

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

จากบทที่แล้วได้อธิบายขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่าง ๆ การแก้ปัญหาแล้ว ในบทนี้จะแสดงการขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาซึ่งเป็นขั้นตอนที่ศึกษาถึงแหล่งที่มาเป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการเครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ ช่วยในการศึกษาโดยจะเริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรของแผ่นวงจร เพื่อเพิ่มความเชื่อถือและเป็นการประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่อไป

จากนั้นทำการทำการทดลองเพื่อจะลดขอบเขตของแหล่งของปัญหาที่ทำการศึกษา แล้วนำผลลัพธ์จากการทดลองมาศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยการระดมความคิดจากผู้ที่มีความรู้ความชำนาญเป็นอย่างดี และ เป็นผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตดังกล่าว จากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร เพื่อนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Etching Process) ผลิตภัณฑ์แต่ละผลิตภัณฑ์จะต้องถูกพนักงานฝ่ายผลิต วัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์แต่ละผลิตภัณฑ์ ก่อนนำส่งกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร

เครื่องมือที่ใช้วัดเส้นลายวงจรมีทั้งหมด 2 ชนิด

- เครื่องวัด Smart Vision
- เครื่องวัด Micro Vision

4.1.1 การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ก) พารามิเตอร์ที่พิจารณา

คือ ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ของผลิตภัณฑ์ หลังผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร และผ่านกระบวนการล้าง Dry Film (Stripping Process)

ข) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR & R

จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกะ 1 คนต่อ 1 กะ รวมพนักงานทั้งหมด 2 คน โดยพนักงานได้รับการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร 55 ไมครอน โดยพนักงานได้รับการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร 55 ไมครอน เป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษายเป็นประจำทุกวัน

ค) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคือ EPP-001S ซึ่งมีค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร 55 ไมครอน มีจำนวนทั้งหมด 10 ตัวอย่าง โดยทำการคัดเลือกแบบสุ่มและเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 10

ง) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง ด้วยวิธีการเดียวกันและบันทึกค่าลงในภาคผนวก ข

จ) การสอบเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดทั้ง 2 เครื่องจะถูกสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องเครื่องมือวัด โดยใช้วิธีการสอบเทียบของมาตรฐานของเครื่องวัดนั้น

ฉ) ขั้นตอนการทดลองที่ใช้ศึกษา GR & R

- ให้พนักงานคนที่ 1 สุ่มผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้เพื่อเตรียมทำการวัดค่าความกว้างของขนาดของเส้นลายวงจรพิมพ์
- พนักงานคนที่ 1 จะทำการวัดค่าความกว้างของขนาดของเส้นลายวงจรพิมพ์ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจนครบทั้ง 10 ชิ้น และจะวัดซ้ำ 2 ครั้งในแต่ละชิ้นจากนั้นพนักงานจะทำการบันทึกค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่วัดได้ในแต่ละชิ้นลงในตารางบันทึกผลการวัด (ภาคผนวก ข)
- ให้พนักงานคนที่ 2 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามขั้นตอนดังข้างต้นของพนักงานคนที่ 1 ซึ่งในการวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในแต่ละครั้งจะต้องทำอย่างสุ่ม

4.1.2 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่องวัด Smart Vision

ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่อง Smart Vision ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.1 4.2 และรูปที่ 4.1

ก) ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.1 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจรมิมพ์ด้วยเครื่อง Smart Vision

<u>Two-Way ANOVA Table With Interaction</u>						
Source	DF	SS	MS	F	P	
C1	9	0.0023131	0.0002570	124.865	0.00000	
C2	1	0.0000002	0.0000002	0.109	0.74850	
C2*C1	9	0.0000185	0.0000021	3.293	0.01265	
Repeatability	20	0.0000125	0.0000006			
Total	39	0.0023444				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 4.2 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจร
ด้วยเครื่อง Smart Vision

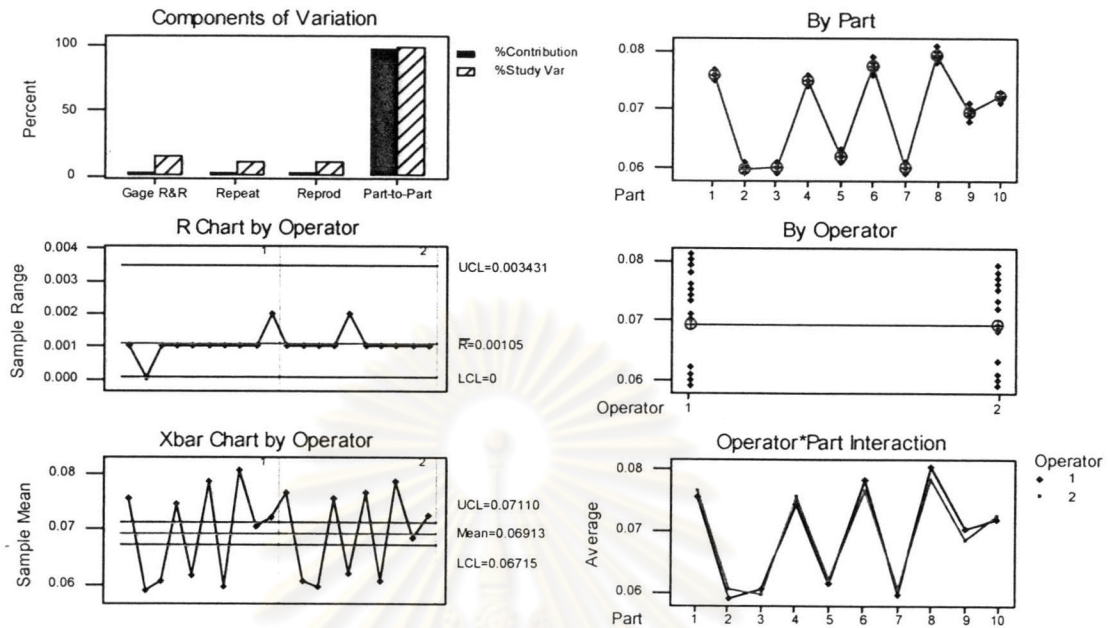
Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1.34E-06	2.06
Repeatability	6.25E-07	0.96
Reproducibility	7.17E-07	1.10
C2	0.00E+00	0.00
C2*C1	7.17E-07	1.10
Part-To-Part	6.37E-05	97.94
Total Variation	6.51E-05	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1.16E-03	5.97E-03	14.36
Repeatability	7.91E-04	4.07E-03	9.80
Reproducibility	8.47E-04	4.36E-03	10.49
Operator	0.00E+00	0.00E+00	0.00
Operator*Part	8.47E-04	4.36E-03	10.49
Part-To-Part	7.98E-03	4.11E-02	98.96
Total Variation	8.07E-03	4.15E-02	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R (ANOVA) for Measuring Data

Gage name: Micro Vision
 Date of study: 7/12/2004
 Reported by: T. Supaporn
 Tolerance:
 Misc:



รูปที่ 4.1 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิติด้วยเครื่องวัด Smart Vision

วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาของเครื่องมือวัด Smart Vision

จากรูปที่ 4.1 จากแผนภูมิ R ระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่าง เนื่องจากมีการกระจายของข้อมูลอย่างไม่เป็นระเบียบและข้อมูลที่ได้รับความนิยมเพราะจากรูปค่าพิสัยอยู่ในเส้นควบคุม

จากแผนภูมิ Xbar มีความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต ซึ่งจากแผนภูมิ X bar มีค่าเฉลี่ยที่มีการกระจายที่มากกว่าเส้นควบคุม

จากกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

จากตารางที่ 4.2 ค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 10 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลได้เป็น 10 ประเภทที่แตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

ผลจากการประเมินค่าความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิติจากรูปที่ 4.2 พบว่าค่า %Contribution ของ Total GR & R มีค่าเท่ากับ 2.06% ซึ่งน้อย

กว่า 10% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ ทำให้สามารถยอมรับในความสามารถของกระบวนการวัดที่มีความแม่นยำเพียงพอที่จะทำการศึกษาระดับชั้นต่อไป

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)ดังผลในตารางที่ 4.1 พบว่าอิทธิพลของชิ้นงานวัด(C1) มีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value คือ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่อิทธิพลของพนักงานวัด(C2) ไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.74850 ซึ่งมากกว่า 0.05 และอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญเช่นกันเพราะ P-Value น้อยกว่า 0.05

4.1.3 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่องวัด Micro Vision

ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดเครื่อง Micro Vision ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.3 4.4 และรูปที่ 4.2

ก) ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 4.3 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจรด้วยเครื่อง Micro Vision

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0025560	0.0002840	63.5432	0.00000
Operator	1	0.0000020	0.0000020	0.4531	0.51779
Operator*Part	9	0.0000402	0.0000045	4.1576	0.00382
Repeatability	20	0.0000215	0.0000011		
Total	39	0.0026198			

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจร
ด้วยเครื่อง Micro Vision

Gage R&R			
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	2.77E-06	3.82	
Repeatability	1.07E-06	1.48	
Reproducibility	1.70E-06	2.34	
Operator	0.00E+00	0.00	
Operator*Part	1.70E-06	2.34	
Part-To-Part	6.99E-05	96.18	
Total Variation	7.27E-05	100.00	

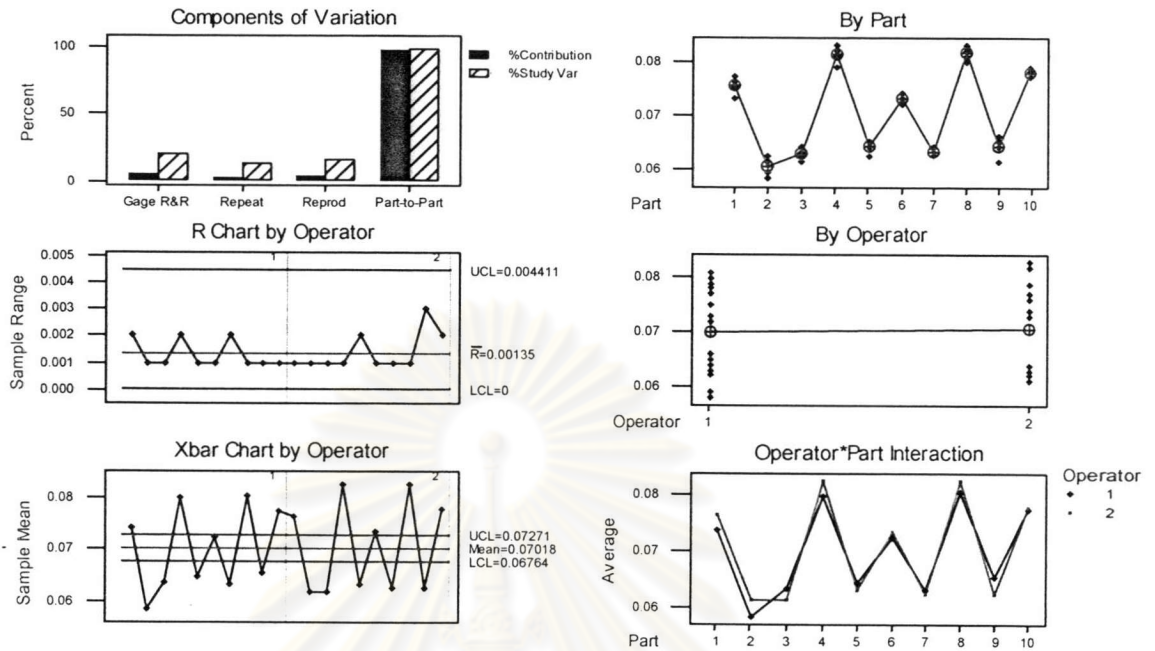
Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1.66E-03	8.57E-03	19.53
Repeatability	1.04E-03	5.34E-03	12.16
Reproducibility	1.30E-03	6.71E-03	15.28
Operator	0.00E+00	0.00E+00	0.00
Operator*Part	1.30E-03	6.71E-03	15.28
Part-To-Part	8.36E-03	4.31E-02	98.07
Total Variation	8.52E-03	4.39E-02	100.00

Number of Distinct Categories = 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R (ANOVA) for Measuring Da

Gage name: Micro Vision
 Date of study: 7/2/04
 Reported by: T.Supaporn
 Tolerance:
 Misc:



รูปที่ 4.2 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ด้วยเครื่องวัด Micro Vision

วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาของเครื่องมือวัด Micro Vision

จากรูปที่ 4.2 จากแผนภูมิ R ระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่างเนื่องจากการกระจายของข้อมูลอย่างไม่เป็นระเบียบและข้อมูลที่ได้อาจมีความสม่ำเสมอเพราะจากรูปค่าพิสัยอยู่ภายในเส้นควบคุม

จากแผนภูมิXbar มีความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต ซึ่งจากจากแผนภูมิ Xbar มีค่าเฉลี่ยที่มีการกระจายที่มากกว่าเส้นควบคุม

จากกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

จากตารางที่ 4.4 ค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 ซึ่งแสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลได้เป็น 7 ประเภทที่แตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

ผลจากการประเมินค่าความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า %Contribution ของ Total GR & R มีค่าเท่ากับ 3.82% ซึ่งน้อยกว่า 10% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ ทำให้สามารถยอมรับในความสามารถของกระบวนการวัดที่มีความแม่นยำเพียงพอที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)ดังผลในตารางที่ 4.1 พบว่าอิทธิพลของชิ้นงานวัด มีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value คือ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่อิทธิพลของพนักงานวัด ไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.51779 ซึ่งมากกว่า 0.05 และอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญเช่นกันเพราะ P-Value น้อยกว่า 0.05

4.1.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ระหว่าง Smart Vision และ Micro Vision

ก) พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณา

คือค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์ที่วัดได้จากเครื่อง Smart Vision และ Micro Vision เนื่องจากเครื่องวัดมีคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องและเทคนิคการใช้เครื่องวัดที่ต่างกัน เพื่อต้องการยืนยันค่าวัดที่ได้จากเครื่องวัดทั้งสองเครื่องมีค่าเท่ากัน และง่ายและสะดวกในการวัดครั้งต่อไป เพราะเครื่อง Micro Vision จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ส่วนเครื่อง Smart Vision เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับช่วยเหลือหน่วยงานอื่น

ข) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR & R

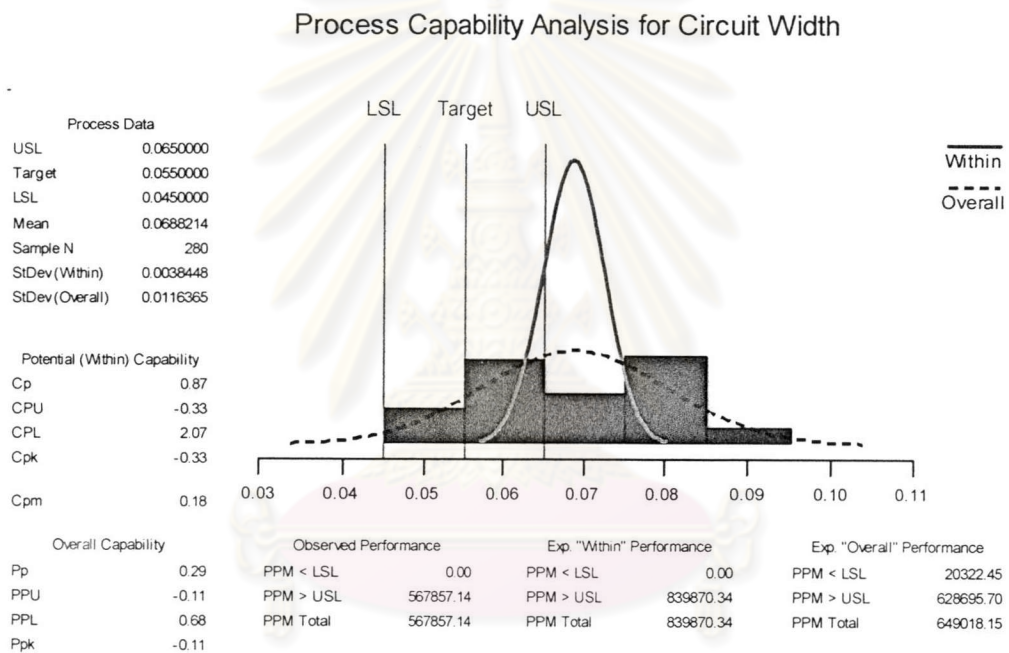
จำนวนพนักงานในแต่ละกะการปฏิบัติ 1 คนต่อ 1 เครื่องมือวัด รวมพนักงาน 2 คน และเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดซึ่งพนักงาน ในการทดลองจำเป็นต้องให้พนักงานต่างคนต่างวัดสิ่งตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือวัดของตน ประสิทธิภาพและความชำนาญ เพราะเครื่องทั้งสองมีวิธีการวัดและการทำงานที่แตกต่างกัน

ค) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

สิ่งตัวอย่างคือ ผลิตภัณฑ์ EPP-001S ซึ่งมีเส้นลายวงจรเพียงด้านเดียวและมีค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร 55 ไมครอน ซึ่งจะถูกผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Etching Process) มีจำนวนทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังของตัวอย่างในแต่ละแผ่นตั้งแต่ 1 ถึง 15

หลังจากทำการวัดชิ้นงานจะบันทึกค่าวัดที่ได้และนำมาทดสอบค่าเฉลี่ยข้อมูลแบบคู่(Pair-t Test) และวิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน Power and Sample Size ของโปรแกรม MiniTab และกำหนดค่าต่าง ๆ คือ

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



รูปที่ 4.3 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์ (มาจากบทที่ 1)

- จะได้สิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 13 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งในการทดสอบสมมติฐานจะใช้ 15 คู่ ซึ่งเพียงพอกับการสอบนี้ (จากตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าวัดความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์

Power and Sample Size			
1-Sample t Test			
Testing mean = null (versus not = null)			
Calculating power for mean = null + difference			
Alpha = 0.05 Sigma = 0.0116			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0116	13	0.9000	0.9107

ง) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำของสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนจะทำการวัดสิ่งตัวอย่างจำนวน 1 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

จ) ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1(ทำการวัดโดยใช้ Smart Vision) ต้องทำการสุ่มตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้
- ทำการบันทึกผลลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)
- พนักงานคนที่ 1 จะวัดสิ่งตัวอย่างจนครบ 15 ชิ้น
- พนักงานคนที่ 2 (ทำการวัดโดยใช้ Micro Vision) ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างขึ้นมาและวัดสิ่งตัวอย่างจนกระทั่งครบ 15 สิ่งตัวอย่าง (เช่นเดียวกันกับพนักงานคนที่ 1)
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)
- ทดสอบสมมติฐานและความมีนัยสำคัญทางสถิติ

ฉ) ผลลัพธ์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือวัด

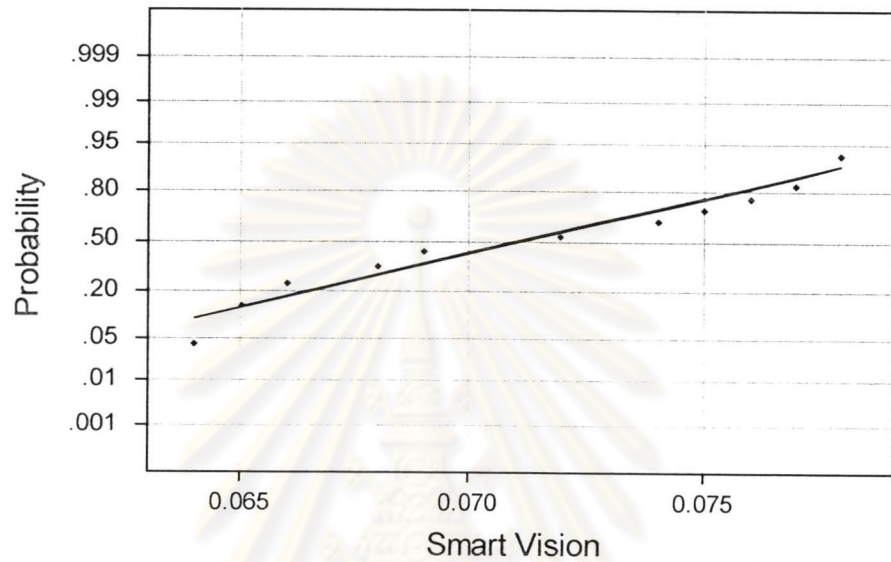
- ทดสอบความเป็น Normality ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

Normal Probability Plot



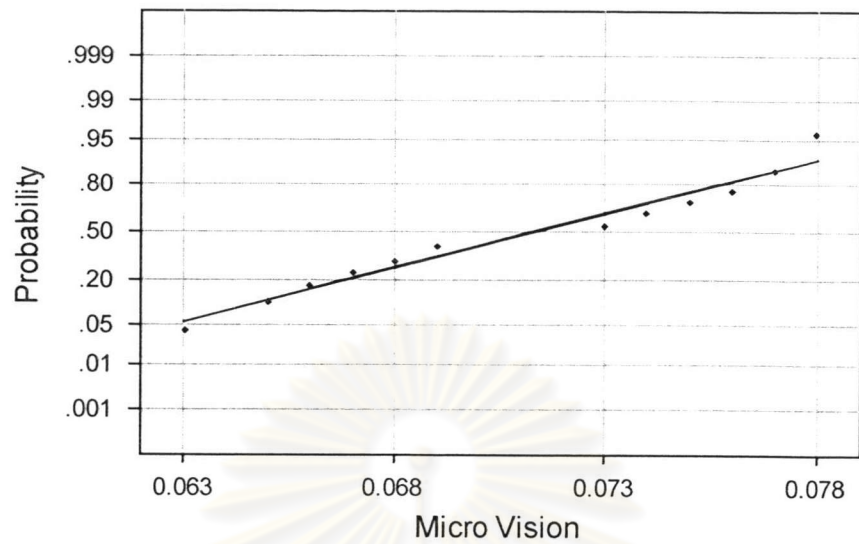
Average: 0.0711333
StDev: 0.0050266
N: 15

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.436
P-Value: 0.258

รูปที่ 4.4 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าความกว้างของขนาดเส้นสายวงจรพิมพ์ของเครื่องวัด Smart Vision

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Normal Probability Plot



Average: 0.0713333
StDev: 0.0048941
N: 15

Anderson-Darling Normality Test
A-Squared: 0.402
P-Value: 0.315

รูปที่ 4.5 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ของเครื่องวัด Micro Vision

- ทดสอบความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง

สมมติฐานที่ต้องทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{Smart Vision}} = \sigma^2_{\text{Micro Vision}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{Smart Vision}} \neq \sigma^2_{\text{Micro Vision}}$$

ศูนย์วิทยุทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จาก Smart Vision และ Micro Vision

Test for Equal Variances				
Level1	Smart Vision			
Level2	Micro Vision			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
3.53E-03	5.03E-03	8.52E-03	15	Smart Vision
3.43E-03	4.89E-03	8.30E-03	15	Micro Vision
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.055				
P-Value : 0.922				

- การทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิพีระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

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

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

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จาก Smart Vision และ Micro Vision

Paired T-Test and CI: Smart Vision, Micro Vision				
Paired T for Smart Vision - Micro Vision				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Smart Vision	15	0.07113	0.00503	0.00130
Micro Vision	15	0.07133	0.00489	0.00126
Difference	15	-2.0E-04	0.000862	0.000223
95% CI for mean difference: (-0.000677, 0.000277)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -0.90				
P-Value = 0.384				

จากการทดสอบความเป็น Normality ของข้อมูลค่าวัดที่ได้จากเครื่องวัด Smart Vision และ Micro Vision ด้วยการใช้ MINITAB ด้วย Anderson – Daring Normality Test เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้จากเครื่องวัดทั้งสองเครื่องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality Distribution) ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากผลจากการประมวลผลจากโปรแกรม ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05

จากผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์จากเครื่องวัด Smart Vision และ Micro Vision ดังในตารางที่ 4.6 มีค่า P- Value ของการทดสอบความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ 0.922 ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95% และจากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองดังตารางที่ 4.7 พบว่าค่า P - Value มีค่าเท่ากับ 0.384 ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น 95% จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ได้จากเครื่อง Smart Vision และ Micro Vision

4.2 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาค่าความผันแปรของกระบวนการอื่น

4.2.1 จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ในกระบวนการอื่นๆ หลังจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร(Etching Process) จนถึง กระบวนการบรรจุภัณฑ์ก่อนนำส่งมอบลูกค้าว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่มีนัยสำคัญ การศึกษาข้างต้นเพื่อสร้างความเชื่อมั่น ในการศึกษาปัจจัยหลักอื่นๆที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของเส้นลายวงจรพิมพ์ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรเนื่องจากผู้วิจัยตั้งข้อสมมติฐานว่ากระบวนการต่าง ๆ หลังจากผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรแล้ว ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

4.2.2 สมมติฐาน

ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์มีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผ่านกระบวนการอื่น หลังจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Etching Process)

4.2.3 ขอบเขตการทดลอง

ศึกษาค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร (Etching Process) โดยเปรียบเทียบข้อมูลวัดที่ได้หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร เปรียบเทียบข้อมูลวัดหลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร (Scrubbing Process) กับกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า (Plating Process) และเปรียบเทียบข้อมูลวัดหลังกระบวนการทำความสะอาด (Scrubbing Process) กับกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Process)

4.2.4 การเตรียมการทดลอง

- ตัวแปรตามที่ทำการศึกษาคือ ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูลที่เกิดขึ้น
- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 5 แผ่น โดยวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ในแต่ละแผ่น แผ่นละ 6 จุด

ในการพิจารณาข้อมูลที่ได้ จะใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการทดสอบข้อมูล จำเป็นต้องกำหนดค่าต่าง ๆ คือ

- (1) ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05
- (2) ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.1 หรือ Power of Test เท่ากับ 0.90
- (3) ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.0116 mm.
- (4) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- (5) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญคือ $n_1 = n_2 = 13$ สิ่งตัวอย่าง ซึ่งการทดสอบสมมติฐานในการศึกษาจะใช้ 15 คู่ ซึ่งเพียงพอในการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าวัดความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

Power and Sample Size			
1-Sample t Test			
Testing mean = null (versus not = null)			
Calculating power for mean = null + difference			
Alpha = 0.05 Sigma = 0.0116			
	Sample	Target	Actual
Difference	Size	Power	Power
0.0116	13	0.9000	0.9107

- ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมได้แก่ แผ่นทองแดงที่ใช้ในการทดลองมาจากล็อตเดียวกันในม้วนเดียวกัน เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการ

- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิห้องและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

4.2.5 ขั้นตอนในการทดลอง

นำแผ่นทองแดงเข้ากระบวนการอย่างต่อเนื่องจนครบทุกกระบวนการ และนำสิ่งตัวอย่างทดลองไปวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรก่อน หลังจากนั้นจึงส่งสิ่งตัวอย่างเข้ากระบวนการอื่นอย่างต่อเนื่องจนถึงหลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร จะส่งสิ่งตัวอย่างไปวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ จากนั้นจะทำการวัดอีก 2 ครั้งคือหลังจากกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้าและกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

4.2.6 ทำการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลองและบันทึกข้อมูลที่ได้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย โปรแกรม MINITAB

Copper Sheet



รูปที่ 4.6 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

4.2.7 การวิเคราะห์การทดลอง

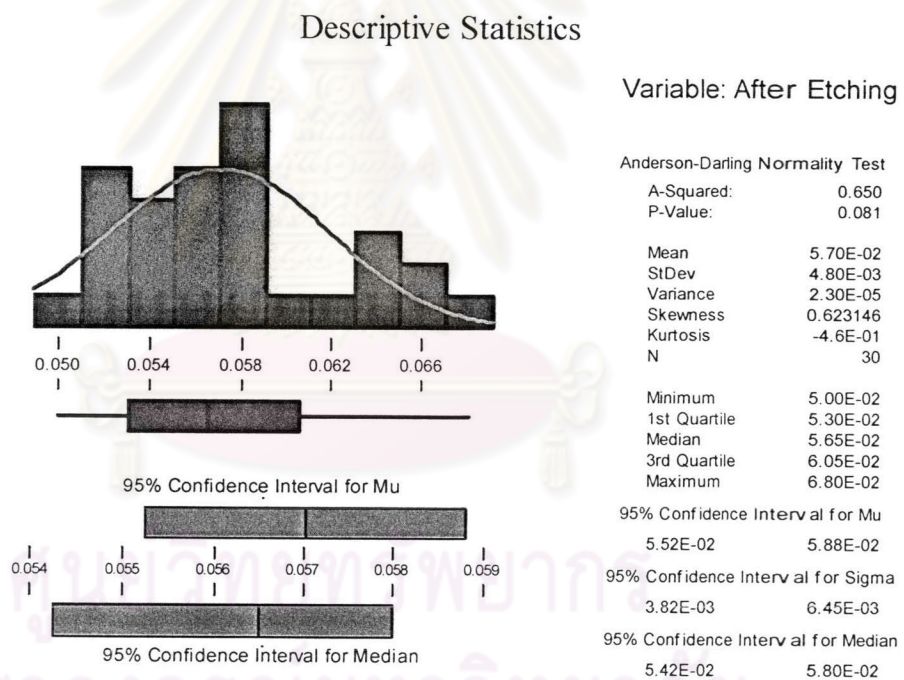
ก) ค่าเฉลี่ยและความผันแปรในแต่ละกระบวนการ

พิจารณาค่าเฉลี่ยและความผันแปร ซึ่งความผันแปรจะคำนวณอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิจารณาฮีสโตแกรมในแต่ละกระบวนการ โดยมีสมมติฐานคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

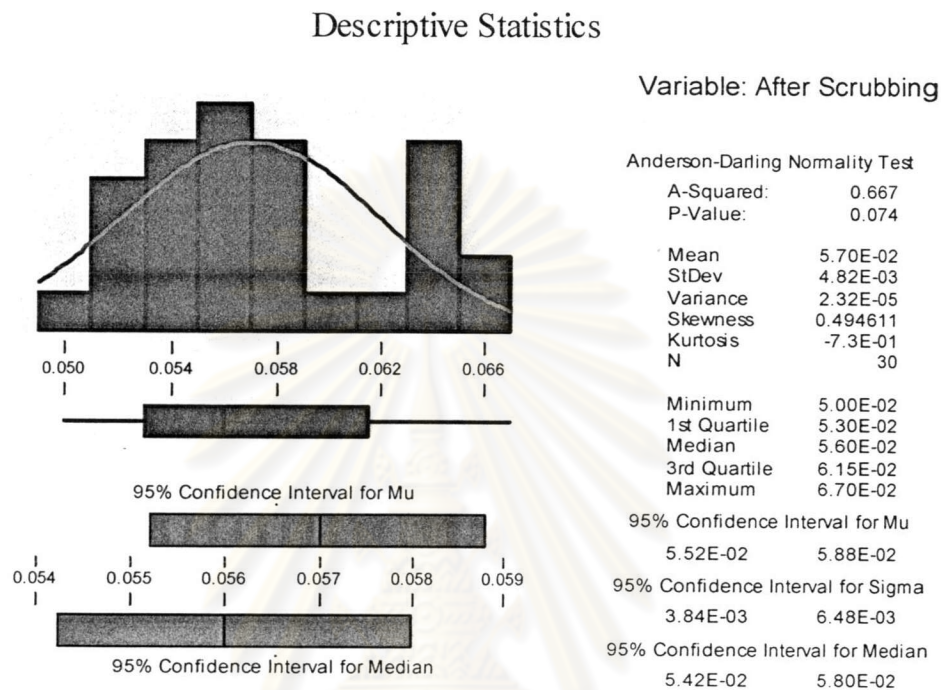
H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

- กระบวนการสร้างเส้นลายวงจร จากการใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 4.80×10^{-3} และการกระจายของข้อมูลที่ได้เป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.081 เมื่อใช้ Anderson-Darling ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงฮีสโตแกรมของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร(Etching Process)

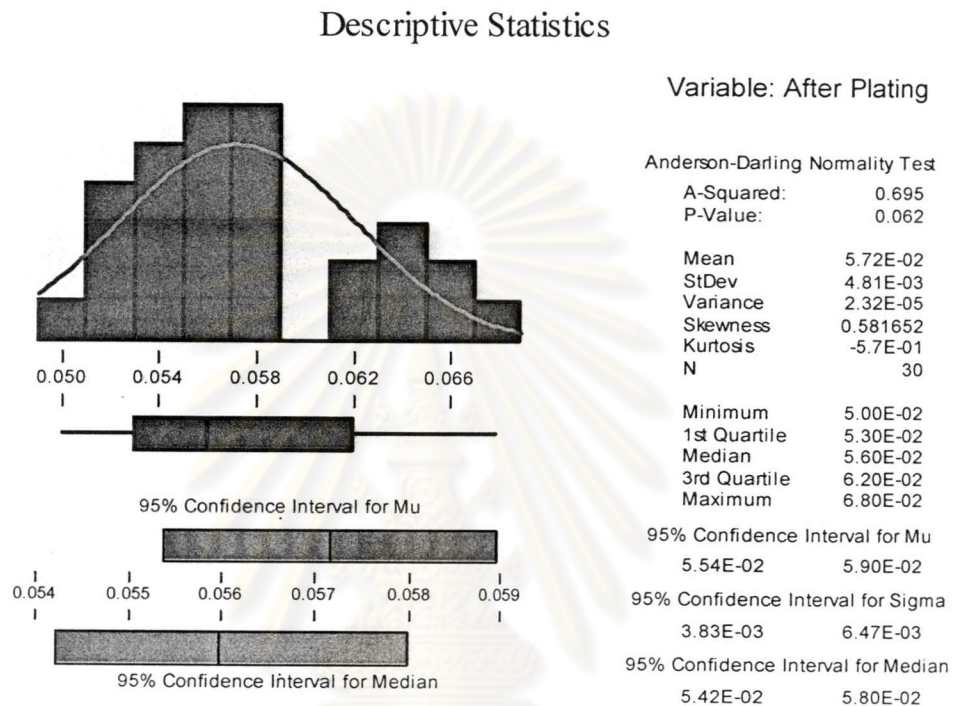
- กระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร จากการคำนวณพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.82×10^{-3} และมีการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น 95% และค่า P-Value ของการทดสอบ Anderson-Daring มีค่าเท่ากับ 0.074 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร(Etching Process)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

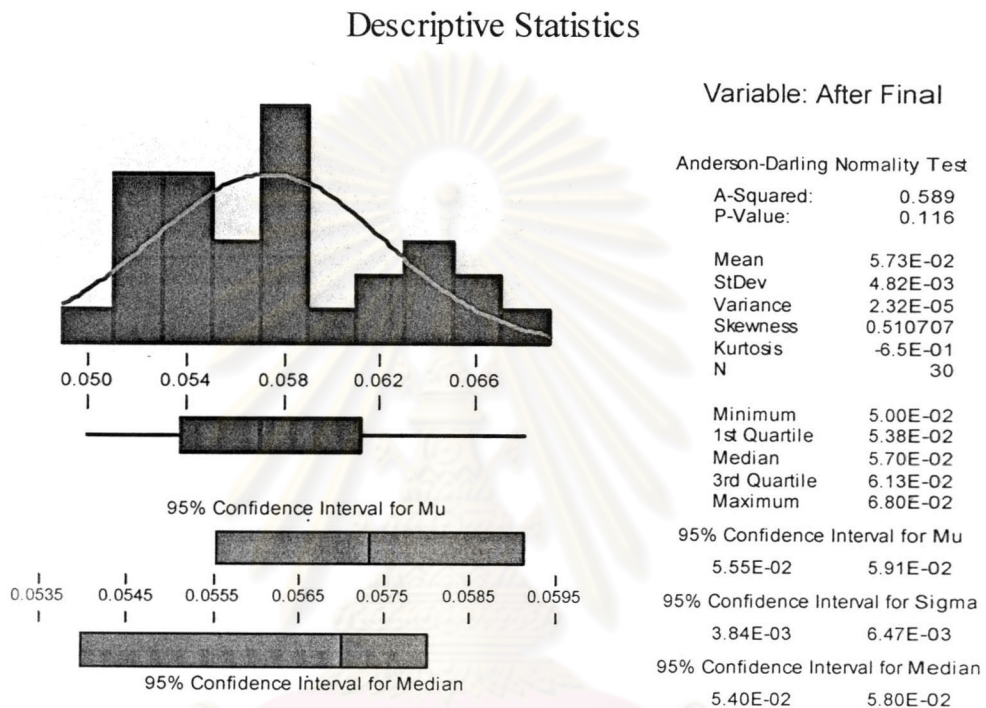
- กระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า จากการคำนวณพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.81×10^{-3} และมีการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้ความเชื่อมั่น 95% และค่า P-Value ของการทดสอบ Anderson-Darling มีค่าเท่ากับ 0.062 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า(Plating Process)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย จากการคำนวณพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.82×10^{-3} และมีการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น 95% และค่า P-Value ของการทดสอบ Anderson-Darling มีค่าเท่ากับ 0.116 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Process)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข) การทดสอบสมมติฐาน

หลังจากการคำนวณค่าความผันแปรในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ในแต่ละกระบวนการแล้ว ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลความไม่แตกต่างของความแปรปรวนที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องทำการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ เพื่อตรวจสอบผลกระทบหลังจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร

1) การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

จากการทดสอบ Anderson-Daring ข้างต้น ทั้ง สี่กระบวนการ ข้อมูลที่วัดได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไปได้

ตารางที่ 4.9 แสดงการทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยการทดสอบ Anderson-Daring

ลำดับที่	กระบวนการ	P - Value
1	หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร	0.081
2	หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร	0.074
3	หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า	0.062
4	หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย	0.116

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ผลการตรวจสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแปรปรวนของข้อมูล

- กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและทำความสะอาดเส้นลายวงจร

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร}}$$

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและทำความสะอาดเส้นลายวงจร

Test for Equal Variances				
Level1	After Etching			
Level2	After Scrubbing			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
3.70E-03	4.80E-03	6.75E-03	30	After Etching
3.72E-03	4.82E-03	6.78E-03	30	After Scrubbing
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.990				
P-Value : 0.978				

จากตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.978 ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและหลังการทำความสะอาดไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการทำความสะอาดเส้นลวดวงจรและชุบทองด้วยไฟฟ้า
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลวดวงจร}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลวดวงจร}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า}}$$

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลวดวงจรพิมพ์ หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลวดวงจรและชุบทองด้วยไฟฟ้า

Test for Equal Variances				
Level1	After Scrubbing			
Level2	After Plating			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
3.72E-03	4.82E-03	6.78E-03	30	After Scrubb
3.72E-03	4.81E-03	6.77E-03	30	After Plating
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.003				
P-Value : 0.994				

จากตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.994 ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลวดวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างเส้นลวดวงจรและหลังการทำความสะอาดไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้าและการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

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

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

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้าและตรวจสอบขั้นสุดท้าย

Test for Equal Variances				
Level1	After Plating			
Level2	After Final			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
3.72E-03	4.81E-03	6.77E-03	30	After Plating
3.72E-03	4.82E-03	6.77E-03	30	After Final
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic:	0.999			
P-Value	: 0.998			

จากตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.998 ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและหลังการทำความสะอาดไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3) ผลการตรวจสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยผลต่างความกว้างของเส้นลายวงจร

- กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและการทำความสะอาดเส้นลายวงจร

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

$$H_0 : \mu^2 \text{ หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร} = \mu^2 \text{ หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร}$$

$$H_a : \mu^2 \text{ หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร} \neq \mu^2 \text{ หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร}$$

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและทำความสะอาดเส้นลายวงจร

Paired T-Test and CI: After Etching, After Scrubbing				
Paired T for After Etching - After Scrubbing				
	N	Mean	StDev	SE Mean
After Etchin	30	0.057033	0.004796	0.000876
After Scrubb	30	0.057000	0.004821	0.000880
Difference	30	0.000033	0.000850	0.000155
95% CI for mean difference: (-0.000284, 0.000351)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.21 P-Value = 0.831				

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.831 ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยผลต่างของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและหลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรและการชุบทองด้วยไฟฟ้า

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

$$H_0 : \mu^2 \text{ หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร} = \mu^2 \text{ หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า}$$

$$H_a : \mu^2 \text{ หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร} \neq \mu^2 \text{ หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า}$$

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรและชุบทองด้วยไฟฟ้า

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

Paired T for After Scrubbing - After Plating

	N	Mean	StDev	SE Mean
After Scrubb	30	0.057000	0.004821	0.000880
After Platin	30	0.057167	0.004814	0.000879
Difference	30	-1.7E-04	0.000834	0.000152

95% CI for mean difference: (-0.000478, 0.000145)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -1.09 P-Value = 0.283

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.283 ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยผลต่างของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรและหลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กระบวนการชุบทองคำด้วยไฟฟ้าและการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

$$H_0 : \mu^2_{\text{หลังกระบวนการชุบทองคำด้วยไฟฟ้า}} = \mu^2_{\text{หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย}}$$

$$H_a : \mu^2_{\text{หลังกระบวนการชุบทองคำด้วยไฟฟ้า}} \neq \mu^2_{\text{หลังกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย}}$$

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิพพ์หลังกระบวนการชุบทองคำด้วยไฟฟ้าและกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

Paired T-Test and CI: After Plating, After Final				
Paired T for After Plating - After Final				
	N	Mean	StDev	SE Mean
After Platin	30	0.057167	0.004814	0.000879
After Final	30	0.057333	0.004816	0.000879
Difference	30	-1.7E-04	0.000791	0.000145
95% CI for mean difference: (-0.000462, 0.000129)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -1.15 P-Value=0.258				

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.258 ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยผลต่างของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิพพ์หลังกระบวนการชุบทองคำด้วยไฟฟ้าและความสะอาดเส้นลายวงจรมิพพ์หลังกระบวนการชุบทองคำด้วยไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.8 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าความแปรปรวนและผลการทดสอบค่าเฉลี่ยผลต่างของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์พบว่า

- ข้อมูลของค่าวัดที่ได้หลังจากที่ผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรกับหลังจากผ่านกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรไม่มีความแตกต่างกัน
- ข้อมูลของค่าวัดที่ได้หลังจากที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรกับหลังจากผ่านกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกัน
- ข้อมูลของค่าวัดที่ได้หลังจากที่ผ่านกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้ากับหลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายไม่มีความแตกต่างกัน

ดังนั้นในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรจนถึงการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ไม่มีอิทธิพลในการทำให้ค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เปลี่ยนแปลงไป

จากการทดลองนี้ จะได้ว่า กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและกระบวนการอื่นก่อนหน้าการสร้างเส้นลายวงรนั้น มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ซึ่งจะทำการศึกษาและวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตในขั้นตอนถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix

เป็นการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาสาเหตุที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด ทำโดยการระดมความคิดจากสมาชิกที่มีความชำนาญและเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเส้นลายนวงจรและกระบวนการอื่น ๆ ก่อนหน้า เนื่องจากกระบวนการหลังกระบวนการสร้างเส้นลายนวงจรไม่มีผลกระทบต่อความกว้างของขนาดเส้นลายนวงจรพิมพ์ ดังนั้นสมาชิกที่เข้ามาช่วยแสดงความคิดเห็นได้แก่ วิศวกรประจำกระบวนการตั้งแต่กระบวนการทำความสะอาดทองแดงจนถึงการสร้างเส้นลายนวงจรพิมพ์ วิศวกรคุณภาพวิศวกรการวิจัยและพัฒนา และ วิศวกรที่ดูแลวัตถุดิบ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานคือ

4.3.1 ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า

สมาชิกจะศึกษาการทำงานจริงของเครื่องจักรและพนักงานในแต่ละกระบวนการผลิตตั้งแต่กระบวนการทำความสะอาดวัตถุดิบจนถึงการสร้างเส้นลายนวงจรทุกขั้นตอนและมีแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

4.3.2 ทำการระดมความคิด

ระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความกว้างของขนาดเส้นลายนวงจรพิมพ์ โดยนำเครื่องมือแผนภูมิสาเหตุและผลมาประยุกต์ใช้ ในการระดมความคิดจะทำอย่างอิสระซึ่งในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่ต้องการคือปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้

4.3.3 ทำตารางสรุป

นำข้อมูลที่ได้ใส่ในตาราง Cause and Effect Matrix ในช่องปัจจัยนำเข้า ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมาจากขั้นตอนของกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายนวงจรพิมพ์ และส่วนบนของตารางจะใส่ค่าความสำคัญของลูกค่าเมื่อไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เนื่องจากข้อกำหนดของงานวิจัยนี้มีค่าเดียวจึงมีความสำคัญเท่ากับ 10 (กำหนดให้ค่าความสำคัญต่อลูกค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 – 10 โดยค่าที่สำคัญที่สุดคือ 10)

4.3.4 การให้คะแนน

กลุ่มสมาชิกจะทำการลงความเห็นให้คะแนนในแต่ละปัจจัย ซึ่งคะแนนจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 7 โดยพิจารณาค่าคะแนนที่เป็นเอกฉันท์ในแต่ละปัจจัย ถ้าคะแนนไม่เป็นเอกฉันท์จะต้องมีการอธิบายเหตุผลจากเสียงส่วนมาก เพื่อให้ผู้ที่เป็นเสียงส่วนน้อยเข้าใจและยอมรับในเหตุผลนั้น ซึ่งทำให้ผู้ออกเสียงรู้สึกถึงความสำคัญของตนและอยากให้ความร่วมมือในครั้งต่อไป ความหมายของคะแนนที่ให้แสดงดังตารางที่ 4.16

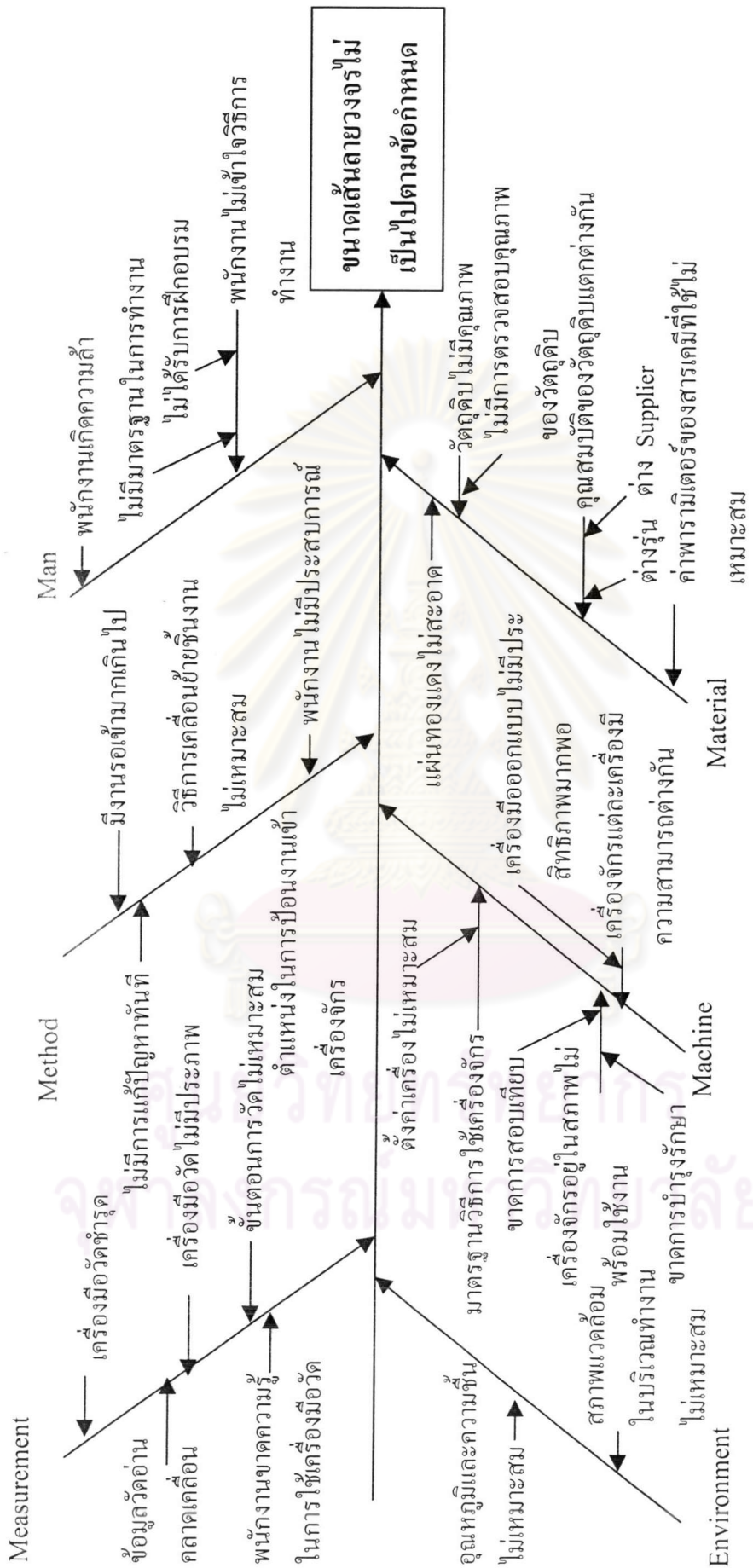
ตารางที่ 4.16 ค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลต่อข้อกำหนดเฉพาะลูกค้า

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

4.3.5 การรวบรวมคะแนน

ผู้วิจัยทำการรวบรวมคะแนน และทำการคูณค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยด้วยอัตราความสำคัญที่มีต่อลูกค้า จากนั้นทำการรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัย และทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยเรียงตามลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยด้วยแผนภูมิพาร์โต ดังแสดงในรูปที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 แสดงแผนภูมิสาเหตุและผลของปัญหาขนาดของเส้นสายจริงพิมพ์ไม่ได้ตามที่กำหนด

ตารางที่ 4.17 แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Important to Customer				10	Total
				1	
				Circuit Width	
Item	Process	Sub Process	Process Input		
1	Incoming		ความหนาของชั้นทองแดง(Copper Foil)	5	50
2			Copper Foil ที่ใช้ผู้ผลิตต่าง Vendor กัน	1	10
3	Scrubbing	Hayabright	ความเข้มข้นของ Hayabright solution	1	10
4			แรงดันของ Hayabright solution	1	10
5			ความเร็วสายพานใน Hayabright Chamber	1	10
6		Water Rising	แรงดันของ Water Rinsing	1	10
7			ความเร็วสายพานของ Hayabright	1	10
8			อัตราการไหลขาเข้าของน้ำ DI	0	0
9		Dryer	อุณหภูมิของ Dryer	1	10
10			ความเร็วของสายพานใน Dryer	1	10
11			อัตราการไหลของ Hot air	0	0
12	Dry Film Lamination		ความเร็วในการติด Dry Film	2	20
13			อุณหภูมิของ Dry Film	3	30
14			ความดันของ Laminated Roll	3	30
15			อายุการใช้งานของ Dry Film	1	10

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Important to Customer				10	Total
				1	
				Circuit Width	
16	Exposure		ความเข้มของ U.V.	3	30
17			Vacuum Time	3	30
18			ความเร็วของสายพาน	1	10
19			ความดันของ Air	3	30
20			อายุการใช้งานของ U.V.Lamp	1	10
21	Developing	Na ₂ CO ₃	ความเข้มข้นของ Na ₂ CO ₃	3	30
22			ความเร็วสายพานของ Na ₂ CO ₃ Chamber	4	40
23			อัตราเร็วในการแกว่งของสเปรย์ Na ₂ CO ₃	1	10
24			แรงดันของ Na ₂ CO ₃	3	30
25			อัตราการไหลเข้าของ Na ₂ CO ₃	1	10
26			อุณหภูมิของ Na ₂ CO ₃	2	20
27			จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน Na ₂ CO ₃ Chamber	3	30
28			ตำแหน่งในการป้อนผลิตภัณฑ์	1	10
29			ความถี่ในการเปลี่ยน Filter ของ Na ₂ CO ₃	1	10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

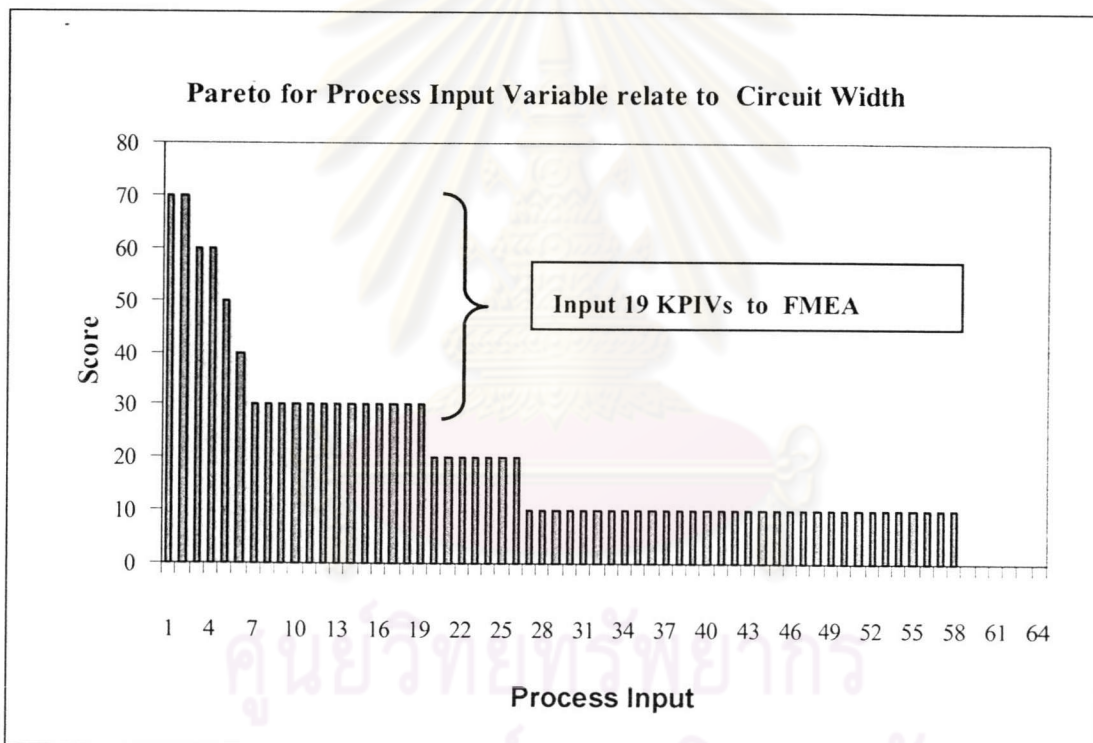
Rating of Important to Customer				10	Total
				1	
				Circuit Width	
30	Developing (ต่อ)	Water Rising	อุณหภูมิของ Water Rinsing	1	10
31			อัตราการไหลขาเข้าของน้ำ DI	0	0
32			ความถี่ในการเปลี่ยน Filter ของน้ำ DI	1	10
33			แรงดันของน้ำ DI	1	10
34			ความถี่ในการทำสะอาด squeeze Roll	1	10
35		Dryer	อุณหภูมิของ Dryer	1	10
36			ความเร็วของสายพานใน Dryer	1	10
37			อัตราการไหลของ Hot air	0	0
38	Etching	Cupric Chloride	ความเข้มข้นของ HCL ใน CuCl_2 Chamber	3	30
39			ค่าความถ่วงจำเพาะของ CuCl_2	3	30
40			อุณหภูมิของ CuCl_2	3	30
41			แรงดันสเปรย์ของ CuCl_2 Solution	7	70
42			อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution	6	60
43			ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber	7	70
44			มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution	6	60
45			ตำแหน่งในการป้อนผลิตภัณฑ์	1	10
46			ความถี่ในการเปลี่ยน Filter ของ CuCl_2	1	10

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Important to Customer				10	Total
				1	
				Circuit Width	
47	Etching (ต่อ)	Acid	ความเข้มข้นของ HCL	1	10
48			จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน HCL Chamber	2	20
49			ความเร็วสายพานของ Acid Chamber	2	20
50			แรงดันสเปรย์ของ HCL Solution	2	20
51		Stripping	ความเข้มข้นของ NaOH	3	30
52			อุณหภูมิของ NaOH ใน Stripping Chamber	3	30
53			แรงดันสเปรย์ของ CuCl ₂ Solution	2	20
54			จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน Stripping Chamber	2	20
55			อัตราเร็วในการแกว่งของสเปรย์ NaOH	1	10
56			ความถี่ในการเปลี่ยน Filter ของ NaOH	1	10
57		Water Rising	อุณหภูมิของ Water Rinsing	1	10
58			อัตราการไหลขาเข้าของน้ำ DI	0	0
59			ความถี่ในการเปลี่ยน Filter ของน้ำ DI	1	10
60			แรงดันของน้ำ DI	1	10
61			ความถี่ในการทำความสะอาด squeeze Roll	1	10

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

Rating of Important to Customer				10	Total
				1	
				Circuit Width	
62	Etching (ต่อ)	Dryer	อุณหภูมิของ Dryer	1	10
63			ความเร็วของสายพานใน Dryer	1	10
64			อัตราการไหลของ Hot air	0	0
Total				131	1200



รูปที่ 4.12 แสดงแผนภูมิพาร์โต เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างจากการวิเคราะห์ด้วย

Cause and Effect Matrix

ตารางที่ 4.18 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้จาก Cause and Effect Matrix

Priority	Item	KPIV	Score
1	41	แรงดันสเปรย์ของ CuCl_2 Solution	70
2	43	ความเร็วสายพานใน CuCl_2 Chamber	70
3	42	อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution	60
4	44	มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl_2 Solution	60
5	1	ความหนาของชั้นทองแดง(Copper Foil)	50
6	22	ความเร็วสายพานของ Na_2CO_3 Chamber	40
7	13	อุณหภูมิของ Dry Film	30
8	14	ความดันของ Laminated Roll	30
9	16	ความเข้มของ U.V.	30
10	17	Vacuum Time	30
11	19	ความดันของ Air	30
12	21	ความเข้มข้นของ Na_2CO_3	30
13	24	แรงดันของ Na_2CO_3	30
14	27	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน Na_2CO_3 Chamber	30
15	38	ความเข้มข้นของ HCL ใน CuCl_2 Chamber	30
16	39	ค่าความถ่วงจำเพาะของ CuCl_2	30
17	40	อุณหภูมิของ CuCl_2	30
18	51	ความเข้มข้นของ NaOH	30
19	52	อุณหภูมิของ NaOH ใน Stripping Chamber	30
Total			740

4.3.6 สรุปผลการศึกษา

จากตาราง Cause and Effect Matrix ผลของคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์มีคะแนนรวม 1,200 คะแนน และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนจากมากไปน้อยที่จัดเรียงในแผนภูมิพารโตได้ รวมทั้งสิ้น 19 ปัจจัยดังตารางที่ 4.18 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ได้แก่ปัจจัยที่มีคะแนนตั้งแต่ 30 คะแนนขึ้นไป ส่วนปัจจัยที่เหลือจะมีคะแนน 20 และ 10 คะแนนซึ่งมีค่าคะแนนที่ต่ำ

ผลรวมของคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่เลือกไว้คือ 740 คะแนนซึ่งคิดเป็น 61.67% ของคะแนนรวมทั้งหมด

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

เมื่อได้ปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณา Cause and Effect Matrix แล้ว จากนั้นจะนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบโดยใช้ FMEA เพื่อค้นหาข้อบกพร่องที่เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษานี้ก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไปซึ่งมีรายละเอียดคือ

- ระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องขนาดของเส้นลายวงจรไม่ได้ตามข้อกำหนดที่มีต่อลูกค้า
- ระบุถึงสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น และพิจารณาความถี่ของสาเหตุที่เกิดขึ้นนั้น
- ระบุถึงมาตรการในการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อบกพร่องต่าง ๆ เหล่านี้เกิดขึ้น และระบุความสามารถหรือประสิทธิภาพของระบบควบคุมด้วย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย FMEA ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

4.4.1 การรวบรวมสมาชิก

ผู้วิจัยจัดตั้งทีมระดมความคิดเห็น โดยสมาชิกในกลุ่มสมาชิก เป็นกลุ่มเดียวกับที่ทำ Cause and Effect Matrix

4.4.8 คำนวณค่า RPN

ค่า RPN ในแต่ละแถวซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของคะแนนคือ (คะแนนความร้ายแรง) X (คะแนนความถี่) X (คะแนนประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่ได้ประเมินไว้) และบันทึกค่าไว้ในตารางมาตรฐาน FMEA โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4.19



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ FMEA

Project Name	Reduction of Circuit Width Variation
FMEA	
Commitee	Process Engineer, QC Engineer, Production supervisor, Technician

Prepare by Supaporn T.
FMEA DATE _____
Rev. _____

Item	Process	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potentail Cause	OCC	Current Control	DET	RPN
1	Etching	แรงดันสเปรย์ของ CuCl ₂ Solution	แรงดันสเปรย์มีมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นสาย วงจรพิมพ์	9	ระบบการตรวจวัดและ Pressure Gauge ชำรุด	5	ตรวจค่าทุกสัปดาห์	4	180
2		ความเร็วสายพานใน CuCl ₂	ความเร็วสายพานมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นสาย วงจรพิมพ์	10	การปรับค่าความเร็วของสายพานไม่คงที่	3	ตรวจค่าทุกเดือน	4	120
3		อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl ₂ Solution	อัตราการแกว่งมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นสาย วงจรพิมพ์	8	การปรับค่าอัตราการแกว่งไม่คงที่	5	ตรวจค่าทุก 1.5 เดือน	7	280
4		มุมในการแกว่งของสเปรย์ CuCl ₂ Solution	มุมในการแกว่งของสเปรย์มากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นสาย วงจรพิมพ์	7	การตั้งค่านุมในการแกว่งไม่เหมาะสม	5	ตรวจค่าทุก 1.5 เดือน	7	245
5		ความเข้มข้นของ HCL ใน CuCl ₂ Chamber	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นสาย วงจรพิมพ์	8	ระบบการตรวจวัดและ เครื่องมือวัดค่าไม่คงที่	1	ตรวจทุกวัน	2	16
6		ค่าความถ่วงจำเพาะของ CuCl ₂	ค่าความถ่วงจำเพาะมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นสาย วงจรพิมพ์	8	ระบบการตรวจวัดและ เครื่องมือวัดค่าไม่คงที่	1	ตรวจทุกวัน	2	16

ตารางที่ 4.19(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ FMEA

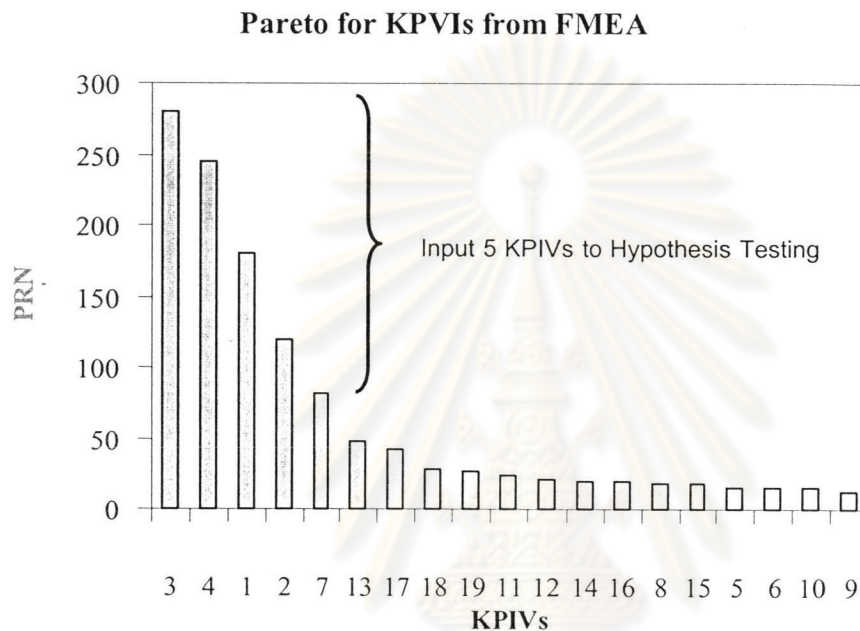
Item	Process	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	OC	Current Control	DET	RPN
7	Etching	อุณหภูมิของ CuCl_2	อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ขนาดของเส้นลายวงจรมิน	8	ระบบการตรวจวัดค่าและเครื่องปรับอุณหภูมิไม่คงที่	3	ตรวจทุกวัน	2	48
8		ความเข้มข้นของ NaOH	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ไม่สามารถล้าง Dry Film ออกจากวงจรมิน	3	ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำให้คงที่ได้	3	ตรวจทุกวัน	2	18
9		อุณหภูมิของ NaOH ใน Stripping Chamber	อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ไม่สามารถล้าง Dry Film ออกจากวงจรมิน	3	ระบบการตรวจวัดค่าและเครื่องปรับอุณหภูมิไม่คงที่	2	ตรวจทุกวัน	2	12
10	Develop	ความหนาของชั้นทองแดง (Copper Foil)	ค่าความหนาของทองแดงไม่คงที่	ขนาดของเส้นลายวงจรมิน	8	พนักงานละเอียดการตรวจสอบความหนาของทองแดง	2	ตรวจทุกล็อต	1	16
11		ความเร็วสายพานของ Na_2CO_3 Chamber	ความเร็วสายพานมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นลายวงจรมิน	8	การปรับค่าความเร็วของสายพานไม่คงที่	3	ตรวจทุกล็อต	1	24
12		ความเข้มข้นของ Na_2CO_3	ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นลายวงจรมิน	7	ระบบการตรวจวัดและเครื่องปรับความเข้มข้นให้ไม่คงที่	3	ตรวจทุกล็อต	1	21
13		แรงดันของ Na_2CO_3	แรงดันสเปิร์มมากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นลายวงจรมิน	8	ระบบการตรวจวัดและ Pressure Gauge ขำรุค	3	ตรวจทุกวัน	2	48

ตารางที่ 4.19(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ FMEA

Item	Process	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effect	SEV	Potential Cause	OCC	Current Control	DET	RPN
14	Develop	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผ่าน Na ₂ CO ₃ Chamber	จำนวนผลิตภัณฑ์มากเกินไป	ขนาดของเส้นลาย วงจรพิมพ์	5	พนักงานและเคยการตรวจสอบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่เข้าเครื่อง Develop	4	ตรวจทุกล็อต	1	20
15	Dry Film Lamination	อุณหภูมิของ Dry Film	อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป	ขนาดของเส้นลาย วงจรพิมพ์	6	ระบบการตรวจวัดค่าและเครื่องปรับอุณหภูมิไม่คงที่	3	ตรวจทุกล็อต	1	18
16		ความดันของ Laminated Roll	ความดันสเปรย์มากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นลาย วงจรพิมพ์	5	ระบบการตรวจวัดค่าและเครื่องปรับความดันไม่คงที่	4	ตรวจทุกล็อต	1	20
17	Exposure	ความเข้มข้นของ U.V.	ความเข้มข้นของ U.V. มากหรือน้อยเกินไป	ขนาดของเส้นลาย วงจรพิมพ์	7	ระบบการตรวจวัดค่าและเครื่องวัด U.V. ไม่คงที่	3	ตรวจทุกวัน	2	42
18		Vacuum Time	Vacuum Time น้อยเกินไป	ขนาดของเส้นลาย วงจรพิมพ์	7	เครื่องจักรไม่สามารถควบคุม Vacuum Time ตามที่ตั้งไว้ได้	2	ตรวจทุกวัน	2	28
19		ความดันของ Air	ความดันของ Air มากหรือน้อยเกินไป	เครื่องจักรไม่สามารถควบคุมการทำงานได้	9	ระบบการตรวจวัดและ Pressure Gauge ชำรุด	1	ตรวจทุกวัน	3	27

4.4.9 วิเคราะห์ผล

จากตารางการวิเคราะห์ FMEA คะแนนรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,199 คะแนน ทำการหาปัจจัยที่สำคัญโดยการจัดเรียงจากปัจจัยที่มีคะแนนจากมากไปหาน้อยตามลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดและสาเหตุของข้อบกพร่องนั้น และพล็อตในรูปของแผนภูมิพาร์โตเพื่อค่อนวโน้มลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงแผนภูมิพาร์โตเรียงลำดับตามคะแนน RPN

จากแผนภูมิพาร์โตพบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์หมีดังนี้

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

ปัจจัยที่ได้เลือกไว้มีทั้งหมด 5 ปัจจัย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีค่า RPN สูง แต่ละปัจจัยมี RPN สูงกว่า 80 คะแนน และมีค่า RPN ของ 5 ปัจจัยที่ได้เลือกไว้เท่ากับ 906 คะแนน จากคะแนน RPN ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1,232 ซึ่งมีสัดส่วนเท่ากับ 73.53% ของคะแนน RPN ทั้งหมดจากนั้นนำปัจจัยสำคัญ

ทั้ง 5 ปัจจัยไปทดสอบสมมติฐานของปัจจัยต่าง ๆ เพื่อยืนยันความมีนัยสำคัญของผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

4.5 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

4.5.1 จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ในแต่ละกระบวนการผลิต พบว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมี P/TV น้อยกว่า 10% ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

4.5.2 ผลการทดลองเพื่อประเมินค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรในสายการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่าหลังจากผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรแล้ว พบว่ากระบวนการอื่นหลังจากสร้างเส้นลายวงจรแล้ว ไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจึงมาจากสาเหตุที่เป็นไปได้ตั้งแต่ กระบวนการอื่นก่อนหน้าการสร้างเส้นลายวงจร และจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรเอง จากกระบวนการดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

4.5.3 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตั้งแต่กระบวนการเตรียมวัตถุดิบและผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนจนถึงกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร โดยใช้ Cause and Effect Matrix และ FMEA ตามลำดับ พบว่าปัจจัยที่มีแนวโน้มมีผลกระทบต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ มี 5 ปัจจัยสำคัญซึ่งมาจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์ มีดังนี้คือ

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

ปัจจัยข้างต้นจะถูกนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในขั้นตอนต่อไป