

บทที่ 5

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

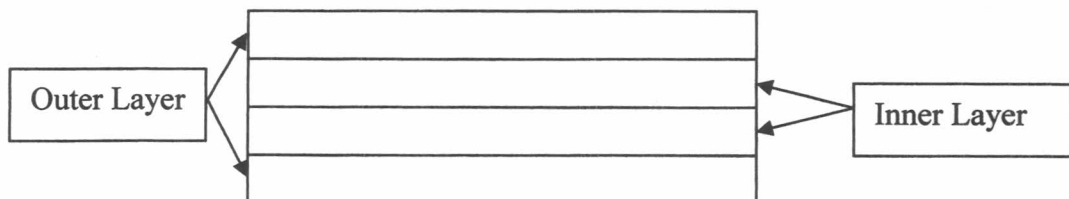
หลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาลแล้ว ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ช่วยในการศึกษา โดยจะเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา และทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

จากนั้นจะทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะลดขอบเขตของแหล่งที่มาของปัญหาที่ทำการศึกษา และนำผลลัพธ์จากการทดลองดังกล่าวมาศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการระดมความคิดเห็นจากกลุ่มสมาชิกที่ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ความชำนาญ และปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณา และทำการคัดเลือกปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบในลำดับต้นๆ ต่อกระบวนการผลิตดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้คือ

5.1 การศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

5.1.1 ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์

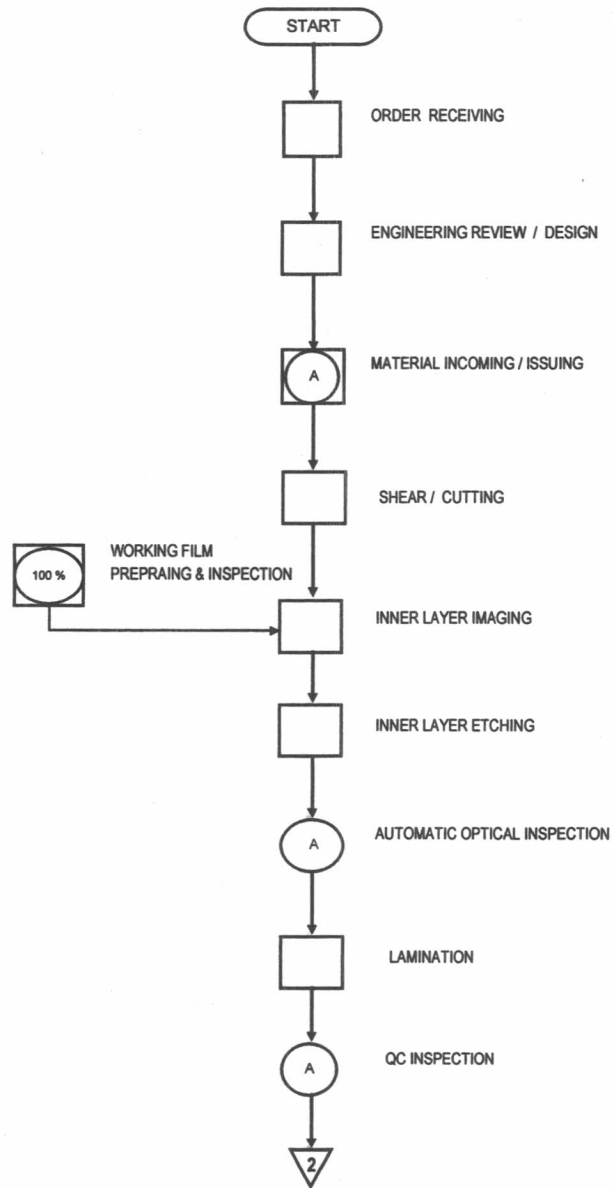
แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) โมเดล 2712M04026 จัดเป็นแผ่น PCB ประเภทหลายชั้น (Multi-layer) โดยประกอบไปด้วยจำนวนชั้น (Layer) ทั้งหมด 4 ชั้นด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 5.1



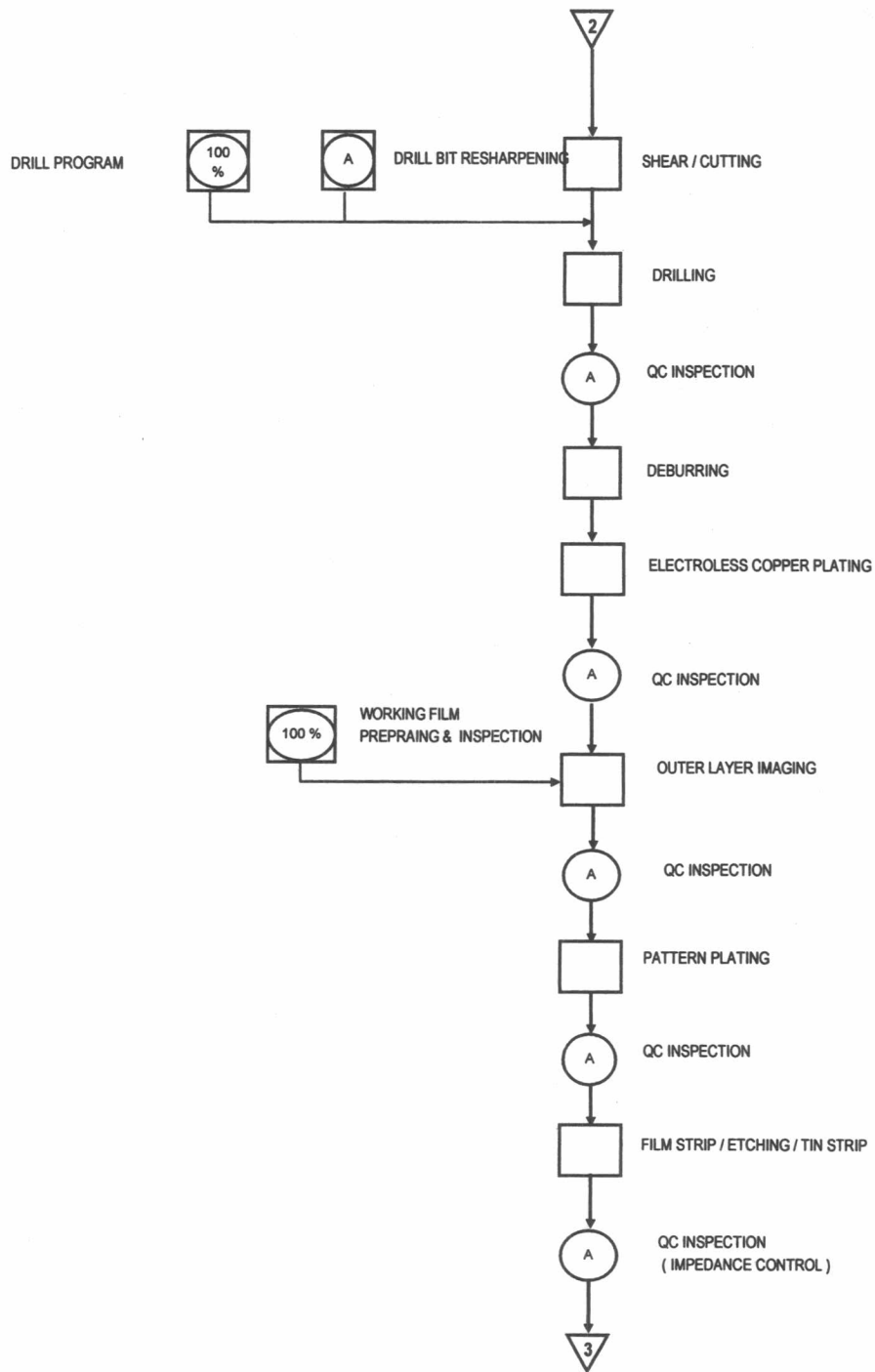
รูปที่ 5.1 แสดงชั้นส่วนประกอบของแผ่น PCB โมเดล 2712M04026

5.1.2 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

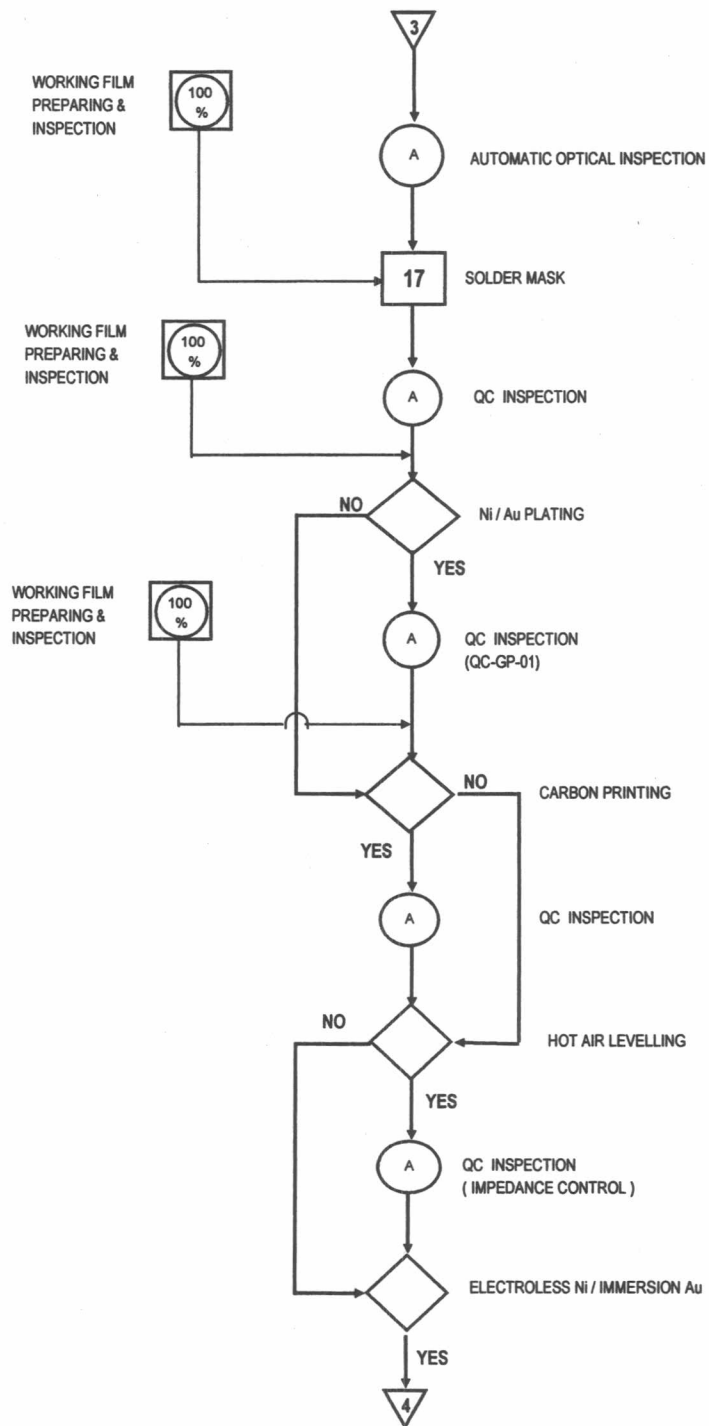
กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์โดยทั่วไปมีลำดับขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 5.2



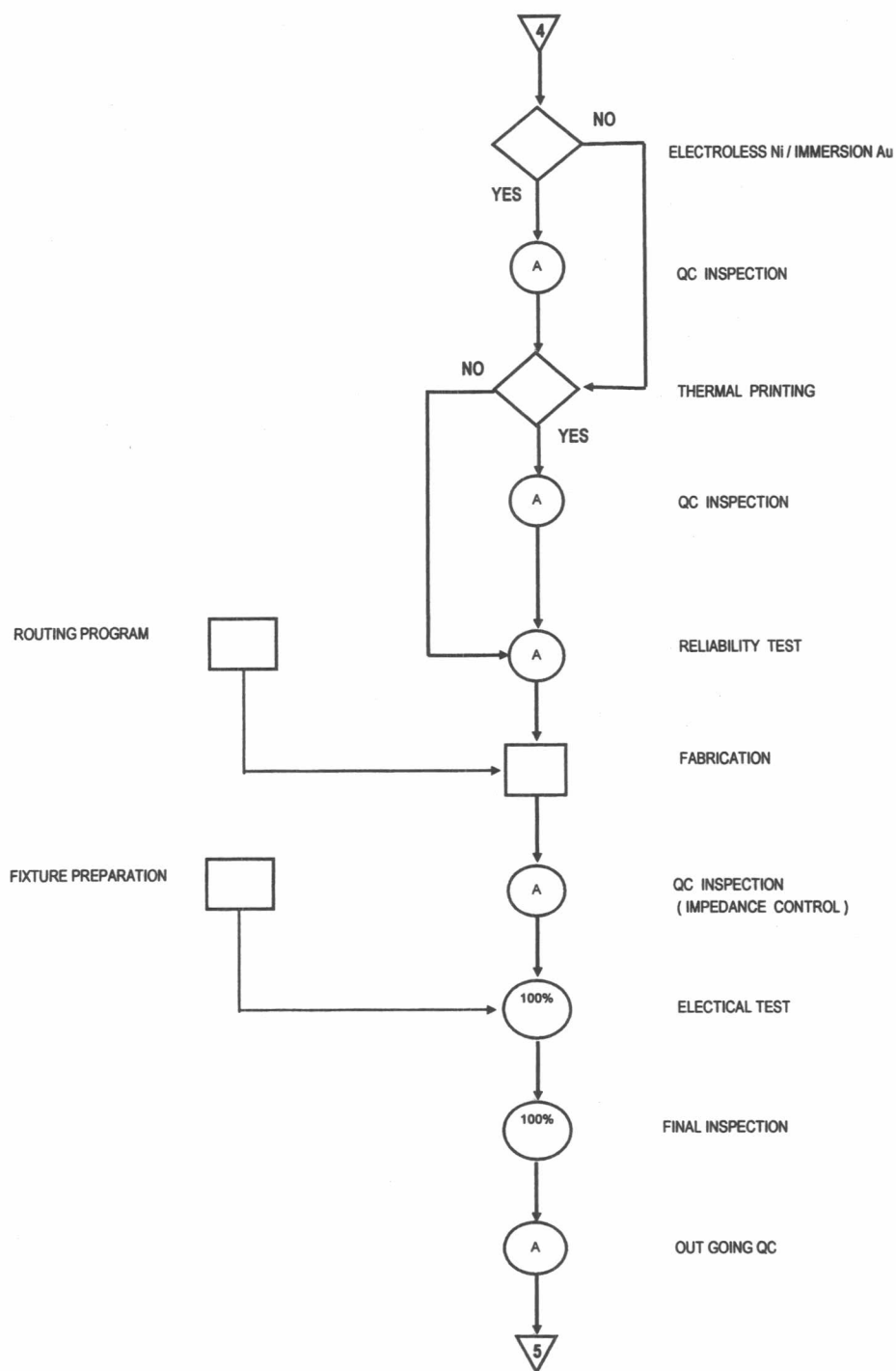
รูปที่ 5.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์



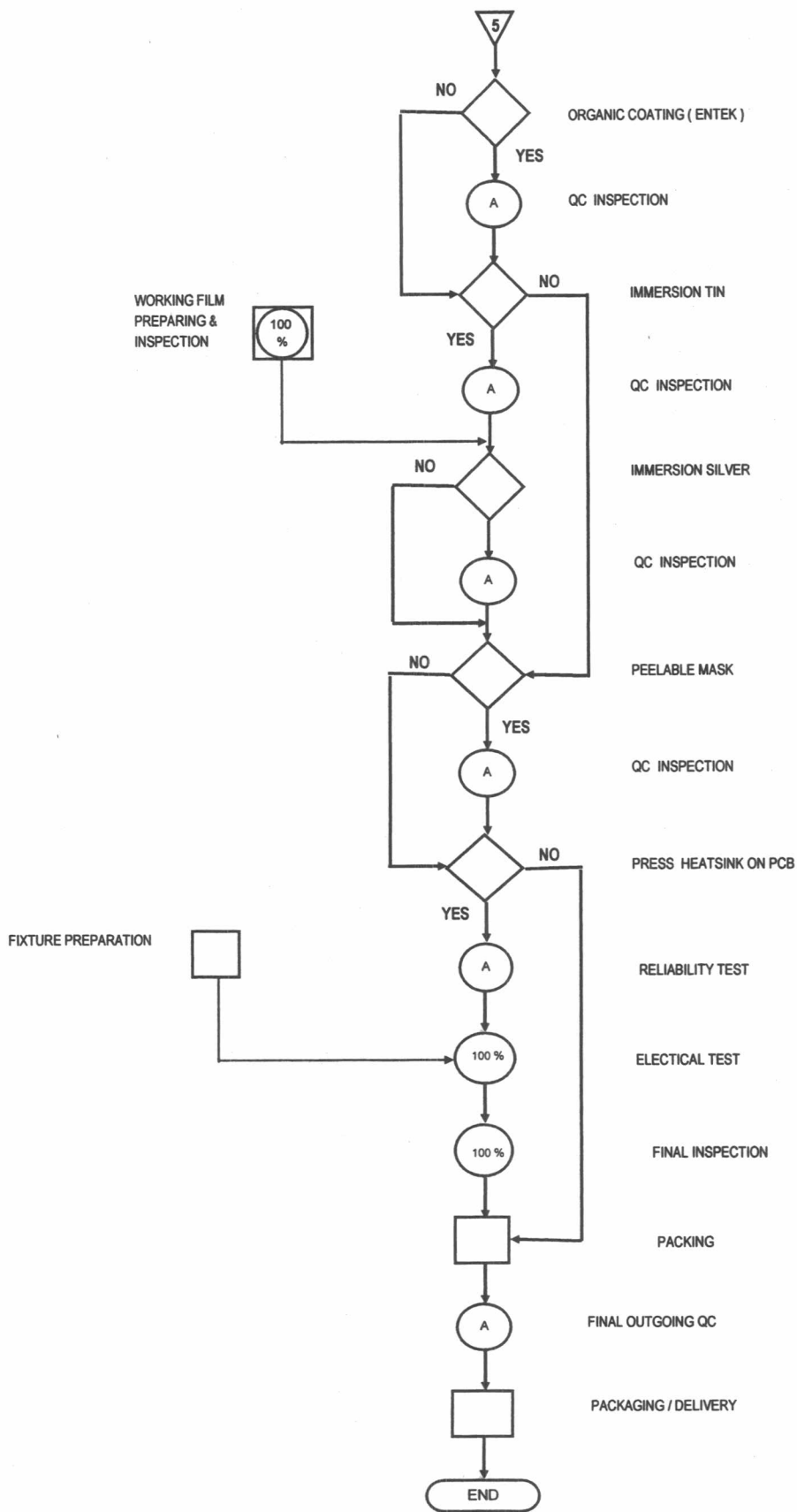
รูปที่ 5.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (ต่อ)

จากกระบวนการผลิตโดยทั่วไปสามารถสรุปขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ได้ดังนี้คือ

- การสร้างแบบบนแผ่นวงจรสำหรับชั้นใน (Inner Layer Imaging)
- การกัดด้วยกรดเพื่อสร้างลายวงจรชั้นใน (Inner Layer Etching)
- การประกอบแผ่นวงจรหลายชั้นเข้าด้วยกัน (Lamination)
- การเจาะรูบนแผ่นวงจร (Drilling)
- การเตรียมผิวและกำจัดเศษ (Deburring)
- การชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless copper plating)
- การสร้างแบบบนแผ่นวงจรสำหรับชั้นนอก (Outer Layer Imaging)
- การสร้างลายวงจรชั้นนอก (Pattern Plating) โดยการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

(Electro Copper plating)

- การกัดด้วยกรดเพื่อสร้างลายวงจรชั้นนอก (Outer Layer Etching)
- การพิมพ์หมึกคลุมผิวบอร์ด (Solder Mask)
- การชุบตะกั่วบนผิวลายเส้นวงจรทองแดง (Hot Air Leveling)
- การพิมพ์เครื่องหมาย สัญลักษณ์ (Thermal printing)
- การทดสอบความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Test)
- การเปลี่ยนแปลงรูปแบบขนาดภายนอก (Fabrication)
- การทดสอบด้านไฟฟ้า (Electrical Test)
- การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection)
- การบรรจุ (Packing)
- การสุ่มตรวจก่อนส่งลูกค้า (Final Outgoing QC)

ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

5.1.2.1 การสร้างแบบบนแผ่นวงจรสำหรับชั้นใน (Inner Layer Imaging)

ขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการสร้างแบบของเส้นวงจร (Circuit layout) ลงบนแผ่นบอร์ดชั้นในสำหรับ Multi-layer PCB มีขั้นตอนดังนี้

5.1.2.1.1 ใช้ฟิล์มไวแสง (Dry film) ติดกับแผ่นบอร์ด Laminate (Copper clad บน Epoxy) ที่เป็นทองแดงทั้ง 2 ด้าน

5.1.2.1.2 นำไปประกบกับ Working film (ฟิล์มที่มีลายแบบของเส้นวงจรที่ต้องการ) ทั้ง 2 ด้านแล้วนำไปผ่านกระบวนการฉายรังสี Ultra violet เพื่อให้ Dry film เกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยส่วนที่เป็นลายวงจรคือส่วนที่โดนรังสี เมื่อทำปฏิกิริยาแล้ว Dry film จะเปลี่ยนคุณสมบัติไปจากเดิม

5.1.2.1.3 นำ Working film ออก

5.1.2.2 การกัดทองแดงบนแผ่นบอร์ดให้เป็นลายวงจรด้วยกรด (Inner Layer Etching)

- 5.1.2.2.1 นำแผ่นบอร์ดที่ผ่าน Inner layer Imaging มาแล้วไปผ่านการ Developing เพื่อล้าง Dry film ออกด้วยสารละลายเคมี ซึ่งส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแสงจะถูกล้างออกเหลือเฉพาะส่วนที่ทำปฏิกิริยากับแสงที่ยังปกคลุมผิวทองแดงไว้
- 5.1.2.2.2 นำแผ่นบอร์ดไปผ่านการกัดกรด (Etching) ซึ่งทองแดงส่วนที่ไม่มีฟิล์มปกคลุมจะถูกกัดออกด้วยกรดเหลือไว้เฉพาะส่วนที่มีฟิล์มปกคลุม
- 5.1.2.2.3 ล้างกรดและ Dry film ที่เหลือออกจะได้แผ่นวงจรชั้นในสำหรับประกอบเป็น Multi-layer PCB

5.1.2.3 การประกอบแผ่นวงจรหลายชั้นเข้าด้วยกัน (Lamination)

การนำแผ่นบอร์ดชั้นใน ที่ผ่านการกัดกรดมาแล้ว จำนวนหลายชั้นมาซ้อนกัน ประกบ 2 ด้านนอกสุดด้วยแผ่นทองแดงบาง (Copper foil) และทำให้ยึดติดกันด้วยปฏิกิริยาทางความร้อนและเคมี เพื่อใช้ผลิตเป็น Multi-layer PCB ต่อไป

- 5.1.2.3.1 Oxide Treatment – การเตรียมผิวของ Inner Layer โดยสร้างออกไซด์บนผิวทองแดงเพื่อให้เกิดพันธะยึดเกาะระหว่างชั้นเรซินกับผิวทองแดงของ Laminate
- 5.1.2.3.2 Lay-up – การนำแผ่น Laminate ที่ผ่าน Oxide treatment มาแล้วมาซ้อนกันหลายชั้นตามแบบและยึดแต่ละชั้นเข้าด้วยกันโดยเรซิน

5.1.2.4 การเจาะรู (Drilling)

การนำแผ่นบอร์ดที่ผ่าน Lamination มาแล้วไปเจาะรูเพื่อใช้เสียบขาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตามแบบที่กำหนด

5.1.2.5 การเตรียมผิวและกำจัดเศษ (Deburring)

การขัด Wax ที่เคลือบอยู่บนผิวแผ่น Laminate ออก และทำให้ขอบรูที่เกิดจากการเจาะเรียบ (เตรียมผิวสำหรับติด Dry film) และทำความสะอาดรูก่อนที่จะชุบ

5.1.2.6 การชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless copper plating)

การชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในรูที่เกิดจากการเจาะเพื่อเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจากหน้าบอร์ดด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งและระหว่างชั้น เรียกว่า "PTH" (Plated Through Hole) ซึ่งเป็นการชุบให้เกิดชั้นทองแดงบางๆ ก่อนที่จะนำไปชุบเพิ่มความหนาในขั้นตอนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern plating

5.1.2.7 การสร้างแบบบนแผ่นวงจรสำหรับชั้นนอก (Outer Layer Imaging)

กระบวนการสร้างแบบของเส้นวงจร (Circuit layout) ลงบนแผ่นบอร์ด สำหรับผิวชั้นนอกของแผ่นวงจร มีขั้นตอนดังนี้

- 5.1.2.7.1 ใช้ฟิล์มไวแสง (Dry film) ติดกับแผ่นบอร์ดที่เป็นทองแดงทั้ง 2 ด้าน
- 5.1.2.7.2 นำไปประกบกับ Working film (ฟิล์มที่มีลายแบบของเส้นวงจรที่ต้องการ) ทั้ง 2 ด้านแล้วนำไปผ่านกระบวนการฉายรังสี Ultra violet เพื่อให้ Dry film เกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยส่วนที่ต้องการให้เป็นลายวงจรทองแดงจะไม่โดนแสง
- 5.1.2.7.3 นำ Working film ออก แล้วนำแผ่นบอร์ดไปผ่านการ Developing เพื่อล้าง Dry film ออกด้วยสารละลายเคมี ซึ่งส่วนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับแสงจะถูกล้างออกเหลือเฉพาะส่วนที่ทำปฏิกิริยากับแสงที่ยังปกคลุมผิวทองแดงไว้

5.1.2.8 การสร้างลายวงจรชั้นนอก (Pattern Plating)

การสร้างลายวงจรลงบนบอร์ดตามแบบโดยการชุบโลหะ (Copper & Tin) ด้วยกระแสไฟฟ้า เรียกว่า "Electro Copper & Tin plating) มีขั้นตอนดังนี้

- 5.1.2.8.1 Copper plating – ชุบทองแดงบนบอร์ดเพื่อเพิ่มความหนาและประสิทธิภาพการยึดเกาะของลายวงจรทองแดง (บริเวณที่ไม่มี Dry film คลุมทับ และบริเวณในรู)
- 5.1.2.8.2 Tin plating – ชุบดีบุกทับลายวงจรทองแดงอีกชั้น เพื่อป้องกันไม่ให้โดนกัดในขั้นตอน Etching

5.1.2.9 การกัดด้วยกรดเพื่อสร้างลายวงจรชั้นนอก (Outer Layer Etching) หรือ *Film strip / Etch / Tin strip*

ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- 5.1.2.9.1 *Film strip* – การขจัด Dry film ออกจากผิวทองแดงด้วยสารเคมี
- 5.1.2.9.2 *Etching* – การกัดทองแดงส่วนที่ล้าง Dry film ออกให้เหลือเฉพาะส่วนที่ปกคลุมด้วยดีบุก
- 5.1.2.9.3 *Tin strip* - การขจัดดีบุกด้วยสารเคมีที่คลุมลายเส้นวงจรและในรูออกให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นลายเส้นวงจรทองแดง

5.1.2.10 การพิมพ์หมึกคลุมผิวบอร์ด (Solder Mask)

การใช้หมึกพิมพ์ Photo imaging solder mask พิมพ์ผ่าน Stencil frame เพื่อคลุมผิวบอร์ด รวมทั้งในส่วนที่เป็นลายเส้นวงจรทองแดงที่ไม่จำเป็นต้องถูกสัมผัสขณะใช้งาน

5.1.2.11 การชุบตะกั่วบนผิวลายเส้นวงจรทองแดง (Hot Air Leveling)

การชุบตะกั่วบนผิวลายเส้นวงจรทองแดงในส่วนที่ต้องการตามแบบที่กำหนด

5.1.2.12 การพิมพ์เครื่องหมาย สัญลักษณ์ (Thermal printing)

การพิมพ์เครื่องหมาย สัญลักษณ์ลงบนผิวบอร์ดตามแบบที่กำหนดด้วยหมึกแห้งโดยใช้ความร้อน

5.1.2.13 การทดสอบความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Test)

การทดสอบความน่าเชื่อถือได้ด้านการใช้งานของแผ่น PCB ตามข้อกำหนด

5.1.2.14 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบขนาดภายนอก (Fabrication)

กระบวนการเปลี่ยนรูปร่างภายนอกของแผ่น PCB ด้วยวิธีการทางกล (Mechanical process) ในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อให้ได้แผ่น PCB ที่มีรูปร่าง ขนาด ตามแบบที่กำหนด

5.1.2.15 การทดสอบด้านไฟฟ้า Electrical Test

การทดสอบข้อบกพร่องการลัดวงจร (Short circuit) หรือ วงจรเปิด (Open circuit) ของลายเส้นวงจร

5.1.2.16 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection)

การตรวจสอบข้อบกพร่องทั้งด้านกล ไฟฟ้า และตรวจสอบด้วยสายตาของแผ่น

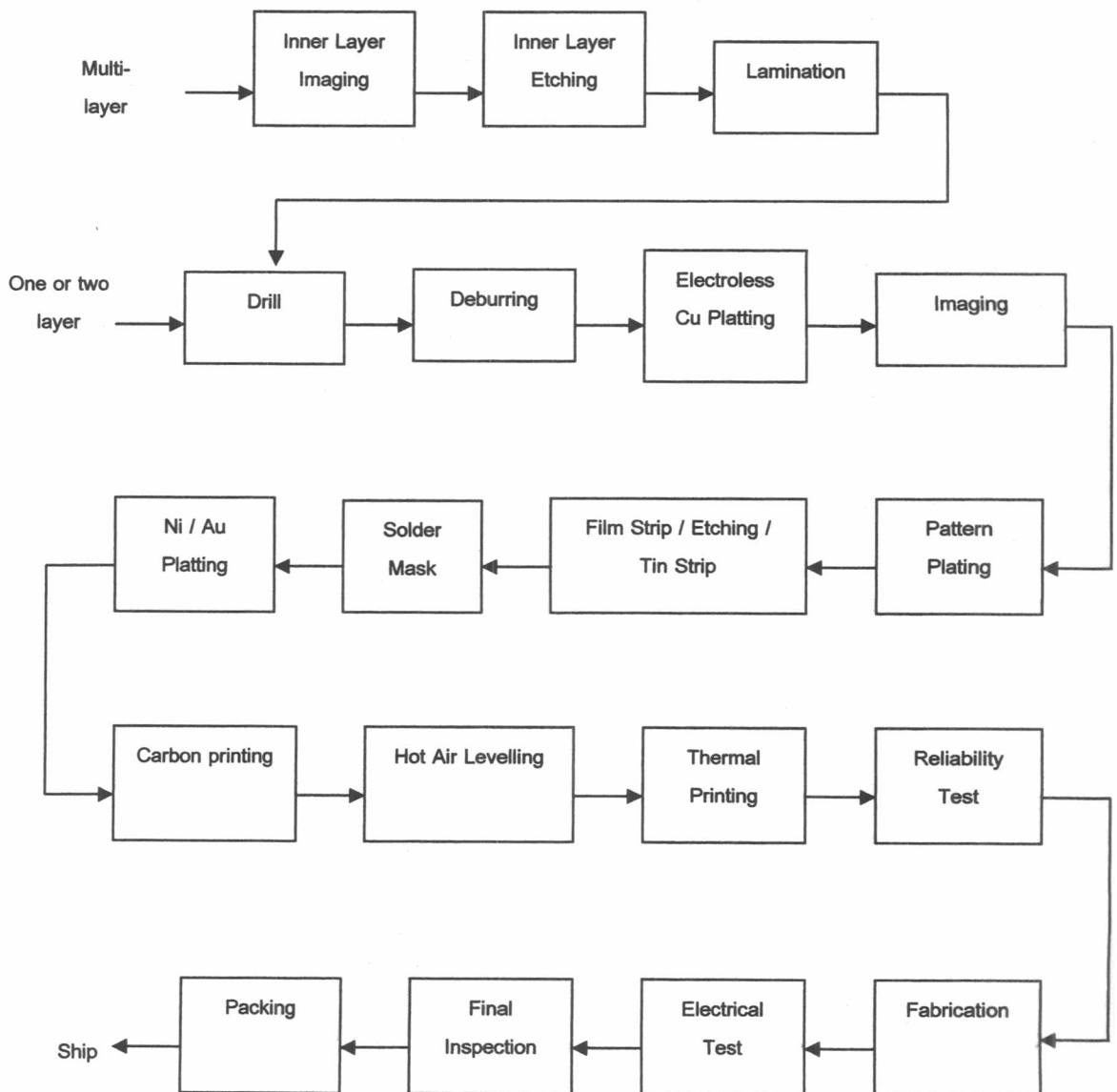
PCB

5.1.2.17 การบรรจุ (Packing)

การบรรจุแผ่น PCB ที่ผ่านการตรวจสอบและได้ผลยอมรับแล้วลงในบรรจุภัณฑ์

5.1.2.18 Final Outgoing QC

การสุ่มตรวจ PCB ที่ผ่านการบรรจุแล้วเพื่อรับประกันคุณภาพของสินค้าก่อนส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป



รูปที่ 5.3 แสดง PCB Manufacturing step ของผลิตภัณฑ์รุ่น 2712M04026

5.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

เครื่องมือวัดค่าความหนาทองแดงในรูที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความแม่นยำตลอดทั้งสายการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบไปด้วย

- เครื่อง Cu-Scope ซึ่งใช้วัดค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่น PCB กรณีที่ไม่มีโลหะอื่นปกคลุมผิวทองแดง ได้แก่ หลังผ่านกระบวนการชุบที่ Electro Copper Plating และ หลังผ่านกระบวนการกัดด้วยกรดที่ Film Strip / Etching / Tin Strip

- เครื่อง Micro Scope ซึ่งใช้วัดค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่น PCB กรณีที่มีโลหะอื่นปกคลุมผิวทองแดง ได้แก่ หลังผ่านกระบวนการชุบที่ Tin Copper Plating และ หลังผ่านกระบวนการชุบตะกั่วบนผิวทองแดงที่ Hot Air Levelling และ ชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนส่งลูกค้า โดยต้องนำชิ้นงานไปตัดขวาง (Cross Section) ก่อนที่จะนำมาวัด

รายละเอียดในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดดังกล่าวนี้ จะกล่าวตามแต่ละเครื่อง ดังนี้คือ

5.2.1 เครื่อง Cu-Scope (กรณีที่ไม่มีโลหะอื่นปกคลุมผิวทองแดง)

5.2.1.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่าความหนาทองแดงในรู หลังผ่านกระบวนการชุบที่ Electro Copper Plating และ หลังผ่านกระบวนการกัดด้วยกรดที่ Film Strip / Etching / Tin Strip

5.2.1.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกระบวนการปฏิบัติงาน 1 คนต่อกะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ

5.2.1.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ แผ่น PCB ที่มีลักษณะเป็น Panel หลังผ่านกระบวนการ Tin Strip จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 10

5.2.1.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 3 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.1.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ โดยการวัดชิ้นงานแต่ละครั้งจะต้องทำอย่างสุ่ม

5.2.1.6 ผลลัพธ์ในการศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัด (Xbar-R Method)

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.1 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Cu-Scope

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	1.11749	0.124165	2866.95	0.00000
Appraiser	2	0.00006	0.000030	0.69	0.51620
Appraiser*Part	18	0.00078	0.000043	1.62	0.11681
Repeatability	30	0.00080	0.000027		
Total	59	1.11913			

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.2 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Cu-Scope

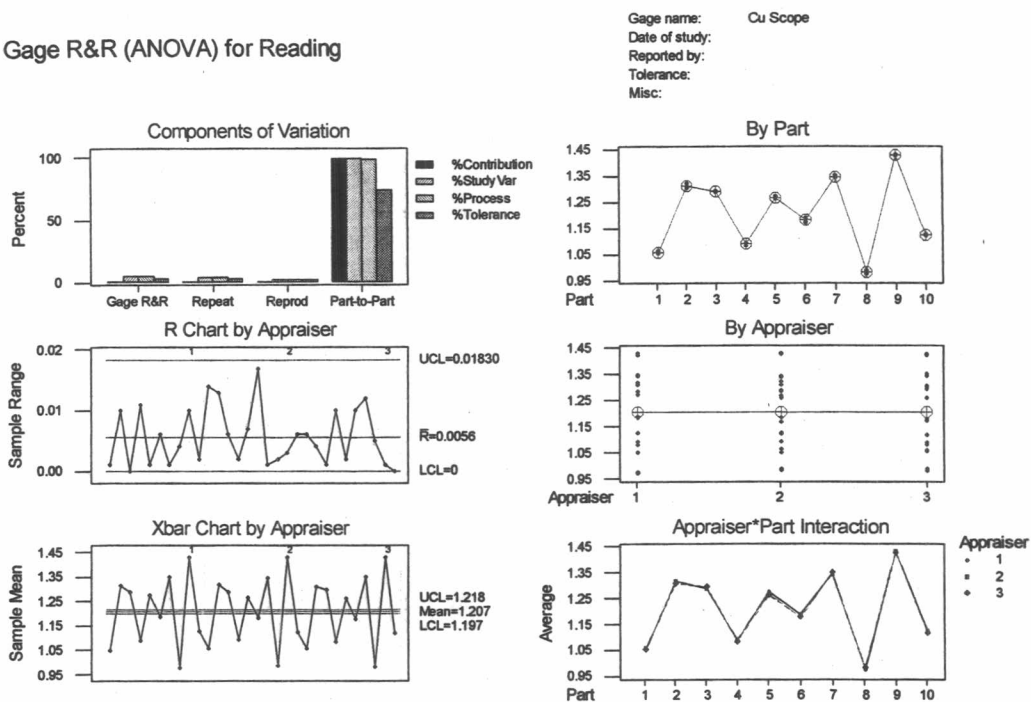
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000035	0.17
Repeatability	0.000027	0.13
Reproducibility	0.000008	0.04
Appraiser	0.000000	0.00
Appraiser*Part	0.000008	0.04
Part-To-Part	0.020687	99.83
Total Variation	0.020722	100.00

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Cu-Scope

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)	%Process (SV/Proc)
Total Gage R&R	0.005915	0.030463	4.11	3.05	4.08
Repeatability	0.005164	0.026594	3.59	2.66	3.56
Reproducibility	0.002885	0.014856	2.00	1.49	1.99
Appraiser	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00
Appraiser*Part	0.002885	0.014856	2.00	1.49	1.99
Part-To-Part	0.143830	0.740723	99.92	74.07	99.19
Total Variation	0.143951	0.741349	100.00	74.13	99.28

Number of Distinct Categories = 34

Gage R&R (ANOVA) for Reading



รูปที่ 5.4 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Cu-Scope

5.2.1.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

5.2.1.7.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัด

- รูปที่ 5.4 จากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี เนื่องจากมีลักษณะการกระจายของค่าพิสัยอย่างอิสระหรือไม่มีรูปแบบเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอเนื่องจากค่าพิสัยอยู่ภายในเส้นควบคุม

- รูปที่ 5.4 จากแผนภูมิ Xbar พบว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต โดยสังเกตจากค่าเฉลี่ยที่มีการกระจายที่มากกว่าเส้นควบคุม

- รูปที่ 5.4 จากกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

5.2.1.7.2 การประเมินผลระบบการวัด

- จากตารางที่ 5.2 จากค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 34 ซึ่งมากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 34 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ อ้างอิงจาก AIAG [22]

- ผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 5.2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 4.08% ซึ่งน้อยกว่า 10% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี อ้างอิงจาก AIAG [22] จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดนี้ในการวัดค่าเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองได้

5.2.1.7.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด

- จากองค์ประกอบความแปรปรวนในตารางที่ 5.2 คิดเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 99.83% และความแปรปรวนของระบบการวัดเป็น 0.13% ซึ่งมาจากสาเหตุด้านรีพีทะบิลิตี ส่วนสาเหตุด้านรีโพรดิวซิบิลิตีมีค่า 0.04%

- เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังผลในตารางที่ 5.1 จะพบว่า อิทธิพลของชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value ของ Part (Appraiser) มีค่าน้อยกว่า 0.05 มาก ในขณะที่อิทธิพลของพนักงานวัดไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจาก P-value ของ Appraiser มีค่ามากกว่า 0.05 นอกจากนี้ อิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงานวัดมีไม่นัยสำคัญ เนื่องจาก P-value ของ Appraiser*Part มีค่ามากกว่า 0.05 ด้วยความเชื่อมั่น 95%

5.2.2 เครื่อง Micro Scope (กรณีที่มีโลหะอื่นปกคลุมผิวทองแดง)

5.2.2.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่าความหนาทองแดงในรู หลังผ่านกระบวนการชุบตีบุกที่ Tin Copper Plating และ หลังผ่านกระบวนการชุบตะกั่วบนผิวทองแดงที่ Hot Air Levelling และ ชิ้นงานสำเร็จรูปก่อนส่งลูกค้า

5.2.2.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกะการปฏิบัติงาน 1 คนต่อกะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

5.2.2.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ แผ่น PCB ที่มีลักษณะเป็น Panel หลังผ่านกระบวนการ Tin Strip จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่างๆ ละ 6 รู ซึ่งทั้ง 6 รูเป็นรูขนาดเดียวกันและอยู่ใกล้เคียงกัน และนำไปตัดขวางตามแนวตั้งของรูและขีดด้วยกระดาษทรายละเอียด โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 10 และหมายเลขรูบนแต่ละตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 6

5.2.2.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งรู

5.2.2.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้
- ให้ทำการสุ่มเลือกรูขึ้นมาจากสิ่งตัวอย่างนั้นขึ้นมาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น (ชิ้นละ

2 รู)

- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.2.6 ผลลัพธ์ในการศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัด (Nested Method)

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.3 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope

Nested ANOVA Table					
Source	DF	SS	MS	F	P
Appraiser	2	0.00006	0.0000301	0.001	0.99926
Part (Appraiser)	27	1.09532	0.0405673	798.831	0.00000
Repeatability	30	0.00152	0.0000508		
Total	59	1.09690			

ตารางที่ 5.4 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope

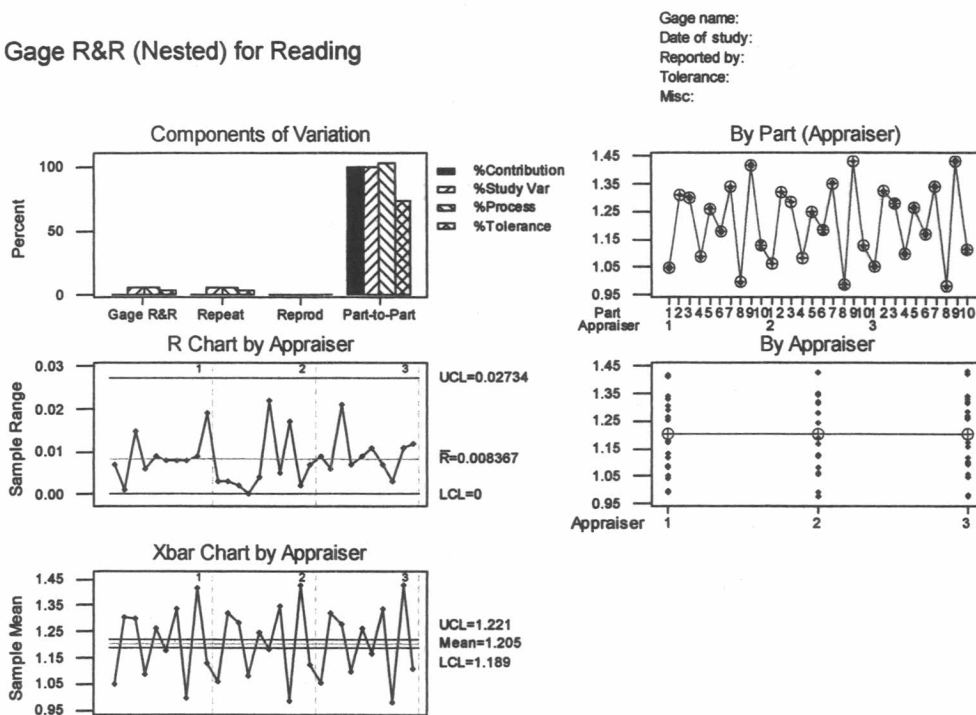
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000508	0.25
Repeatability	0.0000508	0.25
Reproducibility	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0202582	99.75
Total Variation	0.0203090	100.00

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)	%Process (SV/Proc)
Total Gage R&R	0.007126	0.036700	5.00	3.67	5.16
Repeatability	0.007126	0.036700	5.00	3.67	5.16
Reproducibility	0.000000	0.000000	0.00	0.00	0.00
Part-To-Part	0.142331	0.733007	99.87	73.30	103.14
Total Variation	0.142510	0.733925	100.00	73.39	103.27

Number of Distinct Categories = 28

Gage R&R (Nested) for Reading



รูปที่ 5.5 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ความหนาทองแดงในรู ด้วยเครื่อง Micro Scope

5.2.2.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา [16]

5.2.2.7.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัด

- รูปที่ 5.5 จากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี เนื่องจากมีลักษณะการกระจายของค่าพิสัยอย่างอิสระหรือไม่มีรูปแบบเกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอเนื่องจากค่าพิสัยอยู่ในเส้นควบคุม

- รูปที่ 5.5 จากแผนภูมิ Xbar พบว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต โดยสังเกตจากค่าเฉลี่ยที่มีการกระจายที่มากกว่าเส้นควบคุม

5.2.2.7.2 การประเมินผลระบบการวัด

- จากตารางที่ 5.4 จากค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 28 แสดงว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 28 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

- ผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 5.4 พบว่ามีค่าเท่ากับ 5.16% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดนี้ในการวัดค่าเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองได้

5.2.2.7.3 การวิเคราะห์ระบบการวัด

- จากองค์ประกอบความแปรปรวน คิดเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 99.75% และความแปรปรวนของระบบการวัดเป็น 0.25% ซึ่งมาจากสาเหตุด้านรีพีทะบิลิตี ส่วนสาเหตุด้านรีโพรดูซิบิลิตีมีค่าน้อยมาก

- เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Nested ANOVA) ดังผลในตารางที่ 5.3 จะพบว่า อิทธิพลของชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญ เนื่องจาก P-value ของ Part (Appraiser) มีค่าน้อยกว่า 0.05 ในขณะที่อิทธิพลของพนักงานไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจาก P-value ของ Appraiser มีค่ามากกว่า 0.05 ด้วยความเชื่อมั่น 95%

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่าความหนาทองแดงในรูที่แต่ละกระบวนการผลิตผ่านวงจรพิมพ์ พบว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมีค่า P/TV น้อยกว่า 10% นั่นคือหากความผันแปรของกระบวนการมีค่า 100 หน่วย จะมีความผันแปรเนื่องจากระบบการวัดน้อยกว่า 10 หน่วย ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา

5.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดความหนาทองแดงในรูระหว่างเครื่อง Cu-Scope และ Micro Scope

5.2.3.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่าความหนาทองแดงในรู ที่วัดจากเครื่อง Cu-Scope และเครื่อง Micro Scope เนื่องจากระบบการวัดทั้งสองแบบมีเทคนิคและลักษณะการวัดที่ต่างกันดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 5.2 จึงต้องการยืนยันว่าค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากัน เพื่อที่จะลดเวลาในการทดลองด้วยการวัดค่าความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Cu-Scope หลังจากผ่านกระบวนการ Film Strip / Etching / Tin Strip ทำให้ประหยัดเวลาและวัสดุที่จะต้องผ่านกระบวนการผลิตไปจนถึงกระบวนการทดสอบขั้นสุดท้าย (ซึ่งใช้ Micro Scope ในการวัดค่าความหนาทองแดงในรู)

5.2.3.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกระบวนการปฏิบัติงาน 1 คนต่อ 1 เครื่องมือวัด รวมพนักงานทั้งสิ้น 2 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ

5.2.3.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ แผ่น PCB ที่มีลักษณะเป็น Panel หลังผ่านกระบวนการ Tin Strip จำนวนทั้งสิ้น 15 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 15

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยกรณีข้อมูลแบบคู่ (Paired-t Test) วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม MiniTab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้คือ

- ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05
- ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.10 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.90

- ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.138 mils เนื่องจากผู้ทำวิจัยต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ถ้าค่าเฉลี่ยของ 2 ระดับใดๆ มีความแตกต่างกันเท่ากับ 10 เนื่องจากสามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน

- ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.138 (จากการศึกษาความสามารถกระบวนการในบทที่ 1 หัวข้อ 1.3.2)

- จะได้จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ $n_1 = n_2 = 13$ สิ่งตัวอย่าง (หรือ 13 คู่) ซึ่งการทดสอบสมมติฐานในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ 15 คู่ ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน (ของการทดสอบค่าวัดความหนาทองแดงในระหว่างเครื่อง Cu-Scope และ Micro Scope)

Power and Sample Size			
1-Sample t Test			
Testing mean = null (versus not = null)			
Calculating power for mean = null + difference			
Alpha = 0.05 Sigma = 0.138			
	Sample	Target	Actual
Difference	Size	Power	Power
0.138	13	0.9000	0.9107

5.2.3.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 1 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.3.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 (ใช้เครื่อง Cu-Scope) ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้
ขึ้นมาวัด

- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น

- ให้พนักงานคนที่ 2 (ใช้เครื่อง Micro Scope) ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างขึ้นมา

นำไปตัด Cross Section และวัดค่า

- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)

- ทดสอบสมมติฐานและความมีนัยสำคัญทางสถิติ

สาเหตุที่ต้องใช้พนักงานต่างคนวัดกันระหว่างเครื่องมือวัด 2 ระบบนี้เนื่องจากมีวิธีการวัดที่แตกต่างกัน และต้องการผู้ที่ชำนาญเฉพาะของแต่ละเครื่องมือวัดในการทดสอบ

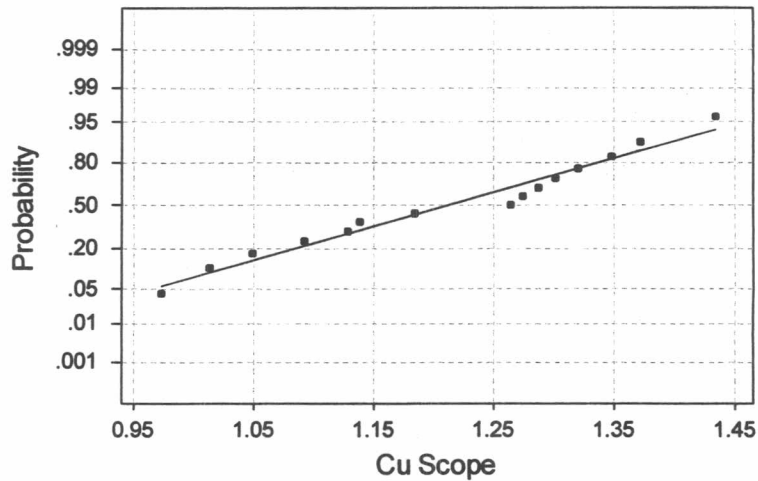
5.2.3.6 ผลลัพธ์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือวัด
- ทดสอบความเป็น Normality ของข้อมูล

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

Normal Probability Plot

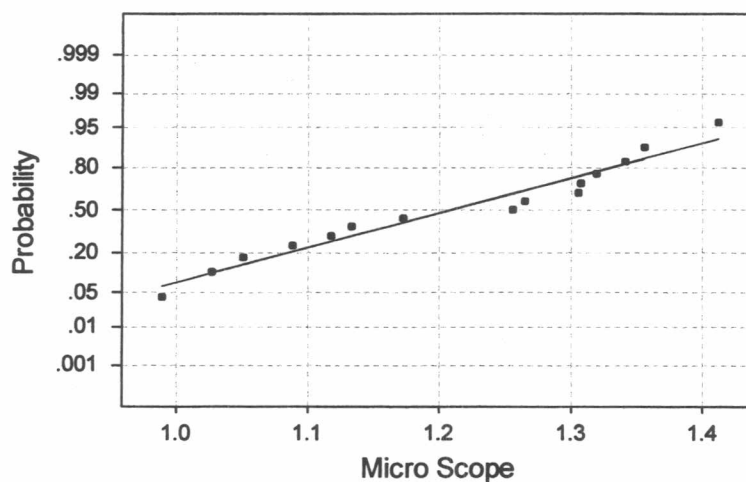


Average: 1.2118
StDev: 0.140444
N: 15

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.298
P-Value: 0.542

รูปที่ 5.6 แผนภูมิ Normal Probability Plot ของค่าวัดความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Cu Scope

Normal Probability Plot



Average: 1.20913
StDev: 0.134727
N: 15

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.414
P-Value: 0.294

รูปที่ 5.7 แผนภูมิ Normal Probability Plot ของค่าวัดความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Micro Scope

- ทดสอบความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในระหว่างเครื่องมือวัดทั้ง

สอง

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \sigma^2_{\text{Cu-Scope}} = \sigma^2_{\text{Micro Scope}}$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{Cu-Scope}} \neq \sigma^2_{\text{Micro Scope}}$$

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จาก Cu-Scope และ Micro Scope

Test for Equal Variances				
Level1	Cu Scope			
Level2	Micro Scope			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.86E-02	0.140444	0.238046	15	Cu Scope
9.46E-02	0.134727	0.228355	15	Micro Scope
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic:	1.087			
P-Value	: 0.879			

- ทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดงในระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \mu_D = 0$$

$$H_a: \mu_D \neq 0$$

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จาก Cu-Scope และ Micro Scope

Paired T-Test and CI: Cu Scope, Micro Scope				
Paired T for Cu Scope - Micro Scope				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Cu Scope	15	1.2118	0.1404	0.0363
Micro Scope	15	1.2091	0.1347	0.0348
Difference	15	0.00267	0.01313	0.00339
95% CI for mean difference: (-0.00460, 0.00994)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.79 P-Value = 0.445				

จากผลทดสอบความเป็น Normality ของข้อมูลวัดที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด Cu Scope และ Micro Scope ด้วยการทดสอบ Anderson-Darling Normality Test พบว่าข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ด้วยความเชื่อมั่น 95% ซึ่งสังเกตได้จากค่า P-Value ของการทดสอบที่มีค่ามากกว่า 0.05 ดังในรูปที่ 5.6 และ 5.7

จากผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดความหนาทองแดงในรูด้วยเครื่อง Cu-Scope และ Micro Scope ดังในตารางที่ 5.6 พบว่าค่า P-value ของการทดสอบความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ 0.879 นั่นคือ ความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95% และจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสอง ดังในตารางที่ 5.7 พบว่าค่า P-value เท่ากับ 0.445 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลที่ของค่าวัดความหนาทองแดงในรูที่ได้จากเครื่อง Cu-Scope และ Micro Scope ไม่มีความแตกต่างกัน

5.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ

5.3.1 จุดประสงค์ของการทดลอง: เพื่อที่จะศึกษาถึงค่าเฉลี่ยและความผันแปรที่เกิดขึ้นของค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วผ่านขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งครบทุกขั้นตอนพร้อมจะบรรจุและส่งให้ลูกค้าว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งจะช่วยในการจำกัดขอบเขตของกระบวนการผลิตที่จะนำมาศึกษาหาปัจจัยนำเข้าพื้นฐานที่มีผลต่อค่าความหนาทองแดงในรูต่อไป เนื่องจากมีข้อสมมติฐานว่ากระบวนการต่างๆ หลังจากที่ผ่านมาการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าไปแล้วจะไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาทองแดงในรู

5.2.2 สมมติฐาน: ค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วผ่านขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งครบทุกขั้นตอนพร้อมจะบรรจุและส่งให้ลูกค้า มีค่าคงที่

5.3.3 ขอบเขตของการทดลอง: ทำการศึกษาค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบกับค่าความหนาทองแดงในรูหลังการกัดกรด และค่าความหนาทองแดงในรูหลังการกัดกรด เปรียบเทียบกับหลังการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

5.3.4 การเตรียมการทดลอง

- ตัวแปรตามที่พิจารณาคือค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าโดยจะพิจารณาในส่วนของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่เกิดขึ้น
- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ 2 Panel (1 Panel = 24 แผ่น) โดยวัดค่าความหนาทองแดงในรู Panel ละ 15 แผ่นๆ ละ 1 รู

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยกรณีข้อมูลแบบคู่ (Paired-t Test) วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม MiniTab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้คือ

- (1) ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05
- (2) ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.10 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.90

(3) ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.138 mils เนื่องจากผู้ทำวิจัยต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ถ้าค่าเฉลี่ยของ 2 ระดับใดๆ มีความแตกต่างกันเท่ากับ 10 เนื่องจากสามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน

(4) ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.138 (จากการศึกษาความสามารถ กระบวนการในบทที่ 1 หัวข้อ 1.3.2)

(5) จะได้จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ $n_1 = n_2 = 13$ สิ่งตัวอย่าง (หรือ 13 คู่) ซึ่งการทดสอบสมมติฐานในการศึกษารั้งนี้จะใช้ 15 คู่ ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน (ของการ จัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ)

Power and Sample Size			
1-Sample t Test			
Testing mean = null (versus not = null)			
Calculating power for mean = null + difference			
Alpha = 0.05 Sigma = 0.138			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.138	13	0.9000	0.9107

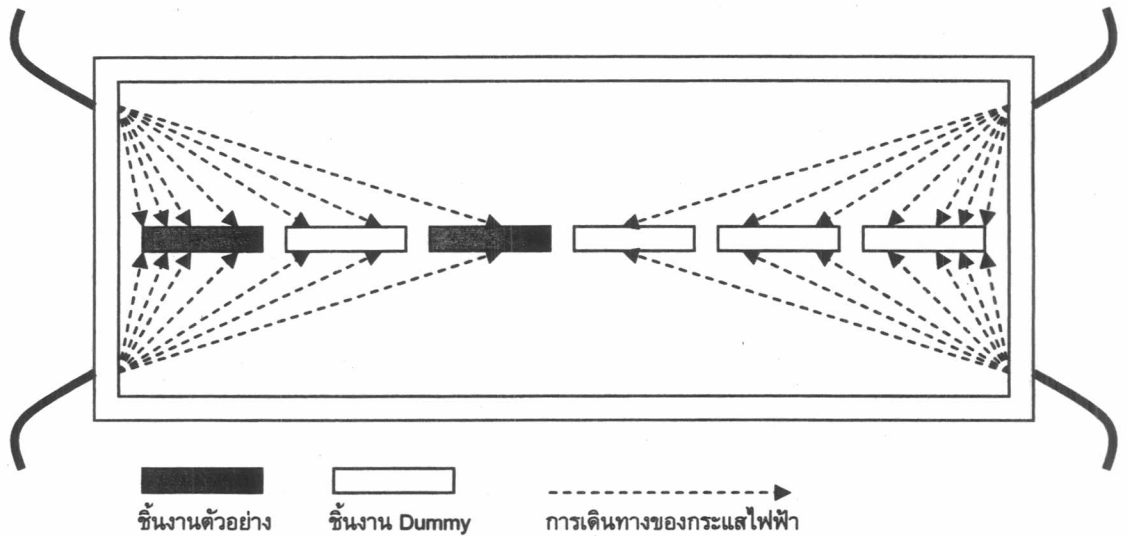
- ชิ้นงานตัวแทน (Dummy boards) เพื่อชดเชยพื้นที่ผิวการชุบทองแดงเพื่อให้พื้นที่ผิวในการชุบใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวทองแดงในการชุบจริงแต่ละครั้ง เพื่อประหยัดวัตถุดิบ (ชิ้นงาน) เนื่องจากในการชุบจริงจะชุบครั้งละ 6 Panel

- ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่

- แผ่น PCB และวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมาจากล็อตเดียวกัน
- ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันในการทดลอง
- ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน
- ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการ

- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิห้อง และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

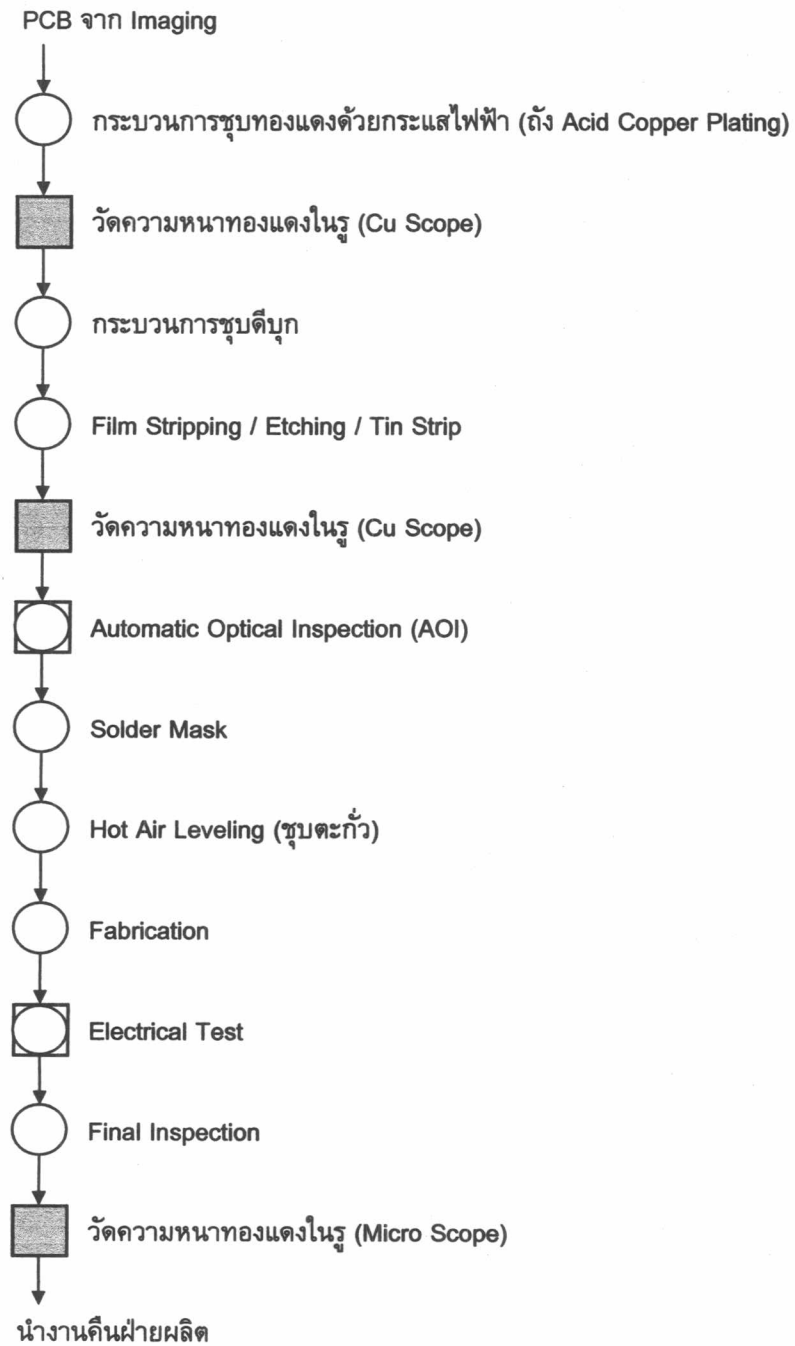
- ลักษณะตำแหน่งการวางสิ่งตัวอย่างในถังชุบขณะทำการทดลองจะวาง Panel แรกในตำแหน่งริมสุด และ Panel ที่ 2 ในตำแหน่งด้านในบริเวณตรงกลางของถังชุบเนื่องจากข้อสมมติฐานที่ว่า เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสชุปมากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับดังในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แผนภาพแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อแผ่นวงจรที่ตำแหน่งต่างๆในถังชุบ

5.3.5 ขั้นตอนในการทดลอง : จะทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง คือนำแผ่น PCB เข้ากระบวนการอย่างต่อเนื่องจนครบทุกกระบวนการผลิต โดยนำสิ่งตัวอย่างทดลองทั้งหมดนี้ไปวัดค่าความหนาทองแดงในรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วนำมาวัดค่าความหนาทองแดงในรู ก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการถัดไป วัดอีกครั้งหลังการกัดกรด และวัดอีกครั้งหลังการตรวจสอบขั้นสุดท้าย โดยรายละเอียดของขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.9

5.3.6 ทำการทดลองและบันทึกผลตามแผนที่วางไว้และนำข้อมูลการทดลอง (แสดงในภาคผนวก ค) มาทำการคำนวณทางสถิติด้วยโปรแกรม MINITAB



รูปที่ 5.9 แผนภาพขั้นตอนการผลิต

5.3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.3.7.1 ค่าเฉลี่ยและความผันแปรในแต่ละกระบวนการ: พิจารณาค่าเฉลี่ยและความผันแปร โดยความผันแปรจะคำนวณในรูปของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้น และพิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลโดยฮิสโตแกรมแยกตามแต่ละกระบวนการ ดังนี้คือ

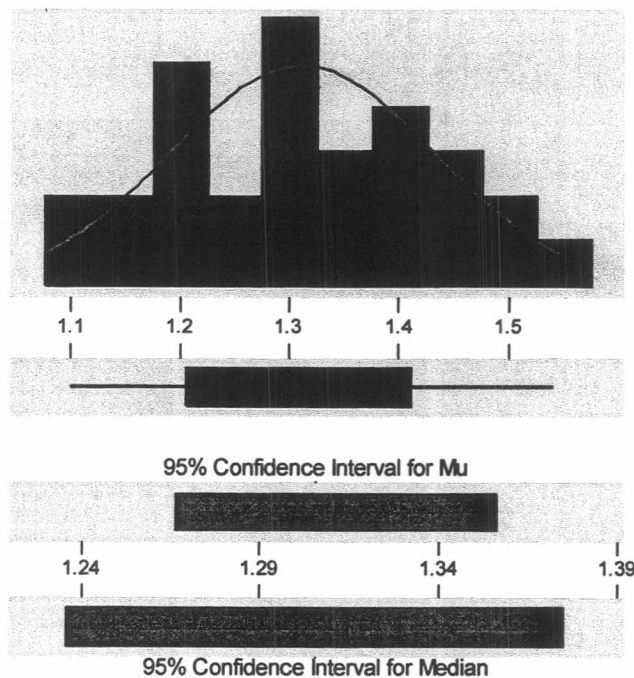
- สมมติฐานในการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล

H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลมีการกระจายที่ไม่เป็นแบบปกติ

- กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า จากการคำนวณพบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.121 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น 95% สังเกตได้จากค่า P-Value ของการทดสอบ Anderson-Darling มีค่าเท่ากับ 0.634 แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.10

Descriptive Statistics



Variable: After Plating

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.276
P-Value: 0.634

Mean 1.31120
StDev 0.12072
Variance 1.46E-02
Skewness -6.2E-03
Kurtosis -1.0E+00
N 30

Minimum 1.09900
1st Quartile 1.20550
Median 1.31450
3rd Quartile 1.41075
Maximum 1.54000

95% Confidence Interval for Mu
1.26612 1.35628

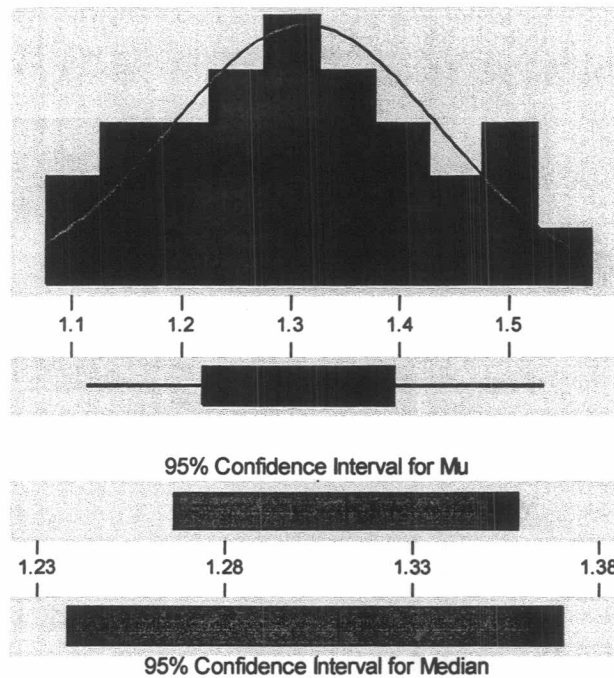
95% Confidence Interval for Sigma
0.09614 0.16228

95% Confidence Interval for Median
1.23523 1.37471

รูปที่ 5.10 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

- กระบวนการกัดกรด จากการคำนวณพบว่ามีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.123 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น 95% สังเกตได้จากค่า P-Value ของการทดสอบ Anderson-Darling มีค่าเท่ากับ 0.743 แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.11

Descriptive Statistics



Variable: After Etchin

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.244
P-Value: 0.743

Mean 1.31247
StDev 0.12326
Variance 1.52E-02
Skewness 0.181205
Kurtosis -8.8E-01
N 30

Minimum 1.11200
1st Quartile 1.21925
Median 1.31000
3rd Quartile 1.39350
Maximum 1.53200

95% Confidence Interval for Mu
1.26644 1.35849

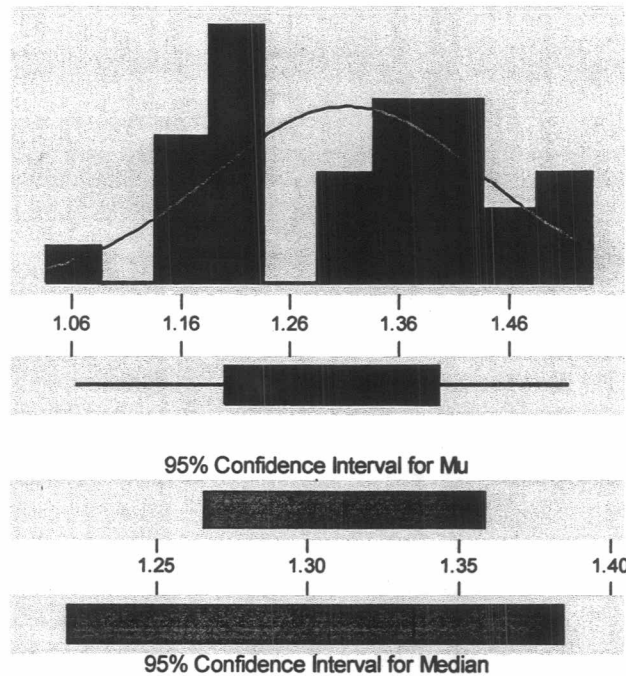
95% Confidence Interval for Sigma
0.09816 0.16570

95% Confidence Interval for Median
1.23766 1.37034

รูปที่ 5.11 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการกัดกรด

- กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย จากการคำนวณพบว่ามีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.124 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้อัตราความเชื่อมั่น 95% สังเกตได้จากค่า P-Value ของการทดสอบ Anderson-Darling มีค่า เท่ากับ 0.114 แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.12

Descriptive Statistics



Variable: After Final

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.592
P-Value: 0.114

Mean 1.31210
StDev 0.12405
Variance 1.54E-02
Skewness -6.6E-02
Kurtosis -9.4E-01
N 30

Minimum 1.06200
1st Quartile 1.19975
Median 1.33500
3rd Quartile 1.39550
Maximum 1.51400

95% Confidence Interval for Mu
1.26578 1.35842

95% Confidence Interval for Sigma
0.09879 0.16676

95% Confidence Interval for Median
1.22029 1.38428

รูปที่ 5.12 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

5.3.7.2 การทดสอบสมมติฐาน: หลังจากการคำนวณค่าความผันแปรในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาทองแดงในรูในแต่ละกระบวนการแล้ว เพื่อเป็นการยืนยันผลความไม่แตกต่างของความแปรปรวนที่เกิดขึ้น จึงทำการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรู หลังเข้ากระบวนการที่พิจารณา เพื่อตรวจสอบว่าหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าไปแล้วกระบวนการอื่นๆที่ตามมา มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยและความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.7.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ: ก่อนการทดสอบสมมติฐาน จะทำการตรวจสอบข้อมูลในแต่ละกระบวนการว่า ได้เป็นไปตามข้อกำหนดในการแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยวิธี Anderson-Darling Normality Test

ลำดับที่	กระบวนการ	ค่า P-Value
1	หลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า	0.634
2	หลังกระบวนการกัดด้วยกรด	0.743
3	หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย	0.114

จากตารางจะเห็นได้ว่า ข้อมูลในกระบวนการทั้งสามมีการแจกแจงเป็นแบบปกติ สังเกตได้จากค่า P-Value ที่มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลชุดนี้ไปทำการทดสอบสมมติฐานต่อไป

5.3.7.2.2 ผลการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูในแต่ละกระบวนการ

- กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า และการกัดกรด

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \sigma^2_{\text{หลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการกัดกรด}}$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{หลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการกัดกรด}}$$

ได้ผลดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดง
ในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า และหลังการกัดกรด

Test for Equal Variances				
Level1	After Plating			
Level2	After Etching			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.32E-02	0.120717	0.169795	30	After Plating
9.51E-02	0.123259	0.173370	30	After Etching
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic:	0.959			
P-Value	: 0.911			

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.911
นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า
และหลังการกัดกรดไม่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการกัดกรด และการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \sigma^2_{\text{หลังการกัดกรด}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย}}$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{หลังการกัดกรด}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย}}$$

ได้ผลดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดง
ในรูหลังกระบวนการกัดกรด และหลังการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

Test for Equal Variances				
Level1	After Etching			
Level2	After Final			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N Factor Levels	
9.51E-02	0.123259	0.173370	30	After Etching
9.57E-02	0.124047	0.174478	30	After Final
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.987				
P-Value : 0.973				

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.973
นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า
และหลังการกัดกรดไม่มีความ แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.3.7.2.3 ผลการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูในแต่ละกระบวนการ

- กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า และการกัดกรด

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \mu_{\text{หลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า}} = \mu_{\text{หลังกระบวนการกัดกรด}}$$

$$H_a: \mu_{\text{หลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า}} \neq \mu_{\text{หลังกระบวนการกัดกรด}}$$

ได้ผลดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า และหลังกระบวนการกัดกรด

Paired T-Test and CI: After Plating, After Etching

Paired T for After Plating - After Etching

	N	Mean	StDev	SE Mean
After Platin	30	1.3112	0.1207	0.0220
After Etchin	30	1.3125	0.1233	0.0225
Difference	30	-0.00127	0.03446	0.00629

95% CI for mean difference: (-0.01414, 0.01160)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.20 P-Value = 0.842

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.842 นั้นหมายถึงค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า และหลังการตรวจสอบขั้นสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการชุบกัดกรด และการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \mu_{\text{หลังกระบวนการกัดกรด}} = \mu_{\text{หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย}}$$

$$H_a: \mu_{\text{หลังกระบวนการกัดกรด}} \neq \mu_{\text{หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย}}$$

ได้ผลดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูปหลังกระบวนการกัดกรด และหลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

Paired T-Test and CI: After Etching, After Final				
Paired T for After Etching - After Final				
	N	Mean	StDev	SE Mean
After Etchin	30	1.3125	0.1233	0.0225
After Final	30	1.3121	0.1240	0.0226
Difference	30	0.00037	0.03013	0.00550
95% CI for mean difference: (-0.01088, 0.01162)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.07 P-Value = 0.947				

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.947 นั้นหมายถึงค่าเฉลี่ยผลต่างความหนาทองแดงในรูปหลังกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้า และหลังการตรวจสอบขั้นสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.3.8 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าความแปรปรวน และผลการทดสอบค่าเฉลี่ย ผลต่างความหนาทองแดงในรู พบว่า หลังจากที่ผ่านมากระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า กับหลังจากผ่านกระบวนการกัดกรดไม่มีความแตกต่างกัน และหลังผ่านกระบวนการกัดกรด กับ หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นหมายความว่า กระบวนการต่าง ๆ ในการผลิตแผ่น PCB ที่เกิดขึ้นหลังจากที่ผ่านมากระบวนการชุบทองแดงด้วย กระแสไฟฟ้ามาแล้วจนกระทั่งการตรวจสอบขั้นสุดท้ายก่อนที่จะส่งมอบให้แก่ลูกค้า ไม่มีอิทธิพล ในการทำให้ค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเปลี่ยนแปลงไป

ดังนั้นจากการทดลองนี้ พบว่ากระบวนการที่อาจมีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่า ความหนาทองแดงในรูได้ คือกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าและกระบวนการอื่น ก่อนที่จะชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

ในขั้นตอนถัดไปจึงพิจารณาเลือกกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าและ กระบวนการอื่นก่อนที่จะชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้ามาทำการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุง กระบวนการผลิตดังกล่าวเนื่องจากเป็นกระบวนการที่อาจทำให้เกิดค่าความแปรปรวนของค่า ความหนาทองแดงในรู

5.4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมความคิดจากสมาชิกที่ทำการคัดเลือกจากผู้ที่มีความชำนาญและผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกระบวนการชุบทองแดงและกระบวนการก่อนหน้า เนื่องจากในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการอื่นๆ หลังจากชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าไม่มีผลต่อการทำให้ค่าความหนาทองแดงในรูเปลี่ยนไป นั่นคือ วิศวกรควบคุมกระบวนการอัดชั้น (Lamination Engineer) วิศวกรควบคุมกระบวนการเจาะรู (Drilling Engineer) วิศวกรควบคุมกระบวนการชุบทองแดงแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Copper Plating Engineer), วิศวกรควบคุมกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Copper Electroplating Engineer) ฝ่ายช่างที่ดูแลกระบวนการดัดกล้าว (Technician) วิศวกรคุณภาพ (Quality engineer) วิศวกรวิจัยและพัฒนา (Research & Development engineer) และวิศวกรผู้ดูแลผู้ส่งมอบ (Supplier Engineer) ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

5.4.1 ทำการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการผลิตแผ่น PCB โดยละเอียด โดยใช้แผนภาพกระบวนการผลิตช่วยในการศึกษา ดังแสดงในภาคผนวก ฉ

5.4.2 ระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงในรู ในกระบวนการผลิตแผ่น PCB ซึ่งเครื่องมือที่จะนำมาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณาคือภูมิสาเหตุและผล ในการระดมความคิดนี้จะกระทำโดยกลุ่มสมาชิกที่ได้เลือกไว้ ทำการระดมความคิดโดยอิสระ เพราะในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่ต้องการคือจำนวนปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการกำหนดปัจจัยนำเข้าของแต่ละขั้นตอนการผลิตในขั้นตอนการทำ Cause & Effect Matrix ต่อไป แผนภูมิสาเหตุและผลของความหนาทองแดงในรู ดังรูปที่ 5.13

5.4.3 นำข้อมูลที่ได้มาใส่ลงในตาราง Cause and Effect Matrix ในช่องปัจจัยนำเข้าทางซ้ายมือโดยเลือกมาเฉพาะปัจจัยจากแต่ละขั้นตอนของกระบวนการที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงในรู และส่วนบนของตารางให้ใส่ค่าความสำคัญของความหนาทองแดงในรูที่มีต่อลูกค้าซึ่งเป็นค่าความร้ายแรงที่มีต่อลูกค้าเมื่อค่าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญเท่ากับ 10^1 เนื่องจากเป็นข้อกำหนดเฉพาะที่ต้องการเพียงข้อเดียวในงานวิจัยครั้งนี้

¹ กำหนดให้ค่าความสำคัญต่อลูกค้าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 – 10 โดยค่าสำคัญที่สุดมีค่าเท่ากับ 10

5.4.4 ในแต่ละปัจจัยให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญ ซึ่งจะให้คะแนนในช่วง 0 ถึง 7 คะแนน โดยพิจารณาค่าคะแนนที่เป็นเสียงเอกฉันท์ (Consensus) ในแต่ละปัจจัย กรณีที่การให้คะแนนไม่เป็นเอกฉันท์จะต้องมีการอธิบายเหตุผลของเสียงส่วนมากแก่ผู้ที่ให้คะแนนไม่ตรงกันจนเข้าใจและยอมรับก่อนที่จะข้ามไปยังปัจจัยอื่น ข้อดีของวิธีนี้คือ เพื่อไม่ให้ผู้ที่เสียงส่วนน้อยเกิดความรู้สึกว่าตนไม่สำคัญ แต่เกิดความรู้สึกอยากให้ความร่วมมือในครั้งต่อไป ซึ่งความหมายของแต่ละค่าคะแนนแสดงดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลต่อข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า

- | |
|-------------------|
| 0 = ไม่มีผล |
| 1 = มีผลน้อย |
| 2 = มีผลน้อย |
| 3 = มีผลปานกลาง |
| 4 = มีผลปานกลาง |
| 5 = มีผลมาก |
| 6 = มีผลมาก |
| 7 = มีผลมากที่สุด |

5.4.5 ผู้วิจัยรวบรวมคะแนน พร้อมทั้งทำการคูณค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยด้วยอัตราความสำคัญที่มีต่อลูกค้า (10) จากนั้นทำการรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัย และทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect Matrix ดังแสดงในตารางที่ 5.14 และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยเรียงตามลำดับคะแนนจากมากไปน้อยด้วยแผนภูมิพาราเรโต ดังแสดงในรูป 5.14

ตารางที่ 5.14 แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10	
				1	
				Cu-In-Hole Thickness	Total
	Process Step	Sub Process	Process Input		
1	Incoming		ดอกสว่านต่างผู้ผลิตกัน	1	10
2			Epoxy ที่ใช้ต่าง Vendor กัน	2	20
3			ความหนาของชั้นแผ่น Copper foil	1	10
4			ความหนาของชั้นแผ่น Epoxy	1	10
5	Lamination		อุณหภูมิในการ Press	1	10
6			ความดันในการ Press	1	10
7			เวลาที่ใช้ในการ Press	1	10
8	Drill		อายุการใช้งานของดอกสว่านที่มากขึ้น	2	20
9			ความเร็วรอบในการเจาะรู	2	20
10			เวลาที่ใช้ในการเจาะรู	1	10
11	Deburring		เวลาที่ใช้ในการ Deburring	1	10
12			แรงดันของน้ำ DI water	1	10
13			ความสะอาดของ DI water	1	10
14	Electroless	9204 Conditioner	ความเข้มข้นของสารละลายในถัง 9204 Conditioner	2	20
15	Cu Plating		อุณหภูมิของสารละลายในถัง 9204 Conditioner	2	20
16			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดลงในถัง 9204 Conditioner	2	20
17			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง 9204 Conditioner	2	20
18			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง 9204 Conditioner	1	10

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10	
				1	
				Cu-In-Hole Thickness	Total
	Process Step	Sub Process	Process Input		
19	Electroless	Alkaline	ความเข้มข้นของ $KMnO_4$ ในถัง Alkaline Permanganete	2	20
20	Cu Plating	Permanganete	ความเข้มข้นของ NaOH ในถัง Alkaline Permanganete	2	20
21	(ต่อ)		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Alkaline Permanganete	2	20
22			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์คองในถัง Alkaline Permanganete	2	20
23			ปริมาณตะกอน Solid	2	20
24			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Alkaline Permanganete	2	20
25			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Alkaline Permanganete	2	20
26		Hot Water	อุณหภูมิของน้ำในถัง Hot Water	1	10
27			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์คองในถัง Hot Water	1	10
28			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Hot Water	1	10
29			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Hot Water	1	10
30		9279	ความเข้มข้นของ 9279 ในถัง 9279 Neutralizer	2	20
31		Neutralizer	ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง 9279 Neutralizer	1	10
32			Copper Content (9279 Neutralizer, Electroless)	0	0
33			อุณหภูมิของสารละลายในถัง 9279 Neutralizer	2	20
34			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์คองในถัง 9279 Neutralizer	2	20
35			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง 9279 Neutralizer	2	20
36			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง 9279 Neutralizer	1	10

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10	
				1	
				Cu-In-Hole Thickness	Total
	Process Step	Sub Process	Process Input		
37	Electroless	Sulfuric Acid	ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Sulfuric Acid	0	0
38	Cu Plating (ต่อ)		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Sulfuric Acid	0	0
39			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Sulfuric Acid	0	0
40			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Sulfuric Acid	0	0
41			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Sulfuric Acid	0	0
42		Conditioner 90	ความเข้มข้นของ 90A ในถัง Conditioner 90	2	20
43			ความเข้มข้นของ 90B ในถัง Conditioner 90	2	20
44			ความเข้มข้นของ 90C ในถัง Conditioner 90	2	20
45			Copper Content (Conditioner, Electroless)	0	0
46			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Conditioner 90	1	10
47			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Conditioner 90	2	20
48			ค่า pH ของสารละลายในถัง Conditioner 90	1	10
49			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Conditioner 90	1	10
50			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Conditioner 90	1	10
51			Micro Etch	ความเข้มข้นของ H_2O_2 ในถัง Micro Etch (Eless)	0
52		ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Micro Etch (Eless)		0	0
53		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Micro Etch (Eless)		0	0
54		เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Micro Etch (Eless)		0	0
55		Copper Content (MicroEtch, Eless)		0	0
56		จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Micro Etch (Eless)		0	0
57		ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Micro Etch (Eless)		0	0

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10	
				1	
				Cu-In-Hole Thickness	Total
	Process Step	Sub Process	Process Input		
58	Electroless	Activator	ความเข้มข้นของสารละลายในถัง Activator Pre-Dip 93P	2	20
59	Cu Plating (ต่อ)	Pre-Dip 93P	Copper Content (Activator Pre-Dip 93P, Eless)	1	10
60			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Activator Pre-Dip 93P	1	10
61			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Activator Pre-Dip 93P	2	20
62			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Activator Pre-Dip 93P	2	20
63			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Activator Pre-Dip 93P	1	10
64			Activator 95	ความเข้มข้นของ 95A ในถัง Activator 95	2
65		ความเข้มข้นของ Cl ในถัง Activator 95		2	20
66		ความเข้มข้นของ Tin ในถัง Activator 95		1	10
67		Iron Content ในถัง Activator 95		2	20
68		Copper Content ในถัง Activator 95		0	0
69		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Activator 95		1	10
70		เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Activator 95		2	20
71		จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Activator 95		2	20
72	ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Activator 95	1		10	
73	Accelerator	ความเข้มข้นของ 97B ในถัง Accelerator		1	10
74		Copper Content ในถัง Accelerator	0	0	
75		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Accelerator	1	10	
76		เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Accelerator	1	10	
77		ค่า pH ของสารละลายในถัง Accelerator	1	10	
78		จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Accelerator	1	10	
79		ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Accelerator	1	10	

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10			
				1			
				Cu-In-Hole Thickness	Total		
	Process Step	Sub Process	Process Input				
80	Electroless	Electroless	ความเข้มข้นของ Copper 85A ในถัง Electroless Copper 85	6	60		
81	Cu Plating (ต่อ)	Copper 85	ความเข้มข้นของ Chelator ในถัง Electroless Copper 85	6	60		
82			ความเข้มข้นของ Caustic 85C ในถัง Electroless Copper 85	6	60		
83			ความเข้มข้นของ Formaldehyde ในถัง Electroless Copper 85	2	20		
84			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	6	60		
85			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85	6	60		
86			ความถี่ของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	6	60		
87			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Electroless Copper 85	5	50		
88			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Electroless Copper 85	2	20		
89			Post-Dip 88		ความเข้มข้นของสารละลายในถัง Post-Dip 88	1	10
90					อุณหภูมิของสารละลายในถัง Post-Dip 88	1	10
91	เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Post-Dip 88	1			10		
92	จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Post-Dip 88	1			10		
93	ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Post-Dip 88	1			10		
94	Anti Tarnish Oxyban 60		ความเข้มข้นของสารละลายในถัง Anti Tarnish Oxyban 60	1	10		
95			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Anti Tarnish Oxyban 60	1	10		
96			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Anti Tarnish Oxyban 60	1	10		
97			ค่า pH ของสารละลายในถัง Anti Tarnish Oxyban 60	1	10		
98	Imaging	Developing	สารเคมีที่ใช้ในการ Remove ฟิล์มที่คลุมบนผิวทองแดงออก	1	10		

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10	
				1	
				Cu-In-Hole Thickness	Total
	Process Step	Sub Process	Process Input		
99	Pattern Plating	Acid Cleaner	ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Acid Cleaner	2	20
100			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Cleaner	2	20
101			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Cleaner	1	10
102			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Acid Cleaner	1	10
103			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Acid Cleaner	1	10
104		Micro Etch	ความเข้มข้นของโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ($Na_2S_2O_8$) ในถัง Micro Etch	1	10
105			ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Micro Etch	5	50
106			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Micro Etch	5	50
107			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Micro Etch	5	50
108			Copper Content (MicroEtch, Pattern Plating)	2	20
109		จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Micro Etch	1	10	
110		ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Micro Etch	1	10	
111		Sulfuric Acid Dip I	ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Sulfuric Acid Dip I	3	30
112			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Sulfuric Acid Dip I	2	20
113			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Sulfuric Acid Dip I	2	20
114	จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Sulfuric Acid Dip I		1	10	
115	ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Sulfuric Acid Dip I		1	10	

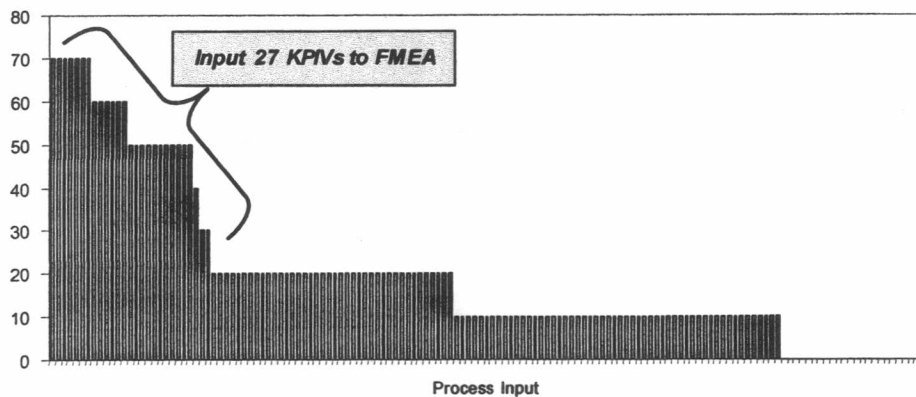
ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10	
				1	
				Cu-In-Hole Thickness	Total
	Process Step	Sub Process	Process Input		
116	Pattern Plating	Acid	ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตในถัง Acid Copper Plating	7	70
117	(ต่อ)	Copper Plating	ความเข้มข้นของกรด H ₂ SO ₄ ในถัง Acid Copper Plating	7	70
118			ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating	7	70
119			ความเข้มข้นของ Brightener ในถัง Acid Copper Plating	3	30
120			ความเข้มข้นของ Leveller BL-CT ในถัง Acid Copper Plating	5	50
121			ปริมาณ IRON ในถัง Acid Copper Plating	5	50
122			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating	7	70
123			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ตในถัง Acid Copper Plating	7	70
124			ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	5	50
125			กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	7	70
126			Pressure Pump ในถัง Acid Copper Plating	5	50
127			ปริมาณ Anode ที่ใช้	2	20
128			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Acid Copper Plating	7	70
129			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Acid Copper Plating	5	50
130		Sulfuric	ความเข้มข้นของกรด H ₂ SO ₄ ในถัง Sulfuric Acid Dip II	5	50
131		Acid Dip II	อุณหภูมิของสารละลายในถัง Sulfuric Acid Dip II	4	40
132			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ตในถัง Sulfuric Acid Dip II	5	50
133			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Sulfuric Acid Dip II	1	10
134			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Sulfuric Acid Dip II	2	20

ตารางที่ 5.14 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Importance to Customer				10			
				1			
				Cu-In-Hole Thickness	Total		
	Process Step	Sub Process	Process Input				
135	Pattern Plating (ต่อ)	Tin Plating	TIN Content	0	0		
136			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Tin Plating	0	0		
137			ความเข้มข้นของ Free Sulfuric Acid ในถัง Tin Plating	2	20		
138			ความเข้มข้นของ Sulfotech SP ในถัง Tin Plating	0	0		
139			ความเข้มข้นของ STH Additive ในถัง Tin Plating	0	0		
140			อุณหภูมิของสารละลายในถัง Tin Plating	1	10		
141			เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Tin Plating	1	10		
142			กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Tin Plating	0	0		
143			Pressure Pump ในถัง Tin Plating	0	0		
144			จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Tin Plating	0	0		
145			ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Tin Plating	0	0		
Total				284	2840		

Pareto for Process Input Variable relate to Cu-In-Hole Thickness



รูปที่ 5.14 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย Cause and Effect Matrix

ตารางที่ 5.15 แสดงปัจจัยนำเข้าสำคัญที่ได้จาก Cause and Effect Matrix

Priority	Item	KPIV	Score
1	116	ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตในถัง Acid Copper Plating	70
2	117	ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Acid Copper Plating	70
3	118	ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating	70
4	122	อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating	70
5	123	เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating	70
6	125	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	70
7	128	จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Acid Copper Plating	70
8	80	ความเข้มข้นของ Copper 85A ในถัง Electroless Copper 85	60
9	81	ความเข้มข้นของ Chelator ในถัง Electroless Copper 85	60
10	82	ความเข้มข้นของ Caustic 85C ในถัง Electroless Copper 85	60
11	84	อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	60
12	85	เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85	60
13	86	ความถ่วงจำเพาะของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	60
14	87	จำนวนชิ้นงานในการจุ่มแต่ละครั้งในถัง Electroless Copper 85	50
15	105	ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Micro Etch	50
16	106	อุณหภูมิของสารละลายในถัง Micro Etch	50
17	107	เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Micro Etch	50
18	120	ความเข้มข้นของ Leveller BL-CT ในถัง Acid Copper Plating	50
19	121	ปริมาณ IRON ในถัง Acid Copper Plating	50
20	124	ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	50
21	126	Pressure Pump ในถัง Acid Copper Plating	50
22	129	ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะจุ่มในถัง Acid Copper Plating	50
23	130	ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Sulfuric Acid Dip II	50
24	132	เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Sulfuric Acid Dip II	50
25	131	อุณหภูมิของสารละลายในถัง Sulfuric Acid Dip II	40
26	111	ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Sulfuric Acid Dip I	30
27	119	ความเข้มข้นของ Brightener ในถัง Acid Copper Plating	30
Total			1500

5.4.6 สรุปผลการศึกษา

จากผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อค่าความหนาทองแดงในรูโดยสมาชิกในกลุ่ม พบว่าคะแนนรวมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 2,840 และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิพารето เพื่อนำไปศึกษาต่อและกลั่นกรองด้วย FMEA ต่อไป โดยปัจจัยที่ได้เลือกไว้มีรวมทั้งสิ้น 27 ปัจจัย ดังตารางที่ 5.15 เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีคะแนนความสำคัญต่อค่าความหนาทองแดงในรูสูงซึ่งมีค่าตั้งแต่ 30 คะแนนขึ้นไป ส่วนปัจจัยที่เหลือจะมีคะแนนสองระดับที่เท่ากันจำนวนหลายปัจจัยและมีค่าคะแนนที่ต่ำคือ 20 คะแนน และ 10 คะแนนตามลำดับ

ผลรวมของคะแนนความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดที่ได้เลือกไว้มีค่าเท่ากับ 1,500 ซึ่งเป็นสัดส่วนประมาณ 53% ของคะแนนรวมทั้งหมด

5.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วย Cause and Effect Matrix แล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ FMEA “ เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อที่จะกลั่นกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษาอีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะนำไปทดลองในขั้นตอนถัดไป ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้คือ

- ระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องค่าความหนาทองแดงในรูไม่ได้ตามข้อกำหนดที่มีต่อ ลูกค้า
- ระบุถึงที่มาที่เป็นสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องเหล่านี้ พร้อมกับพิจารณาความถี่ของสาเหตุที่เกิดขึ้นนี้
- ระบุถึงมาตรการในการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อบกพร่องต่างๆ เหล่านี้เกิดขึ้น และระบุความ สามารถหรือประสิทธิภาพของระบบควบคุมดังกล่าวด้วย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย FMEA ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.5.1 ทำการจัดตั้งกลุ่มสมาชิก ซึ่งจะเป็นกลุ่มสมาชิกกลุ่มเดียวกันกับ Cause and Effect Matrix ซึ่งประกอบไปด้วย วิศวกรควบคุมกระบวนการชุบทองแดงแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้า (Electroless Copper Plating Engineer), วิศวกรควบคุมกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Copper Electroplating Engineer) ฝ่ายช่างที่ดูแลกระบวนการดังกล่าว

(Technician) วิศวกรคุณภาพ (Quality engineer) วิศวกรวิจัยและพัฒนา (Research & Development engineer) และวิศวกรผู้ดูแลผู้ส่งมอบ (Supplier Engineer)

5.5.2 กำหนดขอบเขตของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่

- กระบวนการที่ทำการวิเคราะห์ ในการศึกษาครั้งนี้คือกระบวนการผลิตแผ่น PCB ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยสำคัญที่ได้เลือกมาจากขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause & Effect Matrix ที่ผ่านมา

- ตัวแปรตอบสนองที่เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา คือค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่น PCB โดยจะศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าความหนาทองแดงในรูในกระบวนการผลิตแผ่น PCB

5.5.3 พิจารณปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยในขั้นตอนนี้จะยกเอาปัจจัยทั้ง 27 ปัจจัยที่ได้คัดเลือกไว้จากการวิเคราะห์ Cause and Effect Matrix มาใส่ไว้ในแบบฟอร์มมาตรฐานของการวิเคราะห์ FMEA

5.5.4 พิจารณาลักษณะข้อบกพร่องของแต่ละปัจจัยในหัวข้อ 5.5.3 จากนั้นบันทึกผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองที่ศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้คือ ผลกระทบที่มีต่อค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่น PCB

5.5.5 ประเมินความร้ายแรงของผลกระทบของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่มีต่อลูกค้า

5.5.6 กลุ่มสมาชิกแจกแจงสาเหตุที่เป็นไปได้ ที่เป็นที่มาที่ทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้นๆ จากนั้นประเมินความถี่ที่สาเหตุดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดขึ้น ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลในอดีตรวมกับความรู้และความชำนาญของสมาชิกภายในกลุ่ม

5.5.7 พิจารณาระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อที่จะป้องกันหรือตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและทำการแก้ไขก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะส่งไปถึงมือลูกค้า จากนั้นประเมินคะแนนสำหรับประสิทธิภาพในการตรวจจับหรือ ป้องกันข้อบกพร่องของระบบดังกล่าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

5.5.8 คำนวณค่า RPN ในแต่ละแถวซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของค่าคะแนนทั้งสามประเภท คือ (คะแนนความร้ายแรง) * (คะแนนความถี่) * (คะแนนประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่ได้ประเมินไว้) และบันทึกค่าไว้ในตารางมาตรฐาน FMEA โดยตารางการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ FMEA

Project Name: Reduction of Cu-In-Hole Thickness Variation		Prepared by: Theerayuth M.								
Core Team: Electroless/Pattern Plating Process Engineer, QC Engineer, Manufacturing Supervisor, Technician		FMEA Date (Orig) _____ (Rev) _____								
Item	Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	Severity	Potential Causes	Occurrence	Current Controls	Detection	RPN
1	Electroless Copper Plating	ความเข้มข้นของ Copper 85A ในถัง Electroless Copper 85	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณแวลวรวมของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	48
2		ความเข้มข้นของ Chelator ในถัง Electroless Copper 85	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณแวลวรวมของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	48
3		ความเข้มข้นของ Caustic 85C ในถัง Electroless Copper 85	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณแวลวรวมของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	48
4		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	อุณหภูมิต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องปรับอุณหภูมิในถังที่	3	การสอบเทียบทุก 6 เดือน และวัดทุกกะ	3	72
5			อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ตั้งค่าอุณหภูมิไม่เหมาะสม	4	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	160
6		เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดีในถัง Electroless Copper 85	ใช้เวลานานเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การปรับค่าความเร็วของสายพานและ Timer Switch ในถังที่	1	การสอบเทียบทุก 6 เดือน และวัดทุกสัปดาห์	3	24
7			ใช้เวลานานหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่าเวลาที่ ไม่เหมาะสม	6	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	240
8		ความถี่ของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	ความถี่สูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณแวลวรวมของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	48

ตารางที่ 5.16 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ FMEA

Item	Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OC	Current Controls	DET	RPN
9		จำนวนชิ้นงานในการชุบแต่ละครั้งในถัง Electroless Copper 85	จำนวนชิ้นงานมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การมีชิ้นงานใน Rack ก่อนเดินเครื่อง	1	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสาร Traveller Sheet และการปฏิบัติงาน	2	16
10	Pattern Plating	ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Micro Etch	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีไม่ถึงในการชุบ	3	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	72
11		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Micro Etch	อุณหภูมิไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องปรับอุณหภูมิไม่คงที่	2	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	48
12			อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ตั้งค่าอุณหภูมิไม่เหมาะสม	3	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	120
13		เวลาที่ใช้ในการชุบกรดในถัง Micro Etch	ใช้เวลานานเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การปรับค่าความเร็วของสายพานและ Timer Switch ไม่คงที่	1	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	24
14			ใช้เวลานานกว่าเล็กน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่าเวลาที่ไม่เหมาะสม	2	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	80
15		ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Sulfuric Acid Dip I	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีไม่ถึงในการชุบ	3	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	72
16		ความเข้มข้นของทองไปโรซัลเฟตในถัง Acid Copper Plating	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีไม่ถึงในการชุบ	3	การตรวจวัดค่าทุกวัน	3	72
17		ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Acid Copper Plating	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีไม่ถึงในการชุบ	4	การตรวจวัดค่าทุกวัน	5	160

ตารางที่ 5.16 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ FMEA

Item	Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN
18		ความเข้มข้นของ Chloride Ion ในถัง Acid Copper Plating	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	5	การตรวจวัดค่าทุกวัน	5	200
19		ความเข้มข้นของ Brightener ในถัง Acid Copper Plating	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	48
20		ความเข้มข้นของ Leveller BL-CT ในถัง Acid Copper Plating	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกสัปดาห์	3	48
21		ปริมาณ IRON ในถัง Acid Copper Plating	ปริมาณมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	2	การตรวจวัดค่าทุกเดือน	3	48
22		อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating	อุณหภูมิไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องปรับอุณหภูมิไม่คงที่	2	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	48
23			อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ตั้งค่าอุณหภูมิไม่เหมาะสม	6	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	240
24		เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating	ใช้เวลาจุ่มไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การปรับค่าความเร็วของสายพานและ Timer Switch ไม่คงที่	1	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	24
25			ใช้เวลาจุ่มหรือสั้นเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่าเวลาที่ไม่เหมาะสม	7	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	280
26		ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	แรงดันไฟฟ้าไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ามีการควบคุมแรงดันไม่คงที่	1	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	24

ตารางที่ 5.16 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ FMEA

Item	Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN
27			แรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่าแรงดันที่ไม่เหมาะสม	2	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	80
28		กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	กระแสไฟฟ้าไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้ามีการควบคุมกระแสไม่คงที่	2	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	48
29			กระแสไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่ากระแสที่ไม่เหมาะสม	7	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสาร Traveller Sheet	5	280
30		Pressure Pump ในถัง Acid Copper Plating	ความดันไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	เครื่องควบคุมความดันทำงานไม่คงที่	2	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	48
31			ความดันสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่าความดันที่ไม่เหมาะสม	2	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	3	48
32		จำนวนชิ้นงานในการชุบแต่ละครั้งในถัง Acid Copper Plating	จำนวนชิ้นงานต่อ Rack ไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ใช้ชิ้นงานไม่ตรงตามจำนวนที่ระบุ	1	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสาร Traveller Sheet	5	40
33			จำนวนชิ้นงานน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	เป็นงานเศษใน Rack สุดท้ายของ Lot	4	การชดเชยด้วย Dummy Board ตามขนาดที่ระบุในเอกสารการปฏิบัติงาน	3	96
34		ตำแหน่งของชิ้นงานในถังขณะชุบในถัง Acid Copper Plating	ความหนาแน่นของกระแสลมมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	แผ่น PCB ที่อยู่ตรงกลางของ Panel จะมีความหนาแน่นของกระแสลมต่ำกว่าบริเวณขอบ	4	การชดเชยด้วย Dummy Board ตามขนาดที่ระบุในเอกสารการปฏิบัติงาน	3	96
35		ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Sulfuric Acid Dip II	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ปริมาณเวลาของการใช้งานสารเคมีในถังในการชุบ	3	การตรวจวัดค่าทุกวัน	3	72

ตารางที่ 5.16 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ FMEA

Item	Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN
36		อุณหภูมิของสารละลายภายในถัง Sulfuric Acid Dip II	อุณหภูมิไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและเครื่องปรับอุณหภูมิไม่คงที่	2	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	48
37			อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	ตั้งค่าอุณหภูมิไม่เหมาะสม	2	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	80
38		เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ตันถัง Sulfuric Acid Dip II	ใช้เวลาดำจุ่มไม่คงที่	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การปรับค่าความเร็วของสายพานและ Timer Switch ไม่คงที่	1	การสอบเทียบทุก 6 เดือน	3	24
39			ใช้เวลานานหรือน้อยเกินไป	ความหนาของ Cu-In-Hole Thickness	8	การตั้งค่าเวลาที่ไม่เหมาะสม	3	ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	5	120

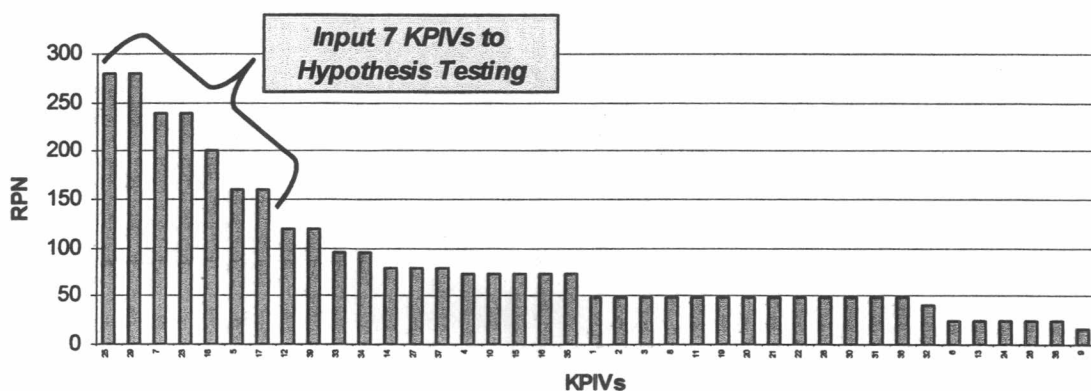
5.5.9 วิเคราะห์ผล

จากตารางการวิเคราะห์ FMEA คะแนนรวมของ RPN มีค่าเท่ากับ 3,392 คะแนน จากนั้นนำผลคะแนน RPN ที่ได้ มาจัดเรียงจากมากไปน้อยตามลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดและสาเหตุที่เป็นที่มาของลักษณะข้อบกพร่องนี้ และพล็อตในรูปของแผนภูมิพาเรโตเพื่อดูแนวโน้มลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 5.15 และจากการพิจารณาแผนภูมิพาเรโตพบว่า ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อมีดังนี้

- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating ของ Pattern Plating
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของ Pattern Plating
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating ของ Pattern Plating
- ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating ของ Pattern Plating
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85 ของ Electroless Plating
- ความเข้มข้นของกรด H2SO4 ในถัง Acid Copper Plating ของ Pattern Plating
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85 ของ Electroless Plating

ปัจจัยที่ได้เลือกไว้มีจำนวนทั้งหมด 7 ปัจจัย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีคะแนน RPN สูงซึ่งมีค่าตั้งแต่ 144 คะแนนขึ้นไปและมีคะแนน RPN รวมกันทั้งสิ้น 1,560 คะแนน ซึ่งเป็นสัดส่วนเท่ากับ 46% ของคะแนน RPN ทั้งหมด โดยในขั้นตอนต่อไปจะทำการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เพื่อยืนยันความมีนัยสำคัญของผลกระทบต่อค่า ความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่น PCB ต่อไป

Pareto for KPIVs from FMEA



รูปที่ 5.15 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับตามคะแนน RPN

5.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

5.6.1 จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่าความหนาทองแดงในรูที่แต่ละกระบวนการผลิตแผ่น PCB พบว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมีค่า P/TV น้อยกว่า 10% นั่นคือหากความผันแปรของกระบวนการมีค่า 100 หน่วย จะมีความผันแปรเนื่องจากกระบวนการวัดน้อยกว่า 10 หน่วย ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา

5.6.2 ผลการทดลองเพื่อประเมินค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดงในรูในสายการผลิต PCB พบว่าหลังจากที่ผ่านการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วพบว่ากระบวนการต่างๆ ที่เหลือต่อจากนั้นไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดงในรูเปลี่ยนไป ดังนั้นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจึงเกิดจากสาเหตุที่เป็นไปได้ตั้งแต่ก่อนกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า และจากตัวกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้าเอง จึงได้เลือกกระบวนการดังกล่าวเพื่อนำไปศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาทองแดงในรูต่อไป

5.6.3 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนับตั้งแต่หน้าวัตถุดิบเข้ามา และผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ จนกระทั่งการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าด้วย Cause and Effect Matrix และ FMEA ตามลำดับ พบว่าปัจจัยที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่อ ค่าความหนาทองแดงในรูมาจากกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าและกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าโดยมีทั้งสิ้น 7 ปัจจัย ได้แก่

5.6.3.1 การชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ Electroless Plating

- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85

5.6.3.2 การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating

- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating
- ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating
- ความเข้มข้นของกรด H₂SO₄ ในถัง Acid Copper Plating

ซึ่งปัจจัยที่ได้เลือกทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป