

การศึกษาปัจจัยเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์



นางสาวสุภาภรณ์ ทองนิล

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6672-6

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY ON FACTORS FOR REDUCING DEFECT OF PRINTED CIRCUIT PROCESS



Miss Supaporn Tongnil

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

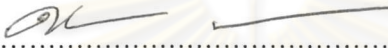
Academic year 2004

ISBN 974-17-6672-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์  
โดย  
สาขาวิชา  
อาจารย์ที่ปรึกษา

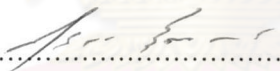
การศึกษาปัจจัยเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์  
นางสาวสุภาภรณ์ ทองนิล  
วิศวกรรมอุตสาหการ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธิวัชรนิช)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์)

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุภาภรณ์ ทองนิล : การศึกษาปัจจัยเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์.  
(A STUDY ON FACTORS FOR REDUCING DEFECT OF PRINTED CIRCUIT  
PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, 185 หน้า. ISBN 974-17-6672-6.

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยนำวิธีการของเครื่องมือทางสถิติต่างๆ มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร(Circuit Width)ของแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในกระบวนการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียนั้นลดลงโดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย Part Per Million (PPM) ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียเท่ากับ 649,019 – 300,000 PPM

ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ มาทั้งหมด 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิตตามลำดับซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำให้ค่าความแปรปรวนลดลงจากเดิม โดยการนำเอาปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้วิธีการของพื้นผิวตอบสนอง(Response Surface Method)ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการแล้ว จึงนำไปวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อทำให้ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เข้าใกล้ค่าเป้าหมายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ลูกค้ากำหนดมากที่สุดที่สามารถทำได้ได้แก่ ค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์  $\text{CuCl}_2$  Solution เท่ากับ 30.00 รอบ/นาที ค่ามุมในการแกว่งของสเปรย์  $\text{CuCl}_2$  Solution เท่ากับ 60.00 องศา ค่าแรงดันของสเปรย์  $\text{CuCl}_2$  Solution เท่ากับ 0.140 เมกกะปาสคาล และ ค่าความเร็วของสายพานใน  $\text{CuCl}_2$  Chamber เท่ากับ 2.133 เมตร/นาที แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ จากนั้นจึงทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสี่ด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นเพียง 594 PPM.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....สุภาภรณ์ ทองนิล.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....



4671442021 : MAJOR INDUSTRY ENGINEERING

KEY WORD : CIRCUIT LINE OUT OF SPECIFICATION IN PRINTED CIRCUIT / DESIGN OF EXPERIMENT / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

SUPAPORN TONGNIL : A STUDY ON FACTORS FOR REDUCING DEFECT OF PRINTED CIRCUIT PROCESS. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.SUTHAS RATANAKUAKANGWAN, 185 pp. ISBN 974-17-6672-6.

The objective of this research presents the quality control by using the statistical tools for reducing the defect in printed circuit process. The statistical methodology is applied to improve process for study the influence factors affected the width of circuit lines of printed circuit products defined by customers. The efficient improvement is measured by the number of defects in Part Per million (PPM) unit. The current process has 649,019 – 300,000 PPM.

The study has been proceeded according to five-phase improvement models of statistical methodology: define phase, measuring phase, analyzing phase, improving phase and controlling phase respectively. The results of the process will determine KPIVs from which the standard deviation and defects in printed circuit process will be reduced. Using 4 KPIVs to experiment by the response surface method in phase of improvement. Analyze to obtain the suitable value of influence factors which the circuit width correspond the customer's specification as speed of  $\text{CuCl}_2$  solution spray is 30 RPM, the oscillation angle of  $\text{CuCl}_2$  solution spray is 60 degree, and the pressure of  $\text{CuCl}_2$  solution spray is 0.14 MPa. and speed in  $\text{CuCl}_2$  chamber is 2.133 m/min. Implementation must be sure of the conformance with the control process by statistical process control. Finally the result of improvement is to reduce the defect to 594 PPM.

Department Industrial Engineering

Field of study Industrial Engineering

Academic year 2004

Student's signature.....*สมรส ทอนิก*.....

Advisor's signature.....*Suthas Ratanak*.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกั้วาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎีหลักการ ตลอดจนคำแนะนำแก้ไขและชี้แจงแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตรและรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ กรรมการสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้วิจัยขอมอบแต่ บิดามารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิต เพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 สภาพปัญหาโดยรวม.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 การนิยามปัญหา.....	26
3.1 การกำหนดทีมงานดำเนินการ.....	26
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต.....	27
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	30
3.4 การกำหนดปัญหา.....	32
3.5 การกำหนดขั้นตอนในการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้.....	34
3.6 สรุปการนิยามปัญหา.....	37

	หน้า
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	38
4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R).....	38
4.2 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาความผันแปรของกระบวนการอื่น.....	52
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix.....	68
4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA).....	77
4.5 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	84
บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	85
5.1 การทดสอบสมมติฐาน.....	85
5.2 สรุปผลขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	113
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไข.....	114
6.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	114
6.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	115
6.3 แบบการทดลอง.....	115
6.4 การเตรียมการทดลอง.....	117
6.5 ขั้นตอนในการทดลอง.....	118
6.6 ดำเนินการทดลอง.....	119
6.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	120
6.8 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Point).....	121
6.9 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง.....	122
6.10 การวิเคราะห์ผลการทดลองการออกแบบส่วนประสมกลาง.....	126
6.11 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	129



	หน้า
บทที่ 7 การทดสอบและยืนยันผล.....	130
7.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....	130
7.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	131
7.3 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน.....	134
บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	135
8.1 แผนการควบคุม.....	135
8.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	143
8.3 สรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	149
บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	150
9.1 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	150
9.2 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน.....	152
9.3 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	153
9.4 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	153
9.5 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	154
9.6 ข้อเสนอแนะ.....	155
9.7 ประโยชน์ในทางประยุกต์ผลวิจัยที่ได้.....	156
9.8 บทเรียนและอุปสรรคจากการทำวิจัย.....	156
รายการอ้างอิง.....	157
ภาคผนวก.....	159
ภาคผนวก ก การคำนวณความสามารถของกระบวนการผลิต.....	160
ภาคผนวก ข ผลศึกษาระบบการวัด.....	162
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปร.....	166
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบสมมติฐาน.....	167
ภาคผนวก จ ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ.....	173
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบยืนยัน.....	177

สารบัญ (ต่อ)

ญ

หน้า

ภาคผนวก ข ข้อมูลหลังการปรับปรุงการผลิต..... 182

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 185



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ฎ

ตาราง	หน้า
3.1 แสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ.....	35
4.1 ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจรด้วยเครื่อง SmartVision.....	40
4.2 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจรด้วยเครื่อง Smart Vision.....	41
4.3 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจรด้วยเครื่อง Micro Vision.....	43
4.4 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของเส้นลายวงจรด้วยเครื่อง Micro Vision.....	44
4.5 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบ ค่าวัดความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร.....	48
4.6 ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จาก Smart Vision และ Micro Vision.....	51
4.7 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จาก Smart Vision และ Micro Vision.....	51
4.8 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบ ค่าวัดความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร.....	54
4.9 แสดงการทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยการทดสอบ Anderson-Daring.....	60
4.10 การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าขนาดความกว้างของเส้นลาย วงจรหลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและทำความสะอาดเส้นลายวงจร.....	61
4.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าขนาดความกว้างของเส้นลาย วงจรหลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรและชุบทองด้วยไฟฟ้า.....	62
4.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าขนาดความกว้างของเส้นลาย วงจรหลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้าและตรวจสอบขั้นสุดท้าย.....	63
4.13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าขนาดความกว้าง ของเส้นลาย วงจรหลังกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและทำความสะอาดเส้นลายวงจร.....	64
4.14 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าขนาดความกว้างของเส้นลายวงจร หลังกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจรและชุบทองด้วยไฟฟ้า.....	65
4.15 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าขนาดความกว้างของลายวงจร หลังกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้าและกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย.....	66
4.16 ค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลต่อข้อกำหนดเฉพาะลูกค้า.....	69

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ฎ

ตาราง	หน้า
4.17 แสดงตาราง Cause and Effect Matrix.....	71
4.18 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้จาก Cause and Effect Matrix.....	76
4.19 ผลการวิเคราะห์ FMEA.....	80
5.1 แสดงค่าการปรับในแต่ละระดับปัจจัย.....	87
5.2 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐาน.....	91
5.3 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอัตราการแกว่ง ของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	100
5.4 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	100
5.5 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่ามุมของการแกว่ง ของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	103
5.6 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่ามุมของแกว่งของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	103
5.7 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าแรงดันของ สเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	106
5.8 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าแรงดันของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	106
5.9 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าความเร็วของสายพาน ใน CuCl <sub>2</sub> Chamber.....	109
5.10 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าความเร็วของสายพานใน CuCl <sub>2</sub> Chamber.....	109
5.11 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากค่าอุณหภูมิของ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	112
5.12 แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากค่าอุณหภูมิของ CuCl <sub>2</sub> Solution.....	112
6.1 แสดงค่าระดับปัจจัยในการทดลอง.....	114
6.2 แสดงการคำนวณจำนวนการทำซ้ำด้วยโปรแกรม MINITAB.....	117
6.3 ตารางแสดงผลการทดลอง.....	119
6.4 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง ( Code Unit).....	120



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ฐ

ตาราง	หน้า
6.5 ตารางแสดงผลการทดลอง.....	121
6.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Code Unit) ของการออกแบบการทดลองแบบ ส่วนประสมกลาง.....	126
7.1 แสดงข้อมูลก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงกระบวนการ.....	134
8.1 แสดงแบบฟอร์มการบันทึกผลหลังการตรวจสอบเครื่องจักรก่อนป้อนชิ้นงาน.....	141
9.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน.....	152



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 ลักษณะของ Short Defect ที่เชื่อมต่อกัน (Cross section Picture).....	2
1.2 แสดงลักษณะของ Short Defect ที่เชื่อมต่อกัน (Cross section Picture).....	3
1.3 แสดง Process Capability ของเส้นลายวงจรด้านล่าง.....	3
3.1 แสดงเส้นลายวงจรของแผ่นวงจรพิมพ์.....	28
3.2 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่กระบวนการ สร้างเส้นลายวงจรพิมพ์.....	31
3.3 แสดงยอดการสั่งซื้อในแต่ละผลิตภัณฑ์.....	32
3.4 ปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือน ในแต่ละผลิตภัณฑ์และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น.....	33
3.5 ลำดับของ Defect ในหน่วย Pieces เฉลี่ยต่อเดือน.....	34
4.1 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของขนาด ของเส้นลายวงจรด้วยเครื่องวัด Smart Vision.....	42
4.2 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของขนาด ของเส้นลายวงจรด้วยเครื่องวัด Micro Vision.....	45
4.3 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรที่กระบวนการ สร้างเส้นลายวงจรพิมพ์ (มาจากบทที่ 1).....	47
4.4 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าวัดความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร ของเครื่องวัด Smart Vision.....	49
4.5 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าวัดความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร ของเครื่องวัด Micro Vision.....	50
4.6 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....	55
4.7 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร(Etching Process).....	56
4.8 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร(Etching Process).....	57
4.9 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการชุบทองด้วยไฟฟ้า(Plating Process).....	58
4.10 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Process).....	59
4.11 แสดงแผนภูมิสาเหตุและผลของปัญหาขนาดของเส้นลายวงจรพิมพ์ไม่ได้ตามที่กำหนด..	70
4.12 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างจากการวิเคราะห์ด้วย Cause and Effect Matrix.....	75
4.13 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับตามคะแนน RPN.....	83

ภาพประกอบ	หน้า
5.1 ขั้นตอนการทดลองสำหรับอัตราการแกว่งของสเปรย์ของCuCl <sub>2</sub> Solution ใน กระบวนการสร้างเส้นลายวงจร.....	93
5.2 ขั้นตอนการทดลองสำหรับมุมในการแกว่งของสเปรย์ของCuCl <sub>2</sub> Solution ใน กระบวนการสร้างเส้นลายวงจร.....	94
5.3 ขั้นตอนการทดลองสำหรับแรงดันของสเปรย์ของCuCl <sub>2</sub> Solution ในกระบวนการสร้าง เส้นลายวงจร.....	95
5.4 ขั้นตอนการทดลองสำหรับความเร็วของสายพานของเครื่องจักรในกระบวนการ สร้างเส้นลายวงจร.....	97
5.5 ขั้นตอนการทดลองสำหรับอุณหภูมิของ CuCl <sub>2</sub> Solution ในกระบวนการสร้างเส้นลาย วงจร.....	97
5.6 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ก) อัตราการแกว่ง ของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution ระดับที่ 1 ข) อัตราการแกว่งของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution ระดับที่ .....	99
5.7 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ (ก) มุมของการ แกว่งของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (ข) มุมของการแกว่งของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2.....	102
5.8 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ แรงดันของ สเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ (ข) แรงดันของสเปรย์ CuCl <sub>2</sub> Solution ที่ใช้ที่ ระดับที่ 2.....	105
5.9 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ความเร็วของ สายพานในCuCl <sub>2</sub> Chamberที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (ข) ความเร็วของสายพานใน CuCl <sub>2</sub> Chamber ที่ใช้ที่ระดับที่ 2.....	108
5.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ อุณหภูมิของ CuCl <sub>2</sub> Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 1 (ข) อุณหภูมิของCuCl <sub>2</sub> Solution ที่ใช้ที่ระดับที่ 2.....	111
6.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	118
6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	123
6.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	124
6.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟีด.....	125
6.5 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	128



บทที่	หน้า
7.1 กราฟแสดงการกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์.....	131
7.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรมิมพ์.....	132
7.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ไม่ได้ตาม ข้อกำหนดในแต่ละปัจจัย.....	133
8.1 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์CuCl <sub>2</sub> Solution ไม่ได้ตาม ข้อกำหนด.....	137
8.2 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อค่ามุมของการแกว่งของสเปรย์CuCl <sub>2</sub> Solution ไม่ได้ตาม ข้อกำหนด.....	138
8.3 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อค่าแรงดันของสเปรย์CuCl <sub>2</sub> Solution ไม่ได้ตามข้อกำหนด.....	139
8.4 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อค่าแรงดันของสเปรย์CuCl <sub>2</sub> Solution ไม่ได้ตามข้อกำหนด.....	140
8.5 กราฟแสดง X and R Chart ของค่าความกว้างของเส้นลายวงจรมิมพ์ของเดือน พฤศจิกายน 2547.....	144
8.6 กราฟแสดง X and R Chart ของค่าความกว้างของเส้นลายวงจรมิมพ์ของเดือน ธันวาคม 2547.....	144
8.7 การกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ของเดือน พฤศจิกายน 2547...	145
8.8 การกระจายของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์ของเดือน ธันวาคม 2547.....	146
8.9 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงใน เดือนพฤศจิกายน 2547 .....	147
8.10 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงใน เดือน ธันวาคม 2547 .....	147
8.11 สัดส่วนของเสียของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรมิมพ์เมื่อเป้าหมายของ ผลิตภัณฑ์วงจรมิมพ์มีขนาดความกว้างของเส้นลายวงจรมิมพ์เท่ากับ 0.055 มิลลิเมตร ไม่ได้ตามข้อกำหนด.....	148