

บทที่ 6

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.1 บทนำ

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่ 3 ในวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา โดยจะเป็นการทดลองและวินิจฉัยเพื่อหาผลสรุปในปัจจัยต่างๆ ที่ได้เรียงเรียงลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าความความหนาทองแดงในรูของแผ่น PCB จากการระดมความคิด โดยใช้ Cause and Effect Matrix และ FMEA เป็นเครื่องมือในการกลั่นกรองตามลำดับ ซึ่งวัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหามีดังนี้คือ

6.1.1 เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่คัดเลือกมากับลักษณะทางคุณภาพที่เป็นเป้าหมายของการวิจัย ในที่นี้คือค่าความหนาทองแดงในรู

6.1.2 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าที่คัดเลือกมา ที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะทำให้ทราบถึงแหล่งที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและสามารถที่จะคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะศึกษาต่อไป ซึ่งเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามเป้าหมายที่ได้วางไว้

6.2 การทดสอบสมมติฐาน

6.2.1 วัตถุประสงค์ เพื่อเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ว่ามีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

6.2.2 ปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบ จะพิจารณาปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย ที่ได้เลือกมาจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ได้แก่

- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85 (การชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ Electroless Plating)

- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85 (การชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ Electroless Plating)
- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)

ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียด ดังนี้

6.2.2.1 อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85

เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทางเคมีของการชุบทองแดงบนผิว Epoxy โดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในรูที่ถูเจาะของแผ่น PCB มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}C$) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 45.0 ± 1.0 องศาเซลเซียส

6.2.2.2 เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85

เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมีของการชุบทองแดงบนผิว Epoxy โดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในรูที่ถูเจาะของแผ่น PCB มีหน่วยเป็นนาที (min.) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 42.0 ± 3.0 นาที

6.2.2.3 เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating

เป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความหนาบนผิวทองแดง มีหน่วยเป็นนาที (min.) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 58.0 ± 5.0 นาที

6.2.2.4 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating

คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบทองแดงในรูด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความหนาบนผิวทองแดง ต่อพื้นที่ผิวของทองแดงที่ถูกชุบ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ต่อตารางฟุต (Amperes per square foot, ASF) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 28.0 ± 5.0 ASF

6.2.2.5 อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating

เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าของการชุบทองแดงบนผิวทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าของแผ่น PCB มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 24.0 ± 2.0 องศาเซลเซียส

6.2.2.6 ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating

เป็นค่าปริมาณ Chloride ion ในสารละลายที่ใช้ในการชุบทองแดงบนผิวทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าของแผ่น PCB มีหน่วยเป็นปริมาณหน่วยต่อหนึ่งล้านหน่วย (Part per million, ppm) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 50 ± 10 ppm

6.2.2.7 ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Acid Copper Plating

เป็นค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารละลายที่ใช้ในกระบวนการชุบทองแดงบนผิวทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าของแผ่น PCB มีหน่วยเป็นกรัมต่อลิตร (Grams per liter, g/l) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ระหว่าง 230.0 ± 20.0 g/l

6.2.3 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการทดสอบสมมติฐาน ในการทดสอบสมมติฐานนี้ จะกำหนดค่าของระดับในแต่ละปัจจัย โดยอ้างอิงกับค่าขอบบนและขอบล่างของข้อกำหนดในการปรับตั้งและค่าการใช้งานในปัจจุบัน มีรายละเอียดในแต่ละปัจจัยตามตารางที่ 6.1 ดังนี้คือ

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าการปรับในแต่ละระดับของปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85	44	46	องศาเซลเซียส
เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85	39	45	นาที
เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating	53	63	นาที
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating	23	33	แอมแปร์ต่อตารางฟุต
อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating	22	26	องศาเซลเซียส
ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating	40	60	ppm
ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Acid Copper Plating	210	250	กรัมต่อลิตร

6.2.4 สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ เนื่องจากต้องการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่กำหนด ที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู ดังนั้นสมมติฐานหลักและสมมติฐานทางเลือกจึงกำหนดได้ดังนี้คือ

6.2.4.1 ลักษณะการกระจายของข้อมูล โดยมีสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลมีการกระจายแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

6.2.4.2 อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85 สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85 เท่ากับ 44 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85 เท่ากับ 46 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

6.2.4.3 เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85 สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้เวลาในการจุ่มลงในถัง Electroless Copper 85 เท่ากับ 39 นาที ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้เวลาในการจุ่มลงในถัง Electroless Copper 85 เท่ากับ 45 นาที ตามลำดับ

6.2.4.4 เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating สมมติฐานที่

ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้เวลาในการจุ่มลงในถัง Acid Copper Plating เท่ากับ 53 นาที ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้เวลาในการจุ่มลงในถัง Acid Copper Plating เท่ากับ 63 นาที ตามลำดับ

6.2.4.5 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating สมมติฐานที่

ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ Acid Copper Plating เท่ากับ 23

แอมแปร์ต่อตารางฟุต ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ Acid Copper Plating เท่ากับ 33 แอมแปร์ต่อตารางฟุต ตามลำดับ

6.2.4.6 อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating เท่ากับ 22 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating เท่ากับ 26 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

6.2.4.7 ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้สารละลายในถัง Acid Copper Plating ที่มีความเข้มข้นของ Chloride ion เท่ากับ 40 ppm ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวน

ความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้สารละลายในถัง Acid Copper Plating ที่มีความเข้มข้นของ Chloride ion เท่ากับ 60 ppm ตามลำดับ

6.2.4.8 ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในถัง Acid Copper Plating สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

- ทดสอบความแปรปรวน

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

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

- ทดสอบความค่าเฉลี่ย

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

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

โดยกำหนดให้ σ_{y1} และ μ_{y1} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้สารละลายในถัง Acid Copper Plating ที่มีความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเท่ากับ 210 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และกำหนดให้ σ_{y2} และ μ_{y2} แทนค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูและค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของ PCB ที่ใช้สารละลายในถัง Acid Copper Plating ที่มีความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกเท่ากับ 250 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

6.2.5 วิธีการตัดสินใจ กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบอยู่ที่ค่า 0.05 และใช้การทดสอบแบบ F สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายเป็นแบบปกติ และการทดสอบแบบ Levene's test สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ

6.2.6 การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่าง

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 1σ เนื่องจากสามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีนี้ที่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน
- ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.138 (จากการศึกษาความสามารถกระบวนการในบทที่ 1 หัวข้อ 1.3.2)

- ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ $n_1 = n_2 = 23$ สิ่งตัวอย่าง และในการทดสอบสมมติฐานในการศึกษาครั้งนี้จะใช้สิ่งตัวอย่าง $n_1 = n_2 = 24$ สิ่งตัวอย่าง ซึ่งนับว่าเพียงพอสำหรับการทดสอบ

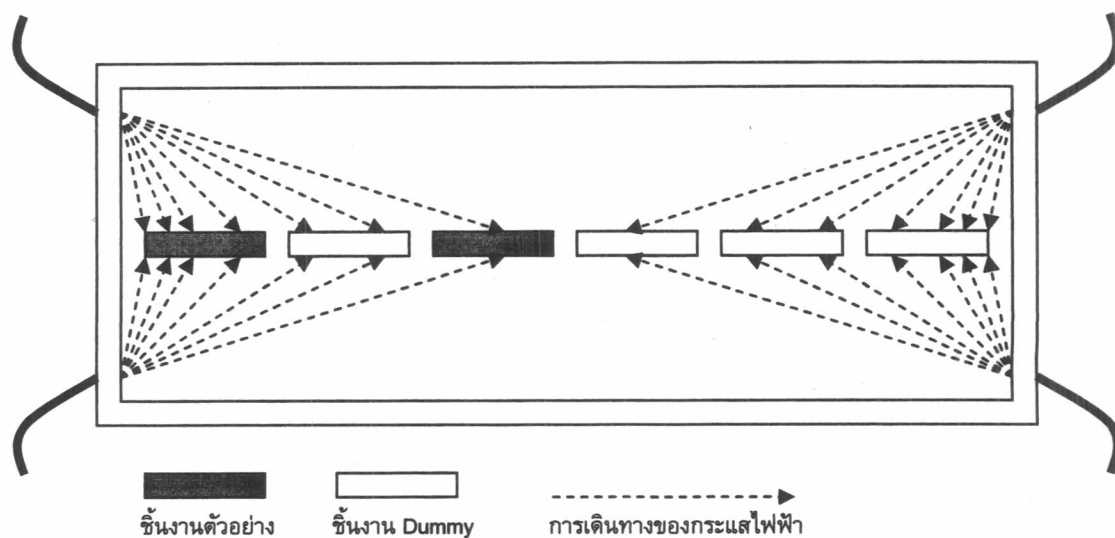
ตารางที่ 6.2 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

Power and Sample Size			
2-Sample t Test			
Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)			
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference			
Alpha = 0.05 Sigma = 0.138			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.138	23	0.9000	0.9125

6.2.7 การเตรียมการทดลอง

- จัดเตรียมชิ้นส่วนที่จะใช้ในการทดลอง ได้แก่ PCB ที่ผ่านการ Drilling และ Deburring มาแล้ว
- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ 2 Panel (1 Panel = 24 แผ่น) โดยวัดค่าความหนาทองแดงในรู Panel ละ 12 แผ่นๆ ละ 1 รู รวมเป็น 24 รูต่อ 1 การทดสอบ
- ชี้นงานตัวแทน (Dummy boards) เพื่อชดเชยพื้นที่ผิวขณะที่ทำการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อให้พื้นที่ผิวในการชุบใกล้เคียงกับพื้นที่ผิวทองแดงในการชุบจริง แต่ละครั้ง เพื่อประหยัดวัสดุชุบ (ชี้นงาน) เนื่องจากในการชุบจริงจะชุบครั้งละ 6 Panel
- จัดเตรียมความพร้อมของกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า และชุบด้วยกระแสไฟฟ้า รวมทั้งน้ำยาของแต่ละกระบวนการที่จะใช้ในการทดลอง
- ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่
 - สำหรับการทดสอบในแต่ละปัจจัย จะใช้ชิ้นส่วนที่มาจากล็อตเดียวกันทั้งหมด หรือผ่านกระบวนการก่อนหน้ามาอย่างต่อเนื่องเป็นกลุ่มเดียวกัน
 - ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันในการทดลอง
 - ใช้ถังชุบเดียวกันในการทดลอง
 - ใช้ carrier ตัวเดียวกัน
 - ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน
 - ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

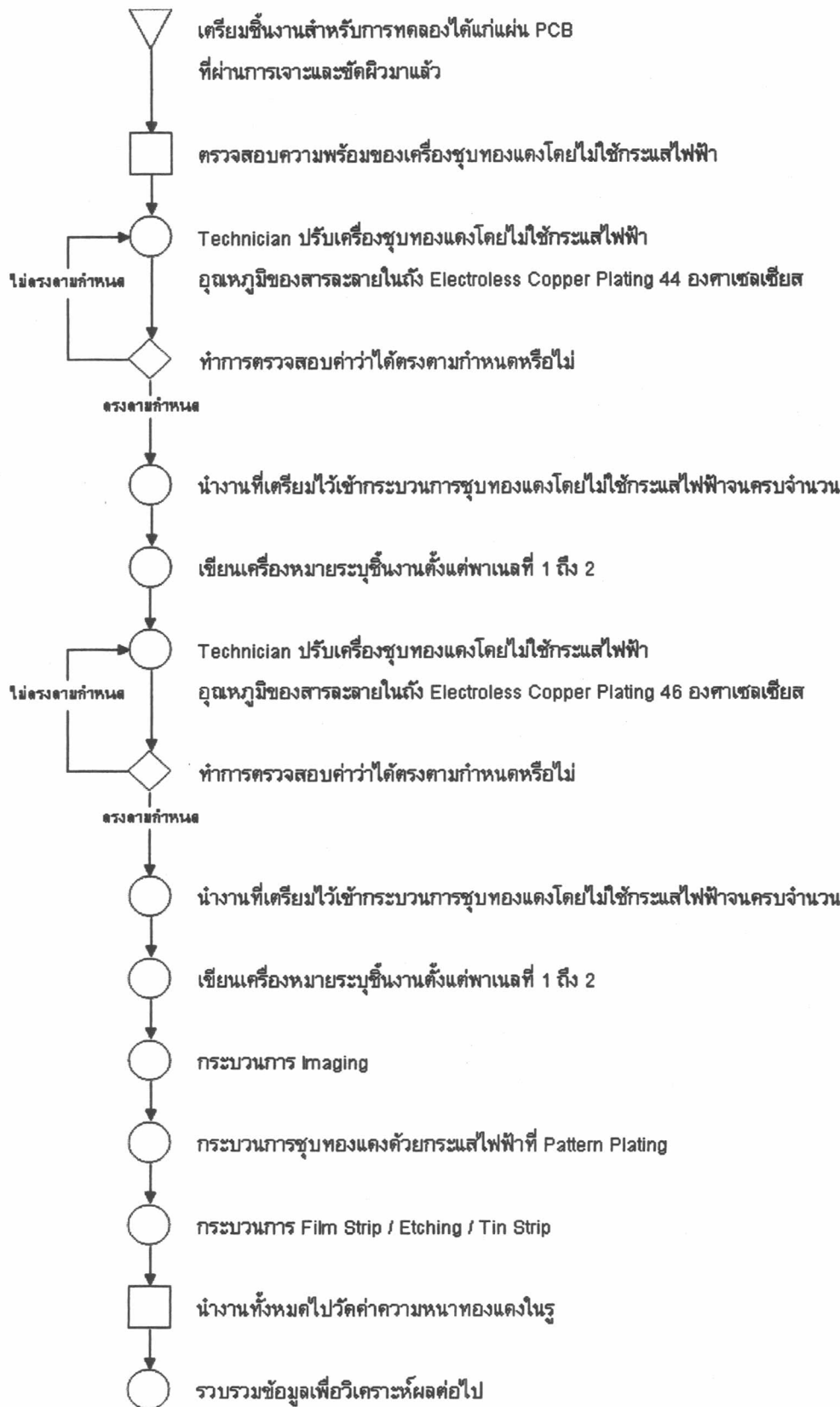
- ลักษณะตำแหน่งการวางสิ่งตัวอย่างในถังชุปทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าขณะทำการทดลองจะวาง Panel แรกในตำแหน่งริมสุด และ Panel ที่ 2 ในตำแหน่งด้านในบริเวณตรงกลางของถังชุปเนื่องจากข้อสมมติฐานที่ว่า เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสชุปมากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ ดังในรูปที่ 6.1



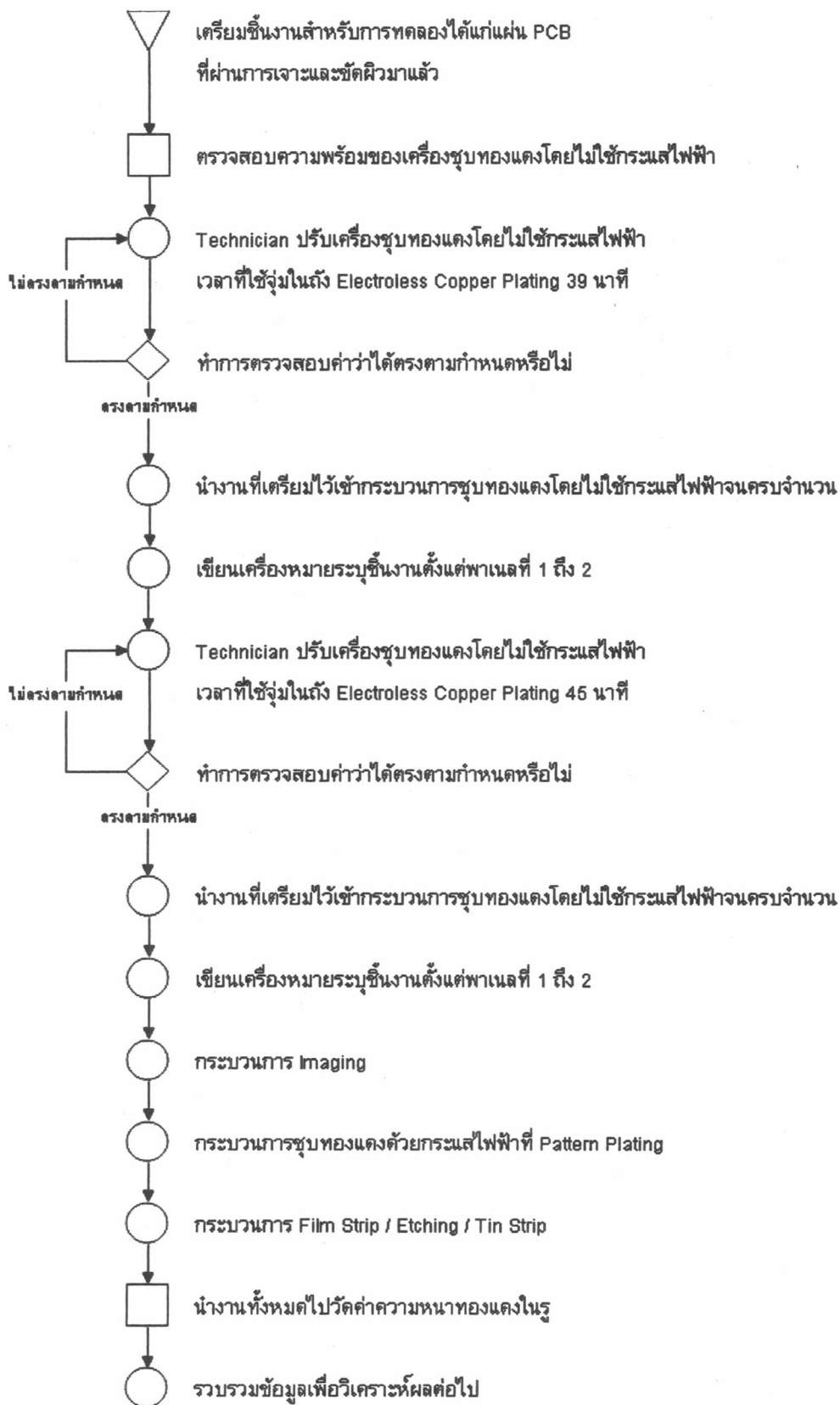
รูปที่ 6.1 แผนภาพแสดงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อแผ่นวงจรที่ตำแหน่งต่างๆในถังชุป

6.2.8 ขั้นตอนในการทดลอง : จะทำการทดลองให้เสร็จสมบูรณ์ทีละปัจจัย โดยให้ช่างผู้ดูแลกระบวนการชุปเป็นผู้ปรับให้สภาวะของปัจจัยเป็นไปตามที่กำหนด เมื่อได้ค่าของปัจจัยตามที่ต้องการแล้ว จะนำงานที่เตรียมไว้เข้ากระบวนการอย่างต่อเนื่องจนครบจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ได้คำนวณไว้ หลังจากนั้นจึงทำการปรับค่าระดับที่เหลือของปัจจัยจนครบ และนำงานเข้ากระบวนการ เมื่อทำการทดลองจนครบทุกระดับของปัจจัยนั้นๆ แล้วจึงนำสิ่งตัวอย่างทดลองทั้งหมดนี้ไปผ่านกระบวนการต่อไปและวัดค่าความหนาของแดงในรู หลังจากที้ออกจากกระบวนการ Tin Striping แล้วเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป จากนั้นให้ทำการทดลองปัจจัยอื่นๆต่อไปจนครบทุกระดับของทุกปัจจัยที่ได้เลือกไว้ แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองใน แต่ละปัจจัยแสดงดังรูปที่ 6.2 ถึง 6.8

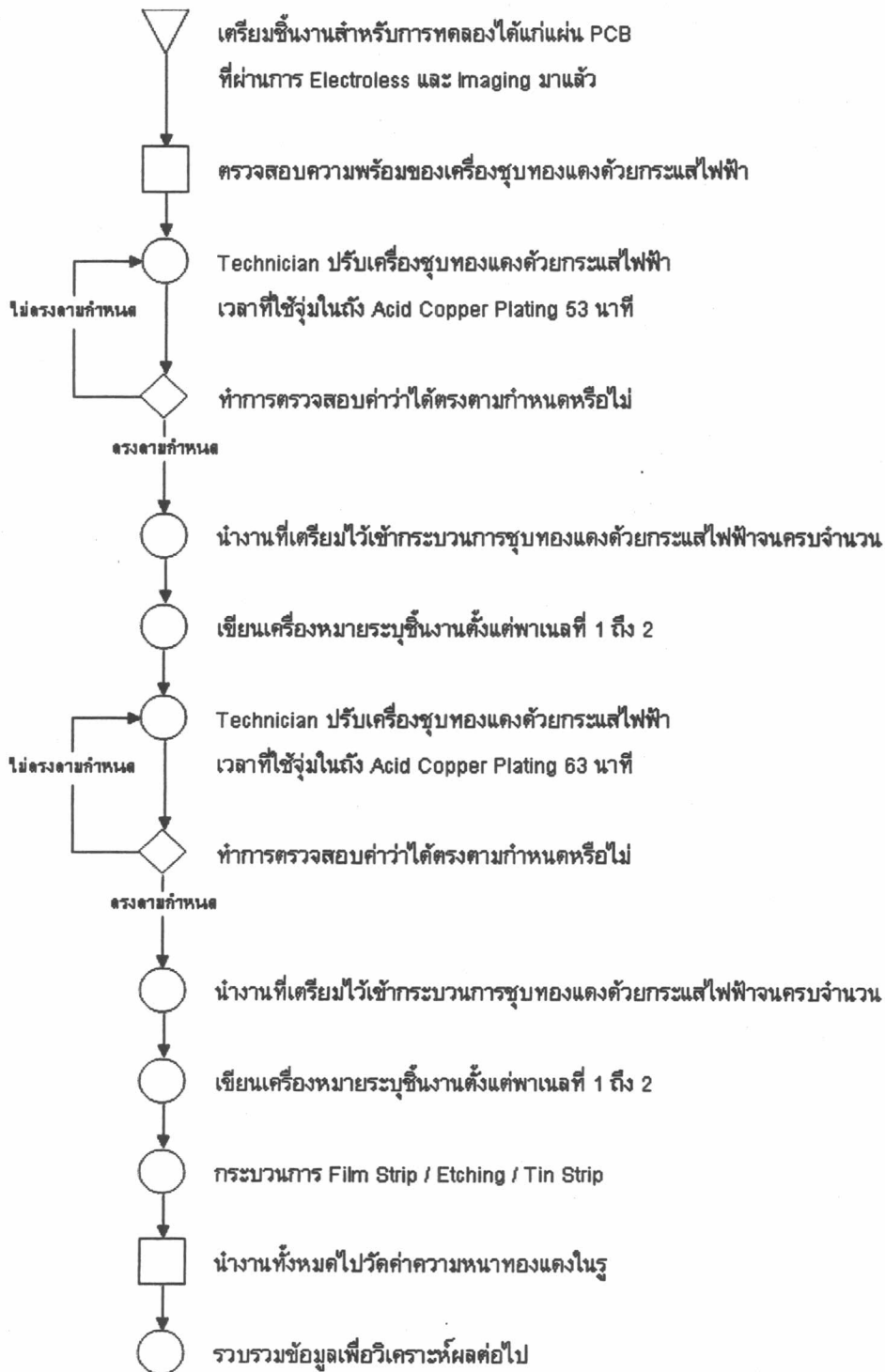
6.2.9 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองและนำข้อมูลการทดลองดังกล่าว (แสดงในภาคผนวก ง) มาใส่ในโปรแกรม MINITAB เพื่อทำการคำนวณทางสถิติ



รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับอุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85



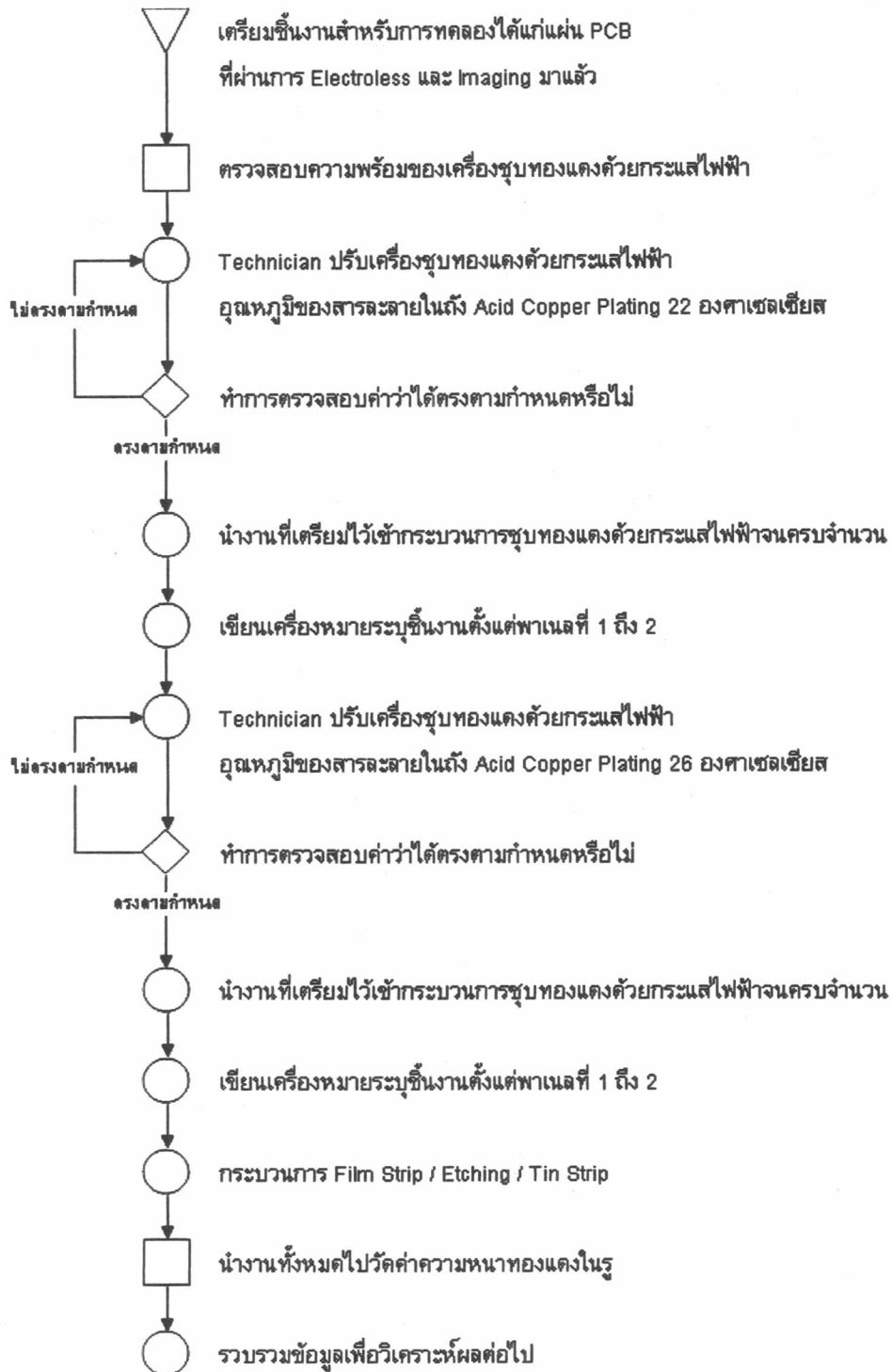
รูปที่ 6.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับเวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85



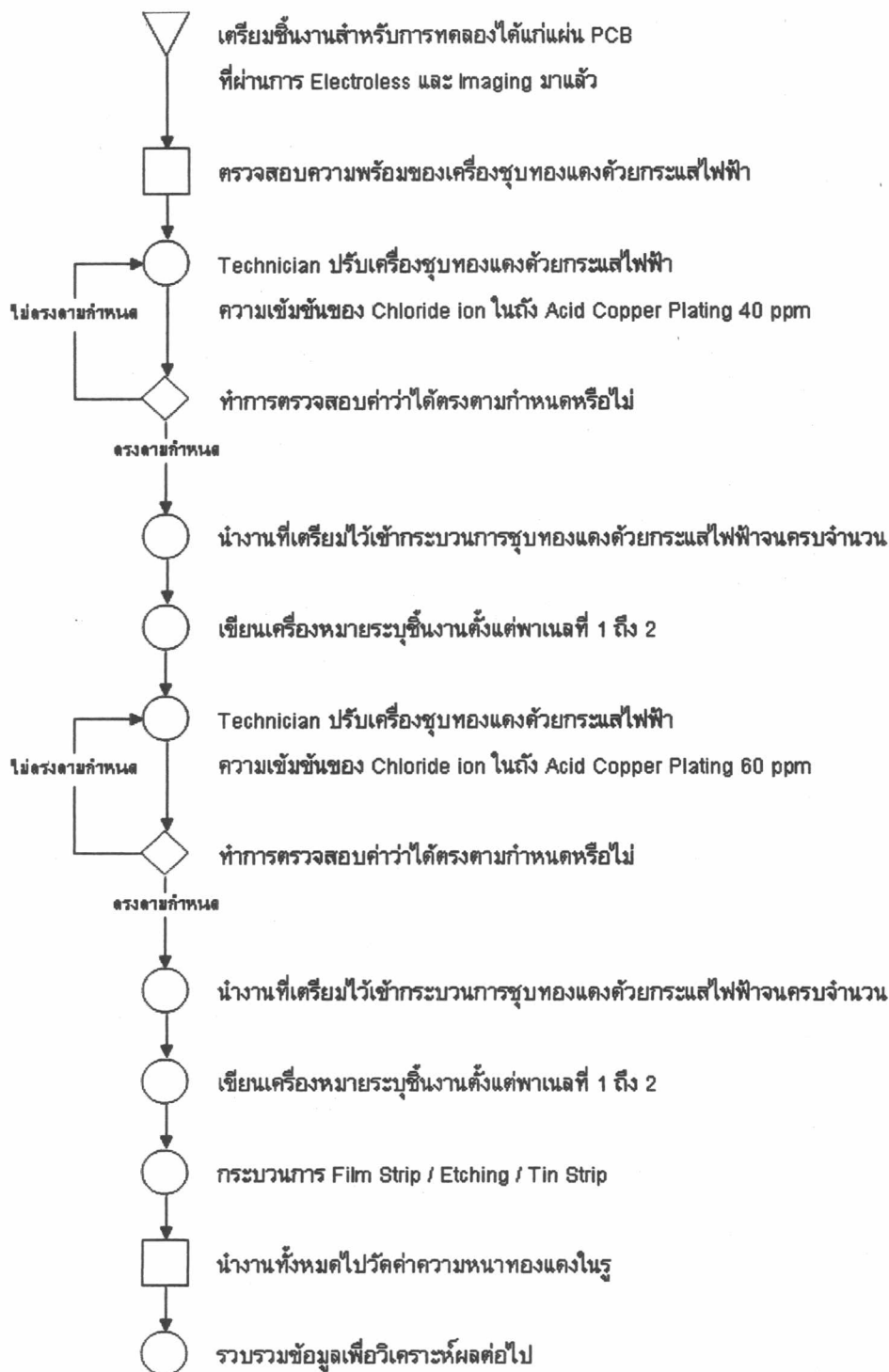
รูปที่ 6.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับเวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating



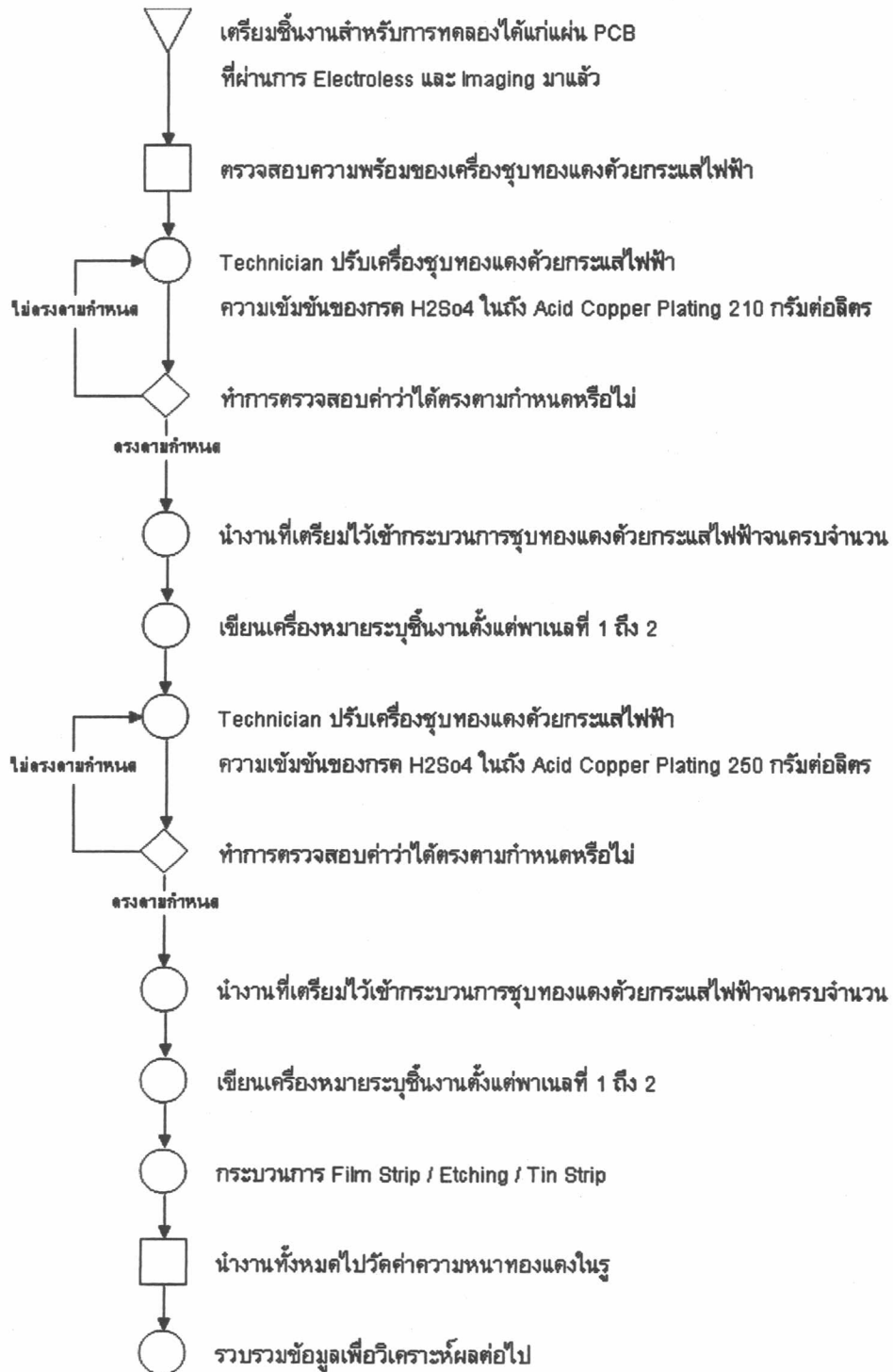
รูปที่ 6.5 ขั้นตอนการทดลองสำหรับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating



รูปที่ 6.6 ขั้นตอนการทดลองสำหรับอุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating



รูปที่ 6.7 ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating



รูปที่ 6.8 ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในถัง Acid Copper Plating

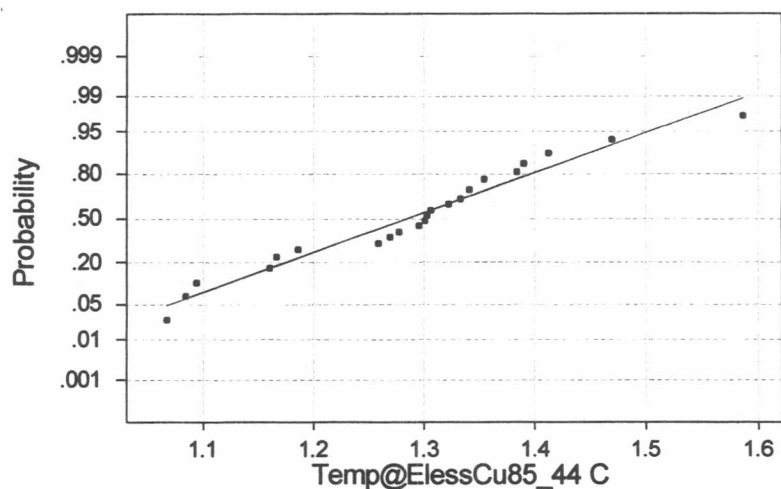
6.2.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การคำนวณผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ จะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ตลอดการวิเคราะห์ในทุกปัจจัย โดยแยกการวิเคราะห์หรือออกแต่ละปัจจัยที่ทำการทดลองดังนี้

6.2.10.1 อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Temp@ElessCu85_44 C คือค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ปรับค่าอุณหภูมิสารละลายในถัง Electroless Copper 85 ของกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 44 °C และ Temp@ElessCu85_46 C คือค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าอุณหภูมิสารละลายในถัง Electroless Copper 85 ของกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 46 °C ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.9 ก และ ข

Normal Probability Plot

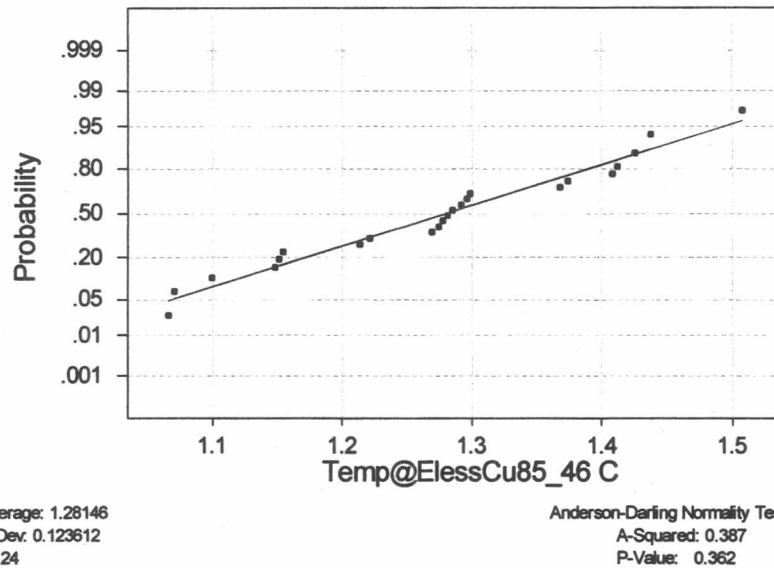


Average: 1.28571
StDev: 0.124967
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.387
P-Value: 0.361

(ก) ค่าอุณหภูมิถัง Electroless Copper 85 ระดับที่ 1 (44 °C)

Normal Probability Plot



(ข) ค่าอุณหภูมิถึง Electroless Copper 85 ระดับที่ 2 (46 °C)

รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู ก) ค่าอุณหภูมิถึง Electroless Copper 85 ระดับที่ 1 ข) ค่าอุณหภูมิถึง Electroless Copper 85 ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะทำการทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.3 และ 6.4

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอุณหภูมิ
สารละลายในถัง Electroless Copper 85

Test for Equal Variances				
Level1	Temp-ElessCu85_44 C			
Level2	Temp-ElessCu85_46 C			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.38E-02	0.124967	0.184699	24	Temp-ElessCu85_44 C
9.28E-02	0.123612	0.182697	24	Temp-ElessCu85_46 C
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.022				
P-Value : 0.959				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอุณหภูมิสารละลาย
ในถัง Electroless Copper 85

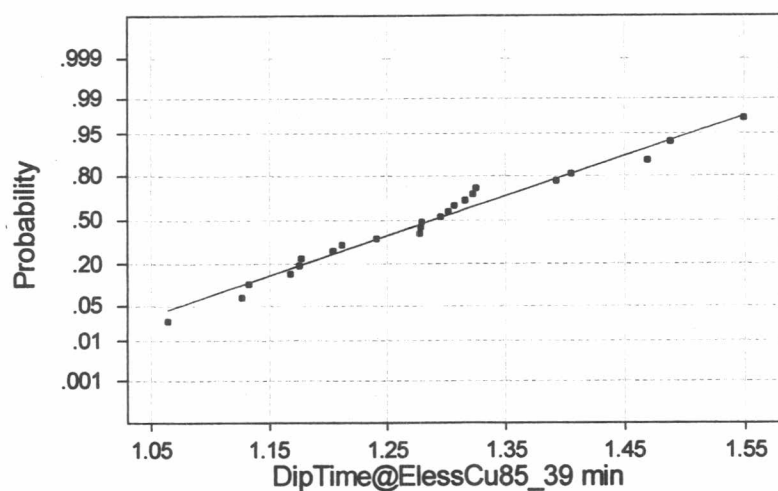
Two-Sample T-Test and CI: Temp-ElessCu85_44 C, Temp-ElessCu85_46 C				
Two-sample T for Temp-ElessCu85_44 C vs Temp-ElessCu85_46 C				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Temp-Ele	24	1.286	0.125	0.026
Temp-Ele	24	1.281	0.124	0.025
Difference = mu Temp-ElessCu85_44 C - mu Temp-ElessCu85_46 C				
Estimate for difference: 0.0042				
95% CI for difference: (-0.0680, 0.0765)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.12 P-Value = 0.906 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.124				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิสารละลายในถัง Electroless Copper 85 ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.2.10.2 เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด DipTime@ElessCu85 39 min คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Electroless Copper 85 ของกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 39 นาที และ DipTime@ElessCu85 45 min คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Electroless Copper 85 ของกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 45 นาที ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.10 ก และ ข

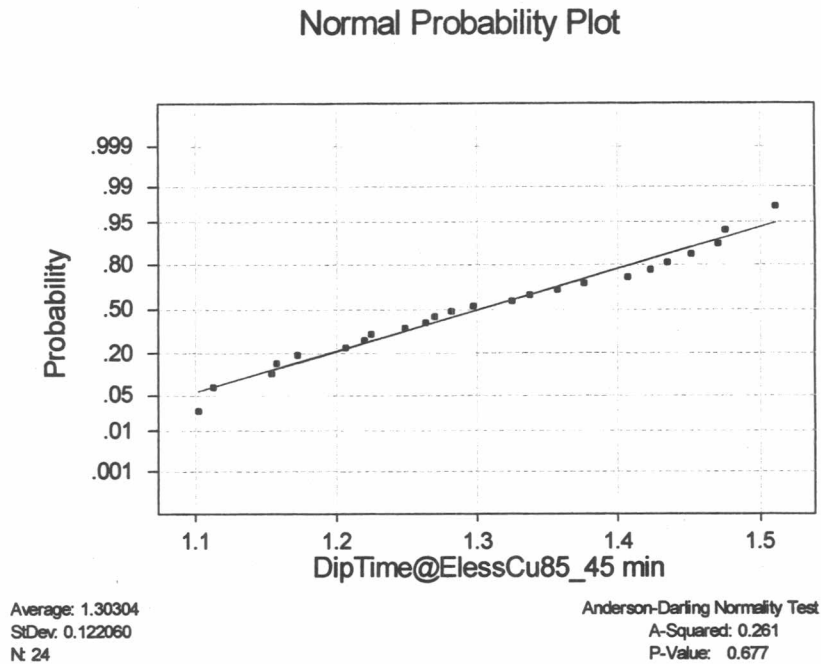
Normal Probability Plot



Average: 1.29046
StDev: 0.125102
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.313
P-Value: 0.526

(ก) ค่าเวลาที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (39 นาที)



(ข) ค่าเวลาที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (45 นาที)

รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู ก) เวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Electroless Copper 85 ระดับที่ 1 ข) เวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Electroless Copper 85 ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะทำการทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.5 และ 6.6

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในสารละลายในถัง Electroless Copper 85

Test for Equal Variances				
Level1	DipTime-ElessCu85_39 min			
Level2	DipTime-ElessCu85_45 min			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.39E-02	0.125102	0.184899	24	DipTime-ElessCu85_39 min
9.17E-02	0.122060	0.180402	24	DipTime-ElessCu85_45 min
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.050				
P-Value : 0.907				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในสารละลายในถัง Electroless Copper 85

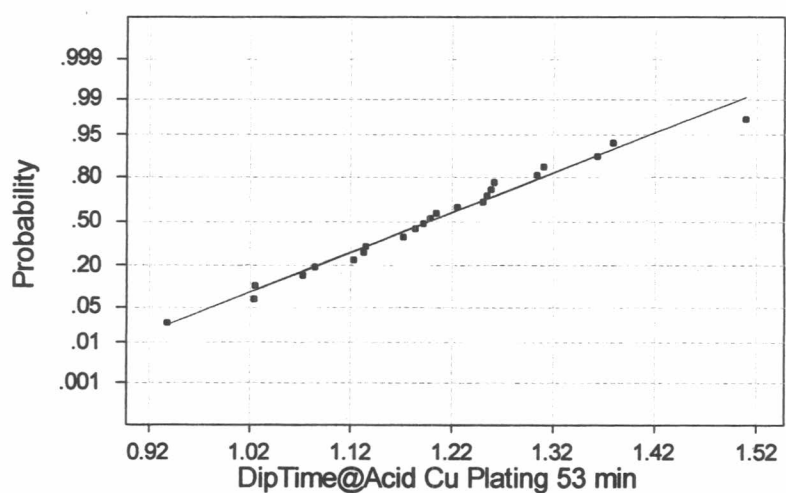
Two-Sample T-Test and CI: DipTime-ElessCu85_39 min, DipTime-ElessCu85_45 min				
Two-sample T for DipTime-ElessCu85_39 min vs DipTime-ElessCu85_45 min				
	N	Mean	StDev	SE Mean
DipTime-	24	1.290	0.125	0.026
DipTime-	24	1.303	0.122	0.025
Difference = mu DipTime-ElessCu85_39 min - mu DipTime-ElessCu85_45 min				
Estimate for difference: -0.0126				
95% CI for difference: (-0.0844, 0.0592)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.35 P-Value = 0.726 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.124				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับเท่ากัน จึงสรุปได้ว่าค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในสารละลายในถัง Electroless Copper 85 ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาของแดงในรู หลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.2.10.3 เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด DipTime@Acid Cu Plating 53 min คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 53 นาที และ DipTime@Acid Cu Plating 63 min คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Electroless Copper 85 ของกระบวนการชุบทองแดงโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 63 นาที ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.11 ก และ ข

Normal Probability Plot

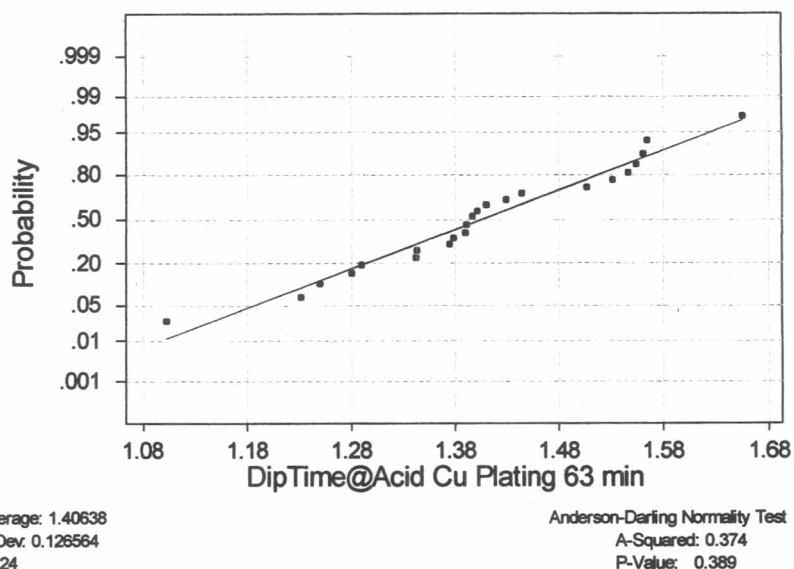


Average: 1.19846
StDev: 0.126315
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.177
P-Value: 0.911

(ก) ค่าเวลาที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (53 นาที)

Normal Probability Plot



(ข) ค่าเวลาที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (63 นาที)

รูปที่ 6.11 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาของแดงในรูป ก) เวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 1 ข) เวลาที่ใช้ในการจุ่มในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.7 และ 6.8

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

Test for Equal Variances				
Level1	Dip 53 min			
Level2	Dip 63 min			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.48E-02	0.126315	0.186692	24	Dip 53 min
9.50E-02	0.126564	0.187060	24	Dip 63 min
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.996				
P-Value : 0.993				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

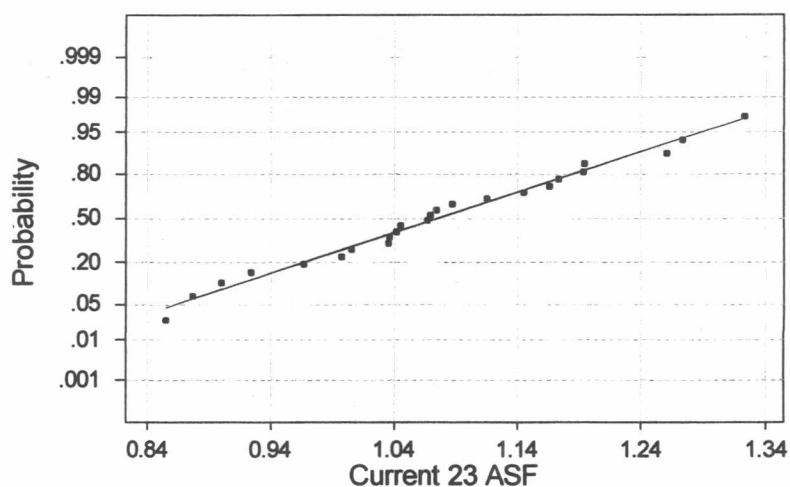
Two-Sample T-Test and CI: Dip 53 min, Dip 63 min				
Two-sample T for Dip 53 min vs Dip 63 min				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Dip 53 m	24	1.198	0.126	0.026
Dip 63 m	24	1.406	0.127	0.026
Difference = mu Dip 53 min - mu Dip 63 min				
Estimate for difference: -0.2079				
95% CI for difference: (-0.2814, -0.1344)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -5.70 P-Value = 0.000 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.126				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานทางเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าค่าเวลาที่ใช้จุ่มในสารละลายในถัง Acid Copper Plating มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาของแดงในรูหลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.2.10.4 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Current 23 ASF คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 23 แอมแปร์ต่อตารางฟุต และ Current 33 ASF คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 33 แอมแปร์ต่อตารางฟุต ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.12 ก และ ข

Normal Probability Plot

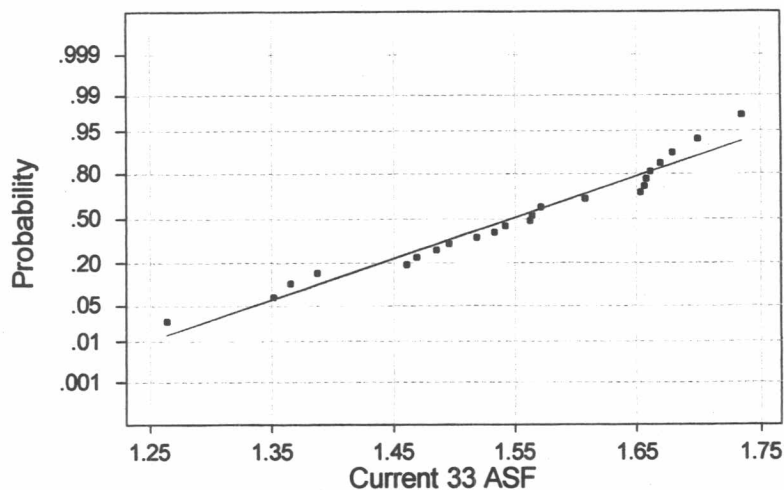


Average: 1.07596
StDev: 0.124687
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.180
P-Value: 0.906

(ก) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (23 ASF)

Normal Probability Plot



Average: 1.54821
StDev: 0.122076
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.396
P-Value: 0.344

(ข) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (33 ASF)

รูปที่ 6.12 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรูป ก) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 1 ข) กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.9 และ 6.10

ตารางที่ 6.9 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

Test for Equal Variances				
Level1	Current	23	ASF	
Level2	Current	33	ASF	
ConfLvl		95.0000		
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.36E-02	0.124687	0.184286	24	Current 23 ASF
9.17E-02	0.122076	0.180426	24	Current 33 ASF
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.043				
P-Value : 0.920				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.10 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

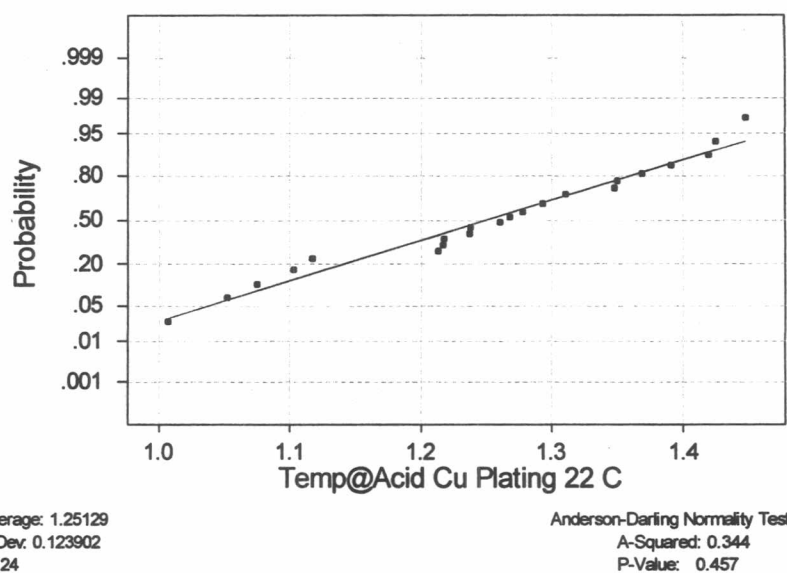
Two-Sample T-Test and CI: Current 23 ASF, Current 33 ASF				
Two-sample T for Current 23 ASF vs Current 33 ASF				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Current	24	1.076	0.125	0.025
Current	24	1.548	0.122	0.025
Difference = mu Current 23 ASF - mu Current 33 ASF				
Estimate for difference: -0.4722				
95% CI for difference: (-0.5439, -0.4006)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -13.26 P-Value = 0.000 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.123				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานรองที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.2.10.5 อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating

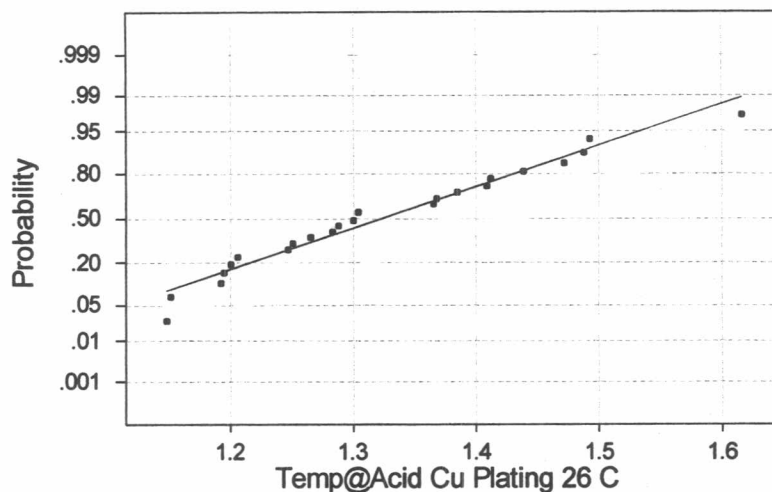
- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Temp@Acid Cu Plating 22 °C คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าอุณหภูมิของสารละลายในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 22 °C และ Temp@Acid Cu Plating 26 °C คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าอุณหภูมิของสารละลายในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 26 °C ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.13 ก และ ข

Normal Probability Plot



(ก) ค่าอุณหภูมิที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (22 °C)

Normal Probability Plot



Average: 1.32417
StDev: 0.121901
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.325
P-Value: 0.506

(ข) ค่าอุณหภูมิที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (26 °C)

รูปที่ 6.13 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรูป ก) อุณหภูมิที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 1 ข) อุณหภูมิที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.11 และ 6.12

ตารางที่ 6.11 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอุณหภูมิ สารละลายที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating

Test for Equal Variances				
Level1	Temp	22	C	
Level2	Temp	26	C	
ConfLvl		95.0000		
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.30E-02	0.123902	0.183125	24	Temp 22 C
9.15E-02	0.121901	0.180168	24	Temp 26 C
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.033				
P-Value : 0.938				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.12 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอุณหภูมิ สารละลายที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating

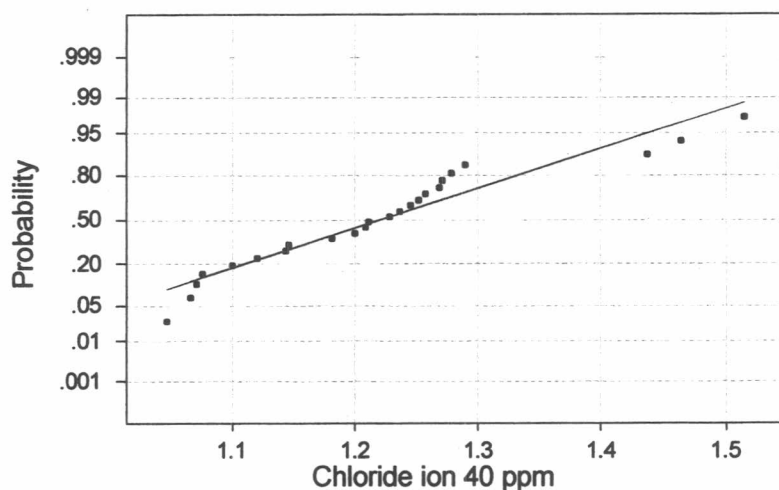
Two-Sample T-Test and CI: Temp 22 C, Temp 26 C				
Two-sample T for Temp 22 C vs Temp 26 C				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Temp 22	24	1.251	0.124	0.025
Temp 26	24	1.324	0.122	0.025
Difference = mu Temp 22 C - mu Temp 26 C				
Estimate for difference: -0.0729				
95% CI for difference: (-0.1443, -0.0015)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.05 P-Value = 0.046 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.123				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานทางเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิ สารละลายในถัง Acid Copper Plating มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูหลัง กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.2.10.6 ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Chloride ion 40 ppm คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 40 ppm และ Chloride ion 60 ppm คือ ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 60 ppm ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.14 ก และ ข

Normal Probability Plot

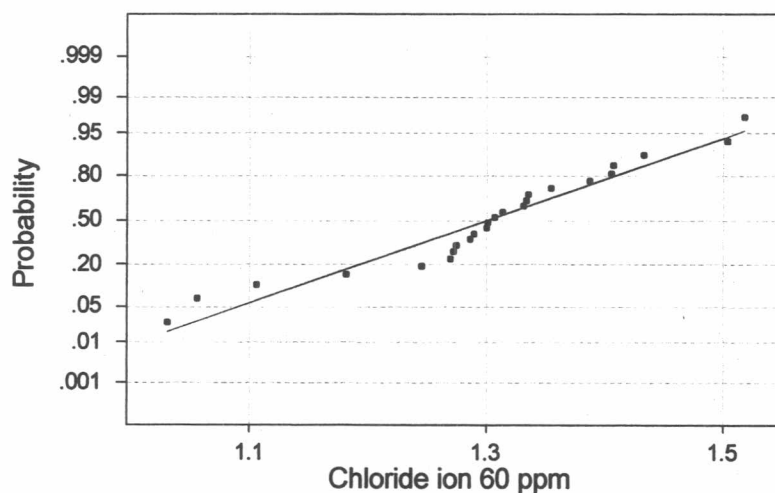


Average: 1.22129
StDev: 0.122536
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.630
P-Value: 0.089

(ก) ค่าความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (40 ppm)

Normal Probability Plot



Average: 1.30175
 StDev: 0.120727
 N: 24

Anderson-Darling Normality Test
 A-Squared: 0.624
 P-Value: 0.092

(ข) ค่าความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (60 ppm)

รูปที่ 6.14 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรูป ก) ความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 1 ข) ความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะทำการทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.13 และ 6.14

ตารางที่ 6.13 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

Test for Equal Variances				
Level1	Cl-ion 40 ppm			
Level2	Cl-ion 60 ppm			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.20E-02	0.122536	0.181107	24	Cl-ion 40 ppm
9.07E-02	0.120727	0.178433	24	Cl-ion 60 ppm
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.030				
P-Value : 0.944				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.14 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของ Chloride ion ที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

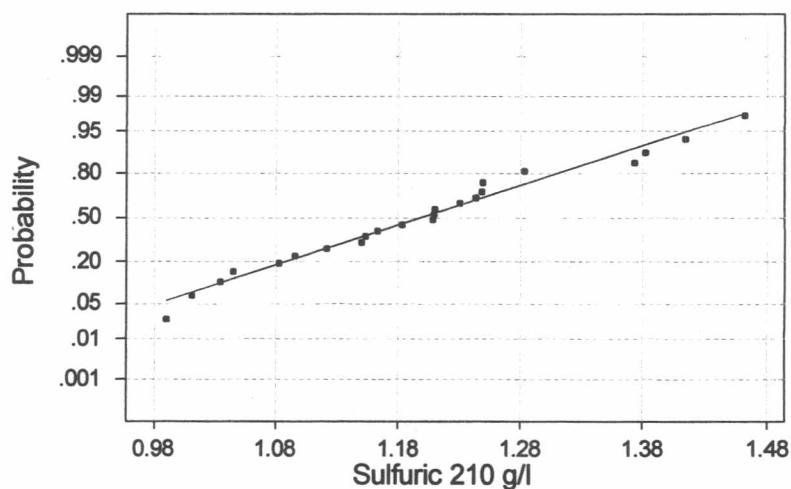
Two-Sample T-Test and CI: Cl-ion 40 ppm, Cl-ion 60 ppm				
Two-sample T for Cl-ion 40 ppm vs Cl-ion 60 ppm				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Cl-ion 4	24	1.221	0.123	0.025
Cl-ion 6	24	1.302	0.121	0.025
Difference = mu Cl-ion 40 ppm - mu Cl-ion 60 ppm				
Estimate for difference: -0.0805				
95% CI for difference: (-0.1511, -0.0098)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.29 P-Value = 0.027 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.122				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานทางเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนของสารละลายที่ใช้ชุบในถัง Acid Copper Plating มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาของแดงในรูหลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.2.10.7 ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Acid Copper Plating

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Sulfuric 210 g/l คือ ค่าความหนาทองแดงในรูปหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 210 กรัมต่อลิตร และ Sulfuric 210 g/l คือ ค่าความหนาทองแดงในรูปหลังการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ปรับค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ระดับ 250 กรัมต่อลิตร ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 6.15 ก และ ข

Normal Probability Plot

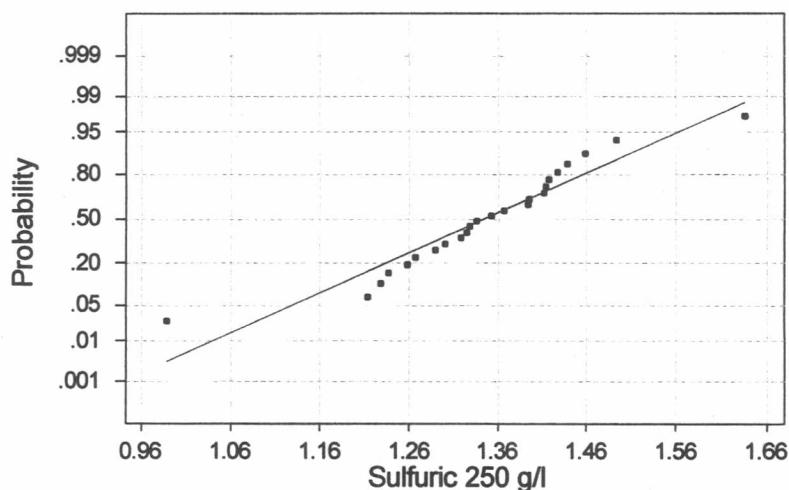


Average: 1.1995
 StDev: 0.125778
 N: 24

Anderson-Darling Normality Test
 A-Squared: 0.282
 P-Value: 0.606

(ก) ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (210 g/l)

Normal Probability Plot



Average: 1.34533
StDev: 0.122578
N: 24

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.447
P-Value: 0.257

(ข) ค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (250 g/l)

รูปที่ 6.15 กราฟแสดงการกระจายของค่าความหนาทองแดงในรูป ก) ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในถึง Acid Copper Plating ระดับที่ 1 ข) ความเข้มข้นกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในถึง Acid Copper Plating ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายที่เป็นแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยสังเกตจากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่มนี้ มีการกระจายเป็นแบบปกติ ดังนั้นจะทำการทดสอบสมมติฐานแบบ F เพื่อทดสอบความแปรปรวน และการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 6.15 และ 6.16

ตารางที่ 6.15 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

Test for Equal Variances				
Level1	Sulfuric	210		
Level2	Sulfuric	250		
ConfLvl		95.0000		
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
9.44E-02	0.125778	0.185899	24	Sulfuric 210 g/l
9.20E-02	0.122578	0.181169	24	Sulfuric 250 g/l
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.053				
P-Value : 0.903				

ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลการคำนวณพบว่าค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 6.16 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการชุบในสารละลายในถัง Acid Copper Plating

Two-Sample T-Test and CI: Sulfuric 210 g/l, Sulfuric 250 g/l				
Two-sample T for Sulfuric 210 g/l vs Sulfuric 250 g/l				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Sulfuric	24	1.199	0.126	0.026
Sulfuric	24	1.345	0.123	0.025
Difference = mu Sulfuric 210 g/l - mu Sulfuric 250 g/l				
Estimate for difference: -0.1458				
95% CI for difference: (-0.2180, -0.0737)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -4.07 P-Value = 0.000 DF = 46				
Both use Pooled StDev = 0.124				

จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานทางเลือกที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ระดับแตกต่างกัน จึงสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในสารละลายในถัง Acid Copper Plating มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาของแดงในรูหลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

6.3 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 7 ปัจจัยที่ได้คัดเลือกมาจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา พบว่ามีอยู่เพียง 5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูของการผลิตแผ่น PCB ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ

- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)
- ความเข้มข้นของกรด H_2SO_4 ในถัง Acid Copper Plating (การชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ Pattern Plating)

ส่วนปัจจัยอื่นๆ อีก 2 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85 และ เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85 ไม่มีผลกระทบต่อค่าความหนาทองแดงในรูที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

นอกจากนี้พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูของการผลิตแผ่น PCB ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จึงพิจารณานำปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยดังกล่าวที่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาทองแดงในรู ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาเฉพาะความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู และกำหนดสถานะของปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ลดปริมาณค่าความหนาทองแดงในรูที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดลดลงจากเดิม โดยมีต้องพิจารณาความสัมพันธ์ที่มีต่อค่าความแปรปรวนความหนาทองแดงในรู