดลองผลิตภัณฑ์ **A1** ด้วยอุปกรณ์ **Microscope 50X** ทั้งหมด **20 coupon** พบว่าค่าความหนา **Cu 1** คงที่อยู่ที่ **9.8±1.00**

Code coupon	Batch No.	fly bar (F/B)	Board position	Isoscope 50X (Tm )		
				Cu-1	Cu-2	Total
1.1.1	B1	F	ริม	8.30	9.23	17.53
1.1.5			กลาง	10.35	13.36	23.71
1.2.1		B	ริม	10.61	11.21	21.82
1.2.5			กลาง	9.09	12.41	21.50
2.1.1	B2	F	ริม	11.39	12.76	24.15
2.1.5			กลาง	9.92	9.92	19.84
2.2.1		B	ริม	9.91	11.73	21.64
2.2.5			กลาง	11.38	12.50	23.88
3.1.1	B3	F	ริม	11.04	13.02	24.06
3.1.5			กลาง	9.67	12.93	22.60
3.2.1		B	ริม	9.90	12.24	22.14
3.2.5			กลาง	9.67	12.93	22.60
4.1.1	B4	F	ริม	9.06	11.21	20.27
4.1.5			กลาง	8.89	10.72	19.61
4.2.1		B	ริม	9.32	12.33	21.64
4.2.5			กลาง	8.89	10.72	19.61
5.1.1	B5	F	ริม	10.78	12.68	23.46
5.1.5			กลาง	8.20	12.59	20.79
5.2.1		B	ริม	9.23	12.77	21.99
5.2.5			กลาง	9.57	11.04	20.61
Average				9.8		
SD				1.0		

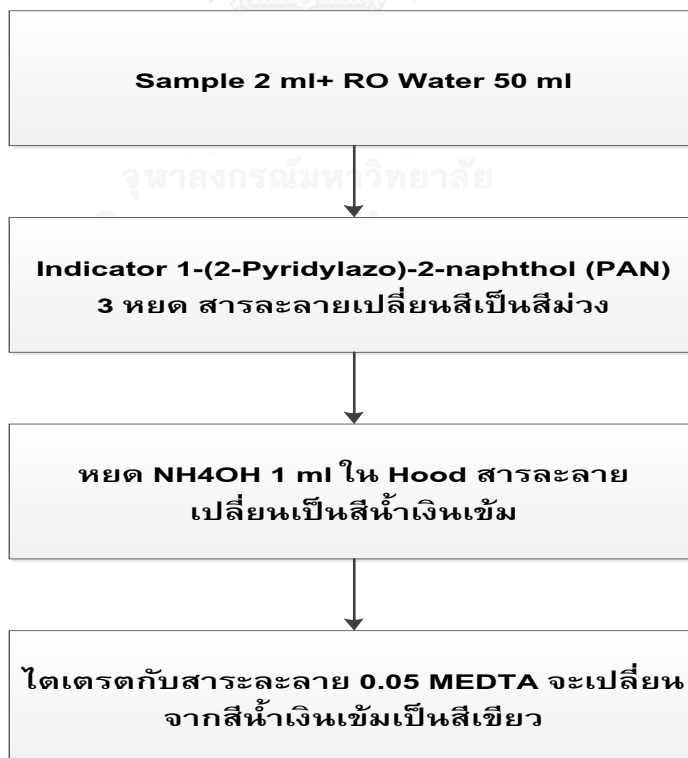
**ภาพสั้่ตัด Microsection ในรุ่นผลิตภั้ณ์ A2**

Batch	Coupon No.		Batch	Coupon No.	
	ตำแหน่ง Board รึ้ม (Board 1)	ตำแหน่ง Board กลาง (Board 5)		ตำแหน่ง Board รึ้ม (Board 1)	ตำแหน่ง Board กลาง (Board 5)
1			4		
2			5		
3			6		

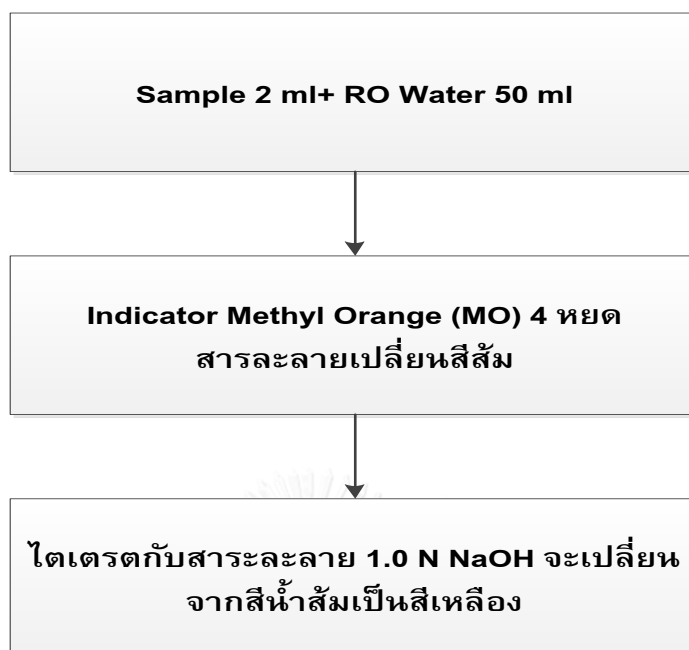
ตารางผลการสุ่มตัด **Microsection** การทดลองผลิตภัณฑ์ **A2** ด้วยอุปกรณ์ **Microscope 50X** ทั้งหมด  
**12 coupon** พบว่าค่าความหนา **Cu 1** คงที่อยู่ที่  **$9.8 \pm 1.00$**

Code coupon	Batch No.	fly bar (F/B)	Board position	Isoscope 50X (Tm)		
				Cu-1	Cu-2	Total
1.1	B1	F	ริม	8.36	11.55	19.12
1.5			กลาง	10.54	13.23	22.97
2.1	B2	B	ริม	9.77	12.04	21.01
2.5			กลาง	10.40	12.32	21.92
3.1	B3	F	ริม	8.37	11.48	19.05
3.5			กลาง	8.86	12.95	21.01
4.1	B4	B	ริม	9.42	10.37	18.99
4.5			กลาง	9.98	12.46	21.64
5.1	B5	F	ริม	9.98	11.13	20.31
5.5			กลาง	11.59	14.07	24.85
6.1	B6	B	ริม	9.70	11.34	20.24
6.5			กลาง	11.16	12.63	22.99
Average				9.8		
SD				1.0		

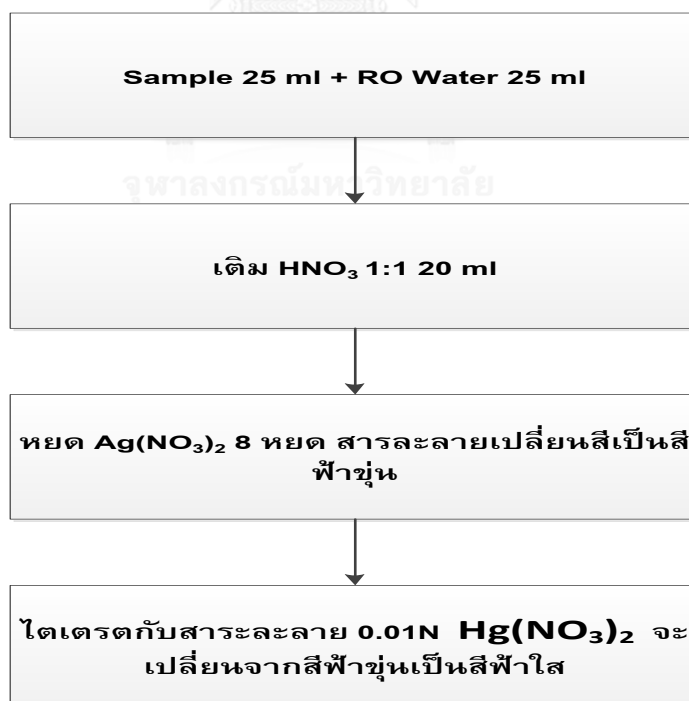
ขั้นตอนการไตเตรดหาปริมาณ **CuSO<sub>4</sub>** ในน้ำยาชุบ **Cu2 Acid Machine**



ขั้นตอนการไตเตรตหาปริมาณ  $H_2SO_4$  ในน้ำยาชุบ  $Cu_2$  Acid Machine



ขั้นตอนการไตเตรตหาปริมาณ  $Cl^-$  ในน้ำยาชุบ  $Cu_2$  Acid Machine





ข้อมูลความหนาทองแดงเคลือบผิวในรุ่นผลิตภัณฑ์ A1

<b>Product Model</b>	<b>A1</b>	<b>เวลาที่ใช้ชุบ (นาที)</b>	<b>CU2</b>
<b>พื้นที่ผิวชุบ/แผ่น(2หน้า)</b>	<b>61.914</b>	<b>พื้นที่ผิวชุบทั้งหมด (ม2)</b>	<b>40</b>
<b>จำนวนแผ่น/บ่อ</b>	<b>8</b>	<b>Amp/m2</b>	<b>1.60</b>
<b>W</b> 510 mm		<b>Amp จากการคำนวณ</b>	<b>793</b>
<b>L</b> 607 mm		<b>Amp ที่จัดบันทึก</b>	<b>แถว F 793 Amp 2.4V</b>
			<b>แถว B 793 Amp 2.7V</b>

ค่าน้ำยาภายในบ่อชุบ CU2 Acid Plating Machine ขณะก่อนลงชุบ (5 รอบการชุบ)

ลำดับ	บ่อ	หัวข้อการตรวจสอบ	มาตรฐานควบคุม				ค่าที่ได้
1	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	55.0	-	70.0	g/L	61.81
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.0	-	12.0	%	10.53
		Quantity Cl -	60.0	-	100	ppm	66.65
2	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	55.0	-	70.0	g/L	61.69
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.0	-	12.0	%	10.46
		Quantity Cl -	60.0	-	100	ppm	62.39
3	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	55.0	-	70.0	g/L	61.55
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.0	-	12.0	%	10.46
		Quantity Cl -	60.0	-	100	ppm	60.97
4	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	46.7	-	90.7	g/L	61.24
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	49.2	-	105.7	%	10.39
		Quantity Cl -	51.7	-	121	ppm	62.39
5	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	54.2	-	135.7	g/L	60.82
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	56.7	-	150.7	%	10.39
		Quantity Cl -	59.2	-	166	ppm	62.39
6	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	61.7	-	180.7	g/L	59.99
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	64.2	-	195.7	%	10.39
		Quantity Cl -	66.7	-	211	ppm	60.97

รอบ	แถว	แผ่นที่	In Hole (ตำแหน่งที่วัดความหนา) หน่วย: $\mu\text{m}$						
			H1	H2	H3	H4*	H5	X-bar	SD
1	F	1	21.27	23.46	25.30	22.80	24.46	23.46	1.55
		2	24.62	23.26	27.27	23.88	24.71	24.75	1.53
		3	27.47	26.65	26.85	28.50	29.01	27.70	1.03
		4	27.00	24.86	27.27	25.64	27.18	26.39	1.08
		5	26.87	28.66	22.55	28.43	26.73	26.65	2.45
		6	29.35	25.25	26.99	26.79	26.64	27.01	1.48
		7	27.44	26.01	28.61	26.30	27.49	27.17	1.04
		8	23.95	23.56	25.13	24.20	25.24	24.42	0.74
		x-bar	26.00	25.21	26.25	25.82	26.43		
		SD	2.56	1.87	1.87	2.10	1.55		
	B	1	26.38	26.04	26.08	24.67	25.23	25.68	0.71
		2	28.92	25.23	24.76	26.14	27.05	26.42	1.65
		3	27.53	23.66	23.99	24.06	25.87	25.02	1.65
		4	28.67	26.26	28.18	26.07	26.96	27.23	1.15
		5	28.26	28.72	30.36	26.85	28.04	28.45	1.27
		6	27.01	26.37	27.93	26.05	26.98	26.87	0.72
		7	28.15	26.69	28.72	28.91	27.55	28.00	0.91
		8	27.99	25.93	27.80	26.08	26.83	26.92	0.95
		x-bar	27.86	26.11	27.23	26.10	26.81		
SD		0.85	1.42	2.13	1.45	0.89			
2	รวม	GX-bar	26.93	25.66	26.74	25.96	26.62		
		GSD	2.08	1.67	2.00	1.75	1.23		
	F	1	27.02	24.92	23.40	24.85	23.89	24.82	1.39
		2	28.01	28.55	28.67	26.09	28.12	27.89	1.05
		3	25.58	26.12	27.29	25.21	27.40	26.32	0.99
		4	30.03	27.33	28.72	26.91	27.96	28.19	1.23

3	B	5	29.04	28.25	29.52	27.29	28.32	28.48	0.85
		6	29.39	27.82	29.73	27.21	29.18	28.66	1.09
		7	27.67	25.11	28.63	25.13	27.80	26.87	1.64
		8	27.65	22.17	29.80	22.52	27.15	25.86	3.36
		x-bar	28.05	26.28	28.22	25.65	27.48		
		SD	1.42	2.16	2.11	1.59	1.58		
	B	1	29.51	26.30	29.08	25.47	28.35	27.74	1.77
		2	27.93	23.19	27.62	24.18	27.00	25.98	2.15
		3	27.64	23.87	28.53	24.73	27.87	26.53	2.08
		4	29.01	27.31	31.08	27.23	27.97	28.52	1.60
		5	30.69	28.82	29.90	27.56	28.33	29.06	1.25
		6	28.89	27.66	29.33	26.33	28.10	28.06	1.17
		7	29.68	25.83	30.47	25.05	28.27	27.86	2.36
		8	27.94	24.29	25.98	24.20	26.65	25.81	1.60
		x-bar	28.91	25.91	29.00	25.59	27.82		
		SD	1.05	2.00	1.63	1.31	0.64		
	B	GX-bar	28.48	26.10	28.61	25.62	27.65		
		GSD	1.29	2.02	1.87	1.41	1.18		
	F	1	29.93	29.99	29.24	28.22	28.52	29.18	0.80
		2	23.28	20.83	26.77	21.64	23.33	23.17	2.28
3		27.91	25.67	27.60	26.60	27.06	26.97	0.88	
4		29.83	26.52	29.10	26.50	28.22	28.04	1.50	
5		27.55	28.01	27.83	26.60	26.72	27.34	0.64	
6		24.22	23.46	26.97	24.31	25.47	24.89	1.37	
7		27.78	24.67	29.03	25.83	26.36	26.74	1.70	
8		28.87	24.96	26.46	24.84	25.54	26.13	1.66	
x-bar		27.42	25.51	27.87	25.57	26.40			
SD		2.45	2.79	1.12	1.99	1.67			

B	1	24.95	25.57	28.23	23.98	25.25	25.60	1.59	
	2	23.16	20.78	24.24	21.19	23.60	22.59	1.52	
	3	28.15	26.53	28.62	26.20	26.67	27.23	1.08	
	4	27.67	24.56	26.72	24.30	26.71	25.99	1.48	
	5	29.81	29.84	30.10	28.44	28.83	29.40	0.72	
	6	31.56	27.50	28.63	27.79	27.62	28.62	1.70	
	7	26.70	25.97	22.66	25.13	24.81	25.06	1.53	
	8	28.33	26.22	26.56	25.57	26.36	26.61	1.03	
	x-bar	27.54	25.87	26.97	25.33	26.23			
	SD	2.64	2.58	2.48	2.29	1.65			
	333	GX-bar	27.48	25.69	27.42	25.45	26.32	26.47	
GSD		2.46	2.60	1.92	2.07	1.60	2.27		
4	F	1	25.08	24.10	26.21	22.84	24.15	24.48	1.25
		2	27.48	23.93	27.27	23.90	26.57	25.83	1.78
		3	29.47	25.69	28.54	25.63	26.61	27.19	1.74
		4	28.63	27.45	26.76	26.88	27.21	27.39	0.75
		5	27.85	30.02	26.22	26.41	26.69	27.44	1.58
		6	30.08	28.09	27.58	27.86	28.28	28.38	0.99
		7	26.24	28.44	27.04	25.64	27.36	26.94	1.07
		8	26.75	26.79	27.73	25.08	24.93	26.26	1.21
		x-bar	27.70	26.81	27.17	25.53	26.47		
		SD	1.67	2.14	0.79	1.61	1.33		
	B	1	28.37	28.92	25.37	26.07	26.76	27.10	1.50
2		29.82	26.66	30.78	25.55	27.83	28.13	2.17	
3		30.27	26.05	31.90	25.74	29.34	28.66	2.69	
4		29.67	26.63	29.83	25.45	27.73	27.86	1.90	
5		26.83	25.96	28.54	24.52	26.16	26.40	1.46	
6		29.19	24.74	28.38	23.43	26.05	26.36	2.42	

5		7	29.33	26.12	30.88	24.95	27.29	27.72	2.40
		8	28.82	24.71	29.57	22.91	26.68	26.54	2.78
		x-bar	29.04	26.22	29.41	24.83	27.23		
		SD	1.07	1.32	2.02	1.14	1.08		
	รวม	GX-bar	28.37	26.52	28.29	25.18	26.85	27.04	
		GSD	1.52	1.74	1.88	1.39	1.23	1.94	
	F	1	25.48	25.78	23.53	25.24	25.75	25.16	0.93
		2	26.65	21.86	26.01	21.49	25.25	24.25	2.41
		3	28.67	25.98	27.94	26.49	26.87	27.19	1.10
		4	26.85	24.97	28.68	25.35	26.44	26.46	1.46
5		26.07	24.55	27.79	25.16	24.89	25.69	1.30	
6		24.66	24.05	27.00	24.65	25.36	25.14	1.14	
7		26.17	23.37	26.39	23.65	24.74	24.86	1.39	
8		23.26	24.01	26.25	23.82	25.35	24.54	1.22	
x-bar		25.98	24.32	26.70	24.48	25.58			
SD		1.60	1.33	1.58	1.51	0.74			
B	1	26.14	26.58	28.11	24.52	26.61	26.39	1.28	
	2	26.27	23.70	26.67	24.24	26.49	25.48	1.39	
	3	27.29	24.58	23.71	25.31	27.75	25.73	1.74	
	4	27.77	24.93	27.36	25.15	27.45	26.53	1.37	
	5	27.20	26.53	26.71	26.35	25.91	26.54	0.47	
	6	26.21	23.43	28.62	24.74	26.37	25.88	1.95	
	7	28.84	25.40	27.01	24.27	26.68	26.44	1.73	
	8	26.69	24.31	30.27	24.21	27.37	26.57	2.50	
	x-bar	27.05	24.93	27.31	24.85	26.83			
	SD	0.93	1.18	1.89	0.74	0.63			
รวม	GX-bar	26.51	24.63	27.00	24.67	26.20	25.80		
	GSD	1.38	1.26	1.71	1.16	0.92	1.61		

ข้อมูลความหนาทองแดงเคลือบผิวในรูรุ่นผลิตภัณฑ์ A2

<b>Product Model</b>	<b>A2</b>	CU2
พื้นที่ผิวชุบ/แผ่น(2หน้า)	57.5976	เวลาที่ใช้ชุบ (นาที) 40
จำนวนแผ่น/บ่อ	9	พื้นที่ผิวชุบทั้งหมด (ม2) 518.378
W <u>466</u> mm		Amp/m2 1.60
L <u>618</u> mm		Amp จากการค้าจำนวน 830
		Amp ที่ลดบันทึก 830

ค่าน้ำยาภายในบ่อชุบ CU2 Acid Plating Machine ขณะก่อนลงชุบ (7 รอบการชุบ)

ลำดับ	บ่อ	หัวข้อการตรวจสอบ	มาตรฐานควบคุม				ค่าที่ได้
1	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	55.0	-	70.0	g/L	58.45
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.0	-	12.0	%	10.67
		Quantity Cl -	60.0	-	100	ppm	56.72
2	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	55.0	-	70.0	g/L	58.30
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.0	-	12.0	%	10.74
		Quantity Cl -	60.0	-	100	ppm	58.14
3	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	55.0	-	70.0	g/L	57.52
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10.0	-	12.0	%	10.60
		Quantity Cl -	60.0	-	100	ppm	59.56
4	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	46.7	-	90.7	g/L	57.21
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	49.2	-	105.7	%	10.60
		Quantity Cl -	51.7	-	121	ppm	56.72
5	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	54.2	-	135.7	g/L	56.90
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	56.7	-	150.7	%	10.53
		Quantity Cl -	59.2	-	166	ppm	56.72
6	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	61.7	-	180.7	g/L	56.59
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	64.2	-	195.7	%	10.53
		Quantity Cl -	66.7	-	211	ppm	59.56
7	Copper tank1	Quantity CuSO <sub>4</sub>	69.2	-	225.7	g/L	56.28
		Composition H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	71.7	-	240.7	%	10.53
		Quantity Cl -	74.2	-	256	ppm	59.56

รอบ	แถว	แผ่นที่	In Hole (ตำแหน่งที่วัดความหนา) หน่วย: $\mu\text{m}$						
			1	2	3	4	5	X-bar	SD
1	F	1	27.12	25.71	27.60	25.22	25.58	26.15	1.14
		2	27.21	28.99	28.12	27.26	27.64	27.75	0.80
		3	27.10	25.74	26.29	26.64	27.10	26.47	0.50
		4	26.97	24.66	26.19	26.24	25.17	25.75	1.03
		5	23.48	19.37	18.84	22.95	20.80	20.99	2.11
		6	28.12	26.30	28.12	25.87	27.05	26.99	1.06
		7	28.70	26.77	28.91	26.07	26.75	27.34	1.36
		8	23.95	18.01	19.61	22.36	21.21	20.93	2.32
		9	28.30	24.18	25.49	24.18	26.01	25.82	1.51
		x-bar	26.77	24.42	25.46	25.36	25.26	25.35	2.77
		SD	1.84	3.54	3.71	1.65	2.53	25.64	
	B	1	21.73	25.85	28.23	20.45	24.94	24.14	3.13
		2	27.05	25.11	26.80	26.55	26.80	26.36	0.75
		3	27.36	24.87	25.51	26.05	26.18	25.89	0.93
		4	27.34	25.83	26.41	27.04	26.44	26.51	0.66
		5	27.86	26.70	27.04	26.61	27.45	27.03	0.50
		6	28.57	26.68	26.80	28.14	27.41	27.42	0.87
		7	27.11	27.71	26.62	26.67	26.68	26.86	0.58
		8	23.53	26.27	27.02	22.32	25.25	24.78	1.93
		9	23.41	23.85	26.44	21.48	22.55	23.45	1.93
		x-bar	26.00	25.87	26.76	25.04	25.97	25.83	1.89
SD		2.43	1.15	0.72	2.81	1.54			
รวม	GX-bar	26.38	25.15	26.11	25.12	25.61	25.67		
	GSD	2.13	2.66	2.67	2.25	2.07	2.37		

2	F	1	25.98	23.72	24.85	26.28	25.69	26.20	1.01
		2	27.34	25.51	27.09	25.72	26.09	27.25	0.89
		3	26.74	23.30	24.35	26.13	25.57	26.12	1.37
		4	26.91	25.85	27.02	25.07	25.81	27.03	0.90
		5	26.72	23.67	25.92	24.16	25.71	26.14	1.25
		6	26.58	24.95	24.50	25.42	25.41	26.27	0.80
		7	25.21	23.92	25.85	23.69	25.25	25.68	0.90
		8	23.87	17.88	18.62	23.14	20.56	21.71	2.68
		9	26.83	26.60	27.44	24.43	24.95	26.95	1.41
		x-bar	26.24	23.93	25.07	24.89	25.00	25.93	2.00
	SD	1.08	2.54	2.68	1.10	1.70			
	B	1	20.94	27.10	25.94	20.55	24.21	24.65	2.92
		2	27.38	26.56	27.18	25.58	27.69	27.78	0.74
		3	27.36	24.60	25.44	26.62	27.63	27.23	1.18
		4	24.94	24.92	24.80	25.83	25.40	26.08	0.43
		5	25.33	23.51	22.85	25.28	26.30	25.55	1.29
		6	26.33	26.42	26.05	25.38	26.12	26.96	0.45
		7	26.40	25.29	25.36	25.03	25.78	26.47	0.53
		8	27.26	26.13	26.27	26.03	27.61	27.56	0.58
		9	22.33	22.60	21.05	20.49	22.42	22.68	0.89
x-bar		25.36	25.24	24.99	24.53	25.91	26.11	1.94	
SD	2.31	1.50	1.90	2.32	1.75				
3	F	GX-bar	25.80	24.58	25.03	24.71	25.45	25.12	
		GSD	1.81	2.13	2.25	1.77	1.74	1.96	
3	F	1	26.22	26.90	27.42	24.11	27.14	26.26	1.28
		2	26.59	26.04	25.58	26.24	28.07	26.41	0.75
		3	27.29	25.13	24.66	26.25	25.86	25.74	1.04
		4	26.10	26.67	26.30	25.68	26.21	26.09	0.42



		5	24.74	25.03	24.65	25.39	24.80	24.82	0.41
		6	27.55	25.82	25.50	25.96	27.39	26.35	0.85
		7	27.04	26.22	26.60	26.81	27.33	26.70	0.31
		8	22.36	29.02	29.65	21.36	21.86	24.75	4.21
		9	23.35	24.24	23.68	21.96	22.42	23.03	1.04
		x-bar	25.69	26.12	26.00	24.86	25.68	25.57	1.82
		SD	1.82	1.38	1.78	1.97	2.23		
	B	1	22.58	25.67	25.79	20.72	26.17	23.71	2.14
		2	26.29	25.12	25.94	24.75	25.62	25.35	0.73
		3	25.46	25.09	24.21	24.66	25.59	24.81	0.48
		4	25.82	24.31	24.34	24.88	24.81	24.82	0.61
		5	27.03	25.41	25.46	25.33	25.91	25.63	0.81
		6	25.99	25.00	25.79	24.97	25.50	25.36	0.49
		7	25.67	24.85	26.43	24.58	25.35	25.41	0.73
		8	27.94	25.09	25.54	25.70	25.59	25.88	1.19
		9	22.99	30.28	30.67	22.11	30.78	25.79	4.29
		x-bar	25.53	25.65	26.02	24.19	26.15	25.20	1.83
		SD	1.74	1.78	1.89	1.65	1.78		
	B	GX-bar	25.61	25.88	26.01	24.52	25.91	25.59	
		GSD	1.73	1.56	1.78	1.79	1.97	1.82	
	4	F	1	25.71	25.03	25.59	24.75	24.99	25.11
2			26.03	24.93	25.65	24.41	25.10	25.12	0.69
3			25.55	24.16	24.50	25.25	25.70	24.93	0.58
4			26.21	25.91	25.82	24.54	25.62	25.52	0.68
5			25.15	23.11	23.78	24.59	23.10	23.85	1.05
6			25.23	23.90	25.05	23.93	24.85	24.49	0.62
7			26.59	23.72	24.29	24.11	24.99	24.64	1.13
8			22.68	30.52	30.63	21.50	22.94	25.56	4.60

		9	23.29	16.80	17.36	22.71	19.84	19.90	2.99
		x-bar	25.16	24.23	24.74	23.98	24.13	24.35	2.41
		SD	1.32	3.54	3.41	1.16	1.89		
	B	1	23.16	21.49	25.09	22.55	22.32	22.82	1.42
		2	27.30	25.49	27.60	25.79	26.07	26.35	1.02
		3	26.50	26.00	26.88	24.77	27.20	26.17	0.85
		4	26.85	25.12	24.33	25.22	25.94	25.39	0.92
		5	25.41	24.12	24.72	25.29	25.87	24.98	0.56
		6	24.73	23.46	23.80	23.30	24.07	23.77	0.56
		7	26.37	26.02	26.11	25.12	26.83	25.99	0.51
		8	26.07	24.02	24.62	26.59	26.18	25.40	1.06
		9	20.78	24.74	25.71	20.23	22.51	22.69	2.42
		x-bar	25.24	24.50	25.43	24.32	25.22	24.84	1.72
SD	2.09	1.44	1.25	1.96	1.81				
รวม	GX-bar	25.20	24.36	25.09	24.15	24.67	24.69		
	GSD	1.70	2.63	2.52	1.58	1.88	2.10		
5	F	1	25.65	23.03	25.00	24.81	25.13	25.62	0.97
		2	26.10	23.69	26.18	24.07	25.29	25.97	1.14
		3	26.28	23.63	25.44	23.64	23.89	25.47	1.30
		4	25.48	24.54	25.57	23.75	24.79	25.73	0.78
		5	25.94	23.18	24.04	24.25	23.56	25.09	1.16
		6	26.23	24.07	25.13	26.05	25.85	26.37	0.86
		7	24.96	26.40	27.86	23.89	25.48	26.62	1.54
		8	20.56	23.32	26.12	18.71	22.08	23.06	2.82
		9	23.37	27.63	27.10	22.97	20.40	25.19	3.20
		x-bar	25.95	25.39	26.83	24.57	24.05	25.46	1.81
		SD	1.88	1.59	1.15	2.02	1.80		
	B	1	22.00	17.78	18.99	22.29	19.93	21.10	1.96

		2	25.29	22.70	23.66	23.85	23.65	24.73	0.98	
		3	27.93	25.38	26.24	26.00	25.86	27.18	1.05	
		4	25.61	23.11	23.90	24.82	25.33	25.46	0.97	
		5	25.89	24.36	23.40	25.72	25.71	25.92	1.04	
		6	26.28	25.21	24.35	26.40	25.38	26.42	0.89	
		7	25.93	26.71	25.88	26.12	26.27	27.08	0.37	
		8	26.44	24.75	24.52	25.25	25.58	26.21	0.74	
		9	22.70	21.28	21.25	21.23	21.61	22.51	0.66	
		x-bar	25.34	23.48	23.58	24.63	24.37	25.18	2.20	
		SD	1.86	2.68	2.25	1.82	2.20			
		333	GX-bar	25.15	23.93	24.70	24.10	24.21	24.42	
			GSD	1.82	2.19	2.08	1.94	1.96	2.01	
6	F	1	22.56	21.33	20.84	23.20	21.82	21.85	0.99	
		2	23.46	19.86	20.82	22.13	21.65	21.48	1.37	
		3	25.86	22.67	22.98	24.55	24.37	23.99	1.28	
		4	26.54	24.49	26.34	26.55	26.44	25.97	0.86	
		5	24.85	23.24	24.54	23.48	23.44	23.81	0.84	
		6	26.05	23.81	24.96	24.08	24.57	24.59	0.92	
		7	25.09	23.27	24.93	24.50	25.11	24.48	0.71	
		8	26.24	25.21	27.15	25.28	26.69	26.01	0.80	
		9	25.94	24.26	25.27	25.89	26.31	25.43	0.71	
		x-bar	25.18	23.13	24.20	24.41	24.49	24.18	1.78	
		SD	1.36	1.66	2.23	1.38	1.89			
		B	1	22.23	21.76	22.42	21.39	21.67	21.79	0.53
2	26.74		23.65	25.96	25.38	26.06	25.46	1.14		
3	27.16		24.83	26.68	25.08	25.93	25.84	1.02		
4	25.46		24.07	25.43	23.98	25.78	24.84	0.75		
5	25.99		25.31	26.42	24.12	24.87	25.24	1.00		

		6	25.21	25.47	25.16	24.06	25.60	25.00	0.54	
		7	25.98	23.58	24.12	25.12	24.86	24.63	0.94	
		8	25.82	25.50	25.87	24.62	26.06	25.47	0.50	
		9	21.47	23.65	24.76	20.19	22.65	22.44	1.80	
		x-bar	25.12	24.20	25.20	23.77	24.83	24.52	1.63	
		SD	1.96	1.22	1.32	1.79	1.60			
	333	GX-bar	25.15	23.67	24.70	24.09	24.66	24.45		
		GSD	1.39	1.57	1.91	1.29	1.71	1.71		
	7	F	1	21.46	24.57	24.73	20.71	22.49	22.69	1.84
			2	25.59	22.74	24.53	24.62	24.47	24.29	1.04
			3	25.38	23.15	24.73	24.33	24.51	24.32	0.83
			4	25.46	22.87	24.25	23.94	23.96	24.00	0.97
5			26.61	23.89	25.25	24.83	25.08	25.03	1.01	
6			25.55	23.74	24.98	24.39	25.43	24.72	0.68	
7			25.78	24.19	25.23	25.29	25.22	25.04	0.60	
8			25.12	22.92	23.58	23.06	24.17	23.67	0.87	
9			21.76	21.07	25.36	20.75	20.97	21.88	2.00	
x-bar			24.75	23.24	24.74	23.55	24.04	23.96	1.47	
SD			1.82	1.03	0.57	1.71	1.44			
B		1	21.80	21.35	20.57	20.29	21.56	20.74	0.85	
		2	26.53	25.12	25.83	25.72	26.09	25.76	0.51	
		3	26.31	24.55	25.03	25.03	25.58	25.20	0.66	
		4	25.78	25.05	25.86	23.99	24.74	24.98	0.86	
		5	25.43	23.26	25.98	24.26	24.42	24.57	1.11	
		6	26.10	24.00	25.23	25.24	25.51	25.12	0.75	
		7	25.42	25.98	26.04	24.52	25.35	25.36	0.67	
	8	26.41	25.83	27.24	25.15	26.45	26.12	0.77		
	9	25.66	19.66	19.51	22.82	21.26	21.68	2.59		

		<b>x-bar</b>	<b>25.49</b>	<b>23.87</b>	<b>24.59</b>	<b>24.11</b>	<b>24.55</b>	<b>24.39</b>	<b>1.99</b>
		<b>SD</b>	<b>1.44</b>	<b>2.13</b>	<b>2.66</b>	<b>1.67</b>	<b>1.88</b>		
	รวม	<b>GX-bar</b>	<b>25.12</b>	<b>23.55</b>	<b>24.66</b>	<b>23.83</b>	<b>24.29</b>	<b>24.29</b>	
		<b>GSD</b>	<b>1.69</b>	<b>1.38</b>	<b>1.40</b>	<b>1.70</b>	<b>1.65</b>	<b>1.75</b>	



## ข้อมูลการทดลอง Copper Anode Condition

Copper Anode Condition Test	แผ่นที่	In Hole Copper Thickness จุด H4 (CQS) หน่วย: $\mu\text{m}$	
		Front Bar	Back Bar
H0L0	1	25.24	24.52
	2	22.49	24.24
	3	25.49	25.31
	4	25.35	25.15
	5	25.16	26.35
	6	24.65	24.74
	7	23.65	24.27
	8	23.82	24.21
	x-bar	24.48	24.85
	SD	1.06	0.74
รวม	GX-bar	24.67	
	GSD	0.90	
H0L1	1	23.98	24.07
	2	23.95	23.79
	3	24.68	24.86
	4	25.93	24.70
	5	25.46	25.90
	6	25.91	24.29
	7	24.69	23.82
	8	25.13	23.86
	x-bar	24.97	24.41
	SD	0.78	0.73
รวม	GX-bar	24.69	
	GSD	0.78	

H1LO	1	23.35	24.49
	2	24.97	24.08
	3	25.37	25.00
	4	24.68	25.64
	5	25.01	24.86
	6	24.83	25.22
	7	24.62	25.43
	8	24.08	23.93
	x-bar	24.61	24.83
	SD	0.63	0.62
ገገግ	GX-bar	24.72	
	GSD	0.61	
H0LO	1	25.24	24.52
	2	22.49	24.24
	3	25.49	25.31
	4	25.35	25.15
	5	25.16	26.35
	6	24.65	24.74
	7	23.65	24.27
	8	23.82	24.21
	x-bar	24.48	24.85
	SD	1.06	0.74
ገገግ	GX-bar	24.67	
	GSD	0.90	

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2546. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2549. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2550. หลักการควบคุมคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2545 a), Introduction to Six Sigma เอกสารประกอบการบรรยาย, บริษัท เทคนิคอล แอปโพรซ เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ
- นิตยา เงินประเสริฐศรี. 2555. การบริหารคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
- ปรียวดี ผลเอนก. 2556. การจัดการคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- โสภิตา ท่วมมี. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองกรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมบัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- สมบัติสุขนิจ. การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- เพ็ญประภา กล้ากสิการ. การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- มยุรา หนองเส. การปรับปรุงกระบวนการผลิตแกนยึดหัวอ่านสำหรับฮาร์ดดิสก์โดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- รุจิรา อุไรพงษ์. การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติก



- กับสารเติมแต่งและบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- อัจฉราภรณ์ ดำรงวนิชย์. การปรับปรุงอัตราการผลิตพลาสติกดีสก์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- ภูธิป อินทร์ักษ์. การลดเวลาสูญเสียในกระบวนการติดฉลาก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- กันตา สุวรรณฤทธิ์. การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยใช้แนวคิด ลีน ซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- จุฑามาศ รัตนกุล. การลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุกล่องรูปซูชิแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- ทิวา แสนสม. การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- ชัยพันธ์ พัทธิกุล. ลดของคืนจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการคณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- วสันต์ พุกผาสุกและอรรณกร เก่งพล. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการบัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

### ภาษาอังกฤษ

- Fasser Y. and D. Brettner (1992), *Process Improvement in Electronics Industry*, John Wiley & Sons Inc., New York
- Goetsch, D.L. and S.B. Davis. 2006. *Quality Management: Introduction to Total Quality Management for Production, Processing and Service*. 5<sup>th</sup> ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Kemp, S.P.M.P. 2006. *Quality Management Demystified*. New York: McGraw-Hill Companies. Inc.
- Pande P. and L. Holpp. 2002. *What is Six Sigma*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Ramasary, Subburaj. 2009. *Total Quality Management*. India: Tata McGraw-Hill
- Russel, Roberta S. & Talor III, Bernard W. 2011. *Operation Management*. 7<sup>th</sup> ed. NJ:John Wiley & Sons (Asia)
- Swink, Morgan et al. 2011. *Managing Operations Across the Supply chain*. New York: McGraw-Hill
- Verma, Rohit & Boyer, Kenneth K. 2008. *Operations & Supply Chain Management*. Chaina: China Translation & Printing Service Limited.
- Haaland, P.D. 1989. *Experimental Design in Biotechnology*. Marcel Dekker, Inc. New York. USA.
- Hu, R. 1999. *Food Product Design: A Computer-Aided Statistical Approach*. Technomic Publishing Co., Ltd. Pennsylvania, USA
- F. Hanna, Z.A. Hamid, A.A. Aal. Controlling factors affecting the stability and rate of electroless copper plating. *Mater. Lett.*, 58 (2004), pp. 104–109
- Siau, S., Baets, J.D., Calster, A.V., Heremans, L., Tanghe, S. Processing quality results for electroless/electroplating of high-aspect ratio plated through holes in industrially produced printed circuit boards(2005) *Microelectronics Reliability*, 45 (3-4), pp. 675-687.
- Shakhashiri, B. Z. In *Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry*; The University of Wisconsin Press: 1992; Vol. 4, p 212-223 (copper); 236-239 (silver).

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ภัศรา บรรจงเกษม เกิดเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดราชบุรีสำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยี อาหาร จากมหาวิทยาลัยศิลปากร เมื่อปี พ.ศ. 2554 และได้ศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2557



