

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะทำโดย ทำการทดลองและวิเคราะห์เพื่อหาผลสรุปปัจจัยหลักในแต่ละปัจจัยที่ได้เลือกมาจากการระดมความคิด จากผู้ที่มีประสบการณ์และมีความรู้ความสามารถในการปฏิบัติงาน ซึ่งอาศัย Cause and Effect Matrix และ FMEA ช่วยในการถกแถลงปัจจัยต่าง ๆ

ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหามีจุดประสงค์คือ

- เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่คัดเลือกมาแล้ว
- เพื่อศึกษาแนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าที่คัดเลือกมาที่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

ข้อมูลทีวิเคราะห์ จะทำให้สามารถเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ได้

ข้อมูลทีวิเคราะห์ จะทำให้สามารถเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ได้

5.1 การทดสอบสมมติฐาน

5.1.1 วัตถุประสงค์

เป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย โดยศึกษาผลกระทบของค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

5.1.2 ปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบ

จากการเลือกปัจจัยนำเข้าในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้แก่

- อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution
- มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution
- แรงดันสเปรย์ของ CuCl_2 Solution
- ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber
- อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution

ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้คือ

ก) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

เป็นการความเร็วรอบในการหมุนของสเปรย์ CuCl_2 Solution ใน Etching Chamber ซึ่งมีหน่วยเป็น รอบ/นาที (RPM) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ในช่วง 30 ± 5 รอบ/นาที

ข) มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

เป็นมุมที่ใช้ในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution ใน Etching Chamber ซึ่งมีหน่วยเป็นองศา (Degree) ในปัจจุบันค่าการใช้งานอยู่ที่ 60 ± 4 องศา

ค) แรงดันสเปรย์ของ CuCl_2 Solution

เป็นแรงดันของ CuCl_2 Solution โดยอาศัยปั๊มในการดูด CuCl_2 Solution ให้ผ่านท่อเข้าไปใน Etching Chamber ซึ่งปั๊มจะทำงานเพียง 90% และหน่วยที่ใช้คือ เมกกะปาสคาล ในปัจจุบันแรงดันของ CuCl_2 Solution จะอยู่ในช่วง 0.1 ± 0.02 M Pa

ง) ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber

เป็นความเร็วของสายพานที่ผลิตภัณฑ์ผ่านเข้าไปใน Etching Chamber ซึ่งมีหน่วยเป็น เมตร/นาที (m/min.) และในปัจจุบันเครื่องจักรใช้ความเร็วของสายพานเท่ากับ 2.40 ± 0.2 เมตร / นาที

จ) อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution

เป็นอุณหภูมิของ CuCl_2 Solution ซึ่งอยู่ใน Etching Chamber ซึ่งมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และปัจจุบันอุณหภูมิของ CuCl_2 Solution เท่ากับ 46 ± 2 องศาเซลเซียส

5.1.3 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการทดสอบสมมติฐาน

การกำหนดค่าระดับปัจจัยในแต่ละปัจจัย โดยอ้างอิงค่าขอบบนและขอบล่างของข้อกำหนดในการปรับตั้งและค่าการใช้งานในปัจจุบัน มีรายละเอียดในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการปรับในแต่ละระดับปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl ₂ Solution	25	35	รอบ/นาที
มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl ₂ Solution	56	64	องศา
แรงดันสเปรย์ของ CuCl ₂ Solution	0.08	0.012	M Pa
ความเร็วสายพานใน CuCl ₂ Chamber	2.20	2.60	เมตร / นาที
อุณหภูมิของ CuCl ₂ Solution	44	48	องศาเซลเซียส

5.1.4 สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ

ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ โดยสมมติฐานหลักและสมมติฐานทางเลือกจึงกำหนดได้ดังนี้คือ

ก) ลักษณะการกระจายของข้อมูล โดยมีสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Norma Distribution)

H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

ข) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl₂ Solution

- ทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma_{Y1}^2 = \sigma_{Y2}^2$$

$$H_a : \sigma_{Y1}^2 \neq \sigma_{Y2}^2$$

- ทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_{Y1}^2 = \mu_{Y2}^2$$

$$H_a : \mu_{Y1}^2 \neq \mu_{Y2}^2$$

โดยกำหนด σ_{Y1} และ μ_{Y1} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์ที่ใช้อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 25 RPM และกำหนดให้ σ_{Y2} และ μ_{Y2} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์ที่ใช้อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 35 RPM ตามลำดับ

ค) มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

- ทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma^2_{Y1} = \sigma^2_{Y2}$$

$$H_a : \sigma^2_{Y1} \neq \sigma^2_{Y2}$$

- ทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu^2_{Y1} = \mu^2_{Y2}$$

$$H_a : \mu^2_{Y1} \neq \mu^2_{Y2}$$

โดยกำหนด σ_{Y1} และ μ_{Y1} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์ที่ใช้มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 56 องศา และกำหนดให้ σ_{Y2} และ μ_{Y2} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายนวจรพิมพ์ที่ใช้มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 64 องศา

ง) แรงดันสเปรย์ของ CuCl_2 Solution

- ทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma^2_{Y1} = \sigma^2_{Y2}$$

$$H_a : \sigma^2_{Y1} \neq \sigma^2_{Y2}$$

- ทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_{Y1}^2 = \mu_{Y2}^2$$

$$H_a : \mu_{Y1}^2 \neq \mu_{Y2}^2$$

โดยกำหนด σ_{Y1} และ μ_{Y1} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ที่ใช้ แรงดันสเปร์ย์ของ CuCl_2 Solution เท่ากับ 0.08 M Pa. และกำหนดให้ σ_{Y2} และ μ_{Y2} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ที่ใช้ แรงดันสเปร์ย์ของ CuCl_2 Solution เท่ากับ 0.12 M Pa.

จ) ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber

- ทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma_{Y1}^2 = \sigma_{Y2}^2$$

$$H_a : \sigma_{Y1}^2 \neq \sigma_{Y2}^2$$

- ทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_{Y1}^2 = \mu_{Y2}^2$$

$$H_a : \mu_{Y1}^2 \neq \mu_{Y2}^2$$

โดยกำหนด σ_{Y1} และ μ_{Y1} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ที่ใช้ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber เท่ากับ 2.20 m/min. และกำหนดให้ σ_{Y2} และ μ_{Y2} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ที่ใช้ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber เท่ากับ 2.60 m/min.

ค) อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution

- ทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma^2_{Y1} = \sigma^2_{Y2}$$

$$H_a : \sigma^2_{Y1} \neq \sigma^2_{Y2}$$

- ทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu^2_{Y1} = \mu^2_{Y2}$$

$$H_a : \mu^2_{Y1} \neq \mu^2_{Y2}$$

โดยกำหนด σ_{Y1} และ μ_{Y1} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ใช้ อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution เท่ากับ 44 องศาเซลเซียส และกำหนดให้ σ_{Y2} และ μ_{Y2} แทนค่าความแปรปรวนค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์และค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ใช้ อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution เท่ากับ 48 องศาเซลเซียส

5.1.5 วิธีการตัดสินใจ

กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบอยู่ที่ค่า 0.05 และใช้การทดสอบแบบ F สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ และการทดสอบแบบ Levene's test สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายไม่เป็นแบบปกติ

5.1.6 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

วิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม MiniTab และกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ

- ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05
- ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.10 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.90
- ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.0116 mm. เนื่องจากผู้วิจัยต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.0116

- ดังนั้นจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ $n_1 = n_2 = 23$ สิ่งตัวอย่าง และในการทดสอบสมมติฐานในการศึกษาครั้งนี้จะใช้สิ่งตัวอย่าง $n_1 = n_2 = 25$ สิ่งตัวอย่าง ซึ่งเพียงพอสำหรับทดสอบ

ตารางที่ 5.2 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 = 0.0116			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0116	23	0.9000	0.9125

5.1.7 การเตรียมการทดลอง

- จัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง EPP-001S ที่ผ่านการสร้างลวดลายเส้นลายวงจรด้วย Dry Film Material
 - จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ 25 สิ่งตัวอย่าง โดยทำการวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ต่อการหนึ่งการทดสอบ
 - จัดเตรียมความพร้อมของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้แก่ การทำงานของเครื่องจักร น้ำยาของแต่ละกระบวนการ และระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร
 - ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้แก่
 - ในการทดลองจะใช้สิ่งตัวอย่างซึ่งผ่านกระบวนการก่อนหน้าอย่างต่อเนื่อง เป็นกลุ่มเดียวกัน
 - ใช้เครื่องจักรชนิดเดียวกัน(D-12-04)
 - ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน (Smart Vision)
 - ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
 - ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ฝุ่นละอองของบรรยากาศ และ สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

5.1.8 ขั้นตอนในการทดลอง

จะทำการทดลองทีละปัจจัย โดยให้ช่างที่มีประสบการณ์และเป็นผู้ดูแลกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์เป็นผู้ปรับสภาวะต่าง ๆ ในแต่ละปัจจัยตามที่กำหนด เริ่มต้นต้องเตรียมชิ้นงานและตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรเพื่อความพร้อมในการทดลอง จากนั้นทำการปรับค่าระดับของปัจจัยตามที่กำหนด จึงนำสิ่งตัวอย่างป้อนเข้าเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องจนครบสิ่งตัวอย่างตามที่ได้คำนวณไว้ เมื่อทำการทดลองจนครบทุกระดับของปัจจัยนั้น แล้วจึงนำสิ่งตัวอย่างทดลองทั้งหมดนี้ไปผ่านกระบวนการล้าง Dry Film (Stripping Process) และผ่านการทำให้แห้งด้วยการเข้าตู้อบเพื่อระเหยน้ำออก จากนั้นทำการทดลองปัจจัยอื่น ๆ จนครบทุกระดับทุกปัจจัยที่ได้เลือกไว้ ซึ่งแสดงแผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองในแต่ละปัจจัยดังรูปที่ 5.1 ถึง 5.5

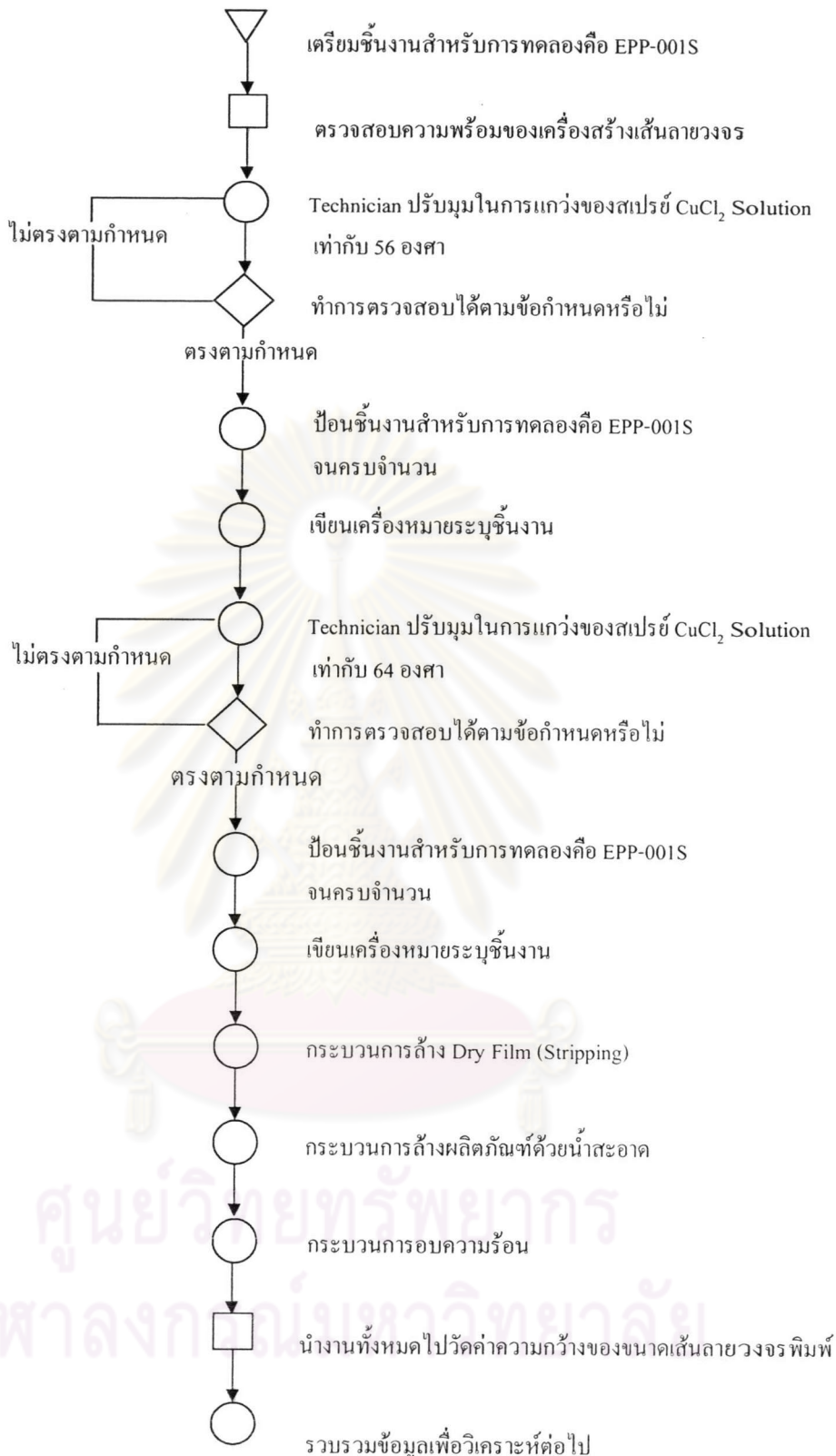
5.1.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้ว ทำการรวบรวมข้อมูลการทดลองและนำข้อมูลดังกล่าว(แสดงในภาคผนวก ง) มาใส่ในโปรแกรม MINITAB เพื่อทำการคำนวณทางสถิติ

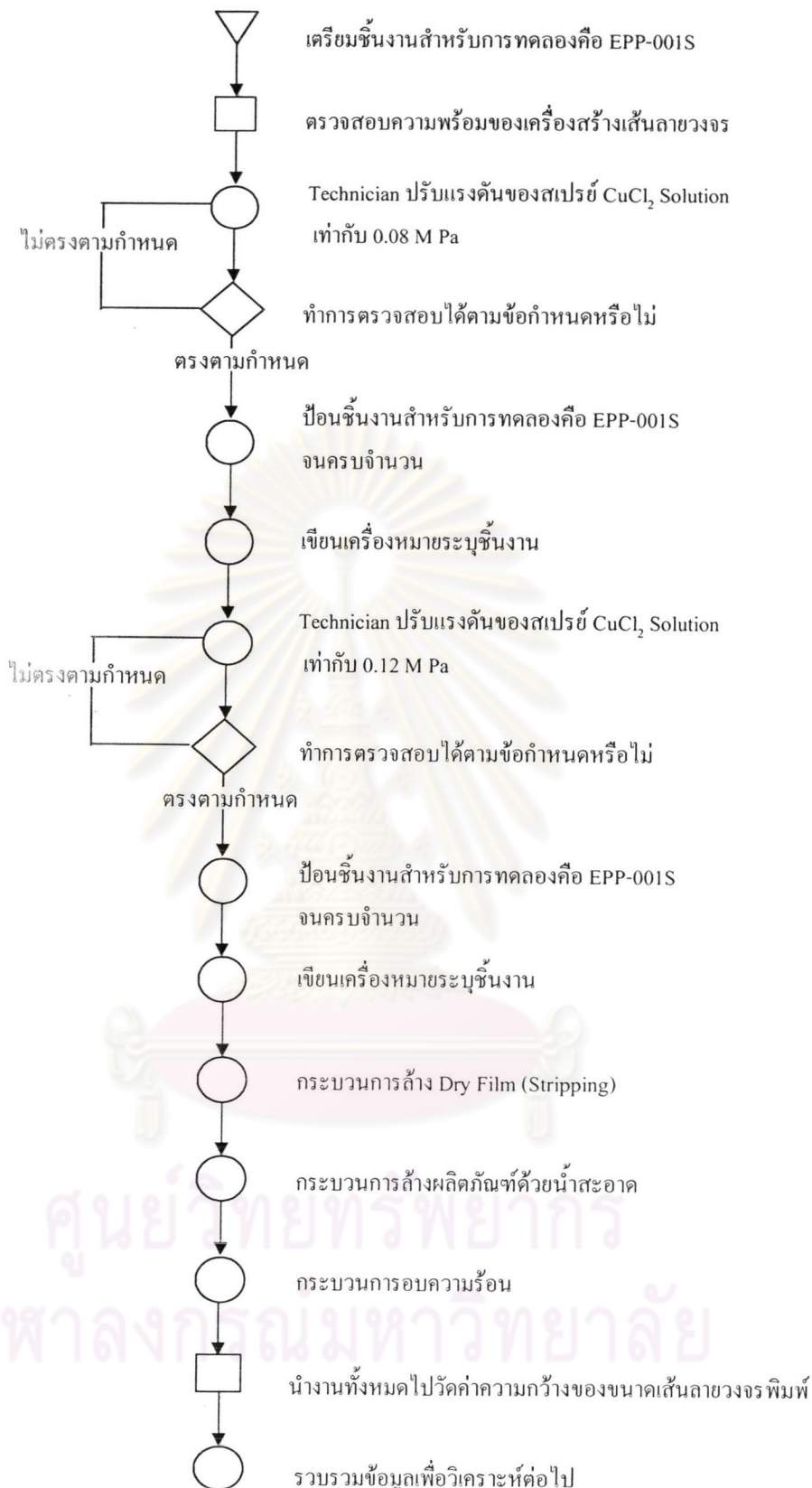
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับอัตราการแกว่งของสเปรย์ของ CuCl₂ Solution กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์



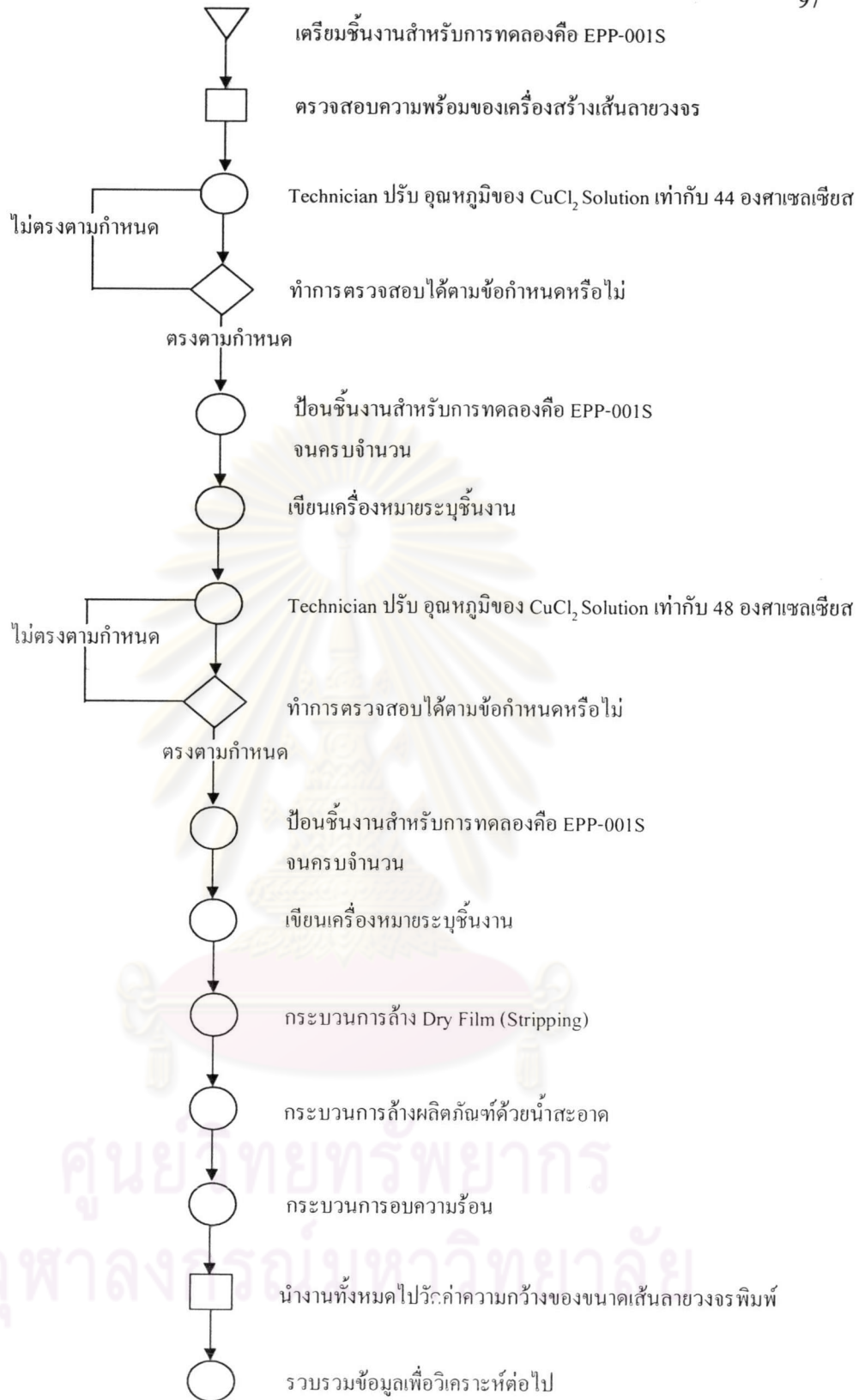
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับมุมในการแกว่งของสเปรย์ของ CuCl_2 Solution ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์



รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับแรงดันของสเปรย์ของ CuCl_2 Solution กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเร็วของสายพานของเครื่องจักรในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทดลองสำหรับอุณหภูมิของ CuCl_2 Solution ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์

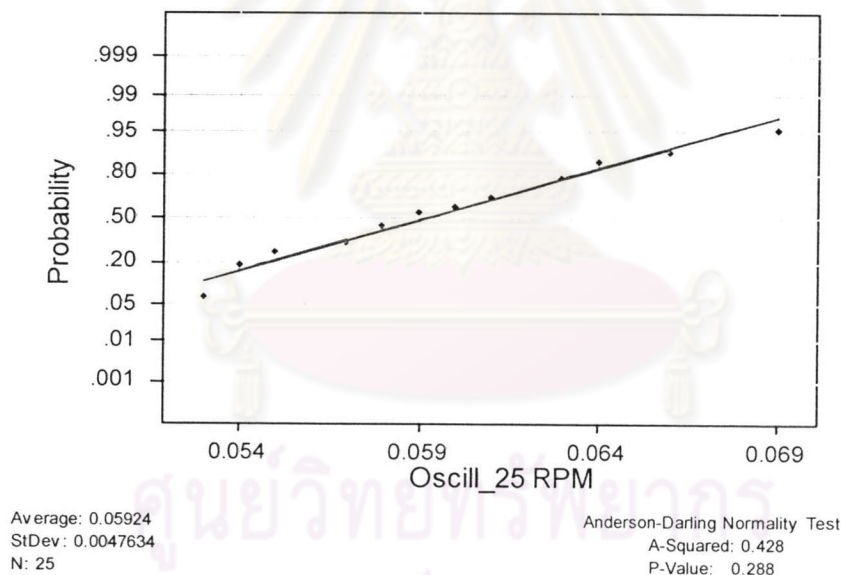
5.1.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การคำนวณผลการทดสอบจะใช้โปรแกรม MINITAB และความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยแยกการวิเคราะห์ในแต่ละปัจจัยดังนี้

ก) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

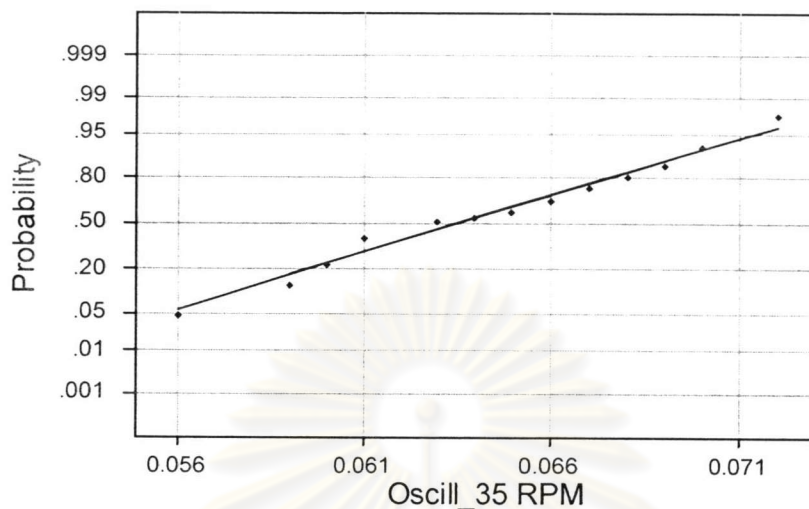
- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Oscill_25 RPM คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับอัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 25 RPM ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและ Oscill_35 RPM คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับอัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 35 RPM ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 5.6 (ก) และ (ข)

Normal Probability Plot



รูปที่ 5.6 (ก) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution ระดับที่ 1 (25 RPM)

Normal Probability Plot



Average: 0.06356
StDev: 0.0044822
N: 25

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.510
P-Value: 0.178

รูปที่ 5.6 (ข) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution ระดับที่ 2 (35 RPM)

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิพิท ก) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution ระดับที่ 1 ข) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองนี้ มีการกระจายแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากรูปที่ 5.6 แสดงค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติดังนั้นจึงใช้สมมติฐาน F เพื่อทดสอบความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอัตราการแกว่งของสเปร์ย์ CuCl₂ Solution

Test for Equal Variances				
Level1	Oscill_25	RPM		
Level2	Oscill_35	RPM		
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
3.60E-03	4.76E-03	6.97E-03	25	Oscill_25 RPM
3.38E-03	4.48E-03	6.56E-03	25	Oscill_35 RPM
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic:	1.129			
P-Value	: 0.768			

จากตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MINITAB ด้วยความเชื่อมั่น 95% มีค่า P- Value มากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอัตราการแกว่งของสเปร์ย์ CuCl₂ Solution

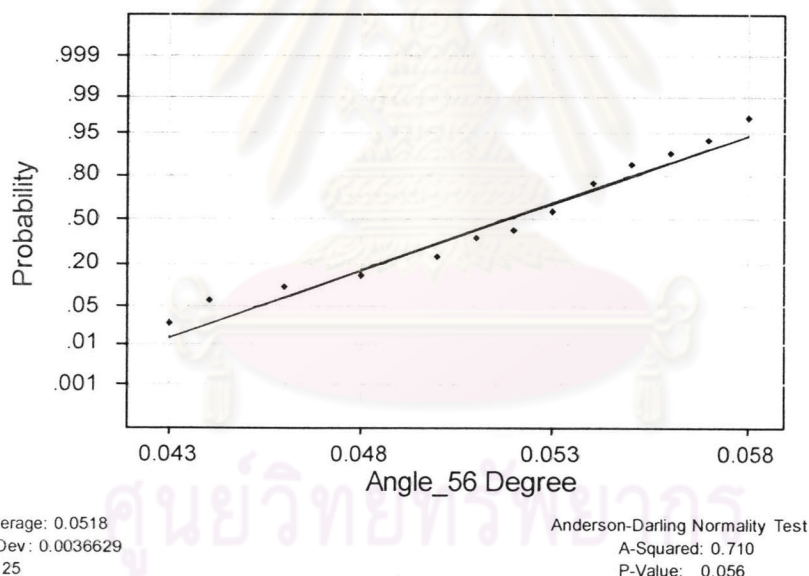
Two-Sample T-Test and CI: Oscill_25 RPM, Oscill_35 RPM					
Two-sample T for Oscill_25 RPM vs Oscill_35 RPM					
	N	Mean	StDev	SE Mean	
Oscill_25 RPM	25	0.05924	0.00476	0.00095	
Oscill_35 RPM	25	0.06356	0.00448	0.00090	
Difference = mu Oscill_25 RPM - mu Oscill_35 RPM					
Estimate for difference: -0.00432					
95% CI for difference: (-0.00695, -0.00169)					
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.30 P-Value = 0.002 DF = 47					

จากตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 เท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ 95%

ข) มุมของการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

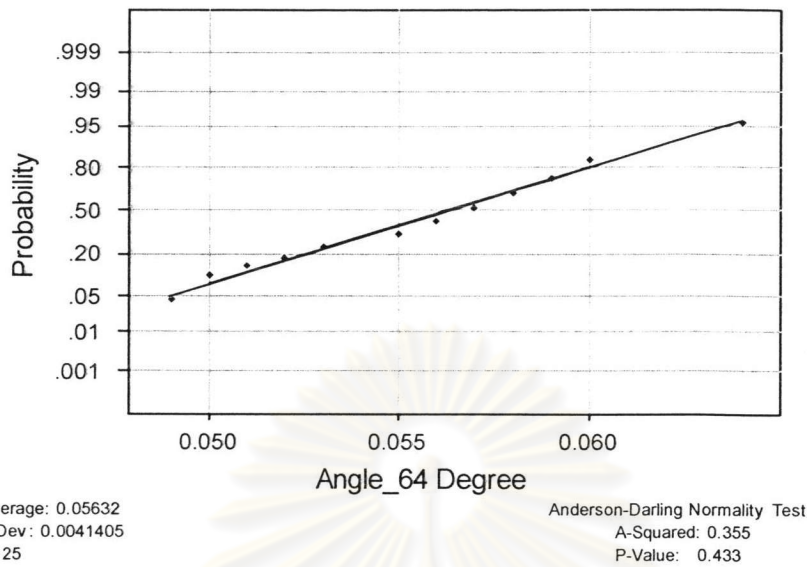
- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Angle_56 Degree คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับมุมของการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 56 องศา ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและ Angle_64 Degree คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับมุมของการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 64 องศา ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 5.7 (ก) และ (ข)

Normal Probability Plot



รูปที่ 5.7 (ก) มุมของการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1(56 องศา)

Normal Probability Plot



รูปที่ 5.7 (ข) มุมของการแกว่งของสเปร์ย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (64 องศา)

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ (ก) มุมของการแกว่งของสเปร์ย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (ข) มุมของการแกว่งของสเปร์ย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองนี้ มีการกระจายแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากรูปที่ 5.7 แสดงค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติดังนั้นจึงใช้สมมติฐาน F เพื่อทดสอบความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 5.5 และ 5.6

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่ามุมของแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

Test for Equal Variances				
Level1	Angle_56 Deg			
Level2	Angle_64 Deg			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.76E-03	3.66E-03	5.36E-03	25	Angle_56 Deg
3.13E-03	4.14E-03	6.06E-03	25	Angle_64 Deg
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.783				
P-Value : 0.553				

จากตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MINITAB ด้วยความเชื่อมั่น 95% มีค่า P- Value มากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่ามุมของแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution

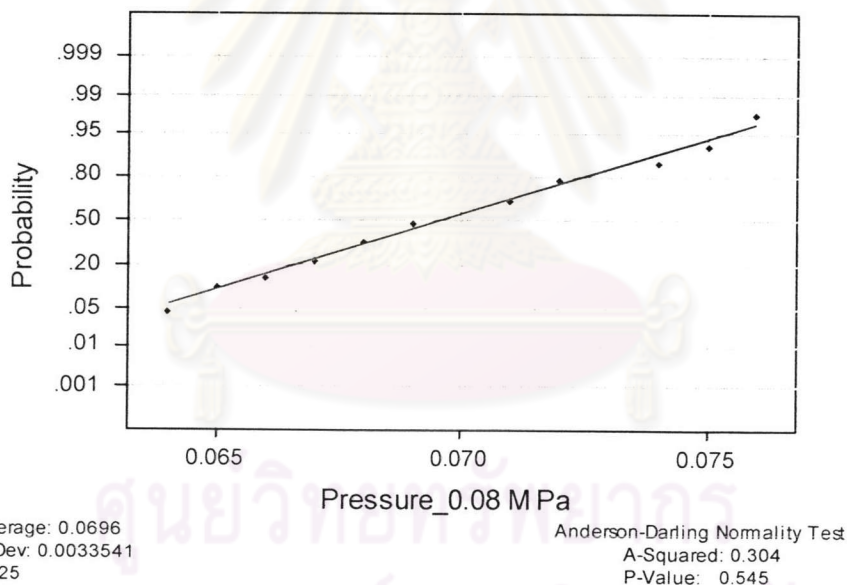
Two-Sample T-Test and CI: Angle_56 Degree, Angle_64 Degree				
Two-sample T for Angle_56 Degree vs Angle_64 Degree				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Angle_56 Deg	25	0.05180	0.00366	0.00073
Angle_64 Deg	25	0.05632	0.00414	0.00083
Difference = mu Angle_56 Degree - mu Angle_64 Degree				
Estimate for difference: -0.00452				
95% CI for difference: (-0.00674, -0.00230)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -4.09 P-Value = 0.000 DF = 47				

จากตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 เท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ค่าองศาการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ 95%

ก) แรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution

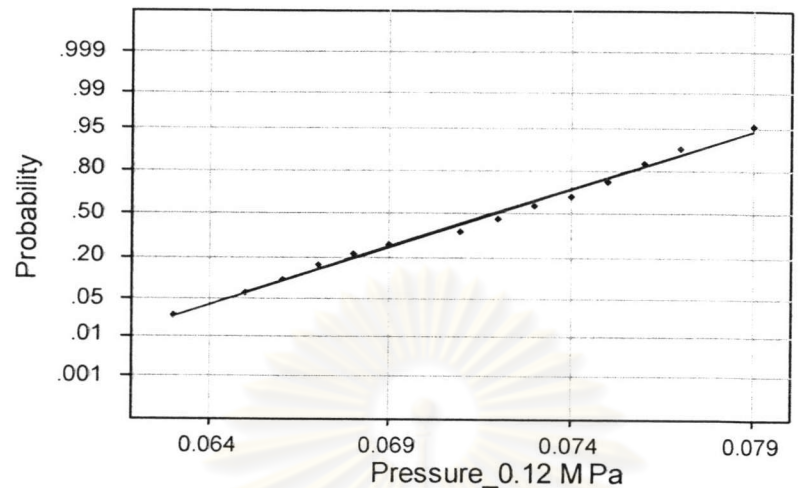
- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Pressure_0.08 M Pa คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับแรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 0.08 เมกกะปาสคาล ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและ Pressure_0.12 M Pa คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับแรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution เท่ากับ 0.12 เมกกะปาสคาล ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 5.8 ก และ ข

Normal Probability Plot



รูปที่ 5.8 (ก) แรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1(0.08 เมกกะปาสคาล)

Normal Probability Plot



Average: 0.07192
StDev: 0.0043004
N: 25

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.260
P-Value: 0.683

รูปที่ 5.8 (ข) แรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (0.12 เมกกะปาสกาล)

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิพิ (ก) แรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ (ข) แรงดันของสเปรย์ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองนี้ มีการกระจายแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากรูปที่ 5.8 แสดงค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติดังนั้นจึงใช้สมมติฐาน F เพื่อทดสอบความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 5.7 และ 5.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าแรงดันของ
สเปรย์ CuCl₂ Solution

Test for Equal Variances				
Level1	Pressure_0.08 MPa			
Level2	Pressure_0.12 MPa			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.53E-03	3.35E-03	4.91E-03	25	Pressure_0.08 MPa
3.25E-03	4.30E-03	6.29E-03	25	Pressure_0.12 MPa
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic:	0.608			
P-Value	: 0.231			

จากตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MINITAB ด้วยความเชื่อมั่น 95% มีค่า P- Value มากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

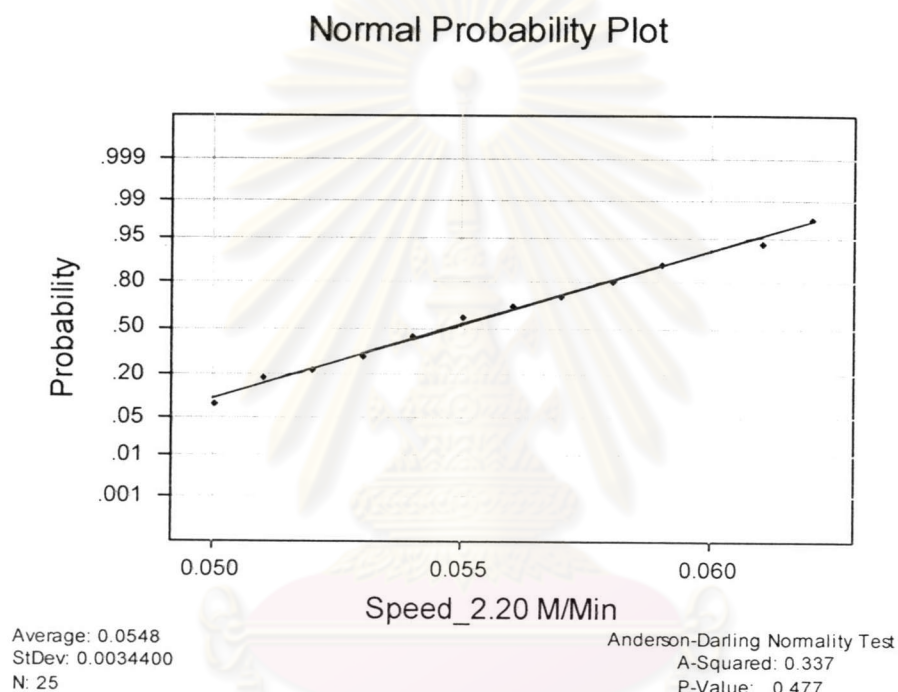
ตารางที่ 5.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าแรงดันของสเปรย์ CuCl₂ Solution

Two-Sample T-Test and CI: Pressure_0.08 MPa, Pressure_0.12 MPa				
Two-sample T for Pressure_0.08 MPa vs Pressure_0.12 MPa				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Pressure_0.08 MPa	25	0.06960	0.00335	0.00067
Pressure_0.12 MPa	25	0.07192	0.00430	0.00086
Difference = mu Pressure_0.08 MPa - mu Pressure_0.12 MPa				
Estimate for difference: -0.00232				
95% CI for difference: (-0.00452, -0.00012)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.13 P-Value = 0.039 DF = 45				

จากตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 เท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ค่าแรงดันของสเปรย์ CuCl₂ Solution มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ 95%

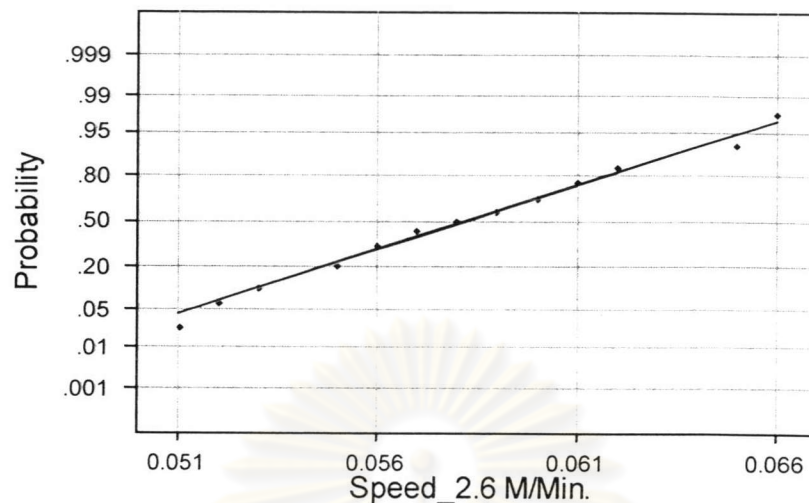
ง) ความเร็วของสายพานใน CuCl_2 Chamber

- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Speed_2.20 m/min. คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับความเร็วของสายพานใน CuCl_2 Chamber เท่ากับ 2.20 เมตร/นาทึ่ ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและ Speed_2.60 m/min. คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับความเร็วของสายพานใน CuCl_2 Chamber เท่ากับ 2.60 เมตร/นาทึ่ ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้ผลการทดสอบการกระจาย เป็นแบบปกติดังรูปที่ 5.9 ก และ ข



รูปที่ 5.9 ก ความเร็วของสายพานของใน CuCl_2 Chamber ที่ใช้ที่ระดับที่ 1(2.20 M/Min.)

Normal Probability Plot



Average: 0.05828
StDev: 0.0039846
N: 25

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.245
P-Value: 0.733

รูปที่ 5.9 (ข) ความเร็วของสายพานCuCl₂ Chamber ที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (2.60 M/Min.)

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิพิ ความเร็วของสายพานในCuCl₂ Chamberที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (ข) ความเร็วของสายพานในCuCl₂ Chamber ที่ใช้ที่ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองนี้ มีการกระจายแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากรูปที่ 5.9 แสดงค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองกลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติดังนั้นจึงใช้สมมติฐาน F เพื่อทดสอบความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 5.9 และ 5.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเร็วของ
สายพานในCuCl₂ Chamber

Test for Equal Variances				
Level1	Speed_2.20 M/Min			
Level2	Speed_2.60 M/Min			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.60E-03	3.44E-03	5.04E-03	25	Speed_2.20 M/Min
3.01E-03	3.98E-03	5.83E-03	25	Speed_2.60 M/Min
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.745				
P-Value : 0.477				

จากตารางที่ 5.9 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MINITAB ด้วยความเชื่อมั่น 95% มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าความเร็วของสายพาน
ในCuCl₂ Chamber

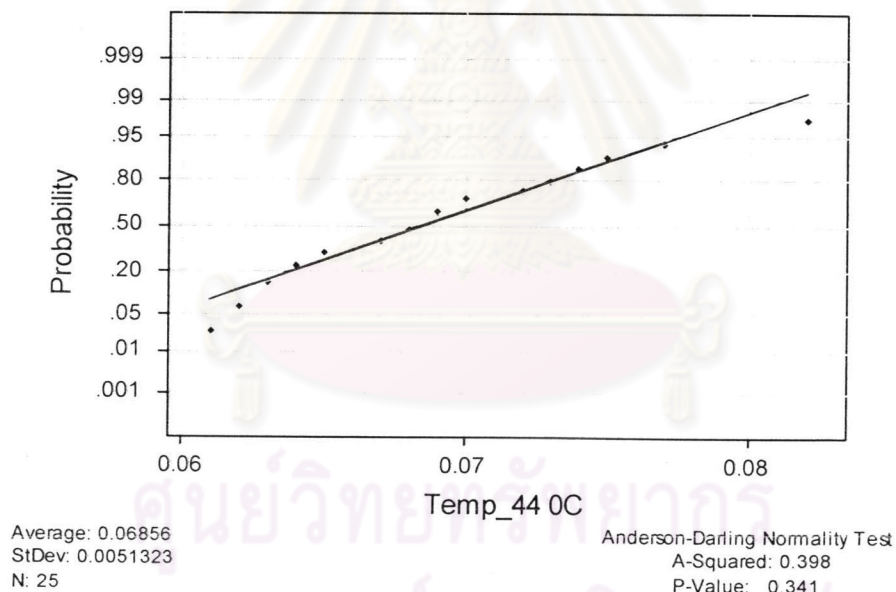
Two-Sample T-Test and CI: Speed_2.20 M/Min, Speed_2.60 M/Min				
Two-sample T for Speed_2.20 M/Min vs Speed_2.60 M/Min				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Speed_2.20 M/Min	25	0.05480	0.00344	0.00069
Speed_2.60 M/Min	25	0.05828	0.00398	0.00080
Difference = mu Speed_2.20 M/Min - mu Speed_2.60 M/Min				
Estimate for difference: -0.00348				
95% CI for difference: (-0.00560, -0.00136)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.31 P-Value = 0.002 DF = 46				

จากตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 เท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ค่าความเร็วของสายพานใน CuCl_2 Chamber มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ 95%

จ) อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution

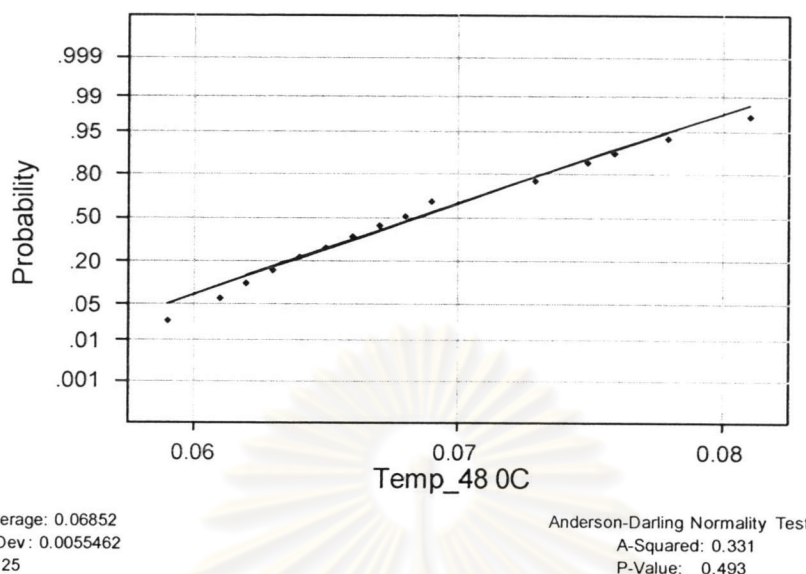
- ผลการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบ เพื่อทดสอบข้อกำหนดว่า ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด $\text{Temp}_{44} \text{ } ^\circ\text{C}$ คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับอุณหภูมิของ CuCl_2 เท่ากับ 44 องศาเซลเซียสในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและ $\text{Temp}_{48} \text{ } ^\circ\text{C}$ คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่ปรับอุณหภูมิของ CuCl_2 เท่ากับ 48 องศาเซลเซียสในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติดังรูปที่ 5.10 ก และ ข

Normal Probability Plot



รูปที่ 5.10 (ก) อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (44 องศาเซลเซียส)

Normal Probability Plot



รูปที่ 5.10 (ข) อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2 (48 องศาเซลเซียส)

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นสายวงจรพิมพ์ อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (ข) อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2

จากการทดสอบการกระจายของข้อมูลทั้งสองกลุ่ม พบว่าข้อมูลทั้งสองนี้ มีการกระจายแบบปกติด้วยความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจากรูปที่ 5.10 แสดงค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

- ผลการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองกลุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติดังนั้นจึงใช้สมมติฐาน F เพื่อทดสอบความแปรปรวนและการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-Test เพื่อทดสอบค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการคำนวณด้วยการใช้โปรแกรม MINITAB ได้ผลดังตารางที่ 5.11 และ 5.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอุณหภูมิของ CuCl₂ Solution

Test for Equal Variances				
Level1	Temp_44 0C			
Level2	Temp_48 0C			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
3.87E-03	5.13E-03	7.51E-03	25	Temp_44 0C
4.19E-03	5.55E-03	8.12E-03	25	Temp_48 0C
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.856				
P-Value : 0.707				

จากตารางที่ 5.11 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MINITAB ด้วยความเชื่อมั่น 95% มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าความแปรปรวนทั้ง 2 ระดับเท่ากัน

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอุณหภูมิของ CuCl₂ Solution

Two-Sample T-Test and CI: Temp_44 0C, Temp_48 0C				
Two-sample T for Temp_44 0C vs Temp_48 0C				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Temp_44	25	0.06856	0.00513	0.0010
Temp_48	25	0.06852	0.00555	0.0011
Difference = mu Temp_44 0C - mu Temp_48 0C				
Estimate for difference: 0.00004				
95% CI for difference: (-0.00300, 0.00308)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.03 P-Value = 0.979 DF = 47				

จากตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยพบว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือสามารถยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ไม่มีความแตกต่างกันจึงสรุปได้ว่า ค่าอุณหภูมิของ CuCl₂ Solution ไม่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรซึ่งมีความเชื่อมั่นที่ 95%

5.2 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัยที่ได้คัดเลือกมาจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา พบว่ามีอยู่เพียง 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งได้แก่

- อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution
- มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution
- แรงดันสเปรย์ของ CuCl_2 Solution
- ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber

จากข้างต้นปัจจัยทั้ง 4 ล้วนมาจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ส่วนปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบต่อความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อุณหภูมิของ CuCl_2 Solution

นอกจากนี้พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จึงพิจารณานำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาเฉพาะความสัมพันธ์เชิงผันแปรระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ต่อค่าเฉลี่ยความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ และกำหนดสภาวะที่เกี่ยวข้องเพื่อลดปริมาณค่าความหนาทองแดงที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดลดลงจากเดิมและไม่ต้องพิจารณาความสัมพันธ์ที่มีต่อค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย