

การศึกษากระบวนการปมเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน



นางสาวพรรัตน์ จตุพรพรรณยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A STUDY ON CURING PROCESS FOR THE PRODUCTION IMPROVEMENT
OF FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT BOARD MANUFACTURING**



Miss Phomrat Chatupompanya

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษากระบวนการบ่มเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

โดย

นางสาวพรรณี จตุพรพรณยา

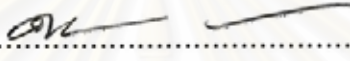
สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา


ศาสตราจารย์ ดร. สิริจันทร์ ทองประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ชিরัก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. สิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

ปี ๒๕๖๕
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิทวงศ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตติดเจริญ)

พรรค์น จตุพรพรรณษา : การศึกษากระบวนการบ่มเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน. (A STUDY ON CURING PROCESS FOR THE PRODUCTION IMPROVEMENT OF FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT BOARD MANUFACTURING) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 188 หน้า.

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยเพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์โดยศึกษาปัจจัยที่กระบวนการบ่ม อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของกระบวนการบ่ม โดยนำวิธีการของเครื่องมือทางสถิติต่างๆ มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มปริมาณการผลิตที่กระบวนการบ่ม โดยต้องผ่านข้อกำหนดด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว ค่า Peel Strength ค่า Solder Heat Resistance ค่า Cross Section และค่าความต้านทานไฟฟ้า และหาสภาวะหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมดังกล่าวที่สามารถนำไปใช้จริงได้กับกระบวนการผลิต ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณการผลิตต่อเดือนเท่ากับ 2,240 ล็อต

ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ มาทั้งหมด 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต สำหรับการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการแบ่งเป็น 2 การทดลอง ที่นำเอาปัจจัยที่มีผลต่อข้อจำกัดของกระบวนการบ่ม ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 โดยการออกแบบการทดลอง และการทดลองที่ 2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง จากการวิจัยพบว่าการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองการทดลองสามารถเพิ่มปริมาณการผลิต แต่ต้องทำการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับของผลิตภัณฑ์ก่อน เนื่องจากค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ได้ตามข้อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทำการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับจากทางแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์แล้วนำมาทำการทดสอบและยืนยันคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกครั้งก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ จากนั้นจึงทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสี่ด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 3,830 ล็อตต่อเดือน ซึ่งคิดเป็น 70.98 เปอร์เซ็นต์ และงานรอกผลิตของกระบวนการบ่มลดลงด้วย โดยเลือกการทดลองการเปลี่ยนแปลงการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง ไปใช้งานจริงในกระบวนการบ่ม

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2549

ลายมือชื่อนิสิต.....พรรค์น จตุพรพรรณษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4771433521 : MAJOR INDUSTRY ENGINEERING

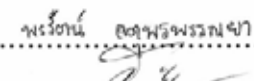
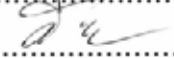
KEY WORD : FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT / DESIGN OF EXPERIMENT / CURING PROCESS / PRODUCTION IMPROVEMENT

PHORN RAT CHATUPORN PANYA : A STUDY ON CURING PROCESS FOR THE PRODUCTION IMPROVEMENT OF FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT BOARD MANUFACTURING. THESIS ADVISOR : PROF. SIRICHAN THONGPRASERT, Ph.D., 188 pp.

The objective of this research is to improve the production capacity by studying curing process which is the bottle neck of the production process. The statistical methodology is used in identifying the influence factors affected this process. The product properties after improvement must be within the required specifications in terms of : %dimension stability changing, peel strength, solder heat resistance, cross section and electricity resistance. The production performance indicator is measured by the number of the production quantity in lot unit which is currently current process has 2,240 lots per month.

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. Two experiments are carried out during the improving phase. First experiment is the study of curing structure changing at 2nd Curing process by using Design of Experiment (DOE). And second experiment is the study one time curing from two time curing. The result of process both study can be used for production improvement in Curing process but the dimension of the master film of product has to be changed in order to meet the product specifications. After master film compensating, implementation must be ensure of the conformance with control process by statistical process control. After the improvement, the production capacity is 3,830 lots per month which is about 70% increase in production and the waiting time of work in process is reduced, also.

Department Industrial Engineering
 Field of study Industrial Engineering
 Academic year 2006

Student's signature..... .....
 Advisor's signature..... .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทาง ทฤษฎี หลักการ ตลอดจนคำแนะนำแก้ไขและชี้แจงแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี และขอ กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์และดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ กรรมการสอบในวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้วิจัยขอมอบแต่ บิดา มารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิต เพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณา ให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัยดำเนินงาน.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.6 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	9
2.2 โพลีเมอร์ (Polymer).....	11
2.3 กระบวนการ DMAIC.....	18
2.4 ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา(Define Phase).....	20
2.5 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา(Measure Phase).....	22
2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา(Analysis Phase).....	28
2.7 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ(Improve Phase).....	29
2.8 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต(Control Phase).....	32

	หน้า
บทที่ 3 นิยามปัญหา.....	36
31 การกำหนดทีมงาน.....	36
32 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทตัวอย่างในการวิจัย.....	37
33 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	38
34 กระบวนการบ่มของการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	40
35 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	50
36 การกำหนดปัญหา.....	51
37 คุณสมบัติที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ของแผ่นวงจรพิมพ์.....	55
38 การกำหนดขั้นตอนในการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้.....	57
39 สรุปขั้นตอนการนิยามปัญหา.....	60
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	61
41 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R).....	61
42 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาความผันแปรของกระบวนการอื่น.....	73
43 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	83
บทที่ 5 การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.....	85
51 ความสามารถของกระบวนการบ่มในปัจจุบัน.....	86
52 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2.....	88
53 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง.....	105
54 สรุปขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.....	113
บทที่ 6 การทดสอบและยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง.....	116
61 ขั้นตอนการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ.....	116
62 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....	118
63 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	118
64 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน.....	127

สารบัญ (ต่อ)

ฉ

	หน้า
บทที่ 7 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	128
7.1 แผนการควบคุม.....	128
7.2 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และความกว้าง.....	130
7.3 การควบคุมสำหรับคุณสมบัติอื่นๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	145
7.4 สรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	146
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	147
8.1 บทสรุปขั้นตอนการนิยามปัญหา.....	147
8.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	147
8.3 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	149
8.4 บทสรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต.....	149
8.5 ข้อจำกัดในการวิจัย.....	150
8.6 ข้อเสนอแนะ.....	151
รายการอ้างอิง.....	153
ภาคผนวก.....	155
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาระบบการวัด.....	156
ภาคผนวก ข ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ.....	161
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบยืนยัน.....	166
ภาคผนวก ง ข้อมูลหลังการปรับปรุงการผลิต.....	175
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	188

สารบัญตาราง

ญ

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงจำนวนรอบที่ผลิตได้ในแต่ละวันของกระบวนการบ่ม.....	2
2.1 แสดงจุดคล้ายแก้ว (T_g) และจุดหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเมอร์ที่สำคัญ (หน่วย °C).....	15
3.1 คุณสมบัติของ Cushion Material ในกระบวนการบ่ม.....	49
3.2 แสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่าง ๆ.....	58
4.1 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.1	63
4.2 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-dimension no.1	63
4.3 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.2	65
4.4 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.2	66
4.5 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์.....	69
4.6 ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จากเครื่อง 3-Dimension no.1 และ no.2	71
4.7 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จากเครื่อง 3-Dimension no.1 และ no.2	72
4.8 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์.....	74
4.9 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	79
4.10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรมพิมพ์ หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย.....	80
4.11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรมพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	82
4.12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรมพิมพ์หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย.....	82
5.1 แสดงตัวแปรตอบสนองและค่าที่ใช้ในการศึกษา.....	87
5.2 แสดงค่าระดับปัจจัยในการทดลอง.....	91
5.3 แสดงสภาวะของการทดลอง.....	95

สารบัญตาราง(ต่อ)

ฉ

ตาราง	หน้า
5.4 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง.....	96
5.5 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว.....	97
5.6 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง.....	97
5.7 แสดงผลการวิเคราะห์ของการบ่มภายในครั้งเดียว.....	107
5.8 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว.....	110
5.9 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง.....	111
5.10 แสดงเวลาที่ใช้และจำนวนล้อยอดที่ได้ของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2(สภาวะปัจจุบัน).....	113
5.11 แสดงเวลาที่ใช้และจำนวนล้อยอดที่ได้ของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 (จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง).....	113
5.12 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของกระบวนการบ่มสภาวะปัจจุบันกับการทดลอง การเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง.....	114
5.13 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของการบ่มครั้งที่ 2.....	114
5.14 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของการบ่มของผลิตภัณฑ์.....	115
6.1 แสดงการคำนวณเพื่อแก้ไขค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างของฟิล์มต้นฉบับจาก ผลการทดลองหัวข้อที่ 5.2.....	117
6.2 แสดงการคำนวณเพื่อแก้ไขค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างของฟิล์มต้นฉบับจาก ผลการทดลองหัวข้อที่ 5.3.....	117
6.3 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลอง หัวข้อที่ 5.2.....	123
6.4 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลอง หัวข้อที่ 5.3.....	124
6.5 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลอง หัวข้อที่ 5.2.....	124
6.6 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลอง หัวข้อที่ 5.3.....	125
6.7 แสดงผลค่าของคุณสมบัติทั่วไปจากการทดสอบยืนยัน.....	125
6.8 เปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ โครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2.....	126

สารบัญตาราง(ต่อ)

ฉ

ตาราง	หน้า
6.9 เปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลง กระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง.....	127
7.1 แสดงแบบฟอร์มการบันทึกผลหลังการตรวจสอบสถานะของการบ่ม.....	129
7.2 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวในเดือนกันยายนถึง ธันวาคม 2549	140
7.3 แสดงคุณสมบัติอื่นๆของแผ่นวงจรพิมพ์จากช่วงการควบคุมการผลิตในเดือนกันยายนถึง ธันวาคม 2549	146



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	2
1.2 แสดงตัวอย่างแผ่นทองแดง 1 แผ่นของการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน ซึ่งมี แผ่นวงจรพิมพ์ 8 ตัว.....	3
1.3 จำนวนการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน โดยแบ่งตามจำนวนครั้งที่ผ่าน กระบวนการบ่ม.....	4
21 ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	9
22 ภาพตัดขวางของเส้นลายวงจรหน้าเดียว.....	10
23 ภาพตัดขวางของเส้นลายวงจรสองหน้า.....	10
24 Copper Clad Laminate ซึ่งประกอบไปด้วยทองแดงและ Base Film	10
25 Coverlay Film	11
26 รูปร่างโครงสร้างโมเลกุลของโพลีเมอร์.....	13
27 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปของโพลีเมอร์ออสติฐาน.....	15
28 โครงสร้างของ Thermoplastic และ Thermosetting	16
29 การเกิด Crosslinking ระหว่างอะตอมของ Sulfur กับสายโซ่ของ Polyisoprene	16
210 การเปลี่ยนแปลงของ Polymer ก่อนและหลังจาก Crosslinking	17
31 แสดงกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน.....	38
32 ส่วนประกอบของ Coverlay Film	40
33 ภาพตัดขวางของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนหลังจากผ่านกระบวนการบ่ม.....	41
34 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการบ่ม.....	42
35 ฟังแสดงการทำงานของกระบวนการบ่ม.....	43
36 Hot Press Machine และ Support Unit	45
37 แสดงโครงสร้าง 1 Cycle Time ของกระบวนการบ่ม.....	46
38 กระบวนการ 1 Cycle Time ของกระบวนการบ่ม.....	46
39 Profile ของอุณหภูมิของแต่ละ Layer	47
310 โครงสร้างของ Cushion Material กรณีของ Single Side Product	48
311 โครงสร้างของ Cushion Material กรณีของ Double Side Product	49
312 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการผลิตกับกำลังการผลิตของ กระบวนการบ่ม.....	50

ภาพประกอบ	หน้า
313 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการผลิตกับกำลังการผลิตของ กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	51
314 แสดงยอดการสั่งซื้อในแต่ละผลิตภัณฑ์.....	52
315 แสดงแผนภูมิสาเหตุและผลของปัญหาจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่ม.....	53
316 แสดงขนาดความกว้าง(TD)และความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนตัวอย่าง.....	56
317 แสดงลักษณะของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความกว้าง และความยาว.....	57
41 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่า การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.1.....	64
42 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่า การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องวัด 3-Dimension no.2.....	66
43 ความสามารถของกระบวนการค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของกระบวนการบ่ม	69
44 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของ แผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่อง 3-Dimension no.1.....	70
45 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของ แผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่อง 3-Dimension no.2.....	71
46 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบความแปรปรวนจากเครื่องวัด 3-Dimension no.1 และ no.2.	72
47 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง.....	76
48 แสดงฮีสโตแกรมของกระบวนการบ่ม (Curing Process).....	77
49 แสดงฮีสโตแกรมของกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า(Surface Treatment Process).....	77
410 แสดงฮีสโตแกรมของกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย.....	78
411 แสดงกราฟ Box Plot ของการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวน การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและ การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	79
412 แสดงกราฟ Box Plot ของการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวน การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า และการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย.....	81
51 โครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการบ่มครั้งที่ 1 และ 2 ตามปกติ.....	86

ภาพประกอบ	หน้า
5.2 ความสามารถของกระบวนการของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของกระบวนการบ่ม...	87
5.3 ความสามารถของกระบวนการของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของกระบวนการบ่ม.....	88
5.4 ต้นแบบของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 ที่ทำการทดลอง.....	89
5.5 ตำแหน่งของโครงสร้างทั้งหมดของกระบวนการบ่มหลังจากเตรียมวัตถุดิบเสร็จ.....	90
5.6 แสดงการทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3 ²	92
5.7 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่ม.....	94
5.8 แสดงผลหลักของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลง ความยาว.....	98
5.9 แสดงผลหลักของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลง ความกว้าง.....	98
5.10 แสดงอันตรกิริยาของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลง ความยาว.....	99
5.11 แสดงอันตรกิริยาของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลง ความกว้าง.....	99
5.12 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว.....	101
5.13 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง...101	
5.14 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว.....	102
5.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง.....	103
5.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว.....	104
5.17 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง.....	104
5.18 กระบวนการบ่มแบบปัจจุบันและแบบที่จะทำการทดลอง.....	106
5.19 แสดงฮีสโตแกรมของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลองบ่มครั้งเดียว.....	108
5.20 แสดงฮีสโตแกรมของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลองบ่มครั้งเดียว.....	109
5.21 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลอง.....	109
5.22 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลอง...110	

ภาพประกอบ	หน้า
5.23 กราฟแสดงบ็อกพล็อตของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลอง.....	111
5.24 กราฟแสดงบ็อกพล็อตของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลอง.....	112
6.1 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2.....	119
6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3.....	119
6.3 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2.....	120
6.4 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3.....	120
6.5 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม (ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2).....	121
6.6 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม (ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3).....	122
6.7 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม (ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2).....	122
6.8 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม (ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3).....	123
7.1 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนกันยายน 2549.....	132
7.2 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนตุลาคม 2549.....	132
7.3 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนพฤศจิกายน 2549.....	133
7.4 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนธันวาคม 2549.....	133
7.5 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนกันยายน 2549.....	134
7.6 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนตุลาคม 2549.....	134
7.7 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนพฤศจิกายน 2549.....	135

ภาพประกอบ	หน้า
7.8 กราฟแสดง X bar - R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนธันวาคม 2549.....	135
7.9 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนกันยายน 2549.....	136
7.10 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนตุลาคม 2549.....	136
7.11 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนพฤศจิกายน 2549.....	137
7.12 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนธันวาคม 2549.....	137
7.13 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนกันยายน 2549.....	138
7.14 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนตุลาคม 2549.....	138
7.15 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนพฤศจิกายน 2549.....	139
7.16 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ ของเดือนธันวาคม 2549.....	139
7.17 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนกันยายน 2549.....	141
7.18 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนตุลาคม 2549.....	141
7.19 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนพฤศจิกายน 2549.....	142
7.20 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนธันวาคม 2549.....	142
7.21 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนกันยายน 2549.....	143

ภาพประกอบ	หน้า
7.22 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนตุลาคม 2549.....	143
7.23 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนพฤศจิกายน 2549.....	144
7.24 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนธันวาคม 2549.....	144



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์มีการแข่งขันกันสูงมากและมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องอันเนื่องมาจากมีความต้องการของตลาดมากขึ้นการเติบโตของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลกและในประเทศ ประกอบกับการเริ่มฟื้นตัวของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลกเมื่อกลางปี 2546 มีการใช้และพัฒนาเทคโนโลยีที่สูงขึ้นให้สามารถมีการใช้งานในฟังก์ชันที่มากขึ้นกว่าในอดีต และสามารถที่จะสร้างจุดเด่นของสินค้าให้แข่งขันกับบริษัทอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกันได้มากขึ้นทำให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์พยายามหาผู้ลงทุนในต่างประเทศที่มีแรงงานราคาถูกและมีบุคลากรที่มีคุณภาพ เพื่อลดต้นทุนของสินค้า การเติบโตดังกล่าวนี้ส่งผลให้อุตสาหกรรมแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนขยายตัวเพิ่มขึ้น สำหรับการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีขนาดเล็กและมีราคาต่อหน่วยไม่มากนัก จึงเน้นที่ปริมาณการขายให้กับลูกค้าเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะให้ได้กำไรสูงสุด

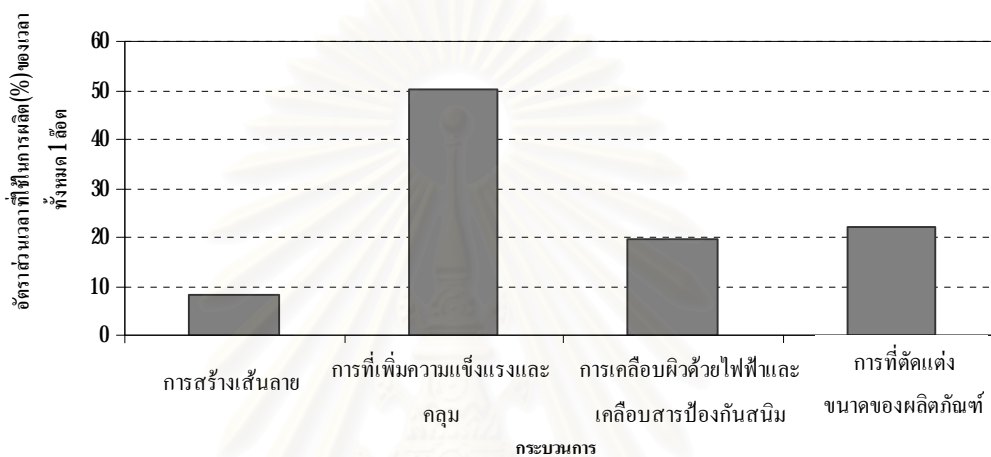
ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อสนองต่อความต้องการที่มากขึ้น สำหรับวิธีการที่จะเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้มากขึ้นนั้นมีหลายวิธี เช่น การลดเปอร์เซ็นต์ของเสีย การปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตของแต่ละกระบวนการผลิต การปรับปรุงการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับความสามารถในการผลิตจริง เป็นต้น ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ปริมาณการผลิตที่ได้มีมากขึ้น

สำหรับกระบวนการบ่ม (Curing Process) ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนนั้น กระบวนการนี้จะเป็กระบวนการที่ใช้เวลาในการผลิตนานที่สุด การปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในกระบวนการนี้ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากสภาวะการทำงานของเครื่องจักรและวิธีการทำงาน เช่น เวลาการทำงาน 1 รอบของเครื่องจักร ปริมาณการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนใน 1 รอบของเครื่องจักร เป็นต้น

ในปีที่บริษัทมีนโยบายที่จะเพิ่มกำลังการผลิตและคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ให้มากขึ้น โดยมีการตั้งเป้าหมายการผลิตที่ได้และจำนวนเปอร์เซ็นต์ของเสียในแต่ละเดือน จึงมีความจำเป็นต้องทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาแนวทางต่างๆ เพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตในกระบวนการบ่มและได้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีคุณภาพ โดยนำแนวทางการปรับปรุงที่ได้จากการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่มีมากขึ้นในอนาคต

เนื่องจากแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนหลังจากที่ผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรขึ้นแล้ว ต้องเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนด้วยกระบวนการบ่มซึ่งเป็นกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงและคลุมเส้นลายวงจรด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนและความดันสูง โดยเวลาการผลิตในส่วนนี้จะใช้เวลานานที่สุด เมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

กราฟแสดงเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ของ 4 กระบวนการหลัก



รูปที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

ปัจจุบันการเพิ่มจำนวนการผลิตในส่วนนี้ยังพบปัญหา เนื่องจากมีข้อจำกัดดังนี้

1) จำนวนรอบที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ซึ่งถูกกำหนดจากเวลาที่ใช้ในแต่ละรอบของเครื่องจักร รายละเอียดดังตารางที่ 1.1

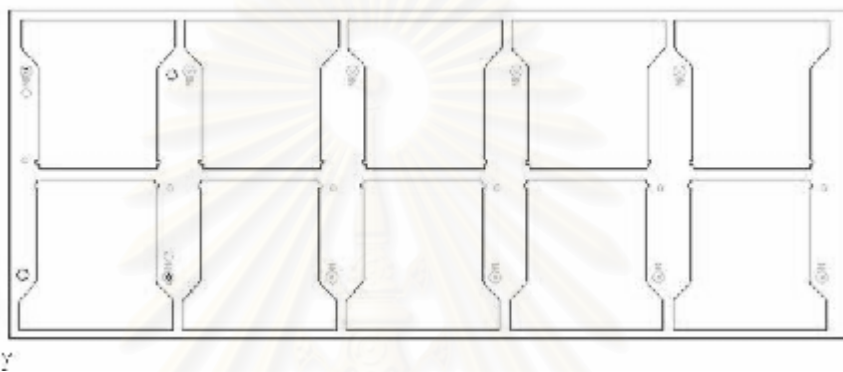
ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนรอบที่ผลิตได้ในแต่ละวันของกระบวนการบ่ม

เวลาที่ใช้ (นาที)				จำนวนรอบ		
เครื่องจักรทำงาน (เวลาในการบ่ม)	เตรียมงานเข้า	รวม	1 กะ	1 กะ	1 กะ	1 วัน
	และเอางานออก	1 รอบ		(คำนวณ)	(ปัจจุบัน)	(ปัจจุบัน)
59	25	84	720	857	8	16

การหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการบ่ม เพื่อเพิ่มจำนวนรอบที่ผลิตได้ในแต่ละวันไม่สามารถที่จะทำได้ เนื่องจากจำนวนรอบที่ใช้เป็นจำนวนรอบที่มากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถที่จะทำงานได้แล้วไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2) จำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรอบ ซึ่งถูกกำหนดโดยลักษณะของเครื่องจักรและสถานะ ที่ใช้ในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยจะเฉพาะเจาะจงในแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสถานะ ดังกล่าว ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ เวลา โครงสร้างการป้อน

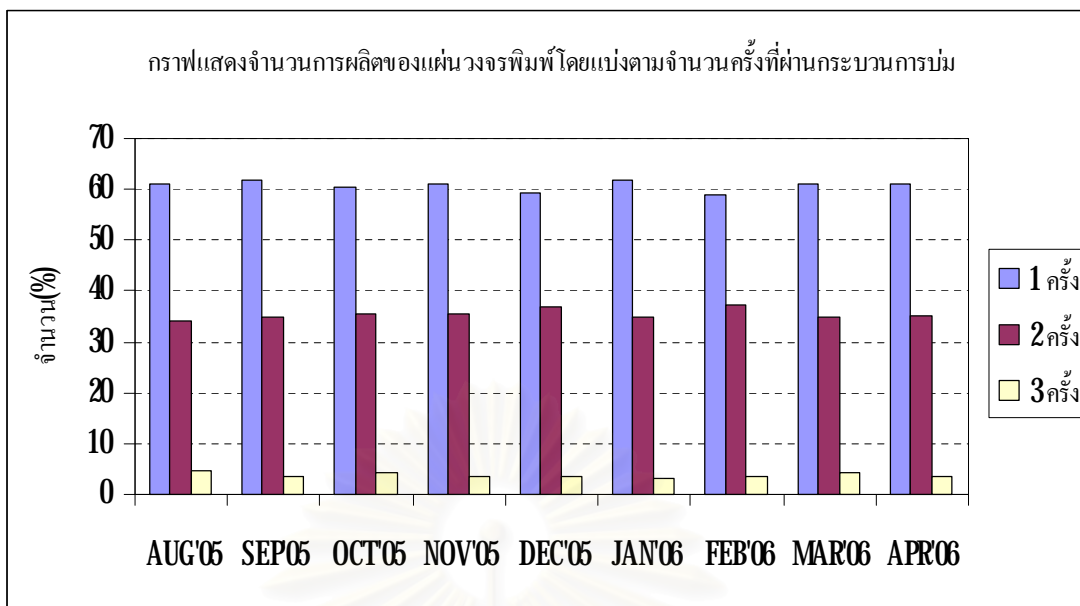
เนื่องจากการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์นั้นการออกแบบการผลิตจะออกแบบ 1 แผ่นของทองแดงซึ่งมีความยาว 250 มิลลิเมตร ความกว้าง 500 มิลลิเมตร จะออกแบบให้มีจำนวนผลิตภัณฑ์หลายๆ ตัว ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงตัวอย่างแผ่นทองแดง 1 แผ่นของการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน ซึ่งมีแผ่นวงจรพิมพ์ 8 ตัว

การออกแบบจำนวนแผ่นวงจรพิมพ์ต่อ 1 แผ่นทองแดงจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของแต่ละชนิดของแผ่นวงจรพิมพ์นั้นๆ และการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาจะเป็นแบบล๊อต โดยแต่ละล๊อตจะมีแผ่นทองแดงทั้งหมด 48 แผ่น 1 รอบการทำงานของกระบวนการป้อนจะสามารบบ่มแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนได้ 25 ล๊อต ดังนั้น 1 วันจะได้ทั้งหมด 40 ล๊อตต่อ 1 เครื่องจักร

3) จำนวนครั้งที่ต้องผ่านกระบวนการป้อน โดยในส่วนนี้จะขึ้นกับลักษณะของผลิตภัณฑ์และวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ต้องการให้คลุมเส้นลวดวงจร ซึ่งแผ่นวงจรพิมพ์บางผลิตภัณฑ์จะผ่านกระบวนการนี้แค่ 1 ครั้ง บางผลิตภัณฑ์อาจจะต้องผ่าน 2 หรือ 3 ครั้ง โดยในส่วนนี้จะขึ้นกับความหนาของแผ่นทองแดงและวัสดุ และความกว้างของเส้นลวดวงจรด้วย ถ้าจำนวนครั้งได้รับการออกแบบไม่เหมาะสมจะมีผลต่อคุณภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้



รูปที่ 1.3 จำนวนการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนโดยแบ่งตามจำนวนครั้งที่ผ่านกระบวนการบ่ม

จากข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้นทำให้กำลังการผลิตส่วนนี้ยังไม่มากพอ ประกอบกับทั้งเวลาการผลิตที่ค่อนข้างนาน ปัจจุบันกำลังการผลิตส่วนหนึ่งถูกกำหนดโดยมาตรฐานของกระบวนการ วัสดุดิบที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์และลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในส่วนของมาตรฐานกระบวนการบ่มนั้น จะบอกความสามารถในการผลิตของกระบวนการซึ่งใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการออกแบบการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนแต่ละชนิดตั้งแต่กระบวนการแรกที่เป็นวัสดุดิบจนถึงกระบวนการสุดท้ายที่ได้เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนส่งให้ลูกค้า ซึ่งมาตรฐานนี้จะเป็นตัวกำหนดสภาวะและวิธีการทำงานของกระบวนการบ่ม แต่วิธีการทำงานและสภาวะที่ใช้จะมีผลทำให้ปริมาณการผลิตที่ได้มีไม่มากเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องจักร

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์โดยศึกษาปัจจัยที่กระบวนการบ่ม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการบ่มของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

1.32 สำหรับแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่ต้องการปรับปรุงคือ แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีด้านลายวงจรเพียงด้านเดียว(**Single side product**) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบ คือ **EPP-368** มีขนาด **250 X 500** มิลลิเมตร เพื่อช่วยในการปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงาน โดยวัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงด้วยค่า ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และ ค่าความต้านทานไฟฟ้า

1.33 ศึกษาเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิต ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างการบ่มและจำนวนครั้งของการบ่ม

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัยดำเนินงาน

1.41 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.42 การนิยามปัญหา

ก) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงกำลังการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนเส้นลายวงจรพิมพ์

ข) กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ค) พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

ง) กำหนดขอบเขตของงานวิจัย

จ) กำหนดระยะเวลาในการวิจัย

1.43 การวัดเพื่อกำหนดปัญหา

ก) ศึกษากระบวนการบ่ม

ข) วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และ ค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นคุณสมบัติเฉพาะของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่กระบวนการบ่ม

ค) วิเคราะห์ผลและเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

1.44 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ก) ทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น **ANOVA, Hypothesis Test** เป็นต้น

ข) วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นต่อไป

ค) สรุปผลและวางแผนในขั้นต่อไป

1.45 เข้าทดลองและวิเคราะห์ปรับปรุงวิธีการหรือกระบวนการ

ก) ออกแบบการทดลอง (**Design of Experiment**) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงผันแปรระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ

- กำหนดระดับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญแต่ละตัว

ข) พิจารณาเลือกแบบการทดลอง

ค) พิจารณานาขนาดของสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ง) ตัวแปรของกระบวนการอื่นๆ และพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ในการทดลอง

ฉ) ขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล

ช) ทดลองตามแผนการที่วางไว้

ซ) เก็บรวบรวมข้อมูล

ณ) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.46 ทดสอบและติดตามผลการดำเนินการหลังการปรับปรุง

ก) ทดสอบความถูกต้อง เพื่อยืนยันผลสรุปที่ได้

ข) นำผลที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิต

1.47 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.48 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกำลังการผลิตของกระบวนการบ่ม
2. ลดต้นทุนของการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนในส่วนของการบ่ม

1.6 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.61 นवलพรรณ ใจงาม (2543)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการวิจัยเกี่ยวกับการลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแส ไฟฟ้าสถิตย์ในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทาง **Six Sigma** โดยหลังจากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าอัตราส่วนข้อบกพร่องจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ลดลงจาก **31,600 DPPM** เป็น **7,890 DPPM** หรือเมื่อเทียบในจากระดับ **3.36** เป็น **3.91** แล้วสามารถลดค่าเสียหาย และได้รับผลประโยชน์ตอบแทน จากการปรับปรุงคุณภาพ **163,999** ดอลลาร์สหรัฐ ภายในระยะเวลา **2** ไตรมาส

1.62 ทิพรชัย ปราการพิลาศ (2541)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการวิเคราะห์ความสามารถในการผลิต โดยมุ่งที่จะลดจุดบกพร่องในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นลายวงจรพิมพ์ ภายใต้หลักการจัดการ **3M** ได้แก่ คน (**Man**) วิธีการ (**Method**) และเครื่องจักร(**Machine**) โดยพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่มักเกิดจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมกับความสามารถในการผลิต ซึ่งได้ทำการกำหนดแนวทางการปรับปรุงโดยทำการเปลี่ยนแปลงด้านการออกแบบ และการเปลี่ยนวิธีการทำงาน ซึ่งทำให้สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของจุดบกพร่องลงได้อย่างมาก

1.63 สุรพล สุบรรรเจิดพร (2542)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการวิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง โดยมุ่งที่จะลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม ภายใต้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมคือ กะถั่วบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถลดจำนวนจุดบกพร่องลงได้

1.64 สุทัต จุ้ยสาย (2542)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นโรงงานผลิตภาชนะเครื่องครัวโดยการทดแทนด้วยแม่พิมพ์ต่อเนื่อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทาง ในการตัดสินใจปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นในกรรมวิธีการผลิต ภาชนะที่ทำจากโลหะแผ่น ได้พิจารณาออกแบบแม่พิมพ์ต่อเนื่อง (**Progressive Die**) ที่ใช้กับเครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 50 ตัน เพื่อนำมาใช้ทดแทนแม่พิมพ์เดี่ยว พบว่าสามารถให้อัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน ร้อยละ 67 ของเงินลงทุน ในระยะ 5 ปี สำหรับอัตราผลตอบแทนของการลงทุนเป็นร้อยละ 30 ถ้าราคาของแม่พิมพ์ที่พิจารณา จะต้องมีราคาไม่เกินร้อยละ 50 ของราคาแม่พิมพ์ที่ประมาณการไว้ และอายุโครงการที่เหมาะสมในการพิจารณาการทดแทน ต้องไม่ต่ำกว่า 3 ปี

1.65 สุภาภรณ์ ทองนิล (2547)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยนำวิธีการของเครื่องมือทางสถิติต่างๆ มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจร(**Circuit Width**)ของแผ่นวงจรพิมพ์ ได้แก่ ค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์ **CuCl₂ Solution** ค่ามุมในการแกว่งของสเปรย์ **CuCl₂ Solution** ค่า

แรงดันของสเปรย์ **CuCl₂ Solution** และ ค่าความเร็วของสายพานใน **CuCl₂ Chamber** ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียเท่ากับ **649,019 - 300,000 PPM** จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นเพียง **594 PPM**

1.6.6 ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา (2541)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึงระหว่าง **Slider** และ **Flexure** ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ได้แก่ อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบ และชนิดของน้ำหนักรีด และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของ แรงดึงดังกล่าว โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล (**Cause and Effect Diagram**) และนำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลมาใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อนำค่าแรงดึงที่ได้จากการศึกษาปัจจัยไปเปรียบเทียบ ในเชิงสถิติกับค่าแรงดึงของหัวอ่านเขียนในปัจจุบันพบว่า ค่าแรงดึงเฉลี่ยที่สถานะใหม่นี้มีค่าสูงกว่าค่าแรงดึงที่เป็นอยู่ ในสถานะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.6.7 สุเมธ คงสำราญ (2544)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการนำวิธี **6-Sigma** มาใช้ในการพัฒนาระบบการวัดแบบใหม่เพื่อลดความแปรปรวนในการตั้งระยะวาล์วของเครื่องยนต์ซึ่งจากเดิมใช้ฟิลเตอร์เกจในการวัด โดยเปลี่ยนการทำงานโดยอาศัยความรู้สึกของพนักงานแต่ละคนมาเป็นค่าที่สามารถวัดได้ โดยใช้การควบคุมอายุการใช้งานของไบฟิลเตอร์เกจ การจัดทำค้ำฟิลเตอร์เกจใหม่ และการเพิ่มสัญลักษณ์ที่ค้ำฟิลเตอร์เกจ พบว่าโอกาสการเกิดของเสียเฉลี่ยระหว่างระยะวาล์วไอดีและไอเสียลดลง **113,289 PPM** หรือ **61.71%** เทียบกับก่อนปรับปรุงและที่การทดสอบเดินเครื่องยนต์ไม่พบปัญหาเครื่องยนต์เสียงดังผิดปกติเนื่องจากระยะวาล์วเลย

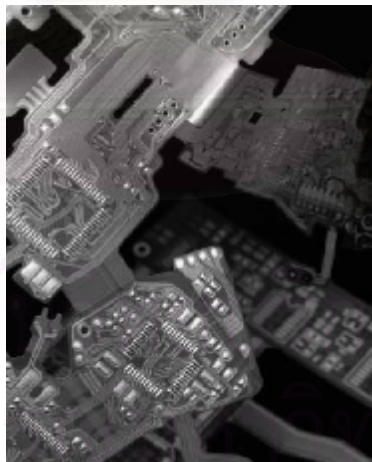
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

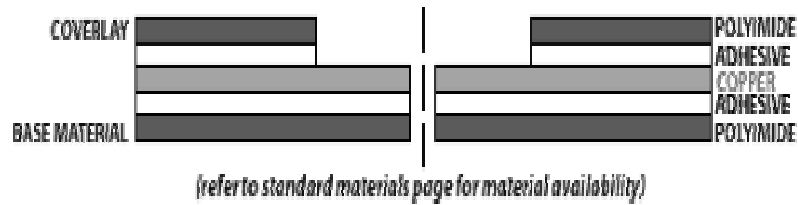
2.1 แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน (**Flexible Printed Circuit**) ถูกใช้แทนสายไฟและแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดแข็ง แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดนี้ สามารถที่ถูกออกแบบเส้นลายวงจรหลายเส้น ให้อยู่ในแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนเพียงอันเดียวได้ โดยผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนเป็นการประกอบไอซีหรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ลงบนแผงวงจรเพื่อให้มีความสะดวกสบายในการใช้งานมากขึ้น และใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป และใช้ในรถยนต์ นอกจากนี้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนยังสามารถที่จะมีมากกว่าหนึ่งชั้นในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์เทคโนโลยีที่สูงขึ้นดังกล่าวเช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ กล้องดิจิทัล พรีนเตอร์ ฮาร์ดดิสก์ เป็นต้น อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เหล่านี้ใช้แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนแบบหลายชั้น ส่วนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนหน้าเดียวหรือสองหน้าซึ่งมักใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในบ้าน

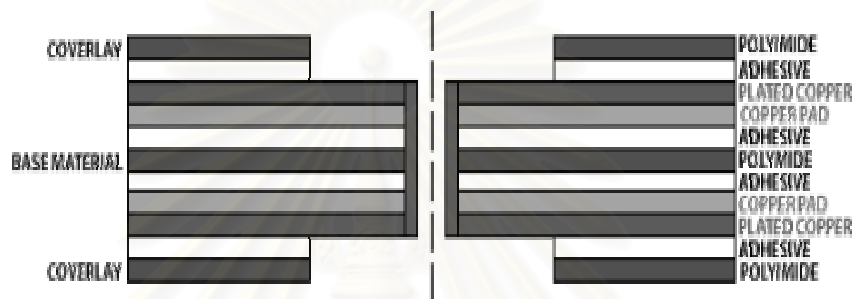


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

โดยผลิตภัณฑ์หลักคือ แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนประเภทที่มีเส้นลายวงจรหน้าเดียว (**Single Side Product**) และแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนประเภทที่มีเส้นลายวงจร 2 ด้าน (**Double Side Product**)



รูปที่ 22 ภาพตัดขวางของเส้นลายวงจรหน้าเดียว

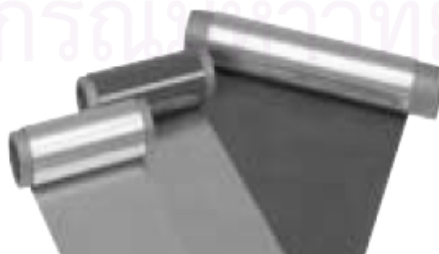


รูปที่ 23 ภาพตัดขวางของเส้นลายวงจรสองหน้า

21.1 ส่วนประกอบของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

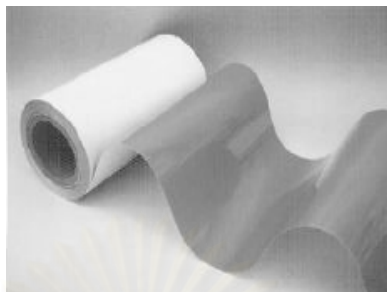
แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก ๆ คือ

- ก) เส้นลายวงจร(เป็นชั้นทองแดง) เป็นส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกประกอบลงแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน
- ข) ชั้น **Base Film** เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเป็นฐานให้แก่ตัวนำ เพิ่มความยืดหยุ่นให้กับตัวนำสามารถโค้งงอตามได้เพื่อสะดวกในการประกอบเข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 24 Copper Clad Laminate ซึ่งประกอบไปด้วยทองแดงและ Base Film

ค) ชั้น **Coverlay film (CL)** เป็นวัสดุมีลักษณะเป็นแผ่นที่คลุมเส้นลายวงจรเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและเป็นฉนวนไฟฟ้าเพื่อป้องกันบริเวณที่ไม่ต้องการชุกตะกั่วหรือทองด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 25 Coverlay Film

ง) ชั้น **Gold** และ ตะกั่ว เป็นบริเวณที่เป็นทองหรือตะกั่วบนเส้นลายวงจรซึ่งลูกค้าใช้บริเวณนี้ในการเชื่อมติดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

21.2 ลักษณะงานที่นำแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนไปใช้งาน

แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน คือ ตัวนำไฟฟ้าที่สร้างมาเพื่อให้เป็นแผ่นที่สามารถโค้งงอได้ ฐานของแผ่นวงจรพิมพ์นั้นทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนชั้นบนสุดนั้นจะถูกคลุมด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนนี้ใช้เป็นส่วนที่ต้องโค้งงอต่อกับแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดแข็ง

ก. **Wiring** ได้แก่ การใช้งานในกล่องถ่ายรูป และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ

ข. **Dynamic Bending** ได้แก่ ดีวีดีไดรฟ์ ฮาร์ดดิสไดรฟ์ โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบพับได้

ค. **ACF Terminal** ได้แก่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ กล้องถ่ายรูปดิจิทัล ทีวีไอเกม

22 โพลีเมอร์ (Polymer)

โพลีเมอร์ (Polymer) หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน (poly = หลาย, mer = หน่วย) โพลีเมอร์จึงเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ดังนั้น การเขียนโครงสร้างของเมอร์จะสามารถแทนโครงสร้างทั้งหมดได้ น้ำหนักโมเลกุลของเมอร์ เรียกว่า “mer weight” และการสังเคราะห์โพลีเมอร์ เรียกว่า “โพลีเมอร์ไรเซชัน” (Polymerization) โพลีเมอร์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเกิดผลึกได้สมบูรณ์เหมือนกับสาร โมเลกุลเล็กๆ เนื่องจากโมเลกุลมีขนาด

ใหญ่ ยากที่จะมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบอย่างสมบูรณ์ โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอาจเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งจะมีลักษณะการใช้งานได้หลากหลาย ดังนี้

- 1) พลาสติก (Plastics) เช่น ท่อพีวีซี ถุงพลาสติก และฟิล์มพลาสติก เป็นต้น
- 2) ยาง (Rubbers) เช่น ยางธรรมชาติ (Natural rubber) หรือยางสังเคราะห์ (Synthetic rubbers) ใช้ทำยางรถยนต์ ถุงมือยาง และสายยาง เป็นต้น
- 3) เส้นใย (Fibers) ได้แก่ เส้นใยธรรมชาติที่ได้จาก สัตว์ พืช และแร่ธาตุ หรือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ และไนลอน เป็นต้น
- 4) สารเคลือบผิว (Surface Coating) เช่น สีทาบ้าน และแล็กเกอร์ เป็นต้น
- 5) กาว (Adhesives) เช่น กาวลาเท็กซ์ และกาวอีพอกซี เป็นต้น
- 6) วัสดุเชิงประกอบ (Composite materials) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมกำลังด้วยใยแก้ว (Glass fiber reinforced plastics) หรือที่เรียกว่า “ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส”

2.21 ประเภทของโพลีเมอร์

1. พลาสติก (plastic) เป็นวัสดุสังเคราะห์ ลักษณะแข็ง เช่น ท่อน้ำ (Polyvinyl chloride หรือ PVC) ถุงพลาสติก (Polyethylene) ภาชนะบรรจุอาหาร (Polypropylene) พลาสติกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามความสามารถในการขึ้นรูปใหม่ ได้แก่

- **Thermoplastic** เป็นพลาสติกที่สามารถทำให้หลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้ เนื่องจากไม่มีโครงสร้างเป็นเครือข่าย (network) พลาสติกพวกนี้สามารถนำมา recycle ได้โดยที่สมบัติเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งจะสามารถทราบชนิดของพลาสติกได้จากเลขรหัสที่อยู่บนผลิตภัณฑ์นั้น

- **Thermoset** เป็นพลาสติกที่ไม่อาจหลอมเหลวได้ เพราะเกิดการ set หรือ cure หรือ crosslink ด้วยปฏิกิริยาเคมี เกิดการเชื่อมโยง เป็นโครงสร้างแบบร่างแหของโพลีเมอร์ (Polymer network) ที่แข็งแรง ทำให้ไม่อาจหลอมเหลวได้ หลังจากผ่านการแปรรูปแล้วจะแข็งตัวอย่างถาวร ถ้าให้ความร้อนสูงและติดต่อกันเวลานานๆ จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและการออกซิเดชัน ซึ่งจะได้ถ่านเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กาวอีพอกซี (ซึ่งเป็น 2 หลอดแยกกัน และต้องผสมกันเวลาใช้งาน) หรือเมลามีนซึ่งเป็นพลาสติกแข็งและทนความร้อนใช้ทำถ้วยกาแฟและถ้วยชาม

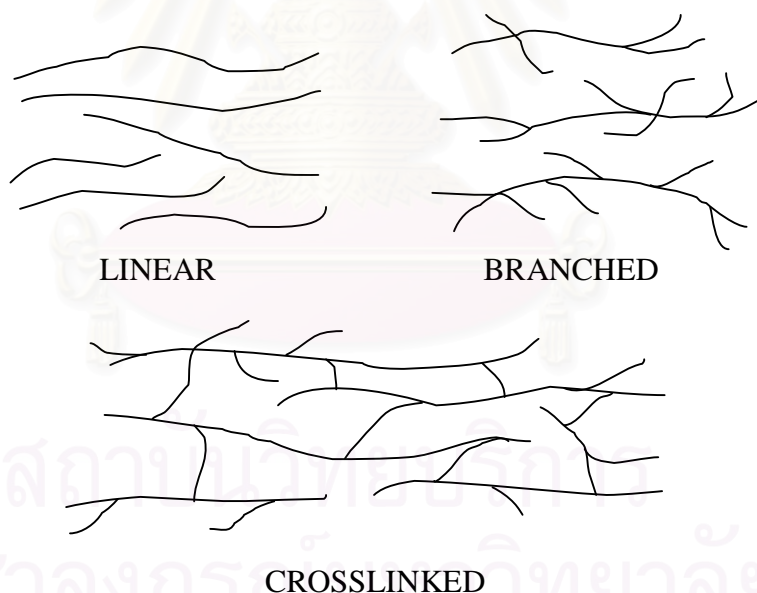
2. ยาง (rubber) หรืออีลาสโตเมอร์ (elastomer) เป็นโพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก มีจุดคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) และจุดหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) ต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน และเมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (crosslinking) โขโพลีเมอร์มีการยึดติดกันและเกิดความยืดหยุ่น (elasticity) เพราะโซ่ยาวเกิดการยึดเกาะได้แรงดึง เช่นยางธรรมชาติซึ่งมีค่า T_g ประมาณ -70°C ยางสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมี T_g ตามโครงสร้างของโมเลกุล

2.2.2 โครงสร้างโมเลกุลของโพลิเมอร์ (Structural Shape of Polymer Molecules)

1) โพลิเมอร์แบบเส้น (**Linear polymers**) โพลิเมอร์เหล่านี้มีลักษณะโมเลกุลเป็นเส้นยาวๆ หรือเป็นสายเดี่ยวๆ คล้ายเส้นด้าย โดยไม่มีกิ่งก้านสาขาแยกออกมา เกิดจากปลายของแต่ละเมอร์มาต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 27 เช่น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (**high density polyethylene, HDPE**), โพลีไวนิลคลอไรด์, โพลีสไตรีน (**Polystyrene**) และไนลอน เป็นต้น

2) โพลิเมอร์แบบกิ่ง (**Branched polymers**) โมเลกุลของโพลิเมอร์จะมีกิ่งแยกออกมาจากสายโซ่โมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 27 การมีกิ่งก้านสาขาจะทำให้โมเลกุลไม่สามารถจัดเรียงตัวได้แน่น และลดความสามารถในการเกิดผลึก จึงทำให้โพลิเมอร์มีความหนาแน่นต่ำ เช่น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (**low density polyethylene, LDPE**)

3) โพลิเมอร์แบบร่างแหหรือแบบเชื่อมขวาง (**Network or crosslinked polymer**) โพลิเมอร์จะมีรูปร่างเป็นร่างแหแบบ 3 มิติ (**Three Dimension Network**) ดังแสดงในรูปที่ 27 เช่น ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (**Phenol-formaldehyde resin**), อีพอกซีเรซิน (**Epoxy resin**) และ เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (**Melamine formaldehyde resin**) เป็นต้น



รูปที่ 26 รูปร่างโครงสร้างโมเลกุลของโพลิเมอร์

2.23 การจัดตัวของสายโซ่โพลิเมอร์(Arrangement of Polymer Chains in Polymer)

พันธะภายในสายโซ่โพลิเมอร์ คือ พันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรงแต่พันธะระหว่างโพลิเมอร์เป็นพันธะทุติยภูมิที่ไม่แข็งแรง นอกจากนี้ ยังมีการพันกันของสายโซ่โพลิเมอร์ (**chain entanglement**) อีกด้วย เมื่อได้รับความเค้นจากภายนอก อาจทำให้สายโซ่โพลิเมอร์เกิดการหมุนหรือเคลื่อนที่ขึ้นกับอุณหภูมิและโครงสร้างของโพลิเมอร์นั้นๆ

1) อุณหภูมิของการสลายตัว (**Degradation Temperature**)

พันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมในสายโซ่โพลิเมอร์อาจถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิสูงๆ ทำให้โพลิเมอร์เกิดการไหม้หรือเกรียม อุณหภูมินี้เรียกว่า “**Degradation temperature, T_d** ” นอกจากนี้การสัมผัสกับออกซิเจน และรังสีอัลตราไวโอเล็ต อาจทำให้โพลิเมอร์สลายตัวได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำก็ตาม

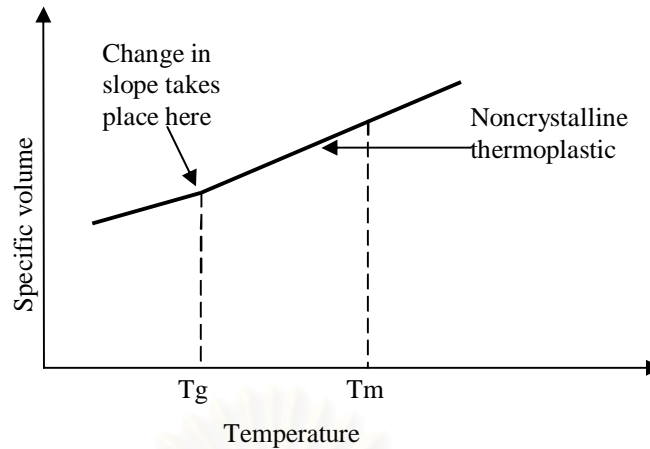
2) โพลิเมอร์เหลว (**Liquid polymers**)

ที่จุดหลอมเหลว T_m หรือเหนือจุดหลอมเหลวขึ้นไป พันธะระหว่างโพลิเมอร์จะอ่อนมาก ดังนั้น เมื่อใส่แรงเข้าไปจะทำให้โพลิเมอร์เคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันได้ โพลิเมอร์จึงเกิดการไหลความแข็งแรงและอีลาสติคโมดูลัสมีค่าเกือบเป็นศูนย์ ทำให้เหมาะที่จะนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ

3) อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (**Glass Transition Temperature, T_g**)

เป็นอุณหภูมิที่โพลิเมอร์ออสถฐานเปลี่ยนสถานะจากของแข็งคล้ายแก้ว (**Glasslike**) เป็นของแข็งคล้ายยาง (**Rubberlike**) โดยที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน โพลิเมอร์ออสถฐานแบบเส้นจะมีความใส แข็ง และเปราะเหมือนแก้ว

พิจารณาการขยายปริมาตรของโพลิเมอร์ออสถฐาน จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาตรของโพลิเมอร์จะเพิ่มด้วยอัตราคงที่จนถึง T_g อัตราการเพิ่มปริมาตรจะสูงขึ้น ทำให้เห็นความไม่ต่อเนื่องของกราฟ (ความชันเพิ่มขึ้น) ซึ่งต่ำกว่า T_g โพลิเมอร์จะมีลักษณะแข็งและเปราะคล้ายแก้ว เพราะโพลิเมอร์เคลื่อนที่ไม่ได้ จะมีเพียงแต่การสั่นของโพลิเมอร์เท่านั้น แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า T_g จะทำให้บางส่วนของโพลิเมอร์เคลื่อนไหวและมีการหมุนรอบพันธะเดี่ยว โพลิเมอร์จึงอ่อนตัวและยืดหยุ่น (**Flexible**) ซึ่งเป็นสมบัติของยาง และที่บริเวณใกล้ๆ กับ T_g โพลิเมอร์จะมีลักษณะคล้ายหนัง (**Leatherlike**) และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง T_m โพลิเมอร์จะมีการเคลื่อนไหว (**motion**) มากขึ้น คือ มีทั้งการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกัน การหมุนรอบพันธะเดี่ยว และการสั่น



รูปที่ 27 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปของโพลิเมอร์อสัณฐาน

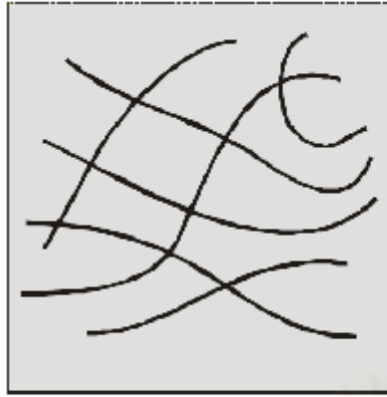
T_m มีค่าสูงกว่า T_g เสมอ ดังแสดงในตารางที่ 4 เพราะผลึกมีการจัดเรียงตัวที่แน่นกว่า

ตารางที่ 21 แสดงจุดคล้ายแก้ว (T_g) และจุดหลอมเหลว (T_m) ของพอลิเมอร์ที่สำคัญ (หน่วย $^{\circ}\text{C}$)

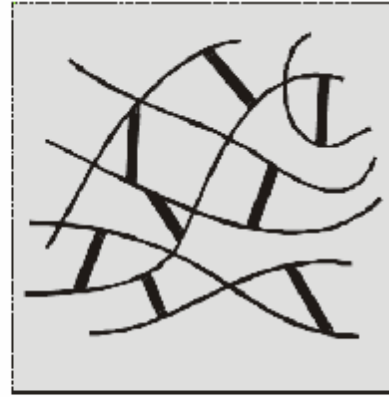
	PE	PP	PET	PVC	PS	PMMA	ยางธรรมชาติ	ยาง silicone
T_g	-125	-8	61	81	100	105	-73	-127
T_m	137	176	270	273	250	200	28	-40

2.24 เทอร์โมเซตพลาสติก (Thermoset Plastics)

เป็นโพลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นร่างแห (Network) ใน 3 มิติ ซึ่งไม่สามารถอ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน ไม่อาจไหลได้ (Flow) แม้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่ถ้าได้รับความร้อนสูงมากๆ จะทำให้พันธะที่ยึดอะตอมภายในโมเลกุลขาดออก โพลิเมอร์เกิดการสลายตัว (degrade) จึงเป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้เช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติก ตัวอย่างของ thermoset ที่สำคัญได้แก่ epoxy resin เป็นวัสดุที่ยึดติดกับตัวอื่นได้ดี ทนต่อสารเคมี มีสมบัติเชิงกลดี และเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี



In a thermoplastic the polymer chains can slide over one another

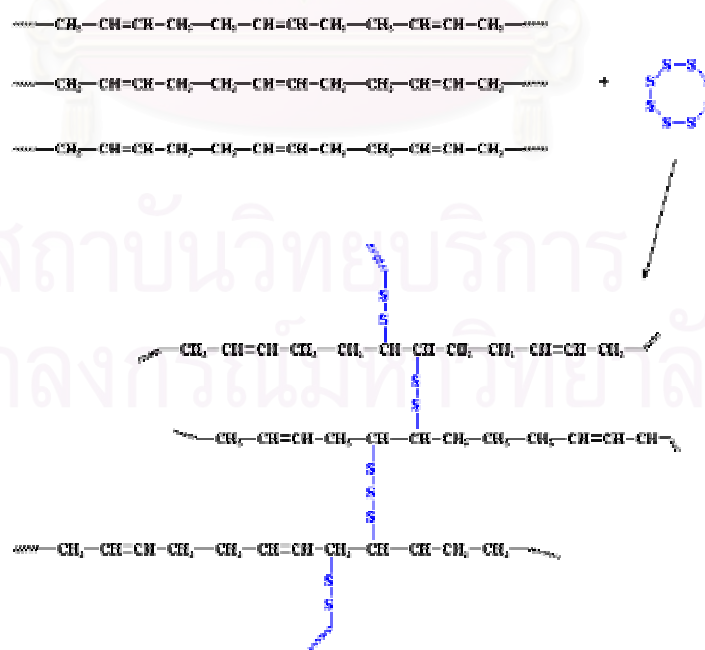


In a thermosetting plastic the polymer chains have cross-links that prevent them sliding over one another.

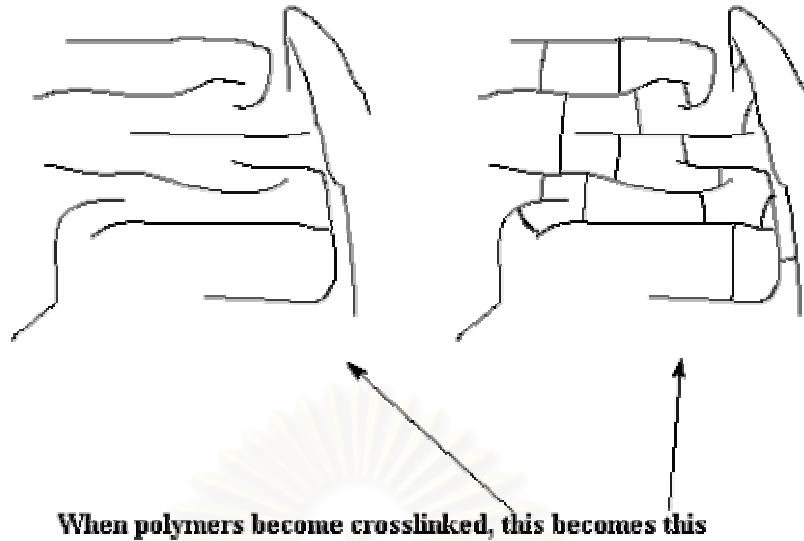
รูปที่ 28 โครงสร้างของ Thermoplastic และ Thermosetting

2.25 การเชื่อมขวางโมเลกุล (Crosslinking)

โพลิเมอร์สามารถเกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของโพลิเมอร์ (Cross linking among polymer chains) นำมาทำให้เกิดการเชื่อมขวางจนมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแหได้



รูปที่ 29 การเกิด Crosslinking ระหว่างอะตอมของ Sulfur กับสายโซ่ของ Polyisoprene



รูปที่ 210 การเปลี่ยนแปลงของ Polymer ก่อนและหลังจาก Crosslinking

2.25 การเกิดผลึกของโพลิเมอร์ (polymer crystallization)

โพลิเมอร์สามารถเกิดผลึกได้เมื่อทำให้เย็นลงต่ำกว่าจุดหลอมเหลวโดยโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากโมเลกุลที่เคยขจัดตัวอย่างอิสระเมื่อเป็นของเหลว มาจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเมื่อเป็นของแข็ง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลึกของโพลิเมอร์ ได้แก่

1) โครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอ เช่น ไอโซแทกติก และซินดีโอแทกติก จะเกิดผลึกได้ง่ายกว่าแบบอะแทกติก ไม่มีหมู่ด้านข้างที่มีขนาดใหญ่มาก และไม่มีกิ่งก้านสาขา รุนรัง หรือเป็นร่างแห ซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะขัดขวางการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ไม่สามารถเกิดผลึกได้

2) อัตราเย็นตัว (Cooling rate) ถ้าโพลิเมอร์มีการเย็นตัวเร็ว จะไม่มีเวลาเพียงพอทำให้โมเลกุลมาจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แต่ถ้าเย็นอย่างช้าๆ โมเลกุลมีเวลาในการจัดเรียงตัว ทำให้เกิดผลึกได้มาก

3) การแอนนัล (annealing) การอบให้ความร้อนกับโพลิเมอร์อุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว จะทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวและจัดตัวเป็นระเบียบได้มากขึ้น

4) ดีกรีของโพลิเมอร์ไรเซชัน (degree of polymerization, DP) ถ้าโมเลกุลของโพลิเมอร์มีขนาดยาวมาก จะเกิดผลึกได้ยากกว่าโพลิเมอร์ที่มีขนาดสั้น

2.3 กระบวนการ DMIC

กระบวนการ DMAIC เป็นขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินงานของโครงการ 6-Sigma โดยแต่ละขั้นตอนจะระบุถึง

1. การดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่จำเป็นในแต่ละขั้นตอน เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป

2. เครื่องมือ และวิธีการที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอน โดยมีดังต่อไปนี้

- การแจกแจงปัญหา (Define)
- การวัด (Measure)
- การวิเคราะห์ (Analyze)
- การปรับปรุง (Improve)
- การควบคุม (Control)

2.3.1 ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา (Define Phase)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ ทำให้ทีมงานทำความเข้าใจกับปัญหาที่กำลังสนใจอยู่ได้ดียิ่งขึ้น ระบุว่าลูกค้าคือใคร และอะไรคือความต้องการของลูกค้า

ในขั้นนี้ จะมีการจัดทีมงาน ตลอดจนระบุหน้าที่รับผิดชอบของสมาชิกทีมนักแต่ละคน กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาดำเนินโครงการ จากนั้นจดบันทึกสิ่งที่ได้ทำไปในขั้นตอนนี้ลงในเอกสาร ซึ่งจะช่วยในการดำเนินโครงการในขั้นตอนต่อไป ให้เป็นไปในทิศทางที่ตั้งไว้ ไม่หลงออกจากรอบไป ขั้นตอนการแจกแจงปัญหา เป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อความสำเร็จของโครงการ 6-Sigma

2.3.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวัด คือ กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ในสถานะปัจจุบัน เป็นการหาช่องทางที่จะทำการปรับปรุง

ในการวัด ทีมงานจะลดการทำงานโดยวิธีการคาดเดา ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมาจากวิธีการวัดที่เชื่อถือได้ โดยอาจเป็นวิธีการวัดที่ใช้อยู่

แล้วหรือสร้างขึ้นใหม่และต้องใช้วิธีการวัดเดียวกันนี้เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ กระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

2.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

จากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวัด จะทำให้ทีมงานทราบถึงความสามารถของ กระบวนการต่างๆ ที่เราสนใจ ในสภาพปัจจุบัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถตีกรอบของปัญหาให้แคบลง ได้ วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวิเคราะห์คือ ให้ทีมงานพิจารณาข้อมูลอย่างละเอียดใกล้ชิดยิ่งขึ้น เพื่อหาว่าอะไรคือต้นตอของปัญหา

2.3.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

จากขั้นตอนการวัด ทีมงานจะแน่ใจได้ว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อปัญหาของเรา จากนั้น เข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ

กำหนดวิธีการในการปรับปรุงกระบวนการ คือ

1. เลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุด แล้วนำไปทดลอง (**pilot**) ก่อน เมื่อแน่ใจว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ จึงเริ่มใช้ในสภาพการทำงานจริง

2. ตรวจสอบ (**Validate**) ผลการดำเนินการว่าทำให้เกิดการปรับปรุงดังที่ คาดไว้หรือไม่

2.3.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ คือ เพื่อควบคุมให้ผลการปรับปรุงที่ได้ทำมาคงอยู่ต่อไปและติดตามผลการดำเนินงานของกระบวนการ หลังจากทำการปรับปรุงไปแล้ว

หลังจากขั้นตอนการปรับปรุง ทีมงานจะถ่ายโอนงานในการควบคุมกระบวนการ ให้แก่เจ้าของกระบวนการ ซึ่งเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบสำหรับ ผลการดำเนินงานของกระบวนการ นั้นๆ

โดยทั่วไปกระบวนการของ **6-Sigma** ทั้ง 5 ขั้นตอน มักจะถูกกล่าวถึงโดยเรียงลำดับเริ่มจาก การแจกแจงปัญหาไปจนถึงการควบคุม แต่ทว่าในทางปฏิบัติ ขั้นตอนต่างๆ ไม่ได้เรียงกันเป็นเส้นตรงตามลำดับขั้นเสมอไป บ่อยครั้งที่ทีมงานอาจจะต้องวนกลับไปยังขั้นตอนก่อนหน้า หรือมากกว่า 1 ขั้นตอน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ทีมอาจพบว่าข้อมูลที่มีอยู่ไม่เพียงพอจึงต้องกลับไปขั้นตอนการวัดเพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติม หรือหลังจากวิเคราะห์แล้วไม่

พบว่าปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อปัญหาที่สนใจ จึงต้องกลับไปที่ขั้นตอนการแจกแจงปัญหาใหม่ว่า เรา
 ละเอียดกระบวนการอื่นๆ ที่อาจจะผลกระทบต่อนปัญหาไปหรือไม่

2.4 ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญห (Define Phase)

ก) การกำหนดปัญหา(Problem Statement)

ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้น ๆ จะต้องสัมพันธ์ใน
 ส่วนที่มีผลกระทบทางด้านคุณภาพ

ข) แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหาซึ่งการสร้าง
 แผนภาพของกระบวนการผลิตจะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนการประกอบผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะ
 สามารถระบุตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และ ผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต
 (Process output) และในขั้นตอนนี้จึงเปรียบเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะ
 ทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติ หรือ ทราบสาเหตุที่แท้จริงหรือความบกพร่องในการผลิต ที่มีผลต่อ
 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นนี้อาจจะเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลอง โดยการ
 ตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี การสร้างแผนการไหล
 ของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนในการกระบวนการ
 (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

ค) การระดมความคิด (Brain Storming Session)

เป็นวิธีในการรวบรวมข้อมูลโดยระดมความคิดจากบุคคลที่มีความรู้ความชำนาญ
 ในแต่ละจุดการทำงานต่าง ๆ ภายในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษาซึ่งในขั้นตอนนี้จุดมุ่งหมายอยู่
 ที่ปริมาณความคิดเห็นที่ได้รับเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ความสำคัญด้วยเครื่องมืออื่น ๆ ในขั้นตอน
 ต่อไป

ง) แผนภาพกระบวนการผลิต(Process Flow Charting)

คือแผนภาพที่แสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของขั้นตอนในกระบวนการผลิต
 ซึ่งจะบอกซึ่งลำดับของกิจกรรมแรกที่เริ่มต้นจนถึงกิจกรรมสุดท้ายตามลำดับเพื่อประโยชน์ใน
 การศึกษาถึงกระบวนการผลิต ทำให้สมาชิกในกลุ่มมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษา
 โดยละเอียดและไปในทางเดียวกัน นอกจากนี้ประโยชน์ของแผนภาพกระบวนการผลิตจะช่วยใน
 การประเมินความสามารถของกระบวนการและชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนที่เป็นคอขวดของกระบวนการ

ผลิต ซึ่งให้เห็นถึงขั้นตอนหรือกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่ากับผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำการพิจารณากำจัดออกหรือทำการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไข และอธิบายถึงกิจกรรมในการตรวจสอบทำให้การวางแผนและเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้องไม่เกิดข้อผิดพลาด

จ) แผนภาพอิชิกาวา(Ishigawa or Cause and effect diagram)

เป็นแผนภาพที่ประกอบไปด้วยผลกระทบของปัญหาและกลุ่มของสาเหตุต่างๆ ที่เป็นไปได้ของปัญหาที่ทำการศึกษาเป็นเครื่องมือหนึ่งในระบบการควบคุมคุณภาพที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการแก้ปัญหา(Problem Solving Process) แผนภาพนี้ได้ถูกคิดค้นและใช้โดย Dr. Ishigawa ณ มหาวิทยาลัยโตเกียว ในกลางปี 1940 โดยทั่วไปจะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลัก 6 กลุ่ม เพื่อให้ง่ายและเกิดประสิทธิภาพในการระดมความคิดเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาที่มาจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน(Man)
- สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร(Machine)
- สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ(Material)
- สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน(Method)
- สาเหตุที่เกิดจากระบบการวัด(Measurement)
- สาเหตุที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต(Environmnet)

นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงลักษณะของสาเหตุต่าง ๆ ว่าเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ตัวแปรที่เป็นสิ่งรบกวน และตัวแปรที่มีความสำคัญต้องทำการทดลอง เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริง (C = Controllable factors, N = Noise factors และ X = Experimental factors) โดยขั้นตอนในการสร้างแผนภาพอิชิกาวา มีรายละเอียดดังนี้คือ

- พิจารณาลักษณะทางคุณภาพหรือผลกระทบของปัญหาที่ทำการพิจารณา โดยใส่ไว้ในช่องขวาสุดของแกนในแนวนอน
- ทำการระดมความคิดเพื่อกำหนดสาเหตุหลักของปัญหาออกเป็นหมวดหมู่ คือ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน วัตถุดิบ เครื่องจักร วิธีการทำงาน ระบบการวัดและสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิตและอื่น ๆ โดยเขียนหมวดหมู่ของสาเหตุ ต่าง ๆ นี้ในช่องสี่เหลี่ยมที่ต่อออกมาจากเส้นแกนหลักในแนวนอน
- ในแต่ละหมวดหมู่ให้ระดมความคิดแจกแจงปัจจัยหรือสาเหตุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ภายในหมวดหมู่ที่กำหนดไว้
- ทบทวนกระบวนการผลิตด้วยแผนภาพกระบวนการผลิตเพื่อให้แน่ใจว่าได้พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแล้ว

ฉ) แผนภูมิพาเรโต (Pareto)

คือแผนภูมิแท่งที่แสดงถึงระดับความสำคัญของแหล่งที่มาของปัญหาในกระบวนการผลิต โดยหลักการพิจารณาระดับผลกระทบของแหล่งที่มาของปัญหาคือ หลัก **20: 80** หมายถึง ลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตจะมีประมาณ **20** เปอร์เซนต์ (**Vital Few**) ที่เป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นส่วนมากต่อปัญหาทางคุณภาพที่ทำการศึกษา ในขณะที่จำนวนลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จำนวน **80** เปอร์เซนต์โดยประมาณ (**Trivial Many**) จะเป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นสัดส่วนน้อยกว่าต่อปัญหาที่ทำการศึกษา ขั้นตอนในการสร้างแผนภูมิพาเรโต มีวิธีการดังต่อไปนี้

- กำหนดปัญหาและคุณลักษณะของกระบวนการที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน
- กำหนดช่วงระยะเวลาสำหรับการเก็บข้อมูลการศึกษา
- นับจำนวนความถี่ในการเกิดปัญหาคุณลักษณะของกระบวนการ
- ทำการจัดลำดับคุณลักษณะดังกล่าว โดยเรียงลำดับจากคุณลักษณะที่มีจำนวนความถี่มากไปน้อย
- พล็อตกราฟแต่ละคุณลักษณะดังกล่าวตามความถี่ในการเกิดขึ้นจากมากไปน้อย
- วิเคราะห์ผลจากแผนภูมิพาเรโต โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะหรือปัญหาที่มีความถี่มากตามลำดับในการแก้ปัญหาแต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่มีความถี่ไม่มากแต่อาจมีความสำคัญก็ควรที่จะพิจารณาด้วย

2.5 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ก) การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต (FMEA)

(รศ.ธนกร เกียรติบรรลือ, 2543) กล่าวว่า **FMEA** คือ เทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนดการป้องกันและการจัดการปัญหาความล้มเหลวและความผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบของกระบวนการ และการบริหารก่อนที่จะถึงลูกค้า ลักษณะสำคัญ 3 ประการของ **FMEA**

จะต้องมีการแสดงให้เห็นรูปแบบของความล้มเหลว ปัญหา และความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วจากระบบงานการออกแบบการผลิต และการบริการอย่างชัดเจน และมีการประเมินผลจะต้องมีการป้องกันการกระทำสำหรับการลด หรือ ขจัดโอกาสของความล้มเหลว ปัญหาและความผิดพลาดนั้น ๆ ที่จะเกิดขึ้นมาอีกจะต้องมีการบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐาน โดยปกตินิยมใช้ **FMEA 2** ชนิดคือ **Design FMEA** สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาปัญหาสำคัญ และข้อบกพร่องต่าง ๆ จากผู้ใช้หรือลูกค้ามาศึกษาและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขและอีกชนิดหนึ่งคือ **Process FMEA** สำหรับการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งมีผลต่อคุณภาพ

ผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันของเสียและขจัด หรือลดปัญหาจากการผลิตที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตถัดไปและลูกค้า

ข้อบกพร่อง หมายถึง การที่ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถทำงานได้ตามหน้าที่ที่ออกแบบไว้ให้ทำงาน โดยลักษณะ(Mode) ของข้อบกพร่อง (ส่วนใหญ่ทางกายภาพ)

- แตก
- ไหม้
- เสียรูป
- หลวม
- รั่ว
- หลอมติดกัน
- สีเพี้ยน / หมอง
- สนิม
- มีรอยแตกร้าว
- และ / เปียก

ฯลฯ

ข้อบกพร่องเหล่านี้ นอกจากจะทำลายหน้าที่ของตัวเองแล้ว ยังมีผลกระทบต่อชิ้นส่วน ระบบย่อย ระบบอื่นๆ ขัดข้องหรือบกพร่องตามได้

วัตถุประสงค์ของ FMEA

(1) เพื่อให้ทราบปัญหาด้านความบกพร่องตั้งแต่เนิ่นๆ จะได้ออกแบบและวางแผนควบคุมได้ถูกต้อง

- ถ้าเป็นปัญหาข้อบกพร่องในการใช้งานระบบเรียกว่า **System**

FMEA (SFMEA)

- ถ้าเป็นปัญหาข้อบกพร่องในการใช้งานของผลิตภัณฑ์เรียกว่า

Design FMEA(DFMEA)

- ถ้าเป็นปัญหาข้อบกพร่องในการผลิต/ประกอบเรียกว่า **Process**

FMEA(PFMEA)

(2) เพื่อลดความเสี่ยงในการผลิต ประกอบ ใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งความเสี่ยง ได้แก่ การผลิตไม่ได้ ผลิตแล้วเกิดของเสียมาก ผลิตแล้วเกิดอันตรายในการผลิต ใช้งานแล้วมีปัญหาด้านความปลอดภัย ใช้งานแล้วพังง่ายเกินไป ไม่ทนทาน ฯลฯ ความเสี่ยงยิ่งน้อยเท่าไร นั่นคือ ต้นทุนต่ำ ผลิตได้รวดเร็วและตรงตามความต้องการ / คาดหวังของลูกค้ามากเท่านั้น

(3) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการ เพราะ FMEA ต้องมีการปรับปรุงอยู่เสมอ

(4) เป็นส่วนหนึ่งในการทำ APQP และช่วยเหลือในการทำ Control Plan (แผนควบคุม)

ประโยชน์ของ FMEA

ช่วยพิจารณาทางเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งเพิ่มศักยภาพของการผลิตและความเชื่อถือสร้าง ความมั่นใจว่ารูปแบบของ ความล้มเหลว ความผิดพลาดและปัญหาต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงผลกระทบที่อาจตามมาได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดและถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของปัญหาหลักต่างๆ และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมาช่วยแสดงบันทึกผลของการปรับปรุง หลังจากมีมาตรฐานการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันทีเป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์ และการผลิตช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคตโดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือความล้มเหลวต่างๆ สำหรับการพิจารณาเรื่องความเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าการปรับปรุง และพัฒนาต่าง ๆ มีผู้รับผิดชอบ หรือวิศวกรประจำกระบวนการผลิตสร้างระบบป้องกันปัญหาที่สามารถประเมินผลได้ เมื่อมีการประชุมทบทวนขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

ชนิดของ FMEA และการนำไปใช้งาน **Failure Mode and Effect Analysis** หรือ FMEA เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบมีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลังและเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่างคือ

System FMEA สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงาน การใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่นได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงานการออกแบบการพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

Design FMEA นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลองหรือปฏิบัติเป็นครั้งแรกมักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่าง ๆ หรือส่วนย่อย เข้าด้วยกัน และส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

Process FMEA สำหรับกระบวนการผลิตซึ่งก็มีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA มักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญคือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการวัด และสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ **Process FMEA**

Service FMEA จะเกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลักโดยนิยามให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ **Service FMEA**

Machinery FMEA สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักร อุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้ โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือ ส่วนทำความสะอาด ส่วนกำลัง ส่วนหล่อลื่น เป็นต้น

งานเอกสารของ FMEA

การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ **FMEA** ถือว่าเป็น การวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่งซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่างๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่อง ทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกันจะถูกบันทึกลงบนแบบฟอร์มมาตรฐานของ **FMEA** เริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิด หรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้ว มีอะไรบ้าง มีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการประมาณ ตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า **RPN** ซึ่งมาจากคำว่า **Risk Priority Number** ให้กับแต่ละปัญหาการคำนวณค่า **RPN** ได้มาจากผลคูณพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ **O X S X D** เมื่อ

O = Occurrence คือระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา ความล้มเหลว หรือ ความผิดพลาด

S = Severity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้กับลูกค้า

ค่า **O, S** และ **D** นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่ารับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า **RPN = 1** ซึ่งมาจาก $1 \times 1 \times 1$ หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้า อย่างสมบูรณ์ ส่วนระดับความเสี่ยงสูงสุดของปัญหา คือ ค่า **RPN = 1000** ซึ่งมาจาก $10 \times 10 \times 10$ หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากเช่น พบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีการตรวจจับปัญหานี้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้า

ข) การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด

ในระบบการวัดมีความสำคัญมาก การวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และเป็นการควบคุมกระบวนการ เพื่อเป็นการประกันคุณภาพผู้ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ทักษะความชำนาญ และระดับการฝึกฝน วิธีการวัดชิ้นงานที่วัดสิ่งแวดล้อมในการวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้นและธรรมชาติ เนื่องจากองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัดการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจาก การแก้ปัญหา ทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (**Part - to - Part - Variation**) พนักงานวัด (**Appraiser Variation**) ความผันแปรร่วม (**Interaction Variation**) (คำรงค์ ทวีแสนสกุลไทย, 2538) ได้นิยามคำว่า ความแม่นยำ และความเที่ยงตรงดังนี้

ความแม่นยำ (**Precision**) คือ ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าไม่กระจัดกระจายและจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามาก ไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับเครื่องมือวัด

ความเที่ยงตรง (**Accuracy**) คือ ความสามารถในการวัดให้ค่าใกล้เคียงความจริงมาก ๆ ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลักคือคุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่ คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้ว จะได้รับการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีทาทะบิลิตี้ (**Repeatability**) และความสามารถในการทำเหมือนหรือรีโพรดูซิบิลิตี้ (**Reproducibility**)

โดยที่รีพีทาทะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่ารีพีทาทะบิลิตี้ ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (**Short - Term Measurement**)

ส่วนรีโพรดูซิบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่ารีโพรดูซิบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (**Long - Term Measurement**) นอกจากนี้อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆ ได้ว่า รีพีทาทะบิลิตี้ คือ ความผันแปร ภายในเงื่อนไขการวัดด้วยกัน ในขณะที่ รีโพรดูซิบิลิตี้ คือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่กล่าวนี้ อาจจะหมายถึง พนักงานวัด อุปกรณ์จับยึด (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม

เป็นต้น ในการประเมินผลค่ารีพีทะบิลิตี้ และรีโพรดูซิบิลิตี้ของระบบการวัด (**GR&R Gage Repeatability and Reproducibility**) จะหมายถึง การประเมินผลค่าผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเดียวกัน การวางแผนศึกษารีพีทะบิลิตี้ และรีโพรดูซิบิลิตี้ ของระบบการวัดวิธีการ และเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้ว จะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีทะบิลิตี้ และรีโพรดูซิบิลิตี้ จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุด เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ ในระหว่างการศึกษาจะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีทะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย

จำนวนพนักงานที่วัดที่ใช้สำหรับการศึกษา **GR&R** ซึ่งในการกำหนดจำนวนพนักงานที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัด (คือผู้ใช้เครื่องมือในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคนให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย **2** คน โดยพนักงานทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรม และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษา สำหรับงานประจำ

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา **GR&R** จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษานั้นโดยปกติจะแนะนำไว้ที่ **10** ตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) **X** (จำนวนของพนักงาน) มากกว่า **15** และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่างและสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญและในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้วจะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า **5** กลุ่ม

จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น โดยปกติแล้วมักจะแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่า ๆ กันซึ่งเรียกแบบทดลองนี้ว่า **Balance Design** โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานแต่ละคนด้วยจำนวน **2-3** ครั้งต่อชิ้นงาน

วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา **GR&R** ในการศึกษา **GR & R** บางกรณีนั้นจะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ (หรือการประเมินรีพีทะบิลิตี้ได้) จึงต้องมีความพยายามเลือกงานในล็อตให้มีความใกล้เคียงกันให้มากที่สุด วิธีการประเมินผลรีพีทะบิลิตี้และรีโพรดูซิบิลิตี้ มีทั้งหมด **3** วิธี แต่ในที่นี้จะไม่ขออธิบาย

- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method)
- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method)

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) วิธีนี้เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษานี้ที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงานเป็นสาเหตุ ความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยก ความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่าง ชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพิทเทบิลิตี้ได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ยุ่งยากในการคำนวณ แต่ส่วนใหญ่วิธีการนี้จะใช้กับกรณีคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ

ในการตีความหมายผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างพนักงานและชิ้นงานก่อนเสมอ ซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมการวัดแล้ว ผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีอิทธิพลร่วมมีผลมาก และในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญนี้ ก็ไม่มีความจำเป็นต้องตีความหมายอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงานอีก เพราะว่า แม้จะมีอิทธิพลหลักของพนักงานวัด จะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญแต่จริง แล้วมีอิทธิพลมาก

2.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ก) สถิติและการควบคุมคุณภาพ

ซึ่งมีคำนิยามคำว่า สถิติไว้ดังนี้ สถิติ คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งที่ใช้ตัดสินใจในเหตุการณ์ภายใต้ความผันแปร โดยการตัดสินใจ ประกอบด้วยการรวบรวมการวิเคราะห์ ตลอดจนการสรุปผล เพื่อดำเนินการจากข้อมูล

ข) การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองง่าย ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้วิธีทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว

การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบจะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือกคือ

H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

H_1 : ระดับปัจจัยมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยงมีสองตัวคือ และ ซึ่งหมายถึงความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง หมายถึงความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลัก ทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้และในการทำการวิเคราะห์ก็มักจะให้ค่าคงที่และให้ค่า น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.7 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ก) การออกแบบการทดลอง (Design of experiments)

การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจปัจจัย (Factor) ใดเป็นตัวแปร (Input Variable) ใดที่ผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อยเท่ากับ 2 ระดับ แล้วทำการทดลอง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

ข) วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึง อิทธิพลของเงื่อนไข ใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

ค) คำจำกัดความ

- อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม
- ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่ง que คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์
- ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆ น้อย ๆ และไม่สามารถควบคุมได้

จ) หลักในการออกแบบการทดลอง

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลแต่ละตัวเท่า ๆ กันเพื่อกระจายผลปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

- การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
- การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
- การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

- การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

-การบล็อก (**Blocking**) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

ฉ) ลำดับขั้นการออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง

การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่า ความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งนิยามของปัญหานี้ จะเกี่ยวข้องไปถึงจุดประสงค์ของการทดลอง การเลือกปัจจัยที่มีผล และระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรมีช่วงในการทดลองอย่างไรเพื่อระบุปัญหาในระดับของปัจจัยในการทดลอง สุดท้ายคือระบุระดับที่ใช้เป็นตัวกำหนด (**Fixed Levels**) แบบสุ่ม (**Random Levels**) หรือแบบผสม (**Mixed Levels**)

- แบบกำหนด (**Fixed Levels**) หมายถึงระดับปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยที่แน่นอนได้

- แบบผสม (**Mixed Levels**) หมายถึงการผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

การเลือกตัวแปรตอบสนอง (**Response Variables**) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องด้วย

การเลือกแบบทดลอง จะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ต้องทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (**Randomization**) และการบล็อก (**Blocking**) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวข้องกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง สำหรับการเลือกปัจจัยการทำการทดลองในขณะที่ทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ นั่นคือ ต้องมีการสุ่มการทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (**Error**) ที่ออกมามีค่าน้อยที่สุด การวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางสถิติวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินใจความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (**Effect**) เท่าใดได้แน่นอนแต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิอื่น ๆ

การเลือกแบบการทดลอง

1) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (**Complete Randomize Design**)

ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว (**Single Factor Experiment**) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลองจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (**Randomization**) และการทำซ้ำ (**Replication**) ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- กำหนดตัวแปรตอบสนอง (**Response Variable**) และปัจจัยที่ควบคุมได้ (**Controllable Variable**) ที่สนใจ

- ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (**Complete Random**) ในการวัดค่า
- วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน

2) แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (**Randomization Block Design**)

ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียวและมีปัจจัยรบกวน (**Noise Factor**) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม คือ การทำการสุ่ม (**Randomization**) ทุกครั้งต้องทำการทดลอง การบล็อก (**Blocking**) เพื่อลดปัจจัยรบกวน การบล็อกอาจทำมากกว่า 1 บล็อกก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของปัจจัยรบกวนขั้นตอนในการทำการทดลอง

- ออกแบบการทดลองและวางแผนการทดลอง
- เก็บข้อมูล
- วิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

(**ANOVA Table**) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (**Block Effect**) ด้วย

3) แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (**Factorial Design**)

เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุก ๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (**Treatment Combination**) ที่มีจำนวน 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยทุก ๆ **Treatment Combination** ของปัจจัยนำเข้าทุกตัวจะได้รับการศึกษาไปพร้อม ๆ กัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า อิทธิพลหลัก (**Main Effect**) ส่วนอิทธิพลร่วม (**Interaction**) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่าง ๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่น ๆ

การทดลองแบบแฟคทอเรียล มีแบบต่าง ๆ ของการทดลองดังนี้

- **General Full Factorial Design** จะกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าในแต่ละระดับต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองและทำการทดลองในทุก ๆ **Treatment Combination**

- **Fraction Factorial Design** เป็นซับเซตของการทดลอง **General Full Factorial Design** คือการลดจำนวนของการทดลอง โดยพิจารณาเลือกจำนวนการทดลองจาก **Treatment Combination** ในผลกระทบที่ค้ำสูงของตัวแปรซึ่งเรียกว่า **Generator**

- **2^k Factorial design** เป็นการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบหนึ่ง ไม่ว่าจะ เป็นแบบ **Full Factorial** หรือแบบ **Fractional Factorial Design** โดยในแต่ละปัจจัยนำเข้าจะ กำหนดค่าเพียง 2 ระดับในการทดลอง และทำการทดลองในทุก ๆ **Treatment Combination** เพื่อ ศึกษาถึงพฤติกรรมของตัวแปรตอบสนองในงานวิจัย

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

- ในกรณีที่ต้องการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าจำนวนหลายตัว จะใช้ จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองจำนวนที่น้อยกว่าการทดลองที่ละ 1 ปัจจัย (**One - Factor - at - a - time**)

- ใช้เวลาในการทดลองน้อยกว่า เนื่องจากเป็นการศึกษาปัจจัยหลายตัว พร้อม ๆ กัน

- ผลสรุปจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถที่จะสรุปได้ครอบคลุม มากกว่าเนื่องจากสามารถพิจารณาในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลอง

2.8 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

แผนควบคุม (ฮิโตชิ คุเมะ, ผู้เขียน วีรพงษ์ เถลิงจิระรัตน์, ผู้แปล, 2541) ได้อธิบาย ความหมายของแผนภูมิควบคุม (**Control Chart**) ดังนี้

แผนภูมิควบคุมคือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่ กำหนด (**Specification**) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิต และ ต้องการจะควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใด ใดตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (**Variable Data**) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (**Attribute Data**) จากนั้นเขียน บันทึกลงในแผนภูมินั้น ๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่ แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบนและเส้น ขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ใน ขอบเขตนี้ก็คือว่า ผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่า ในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไข จุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (**Variation**) เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาตหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิต โดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่าง ๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิดคือ

สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (**Chance Cause**) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรง และไม่มียุทธศาสตร์ต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กน้อยของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งๆ ที่เหมือนกันทุกประการ วัตถุดิบ 100 ชิ้น ที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างออกไป เพียงแต่ความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิสัยที่ของเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่า พิกัดความเผื่อ (**Tolerance**) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (**The Process is in Control**)

สาเหตุที่ระบุไม่ได้ หรือสาเหตุที่จำกัดได้ (**Assignable Cause**) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ เป็นต้น ของปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัย หรือธรรมชาติของการผลิตนั้น ๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

ในแผนภูมิควบคุม เมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูล และวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อมแสดงได้ว่า เกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่า กระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (**The process is Out of Control**)

(คาร์ล ทีวีแสงสกุลไทย, 2538) ได้อธิบายว่าแผนภูมิควบคุมคือวิธีที่เป็นวิธีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรือการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ยังอยู่ในพิสัยควบคุมหรือไม่ ปกติจะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติ หรือมีการผลิตสม่ำเสมอ จะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลว ๆ หรือผิดปกติโดยเด็ดขาดจุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุม มีดังนี้

- เพื่อหาเป้าหมายหรือมาตรฐานของการผลิต
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่า การผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
- เพื่อใช้เป็นเครื่องเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิต ควรมีเทคนิคต่อไปนี้ เลือกริเวณที่จะควบคุมก่อน ปัญหาอะไรที่จะต้องทำ และเรามีมุ่งหมายอะไร จากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่า ต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้แผนภูมิควบคุมแบบไหน อาจจะเป็นแผนภูมิแบบ \bar{X} -R, \bar{x} , \bar{p} , \bar{p} , c หรือ u chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่งทำแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม \bar{X} -R Chart และ \bar{X} -S Chart

เป็นแผนภูมิควบคุมของข้อมูลเชิงผันแปร โดยแยกออกเป็นแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลซึ่งจะแสดงความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม และแผนภูมิที่แสดงค่าพิสัยของข้อมูลซึ่งจะแสดงความแปรปรวนภายในกลุ่ม โดยเส้นควบคุมต่างๆ สามารถที่จะคำนวณได้ดังสมการ

$$\bar{X}: \quad CL = \bar{X} \quad UCL = \bar{X} + A_2R \quad LCL = \bar{X} - A_2R$$

$$UCL = \bar{X} + A_3S \quad LCL = \bar{X} - A_3S$$

$$R: \quad CL = R \quad UCL = D_4R \quad LCL = D_3R$$

$$S: \quad CL = S \quad UCL = B_4S \quad LCL = B_3S$$

แผนภูมิควบคุม p chart และ np chart

เป็นแผนภูมิควบคุมที่แสดงข้อมูลของสัดส่วนของของเสียและจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นต่อเวลาสำหรับ p chart และ np chart ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนของของเสีย (p) สำหรับแต่ละกลุ่มตัวอย่างคำนวณได้จาก

$$P = x/n$$

โดยที่ X คือจำนวนของของเสียที่ตรวจพบ และ n คือจำนวนสิ่งตัวอย่างทั้งหมด ที่ทำการตรวจสอบ และสำหรับเส้นควบคุมต่างๆ คำนวณได้จากสมการ

$$CL = p = UCL$$

สำหรับ np Chart เส้นควบคุมต่างๆ คำนวณได้ดังนี้ คือ

$$CL = p = UCL$$

นอกจากนี้ยังมีแผนภูมิควบคุม \bar{X} mR Chart หรือ ImR Chart ซึ่งเป็นแผนภูมิควบคุม ที่ประกอบด้วยแผนภูมิที่แสดงถึงข้อมูลแต่ละตัวและค่า moving range (mR), c Chart (Number

of Nonconformities) คือแผนภูมิควบคุมที่แสดงถึงจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นต่อหน่วยที่วัด เช่น จำนวนจุดเชื่อมที่ข้อบกพร่องต่อแผ่นวงจร , **u Chart (Nonconformities per Unit)** คือ แผนภูมิควบคุมที่แสดงจำนวนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นต่อหน่วยวัดเช่นเดียวกับ **u Chart** แต่ใช้ในกรณีที่ขนาดของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง (**Subgroup**) ไม่เท่ากันตลอดการเก็บข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใด ๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันที แล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนได้ขจัดหมดสิ้นแล้วและกระบวนการผลิตคงที่ ให้พิจารณาอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมดเพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (**Standardize Working Procedure**) หรืออาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิออกไป จากนั้นพลอตข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวันต่อไปควบคุมกระบวนการผลิต

แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสถานะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น ต้องการค้นหาสาเหตุทันที แล้วแก้ไขให้ถูกต้องและคำนวณเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลง เส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอด ระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มขึ้น ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิและควบคุมเป็นระยะ ในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตกฎต่อไปนี้

ข้อมูลที่จุดผิดปกติ ซึ่งค้นพบสาเหตุ หรือไม่มีการแก้ไขควรจะทำกรคำนวณใหม่

ข้อมูลที่จุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณ

ใหม่

วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม (วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, 2537)

สิ่งสำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สถานะของกระบวนการผลิตซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เรานำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว เราจะได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใด ๆ ในกระบวนการผลิตนั้นเพื่อปรับสภาวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (**In-Control**) ได้ต่อไป

บทที่ 3

นิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหาจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดทีมงานทำการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการบ่งชี้ให้เห็นลักษณะของปัญหา

นำไปสู่การกำหนดปัญหาด้วยการวิเคราะห์ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องมารอที่กระบวนการบ่ม โดยการกำหนดเทคนิคและเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสมที่นำประยุกต์ใช้กับขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งในขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

31 การกำหนดทีมงาน

ในการกำหนดทีมงานดำเนินงาน ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ซึ่งทีมงานดำเนินงานประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ทีมงานในการดำเนินงาน

- ผู้จัดการฝ่ายการผลิต (Production Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ (Quality Control Manager)
- วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineer)
- วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Engineer)
- วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ (Supplier Quality Engineer)
- วิศวกรฝ่ายออกแบบและซ่อมบำรุงเครื่องมือ (Design & Tooling Engineering)
- วิศวกรฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (R&D Engineer)

ในทีมงานนี้ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineer)

3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับบริษัทตัวอย่างในการวิจัย

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตสินค้าส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ คือ แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน (**Flexible Printed Circuit**) สำหรับใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องใช้ทางอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป และใช้ในรถยนต์ ได้ดำเนินกิจการมาเป็นเวลากว่า **20** ปี ได้เจริญเติบโต และขยายกิจการตามลำดับ ปัจจุบันบริษัทต้องหาแนวทางในการปรับปรุงการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และลดต้นทุนการผลิตลง

3.2.1 ผลิตรภัณฑ์ของบริษัท

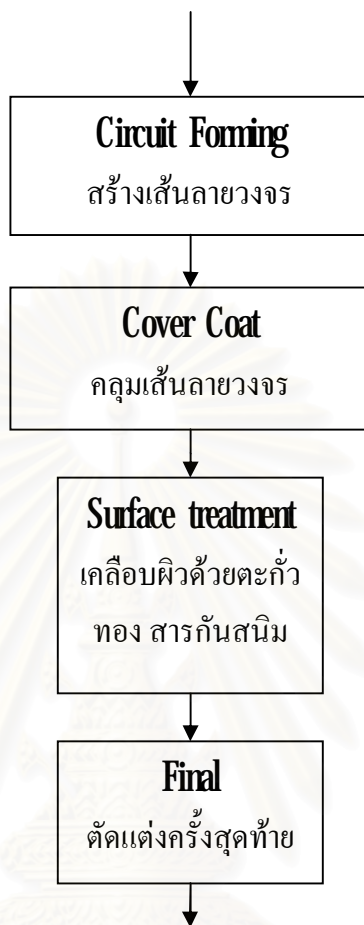
ปัจจุบันทางบริษัททำการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนสำหรับส่งออกไปยังตลาดต่างๆ ทั่วโลก แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่บริษัทผลิตสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก) **Single Side Product** เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีด้านลายวงจรเพียงด้านเดียว ส่วนใหญ่เส้นลายวงจรจะมีขนาดเล็กแต่มีขนาดค่อนข้างยาวและมีความอ่อนตัวทำให้ง่ายต่อการโค้งงอ

ข) **Double Side Product** เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีด้านลายวงจร **2** ด้าน มีความอ่อนตัวน้อยกว่า **Single Side Product** และต้องผ่านกระบวนการชุบทองแดงภายในรูของผลิตภัณฑ์

ค) **Double Access Product** เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีเส้นลายวงจร **2** ด้านแต่ไม่ต้องผ่านกระบวนการชุบทองแดงภายในรูของผลิตภัณฑ์

3.3 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน



รูปที่ 31 แสดงกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

การผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนประกอบด้วย 4 กระบวนการใหญ่คือ

- ก) **Circuit Forming Process** ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรบนแผ่นทองแดง
- ข) **Cover Coat Process** เป็นกระบวนการที่เพิ่มความแข็งแรงและคลุมเส้นลายวงจรด้วยวัสดุที่ทนทานไฟฟ้า
- ค) **Surface Treatment Process** ประกอบด้วย 2 ชนิดคือการชุบทองด้วยไฟฟ้า (**Gold Plating**) การชุบตะกั่วด้วยไฟฟ้า (**Solder Plating**) และการเคลือบสารป้องกันสนิม (**Anti-tamish**) ซึ่งลูกค้าจะสามารถต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับตัวแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนได้
- ง) **Final Process** เป็นกระบวนการที่ตัดแต่งขนาดของผลิตภัณฑ์จนได้เป็นชิ้นตามความต้องการของลูกค้าและตรวจสอบฟังก์ชันการใช้งาน

จาก 4 กระบวนการใหญ่จะมีกระบวนการย่อยเป็นต่างๆ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

ก) **Circuit Forming Process** ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการย่อยดังนี้

1. **CNC** เป็นกระบวนการเจาะรูผลิตภัณฑ์เพื่อชุบทองแดงภายในรูที่เจาะไว้
2. **Plate Through Hole** เป็นกระบวนการชุบทองแดงภายในรูถูกเจาะ
3. **Chemical scrubbing** เป็นการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความ

ขรุขระของผิวหน้าทองแดง

4. **Dry Film Lamination** เป็นกระบวนการติดแผ่นฟิล์มไวแสง (**Dry Film**) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการถ่ายแบบเส้นลายวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

5. **Exposure Process** เป็นกระบวนการในการฉายแสงลงบนผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ **Master Film** เป็นตัวกำหนดขนาด รูปร่างต่าง ๆ ของเส้นลายวงจรตามที่ลูกค้าต้องการ

6. **Develop Process** เป็นการล้างไคร์ฟิล์มที่ไม่โดนแสง **U.V** ออก

7. **Etching Process** เป็นกระบวนการที่ขี้เส้นลายวงจรโดยใช้น้ำยา **CuCl₂** ในการทำปฏิกิริยากับทองแดงที่ถูกเปิดโดยกระบวนการ **DEV**

8. **Stripping Process** เป็นกระบวนการล้าง **Dry Film** ที่คลุมอยู่บนเส้นลายวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

9. **Scrubbing Process** เป็นกระบวนการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันสนิมและคราบสกปรกต่าง ๆ

ข) **Cover Coat Process** ประกอบด้วยกระบวนการย่อยดังนี้

1. **Cut Process** พนักงานจะทำการตัดผลิตภัณฑ์ให้เป็นแผ่นและจัดผลิตภัณฑ์เป็นล็อต

2. **CL Lamination** เป็นกระบวนการในการติด **CL (Cover Lay)** บนเส้นลายวงจรและเปิดเฉพาะบริเวณที่เส้นลายวงจรบริเวณนั้นจะถูกชุบทองหรือตะกั่ว

3. **STF Lamination** เป็นกระบวนการในการติด **STF (Stiffener)** เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน ที่บริเวณที่มีการวาง **Component** หรือ บริเวณที่ต้องมีการต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น

4. **Curing** เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนและความดันสูงเพื่อติดวัสดุต่าง ๆ ให้แนบสนิทกับแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์

5. **Printing** เป็นกระบวนการที่พิมพ์หมึกบนลายวงจร เช่น ตัวอักษร ตัวเลข เป็นต้น

ค) **Surface Treatment Process** ประกอบด้วยกระบวนการย่อยดังนี้

1. **Plating Process** เป็นกระบวนการชุบทองหรือตะกั่วด้วยไฟฟ้าบริเวณเส้นลายวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่ถูกเปิดไว้ (ไม่มีวัสดุ **Cover Lay** คลุม)

2.Chemical Scrubbing เป็นกระบวนการทำให้ผิวหน้าทองแดงขรุขระเพื่อ
ง่ายต่อการชุบทองด้วยไฟฟ้า

3.TF-2 และ BT-7 เป็นกระบวนการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยสารเคมีป้องกัน
สนิม

ง) **Final Process** ประกอบด้วยกระบวนการย่อยดังนี้

1.Pilot Punch Hole เป็นกระบวนการเจาะรูเพื่อใช้เป็น **Guide** สำหรับ
กระบวนการถัดไป

2.VIC เป็นกระบวนการที่ตัดแผ่นผลิตภัณฑ์จากแผ่นใหญ่ให้เป็นแผ่นขนาด
ย่อยเพื่อสะดวกในการทำงานในกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป

3.PIC เป็นกระบวนการตัดบริเวณของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการทิ้งให้คงเหลือ
แต่ตัวผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในแผ่นเดียวกัน

4.Blanking เป็นกระบวนการตัดให้เป็นตัวผลิตภัณฑ์

5.ทดสอบโอเพ่น/ซ็อต เป็นกระบวนการทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์โดย
ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า **“Fixture”** เพื่อตรวจสอบ **Open** และ **Short Defect** ก่อนนำส่งลูกค้า

6.Final Inspection เป็นกระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ ของ
ผลิตภัณฑ์ก่อนบรรจุภัณฑ์

7.Packing เป็นการบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อส่งมอบแก่ลูกค้า จากนั้นผลิตภัณฑ์
จะถูกส่งเข้าส่วนอื่นคือ

-กลุ่มตรวจสอบเพื่อประกันคุณภาพโดยแผนก **Quality Assurance.**

-**Shipping** เพื่อส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า

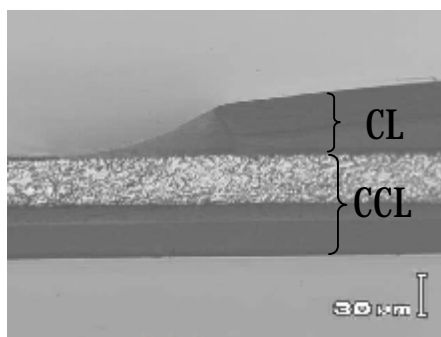
3.4 กระบวนการบ่มของการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

คือการทำให้ **Coverlay Film (CL)** ยึดติดกับ **CCL (Copper clad Laminate : Copper +
Base Film)** อย่างถาวร หรือ การทำให้ **Stiffener** ยึดติดกับแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน อย่างถาวรโดย
ปราศจากฟองอากาศ โดยใช้แรงดันและความร้อนเป็นตัวประสาน สิ่งที่ทำให้ **CL** และ **CCL**
ประสานกันได้คือ กาวเทอร์โมเซตติง (**Thermosetting Adhesive**) ที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของ **CL**



Polyimide film
Thermosetting Adhesive
Release paper

รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของ Coverlay Film



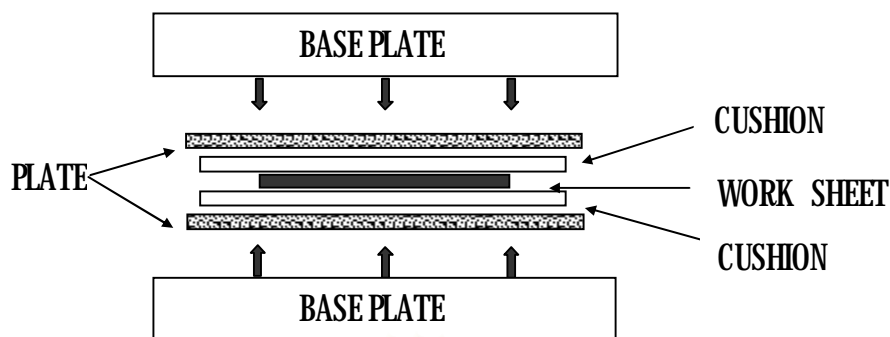
รูปที่ 3.3 ภาพตัดขวางของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนหลังจากผ่านกระบวนการบ่ม

กาวเป็นผลิตภัณฑ์ของโพลิเมอร์ ที่สามารถเกิดเป็นฟิล์มและเกิดพันธะเคมีกับพื้นผิวได้ดี มักใช้เชื่อมระหว่างผิวสองชนิดหรือผิวประจัญ (**Interface**) ของวัสดุ ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำกาว เช่น ซิลิโคน พอลิอะคริลิก พอลิยูรีเทน อีพอกซี และไซยาโนอะคริเลท (**Super glue**) เป็นต้น สำหรับกาวที่ใช้ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์แบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้

- 1) **Thermosetting Adhesive** เป็นกาวที่ใช้ความร้อนในการยึดติดแน่น จากกระบวนการ **Curing**
- 2) **Hot Melt Adhesive** เป็นกาวที่ติดแน่นชั่วคราวเมื่อได้รับแรงกดอัด หลังจากนั้นใช้ความร้อนช่วยให้กาวยึดติดแน่น
- 3) **Pressure Sensitive Adhesive** เป็นกาวที่ติดแน่นได้เลยเมื่อได้รับการกดอัด

3.4.1 โครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการบ่ม

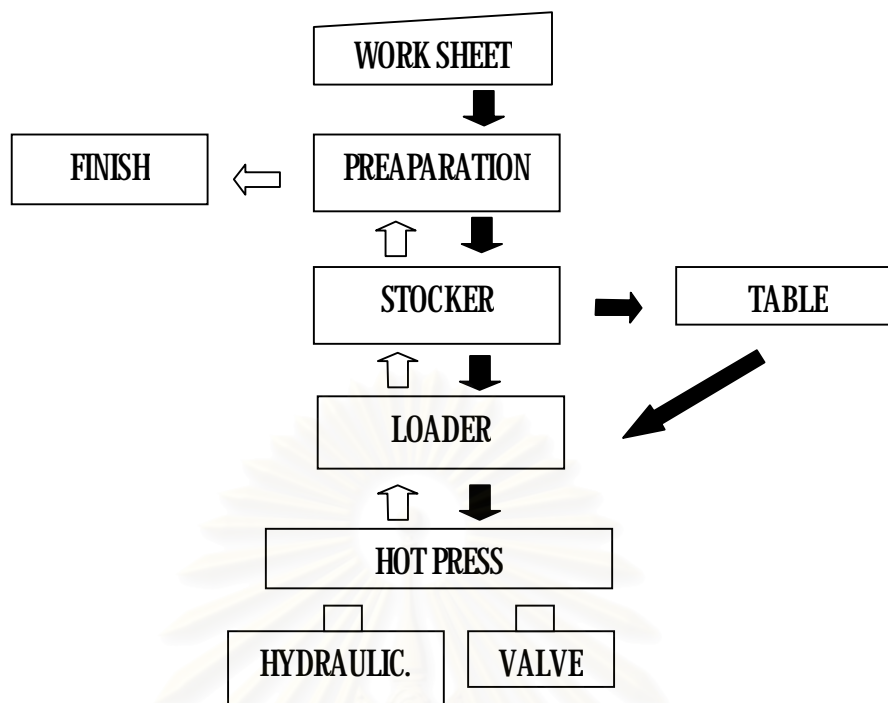
ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ **Work sheet (CCL กับวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า) Cushion Material** และ **Stainless Steel Plate** ซึ่ง 3 ส่วนนี้จะรวมเรียกว่า **1 Layer** ดังแสดงในรูปที่ 8 กระบวนการ **Curing process** จะใช้ความร้อนจากไอน้ำซึ่งเกิดจาก **Boiler** และแรงดันจากระบบ **Hydraulic** ของเครื่อง **Hot Press Machine** โดยความร้อนที่ได้จะมาจาก **Base Plate** ของเครื่องจักรส่งผ่านมายัง **Stainless Steel Plate** โดยมี **Work sheet (แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน)** อยู่ตรงกลาง ด้านบนและด้านล่างของ **Worksheet** จะมี **Cushion Material** ซึ่งวัสดุที่เป็นส่วนสำคัญที่สุดที่ช่วยบีบรัดวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าให้ติดกับเส้นลายวงจร และป้องกันไม่ให้เกิดรอยที่ **Worksheet** จากการได้รับแรงกดสูง



รูปที่ 34 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการบ่ม

3.42 เครื่อง Curing (Hot Press Machine)

ระบบการทำงานของกระบวนการบ่มมีการปฏิบัติงานเริ่มต้นตั้งแต่ การเตรียมงาน (Work Sheet) โดยส่งผ่านมาจาก Laminate Material ที่ต้องการจะทำการประสานลงบน Work Sheet การเตรียมงานก็คือการจัดวาง Work Sheet พร้อมกับ Cushion ที่เหมาะสมจะวางเรียง ซ้อนกันบนแผ่น Plate เป็นจำนวนหลายๆชั้นตามแต่ความสามารถของเครื่องจักรเพื่อที่จะนำเข้าไปกดอัดและถ่ายเทความร้อนภายใน Hot Press Machine ตามค่าของแรงกดอัดและอุณหภูมิที่เหมาะสมของ Work Sheet แต่ละชนิด หลังจากที่ยึดกำหนดเวลาของ Work Sheet ที่อยู่ใน Hot Press Machine แล้วก็จะนำงานทั้งหมดออกมาและจะทำการลอก Cushion ออกเพื่อที่จะจัดเก็บ Work Sheet ที่ต้องการ ที่จะผ่านกระบวนการต่อไป



รูปที่ 35 ผังแสดงการทำงานของกระบวนการบ่ม

ดังนั้นจึงจะต้องมีส่วนของเครื่องจักรหลายชนิดที่ใช้ในกระบวนการบ่มนี้เพื่อช่วยในการทำงาน โดยเริ่มต้นตั้งแต่การเตรียมงาน การใส่งานใน **Hot Press Machine** โดยส่วนประกอบของ **Hot Press Machine** มีดังนี้

1. Preparation Stand

ในการเตรียมงานของกระบวนการบ่มจะใช้วิธีการวาง **Cushion** แต่ละชนิดพร้อมกับ **Work Sheet** ลงบนแผ่น **Plate** ซึ่งจะเรียกว่า **Layer** ในการวางแต่ละชั้นซึ่งจะทำงานอยู่บน **Preparation Stand** ซึ่งมีลักษณะเป็นรางเลื่อนประกอบไปด้วยลูกกลิ้งใช้สำหรับเลื่อนแผ่น **Plate** ที่วางซ้อนกันไปสู่ **Stocker** เวลาเตรียมงานจะใช้วิธีการหยุดลูกกลิ้งเพื่อยึดจับไม่ได้แผ่น **Plate** ขยับเขยื้อน ที่บริเวณรางของ **Preparation Stand** จะมี **Remover** สำหรับควบคุมการยกแผ่น **Plate** โดยที่ **Remover** จะมีการดูดและยกแผ่น **Plate** ให้เคลื่อนที่ไปตามต้องการโดยใช้ระบบนิวเมตริก เป็นระบบในการดูดและเคลื่อนที่ไปทางซ้ายขวาตามต้องการ โดยการควบคุมที่บริเวณ **Preparation Stand**

2 Stocker

มีลักษณะเป็นชั้นๆเพื่อใช้สำหรับใช้ แผ่น **Plate** ที่เตรียมงานเรียบร้อยแล้วเพื่อเตรียมจะเข้าสู่ **Hot Press Machine** โดย 1 ชั้นของ **Stocker** นี้จะใส่ **Plate** จำนวน **1 Stage (10 Layer)** จะทำงานโดยการหมุนเลื่อนขึ้นและลงทางมอเตอร์เป็น **Step** โดยมีความเที่ยงตรงสูง ควบคุมโดย **Control Panel** บริเวณด้านหน้าของ **Stocker** โดยที่ตัว **Stocker** นี้จะมืออยู่กับ **Preparation Stand** ทุกตัว

3 Loader

การทำงานคือใช้ยกแผ่น **Plate** ที่จัดเรียงไว้เป็น **Stage** จาก **Stocker** หรือ **Hot Press Machine** การเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ไปตามรางเป็นทางตรงสามารที่จะหมุนตัว , สอดแขนยกขึ้นและลงได้ตามคำสั่ง การสั่งงานของ **Loader** จะทำได้ที่ตัว **Loader** เอง หรือที่ **Panel** บริเวณ **Preparation Stand (Remote)** การทำงานสามารถทำเป็นระบบอัตโนมัติหรือ **Manual** ได้ในระบบอัตโนมัติจะเริ่มจากการรับงานที่ **Stocker** หรือ **Table** โดยการเคลื่อนที่และสอดแขนกลเข้าไปเพื่อยกและถอยกลับมาพร้อมกับหมุนตัวและเคลื่อนที่ไปยัง **Hot Press Machine** ได้ตามต้องการการทำงานด้วยความเที่ยงตรงสูง

4 Table

ใช้เป็นที่พักงานจาก **Stocker** ก่อนที่จะเข้าสู่ **Hot Press Machine** มีลักษณะเป็นชั้นๆ เพื่อใช้วางแผ่น **Plate** ที่เรียงซ้อนกับเป็นชั้นๆ

5 Hot Press Machine

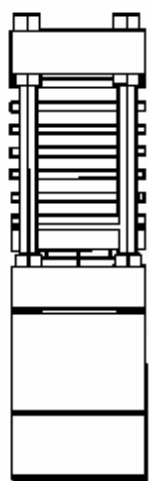
เป็นเครื่องจักรสำคัญในการถ่ายเทความร้อนสู่ชิ้นงานพร้อมด้วยแรงกดอัดโดยจะทำการ **Program** จาก **Control Panel** จะทำงานเป็นระบบดังนี้ เมื่อเริ่มทำงานการกดอัดจะทำได้จากระบบไฮดรอลิกขนาดใหญ่สำหรับ **Machine 6 Stage** จะมีแรงกดอัดที่รับได้สูงสุดประมาณ **200 Ton** โดยจะเปลี่ยนแปลงแรงกดจากการคำนวณพื้นที่ของ **Work Sheet (kg/cm²)** มาเป็นระบบ **Ton** ซึ่งจะกำหนดได้จากการ **Program** ไว้ที่ **Control Panel** พร้อมทั้งกำหนดเวลาในการกดอัดแต่ละครั้งด้วย

ส่วนทางด้าน การถ่ายเทอุณหภูมิจะเริ่มส่งผ่านมาจากการทำงานของ **Boiler** ที่จะใช้ระบบแรงกดอัดของไอน้ำมาเป็นตัวกำหนดความร้อน โดยกำหนดแรงกดอัดของ **Boiler** ดังต่อไปนี้

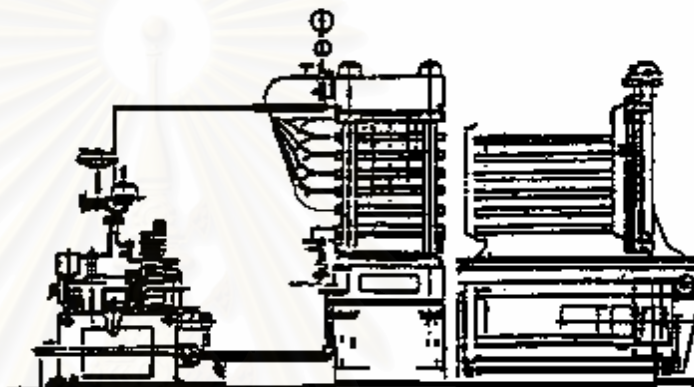
ระบบถ่ายเทความร้อนจะส่งมาที่ส่วนของ **Value Unit** เพื่อกำหนดแรงอัดของไอน้ำพร้อมทั้งส่งไปสู่ **Hot Press Machine** ในแต่ละ **Stage** โดยแยกจากกันเพื่อทำให้

Stage นั้นเกิดความร้อนที่ต้องการ และหลังจากนั้นจะทำการเป่าความร้อนออกจาก **Stage** และถ่ายเทระบบหล่อเย็นโดยน้ำและอากาศเข้าสู่ **Stage** แทนเมื่อแต่ละ **Stage** มีอุณหภูมิเย็นลงก็จะทำการถ่ายเทน้ำ และอากาศออกเมื่อครบการทำงาน **1 Cycle** โดยที่ระบบการทำงานนี้จะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของโปรแกรม ที่ **Control Panel** เท่านั้น

การทำงานได้ทั้งระบบอัตโนมัติและ **Manual** โดยอัตโนมัติจะทำงานตามที่ตั้งค่าโปรแกรมไว้ (ดังที่อธิบายไว้ด้านบน) ส่วน **Manual** นั้นจะเป็นขั้นตอนเหมือนกับระบบอัตโนมัติแต่สามารถควบคุมเวลาต่างๆ ได้ตามต้องการ



**HOT PRESS
MACHINE**



HOT PRESS MACHINE AND SUPPORT UNIT

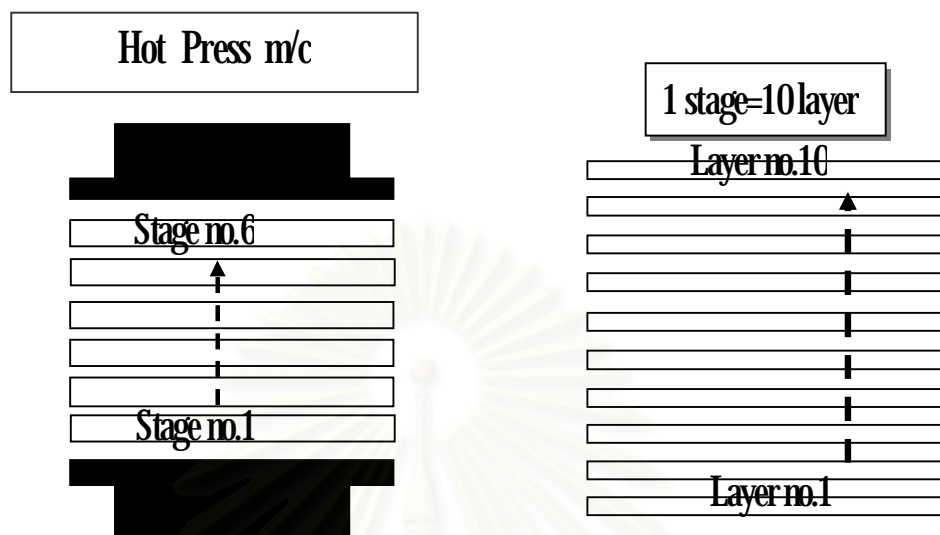
รูปที่ 36 Hot Press Machine และ Support Unit

6 Control Box

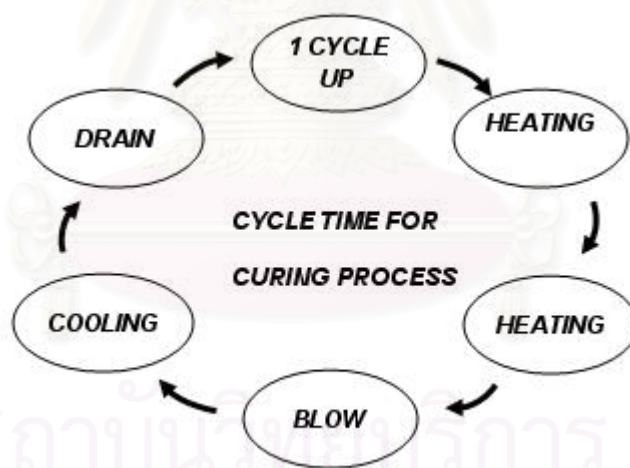
เป็นตัวควบคุมระบบการทำงานของ **Hot Press Machine** ระบบการเปิดและปิด ของ **Value Unit** และ **Hydraulic Unit** ประกอบไปด้วยฟังก์ชันการควบคุมการทำงาน การ **Run Program**, **Alarm Control**, **Automatic & Manual Run**, **Cycle Run** ซึ่งส่วนมากจะเป็นระบบของการตั้งค่าโปรแกรมทั้งสิ้น การเรียกใช้โปรแกรมจะทำได้จาก **Control Box** หรือที่ **Remote** เท่านั้น และจะมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึก ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแรงกดอัดของแต่ละ **Stage** โดยมีลักษณะ เป็นกราฟเส้นสำหรับแสดงผล

ระบบการทำงานของ **Curing Process** จะสามารถแบ่งแยกออกเป็นขั้นตอนต่างๆ เมื่อรวมกระบวนการทั้งหมดนี้เข้าด้วยกันจะเรียกว่า **1 Cycle time** โดย **1 Cycle Time** จะประกอบ

ไปด้วย 6 Stage แต่ละ Stage จะมีทั้งหมด 10 Layer ดังนั้น 1 Cycle จะมีทั้งหมด 60 Layer ดังแสดงในรูปที่ 37



รูปที่ 37 แสดงโครงสร้าง 1 Cycle Time ของกระบวนการบ่ม



รูปที่ 38 กระบวนการ 1 Cycle Time ของกระบวนการบ่ม

กระบวนการที่เกิดขึ้นใน 1 Cycle Time เป็นดังต่อไปนี้

1) Cycle up คือเริ่มตั้งแต่การเตรียม Work Sheet ทั้งหมดลงบนแผ่น Plate จำนวนหลายๆ Layer จากทั้งหมด 6 Stage (8 Layer: 1 Stage) ใส่เข้าไปใน Hot Press Machine ให้เริ่มทำงาน (ถ่ายเทความร้อนและแรงกดอัด)

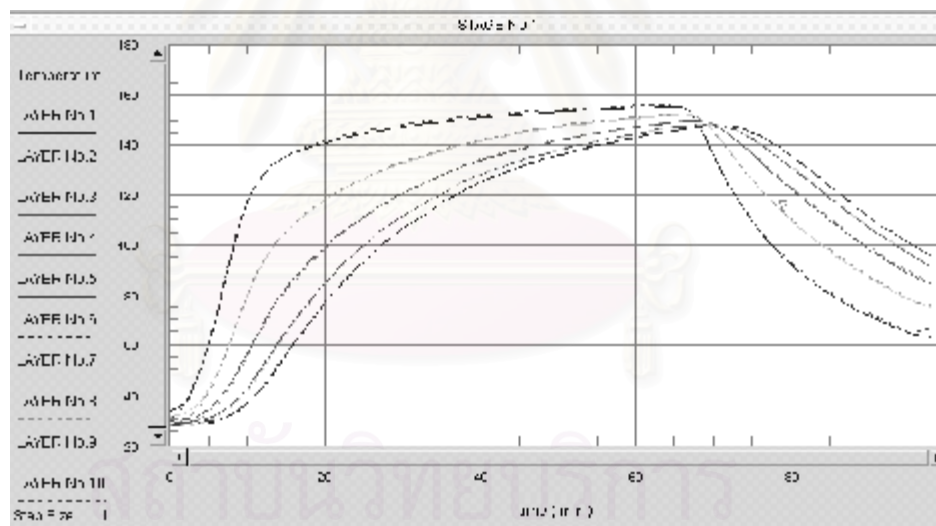
2) **Heating Flow** คือการเริ่มของการเป่าความที่ได้รับมาจาก **Boiler** ให้ผ่านเข้าสู่แต่ละชั้นของ **Hot Press Machine** หรือเป็นการไล่อากาศภายในชั้นต่างๆเพื่อเตรียมถ่ายเทความร้อน

3) **Heating** คือการเริ่มถ่ายเทความร้อนสู่ชั้นของ **Hot Press Machine** ตามค่า **Pressure** ของแรงดันไอน้ำโดยที่ **Value** ของระบบไอน้ำจะเปิดตามค่า **Setting** ต่างๆ

4) **Blow** จะเป็นการไล่ความร้อนภายในชั้นต่างๆเพื่อให้ความร้อนลดลง โดยจะไล่ความร้อนออกก่อนที่จะเข้าสู่ระบบ **Cooling** เนื่องจากถ้าให้เข้าสู่ **Cooling** ทันทีจะทำให้เครื่องจักรเสียได้

5) **Cooling** คือช่วงของการเข้าสู่ระบบหล่อเย็นทำโดยอากาศและน้ำ เพื่อช่วยในการเอา **Worksheet** ออก เนื่องจากถ้า **Worksheet** ที่มีอุณหภูมิสูง มาสัมผัสกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก ทันทีจะทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของ **product**

6) **Drain** คือการระบายอากาศและน้ำของระบบหล่อเย็นออกจากชั้นของ **Hot Press Machine** เพื่อกลับเข้าสู่สภาวะปกติ



รูปที่ 3.9 Profile ของอุณหภูมิของแต่ละ Layer

3.4.3 Curing Condition

Condition ของกระบวนการบ่มสำหรับที่ใช้ประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 อุณหภูมิที่ใช้ใน ส่วนที่ 2 เวลาที่ใช้ ส่วนที่ 3 คือ ความดันหรือแรงดันที่ใช้ ส่วนสุดท้าย คือ

โครงสร้างของ **Cushion Material** ซึ่ง **Curing Condition** ของบางผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกัน บางผลิตภัณฑ์อาจจะคล้ายคลึงกัน

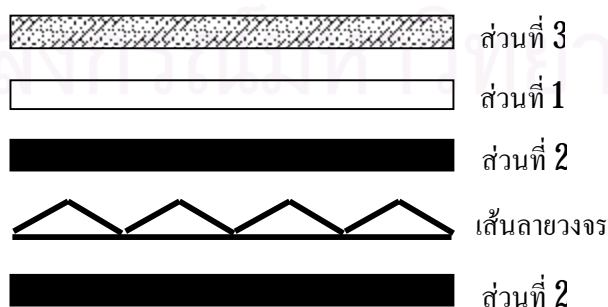
3.4.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของ **Cushion Material**

ประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ

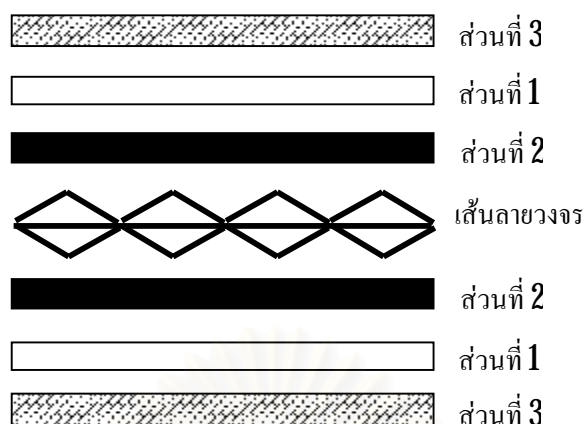
- ส่วนที่ 1 เป็นส่วนที่ช่วยบีบรัดให้ **CL** หรือ **STF** เคลือบติดกับเส้นลายวงจร โดยอุณหภูมิของการหลอมละลายของ **Film** นี้จะมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิของ **Curing Process** ดังนั้น **Film** นี้จะเหมือนกลายเป็นน้ำ ซึ่งทำให้สามารถที่จะไหลลงไปแม้แต่ในบริเวณที่ความกว้างของเส้นลายวงจรมีขนาดเล็ก โพลีเมอร์ที่ใช้คือ **PE (Polyethylene)**

- ส่วนที่ 2 เรียกว่า **Release Film** ที่กั้นระหว่างส่วนที่บีบรัดกับแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน ซึ่งจะป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของส่วนที่ 1 สัมผัสกับแผ่นวงจรพิมพ์โดยตรง สำหรับ **Film** ชนิดนี้จะต้องไม่ละลาย คือ ต้องมีอุณหภูมิของการหลอมละลายสูงกว่าอุณหภูมิของกระบวนการบ่ม และมีหน้าที่กั้นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนไม่ให้สัมผัสโดยตรงกับ **Stainless Plate** โดยต้องไม่มีส่วนผสมของสารปรับสภาพพลาสติก (**Plasticizers**) และสารเติมพวกอนินทรีย์ (**Inorganic Filler**) โพลีเมอร์ที่ใช้ ได้แก่ **Polypropylene** และ **Methylpentene Copolymer**

- ส่วนที่ 3 วัสดุที่มักใช้คือ **Craft Paper** เป็นส่วนที่จะ **absorb** ให้เส้นลายวงจรสูงขึ้น **Absorb** ตัว **STF** เพื่อไม่ให้ **STF** ทับเส้นลายวงจรมากเกินไป เพราะจะทำให้เส้นลายวงจรแตกหรือหักได้ เป็นตัวกั้นไม่ให้อุณหภูมิของส่วนที่ 1 สัมผัสกับ **Stainless Plate** เพราะส่วนที่ 1 อาจละลายติดกับ **Plate** ได้ และส่วนที่ 3 นี้ยังเป็นตัวป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของส่วนที่ 1 มีการละลายตัวเต็มที่ เนื่องจากถ้าส่วนที่ 1 มีการละลายตัวเต็มที่จะทำให้ส่วนที่ 1 มีการขยายตัวเต็มที่ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนมากเกินไป ทำให้ขนาดความกว้างและความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ได้ตามที่ออกแบบ และอาจจะมีผลต่อ **Process** ถัดไป คุณสมบัติที่สำคัญคือต้องไม่ยืดหดเมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันที่สูง (**Dimension Stability**)



รูปที่ 3.10 โครงสร้างของ **Cushion Material** กรณีของ **Single Side Product**



รูปที่ 311 โครงสร้างของ Cushion Material กรณีของ Double Side Product

ตารางที่ 31 คุณสมบัติของ Cushion Material ในกระบวนการปั๊ม

Item	Methylpentene Copolymer	Polypropylene	Polyethylene
Thickness : um	50+/-5	35+/-5	100+/-10
Tensile strength (MD) kg/mm ²	> 2	> 2	>2
Tensile strength (TD) kg/mm ²	> 2	> 2	>2
% Elongation(MD)	> 150	> 200	>200
% Elongation(TD)	> 300	> 200	>200
Melting point (°C)	225+/-5	164+/- 3	107+/-10

Item	Craft Paper
Thickness (um)	300 (+/-20)
Weight (g/M ²)	180 (+/-20)
Moisture absorption (%)	< 9
Tensile ;MD (kg/cm)	7 (+/-3)
Tensile ;TD (kg/cm)	12 (+/-5)

344 แรงดันหรือความดัน

คำนวณจากพื้นที่ที่จะต้องรับแรงกระทำ

345 เวลาที่ใช้ในการบ่ม

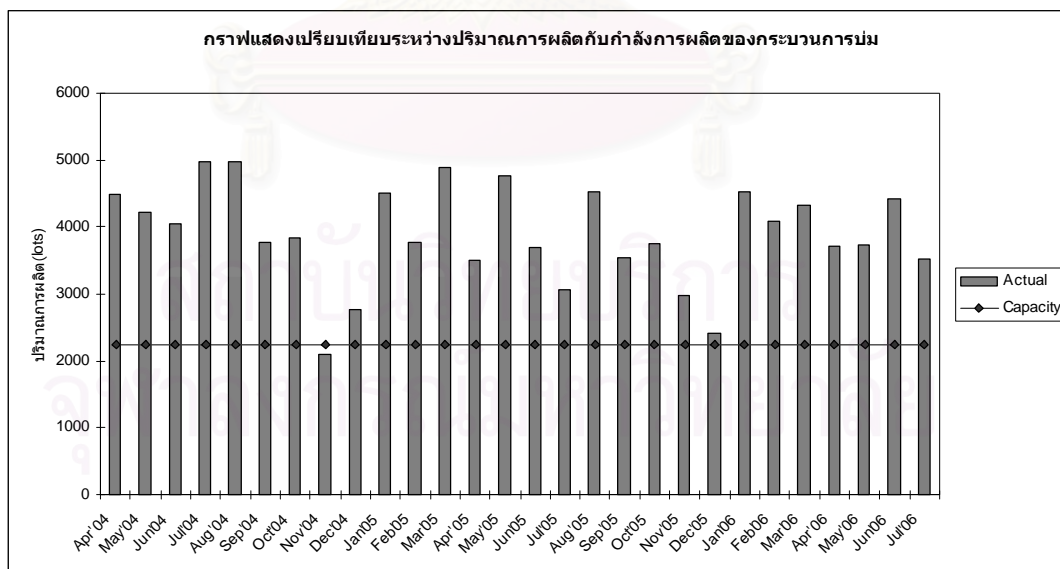
ขึ้นกับการถ่ายเทความร้อนของจำนวนชั้น (Layer) ทั้งหมด

346 อุณหภูมิที่ใช้

ขึ้นกับชนิดของกาวของฉนวนไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยจะใช้อุณหภูมิที่ทาง **vendor** เป็นผู้กำหนด

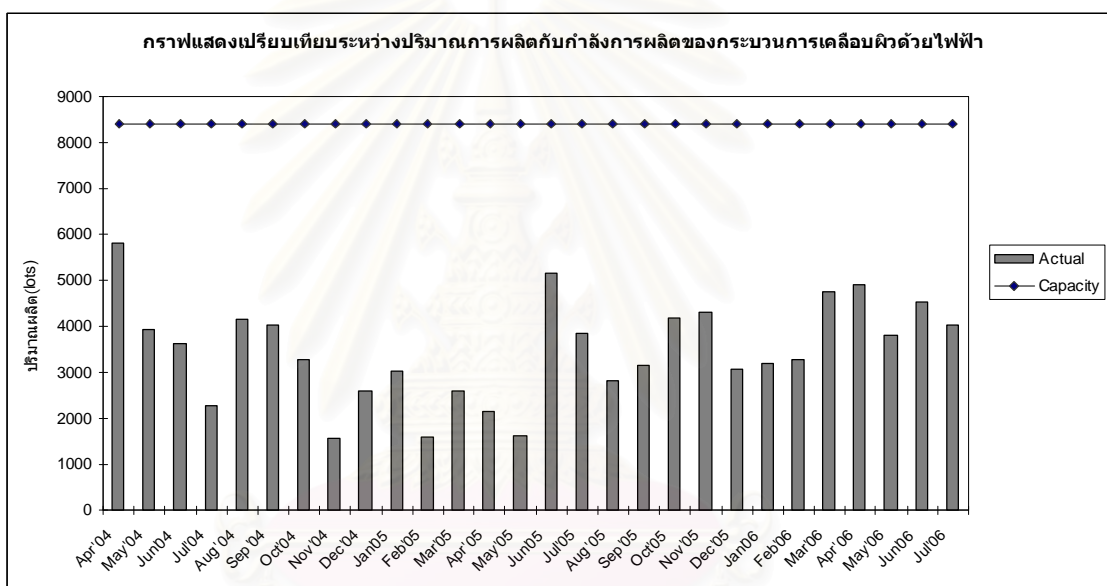
35 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

เนื่องจากพบว่าปริมาณที่ผลิตเมื่อเทียบกำลังการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ของกระบวนการบ่มมีไม่เพียงพอ ดังรูปที่ 312 ส่งผลให้เกิดงานรอผลิตเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 312 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการผลิตกับกำลังการผลิตของกระบวนการบ่ม

งานที่รอเป็นจำนวนมากในกระบวนการบ่มนี้ มีผลกับคุณภาพของกาวเทอร์โมเซตติงที่ใช้ ในกลุ่มผิวเส้นลายวงจร เพราะว่าเวลาที่นานและอุณหภูมิที่ร้อนจะทำให้กาวมีคุณภาพต่ำลง ทำให้ ต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิต เช่น การทำงานล่วงเวลาของพนักงาน การควบคุมสถานที่เก็บและ อุณหภูมิให้เหมาะสมที่ไม่กระทบต่อคุณสมบัติของกาว เป็นต้น แต่อุณหภูมิดังกล่าวก็ผลกับการเกิด สนิมของแผ่นทองแดงที่ใช้ทำแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นจึงทำให้คณะทำงานต้องหาวิธีอื่นๆ ที่จะเพิ่ม กำลังการผลิตโดยที่ไม่กระทบต่อคุณภาพของกาวและแผ่นวงจรพิมพ์ และเพื่อเป็นการยืนยันว่า เมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิตที่กระบวนการบ่มแล้วต้องไม่ทำให้เกิดงานรอผลิตที่กระบวนการถัดไป คือ กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ดังรูปที่ 313 จะพบว่ากระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าไม่ได้ รับอิทธิพลต่อปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นของกระบวนการบ่ม

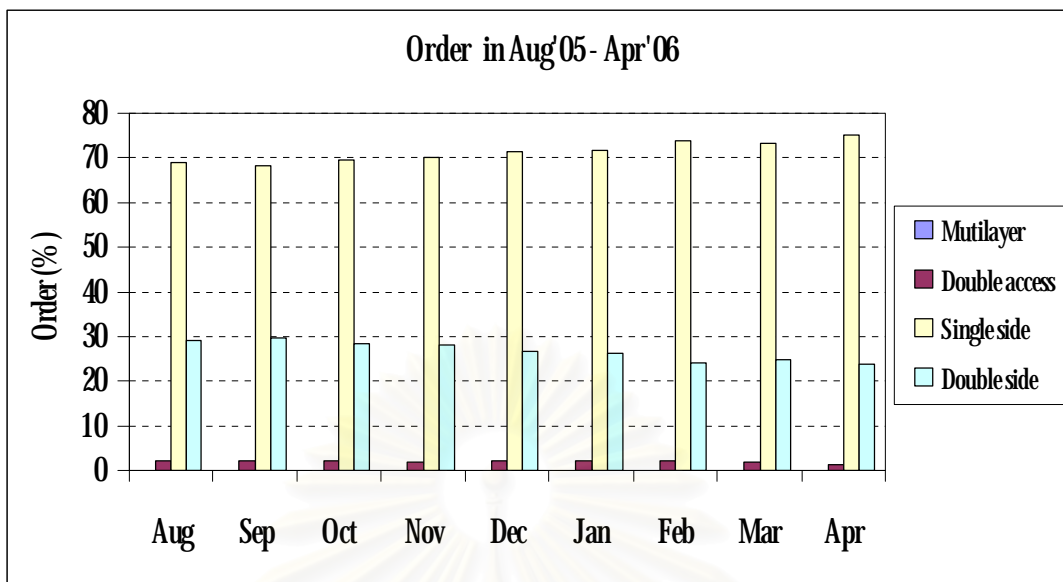


รูปที่ 313 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการผลิตกับกำลังการผลิต
ของกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

36 การกำหนดปัญหา

361 การวิเคราะห์ที่มาของปัญหา

- ก) การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษา
การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษานั้นได้ทำการวิเคราะห์โดยพิจารณา
ทางด้านการตลาด พิจารณาวุฒิภาวะของผลิตภัณฑ์



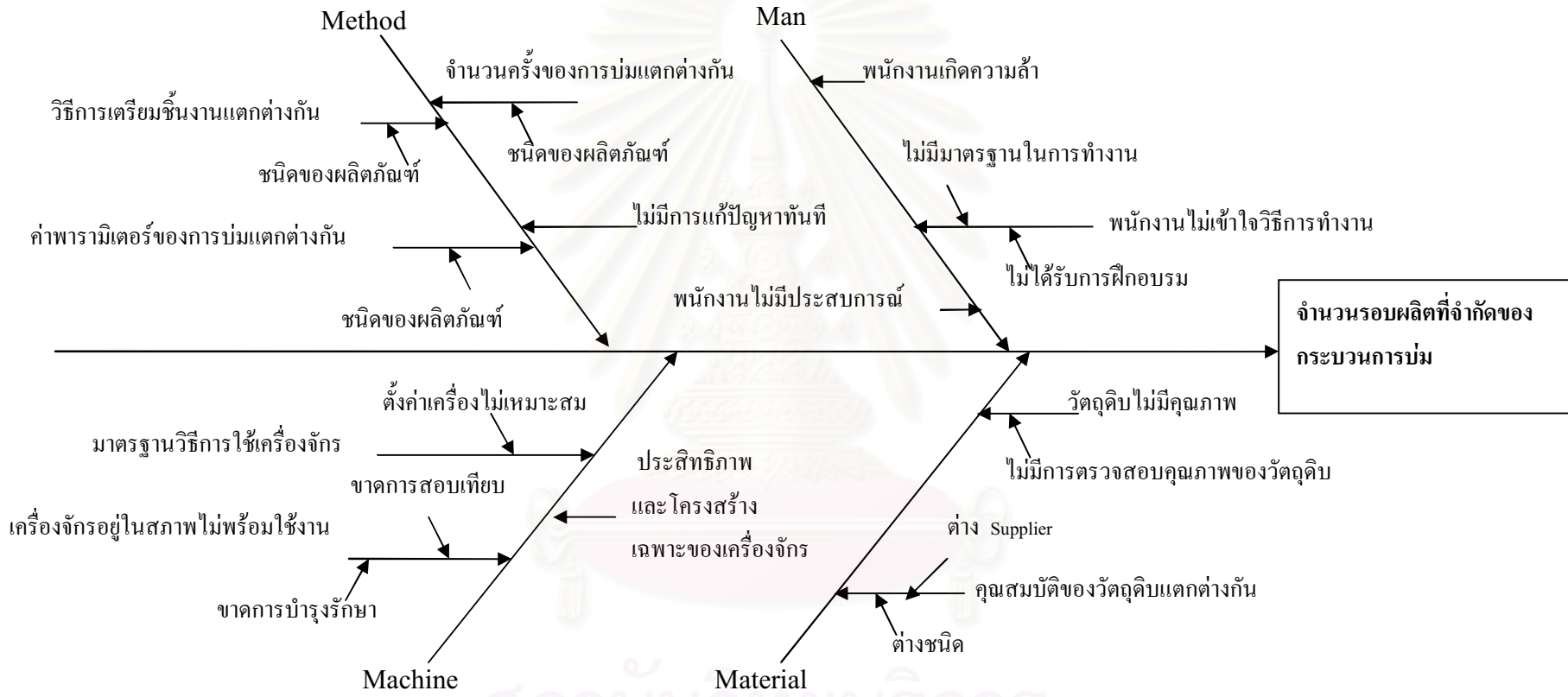
รูปที่ 314 แสดงยอดการสั่งซื้อในแต่ละผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลด้านการสั่งซื้อของลูกค้าพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีด้านลายวงจรเพียงด้านเดียว (**Single Side Product**) ดังรูปที่ 314 จะเห็นได้ว่ายังอยู่ในช่วงความต้องการของตลาดค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ซึ่งมียอดการสั่งซื้อประมาณ 70% ของยอดการสั่งซื้อทั้งหมดต่อเดือน และมียอดการสั่งซื้อค่อนข้างสูงและต่อเนื่อง

จ) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่ม
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่มสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ปัจจัยหลักๆ ซึ่งได้แก่

- ปัจจัยที่เกิดจากคน (**Man**)
- ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักร (**Machine**)
- ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (**Material**)
- ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการ (**Method**)

ซึ่งยังสามารถแยกย่อยออกได้เป็นปัจจัยย่อยต่างๆ สามารถสรุปได้โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล (**Cause and Effect Diagram**) ดังรูปที่ 315



รูปที่ 3.15 แสดงแผนภูมิสาเหตุและผลของปัญหาจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่ม

ค) การเลือกปัจจัยที่ใช้ในงานวิจัย

การเลือกปัจจัยที่จะนำมาศึกษานั้นได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลที่ทำให้กระบวนการบ่มนั้นใช้เวลานานมากที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ได้แก่ จำนวนรอบของการบ่มในแต่ละวัน จำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรอบของการบ่มและจำนวนครั้งที่ผลิตภัณฑ์ต้องผ่านกระบวนการบ่ม

จากปัจจัยข้างต้นไม่สามารถที่จะเพิ่มกำลังการผลิตได้กับทุกปัจจัย เนื่องจากกำลังความสามารถการทำงานของเครื่องจักร(เครื่องบ่ม) และสภาวะการทำงานที่เฉพาะเจาะจงของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ได้แก่ ความดัน อุณหภูมิ เวลา โครงสร้างของ **Cushion material**

ในงานวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยที่ทำได้เท่านั้น คือ

- 1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงวิธีการเตรียมชิ้นงานที่แตกต่างกันที่สามารถเพิ่มจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรอบของการบ่ม
- 2) ศึกษาการลดจำนวนครั้งที่ผลิตภัณฑ์ต้องผ่านกระบวนการบ่ม ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ต้องผ่านการบ่มหลายครั้ง

ในส่วนของปัจจัยอื่นที่ไม่ได้ถูกเลือกมาทำการวิจัยนั้น ผู้วิจัยได้สรุปเหตุผลที่ไม่ได้ทำการเลือก ได้ดังต่อไปนี้

- 1) ค่าพารามิเตอร์ของการบ่มที่แตกต่างกัน
เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน และเวลา พารามิเตอร์เหล่านี้ถูกกำหนดโดยชนิดของกาวคือเทอร์โมเซตติง พื้นที่ของแผ่นวงจรพิมพ์ และความหนาของแผ่น-สแตนเลสของเครื่องกระบวนการบ่ม ซึ่งถูกกำหนดจากการใช้งานของลูกค้ำที่จะนำแผ่นวงจรพิมพ์ดังกล่าวไปใช้งาน
- 2) พนักงานไม่ได้รับการฝึกอบรมและทำงานโดยไม่มีมาตรฐานทางบริษัทได้จัดทำแผนที่จะป้องกันปัญหาดังกล่าว โดยมีการแบ่งพนักงานออกเป็นกลุ่มย่อยซึ่งแต่ละกลุ่มย่อยมีหัวหน้าทีมที่มีประสบการณ์เป็นผู้ดูแลอย่างใกล้ชิดและมีการจัดให้มีการพูดถึงจุดสำคัญ(**Key point**) ของกระบวนการบ่มก่อนที่จะเริ่มงานในแต่ละวัน ผลการทำกิจกรรมดังกล่าวพบว่า การทำงานที่ผิดพลาดของพนักงานลดลง

- 3) คุณสมบัติของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน
แผ่นวงจรพิมพ์ต่าง ๆ นั้นจะถูกออกแบบให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าซึ่งต้องเหมาะสมกับลักษณะการนำอุปกรณ์ไปใช้งาน บางครั้งลูกค้าก็จะกำหนดชื่อของวัตถุดิบที่ต้องการใช้ และบางครั้งลูกค้าก็กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการแล้วให้ทางผู้ผลิตเป็นฝ่ายหาวัตถุดิบเอง การเปลี่ยนคุณสมบัติดังกล่าวเพื่อที่จะให้จำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่มเพิ่มขึ้นนั้นไม่สามารถที่จะทำได้ด้วยตัวผู้ผลิต

4) คุณภาพที่ไม่ดีของวัตถุดิบ

บริษัทมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ในการควบคุมและตรวจสอบวัตถุดิบที่จะใช้ในกระบวนการผลิต ถ้าวัตถุดิบเหล่านี้มีปัญหา ทางบริษัทจะมีขั้นตอนในการหยุดไม่ให้วัตถุดิบดังกล่าวถูกใช้ในการผลิต สำหรับกระบวนการบ่มนั้นเมื่อมีปัญหาที่เกิดจากวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพ พนักงานที่วางแผนการผลิตในแต่ละวัน สามารถที่จะเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่ไม่มีปัญหาเข้ากระบวนการบ่มแทนที่ผลิตภัณฑ์ที่มีวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพที่วางแผนไว้ก่อนหน้าแทนได้

5) เครื่องจักรอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งานและขาดการบำรุงรักษา

สาเหตุดังกล่าวอาจจะทำให้เครื่องจักรหยุดกะทันหันหรือแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการบ่มไม่ได้ตามคุณสมบัติที่ลูกค้าต้องการ ทางคณะทำงานได้มีการปรับปรุงโดยกำหนด การตรวจสอบเครื่องจักรเป็นประจำ มีช่วงเวลาของการตรวจสอบ โดยมีวิศวกรฝ่ายวิศวกรรมโรงงานและซ่อมบำรุงและวิศวกรฝ่ายผลิตเข้ามาทำงานร่วมกันในการซ่อมบำรุง ทำให้ในปัจจุบันไม่พบปัญหาการผลิตไม่ได้ตามต้องการเนื่องจากเครื่องจักรใช้งานไม่ได้

6) พนักงานเกิดความล้าจากการทำงาน

มีผลทำให้การทำงานของพนักงานล่าช้าไม่ทันต่อการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาการนำแผ่นวงจรพิมพ์เข้าเครื่องบ่ม ได้มีการปรับการทำงาน โดยให้พนักงานมีการหมุนเวียนเปลี่ยนหน้าที่การทำงานกัน ไม่ให้ทำงานซ้ำกันเป็นเวลานานเกินไป

3.7 คุณสมบัติที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ของแผ่นวงจรพิมพ์

ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่มนั้น ปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะต้องไม่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน สำหรับการวัดผลของการทดลองเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

(1) การวิเคราะห์จากทางแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท โดยทำการวิเคราะห์ค่าดังนี้

ก) Peel Strength

คือวิธีการทดสอบแรงยึดของ CCL กับ CL หรือแรง ยึดของ

Adhesive

ข) Solder Heat Resistance

คือการทดสอบการยึดติดกันระหว่าง CCL กับ CL (หลังจากผ่านขบวนการ Curing) ภายใต้สภาวะบ่มตะกั่ว เหลวที่ 260°C เป็นเวลา 10 วินาที (โดยการลอยชิ้นงานบนผิวหน้าตะกั่ว)

ค) **Cross section**

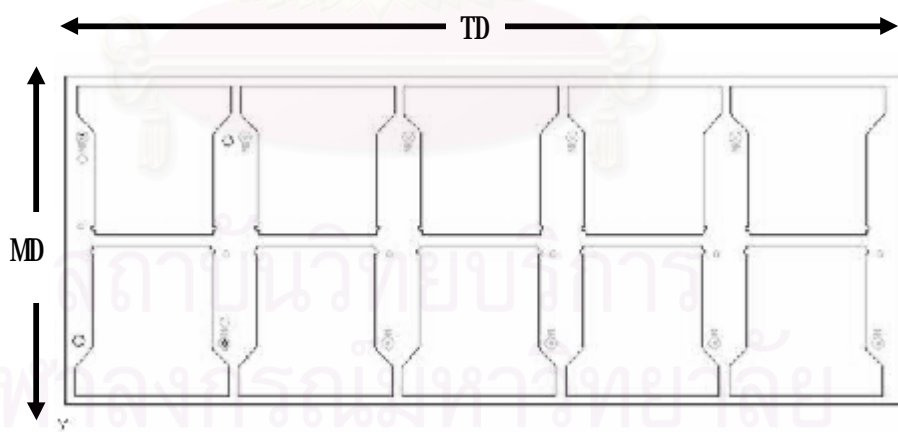
คือวิธีการตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการขัด (เช่น หาความหนา ลักษณะภายในชิ้นงาน, ชั้นของชิ้นงาน) และยังใช้เพื่อตรวจสอบการ crack ของเส้นลายวงจร

ง) **Milli-Ohm Meter**

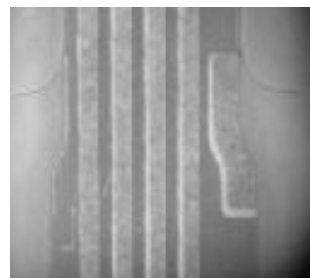
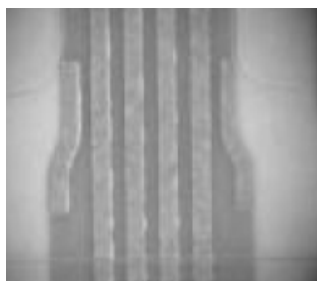
คือ เครื่องมือในการวัดความต้านทานของเส้นลายวงจรของชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบการแตกหักของเส้นลายวงจร (Crack)

(2) การวิเคราะห์ขนาดความกว้าง (Transverse direction; TD) และความยาว (Machine direction; MD) ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน โดยเครื่องวัด 3-Dimension

เนื่องจากแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนต้องสามารถนำไปต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้พอดีและการออกแบบเครื่องมือที่ช่วยในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนนั้นจะถูกออกแบบให้มีขนาดเท่ากับแผ่นฟิล์มซึ่งมีขนาดเท่ากับขนาดที่ลูกค้าต้องการ ขนาดของการเปลี่ยนแปลงจะต้องเท่าเดิมหรือใกล้เคียงกับขนาดก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลง โดยใช้เครื่อง 3-Dimension ในการวัด



รูปที่ 316 แสดงขนาดความกว้าง (TD) และความยาว (MD) ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนตัวอย่าง



ก) แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่ปกติ

ข) แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีความบกพร่องจากการเปลี่ยนแปลงของ TD และ MD

รูปที่ 317 แสดงลักษณะของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของความกว้างและความยาว

(3) การวิเคราะห์จากของเสียที่เกิดขึ้นจากบันทึกของฝ่ายผลิตของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายก่อนส่งมอบให้กับลูกค้า โดยตรวจสอบของเสียดังรายการต่อไปนี้

- ก) CL Bubble
- ข) Adhesive Flow
- ค) BLK/PIC misposition

3.8 การกำหนดขั้นตอนในการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้

แนวทางการปฏิบัติจะประกอบด้วยหลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ ประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอนที่ใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา คือ

- 3.8.1 การแจกแจงปัญหา (Define Phase)
- 3.8.2 การวัดเพื่อสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)
- 3.8.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)
- 3.8.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
- 3.8.5 การควบคุมการผลิต (Control Phase)

เครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 32 แสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่าง ๆ

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การแจกแจงปัญหา (Define Phase)	การระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของกระบวนการ - ผังก้างปลา (Cause & Effect)	ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเบื้องต้น (Key Process Input Variable)	- ผังก้างปลาจะเป็นแผนภาพในการบ่งชี้สาเหตุต่าง ๆ ของปัญหาโดยละเอียด ทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาทั้งระบบ อีกทั้งครอบคลุมปัจจัยนำเข้าทั้งหมด ซึ่งทำให้เห็นรากเหง้าของปัญหา
การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ	-Peel Strength -ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของเส้นลวดวงจร -การเปลี่ยนแปลงค่ากว้าง (TD) และความยาว (MD)	เป็นค่าที่สามารถแสดงถึงความสามารถของกระบวนการ
	การศึกษาระบบการวัด (GR & R)	ค่า % P/TV ของ -ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของเส้นลวดวงจร -การเปลี่ยนแปลงค่ากว้าง (TD) และความยาว (MD)	เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของระบบการวัดในส่วนของความแม่นยำและเที่ยงตรงเพื่อยืนยันก่อนการดำเนินงานในขั้นต่อไป

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)	การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) 2 Sample T-Test Test of variance	P-Value น้อยกว่า 0.05	เพื่อเปรียบเทียบว่าระดับในแต่ละปัจจัยนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งเปรียบเทียบทั้งค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ทั้งนี้เพื่อเป็นการคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความแตกต่างกันเท่านั้น
	การหาค่า Correlation	$R^2 > 90\%$	เพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละที่วางงานกับชิ้นงานมาตรฐาน
การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	P-Value น้อยกว่า 0.05	เพื่อหาการกำหนดระดับของปัจจัยที่มีนัยสำคัญอย่างเหมาะสม
	การทดสอบการยืนยัน	1) ผลจาก R&D - Peel Strength - Solder heat resistance - Cross section - ความต้านทานไฟฟ้าของเส้นลายนววงจร 2) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่ากว้าง (TD) และความยาว (MD) 3) ปริมาณของเสียที่บันทึกจากกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย	เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมนั้นสามารถนำไปดำเนินการผลิตในการกระบวนการผลิตจริง

วงจร(Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การควบคุมการผลิต (Control Phase)	การควบคุมคุณภาพของกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (Statistical Process Control : SPC)	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง	เพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยต่าง ๆ อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และหากเกิดเหตุการณ์ที่ปัจจัยออกนอกเส้นควบคุมก็มีมาตรการในการดำเนินการแก้ไขไม่ให้เกิดของเสียเกิดขึ้น

จากการระดมความคิดของทีมงานดำเนินงานเพื่อทำการกำหนดเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้สามารถดำเนินการได้สอดคล้องตามแผนที่ที่กำหนดไว้ตามตารางการดำเนินงาน

39 สรุปขั้นตอนการนิยามปัญหา

จากขั้นตอนการนิยามปัญหาผลลัพธ์ที่ได้ คือ ทีมงานระดมความคิดและดำเนินงานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ ได้ทำการศึกษาตลอดกระบวนการผลิตแล้วคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนค่อนข้างมากมาศึกษาและตัวแปรตอบสนองคือผลของคุณสมบัติที่วัดทั้ง 3 ส่วนจากนั้นทำการกำหนดเครื่องมือและตัววัดผลต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งจะดำเนินการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ในบทต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

จากบทที่แล้วได้อธิบายขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่างๆ การแก้ปัญหาแล้ว ในบทนี้จะแสดงการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการบ่ม จากนั้นทำการทดลองเพื่อจะลดขอบเขตของแหล่งของปัญหาที่ทำการศึกษา เพื่อเพิ่มความเชื่อถือและเป็นการประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่อไป ในงานวิจัยฉบับนี้มีการวัดผลของการทดลองเป็น 3 ส่วนดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 คือ

- การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปจากทางแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท ได้แก่ ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** ค่าความต้านทานไฟฟ้า
- การวิเคราะห์ขนาดความกว้างและความยาวโดยเครื่องวัด **3-Dimension** ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
- การวิเคราะห์จากของเสียที่เกิดขึ้นจากบันทึกของฝ่ายผลิตของกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจะวิเคราะห์เฉพาะของเครื่องวัด **3-Dimension** เท่านั้น เนื่องจากการวิเคราะห์ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์แบบทำลายสิ่งตัวอย่างและมีมาตรฐานการวัดของทางเครื่องบริษัทเป็นตัวกำหนด และส่วนที่ 3 นั้นเป็นการนำข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายมาเปรียบเทียบผลของการทดลองเท่านั้น สำหรับวิธีการวัดค่าขนาดความกว้างและความยาวมีวิธีการเหมือนกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะเลือกทำการวิเคราะห์เพียงค่าเดียว ในที่นี้ได้ทำการเลือกค่าความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์มาทำการวิเคราะห์

ค่าความยาวที่กระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ค่าความแตกต่างก่อนและหลังกระบวนการบ่ม โดยจะนำแผ่นวงจรพิมพ์วัดค่าความยาวก่อนเข้ากระบวนการบ่ม หลังจากที่ผ่านมากระบวนการบ่มแล้วนำแผ่นวงจรพิมพ์กลับมาวัดค่าความยาวครั้งที่ 2 โดยวัดที่ตำแหน่งเดิม

4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

แผ่นวงจรพิมพ์ที่ทำการทดสอบจะต้องถูกพนักงานของเครื่อง **3-Dimension** วัดค่าความกว้าง (TD) และความยาว (MD) ของแผ่นวงจรพิมพ์ก่อนและหลังผ่านกระบวนการบ่ม ก่อนนำส่งกระบวนการเคลือบผิว ด้วยก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการวัดที่การเก็บบันทึกไปทำการวิเคราะห์

เราจะต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) ก่อนเพื่อดูว่าข้อมูลความกว้างและความยาวจากวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นเชื่อถือมากน้อยเพียงใด

ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดในปัจจุบันด้วยวิธี **Gage R&R** สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดความกว้างและความยาวมีทั้งหมด 2 เครื่อง คือ เครื่อง **3-Dimension no.1** และเครื่อง **3-Dimension no.2**

41.1 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดของเครื่อง **3-Dimension no.1** และ **no.2**

41.1.1) พารามิเตอร์ที่พิจารณา

คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์หลังกระบวนการบ่ม (Curing Process) ในสภาวะปกติก่อนทำการทดลองเปลี่ยนแปลง

41.1.2) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา **GR & R**

จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกะ 1 คนต่อ 1 กะ ต่อ 1 เครื่อง รวมพนักงานทั้งหมด 4 คน โดยพนักงานได้รับการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษายเป็นประจำทุกวัน

41.1.3) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างคือ **EPP-368** มีจำนวนทั้งหมด 10 ตัวอย่างโดยทำการคัดเลือกแบบสุ่มและเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่างตั้งแต่ 1 ถึง 10

41.1.4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง ด้วยวิธีการเดียวกันและบันทึกค่าลงในภาคผนวก ข

41.1.5) การสอบเทียบเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดทั้ง 2 เครื่องจะถูกสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าเป็นเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องเครื่องมือวัด โดยใช้วิธีการสอบเทียบของมาตรฐานของเครื่องวัดนั้น

41.1.6) ขั้นตอนการทดลองที่ใช้ศึกษา **GR & R**

ก) ให้พนักงานคนที่ 1 สุ่มแผ่นวงจรมพิมพ์ตัวอย่างที่ได้เพื่อเตรียมทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์

ข) พนักงานคนที่ 1 จะทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์ตัวอย่างจนครบทั้ง 10 ชิ้น และวัดซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยการวัดซ้ำนั้นพนักงานต้องทำการสุ่มแผ่นวงจรมพิมพ์ตัวอย่างด้วย จากนั้นพนักงานจะทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรมพิมพ์ที่วัดได้ในแต่ละชิ้นลงในตารางบันทึกผลการวัด (ภาคผนวก ข)

ค) ให้พนักงานคนที่ 2 3 และ 4 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ตามขั้นตอนตั้งข้างต้นของพนักงานคนที่ 1 ซึ่งในการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ตัวอย่างในแต่ละครั้งจะต้องทำอย่างสุ่ม

41.1.7) ผลลัพธ์ในการศึกษา

ก) เครื่อง 3-Dimension no.1

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 41 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.1

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
sheet no.	9	0.0050215	0.0005579	276.731	0.000
operator	3	0.0000024	0.0000008	0.403	0.752
sheet no. * operator	27	0.0000544	0.0000020	1.772	0.049
Repeatability	40	0.0000455	0.0000011		
Total	79	0.0051239			

- ผลการประเมินความผันแปร

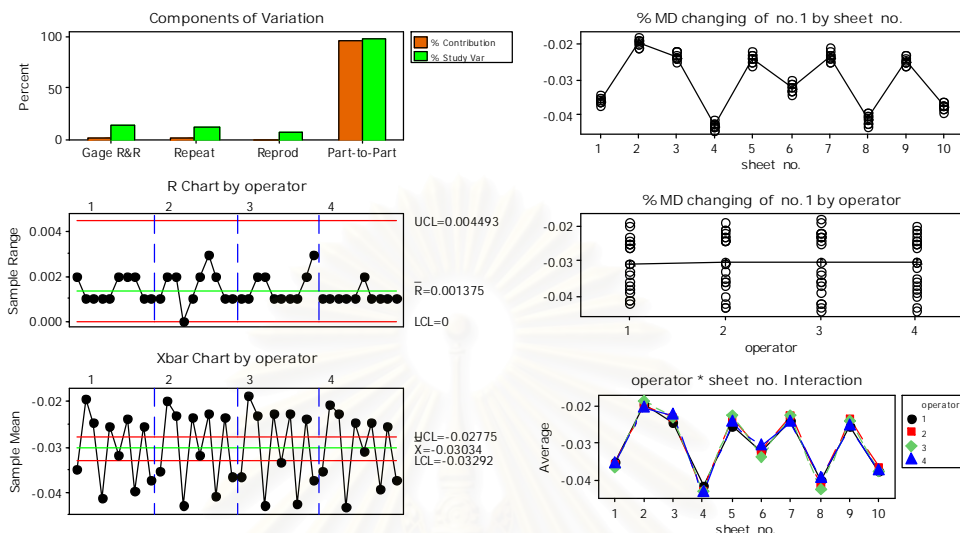
ตารางที่ 42 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.1

Gage R&R				
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)		
Total Gage R&R	0.0000016	2.22		
Repeatability	0.0000011	1.60		
Reproducibility	0.0000004	0.62		
operator	0.0000000	0.00		
operator*sheet no.	0.0000004	0.62		
Part-To-Part	0.0000695	97.78		
Total Variation	0.0000711	100.00		
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	
Total Gage R&R	0.0012557	0.0075344	14.90	
Repeatability	0.0010665	0.0063992	12.65	
Reproducibility	0.0006628	0.0039770	7.86	
operator	0.0000000	0.0000000	0.00	
operator*sheet no.	0.0006628	0.0039770	7.86	
Part-To-Part	0.0083361	0.0500168	98.88	
Total Variation	0.0084302	0.0505811	100.00	
Number of Distinct Categories = 9				

Gage R&R (ANOVA) for %MD changing of no.1

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



รูปที่ 41 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.1

วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาของเครื่อง 3-Dimension no.1

จากรูปที่ 41 จากแผนภูมิ R ระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่าง เนื่องจากมีการกระจายของข้อมูลอย่างไม่เป็นระเบียบและข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอเพราะจากรูปค่าพิสัยอยู่ในเส้นควบคุม

จากแผนภูมิ Xbar มีความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต ซึ่งจากแผนภูมิ X bar มีค่าเฉลี่ยที่มีการกระจายที่มากกว่าเส้นควบคุม

จากกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

จากตารางที่ 42 ค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 9 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลได้เป็น 9 ประเภทที่แตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

ผลจากการประเมินค่าความผันแปรของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์จากรายที่ 42 พบว่าค่า %Contribution ของ Total GR & R มีค่าเท่ากับ 2.22% ซึ่งน้อยกว่า 10% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความ

แตกต่างของค่าวัดได้ ทำให้สามารถยอมรับในความสามารถของกระบวนการวัดว่ามีความแม่นยำเพียงพอที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)ดังผลในตารางที่ 41 พบว่า อิทธิพลของชิ้นงานวัด(Sheet) มีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value คือ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่อิทธิพลของพนักงานวัด(Operator)ไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.752 ซึ่งมากกว่า 0.05 และอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญเช่นกันเพราะ P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ 0.049

ข) เครื่อง 3-Dimension no.2

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 43 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR & R ของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.2

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
sheet no	9	0.0053387	0.0005932	154.298	0.000
operator	3	0.0000024	0.0000008	0.212	0.887
sheet no * operator	27	0.0001038	0.0000038	3.576	0.000
Repeatability	40	0.0000430	0.0000011		
Total	79	0.0054880			

- ผลการประเมินความผันแปร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

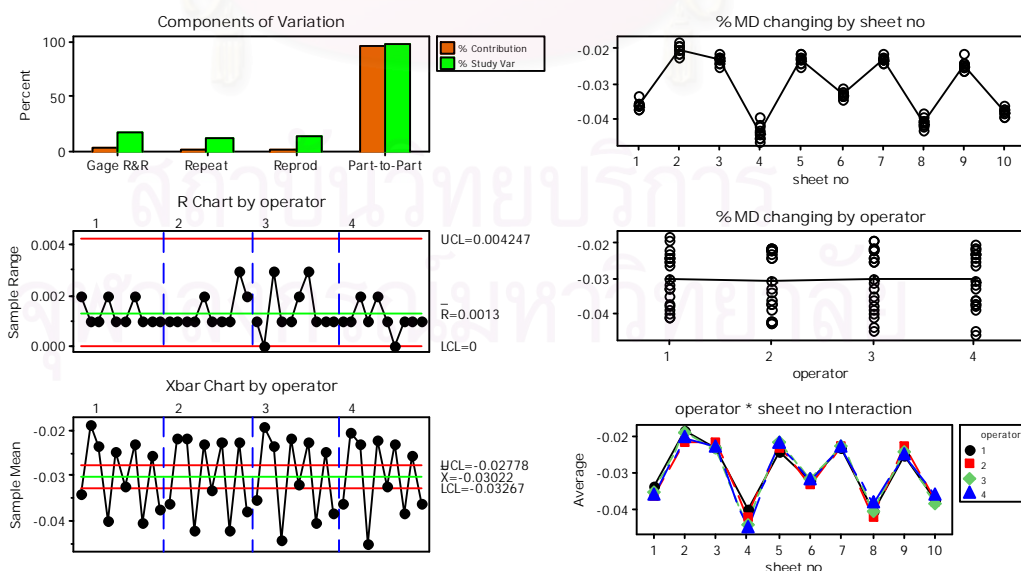
ตารางที่ 4.4 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของ
แผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่อง 3-Dimension no.2

Gage R&R			
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	0.000025	3.23	
Repeatability	0.0000011	1.41	
Reproducibility	0.0000014	1.82	
operator	0.0000000	0.00	
operator*sheet no	0.0000014	1.82	
Part-To-Part	0.0000737	96.77	
Total Variation	0.0000761	100.00	
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0015684	0.0094101	17.98
Repeatability	0.0010368	0.0062209	11.88
Reproducibility	0.0011767	0.0070605	13.49
operator	0.0000000	0.0000000	0.00
operator*sheet no	0.0011767	0.0070605	13.49
Part-To-Part	0.0085830	0.0514981	98.37
Total Variation	0.0087251	0.0523507	100.00
Number of Distinct Categories = 7			

Gage R&R (ANOVA) for %MD changing no.2

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



รูปที่ 42 แผนภูมิการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลจากระบบการวัดของพารามิเตอร์ของ
ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องวัด 3-Dimension no.2

วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาของเครื่องมือ 3-Dimension no.2

จากรูปที่ 42 จากแผนภูมิ R ระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่าง เนื่องจากมีการกระจายของข้อมูลอย่างไม่เป็นระเบียบและข้อมูลที่ได้มีความสม่ำเสมอ เพราะจากรูปค่าพิสัยอยู่ภายในเส้นควบคุม

จากแผนภูมิ \bar{X} มีความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต ซึ่งจากแผนภูมิ \bar{X} มีค่าเฉลี่ยที่มีการกระจายที่มากกว่าเส้นควบคุม

จากกราฟอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานพบว่าไม่มีการตัดกันอย่างเด่นชัด

จากตารางที่ 44 ค่า Number of Distinct Categories มีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งมีความมากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกข้อมูลได้เป็น 7 ประเภทที่แตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

ผลจากการประเมินค่าความผันแปรของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์จากตารางที่ 44 พบว่าค่า %Contribution ของ Total GR & R มีค่าเท่ากับ 3.23% ซึ่งน้อยกว่า 10% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ ทำให้สามารถยอมรับในความสามารถของกระบวนการวัดว่ามีความแม่นยำเพียงพอที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ดังผลในตารางที่ 43 พบว่า อิทธิพลของชิ้นงานวัด(Sheet) มีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value คือ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แต่อิทธิพลของพนักงานวัด(Operator) ไม่มีนัยสำคัญต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.887 ซึ่งมากกว่า 0.05 และอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดและชิ้นงานวัดมีนัยสำคัญเช่นกันเพราะ P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ 0.000

41.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ระหว่างเครื่อง 3-Dimension no.1 และ no.2

41.2.1) พารามิเตอร์ที่พิจารณา

คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ที่วัดได้จาก เครื่อง 3-Dimension no.1 และ no.2 เนื่องจากเครื่องวัดมีคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องและ เทคนิคการใช้เครื่องวัดที่แตกต่างกัน เพื่อต้องการยืนยันค่าวัดที่ได้จากเครื่องวัดทั้งสองเครื่องมีค่าเท่ากัน และง่ายและสะดวกในการวัดครั้งต่อไป เพราะเครื่อง 3-Dimension no.1 เป็นเครื่องหลักในการใช้วัดของ

กระบวนการผลิตของทุกแผนกในบริษัท ส่วนเครื่อง **3-Dimension no.2** จะใช้เป็นเครื่องสำรองในกรณี que เครื่อง **3-Dimension no.1** ไม่สามารถวัดได้ทันตามความต้องการ

41.22) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR & R

จำนวนพนักงานในแต่ละกะการปฏิบัติ 1 คนต่อ 1 เครื่องมือวัด รวมพนักงาน 2 คน และเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดซึ่งพนักงาน ในการทดลองจำเป็นต้องให้พนักงานต่างคนต่างวัดสิ่งตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือวัดของตน เนื่องจากประสบการณ์และความชำนาญ เพราะเครื่องทั้งสองมีวิธีการวัดและการทำงานที่แตกต่างกัน

41.23) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

สิ่งตัวอย่างที่ใช้ คือ ผลิตภัณฑ์ **EPP-368** ซึ่งผ่านกระบวนการบ่ม (Curing Process) มีจำนวนทั้งสิ้น 20 ตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังของตัวอย่างในแต่ละแผ่นตั้งแต่ 1 ถึง 20

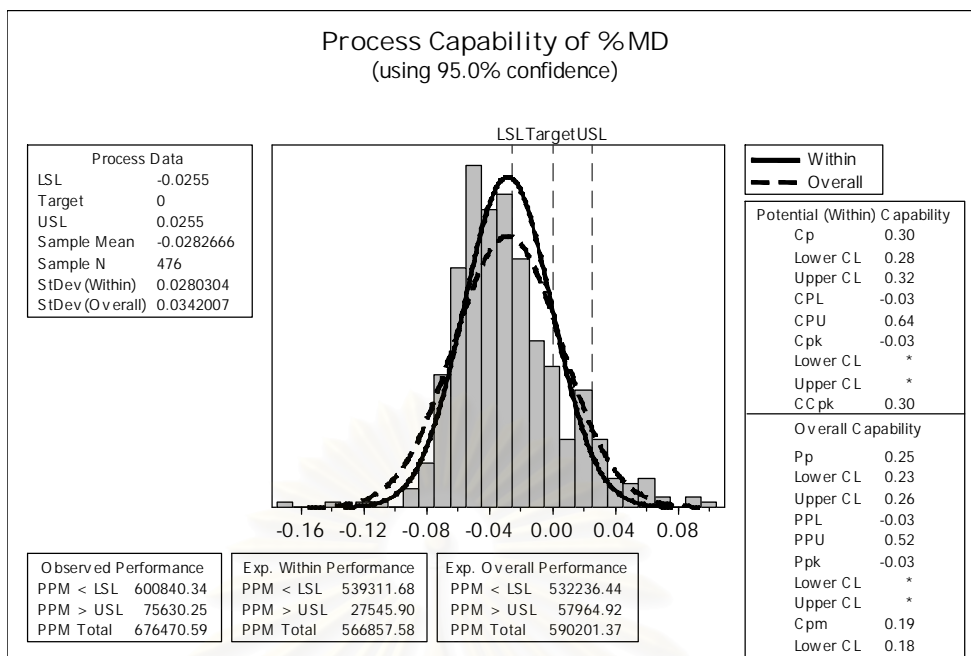
หลังจากทำการวัดชิ้นงานจะบันทึกค่าวัดที่ได้และนำมาทดสอบค่าเฉลี่ย ข้อมูลแบบคู่ (Pair-t Test) และวิธีการคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ จะคำนวณด้วยฟังก์ชัน **Power and Sample Size** ของโปรแกรม **MiniTab** และกำหนดค่าต่าง ๆ คือ

- ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05
- ความน่าจะเป็นในการยอมรับสมมติฐาน (β) เท่ากับ 0.10 หรือ

Power of Test เท่ากับ 0.90

- ค่าความแตกต่าง (Differences) เท่ากับ 0.0342007 %. เนื่องจากต้องการผู้วิจัยต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.0342007%



รูปที่ 43 ความสามารถของกระบวนการค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของกระบวนการบ่ม

- จะได้สิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 13 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งในการทดสอบสมมติฐานจะใช้ 20 คู่ ซึ่งเพียงพอกับการสอนนี้ (จากตารางที่ 45)

ตารางที่ 45 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์

Power and Sample Size			
1-Sample t Test			
Testing mean = null (versus not = null)			
Calculating power for mean = null + difference			
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.0342007			
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0342007	13	0.9	0.910708

41.24 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำของสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น

พนักงานแต่ละคนจะทำการวัดสิ่งตัวอย่างจำนวน 1 ครั้งต่อหนึ่งสิ่ง

ตัวอย่าง

41.25) ขั้นตอนในการทดลอง

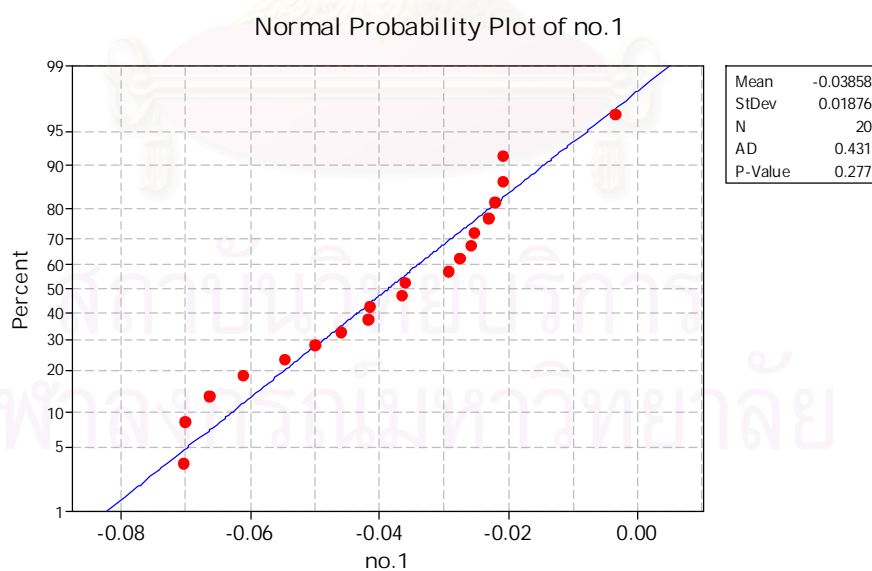
- ให้พนักงานคนที่ 1(ทำการวัดโดยใช้เครื่อง **3-Dimension no.1**)
ต้องทำการสุ่มตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้
- ทำการบันทึกผลลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)
- พนักงานคนที่ 1 จะวัดสิ่งตัวอย่างจนครบ **20** ชิ้น
- พนักงานคนที่ 2 (ทำการวัดโดยใช้เครื่อง **3-Dimension no.2**) ทำ
การสุ่มสิ่งตัวอย่างขึ้นมาและวัดสิ่งตัวอย่างจนกระทั่งครบ **20** สิ่งตัวอย่าง (เช่นเดียวกันกับพนักงาน
คนที่ 1)
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ข)
- ทดสอบสมมติฐานและความมีนัยสำคัญทางสถิติ

41.26) ผลลัพธ์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือวัด

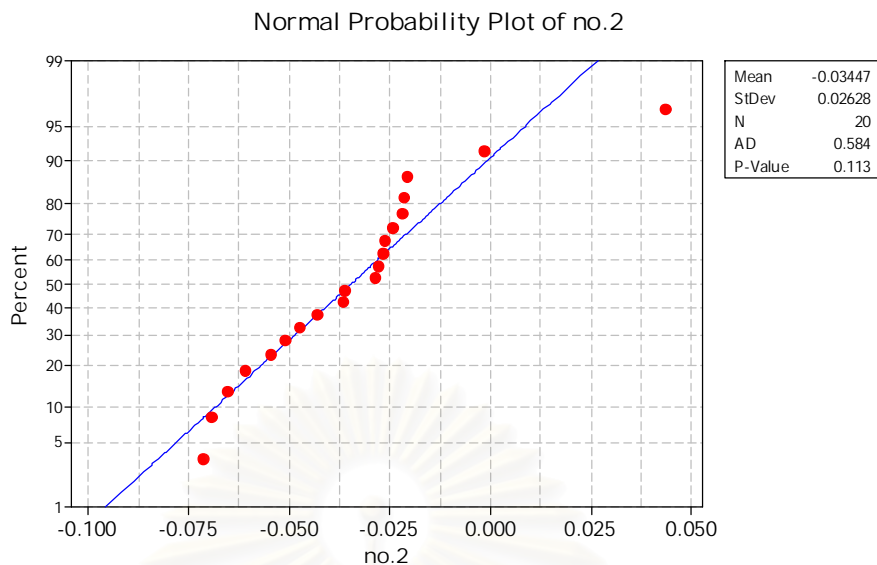
- ทดสอบความเป็น **Normality** ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ(Norma Distribution)

H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ



รูปที่ 44 แผนภูมิ **Normality Probability Plot** ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่อง **3-Dimension no.1**



รูปที่ 45 แผนภูมิ Normality Probability Plot ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์พิมพ์ของเครื่อง 3-Dimension no.2

- ทดสอบความแปรปรวนของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของ
แผ่นวงจรพิมพ์ระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง

สมมติฐานที่ต้องทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{3\text{-Dimension no.1}} = \sigma^2_{3\text{-Dimension no.2}}$$

$$H_a : \sigma^2_{3\text{-Dimension no.1}} \neq \sigma^2_{3\text{-Dimension no.2}}$$

ตารางที่ 46 ผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จากเครื่อง 3-Dimension no.1 และ no.2

Test for Equal Variances:

%MD changing versus Machine

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

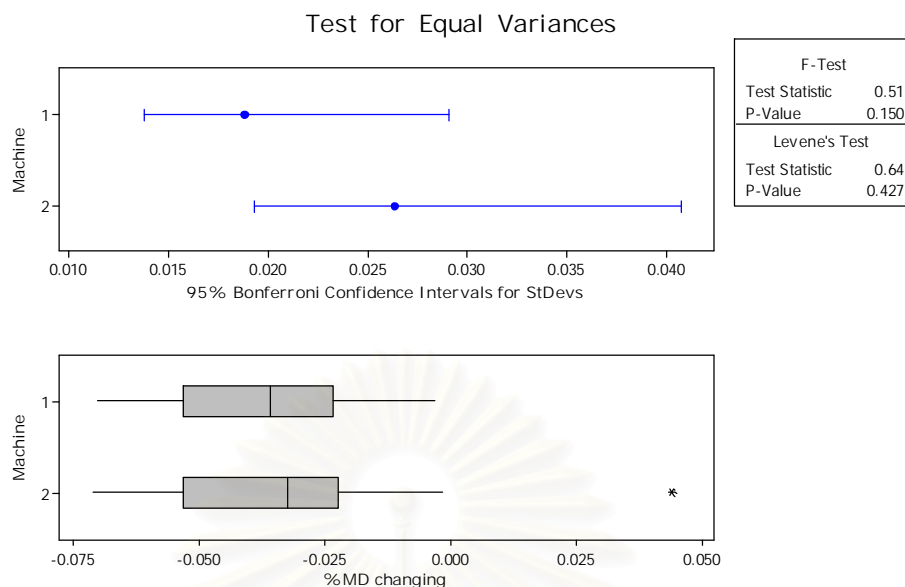
Machine	N	Lower	StDev	Upper
1	20	0.0137429	0.0187583	0.0290621
2	20	0.0192565	0.0262841	0.0407219

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 0.51, p-value = 0.150

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 0.64, p-value = 0.427



รูปที่ 46 แผนภูมิแสดงผลการทดสอบความแปรปรวนจากเครื่องวัด 3-Dimension no.1 และ no.2

- การทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสอง

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

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

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

ตารางที่ 47 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จากเครื่อง 3-Dimension no.1 และ no.2

Paired T-Test and CI: no.1, no.2

Paired T for no.1 - no.2

	N	Mean	StDev	SE Mean
no.1	20	-0.038580	0.018758	0.004194
no.2	20	-0.034470	0.026284	0.005877
Difference	20	-0.004110	0.019135	0.004279

95% CI for mean difference: (-0.013065, 0.004845)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0):

T-Value = -0.96 P-Value = 0.349

จากการทดสอบความเป็น **Normality** ของข้อมูลที่ได้จากเครื่อง

3-Dimension no.1 และ **no.2** ด้วยการใช้ **Minitab** ด้วย **Anderson-Darling Normality Test** เมื่อพิจารณาจากรูปที่ **44** และ **45** พบว่าข้อมูลค่าวัดที่อ่านได้จากเครื่องวัดทั้งสองเครื่องมีการแจกแจงแบบปกติ(**Normality Distribution**)ด้วยความเชื่อมั่น **95%** จากผลจากการประมวลผลจากโปรแกรมค่า **P-Value** มีค่ามากกว่า **0.05**

จากผลการทดสอบความแปรปรวนของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์จากเครื่อง **3-Dimension no.1** และ **no.2** ดังในตารางที่ **46** มีค่า **P- Value** ของการทดสอบความแปรปรวนมีค่าเท่ากับ **0.150** ซึ่งหมายถึง ความแปรปรวนของค่าวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น **95%** และจากการทดสอบค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองดังตารางที่ **47** พบว่าค่า **P- Value** มีค่าเท่ากับ **0.349** ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดทั้งสองภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญด้วยความเชื่อมั่น **95%** จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้จากเครื่อง **3-Dimension no.1** และ **no.2** ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาค่าความผันแปรของกระบวนการอื่น

4.2.1 จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(**%MD Changing**) ของแผ่นวงจรพิมพ์ในกระบวนการอื่นๆ หลังกระบวนการบ่ม (**Curing Process**) จนถึงกระบวนการบรรจุภัณฑ์ก่อนนำส่งมอบลูกค้าว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ มีนัยสำคัญ และมีการเปลี่ยนแปลงเท่าใด

4.2.2 สมมติฐาน

ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(**%MD Change**) ของแผ่นวงจรพิมพ์มีค่าคงที่และไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผ่านกระบวนการอื่น หลังจากกระบวนการบ่ม (**Curing Process**)

4.2.3 ขอบเขตการทดลอง

ศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังจากกระบวนการบ่ม โดยเปรียบเทียบข้อมูลวัดที่ได้หลังกระบวนการบ่มกับข้อมูลวัดหลังกระบวนการเคลือบผิวด้วย

ไฟฟ้า (Surface Treatment Process) และเปรียบเทียบข้อมูลวัดหลังกระบวนการบ่มกับกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Process)

424 การเตรียมการทดลอง

- ตัวแปรตามที่ทำการศึกษาคือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(%MD Change) ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังจากผ่านกระบวนการบ่ม โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของข้อมูลที่เกิดขึ้น

- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ 20 แผ่น โดยวัดค่าความยาวของแผ่นวงจร-พิมพ์ ในแต่ละแผ่น แผ่นละ 2 จุด

ในการพิจารณาข้อมูลที่ได้จะใช้โปรแกรม 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 0.0341827%
- (4) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.0341827%
- (5) จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญ คือ

$n_1 = n_2 = 13$ สิ่ง ตัวอย่าง ซึ่งการทดสอบสมมติฐานในการศึกษาจะใช้ 20 คู่ ซึ่งเพียงพอในการทดสอบ

ตารางที่ 48 ผลการคำนวณขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานของการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์

Power and Sample Size

1-Sample t Test

Testing mean = null (versus not = null)

Calculating power for mean = null + difference

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.0342007

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0342007	13	0.9	0.910708

- ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมได้แก่ แผ่นวงจรพิมพ์ที่ใช้ในการทดลองมาจากล็อตเดียวกัน เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการ

- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิห้องและสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

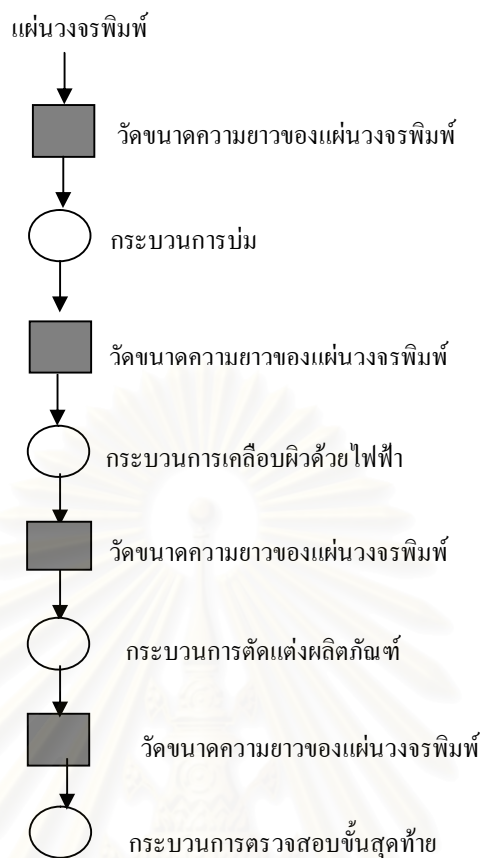
425 ขั้นตอนในการทดลอง

นำแผ่นวงจรพิมพ์เข้ากระบวนการอย่างต่อเนื่องจนครบทุกกระบวนการ และนำสิ่งตัวอย่างทดลองไปวัดค่าความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ก่อนที่จะผ่านกระบวนการบ่ม หลังจากผ่านกระบวนการบ่มแล้วให้วัดค่าความยาวหลังผ่านกระบวนการ หลังจากนั้นจึงส่งสิ่งตัวอย่างเข้ากระบวนการอื่นอย่างต่อเนื่องจนถึงหลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า หลังจากนั้นจะส่งสิ่งตัวอย่างไปวัดค่าความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ จากนั้นจะทำการวัดอีกครั้งหลังกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

426 ทำการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลองและบันทึกข้อมูลที่ได้ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย โปรแกรม **Minitab**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 47 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

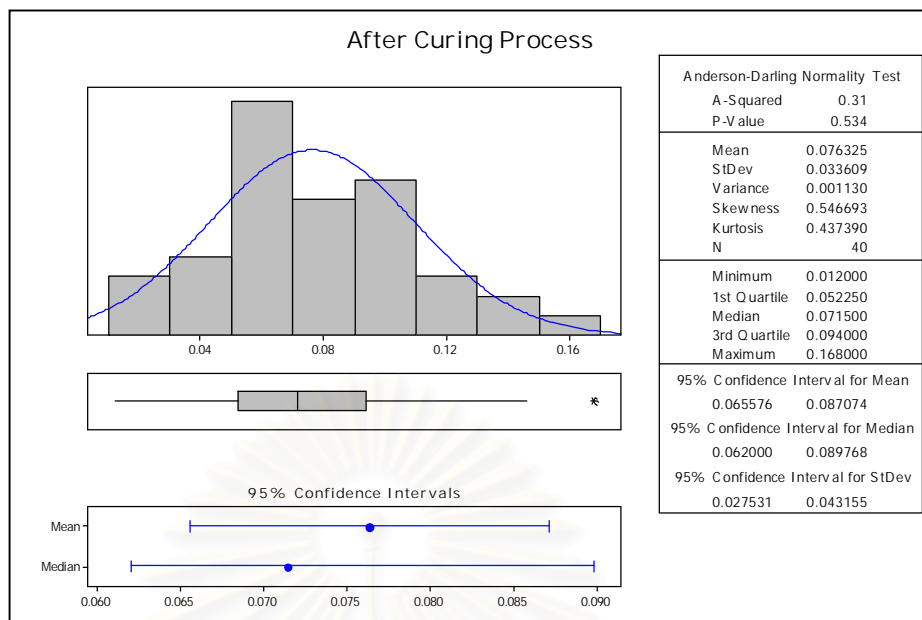
4.2.7 การวิเคราะห์การทดลอง

- ก) ค่าเฉลี่ยและความผันแปรในแต่ละกระบวนการ
พิจารณาค่าเฉลี่ยและความผันแปร ซึ่งความผันแปรจะคำนวณอยู่ในรูปของ
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิจารณาฮิสโตแกรมในแต่ละกระบวนการ โดยมีสมมติฐานคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

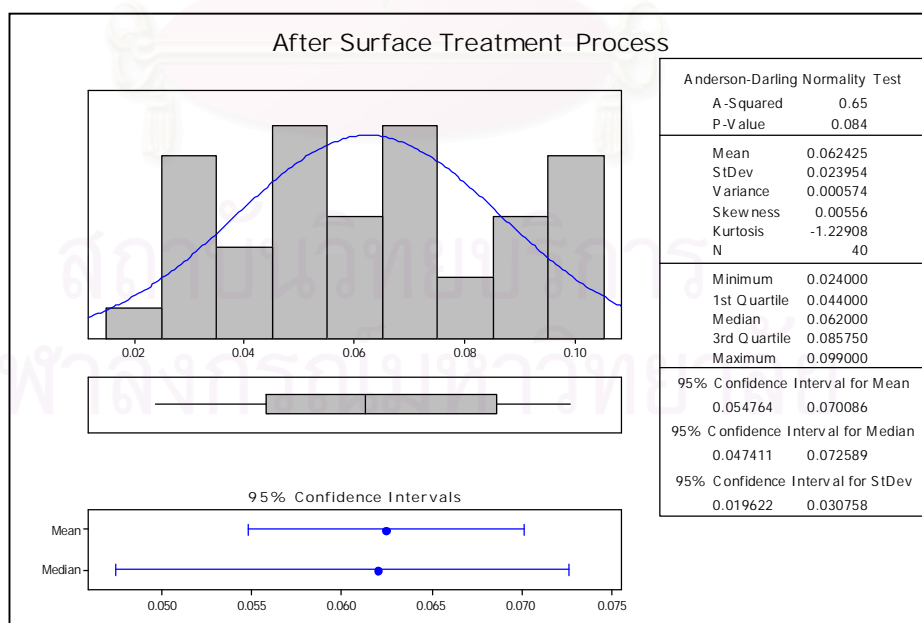
H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

- กระบวนการบ่ม จากการใช้โปรแกรม **MINITAB** ช่วยในการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ **0.033609** และการกระจายของข้อมูลที่ได้เป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น **95%** ซึ่งมีค่า **P-Value** เท่ากับ **0.534** เมื่อใช้ **Anderson-Darling** ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ **48**



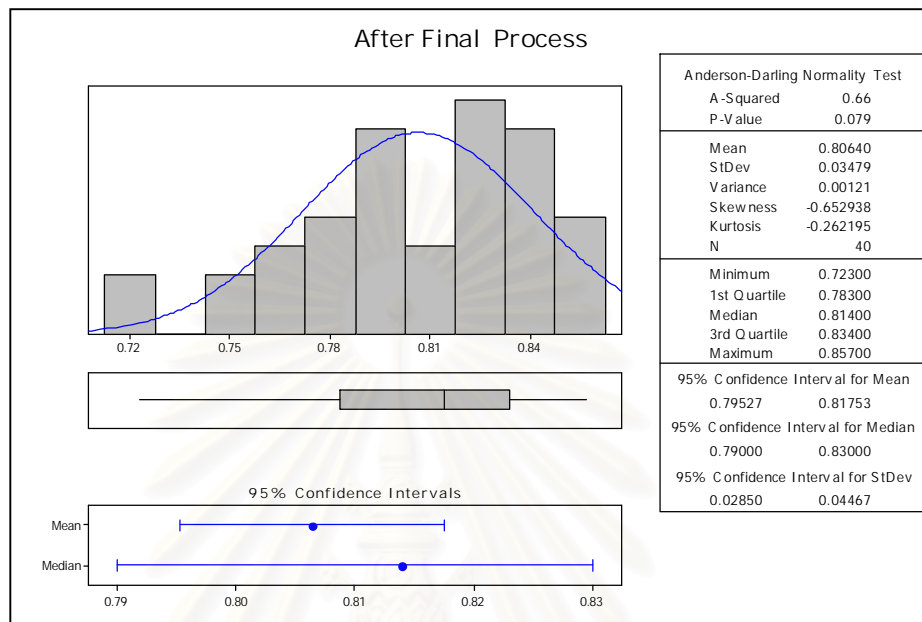
รูปที่ 48 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการบ่ม (Curing Process)

- กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า จากการคำนวณพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ **0.023954** และมีการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น **95%** และค่า **P-Value** ของการทดสอบ **Anderson-Darling** มีค่าเท่ากับ **0.084** ซึ่งแสดงดังรูปที่ 49



รูปที่ 49 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Surface Treatment Process)

- กระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย จากการคำนวณพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ **0.03479** และมีการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น **95%** และค่า **P-Value** มีค่าเท่ากับ **0.079** ซึ่งแสดงดังรูปที่ **410**



รูปที่ 410 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

ข) การทดสอบสมมติฐาน

หลังจากการคำนวณค่าความผันแปรในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ในแต่ละกระบวนการแล้ว ดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบผลความแตกต่างของความแปรปรวนที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องทำการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อตรวจสอบผลกระทบหลังจากกระบวนการบ่ม

1) การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

จากการทดสอบ **Anderson-Darling** ข้างต้น ทั้งสามกระบวนการ ข้อมูลที่วัดได้มีการแจกแจงแบบปกติและมีค่า **P-Value** มากกว่า **0.05** ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ให้ขั้นตอนต่อไปได้

2) ผลการตรวจสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแปรปรวนของข้อมูล

- กระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

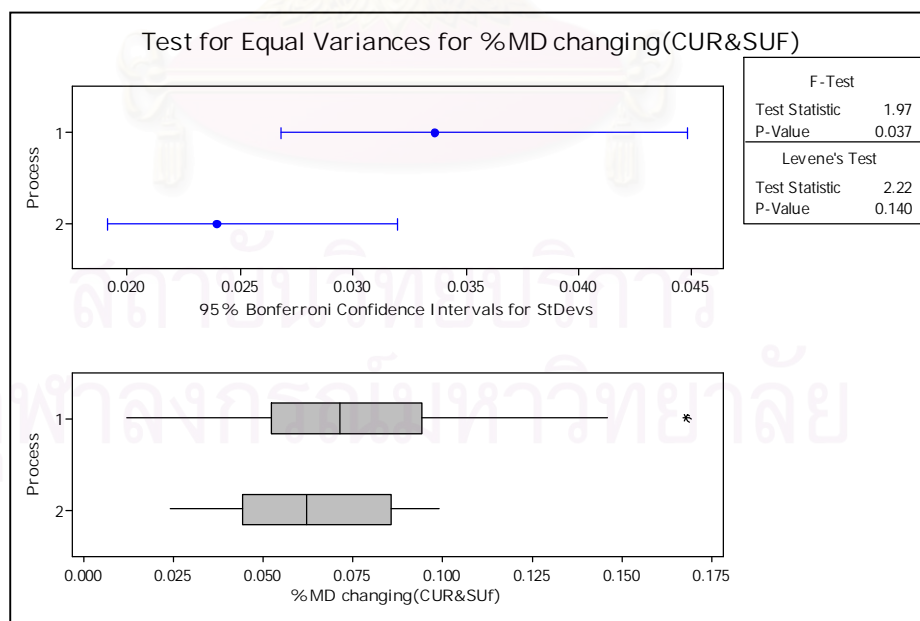
สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการบ่ม}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}}$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการบ่ม}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}}$$

ตารางที่ 49 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

Test for Equal Variances :				
1 =	After Curing process			
2 =	After Surface Treatment process			
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Process	N	Lower	StDev	Upper
1	40	0.0267831	0.0336089	0.0448205
2	40	0.0190890	0.0239539	0.0319446
F-Test (normal distribution)				
Test statistic = 1.97, p-value = 0.037				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test statistic = 2.22, p-value = 0.140				



รูปที่ 411 แสดงกราฟ **Box Plot** ของการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

จากตารางที่ 49 และรูปที่ 411 ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.037 ซึ่งหมายถึง ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้ามีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้น

สุดท้าย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0: \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย}}$$

$$H_a: \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย}}$$

ตารางที่ 410 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์ หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

Test for Equal Variances :

2 = After Surface Treatment process

3 = After Final process

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Process	N	Lower	StDev	Upper
2	40	0.0190890	0.0239539	0.0319446
3	40	0.0277262	0.0347923	0.0463986

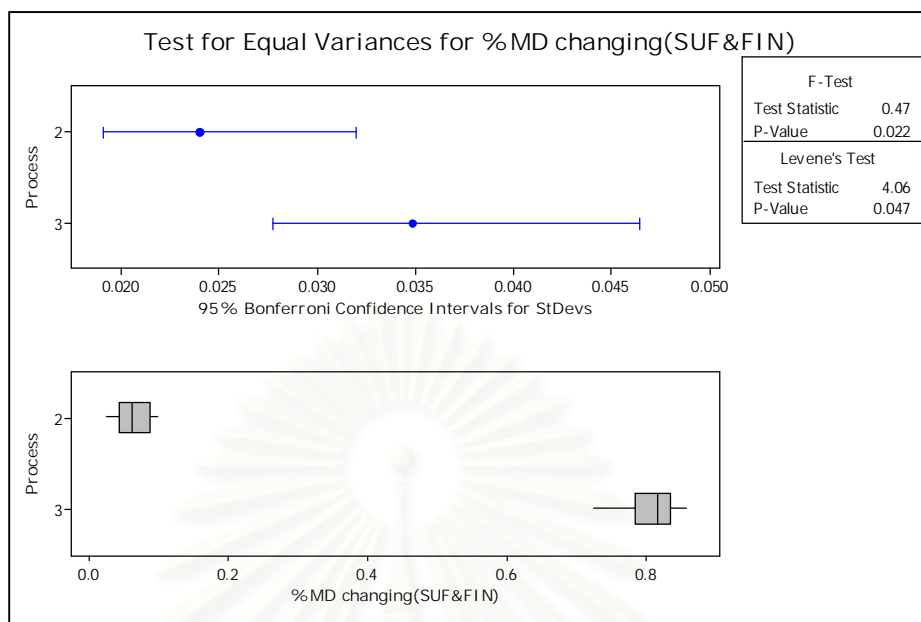
F-Test (normal distribution)

Test statistic = 0.47, p-value = 0.022

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 4.06, p-value = 0.047

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 412 แสดงกราฟ **Box Plot** ของการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวน การเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า และการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

จากตารางที่ 410 และรูปที่ 412 ผลการทดสอบสมมติฐาน ค่า **P-Value** มีค่าเท่ากับ **0.022** ซึ่งหมายถึง ค่าความแปรปรวนการเปลี่ยนแปลงความยาวของ แผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ **0.05**

3) ผลการตรวจสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของค่าการ เปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์

- กระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

$$H_0 : \mu_{\text{หลังกระบวนการบ่ม}} = \mu_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}}$$

$$H_a : \mu_{\text{หลังกระบวนการบ่ม}} \neq \mu_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}}$$

ตารางที่ 411 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

Paired T-Test and CI: After CUR, After SUF				
Paired T for After CUR - After SUF				
	N	Mean	StDev	SE Mean
After CUR	40	0.076325	0.033609	0.005314
After SUF	40	0.062425	0.023954	0.003787
Difference	40	0.013900	0.049537	0.007833
95% CI for mean difference: (-0.001943, 0.029743)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0):				
T-Value = 1.77 P-Value = 0.084				

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า **P-Value** เท่ากับ **0.084** ซึ่งหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการบ่มและการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ **0.05**

ขั้นสุดท้าย

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ คือ

$$H_0: \mu_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}} = \mu_{\text{หลังกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย}}$$

$$H_a: \mu_{\text{หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า}} \neq \mu_{\text{หลังกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย}}$$

ตารางที่ 412 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

Paired T-Test and CI: After SUF, After FIN				
Paired T for After SUF - After FIN				
	N	Mean	StDev	SE Mean
After SUF1	40	0.062425	0.023954	0.003787
After FIN1	40	0.806400	0.034792	0.005501
Difference	40	-0.743975	0.045870	0.007253
95% CI for mean difference: (-0.758645, -0.729305)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0):				
T-Value = -102.58 P-Value = 0.000				

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า **P-Value** เท่ากับ **0.000** ซึ่งหมายถึงค่าเฉลี่ยผลต่างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์หลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าและการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ **0.05**

4.2.8 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าความแปรปรวนและผลการทดสอบค่าเฉลี่ยผลต่างค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์พบว่า

- ข้อมูลของค่าวัดที่ได้หลังจากที่ผ่านกระบวนการบ่มกับหลังจากผ่านกระบวนการ-การเคลือบผิวด้วยไฟฟ้ามีความแตกต่างกัน
- ข้อมูลของค่าวัดที่ได้หลังจากที่ผ่านกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้ากับหลังจากผ่านกระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีความแตกต่างกัน

จากการทดสอบในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ที่เกิดขึ้นหลังจากกระบวนการบ่มจนถึงการตรวจสอบขั้นสุดท้าย มีอิทธิพลในการทำให้ค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวแผ่นวงจรพิมพ์เปลี่ยนแปลงไป

ถึงแม้จะมีอิทธิพลจากกระบวนการอื่นแต่สำหรับงานวิจัยนี้จุดประสงค์คือเพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตของแผ่นวงจรพิมพ์ของกระบวนการบ่ม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการบ่มที่ทำการวิจัย จะต้องไม่ส่งผลกับสถานะของกระบวนการทั้งหมด

4.3 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.3.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อเพิ่มความเชื่อถือและเป็นการประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาต่อไป จากการทดลองในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องวัด **3-Dimension** เครื่องที่ **1** และเครื่องที่ **2** ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวเป็นค่าที่ทำการวัดและนำไปวิเคราะห์ระบบการวัดโดยใช้วิธี **Gage R&R** พบว่าเครื่อง **3-Dimension** ทั้งสอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

4.3.2 การศึกษาค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ในกระบวนการอื่นๆ หลังกระบวนการบ่ม(**Curing Process**)จนถึงกระบวนการบรรจุภัณฑ์ก่อนนำส่งมอบลูกค้าว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้จะมีอิทธิพลจากกระบวนการอื่นแต่สำหรับงานวิจัยนี้จุดประสงค์คือเพื่อปรับปรุงและเพิ่มปริมาณการผลิตของ

แผนวงจรมิพม์ชนิดอ่อนของกระบวนการบ่ม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการบ่มที่ทำการวิจัย จะต้องไม่ส่งผลกับค่าของคุณสมบัติที่สภาวะปกติก่อนการเปลี่ยนแปลง ค่าที่ใช้สำหรับเป็นการตัดสินใจเพื่อทำการทดสอบจะใช้ค่าที่สภาวะปกติเป็นค่าในการอ้างอิง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่ง ที่ใช้ในการออกแบบการทดสอบกระบวนการทำงาน หรือกระบวนการผลิตเริ่มต้น โดยกำหนดค่าตัวแปรของระบบ หรือกระบวนการซึ่งทำให้สามารถทราบผลลัพธ์ของระบบ หรือกระบวนการที่เปลี่ยนไป และเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนา รูปแบบของวิธีการผลิต หรือกระบวนการผลิตต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะทำการค้นหาและยืนยันข้อเท็จจริง หรือศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อข้อเท็จจริงนั้น นอกจากนี้การวิเคราะห์การทดลองเป็นวิธีการเชิงสถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นการสรุปผลของปัจจัยและอิทธิพลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองของตัวแปรตอบสนองหรือผลลัพธ์ของระบบที่ศึกษา ณ ระดับความเชื่อมั่นหนึ่งๆ หรือที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนด

หลังจากเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่มแล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยสำคัญ 2 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกำลังการผลิตของกระบวนการบ่ม โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะกล่าวถึง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่ม (Curing Structure) และ ส่วนที่ 2 คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง

สำหรับกระบวนการบ่มปกติของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษานั้น จะผ่านกระบวนการบ่ม 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 แผ่นทองแดง (CCL) จะถูกคลุมด้วย Coverlay film (CL) และครั้งที่ 2 ผลิตภัณฑ์จะถูกเพิ่มความแข็งแรงบริเวณที่ต้องต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ด้วยแผ่นโพลีเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ส่วนเวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ของเครื่องกระบวนการบ่มของกระบวนการบ่มทั้งสองครั้งมีค่าเท่ากัน โดยมีโครงสร้างเรียงจากบนลงล่างดังต่อไปนี้

สถาบันวิจัยและบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการบ่มครั้งที่ 1	กระบวนการบ่มครั้งที่ 2
ส่วนที่ 22	ส่วนที่ 3
แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน	ส่วนที่ 3
ส่วนที่ 21	ส่วนที่ 22
ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 1
ส่วนที่ 3	แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน
ส่วนที่ 3	ส่วนที่ 1
ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 21
ส่วนที่ 21	ส่วนที่ 3
แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน	ส่วนที่ 3
ส่วนที่ 22	

รูปที่ 5.1 โครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการบ่มครั้งที่ 1 และ 2 ตามปกติ
(เรียงจากบนลงล่าง)

จากรูปที่ 5.1 วัตถุดิบแต่ละส่วน มีความหมายดังที่ได้อธิบายหน้าที่ของแต่ละส่วนในบทที่ 3 แล้ว สำหรับส่วนที่ 21 และ 22 คือ **Release Film** ชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 ตามลำดับ

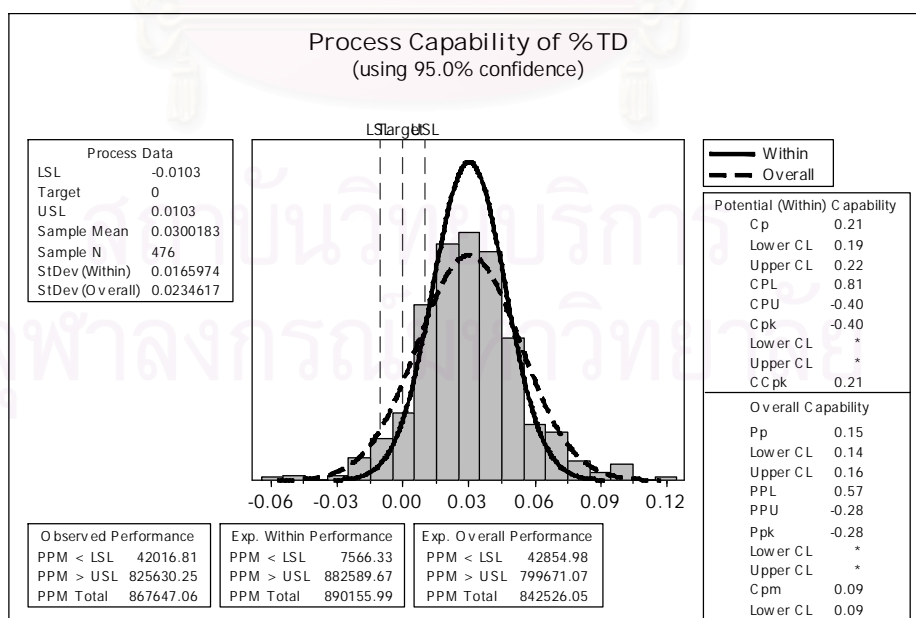
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่ม จะทำได้ที่กระบวนการบ่มครั้งที่ 2 แต่ไม่สามารถทำได้ที่กระบวนการบ่มครั้งที่ 1 เนื่องจากโครงสร้างของกระบวนการบ่มได้มีการเพิ่มปริมาณการผลิตไปแล้ว แต่ในส่วนของการบ่มครั้งที่ 2 ยังไม่ได้ทำการศึกษาและการศึกษาจำนวนครั้งของการบ่มจะทำการทดลองในส่วนกระบวนการบ่มครั้งที่ 1 โดยเป็นการทดลองเพื่อลดจำนวนครั้งของการบ่ม จากทั้งหมด 2 ครั้งเหลือแค่ 1 ครั้ง

5.1 ความสามารถของกระบวนการบ่มในปัจจุบัน

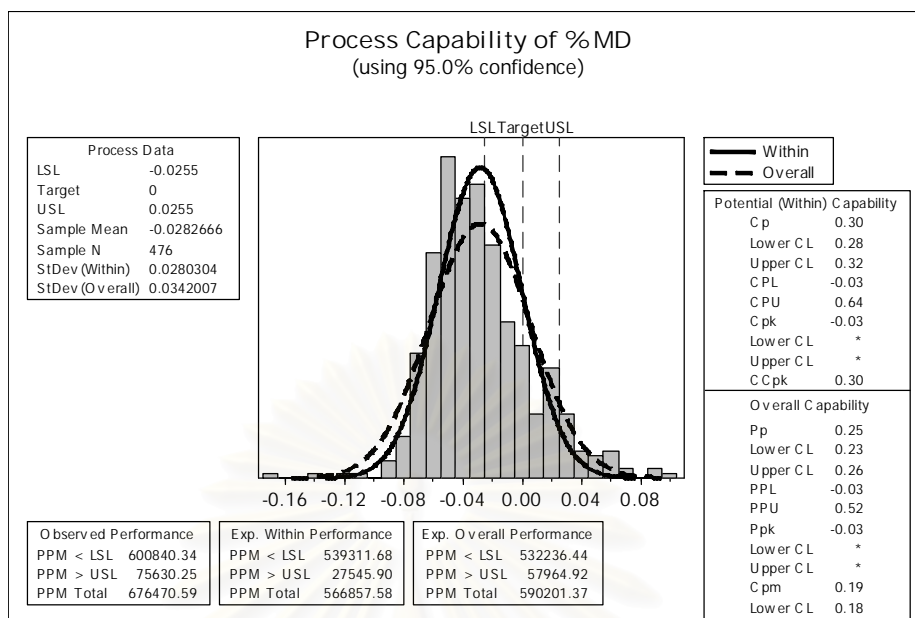
ในการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือการเปลี่ยนแปลงของความกว้างและความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน หลังจากนั้นจึงพิจารณาในตัวแปรตอบสนองที่เป็นคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนซึ่งถูกวิเคราะห์แผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยค่าดังกล่าวต้องอยู่ภายในค่าที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนด รายละเอียดดังในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 51 แสดงตัวแปรตอบสนองและค่าที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรตอบสนอง	ค่าสำหรับ แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน	หน่วย
1)ขนาดความกว้างและความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ 1.1) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความกว้าง (% TD change) 1.2) เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความยาว (% MD change)	ค่าใกล้เคียงค่าปกติ (ความเชื่อมั่น 95%) ค่าใกล้เคียงค่าปกติ (ความเชื่อมั่น 95%)	% %
2)คุณสมบัติทั่วไป(แผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์) 2.1) Peel Strength 2.2) Solder Heat Resistance (ตรวจสอบฟองอากาศในเส้นลายวงจร) 2.3) Cross Section (ตรวจสอบการแตกร้าวของเส้นลายวงจร) 2.4) ค่าความต้านทาน(มิเตอร์วัด Milli-Ohm)	มากกว่า 4 น้อยกว่า 0.5 0 น้อยกว่า 5	นิวตันต่อ เซนติเมตร % % โอห์ม



รูปที่ 52 ความสามารถของกระบวนการของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของกระบวนการบ่ม



รูปที่ 5.3 ความสามารถของกระบวนการของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของกระบวนการบ่ม

5.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2

จะเป็นการศึกษาที่โครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 การเพิ่มกระบวนการผลิตทำได้โดย การเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแบบ 2 ชั้นของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 วางซ้อนกัน โดยวัตถุประสงค์ของกระบวนการบ่มทุกชนิดยังทำหน้าที่ในการบ่มแบบเดิม ดังรูปที่ 5.4

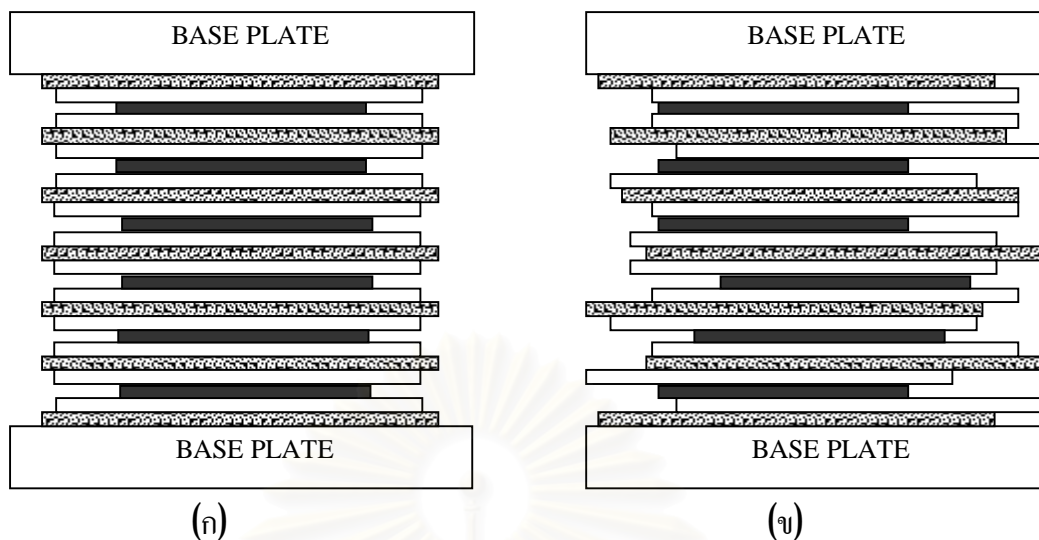
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 ดันแบบของโครงสร้างของกระบวนการป้อนครั้งที่ 2 ที่ทำการทดลอง

จากรูปที่ 5.4 พบว่าโครงสร้างของกระบวนการป้อนครั้งที่ 2 ใหม่มีลักษณะคล้ายกันกับโครงสร้างของกระบวนการป้อนครั้งที่ 2 ในตอนแรก ซ้อนกัน 2 ชั้น สิ่งที่จะทำการศึกษา คือ จำนวนของส่วนที่ 3 ที่เร่งเอาไว้ มีการใช้วัสดุถึง 4 แผ่น เนื่องจากความหนาของโครงสร้างที่มากเกินไปจะส่งผลกับการถ่ายเทความร้อนที่ส่งมาจากหม้อต้มน้ำ(Boiler) อาจจะทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี และน้ำหนักรวมที่มากเกินไปของโครงสร้างทั้งหมดอาจทำให้โครงสร้างลื่นไถล ออกมาจากตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 5.5 การเพิ่มหรือลดจำนวนของส่วนที่ 3 ณ บริเวณตำแหน่งที่เร่งเอาไว้ การถ่ายเทความร้อนจากบนสุดและล่างสุดของโครงสร้างทั้งหมดต้องได้รับอนุมัติอย่างต่ำตามอนุมัติที่คุณสมบัติของกาวเทอร์โมเซตติงกำหนดไว้จากทางผู้ขาย

ดังนั้นสำหรับสิ่งที่จะศึกษาในการเพิ่มกำลังการผลิต คือ จำนวนแผ่นที่ใช้ของส่วนที่ 3 (ณ ตำแหน่งที่เร่ง) และเวลาของกระบวนการป้อนครั้งที่ 2



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งของโครงสร้างทั้งหมดของกระบวนการบ่มหลังจากเตรียมวัสดุดิบเสร็จ
รูป 5.5(ก) เป็นตำแหน่งที่ถูกต้องและรูป 5.5(ข) เป็นตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องซึ่งเกิดจากการรับน้ำหนัก
และความหนาที่มากเกินไป

5.21 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่นำมาศึกษาเพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง คือ จำนวนแผ่นที่ใช้ของ
ส่วนที่ 3 (๓ ตำแหน่งที่เร่ง) และเวลาของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2

กำหนดให้ **A** คือ จำนวนแผ่นที่ใช้ของส่วนที่ 3

B คือ เวลาปกติที่ใช้ในกระบวนการบ่มครั้งที่ 2

ปัจจัยแรกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0, 2 และ 4 แผ่น ส่วนปัจจัยเรื่องของ
เวลา **B** แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ **B, B+15, B+30** โดยที่ระดับอีก 2 ระดับนั้นเป็นค่าของเวลาที่เพิ่มขึ้น
จากเวลาปกติ 15 และ 30 นาที โดยเวลาดังกล่าวเป็นเวลาเครื่องบ่มสามารถที่จะใช้งานได้
การเลือกจำนวนระดับของปัจจัยในการทดลองดังกล่าวเกิดจากมีจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง
อย่างจำกัด

โดยแต่ละปัจจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และ
ระดับสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้เป็นตัวเลข -1(ระดับต่ำ) 0(ระดับปานกลาง)
และ 1(ระดับสูง) การกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในแต่ละระดับของการทดลองในกระบวนการ
บ่มของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าระดับปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ			หน่วย
	ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)	
จำนวนแผ่นที่ใช้ของส่วนที่ 3	0	2	4	แผ่น
เวลาของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2	B	B+15	B+30	นาที

5.22 ตัวแปรตอบสนอง

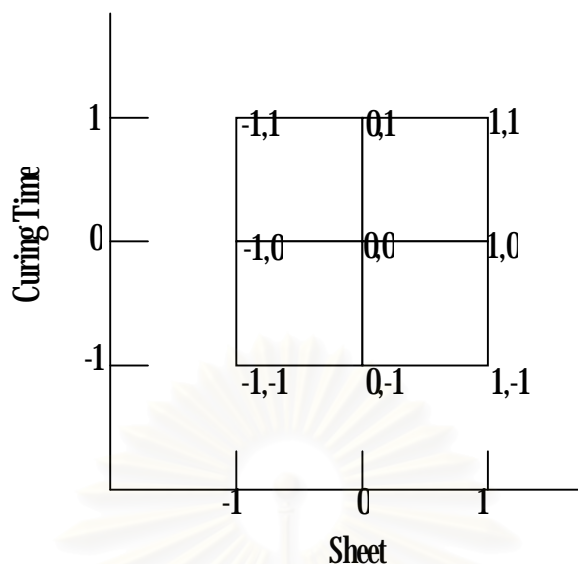
ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังตารางที่ 5.1 (ในหัวข้อ 5.1)

5.23 แบบการทดลอง

แบบการทดลองที่พิจารณาจะใช้การทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียล เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาอิทธิพลจากหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกัน โดยมีปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัยและในแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 3 ระดับ ซึ่งหลักในการออกแบบการทดลองที่พิจารณาคือ

5.231 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k ซึ่งการออกแบบที่ง่ายที่สุดในระบบนี้ คือ การออกแบบ 3^2 ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบนี้แสดงดังรูปที่ 5.6 เนื่องจากการทดลองนี้มีการทดลองร่วมปัจจัย $3^2=9$ การทดลอง ดังนั้นระดับขั้นความเสรีของการทดลองร่วมปัจจัยจะมีค่าเท่ากับ 8 ผลหลัก จำนวนแผ่นที่ใช้ของส่วนที่ 3 และเวลาของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 จะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 และอันตรกิริยาของทั้งสองปัจจัย จะมีขั้นความเสรีเท่ากับ 4 ถ้าจำนวนของการเรพลิเคตเท่ากับ n ค่าของระดับขั้นความเสรีทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ $n3^2-1$ และค่าผิดพลาดของระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $3^2(n-1)$



รูปที่ 5.6 แสดงการทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบ 3^2

5.2.3.2 การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ **Treatment Combination** หนึ่งจะถูกทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถหาค่าประมาณค่าความผิดพลาดจากการทดลองได้ และลดความผิดพลาดให้น้อยลง

5.2.3.3 การบล็อก (Blocking) ในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k

การบล็อกเป็นเทคนิคในการออกแบบการทดลองที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำการศึกษา โดยการลดหรือกำจัดทิ้งความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่ได้ทำการศึกษา (**Nuisance factor**)

5.2.3.4 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักการสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกันและการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากขึ้น

5.2.4 การเตรียมการทดลอง

- เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง คือ แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน **EPP-168** ที่ผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร
- ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่
 - ก) เตรียมชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรอย่างต่อเนื่อง โดยชิ้นงานทั้งหมดต้องมาจากฐานเดียวกันทั้งหมด
 - ข) ใช้เครื่องปั๊มเครื่องเดียวกันในการทดลอง
 - ค) ใช้เครื่อง **3-Dimension** เครื่องเดียวกัน
 - ง) ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น และสิ่งแวดล้อมอื่น

5.25 ขั้นตอนในการทดลอง

วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตออกเอกสารสำหรับแสดงปัจจัยที่จะทำการทดลองซึ่งเอกสารนี้ประกอบด้วย รูปร่างโครงสร้างของวัตถุคิบที่ใช้ในกระบวนการปั๊ม จำนวนและทิศทางการวางของชิ้นงานในแต่ละชั้นย่อยของกระบวนการปั๊มและโปรแกรมของกระบวนการปั๊ม (เวลาอุณหภูมิและความดัน) และวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตต้องทำการตั้งโปรแกรมที่ผู้ควบคุมของเครื่องปั๊มให้พร้อมสำหรับการทดลอง

พนักงานประจำกระบวนการปั๊มทำการปรับค่าปัจจัยตามเอกสารดังกล่าว โดยทำการปรับค่าของเวลาตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ในเอกสาร หลังจากนั้นทำการปรับค่าของจำนวนแผ่นที่ใช้ของส่วนที่ 3 โดยดูโครงสร้างตามที่เอกสารกำหนดไว้เช่นเดียวกัน ขั้นตอนในการทดลองถูกแสดงดังรูปที่ 5.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่ม

5.26 ดำเนินการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะใช้โปรแกรม **MINTAB** ในการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อให้การทดลองนี้เป็นการสุ่ม สำหรับลำดับการทดลองสังเกตได้จาก **Run Order** ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงสภาวะของการทดลอง

Run Order	Blocks	Sheet	Curing Time	% MD change	% TD change	Peel Strength	Solder Heat resistance	Cross section	Resistance
1	3	1	0						
2	3	-1	0						
3	3	0	-1						
4	3	1	1						
5	3	-1	-1						
6	3	0	0						
7	3	0	1						
8	3	1	-1						
9	3	-1	1						
10	2	1	0						
11	2	0	-1						
12	2	-1	0						
13	2	-1	-1						
14	2	0	1						
15	2	-1	1						
16	2	1	-1						
17	2	0	0						
18	2	1	1						
19	1	-1	-1						
20	1	-1	1						
21	1	-1	0						
22	1	1	0						
23	1	0	0						
24	1	1	1						
25	1	0	1						
26	1	1	-1						
27	1	0	-1						

5.2.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมด จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

Run Order	Blocks	Sheet	Curing Time	% MD change	% TD change	Peel Strength	Solder Heat resistance	Cross section	Resistance
1	3	1	0	-0.0372	0.0246	5.10	4.018	0.000	2.36
2	3	-1	0	-0.0419	0.0273	5.10	2.530	28.571	2.37
3	3	0	-1	-0.0401	0.0262	5.30	1.786	0.000	2.59
4	3	1	1	-0.0369	0.0255	5.49	3.125	0.000	2.14
5	3	-1	-1	-0.0418	0.0270	5.49	0.446	7.143	2.37
6	3	0	0	-0.0400	0.0270	5.49	0.298	0.000	2.69
7	3	0	1	-0.0390	0.0269	5.49	0.000	0.000	2.75
8	3	1	-1	-0.0363	0.0259	5.30	9.375	0.000	2.55
9	3	-1	1	-0.0418	0.0271	5.69	6.399	64.286	2.37
10	2	1	0	-0.0376	0.0252	5.49	3.869	0.000	2.53
11	2	0	-1	-0.0394	0.0263	5.68	1.637	0.000	2.61
12	2	-1	0	-0.041	0.0280	5.64	3.423	42.857	2.12
13	2	-1	-1	-0.0403	0.0280	5.62	0.000	14.286	2.76
14	2	0	1	-0.0390	0.0268	5.68	0.000	0.000	2.33
15	2	-1	1	-0.0402	0.0273	5.72	5.804	50.000	2.51
16	2	1	-1	-0.0379	0.0252	5.21	9.226	0.000	2.56
17	2	0	0	-0.0395	0.0269	5.68	1.488	0.000	2.28
18	2	1	1	-0.0389	0.0262	5.13	1.786	0.000	2.11
19	1	-1	-1	-0.0416	0.0280	5.68	0.149	14.286	2.64
20	1	-1	1	-0.0402	0.0264	5.72	8.780	85.714	2.49
21	1	-1	0	-0.0417	0.0271	5.72	2.381	50.000	2.79
22	1	1	0	-0.0384	0.0249	5.72	4.762	0.000	2.87
23	1	0	0	-0.0391	0.0268	5.64	0.744	0.000	2.15
24	1	1	1	-0.0377	0.0256	5.70	3.423	0.000	2.48
25	1	0	1	-0.0399	0.0267	5.72	0.149	0.000	2.47
26	1	1	-1	-0.0370	0.0243	5.22	9.821	0.000	2.56
27	1	0	-1	-0.0397	0.0270	5.24	1.190	0.000	2.37

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด นำค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวที่ได้ไว้ในโปรแกรม **Minitab** เพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์ของผลกระทบของปัจจัยจำนวนแผ่นและเวลาที่ใช้ในการบ่มกับค่าการเปลี่ยนแปลงทั้งสองของแผ่นวงจรพิมพ์ ส่วนค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross-Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้า พิจารณาตามข้อกำหนดในตารางที่ 5.1

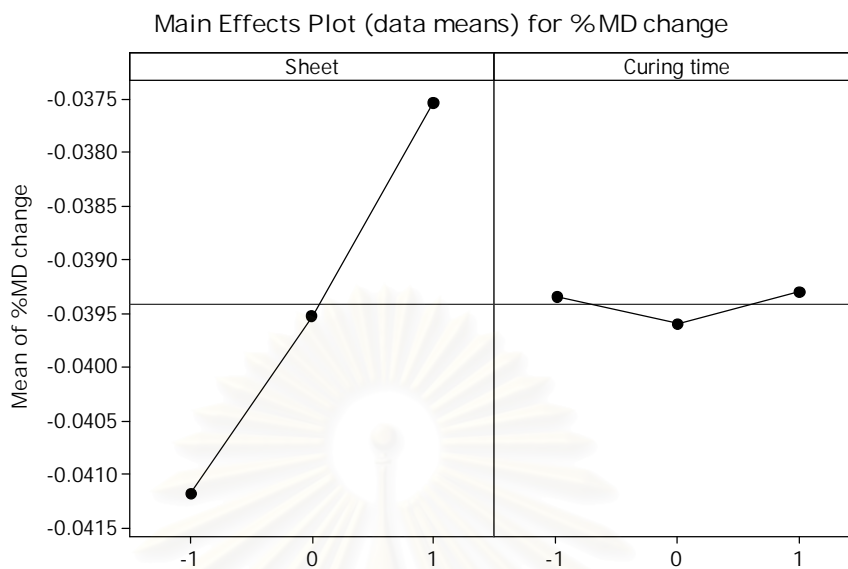
ตารางที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว

General Linear Model: %MD change versus Sheet, Curing time						
Factor	Type	Levels	Values			
Sheet	fixed	3	-1, 0, 1			
Curing time	fixed	3	-1, 0, 1			
Analysis of Variance for %MD change, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Sheet	2	0.0000592	0.0000592	0.0000296	61.02	0.000
Curing time	2	0.0000005	0.0000005	0.0000002	0.51	0.609
Sheet*Curing time	4	0.0000018	0.0000018	0.0000005	0.93	0.468
Error	18	0.0000087	0.0000087	0.0000005		
Total	26	0.0000702				
S = 0.000696552 R-Sq = 87.57% R-Sq(adj) = 82.04%						

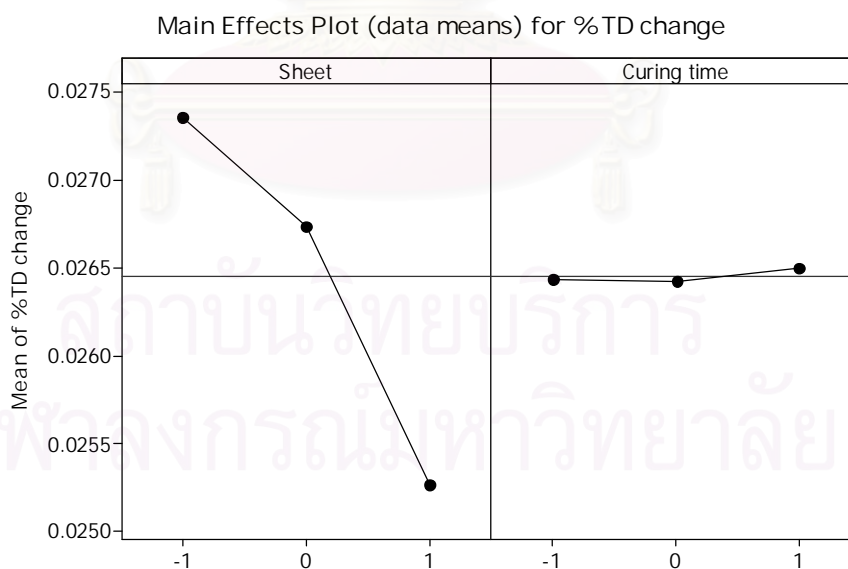
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

General Linear Model: %TD change versus Sheet, Curing time						
Factor	Type	Levels	Values			
Sheet	fixed	3	-1, 0, 1			
Curing time	fixed	3	-1, 0, 1			
Analysis of Variance for %TD change, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Sheet	2	0.0000207	0.0000207	0.0000104	49.91	0.000
Curing time	2	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.08	0.926
Sheet*Curing time	4	0.0000023	0.0000023	0.0000006	2.77	0.059
Error	18	0.0000037	0.0000037	0.0000002		
Total	26	0.0000268				
S = 0.000455420 R-Sq = 86.05% R-Sq(adj) = 79.85%						

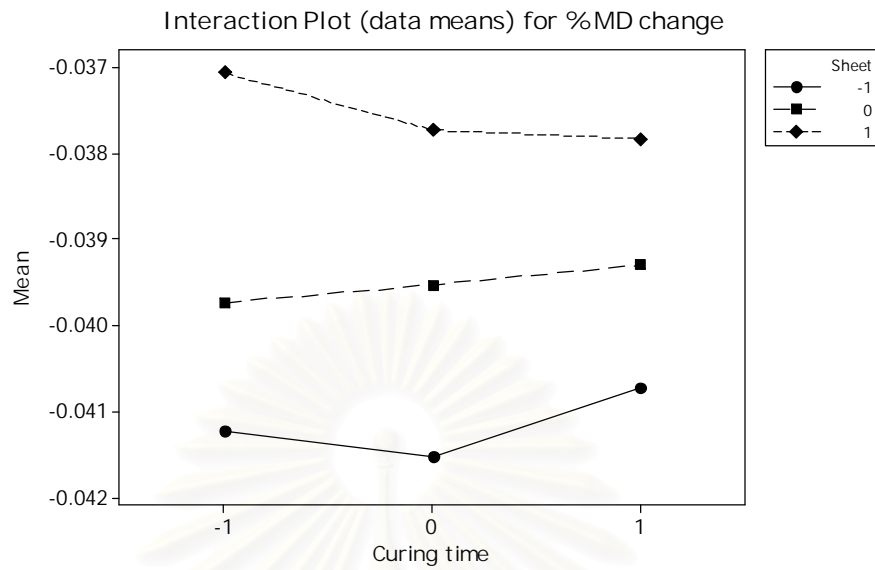
จากตารางที่ 5.5 และ 5.6 เมื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปัจจัยของจำนวนแผ่นที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความกว้างและความยาว ส่วนเวลาในการบ่มไม่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว และอันตรกิริยาที่เกิดจากทั้งสองปัจจัยไม่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว โดยพิจารณาลักษณะของกราฟของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาดังรูปที่ 5.8, 5.9, 5.10 และ 5.11



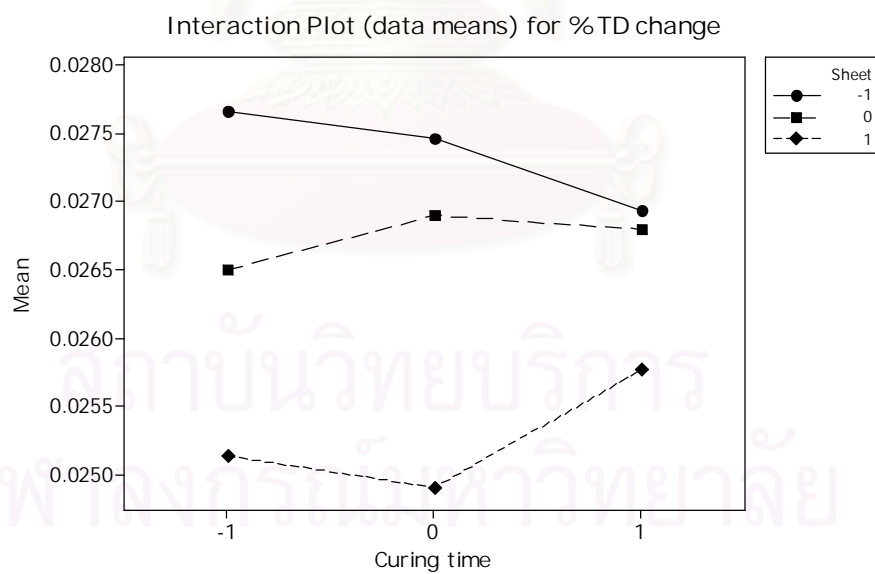
รูปที่ 58 แสดงผลหลักของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการปรม
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว



รูปที่ 59 แสดงผลหลักของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการปรม
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง



รูปที่ 510 แสดงอันตรกิริยาของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการบ่ม
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว



รูปที่ 511 แสดงอันตรกิริยาของจำนวนแผ่นและเวลาของกระบวนการบ่ม
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

จากการทดลองเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของความกว้างและความยาว พบว่าจำนวนแผ่นที่เพิ่มขึ้นสามารถที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวได้ดีกว่าจำนวนแผ่นที่น้อย ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงตามข้อกำหนดมากที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้จำนวนแผ่นที่น้อย แต่ถ้าพิจารณาการเกิดฟองอากาศในเส้นลายวงจรครบคู่แล้ว ถ้าจำนวนแผ่นยิ่งมาก การถ่ายเทความร้อนจากชั้นบนสู่ชั้นล่างของโครงสร้างกระบวนการบ่มจะไม่กระจายเท่ากับการใช้จำนวนแผ่นที่น้อย ทำให้เกิดฟองอากาศในชั้นกลางของโครงสร้างได้

ยังมีปัญหาที่เกิดจากการใช้จำนวนแผ่นที่น้อย คือ ประการแรก บริเวณพื้นผิวของแผ่นวงจรพิมพ์จะมีลักษณะขรุขระ ไม่สวยงามในการส่งให้ลูกค้า ถึงแม้ว่าค่าของการทดสอบจะผ่านตามข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์ ประการที่สอง ในการนำโครงสร้างทั้งหมดออกจากเครื่องบ่มหลังจากทำการบ่มเสร็จแล้ว พบความยากลำบากในการลอกโครงสร้างแต่ละชั้นออกจากแผ่นวงจรพิมพ์ จากประวัติของการบ่มในบริษัทกรณีศึกษา ความยากลำบากในการลอกจะส่งผลไปถึงอายุการใช้งานที่สั้นลงของแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ในเครื่องบ่มด้วย มีการโค้งงอเกิดขึ้น เพราะพนักงานต้องใช้การงัดแผ่นอลูมิเนียมออกจากกันก่อน เสียเวลาในการทำงานเพิ่มมากขึ้นด้วย และประการสุดท้าย เกิดรอยแตกหักบริเวณเส้นลายวงจร เนื่องจากว่า การทดลองนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 ซึ่งการบ่มครั้งนี้ เป็นการบ่มเพื่อเพิ่มความแข็งแรงบริเวณปลายของแผ่นวงจรพิมพ์เพื่อลูกค้าจะนำไปติดกับอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ในการใช้งานด้วยแผ่นโพสิเมอร์ชนิดหนึ่ง ถ้าจำนวนแผ่นที่ใช้มีจำนวนน้อยหรือไม่มีเลย จะทำให้ไม่มีสิ่งกีดขวางกดทับข้ามระหว่างแผ่นวงจรพิมพ์ด้านบนและด้านล่าง ทำให้รอยของแผ่นโพสิเมอร์นี้ไปกดทับแผ่นวงจรพิมพ์แผ่นตรงข้าม

ถึงแม้ว่าเวลาการบ่มที่ใช้จะไม่มีผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวแล้ว แต่ก็ยังมีผลกับการเกิดฟองอากาศ เนื่องจากว่าถ้าโครงสร้างการบ่มทั้งหมดมีความหนาเพิ่มขึ้น แต่เวลาที่ความร้อนจะถ่ายเทไปทั่วทั้งโครงสร้างไม่เพียงพอ มีผลทำให้โครงสร้างชั้นที่อยู่ตรงกลางเกิดฟองอากาศขึ้นได้

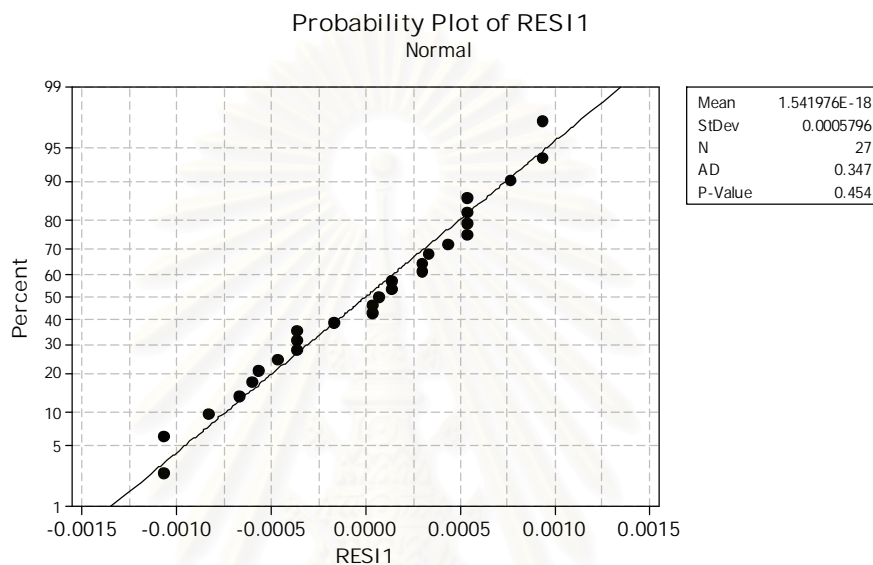
5.28 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองประกอบด้วย การทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายใต้เงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันและมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลการออกแบบการทดลอง

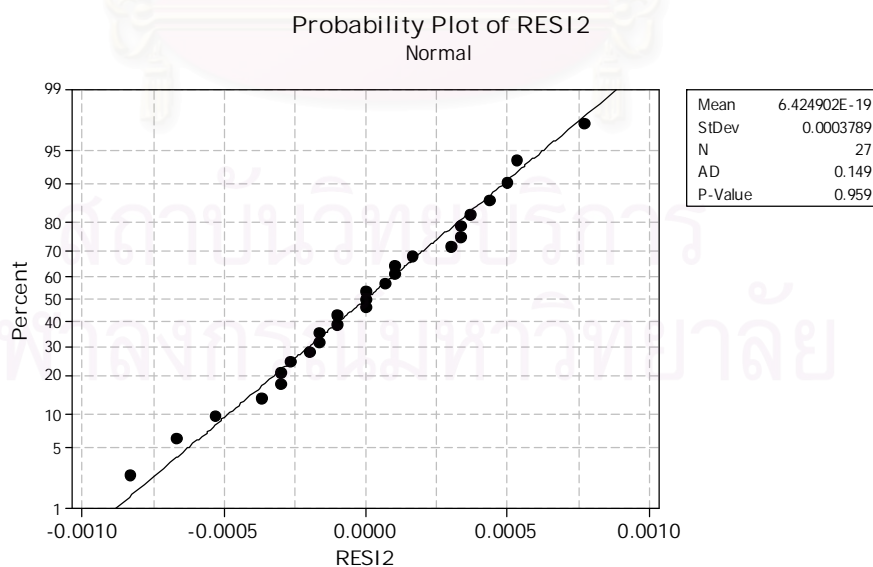
5.281 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption)

สามารถตรวจสอบด้วยการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งกราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้เป็นเส้นตรง และมีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือข้อมูลเป็นตัวแปรแบบปกติ ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว

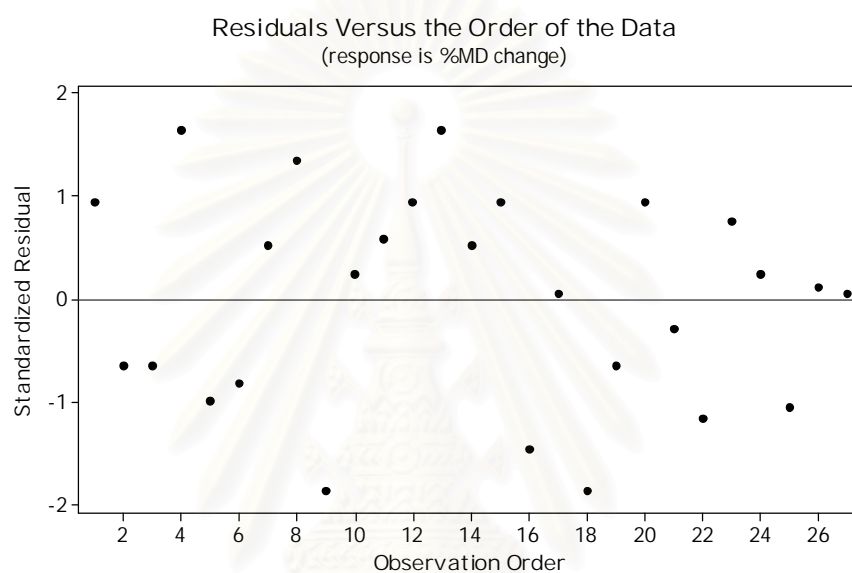


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

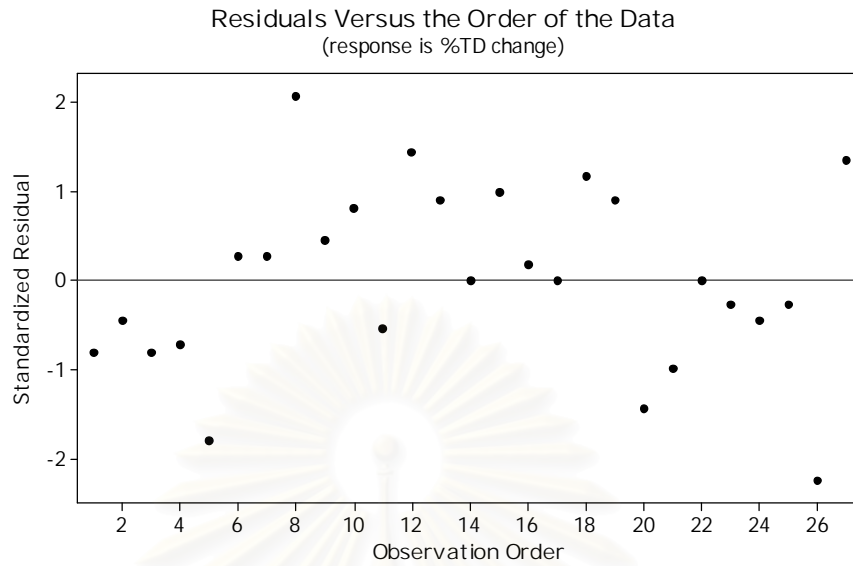
5.2.9.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในแนวนอนหรือมีรูปแบบใด ๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 5.14 และ 5.15 ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.14 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว

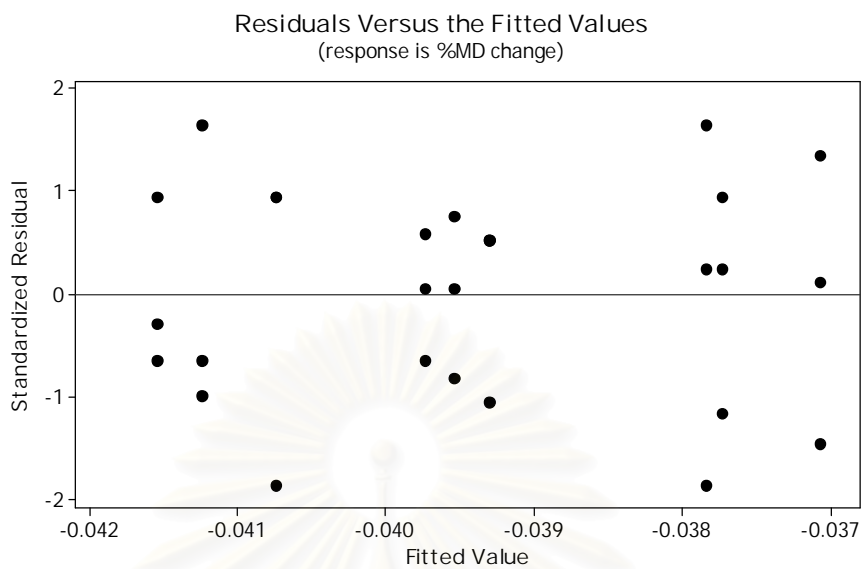


รูปที่ 5.15 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

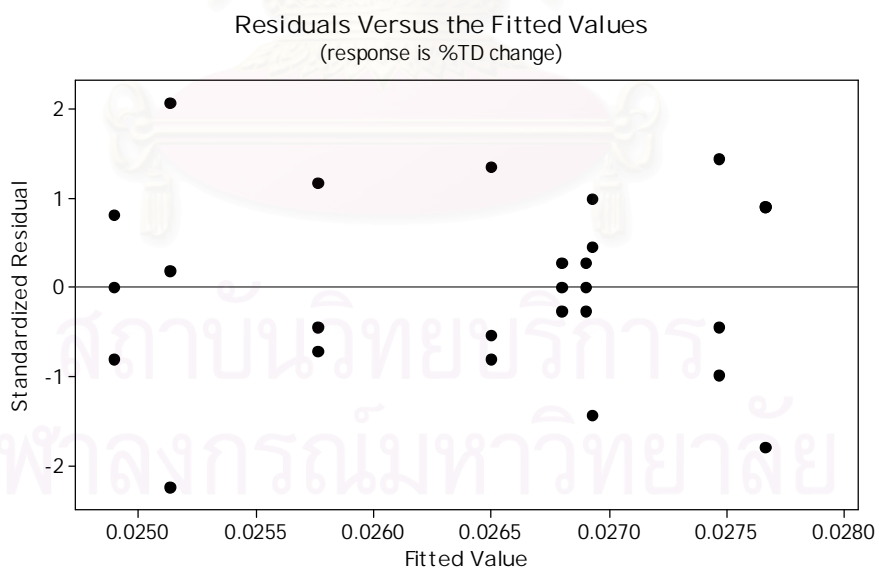
5.2.9.3 ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.16 และ 5.17 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม และไม่มีการกระจายตัวเป็นรูปที่แน่นอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.16 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว



รูปที่ 5.17 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต
ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

สรุปได้ระดับปัจจัยนำเข้าสำคัญที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้าง -0.0282666% และ 0.0300183% ตามลำดับ ได้ใกล้เคียงที่สุดและผ่านตามข้อกำหนดอื่นๆ ดังในตารางที่ 5.1 คือ

- ค่าจำนวนแผ่นของส่วนที่ 3(ส่วนกลาง) ระดับ 2 แผ่น
- ค่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 ระดับ B+30 นาที

5.2.9 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้นำปัจจัยสำคัญทั้ง 2 ปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ที่มีอิทธิพลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่า **Peel Strength** ค่าการเกิดฟองอากาศในเส้นลายวงจร ค่าการแตกหักในเส้นลายวงจร ค่าความต้านทานไฟฟ้า และค่าอื่นๆที่มีผลต่อข้อกำหนดของลูกค้า โดยทำการออกแบบการทดลองเป็น **3^k Full Factorial Design** ที่การทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยการออกแบบการทดลองนี้ค่าผลตอบแทนที่สำคัญที่นำไปคิด คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ เมื่อสรุปผลปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อ 2 ค่านี้แล้ว จากนั้นก็นำปัจจัยเหล่านั้นไปหาระดับที่เหมาะสมของสภาวะการทำงาน โดยต้องอยู่ภายในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ด้วย ถึงแม้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวที่ได้จากการทดลองไม่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าในตารางที่ 5.1 การนำสภาวะที่ได้ไปใช้งานนั้น สามารถที่จะทำการแก้ไขที่ฟิล์มต้นฉบับ โดยทำการร้องขอกับทางแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์ การยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตจริง จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง

เป็นการเพิ่มจำนวนการบ่มโดยการที่ลดจำนวนครั้งของกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้ง คือครั้งที่ 1 เป็นการคลุมเส้นลายวงจรด้วยฟิล์มที่เป็นฉนวนไฟฟ้า และครั้งที่ 2 เป็นการเพิ่มความแข็งแรงบริเวณจุดที่ต่อกับตัวอุปกรณ์ของลูกค้า มาทำพร้อมกันในกระบวนการบ่มครั้งเดียว การทำวิธีนี้นอกจากจะสามารถเพิ่มจำนวนการบ่มในแต่ละครั้งได้แล้ว ยังเป็นการประหยัดการใช้จำนวนวัสดุของโครงสร้างกระบวนการบ่มที่ใช้ด้วย

การศึกษาในหัวข้อที่ 5.3 นี้ เป็นการนำโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 มาใช้ โดยวัตถุประสงค์ของกระบวนการบ่มทุกชนิดยังทำหน้าที่ในการบ่มแบบเดิม การทำการทดลองแบบนี้จะมีการเปลี่ยนกระบวนการในการติดฟิล์มคลุมเส้นลายวงจรกับวัสดุที่เพิ่มความแข็งแรงมาติดพร้อมกันเลยก่อนที่จะเข้ากระบวนการบ่ม โดยโครงสร้างที่ทำการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.19

กระบวนการป่มครั้งที่ 1		กระบวนการป่มครั้งที่ 2		กระบวนการป่มครั้งที่ 1
ส่วนที่ 22		ส่วนที่ 3		ส่วนที่ 3
แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน		ส่วนที่ 3		ส่วนที่ 3
ส่วนที่ 21		ส่วนที่ 22		ส่วนที่ 22
ส่วนที่ 1	+	ส่วนที่ 1	>>>	ส่วนที่ 1
ส่วนที่ 3		แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน		แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน
ส่วนที่ 3		ส่วนที่ 1		ส่วนที่ 1
ส่วนที่ 1		ส่วนที่ 21		ส่วนที่ 21
ส่วนที่ 21		ส่วนที่ 3		ส่วนที่ 3
แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน		ส่วนที่ 3		ส่วนที่ 3
ส่วนที่ 22				

รูปที่ 5.18 กระบวนการป่มแบบปัจจุบันและแบบที่จะทำการทดลอง

5.31 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังตารางที่ 5.1 (ในหัวข้อ 5.1)

5.32 การเตรียมการทดลอง

ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 5.24

5.33 ขั้นตอนในการทดลอง

ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 5.25

5.34 ดำเนินการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 15 ครั้ง เนื่องจาก 1 ม้วนใหญ่ของทองแดงที่ใช้ในการผลิตจะสามารถแบ่งเป็นแผ่นทองแดงได้ 3 ม้วนเล็ก และ 1 ม้วนเล็กนั้นจะแบ่งเป็นแผ่นทองแดงที่เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ได้ 5 ล็อต

5.35 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมด จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการวิเคราะห์ของการปมภายในครั้งเดียว

No.	% MD change	% TD change	Peel Strength	Solder Heat resistance	Cross section	Resistance
1	-0.0124	0.0387	5.61	0	0	2.96
2	-0.0128	0.0382	5.12	0	0	2.31
3	-0.0128	0.0396	5.86	0	0	2.49
4	-0.0121	0.0391	5.27	0	0	2.43
5	-0.0127	0.0395	5.71	0	0	2.54
6	-0.0125	0.0389	5.79	0	0	2.98
7	-0.0126	0.0401	5.59	0	0	2.35
8	-0.0121	0.0405	5.92	0	0	2.91
9	-0.0126	0.0382	5.39	0	0	2.23
10	-0.0128	0.0385	5.91	0	0	2.09
11	-0.0124	0.0376	5.31	0	0	2.51
12	-0.0127	0.0390	5.45	0	0	2.88
13	-0.0128	0.0400	5.31	0	0	2.76
14	-0.0125	0.0390	5.41	0	0	2.60
15	-0.0123	0.0398	5.07	0	0	2.51

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด ไม่พบการเกิดฟองอากาศในเส้นลายนวจร และมีการแตกหักที่เส้นลายนวจร ค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ภายใต้ข้อกำหนด นำค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างมาใส่ใน โปรแกรม **MNITAB** เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ต่อไป

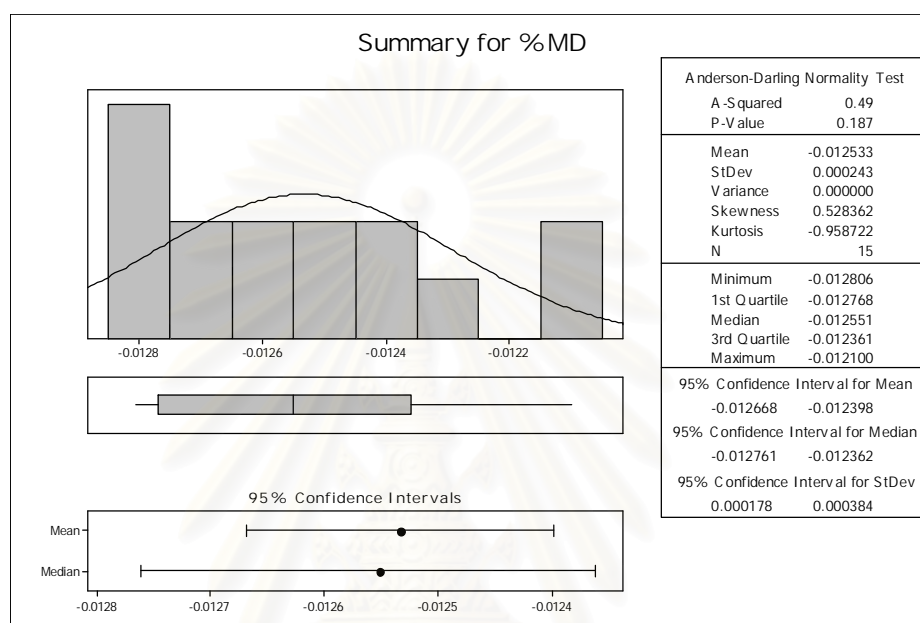
5.35.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล

พิจารณาค่าเฉลี่ยและความผันแปร ซึ่งความผันแปรจะคำนวณอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและพิจารณาฮิสโตแกรมในแต่ละกระบวนการ โดยมีสมมติฐานคือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

H_a : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบปกติ

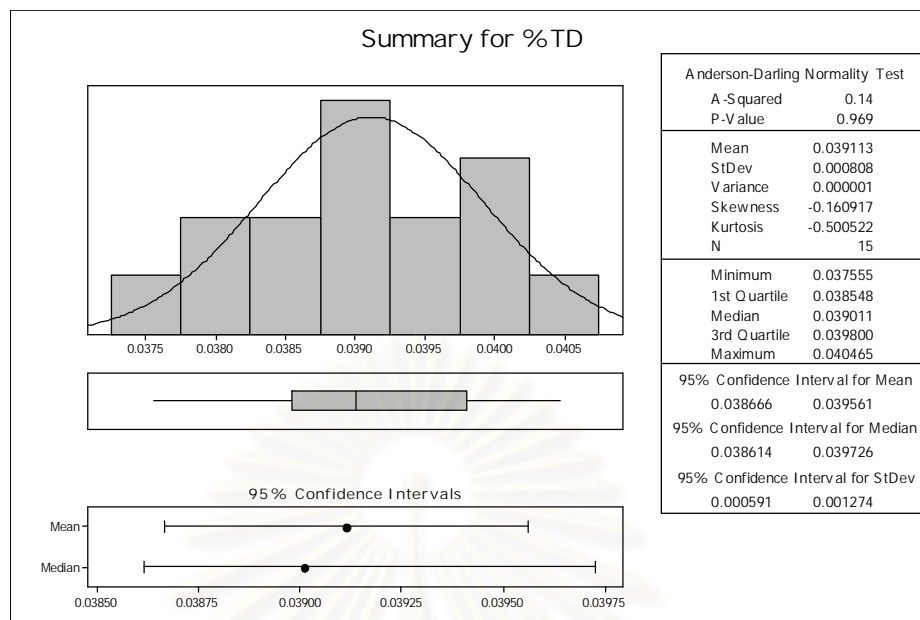
จากการใช้โปรแกรม **MINTAB** ช่วยในการคำนวณพบว่าสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ **0.000243** และการกระจายของข้อมูลที่ได้เป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น **95%** ซึ่งมีค่า **P-Value** เท่ากับ **0.187** เมื่อใช้ **Anderson-Darling** ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.19



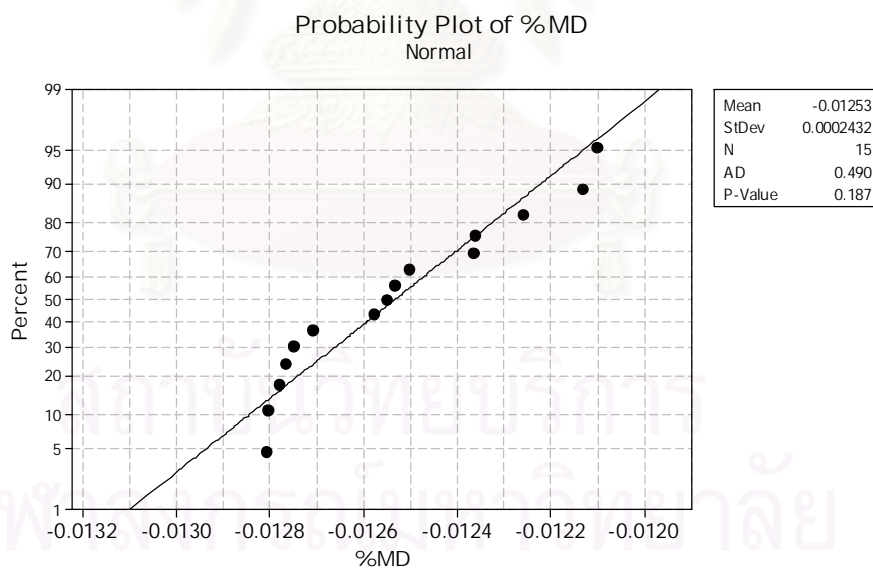
รูปที่ 5.19 แสดงฮิสโตแกรมของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลองบ่มครั้งเดียว

สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ **0.000808** และการกระจายของข้อมูลที่ได้เป็นแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ความเชื่อมั่น **95%** ซึ่งมีค่า **P-Value** เท่ากับ **0.969** เมื่อใช้ **Anderson-Darling** ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.20

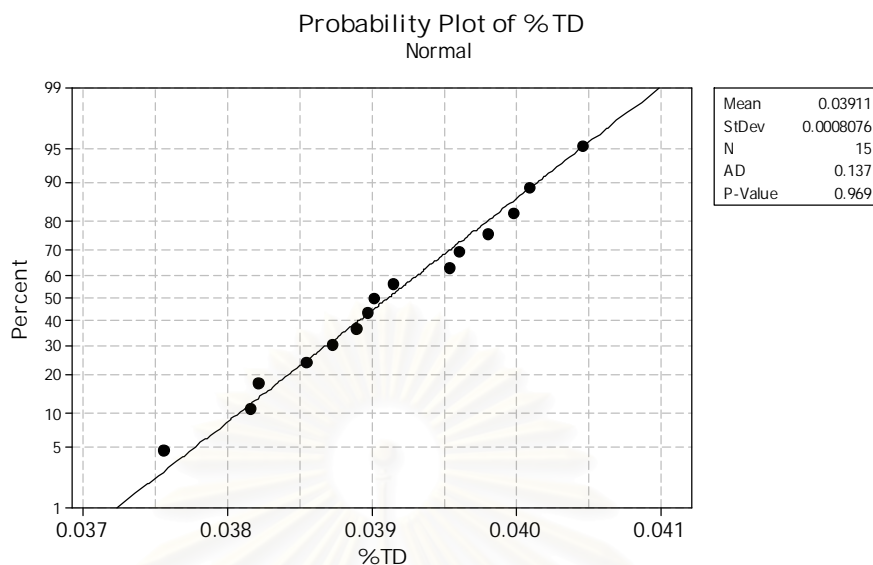
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.20 แสดงฮิสโตแกรมของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลองบ่มครั้งเดียว



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลอง



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลอง

5.36 การทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยเทียบกับค่าของสภาวะปกติ

พิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของข้อมูลมีค่าเท่ากับ -0.0282666%

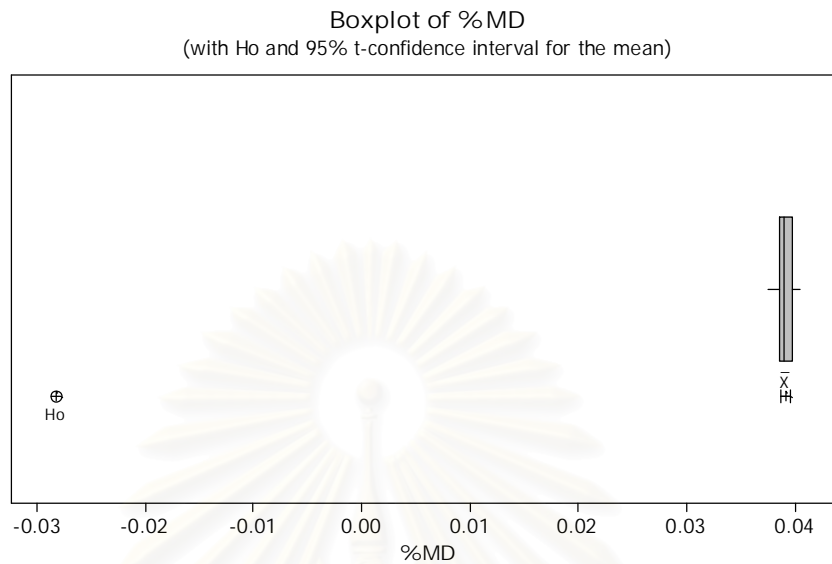
H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของข้อมูลมีค่าไม่เท่ากับ -0.0282666%

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว

One-Sample T: %MD

Test of $\mu = -0.0282666$ vs not = -0.0282666

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T
Variable	15	0.039113	0.000807	0.000208	(0.038666, 0.039560)	323.37
Variable	P					
%TD	0.000					



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงบ็อกพล็อตของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว มีค่าไม่เท่ากับ
ค่าเฉลี่ยของค่าสภาวะปกติที่นัยสำคัญ **95%**

พิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของข้อมูลมีค่าเท่ากับ **0.0300183%**

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของข้อมูลมีค่าไม่เท่ากับ **0.0300183%**

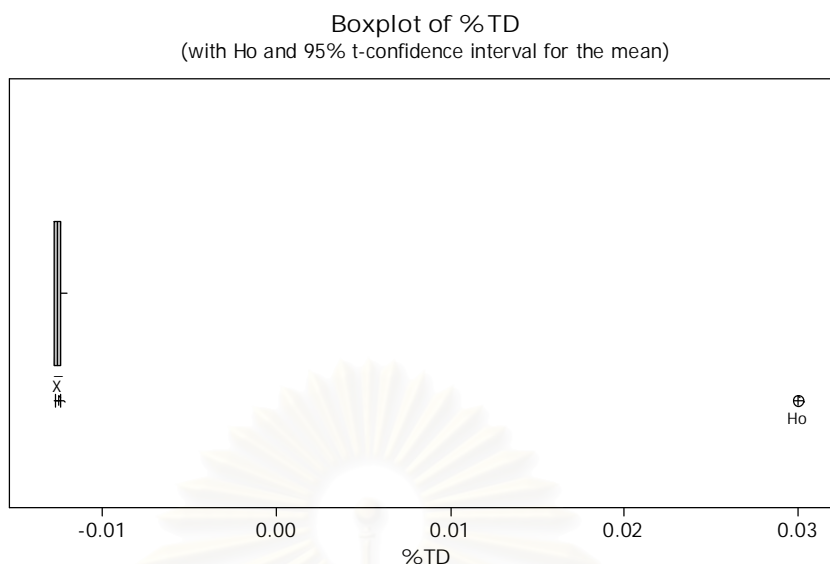
ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง

One-Sample T: %TD

Test of mu = 0.0300183 vs not = 0.0300183

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T
%TD	15	-0.012540	0.000241	0.000062	(-0.012674, -0.012406)	-682.73

Variable	P
%TD	0.000



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงบ็อกพล็อตของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างมีค่าไม่เท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าสภาวะปกติที่นัยสำคัญ **95%**

5.37 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ทำการทดลองโดยเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งของการบ่มจากเดิมผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาดำเนินการบ่ม 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกทำการบ่มแผ่นทองแดงกับฟิล์มคลุมผิวและ ครั้งที่สองเป็นการบ่มระหว่างแผ่นที่เสร็จในการบ่มครั้งแรกกับแผ่นฟิล์มที่เพิ่มความแข็งแรงบริเวณที่ต้องไปต่อกับอุปกรณ์ของลูกค้าค่าของผลิตภัณฑ์ที่นำมาวิเคราะห์ใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว ค่า **Peel Strength** ค่าการเกิดฟองอากาศในเส้นลายวงจร ค่าการแตกหักในเส้นลายวงจร ค่าความต้านทานไฟฟ้าและค่าอื่นๆที่มีผลต่อข้อกำหนดของลูกค้า โดยทำการ-ทดลอง ซ้ำทั้งหมด 15 ครั้ง (ได้มาจากการทดลองกับแผ่นทองแดง 1 ม้วนใหญ่ ซึ่งทองแดงม้วนดังกล่าวจะถูกแบ่งเป็นแผ่นทองแดงได้ 3 ม้วนเล็กและ 1 ม้วนเล็กของทองแดงแบ่งได้ผลิตภัณฑ์ 5 ล็อต จากผลการทดลองที่ได้ ค่าตามข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์ผ่านตามข้อกำหนดทุกอย่าง ยกเว้นค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวที่ได้มีค่าแตกต่างจากค่าของสภาวะปกติการนำไปใช้งานจริงกับการผลิต จะทำการแก้ไขที่ฟิล์มต้นฉบับเช่นเดียวกับหัวข้อที่

5.2

5.4 สรุปขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

ในขั้นตอนนี้ได้นำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าจำนวนรอบผลิตที่จำกัดของกระบวนการบ่ม มาทำการทดลองเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 กล่าวถึง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 และส่วนที่ 2 คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง โดยค่าที่ใช้ในการวัดผล คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งการศึกษาดังกล่าวจะทำให้ปริมาณการผลิตในส่วนของการบ่มเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 5.10 ถึง 5.12

ตารางที่ 5.10 แสดงเวลาที่ใช้และจำนวนล็อตที่ได้ของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 (สภาวะปัจจุบัน)

เวลาที่ใช้ (นาที)				จำนวนรอบ		
เครื่องจักรทำงาน (เวลาในการบ่ม)	เตรียมงานเข้า และเอางานออก	รวม 1 รอบ	1 กะ	1 กะ (คำนวณ)	1 กะ (งานจริง)	1 วัน (งานจริง)
59	25	84	720	857	8	16

การทำงาน	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ล็อต)
1 รอบของการทำงาน	25
1 วันของการทำงาน	50

ตารางที่ 5.11 แสดงเวลาที่ใช้และจำนวนล็อตที่ได้ของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 (จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง)

เวลาที่ใช้ (นาที)				จำนวนรอบ		
เครื่องจักรทำงาน (เวลาในการบ่ม)	เตรียมงานเข้า และเอางานออก	รวม 1 รอบ	1 กะ	1 กะ (คำนวณ)	1 กะ (งานจริง)	1 วัน (งานจริง)
90	50	140	720	514	5	10

การทำงาน	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ล็อต)
1 รอบของการทำงาน	5
1 วันของการทำงาน	40

ตารางที่ 512 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ของกระบวนการบ่มสภาวะปัจจุบันกับการทดลอง การเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง

สภาวะ	เวลาที่ใช้ (นาที)		
	การบ่มครั้งที่ 1	การบ่มครั้งที่ 2	รวม
ปัจจุบัน	84	84	168
การทดลอง บ่มครั้งเดียว	84	0	84

จากตารางที่ 510 และ 511 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 พบว่า จำนวนรอบของการผลิตได้ในแต่ละวันมีค่าลดลงแต่จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละรอบเพิ่มขึ้น และเมื่อคิดเป็นจำนวนรอบในแต่ละวันมีค่าเพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ถ้าทำการเปลี่ยนแปลงที่กระบวนการบ่มครั้งที่ 2 สำหรับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็นครั้งเดียว เวลาที่ใช้ในการบ่มของทั้งผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 512 มีค่าลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถที่จะผ่านกระบวนการบ่มนี้ได้เร็วขึ้น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 ได้ทำการออกแบบการทดลองเป็น 3^2 Factorial Design ที่ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากผลการทดลองจะได้โครงสร้างของกระบวนการบ่มดังแสดงในตารางที่ 513

ตารางที่ 513 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของการบ่มครั้งที่ 2

กระบวนการบ่มครั้งที่ 2	โครงสร้างของการบ่มครั้งที่ 2	เวลาที่ใช้ (นาที)
ปัจจุบัน	3/3/22/1/แผ่นวงจร / 1 / 21/3/3	59
จากการทดลอง	3/3/22/1/แผ่นวงจร / 1 / 21/3/3/22/1/แผ่นวงจร / 1 / 21/3/3	90

จากการทดลองพบว่าไม่มีการทดลองใดเลยที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวได้เท่ากับค่าของสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญเลย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงในการผลิต จะต้องนำค่าดังกล่าวนี้ไปร้องขอจากทางแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ทำการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับก่อนก่อน แล้วจึงนำฟิล์มต้นฉบับที่ทำการแก้ไขแล้วมาทดสอบยืนยันผลอีกครั้งก่อนการใช้งานจริง

สำหรับการทดลองเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง

ตารางที่ 514 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของการบ่มของผลิตภัณฑ์

สภาวะ	กระบวนการบ่ม	โครงสร้างของการบ่มครั้งที่ 2
ปัจจุบัน	ครั้งที่ 1	22/ แผ่นวงจร / 21 /1/3/3/1/21/แผ่นวงจร/22
	ครั้งที่ 2	3/3/22/1/แผ่นวงจร /1 /21/3/3
บ่มครั้งเดียว	ครั้งที่ 1	3/3/22/1/แผ่นวงจร /1 /21/3/3

จากการทดลองพบว่าไม่มีการทดลองใดเลยที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวได้เท่ากับค่าของสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญเลยเช่นเดียวกับการทดลองแรก ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงในการผลิต จะต้องนำค่าดังกล่าวนี้ไปร้องขอจากทางแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ทำการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับก่อนก่อน แล้วจึงนำฟิล์มต้นฉบับที่ทำการแก้ไขแล้วมาทดสอบยืนยันผลอีกครั้งก่อนการใช้งานจริงเช่นเดียวกันกับการทดลองแรก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดสอบและยืนยันผลที่ได้จากการทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปจากบทก่อนหน้านี้ ซึ่งการทดลองในบทที่
แล้วแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 และ
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง โดยทำการปรับค่าต่างๆ ตามที่
กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบว่าค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างของ
แผ่นวงจรพิมพ์เป็นไปตามผลการทดลอง โดยที่ค่าอื่นๆ ในตารางที่ 51 ผ่านตามข้อกำหนดของ
บริษัทด้วย สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาว ต้องถูกนำไปแก้ไขฟิล์มก่อนที่
จะมาทำการทดสอบและยืนยันผล หลังจากนั้นเมื่อเสร็จสิ้นจากการทดสอบและยืนยันผลแล้ว
พร้อมนำงานดังกล่าวผ่านกระบวนการผลิตจนสมบูรณ์ เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลง
ความยาวและความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์เป็นไปตามผลการทดลอง และค่าอื่นๆ ในตารางที่ 51
ในขั้นตอนการตรวจสอบก่อนส่งมอบลูกค้า และพิจารณาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

6.1 ขั้นตอนการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ

6.1.1 จุดประสงค์ของการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ

เพื่อให้ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
มีค่าเท่ากับกับก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อข้อกำหนด
ต่างๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์และกระบวนการถัดไปน้อยที่สุด

6.1.2 ขั้นตอนในการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ

- ตรวจสอบว่ามีการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับก่อนหน้าหรือไม่จากแผนกออกแบบ
- คำนวณค่าที่ได้จากการทดลองในบทที่ 5 เทียบกับค่าจากสภาวะปกติของ
กระบวนการบ่ม(ตารางที่ 5.1) ดังแสดงในตารางที่ 6.1 และ 6.2 ดังนี้

ตารางที่ 61 แสดงการคำนวณเพื่อแก้ไขค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้าง
ของฟิล์มต้นฉบับจากผลการทดลองหัวข้อที่ 5.2

รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลง	ค่าการเปลี่ยนแปลง ความยาว	ค่าการเปลี่ยนแปลง ความกว้าง
1) ความสามารถของกระบวนการบ่ม (จากตารางที่ 5.1)	-0.0282666	+0.0300183
2) ค่าจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2	-0.0393000	+0.0268000
3) ค่าผลต่างระหว่างข้อ 1 และข้อ 2	+0.0110334	+0.0032183
4) ค่าการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ (ร้องขอการ เปลี่ยนแปลงกับแผนกออกแบบ)	+0.011	+0.003

ตารางที่ 62 แสดงการคำนวณเพื่อแก้ไขค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้าง
ของฟิล์มต้นฉบับจากผลการทดลองหัวข้อที่ 5.3

รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลง	ค่าการเปลี่ยนแปลง ความยาว	ค่าการเปลี่ยนแปลง ความกว้าง
1) ความสามารถของกระบวนการบ่ม (จากตารางที่ 5.1)	-0.0282666	+0.0300183
2) ค่าจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3	-0.0125330	+0.0391130
3) ค่าผลต่างระหว่างข้อ 1 และข้อ 2(1-2)	-0.0157336	-0.0090947
4) ค่าการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ (ร้องขอการ เปลี่ยนแปลงกับแผนกออกแบบ)	-0.016	-0.009

-นำค่าที่ได้ร้องขอทางแผนกออกแบบแก้ไขฟิล์มต้นฉบับ (ค่าที่จะนำไปแก้ไข
ฟิล์มต้นฉบับทำได้แค่สนิม 3 ตำแหน่งเท่านั้น)

-นำฟิล์มต้นฉบับที่ทำการแก้ไขแล้วมาทดสอบในขั้นตอนการยืนยันผลต่อไป

6.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

6.2.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ หลังจากปรับค่าตามการทดลองที่ได้ในบทที่ 5 และเพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการบ่มหลังจากปรับค่าที่ได้จากการทดลองในบทที่ 5

6.2.2 การเตรียมการทดลอง

- จำนวนสิ่งตัวอย่างจะเก็บข้อมูลทั้งหมด **720** แผ่น โดยแบ่งเป็น **360** แผ่นต่อการ-ทดลอง
- ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการบ่ม
- กำหนดหมายเลขของฟิล์มที่ต้องการใช้ในการถ่ายแบบเส้นลายวงจร ตามค่าการแก้ไขของฟิล์มที่ได้รับรองขอไป

6.2.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

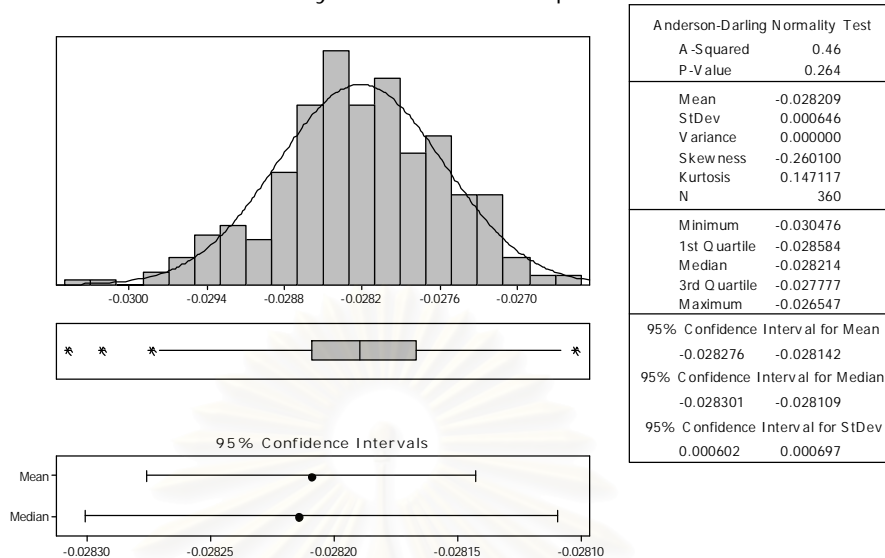
นำสิ่งตัวอย่างที่เตรียมไว้ผ่านกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ตามสภาพการปฏิบัติจริงของการผลิตและทำการเก็บข้อมูลของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ จากที่ได้ปรับค่าตามที่กำหนดไว้ในกระบวนการบ่มทั้งสองวิธี

6.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.3.1 ค่าความผันแปรและค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆของกระบวนการบ่ม

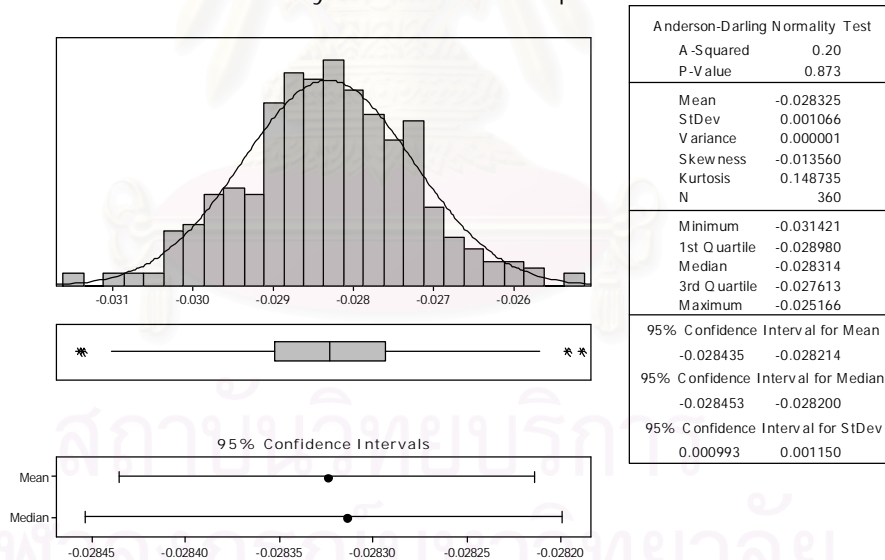
จากข้อมูลการทดสอบ นำมาพล็อตกราฟการกระจายดังรูปที่ 6.1 และ 6.2 พบว่าเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของการทดลองหัวข้อที่ 5.2 และ 5.3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ **-0.028209%** และ **-0.028325%** ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวที่กระบวนการบ่มคือ **-0.0282666%**

Summary for %MD in 1st Experiment



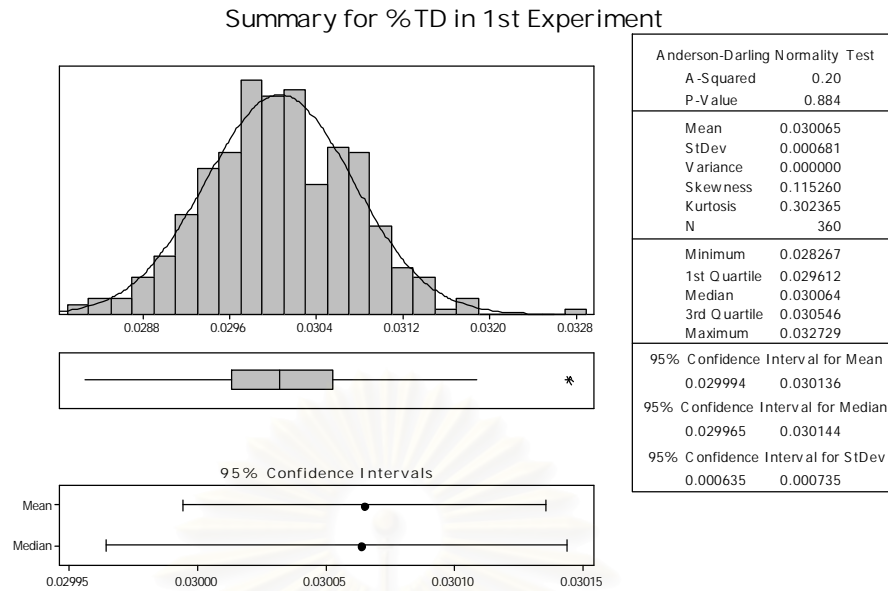
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2

Summary for %MD in 2nd Experiment

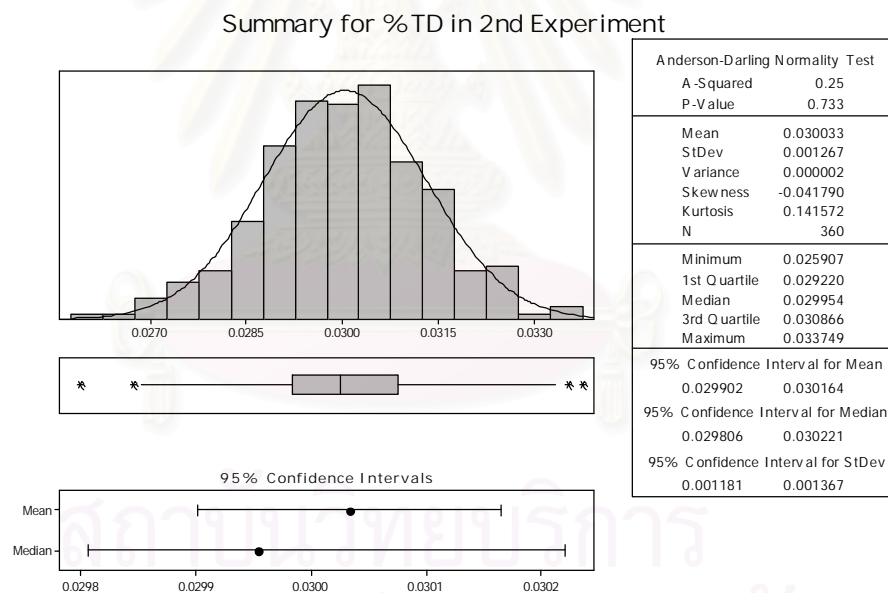


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3

และจากรูปที่ 6.3 และ 6.4 พบว่าเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของการทดลองหัวข้อที่ 5.2 และ 5.3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.030065% และ 0.030033% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวที่กระบวนการบ่มคือ 0.0300183%



รูปที่ 63 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2

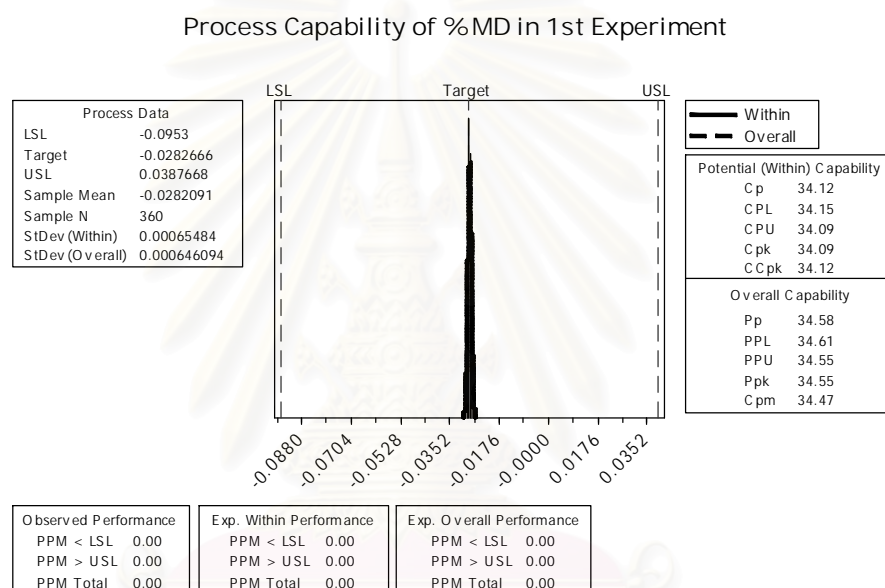


รูปที่ 64 กราฟแสดงการกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3

6.3.2 ค่าความสามารถของกระบวนการป่ม

จากข้อมูลการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการป่ม
สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของทั้งสองการทดลองคือ

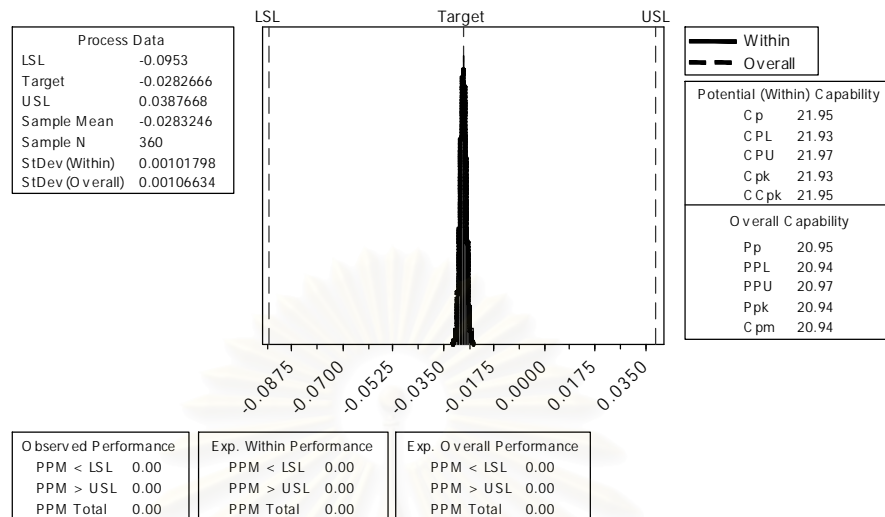
หัวข้อที่ 5.2 และ 5.3 พิจารณากราฟรูปที่ 6.5-6.8 พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อเทียบกับข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาทดสอบนั้น ไม่ได้ค่าอยู่ในข้อกำหนด เนื่องจากการทดลองข้างต้น จุดประสงค์ที่ต้องการคือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างที่ได้จากการทดลองนั้นต้องมีค่าที่เท่ากับค่าเฉลี่ยของสภาวะปกติก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับการทดสอบนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 6.3.3 เมื่อแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการบ่มแล้วจะถูกส่งไปยังกระบวนการเคลือบผิวและกระบวนการตัดแต่งผลิตภัณฑ์ขั้นตอนสุดท้ายก่อนส่งลูกค้า ค่าการเปลี่ยนแปลงทั้งสองจะกลับเข้าสู่ค่าที่กำหนดไว้เอง



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม
(ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2)

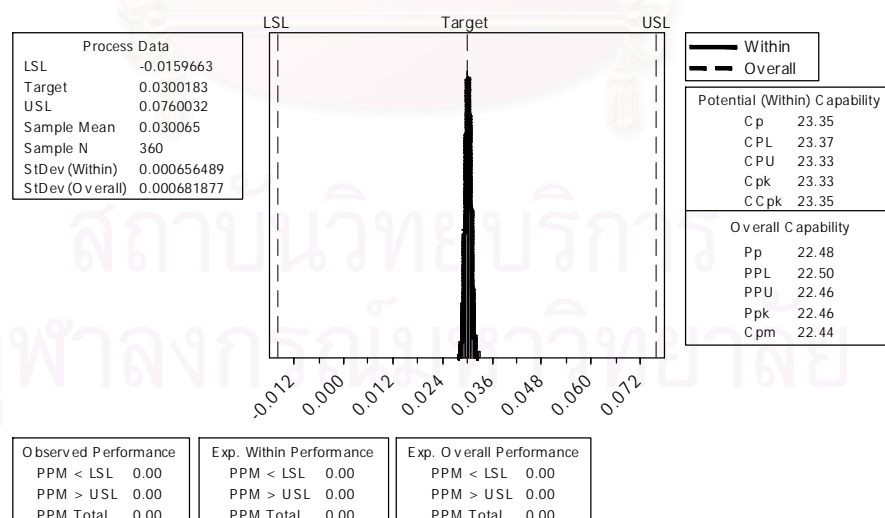
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process Capability of %MD in 2nd Experiment



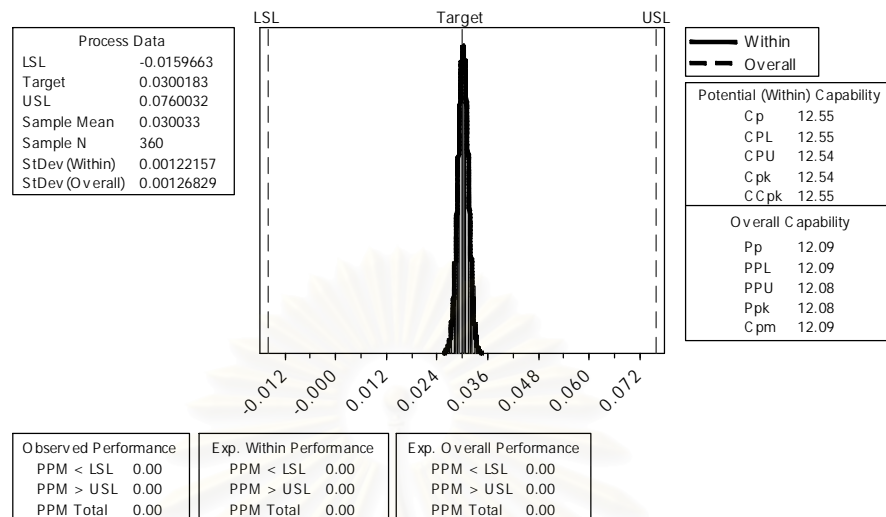
รูปที่ 66 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม
(ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3)

Process Capability of %TD in 1st Experiment



รูปที่ 67 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม
(ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2)

Process Capability of %TD in 2nd Experiment



รูปที่ 68 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่ม
(ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 53)

6.3.3 การทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าของสภาวะปกติ

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของข้อมูลมีค่าเท่ากับ -0.0282666%

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของข้อมูลมีค่าไม่เท่ากับ -0.0282666%

ตารางที่ 63 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2

One-Sample T: %MD in 1st Experiment

Test of mu = -0.0282666 vs not = -0.0282666

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
%MD in 1st Exper	360	-0.028209	0.000646	0.000034	(-0.028276, -0.028142)

Variable	T	P
%MD in 1st Exper	1.69	0.092

พิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของข้อมูลมีค่าเท่ากับ -0.0282666%

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของข้อมูลมีค่าไม่เท่ากับ -0.0282666%

ตารางที่ 64 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
จากการทดลองหัวข้อที่ 5.3

One-Sample T: %MD in 2nd Experiment					
Test of mu = -0.0282666 vs not = -0.0282666					
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
%MD in 2nd Exper	360	-0.028325	0.001066	0.000056	(-0.028435, -0.028214)
Variable	T	P			
%MD in 2nd Exper	-1.03	0.303			

พิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.2

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของข้อมูลมีค่าเท่ากับ 0.0300183%

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของข้อมูลมีค่าไม่เท่ากับ 0.0300183%

ตารางที่ 65 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
จากการทดลองหัวข้อที่ 5.2

One-Sample T: %TD in 1st Experiment					
Test of mu = 0.0300183 vs not = 0.0300183					
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
%TD in 1st Exper	360	0.030065	0.000681	0.000036	(0.029994, 0.030136)
T	1.30				
Variable	P				
%TD in 1st Exper	0.194				

พิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3

H_0 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของข้อมูลมีค่าเท่ากับ 0.0300183%

H_1 : ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของข้อมูลมีค่าไม่เท่ากับ 0.0300183%

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวจากการทดลองหัวข้อที่ 5.3

One-Sample T: %TD in 2nd Experiment					
Test of mu = 0.0300183 vs not = 0.0300183					
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
T					
%TD in 2nd Exper	360	0.030033	0.001267	0.000067	(0.029902, 0.030164)
0.22					
Variable	P				
%TD in 2nd Exper	0.826				

จากตารางที่ 6.3-6.6 พบว่าค่าของ **P-value** ที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่า **0.05** ดังนั้นแสดงว่ายอมรับ H_0 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวมีค่าเท่ากับค่าจากสภาวะปกติ ด้วยความเชื่อมั่น **95**เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าอื่นๆ คือ ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat resistance** ค่า **Cross section** และ ค่าความต้านทานไฟฟ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์จากทางแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าดังกล่าวอยู่ในข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์ ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 แสดงผลค่าของคุณสมบัติทั่วไปจากการทดสอบยืนยัน

คุณสมบัติทั่วไป(แผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์)	ค่าที่ได้จากการทดลองทั้งสองส่วน
1) Peel Strength	มากกว่า 4 นิวตันต่อเซนติเมตร
2) Solder Heat Resistance (ตรวจสอบฟองอากาศในเส้นลายวงจร)	ไม่พบฟองอากาศในเส้นลายวงจร
3) Cross Section (ตรวจสอบการแตกร้าวของเส้นลายวงจร)	ไม่พบการแตกร้าวของเส้นลายวงจร
4) ค่าความต้านทาน(มิเตอร์วัด Milli-Ohm)	น้อยกว่า 5 โอห์ม

6.3.4 ผลกระทบต่ออัตราผลิตผลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบอื่นๆ เช่น ของเสีย เป็นต้น ของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

จากกระบวนการสร้างเส้นสายวงจรในการผลิต **EPP-168** ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ สามารถผลิตได้ **13,440** ชิ้นต่อ **1** กะการทำงาน แต่มีผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า ประมาณ **6** เปอร์เซ็นต์ แต่หลังจากการปรับปรุงกระบวนการบ่ม ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการบ่มจะสามารถผลิตได้ **26,880** ชิ้นต่อ **1** กะการทำงาน และส่วนของการเปลี่ยนแปลงการบ่มจาก **2** ครั้งเป็น **1** ครั้ง สามารถผลิตได้ **13,440** ชิ้นต่อ **1** กะการทำงาน เช่นเดียวกันกับก่อนการปรับปรุง แต่จะประหยัดเวลาในการผ่านกระบวนการบ่มอย่างน้อยคือ **1** รอบเวลาของการบ่ม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้ามีค่าประมาณ **6** เปอร์เซ็นต์เช่นกันทั้งสองวิธี

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ **2** จะได้สถานะและโครงสร้างของการบ่ม คือ เวลาที่ใช้ในการบ่ม **90** นาที จากเดิม **60** นาที และจำนวนวัตถุดิบของส่วนที่ **3** ที่ใช้เท่ากับ **2** แผ่น โดยผลก่อนการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับหลังการปรับปรุงด้วยวิธีนี้แสดงดังตารางที่ **6.8**

ตารางที่ **6.8** เปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ **2**

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้	13,440 ชิ้น	26,880 ชิ้น
เปอร์เซ็นต์ของของเสีย	น้อยกว่า 6%	น้อยกว่า 6%
จำนวนครั้งของการบ่ม	2 ครั้ง	2 ครั้ง

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก **2** ครั้งเป็น **1** ครั้ง สถานะและโครงสร้างของการบ่มที่ใช้จะเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง แต่ผลิตภัณฑ์สามารถที่จะผ่านกระบวนการบ่มได้ภายในครั้งเดียวและใช้เวลาในการบ่มเพียง **60** นาทีเท่านั้นเมื่อเทียบกับก่อนที่จะมีการปรับปรุงที่ต้องใช้เวลารวมในการบ่มเท่ากับ **120** นาที ไม่ต้องกลับมาที่กระบวนการนี้อีกครั้ง โดยผลก่อนการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับหลังการปรับปรุงด้วยวิธีนี้แสดงดังตารางที่ **6.9**

ตารางที่ 69 เปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลง กระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
เวลาที่ใช้ในการบ่มครั้งที่ 1	60 นาที	60 นาที
เวลาที่ใช้ในการบ่มครั้งที่ 2	60 นาที	
เวลารวมของการบ่ม	120 นาที	60 นาที
เปอร์เซ็นต์ของของเสีย	น้อยกว่า 6%	น้อยกว่า 6%
จำนวนครั้งของการบ่ม	2 ครั้ง	1 ครั้ง

6.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยัน

จากผลการทดสอบพบว่าค่าของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจากสภาวะปกติ ก่อนการทดลอง ค่าที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์และสามารถที่จะนำไปใช้งาน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการบ่มได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบนี้จะใช้เพียงเพื่อยืนยันถึงสภาวะการใช้งานหลังการปรับปรุงเท่านั้น ต้องทำการศึกษาเก็บข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่กระบวนการบ่มครั้งที่ 2 และการเปลี่ยนจากบ่ม 2 ครั้งเป็นบ่มครั้งเดียว เพื่อที่จะนำไปใช้งานจริง ดังจะกล่าวในรายละเอียดในบทต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การควบคุมกระบวนการผลิต

ในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการทดลองทั้งสองส่วนที่ได้จากการวิเคราะห์ผล คือ ส่วนที่ 1 จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของการบ่มครั้งที่ 2 และการเปลี่ยนการบ่มแผ่นวงจรพิมพ์จาก 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้ง โดยได้ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้ว ทั้งสองวิธีสามารถที่จะนำมาใช้ในการกำกับการผลิตในส่วนของการบ่มได้ แต่ในการควบคุมกระบวนการผลิตในบทนี้จะขอใช้เฉพาะการเปลี่ยนจำนวนครั้งของการบ่มจาก 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้ง ส่วนสาเหตุที่เลือกจะกล่าวในบทถัดไป โดยจะนำความรู้และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (**Statistical Process Control : SPC**) มาประยุกต์ใช้ควบคุมกระบวนการผลิต

7.1 แผนการควบคุม

7.1.1 สิ่งที่ควบคุม

สิ่งสำคัญที่พิจารณาในการกำหนดแผนการควบคุม คือ คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่าความต้านทานไฟฟ้า ในสองคุณสมบัติแรกต้องมีค่าเฉลี่ยที่ได้ต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าของก่อนการเปลี่ยนแปลงหรือที่สภาวะปกติ ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ ต้องผ่านตามข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อเป็นการรับประกันว่าคุณสมบัติทั้งสองส่วนนี้มีการควบคุมทางสถิติในการควบคุมให้มีค่าตามที่กำหนดไว้

ในการควบคุมคุณภาพของเครื่องบ่ม พนักงานจะต้องทำตามเอกสารที่อ้างอิงแนวทางในการปฏิบัติงาน รายละเอียดของสภาวะของการบ่ม ข้อเสนอแนะในการปฏิบัติงาน และบันทึกชื่อของผลิตภัณฑ์ลงในเอกสารที่ชื่อว่า **Curing Working Record** ในแต่ละกะของการทำงาน ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 71 แสดงแบบฟอร์มการบันทึกผลหลังการตรวจสอบสถานะของการบ่ม

Curing Working Record							
Date: _____		MC no. _____		<input type="radio"/> D/S		<input type="radio"/> N/S	
Cycle	Product Name	Lot No.	Program		เวลาที่เครื่องบ่ม		Operator
			เอกสาร	ผู้ควบคุม	เริ่มต้น	สิ้นสุด	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

7.2 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้าง

เพื่อเป็นการควบคุมสถานะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของสภาวะดังกล่าวมาแล้ว และได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมแบบ \bar{X} - RChart มาใช้ในการตรวจจับและควบคุมสภาวะการทำงานของกระบอมว่าอยู่ในสภาวะที่กำหนดหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนอง คือ คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนเฉพาะค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างเท่านั้น โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้คือ

- ขนาดสิ่งตัวอย่าง

การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการตรวจสอบ การทดสอบส่วนนี้เป็นการนำสิ่งตัวอย่างมาทดสอบแบบไม่ทำลายสิ่งตัวอย่าง คือ ส่วนแรก จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 1 แผ่น (14 ชิ้นผลิตภัณฑ์) ต่อการสุ่มวัดต่อเวลาที่กำหนด เนื่องจากเป็นจำนวนที่เหมาะสมและเป็นไปตามเอกสารควบคุมการผลิต ที่องค์กรกำหนดขึ้น และเหตุผลหนึ่งคือ ทำให้ประหยัดเวลาในการวัดค่าของข้อมูลที่ต้องการ เนื่องจากกำลังการผลิตของเครื่องวัดและการวัดมีอยู่อย่างจำกัด

- ความถี่ในการชักตัวอย่าง

พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มชิ้นงานจากกระบวนการผลิตตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่างคือ 1 ครั้งต่อรอบการทำงานของเครื่องบ่ม

- วิธีการวัด

พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มชิ้นงานจากกระบวนการผลิตตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นให้นำงานดังกล่าวไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง โดยใช้เครื่อง **3-Dimension**

- กฎการการตัดสินใจ

กฎการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสถานะของกระบวนการที่ออกนอกกระบวนการควบคุมจะอ้างอิงกฎในการตัดสินใจ 3 ข้อดังนี้คือ

ก) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปอย่างกะทันหัน : มีหนึ่งจุดของข้อมูลล่าสุดออกนอกเส้นควบคุมขีดจำกัดบนหรือขีดจำกัดล่าง โดยที่จุดของข้อมูลที่ผ่านมาจำนวน 4-5 จุดส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่รอบเส้นกึ่งกลาง

ข) มีแนวโน้มเคลื่อนขึ้นหรือลง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 7 จุดมีแนวโน้มเคลื่อนตัวขึ้นหรือลงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

ค) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไป : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 9 จุดมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยเปลี่ยน เมื่อเทียบกับข้อมูลในช่วงก่อนหน้า 9 จุดนี้

นอกจากนี้ยังได้กำหนดขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อที่จะป้องกันข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เมื่อข้อมูลของปัจจัยทั้งสองในแผนภูมิควบคุมการเกิดสภาวะนอกการควบคุม (**Out of Control**) ซึ่งอ้างอิงจากจากกฎการตัดสินใจทั้ง 3 ข้อข้างต้น ทางองค์กรมีหน่วยงานแผนกรับประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในการเก็บบันทึกข้อมูล แก้ไขและป้องกันเมื่อข้อมูลเกิดภาวะออกนอกการควบคุมเพื่อที่จะแก้ไขให้สภาวะการบ่ม เข้าสู่การควบคุมทางสถิติโดยเร็ว

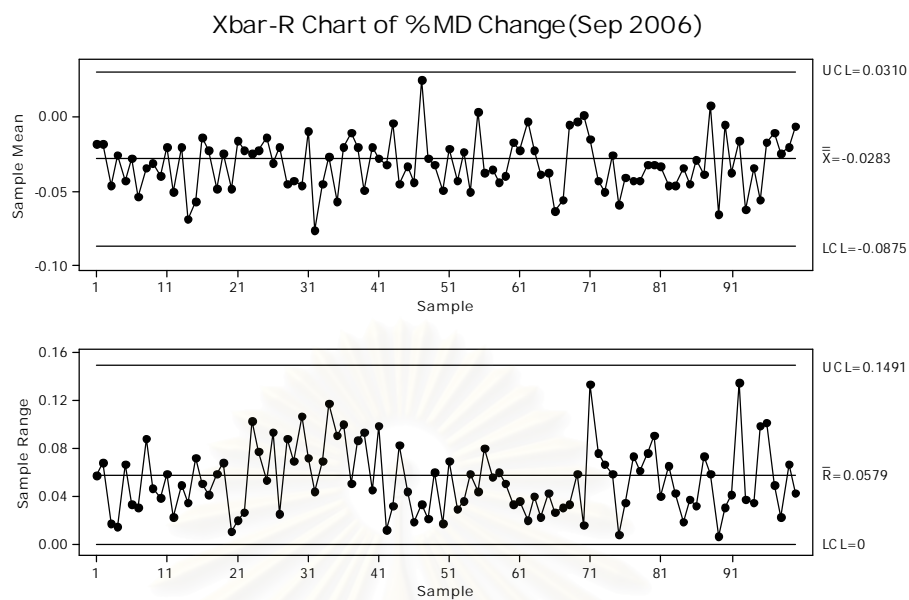
7.21 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

7.21.1 การควบคุมตัวแปรตอบสนอง

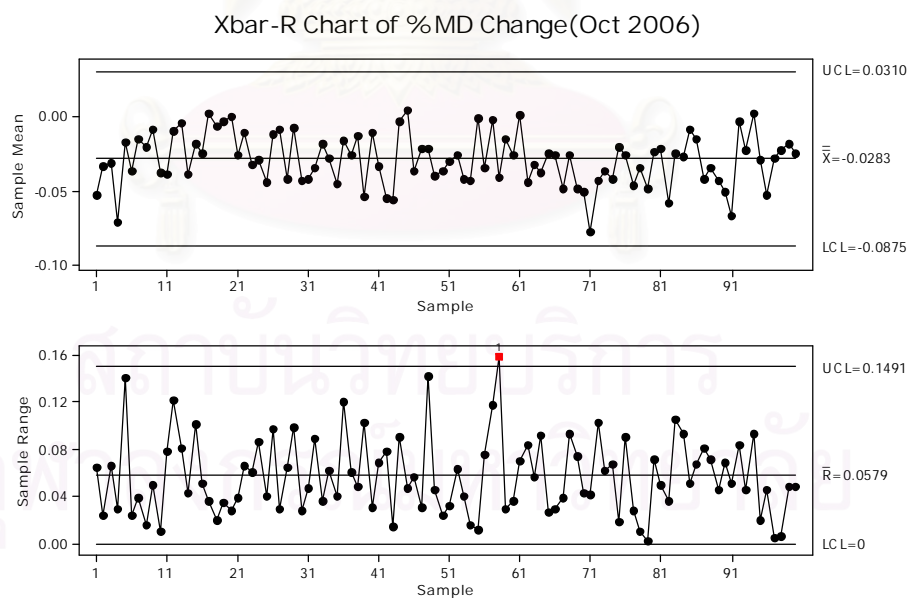
การควบคุมตัวแปรตอบสนอง (ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง) ให้มีค่าอยู่ใกล้ค่ากลางของขอบเขตควบคุมมากที่สุด จึงนำเทคนิคทางสถิติควบคุม **Statistical Process Control** มาประยุกต์ โดยใช้ **X bar - R Chart** โดยทำการเก็บข้อมูล 100 กลุ่มข้อมูล(ค่าเฉลี่ยจากการวัดสิ่งตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง) จากข้อมูลเดือน กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม 2549

จากรูปที่ 7.1 ถึง 7.4 เป็นแผนภูมิควบคุมค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0283% ทั้งในเดือนกันยายนจนถึงธันวาคม 2549 ซึ่งมีข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกับค่าของสภาวะปกติ และจากรูปที่ 7.5 ถึง 7.8 เป็นแผนภูมิควบคุมค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03002% ทั้งในเดือนกันยายนจนถึงธันวาคม 2549เช่นกัน

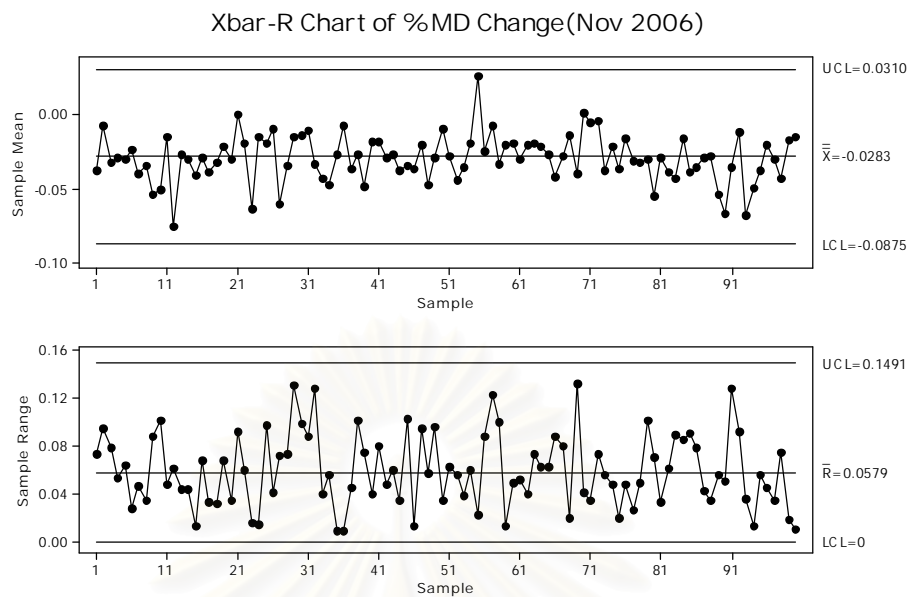
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



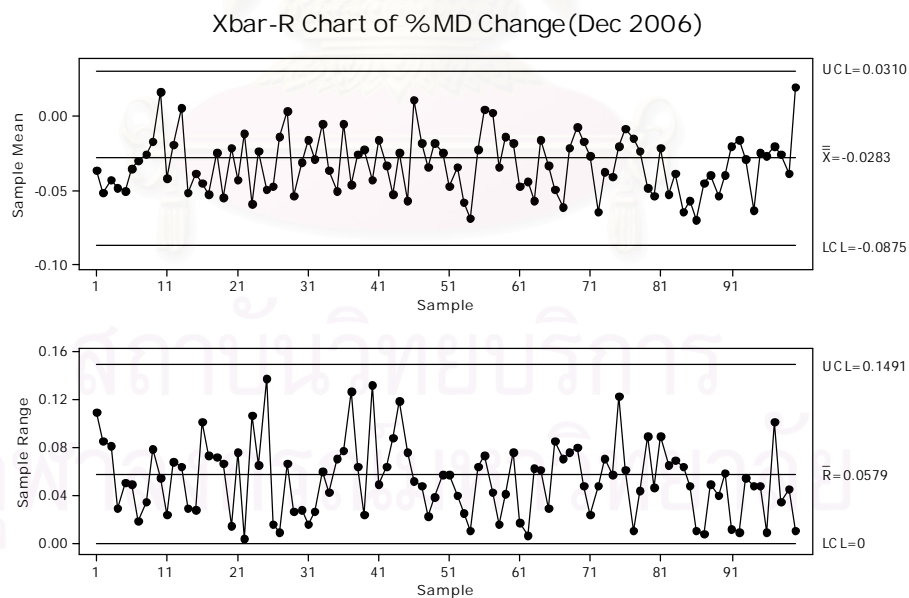
รูปที่ 7.1 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนกันยายน 2549



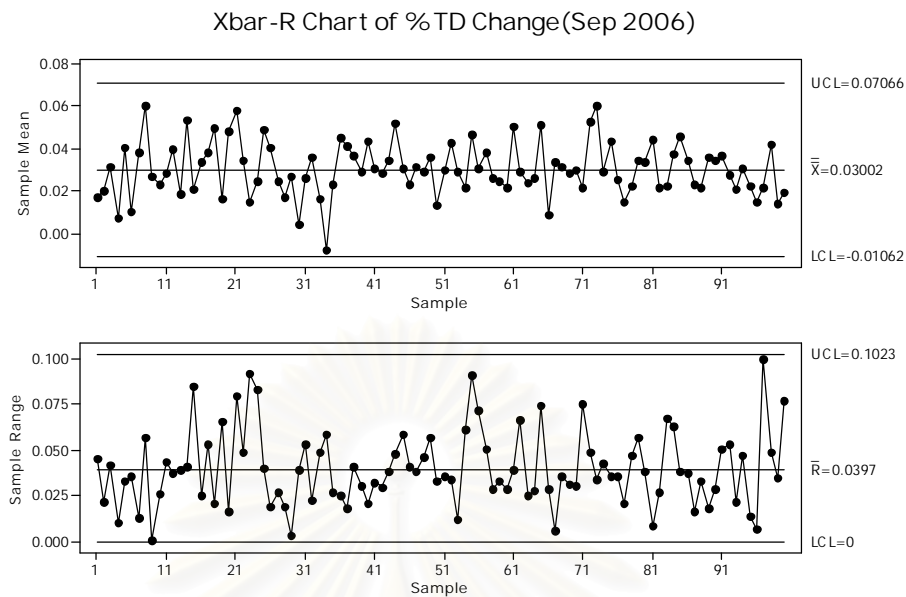
รูปที่ 7.2 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนตุลาคม 2549



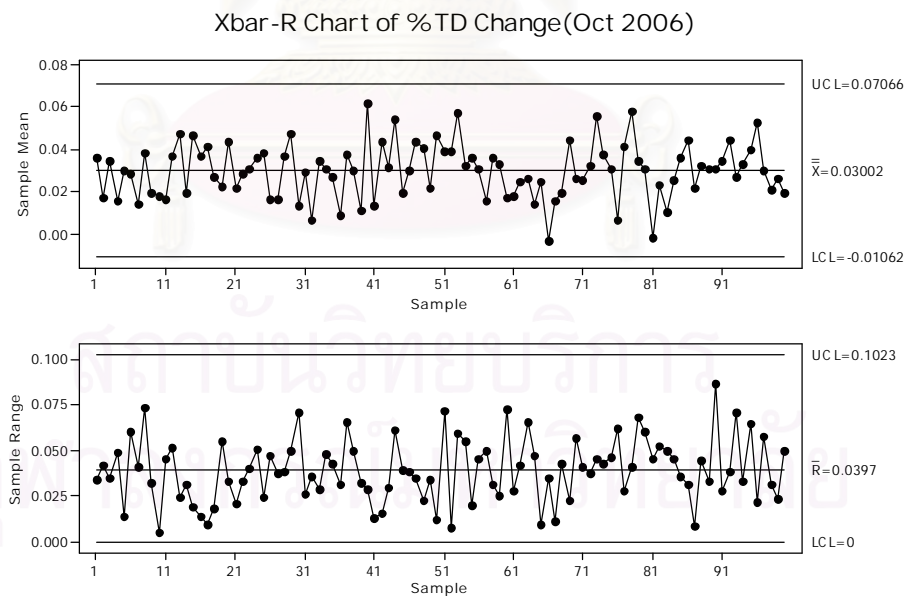
รูปที่ 7.3 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนพฤศจิกายน 2549



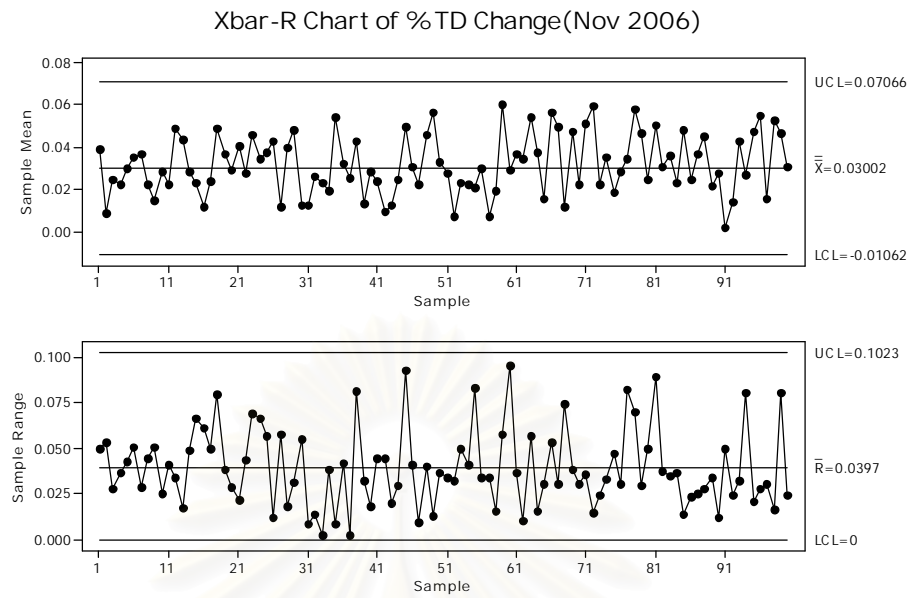
รูปที่ 7.4 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนธันวาคม 2549



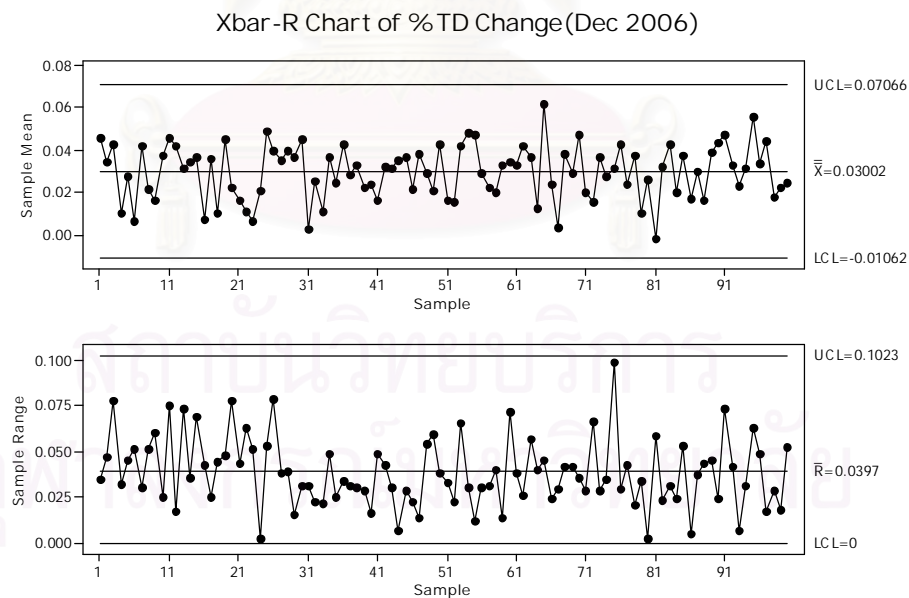
รูปที่ 7.5 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนกันยายน 2549



รูปที่ 7.6 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนตุลาคม 2549



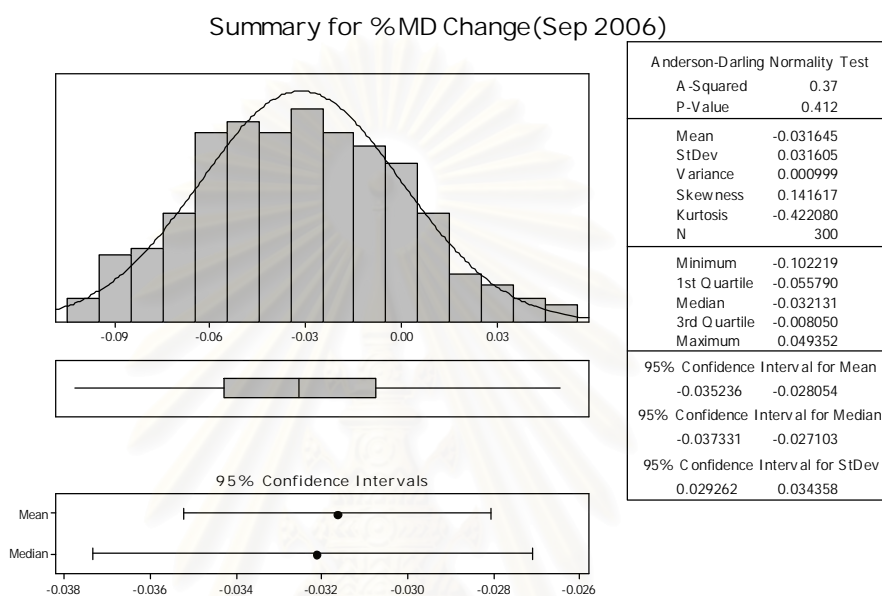
รูปที่ 7.7 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนพฤศจิกายน 2549



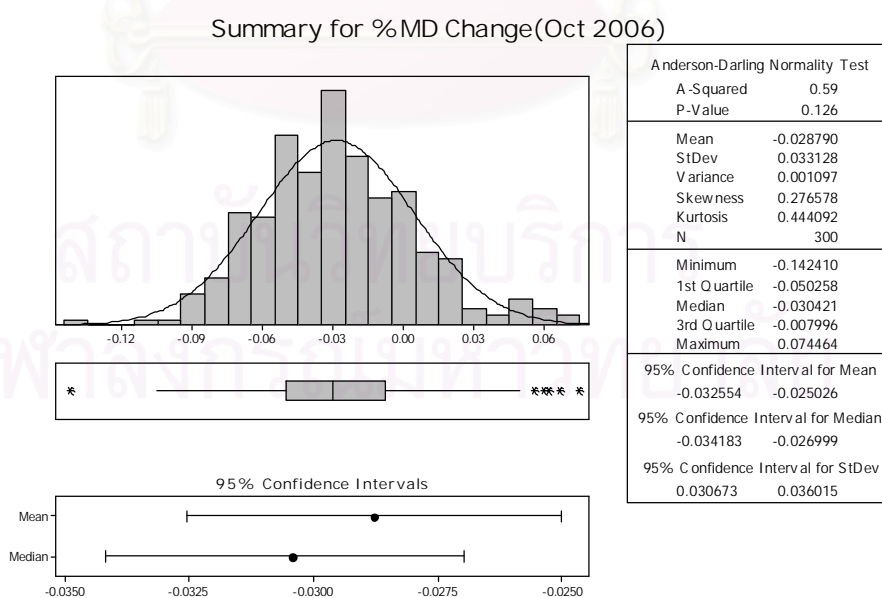
รูปที่ 7.8 กราฟแสดง X bar- R Chart ของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของ
ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเดือนธันวาคม 2549

7.21.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างหลังการปรับปรุง

ซึ่งได้ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงในเดือนกันยายนจนถึงธันวาคม แสดงดังรูปที่ 7.9 และ 7.16

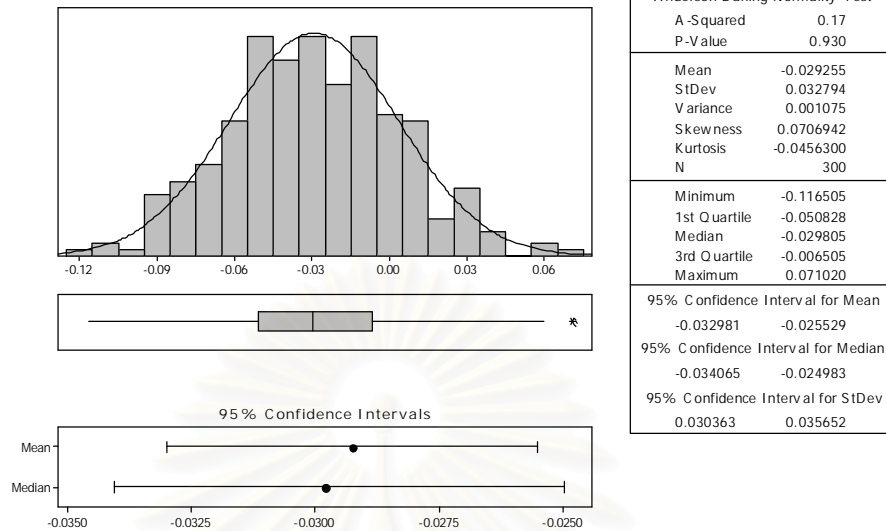


รูปที่ 7.9 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ของเดือนกันยายน 2549



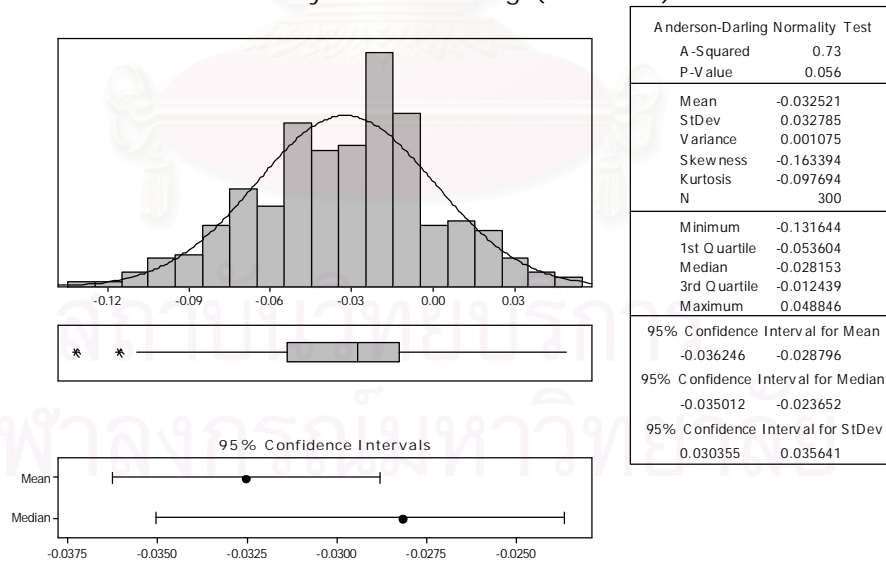
รูปที่ 7.10 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ของเดือนตุลาคม 2549

Summary for %MD Change(Nov 2006)



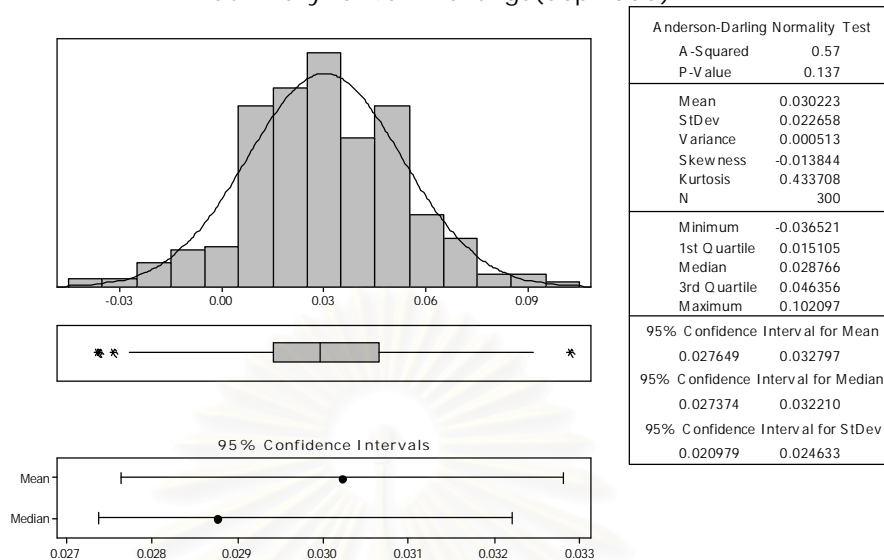
รูปที่ 7.11 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์
ของเดือนพฤศจิกายน 2549

Summary for %MD Change(Dec 2006)



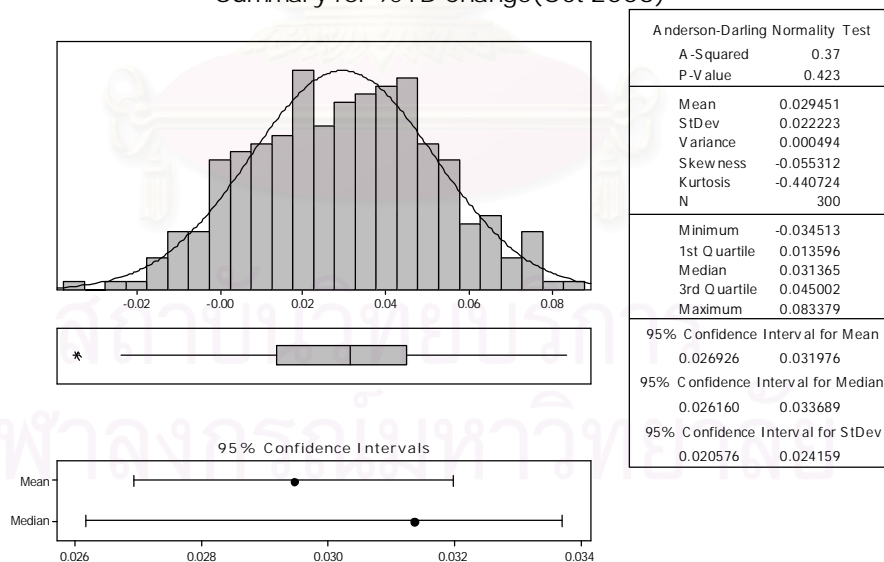
รูปที่ 7.12 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์
ของเดือนธันวาคม 2549

Summary for %TD Change(Sep 2006)



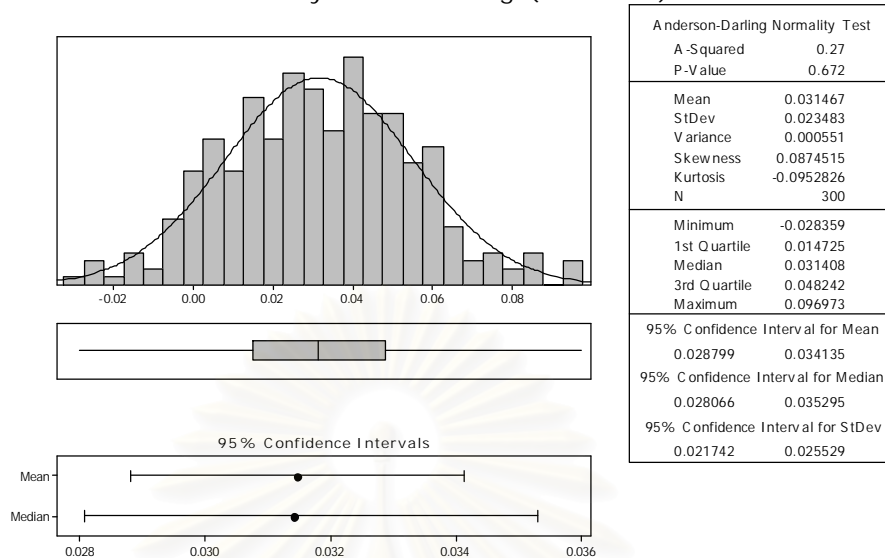
รูปที่ 7.13 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
ของเดือนกันยายน 2549

Summary for %TD Change(Oct 2006)



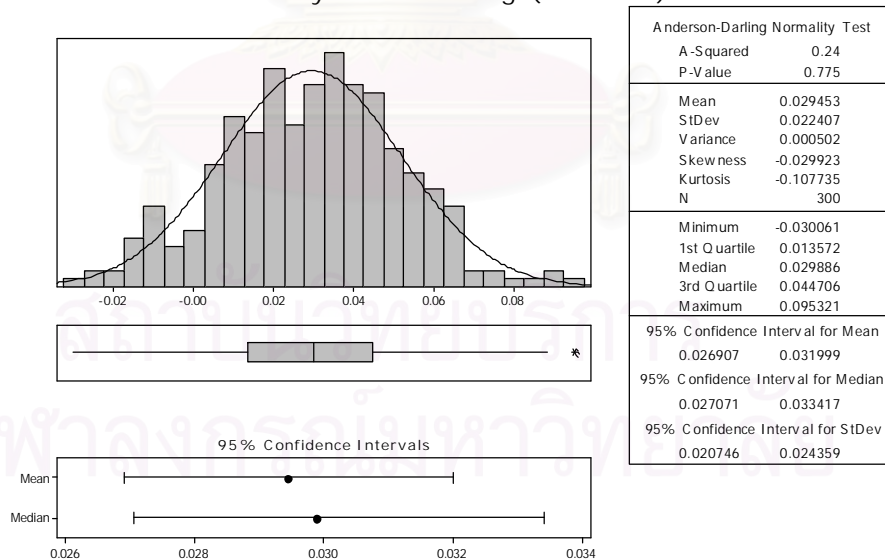
รูปที่ 7.14 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ของเดือนตุลาคม 2549

Summary for %TD Change(Nov 2006)



รูปที่ 7.15 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
ของเดือนพฤศจิกายน 2549

Summary for %TD Change(Dec 2006)



รูปที่ 7.16 การกระจายของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
ของเดือนธันวาคม 2549

จากรูปที่ 7.9 ถึง 7.12 สรุปค่าการเปลี่ยนแปลงยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ในเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549 ดังแสดงในตารางที่ 7.2

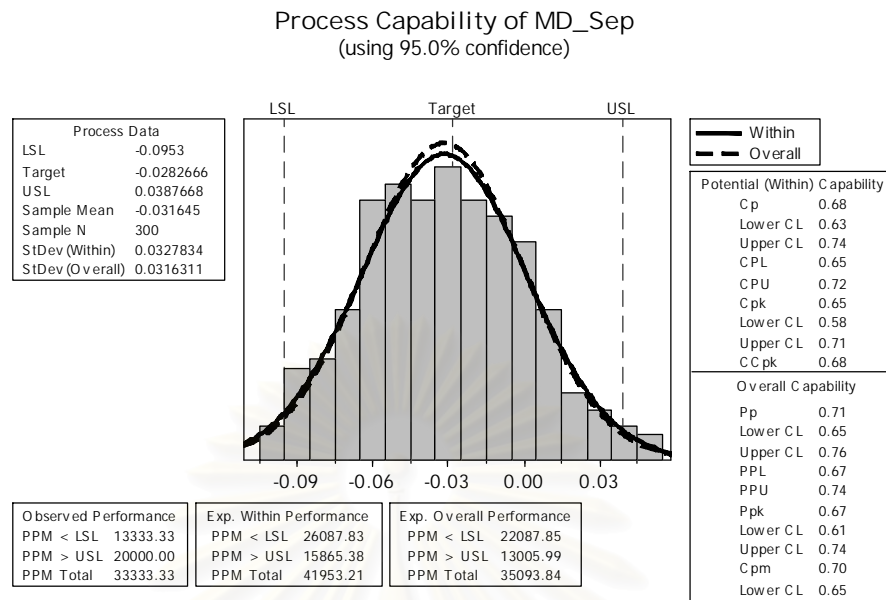
ตารางที่ 7.2 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวในเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

เดือน	ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว (%)		ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง (%)	
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กันยายน	-0.031645	0.031605	0.030223	0.022658
ตุลาคม	-0.028790	0.033128	0.029451	0.022223
พฤศจิกายน	-0.029255	0.032794	0.031467	0.023483
ธันวาคม	-0.032521	0.032785	0.029453	0.022407

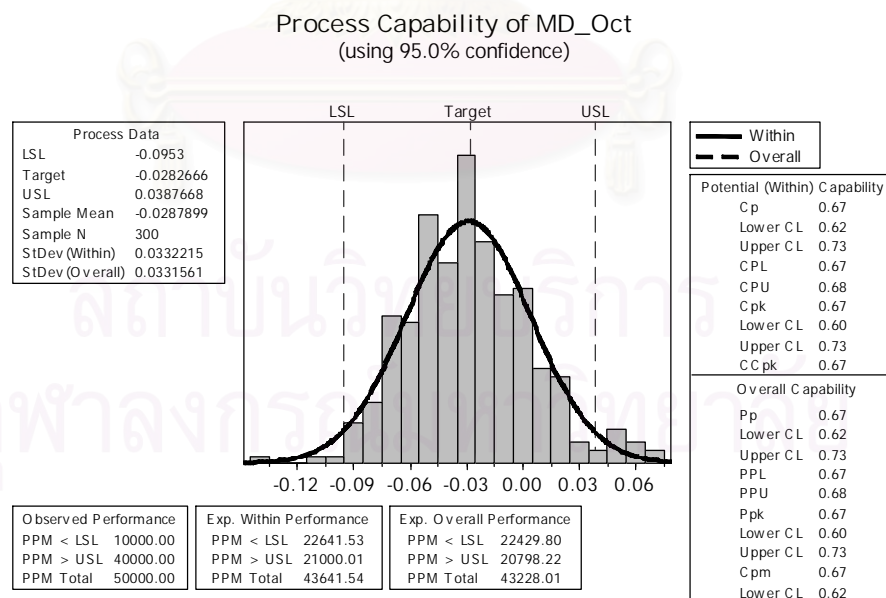
จากตารางที่ 7.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549 มีค่าใกล้เคียงกับค่าของสภาวะปกติ คือ -0.0282666 % และค่าเฉลี่ยของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549 มีค่าใกล้เคียงกับค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสภาวะปกติ คือ 0.0300183% เช่นเดียวกัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยืนยันได้ว่ากระบวนการหลังการปรับปรุงสามารถที่จะทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สภาวะปกติก่อนการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาความสามารถของกระบวนการบ่มหลังจากปรับปรุงของเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549 แสดงดังรูปที่ 7.17 ถึง 7.24

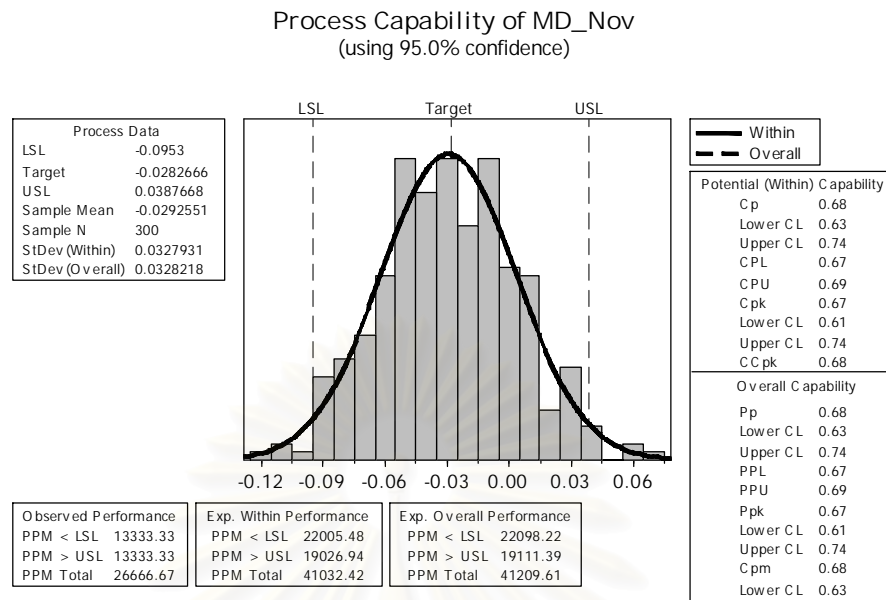
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



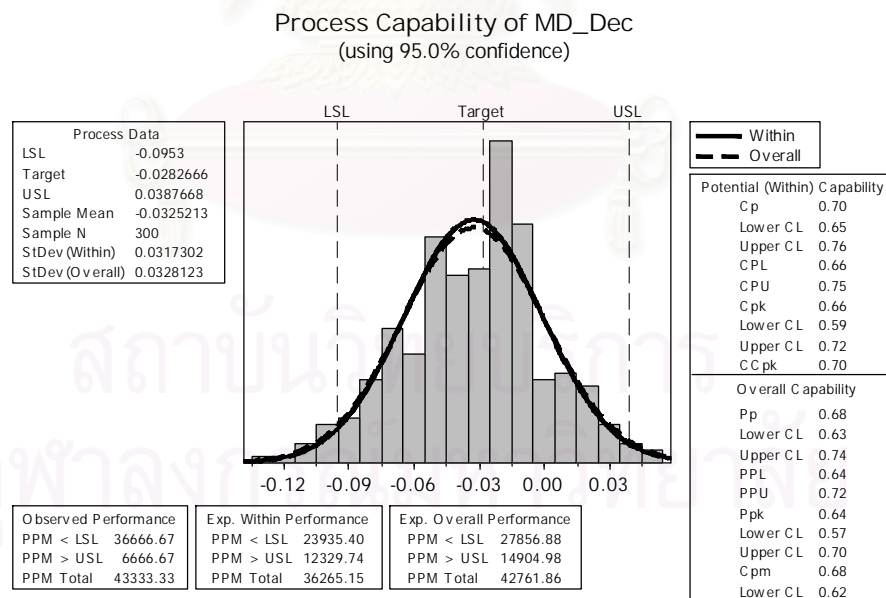
รูปที่ 7.17 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนกันยายน 2549



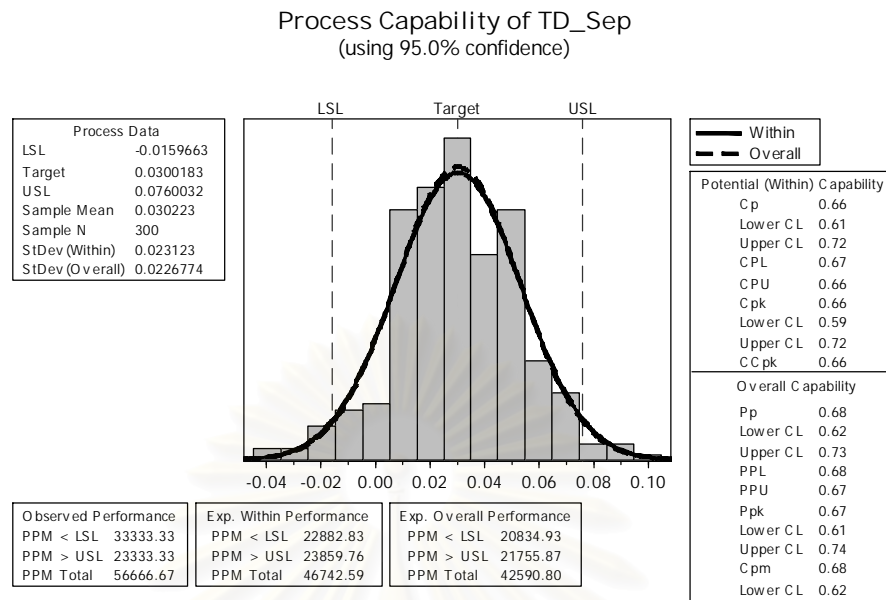
รูปที่ 7.18 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนตุลาคม 2549



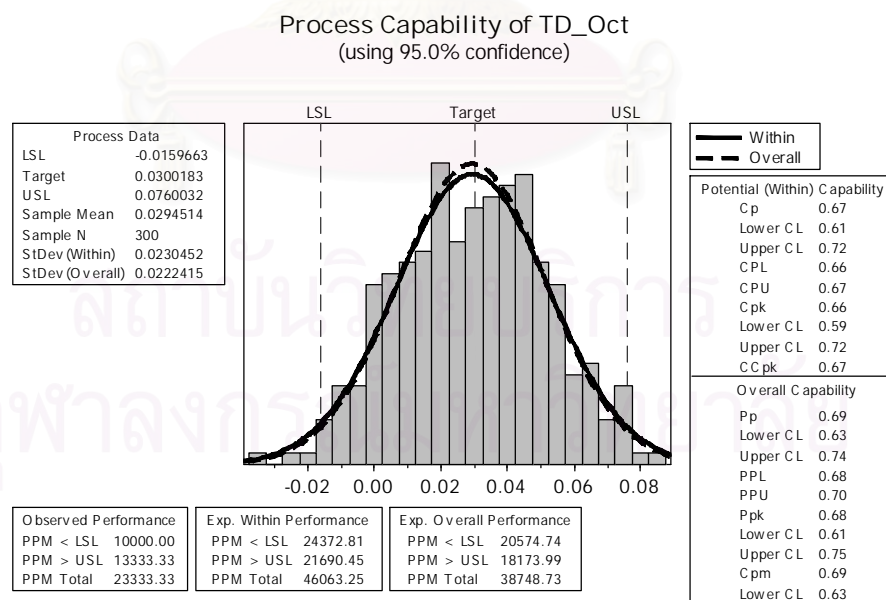
รูปที่ 7.19 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนพฤศจิกายน 2549



รูปที่ 7.20 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนธันวาคม 2549

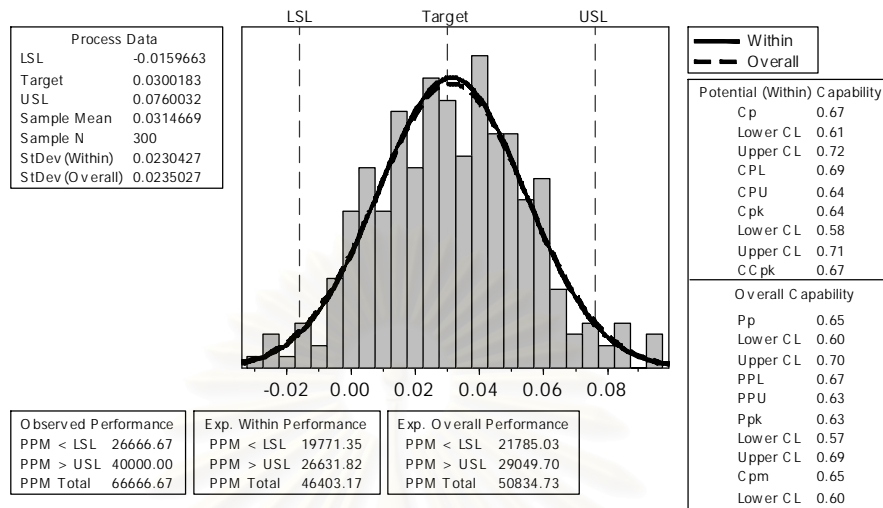


รูปที่ 7.21 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนกันยายน 2549



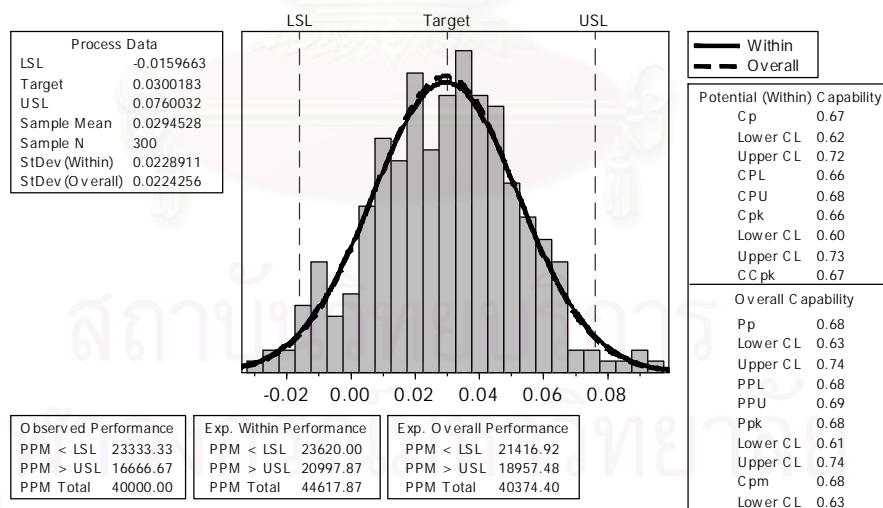
รูปที่ 7.22 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง
ของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนตุลาคม 2549

Process Capability of TD_Nov
(using 95.0% confidence)



รูปที่ 7.23 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนพฤศจิกายน 2549

Process Capability of TD_Dec
(using 95.0% confidence)



รูปที่ 7.24 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการบ่มของค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงในเดือนธันวาคม 2549

หลังการปรับปรุงที่กระบวนการบ่ม สามารถที่จะช่วยให้ปริมาณการผลิตที่กระบวนการบ่มนี้มีค่าเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ของการบ่มนี้ของทั้งผลิตภัณฑ์มีค่ามากขึ้น

7.3 การควบคุมสำหรับคุณสมบัติอื่นๆ ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

สำหรับการควบคุม ค่า **Peel Strength** และค่าความต้านทาน ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้า ทำการเก็บข้อมูล 2 แผ่นวงจรพิมพ์ (28 ชิ้นผลิตภัณฑ์) ต่อกะของการทำงาน และทำการเก็บข้อมูล 120 ตัวอย่าง

- ขนาดสิ่งตัวอย่าง
การทดสอบผลิตภัณฑ์ในส่วนนี้เป็นแบบต้องทำลายสิ่งตัวอย่างจะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 2 แผ่นต่อการสุ่มวัดต่อช่วงเวลาที่กำหนด เป็นจำนวนที่เหมาะสมและประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย

- ความถี่ในการชักตัวอย่าง
ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่างคือ 1 ครั้งต่อกะการทำงาน
- วิธีการวัด
ร้องขอและจัดส่งให้ทางแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นผู้ทำการวัด
- กฎการการตัดสินใจ
กฎการตัดสินใจใช้ตามข้อกำหนดดังตารางที่ 51

7.31 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการควบคุมกระบวนการในบพนี้ ผลของค่าคุณสมบัติทั้ง 5 คือ ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** และค่าความต้านทานไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 7.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.3 แสดงคุณสมบัติอื่นๆของแผ่นวงจรพิมพ์จากช่วงการควบคุมการผลิตในเดือน
กันยายนถึงธันวาคม 2549

คุณสมบัติของ แผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน	ค่าตาม ข้อกำหนด	เดือน			
		กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
1) Peel Strength	มากกว่า 4 นิวตันต่อ เซนติเมตร	5.01-19.41 นิวตันต่อ เซนติเมตร	5.06-15.49 นิวตันต่อ เซนติเมตร	5.06-14.79 นิวตันต่อ เซนติเมตร	5.00-19.97 นิวตันต่อ เซนติเมตร
2) Solder Heat Resistance (ตรวจสอบฟองอากาศ ในเส้นลวดวงจร)	ไม่พบ ฟองอากาศ	ไม่พบ ฟองอากาศ	ไม่พบ ฟองอากาศ	ไม่พบ ฟองอากาศ	ไม่พบ ฟองอากาศ
3) Cross Section (ตรวจสอบการแตกร้าว ของ เส้นลวดวงจร)	ไม่พบ การ แตกร้าว	ไม่พบการ แตกร้าว	ไม่พบการ แตกร้าว	ไม่พบการ แตกร้าว	ไม่พบการ แตกร้าว
4) ความต้านทานไฟฟ้า	น้อยกว่า 5 โอห์ม	1.21 - 3.81 โอห์ม	1.57 - 3.99 โอห์ม	1.15 - 3.89 โอห์ม	1.52 - 3.59 โอห์ม

7.4 สรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

ในการควบคุมกระบวนการผลิตในบทนี้เลือกใช้เฉพาะการเปลี่ยนจำนวนครั้งของการบ่ม
จาก 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้ง จากการทดสอบยืนยันผลการทดลอง พบว่าสามารถกำหนดค่าสภาวะของ
การบ่มที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตและรวมถึงการควบคุม
คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง และค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว
โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้มีใกล้เคียงกับค่าของ
สภาวะปกติ และค่าคุณสมบัติอื่นๆ ได้แก่ ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า
Cross Section และค่าความต้านทานไฟฟ้า มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สภาวะปกติเช่นกัน

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า ก่อนการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์
เฉลี่ยต่อเดือน คือ 2240 ล็อต หลังการเปลี่ยนแปลงมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 3830 ล็อตต่อเดือน
ซึ่งคิดเป็น 70.98 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังมีผลทำให้งานรอผลิตของกระบวนการบ่มลดลงด้วย

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเพิ่มปริมาณการผลิตของกระบวนการบ่ม การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งของการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง และได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการศึกษานี้แล้วและได้นำผลการศึกษาดังกล่าวนี้มาปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณการผลิตที่กระบวนการบ่ม ทำให้ปริมาณการผลิตที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการบ่มรวมของทั้งผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา มีค่าน้อยลง โดยที่คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้า มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สภาวะปกติก่อนการเปลี่ยนแปลง และผ่านตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ด้วย

8.1 บทสรุปขั้นตอนการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนนิยามปัญหานี้จะเป็นขั้นตอนแรกที่จะวิเคราะห์เพื่อถ่วงดุลถึงแหล่งที่มาของปัญหา ทีมงานจะช่วยกันระดมความคิดจากขั้นตอนการนิยามปัญหาผลลัพธ์ที่ได้ คือ ทีมงานระดมความคิดและดำเนินงานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ ได้ทำการศึกษาตลอดกระบวนการผลิตแล้วคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนค่อนข้างมากมาศึกษาและตัวแปรตอบสนองคือ ผลของคุณสมบัติที่วัดทั้ง 3 ส่วนจากนั้นทำการกำหนดเครื่องมือและตัววัดผลต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน โดยเครื่องมือที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ปัญหาและหลักการทางสถิติที่นำมาใช้มีดังนี้ คือ

- แผนภาพกระบวนการผลิต
- การวิเคราะห์ปัญหาด้วย **Cause and Effect Diagram**

พบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าปริมาณการผลิตที่กระบวนการบ่ม มี 2 ปัจจัย ได้แก่ โครงสร้างของวัตถุดิบในการบ่ม และจำนวนครั้งของการ

8.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

821 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

เมื่อได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรแล้ว เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นว่าข้อมูลจากการทดลองที่นำมาทำการวิเคราะห์มีความถูกต้อง จึงจำเป็นต้องศึกษาความแม่นยำของระบบการวัด ในงานวิจัยฉบับนี้มีการวัดผลของการทดลองเป็น 3 ส่วนดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 คือ

- การวิเคราะห์คุณสมบัติทั่วไปจากทางแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของบริษัท
- การวิเคราะห์ขนาดความกว้างและความยาวโดยเครื่องวัด **3-Dimension**
- การวิเคราะห์จากของเสียที่เกิดขึ้นจากบันทึกของฝ่ายผลิตของกระบวนการตรวจสอบ

ขั้นสุดท้าย

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจะวิเคราะห์เฉพาะของเครื่องวัด **3-Dimension** เท่านั้น เนื่องจากการวิเคราะห์ส่วนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์แบบทำลายสิ่งตัวอย่างและมีมาตรฐานการวัดของทางเครื่องบริษัทเป็นตัวกำหนด และส่วนที่ 3 นั้นเป็นการนำข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นที่ได้จากกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายมาเปรียบเทียบผลของการทดลองเท่านั้น สำหรับวิธีการวัดค่าขนาดความกว้างและความยาวมีวิธีการเหมือนกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะเลือกทำการวิเคราะห์เพียงค่าเดียว ในที่นี้ได้ทำการเลือกค่าความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ค่ากว้างและความยาว คือ เครื่อง **3-Dimension** เป็นเครื่องที่ใช้วัดระยะ ความกว้างและความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน และยังใช้ในการวัดชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่ใช้ในแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนด้วย การวิเคราะห์ผลจะใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง

822 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาค่าความผันแปรของกระบวนการอื่น

หลังจากได้ทำการศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดดังกล่าวแล้ว เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนในกระบวนการอื่นๆ หลังกระบวนการบ่ม จนถึงกระบวนการบรรจุภัณฑ์ก่อนนำส่งมอบลูกค้าว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่มีนัยสำคัญ และมีการเปลี่ยนแปลงเท่าใด จึงทำการทดลองเพื่อประเมินความแปรปรวนตลอดสายการผลิตตั้งแต่กระบวนการบ่มจนถึงกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ซึ่งผลการศึกษาพบว่าหลังจากที่ผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรไปแล้ว กระบวนการต่างๆ ที่เหลือต่อจากนั้นมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวเปลี่ยนไป ดังนั้นสำหรับในส่วนของการปรับปรุงกระบวนการบ่มจะใช้ค่าของสภาวะปกติก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตเป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการเปรียบเทียบผลการทดลอง

8.3 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้นำปัจจัยสำคัญทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้จากบทที่ 3 คือ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งของการบ่มจาก 2 ครั้งให้เหลือเพียง 1 ครั้ง โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ตามปัจจัยข้างต้น โดยส่วนที่ 1 ได้นำการออกแบบการทดลอง **3k Full Factorial Design** ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง มาช่วยในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการบ่ม และในส่วนที่สองได้นำเอาวิธี **1-Sample T-Test** มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์

ซึ่งสามารถสรุปผลของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นสภาวะการทำงานที่มีนัยสำคัญส่งผลต่อค่าคุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้า จากนั้นนำสภาวะที่ทดลองได้ไปหาระดับที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ใกล้เคียงกับสภาวะปกติก่อนการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุด และต้องทำการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งจะดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป

แต่อย่างไรก็ตาม การนำผลที่ได้ไปใช้งานจริงสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างและความยาวต้องมีการร้องขอแก้ไขฟิล์มต้นฉบับก่อน เพื่อให้ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะปกติ หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบเพื่อยืนยันถึงผลของการร้องขอในการแก้ไขฟิล์มด้วย

สำหรับการศึกษาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 ต้องทำการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับเป็นดังนี้ มีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว เท่ากับ **+0.011%** และค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง เท่ากับ **+0.003%**

สำหรับการศึกษาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 ต้องทำการแก้ไขฟิล์มต้นฉบับเป็นดังนี้ มีค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว เท่ากับ **-0.016%** และค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง เท่ากับ **-0.009%**

8.4 บทสรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่าสามารถกำหนดค่าสภาวะของการบ่มที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตและรวมถึงการควบคุมคุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง และค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวโดยใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้มีใกล้เคียงกับค่าของสภาวะปกติ และค่าคุณสมบัติอื่นๆ ได้แก่ ค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่าความต้านทานไฟฟ้า มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สภาวะปกติเช่นกัน

85 ข้อจำกัดในการวิจัย

85.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

การเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพและคุณสมบัติใกล้เคียงกับการผลิตงานจริง ดังนั้นจึงต้องควบคุมจำนวนงานที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นจากการทดลองและคุณภาพของวัตถุดิบที่จะนำมาทดลอง จึงเลือกทดลองจากทองแดงใหญ่ 1 ม้วน เพื่อให้ได้ผลในการทดลองใกล้เคียงกับสภาพจริงในการทดสอบมากที่สุด

85.2 การวัดข้อมูลของงานทดลอง

ในการสุ่มตัวอย่างงานเพื่อที่จะนำไปวัดในส่วนควบคุมการผลิตไม่สามารถที่จะวัดได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การสุ่มงานเพื่อนำไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้าง ต้องทำการลงบันทึกการยืมแผ่นวงจรพิมพ์ออกจากส่วนการผลิต แล้วจึงนำมาคืนเมื่อทำการวัดเสร็จแล้ว ช่วงเวลาที่ทำการวัด แผ่นวงจรพิมพ์ล็อตนั้น จะไม่สามารถที่จะถูกส่งไปยังส่วนการผลิตต่อไปได้ ซึ่งอาจทำให้เกิดการค้างของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในกระบวนการบ่มได้ และการสุ่มตัวอย่างของแผ่นวงจรพิมพ์ที่จะต้องส่งงานไปให้ทางแผนกวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นผู้ทดสอบนั้น ไม่สามารถที่จะทำได้อย่างครบถ้วนอย่างต่อเนื่องได้เนื่องจากการทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบแบบทำลายสิ่งตัวอย่าง ถ้าจะทำให้ครบถ้วนอย่างต่อเนื่องต้องทำการดึงชิ้นส่วนนั้นเป็นส่วนทดสอบของวิศวกร ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้มาก

85.3 เทคโนโลยีของเครื่องจักร

เนื่องจากข้อจำกัดของเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการบ่มไม่สามารถจะแก้ไขเปลี่ยนแปลงการออกแบบให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ ถึงแม้ว่าจะสามารถแก้ไขในส่วนของเครื่องจักรได้ แต่ต้นทุนที่ใช้ก็มีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับผลที่จะได้และใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงและติดตามผลค่อนข้างนาน ดังนั้นการที่จะเพิ่มปริมาณการผลิตจึงไปแก้ไขที่โครงสร้างของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการบ่มและเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งของการบ่มแทน ซึ่งใช้ต้นทุนที่ต่ำกว่าและเวลาสั้นกว่า และเหตุผลที่อีกประการหนึ่งของข้อจำกัดในเรื่องนี้คือ สภาพะการทำงานของการบ่ม จะอ้างอิงการทำงานและความสามารถของเครื่องบ่มก่อน ดังนั้นในการทดลองของงานวิจัยนี้จึงเลือกที่ศึกษาสภาวะการทำงานที่อยู่ภายในขีดการทำงานของเครื่องจักรก่อน

854 ช่วงเวลาที่ทำการทดลองในกระบวนการบ่ม

เนื่องจากกระบวนการบ่มเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดของการผลิตแผ่น-
วงจรมัลติชิปชนิดอ่อน ในการนำชิ้นงานเพื่อที่จะทดสอบในส่วนการผลิต บางครั้งจำเป็นที่ต้องแทรก
การทดสอบกับการผลิตจริง ซึ่งก็ต้องขึ้นกับเวลาที่ทางแผนกวางแผนการผลิตเป็นผู้จัดสรรเวลาให้
ด้วย ทำให้บางครั้งการทดสอบอาจจะไม่ได้ทำในช่วงเวลาเดียวกันทั้งหมด ซึ่งอาจจะมีผลความผัน
แปรจากแต่ละช่วงเวลาเกิดขึ้นได้

86 ข้อเสนอแนะ

861 ผลของการปรับปรุงเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตในงานวิจัยนี้ สามารถที่จะนำมา
ประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ได้ แต่ควรที่จะต้องมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้น
ก่อนนำไปใช้งานจริง

862 ผลของการปรับปรุงที่ได้จากงานวิจัยนี้ มี 2 แนวทาง แนวทางแรกคือการ
เปลี่ยนแปลงที่โครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2 และแนวทางที่สองคือการปรับเปลี่ยน
จำนวนครั้งของการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง ในการเลือกใช้จริงจำเป็นต้องพิจารณาความ
เหมาะสม จากสถานะเดิม ปริมาณการผลิตที่ทำได้ในแต่ละรอบเวลา คือ 25 ล็อตของผลิตภัณฑ์
เมื่อนำแนวทางแรกมาใช้ จะทำให้การผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 5 ล็อตต่อ 1 รอบการทำงานของเครื่องบ่ม
แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 ล็อตนี้ต้องเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ไม่สามารถที่จะปน
ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นเข้าไปในเครื่องบ่มของรอบการทำงานนั้นได้ เนื่องจากสถานะการทำงาน คือ
เวลาที่ใช้ในการบ่มของผลิตภัณฑ์ไม่เหมือนกันกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น แต่สำหรับแนวทางที่สอง
สามารถที่จะนำผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นเข้าในรอบการทำงานเดียวกันได้ เพราะว่าสิ่งที่เปลี่ยนไปของ
แนวทางที่สอง คือจำนวนครั้งของการบ่ม แต่สถานะการทำงานยังคงเดิม ในขั้นแรกของการศึกษา
เรื่องนี้ทางแผนกวิศวกรรมฝ่ายผลิตได้ทำการทดสอบยืนยันผลว่าสามารถที่จะนำไปประยุกต์กับงาน
จริงได้ แต่ในการวางแผนเพื่อที่จะนำแนวทางทั้งสองนี้ไปใช้ในการผลิตงานจริงของกระบวนการ
บ่มเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด ทางแผนกวางแผนการผลิตต้องพิจารณาถึงหลายๆสิ่ง เช่น ปริมาณ
การสั่งซื้อที่ได้จากลูกค้า ความรีบด่วนในการจัดส่งงานให้กับทางลูกค้า เพื่อจะได้เลือกแนวทางที่
เหมาะสมกับการผลิตจริง

863 แนวทางในการศึกษาเพื่อปรับปรุงอาจจะยังมีอีกหลายแนวทาง ได้แก่ เปลี่ยนชนิดของซี่ห้อยของแผ่นโพลีเมอร์ที่ใช้ในการบ่ม หรือ การปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเครื่องบ่ม เป็นต้น ทางผู้ทำการวิจัย จะทำการศึกษาต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. พิมพ์ครั้งที่ 2

กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร:

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร:

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร, 2547.

ทรงพล พิเศษวิวัฒน์. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของ

หัวอ่านเขียนข้อมูลใน Hard Disk Drive. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์

วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ทิพรชัย ปราการพิลาศ. การลดจุดบกพร่องของการประกอบแผ่นลายวงจรพิมพ์โดยการวิเคราะห์

ความสามารถในการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์อุตสาหกรรม

วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

นवलพรรณ ใจงาม. การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตในกระบวนการประกอบ

หัวอ่าน โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์

วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สมศักดิ์ วรมงคลชัย. สารปรับแต่งพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:

บริษัท บุกเน็ท จำกัด, 2547.

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. พอลิเมอร์

http://resource.wu.ac.th/2405-301/unit7_1.htm นครศรีธรรมราช.

เสรี ยูนิพันธ์, จรูญ มหิทธิพาฟองกุล, ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. เทคนิคการควบคุมคุณภาพ.

กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- สุทัส จัยสาย. การศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยการทดแทนด้วยแม่พิมพ์ต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- สุภาภรณ์ ทองนิล. การศึกษาปัจจัยเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- สุรพล สุรบรเจติทอง. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมตึบ-ตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร. วัสดุศาสตร์มูลฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ภาษาอังกฤษ

- Bosshart, W. C. Printed Circuit Boards Design and Technology. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1998.
- Breyfogle III, F. W. Implementing SIX SIGMA smarter Solutions Using Statistical Methods. New York: John Wiley&Sons, 1999.
- Clyde F.Coombs, Jr. Printed circuits handbook. 3rd ed. USA: McGraw-Hill, 1998.
- Kiemele, M. J., Schmidt, S. R. and Berdine, R. J. Basic Statistics Tools for Continuous Improvement. 4th ed. USA: Air Academy Press & Associates, LLC, 2000.
- Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiments. 5th ed. New York: John Wiley&Sons, 2001.
- Shima, S. G. Six Sigma for Electronics Design and Manufacturing (np): McGraw-Hill, 2002.
- Stearns, Thomas H. Flexible Printed Circuitry. 1st ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการศึกษาระบบการวัด

- ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนด้วยเครื่อง 3-dimension เครื่องที่ 1
- ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนด้วยเครื่อง 3-dimension เครื่องที่ 2
- ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนของเครื่อง 3-dimension เครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2
- ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการอื่น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนด้วยเครื่อง 3-dimension เครื่องที่ 1

Sheet no.	% MD Change			
	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
1	-0.034	-0.035	-0.036	-0.036
1	-0.036	-0.036	-0.037	-0.035
2	-0.019	-0.021	-0.019	-0.020
2	-0.02	-0.019	-0.018	-0.021
3	-0.025	-0.024	-0.022	-0.023
3	-0.024	-0.022	-0.024	-0.022
4	-0.042	-0.043	-0.042	-0.044
4	-0.041	-0.043	-0.044	-0.043
5	-0.026	-0.024	-0.023	-0.024
5	-0.025	-0.023	-0.022	-0.025
6	-0.033	-0.033	-0.034	-0.032
6	-0.031	-0.031	-0.033	-0.030
7	-0.023	-0.024	-0.022	-0.024
7	-0.025	-0.021	-0.023	-0.025
8	-0.041	-0.040	-0.042	-0.039
8	-0.039	-0.042	-0.043	-0.040
9	-0.025	-0.023	-0.025	-0.025
9	-0.026	-0.024	-0.023	-0.026
10	-0.038	-0.037	-0.036	-0.037
10	-0.037	-0.036	-0.039	-0.038

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อนด้วยเครื่อง 3-dimension เครื่องที่ 2

Sheet no.	% MD Change			
	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4
1	-0.035	-0.037	-0.036	-0.037
1	-0.033	-0.036	-0.035	-0.036
2	-0.018	-0.021	-0.019	-0.02
2	-0.019	-0.022	-0.019	-0.021
3	-0.024	-0.022	-0.022	-0.024
3	-0.023	-0.021	-0.025	-0.022
4	-0.041	-0.042	-0.044	-0.045
4	-0.039	-0.043	-0.045	-0.046
5	-0.025	-0.024	-0.022	-0.023
5	-0.024	-0.022	-0.021	-0.021
6	-0.032	-0.034	-0.033	-0.032
6	-0.033	-0.033	-0.031	-0.033
7	-0.022	-0.023	-0.021	-0.023
7	-0.024	-0.022	-0.024	-0.023
8	-0.041	-0.042	-0.04	-0.039
8	-0.04	-0.043	-0.041	-0.038
9	-0.025	-0.024	-0.024	-0.026
9	-0.026	-0.021	-0.025	-0.025
10	-0.038	-0.039	-0.038	-0.037
10	-0.037	-0.037	-0.039	-0.036

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว(MD)ของแผ่นวงจรพิมพ์ ชนิดอ่อนของเครื่อง 3-dimension เครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2

Sheet no.	Machine no.1	Machine no.2
1	-0.0292	-0.0279
2	-0.0415	0.0438
3	-0.0257	-0.0265
4	-0.0459	-0.0472
5	-0.07	-0.0712
6	-0.0207	-0.0214
7	-0.0209	-0.0207
8	-0.0231	-0.024
9	-0.0662	-0.0652
10	-0.022	-0.022
11	-0.0276	-0.0287
12	-0.0547	-0.0544
13	-0.0364	-0.0361
14	-0.0704	-0.0691
15	-0.0500	-0.0509
16	-0.0612	-0.0607
17	-0.0252	-0.0263
18	-0.0416	-0.0429
19	-0.0359	-0.0364
20	-0.0034	-0.0016

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการอื่น

No.	หลังกระบวนการบ่ม	หลังกระบวนการ เคลือบผิวด้วยไฟฟ้า	หลังกระบวนการ ตรวจสอบขั้นสุดท้าย
1	0.0838	0.0672	0.7266
2	0.0827	0.0526	0.7903
3	0.0879	0.0989	0.8019
4	0.1682	0.0474	0.7661
5	0.0625	0.0478	0.7544
6	0.0680	0.0715	0.7821
7	0.1258	0.0245	0.8375
8	0.0997	0.0597	0.8019
9	0.0914	0.0506	0.7505
10	0.0589	0.0822	0.7741
11	0.0910	0.0711	0.7227
12	0.0934	0.0790	0.7701
13	0.0941	0.0277	0.8177
14	0.0506	0.0917	0.7901
15	0.0969	0.0277	0.8296
16	0.1175	0.0277	0.8374
17	0.0815	0.0696	0.8018
18	0.0637	0.0415	0.8536
19	0.0328	0.0704	0.8418
20	0.0510	0.0731	0.8574
21	0.0823	0.0285	0.8258
22	0.0530	0.0965	0.7861
23	0.0716	0.0435	0.8138
24	0.0629	0.0257	0.8337
25	0.0617	0.0332	0.8297
26	0.0324	0.0965	0.8298
27	0.0589	0.0644	0.8137
28	0.0123	0.0581	0.8495
29	0.0676	0.0909	0.7897
30	0.0993	0.0470	0.8295
31	0.0479	0.0732	0.8179
32	0.0518	0.0593	0.8217
33	0.0277	0.0949	0.8337
34	0.0712	0.0989	0.8415
35	0.1337	0.0474	0.8096
36	0.0372	0.0882	0.7900
37	0.1464	0.0474	0.7819
38	0.0277	0.0949	0.8534
39	0.0941	0.0395	0.8374
40	0.1124	0.0866	0.7581

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการปรับปรุงกระบวนการ

- ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลของค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้าง
- ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลของค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่า **Resistance**(ทางไฟฟ้า)
- ตารางที่ ข.3 ผลส่วนตกค้างการทดลองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน
- ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ของการทดลองการบ่มภายในครั้งเดียวของค่า **Peel Strength** ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่า **Resistance**(ทางไฟฟ้า)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลของค่าการเปลี่ยนแปลง
ความยาวและความกว้าง

Run Order	Blocks	Sheet	Curing Time	% MD change	% TD change
1	3	1	0	-0.0372	0.0255
2	3	-1	0	-0.0391	0.0280
3	3	0	-1	-0.0400	0.0269
4	3	1	1	-0.0418	0.0264
5	3	-1	-1	-0.0402	0.0273
6	3	0	0	-0.0410	0.0280
7	3	0	1	-0.0369	0.0246
8	3	1	-1	-0.0384	0.0259
9	3	-1	1	-0.0417	0.0270
10	2	1	0	-0.0395	0.0270
11	2	0	-1	-0.0394	0.0268
12	2	-1	0	-0.0418	0.0271
13	2	-1	-1	-0.0402	0.0262
14	2	0	1	-0.0363	0.0249
15	2	-1	1	-0.0419	0.0271
16	2	1	-1	-0.0379	0.0252
17	2	0	0	-0.0401	0.0267
18	2	1	1	-0.0403	0.0269
19	1	-1	-1	-0.0416	0.0280
20	1	-1	1	-0.0397	0.0270
21	1	-1	0	-0.0390	0.0273
22	1	1	0	-0.0390	0.0262
23	1	0	0	-0.0389	0.0263
24	1	1	1	-0.0377	0.0252
25	1	0	1	-0.0370	0.0243
26	1	1	-1	-0.0376	0.0256
27	1	0	-1	-0.0399	0.0268

ตารางที่ ข.2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลของค่า **Peel Strength**
ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่า **Resistance**(ทางไฟฟ้า)

Run Order	Blocks	Sheet	Curing Time	Peel Strength	Solder heat resistance	Cross Section	Resistance
1	3	1	0	5.10	0.178	0	2.36
2	3	-1	0	5.10	59.110	0	2.37
3	3	0	-1	5.30	2.870	0	2.59
4	3	1	1	5.49	0.002	0	2.14
5	3	-1	-1	5.49	65.900	0	2.37
6	3	0	0	5.49	0.000	0	2.69
7	3	0	1	5.49	0.000	0	2.75
8	3	1	-1	5.30	81.100	0	2.55
9	3	-1	1	5.69	4.868	0	2.37
10	2	1	0	5.49	0.069	0	2.53
11	2	0	-1	5.68	3.180	0	2.61
12	2	-1	0	5.64	59.941	0	2.12
13	2	-1	-1	5.62	69.800	0	2.76
14	2	0	1	5.68	0.000	0	2.33
15	2	-1	1	5.72	0.937	0	2.51
16	2	1	-1	5.21	81.300	0	2.56
17	2	0	0	5.68	0.000	0	2.28
18	2	1	1	5.13	0.000	0	2.11
19	1	-1	-1	5.68	84.900	0	2.64
20	1	-1	1	5.72	8.516	0	2.49
21	1	-1	0	5.72	49.600	0	2.79
22	1	1	0	5.72	0.868	0	2.87
23	1	0	0	5.64	0.000	0	2.15
24	1	1	1	5.70	0.000	0	2.48
25	1	0	1	5.72	0.000	0	2.47
26	1	1	-1	5.22	73.600	0	2.56
27	1	0	-1	5.24	8.083	0	2.37

ตารางที่ ข.3 ผลส่วนตกค้างการทดลองของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวและความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิดอ่อน

Run Order	Blocks	Sheet	Curing Time	FITS1	RES1	FITS2	RESI2
1	3	1	0	-0.038567	0.001367	0.026233	-0.000733
2	3	-1	0	-0.039967	0.000867	0.027467	0.000533
3	3	0	-1	-0.039767	-0.000233	0.026833	0.000067
4	3	1	1	-0.039933	-0.001867	0.026167	0.000233
5	3	-1	-1	-0.040667	0.000467	0.027167	0.000133
6	3	0	0	-0.040000	-0.001000	0.027000	0.001000
7	3	0	1	-0.036733	-0.000167	0.024600	0.000000
8	3	1	-1	-0.037967	-0.000433	0.025567	0.000333
9	3	-1	1	-0.041100	-0.000600	0.027033	-0.000033
10	2	1	0	-0.038567	-0.000933	0.026233	0.000767
11	2	0	-1	-0.039767	0.000367	0.026833	-0.000033
12	2	-1	0	-0.039967	-0.001833	0.027467	-0.000367
13	2	-1	-1	-0.040667	0.000467	0.027167	-0.000967
14	2	0	1	-0.036733	0.000433	0.024600	0.000300
15	2	-1	1	-0.041100	-0.000800	0.027033	0.000067
16	2	1	-1	-0.037967	0.000067	0.025567	-0.000367
17	2	0	0	-0.040000	-0.000100	0.027000	-0.000300
18	2	1	1	-0.039933	-0.000367	0.026167	0.000733
19	1	-1	-1	-0.040667	-0.000933	0.027167	0.000833
20	1	-1	1	-0.041100	0.001400	0.027033	-0.000033
21	1	-1	0	-0.039967	0.000967	0.027467	-0.000167
22	1	1	0	-0.038567	-0.000433	0.026233	-0.000033
23	1	0	0	-0.040000	0.001100	0.027000	-0.000700
24	1	1	1	-0.039933	0.002233	0.026167	-0.000967
25	1	0	1	-0.036733	-0.000267	0.024600	-0.000300
26	1	1	-1	-0.037967	0.000367	0.025567	0.000033
27	1	0	-1	-0.039767	-0.000133	0.026833	-0.000033

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.4 ผลการวิเคราะห์ของการทดลองการบ่มภายในครั้งเดียวของค่า **Peel Strength**
ค่า **Solder Heat Resistance** ค่า **Cross Section** และค่า **Resistance**(ทางไฟฟ้า)

No.	% MD change	% TD change	Peel Strength	Solder Heat resistance	Cross section	Resistance
1	-0.0124	0.0387	5.61	0	0	2.96
2	-0.0128	0.0382	5.12	0	0	2.31
3	-0.0128	0.0396	5.86	0	0	2.49
4	-0.0121	0.0391	5.27	0	0	2.43
5	-0.0127	0.0395	5.71	0	0	2.54
6	-0.0125	0.0389	5.79	0	0	2.98
7	-0.0126	0.0401	5.59	0	0	2.35
8	-0.0121	0.0405	5.92	0	0	2.91
9	-0.0126	0.0382	5.39	0	0	2.23
10	-0.0128	0.0385	5.91	0	0	2.09
11	-0.0124	0.0376	5.31	0	0	2.51
12	-0.0127	0.0390	5.45	0	0	2.88
13	-0.0128	0.0400	5.31	0	0	2.76
14	-0.0125	0.0390	5.41	0	0	2.60
15	-0.0123	0.0398	5.07	0	0	2.51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบยืนยัน

- ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2)
- ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)
- ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2)
- ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)
- ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของ **Peel Strength** ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2)
- ตารางที่ ค.6 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของ **Peel Strength** ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)
- ตารางที่ ค.7 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของความต้านทานทางไฟฟ้า ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)
- ตารางที่ ค.8 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของความต้านทานทางไฟฟ้า ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2)

%MD Change							
-0.0287	-0.0286	-0.0280	-0.0294	-0.0273	-0.0291	-0.0287	-0.0284
-0.0286	-0.0282	-0.0275	-0.0287	-0.0275	-0.0282	-0.0279	-0.0282
-0.0284	-0.0279	-0.0273	-0.0286	-0.0276	-0.0272	-0.0283	-0.0291
-0.0274	-0.0275	-0.0284	-0.0268	-0.0287	-0.0286	-0.0284	-0.0279
-0.0284	-0.0280	-0.0281	-0.0289	-0.0278	-0.0289	-0.0278	-0.0280
-0.0283	-0.0280	-0.0284	-0.0286	-0.0282	-0.0271	-0.0289	-0.0286
-0.0274	-0.0287	-0.0277	-0.0289	-0.0280	-0.0286	-0.0280	-0.0286
-0.0280	-0.0279	-0.0282	-0.0284	-0.0281	-0.0280	-0.0276	-0.0272
-0.0281	-0.0272	-0.0284	-0.0281	-0.0283	-0.0286	-0.0279	-0.0289
-0.0274	-0.0286	-0.0273	-0.0275	-0.0283	-0.0278	-0.0292	-0.0285
-0.0282	-0.0278	-0.0295	-0.0276	-0.0285	-0.0278	-0.0275	-0.0283
-0.0297	-0.0285	-0.0274	-0.0288	-0.0282	-0.0285	-0.0287	-0.0288
-0.0284	-0.0276	-0.0278	-0.0281	-0.0284	-0.0283	-0.0285	-0.0296
-0.0289	-0.0294	-0.0275	-0.0277	-0.0293	-0.0273	-0.0280	-0.0285
-0.0280	-0.0282	-0.0279	-0.0280	-0.0272	-0.0281	-0.0282	-0.0271
-0.0279	-0.0277	-0.0290	-0.0284	-0.0285	-0.0280	-0.0278	-0.0273
-0.0279	-0.0265	-0.0280	-0.0292	-0.0284	-0.0279	-0.0279	-0.0281
-0.0273	-0.0275	-0.0287	-0.0286	-0.0279	-0.0281	-0.0272	-0.0280
-0.0286	-0.0281	-0.0276	-0.0285	-0.0276	-0.0284	-0.0286	-0.0276
-0.0276	-0.0284	-0.0294	-0.0284	-0.0291	-0.0287	-0.0271	-0.0295
-0.0275	-0.0285	-0.0298	-0.0281	-0.0287	-0.0283	-0.0277	-0.0294
-0.0288	-0.0281	-0.0281	-0.0274	-0.0282	-0.0286	-0.0279	-0.0282
-0.0286	-0.0277	-0.0283	-0.0280	-0.0280	-0.0298	-0.0295	-0.0284
-0.0281	-0.0280	-0.0271	-0.0290	-0.0267	-0.0283	-0.0278	-0.0287
-0.0284	-0.0296	-0.0281	-0.0294	-0.0280	-0.0273	-0.0287	-0.0284
-0.0283	-0.0283	-0.0282	-0.0283	-0.0289	-0.0289	-0.0282	-0.0284
-0.0283	-0.0282	-0.0279	-0.0281	-0.0269	-0.0290	-0.0285	-0.0284
-0.0288	-0.0281	-0.0278	-0.0282	-0.0290	-0.0276	-0.0274	-0.0284
-0.0281	-0.0292	-0.0286	-0.0286	-0.0276	-0.0291	-0.0285	-0.0282
-0.0279	-0.0279	-0.0273	-0.0281	-0.0280	-0.0287	-0.0276	-0.0277
-0.0284	-0.0279	-0.0302	-0.0283	-0.0282	-0.0272	-0.0285	-0.0276
-0.0277	-0.0296	-0.0291	-0.0285	-0.0284	-0.0270	-0.0293	-0.0285
-0.0274	-0.0278	-0.0276	-0.0276	-0.0288	-0.0286	-0.0275	-0.0288
-0.0292	-0.0291	-0.0286	-0.0272	-0.0282	-0.0286	-0.0297	-0.0283
-0.0279	-0.0283	-0.0272	-0.0285	-0.0289	-0.0278	-0.0293	-0.0277
-0.0272	-0.0291	-0.0296	-0.0285	-0.0275	-0.0270	-0.0282	-0.0288
-0.0293	-0.0273	-0.0284	-0.0280	-0.0286	-0.0276	-0.0269	-0.0287
-0.0277	-0.0280	-0.0273	-0.0275	-0.0284	-0.0273	-0.0278	-0.0280
-0.0283	-0.0283	-0.0271	-0.0280	-0.0281	-0.0292	-0.0285	-0.0278
-0.0284	-0.0275	-0.0276	-0.0290	-0.0286	-0.0280	-0.0294	-0.0289
-0.0284	-0.0288	-0.0289	-0.0279	-0.0279	-0.0280	-0.0280	-0.0277
-0.0282	-0.0278	-0.0305	-0.0279	-0.0271	-0.0286	-0.0273	-0.0291
-0.0287	-0.0277	-0.0267	-0.0280	-0.0293	-0.0287	-0.0286	-0.0273
-0.0282	-0.0276	-0.0281	-0.0274	-0.0292	-0.0285	-0.0281	-0.0284
-0.0284	-0.0289	-0.0279	-0.0276	-0.0287	-0.0284	-0.0274	-0.0278

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)

%MD Change							
-0.0287	-0.0273	-0.0275	-0.0299	-0.0273	-0.0285	-0.0314	-0.0288
-0.0283	-0.0290	-0.0284	-0.0263	-0.0273	-0.0283	-0.0270	-0.0277
-0.0309	-0.0283	-0.0297	-0.0280	-0.0277	-0.0282	-0.0276	-0.0291
-0.0287	-0.0281	-0.0289	-0.0301	-0.0282	-0.0273	-0.0286	-0.0281
-0.0276	-0.0287	-0.0292	-0.0288	-0.0277	-0.0289	-0.0294	-0.0279
-0.0282	-0.0264	-0.0288	-0.0269	-0.0283	-0.0272	-0.0288	-0.0272
-0.0285	-0.0287	-0.0291	-0.0284	-0.0286	-0.0285	-0.0283	-0.0266
-0.0289	-0.0272	-0.0284	-0.0293	-0.0285	-0.0282	-0.0282	-0.0288
-0.0274	-0.0284	-0.0290	-0.0294	-0.0299	-0.0290	-0.0275	-0.0292
-0.0259	-0.0303	-0.0288	-0.0296	-0.0298	-0.0295	-0.0276	-0.0286
-0.0273	-0.0280	-0.0291	-0.0267	-0.0275	-0.0267	-0.0283	-0.0294
-0.0298	-0.0299	-0.0306	-0.0297	-0.0286	-0.0283	-0.0277	-0.0278
-0.0299	-0.0283	-0.0265	-0.0286	-0.0283	-0.0273	-0.0288	-0.0294
-0.0280	-0.0282	-0.0263	-0.0279	-0.0272	-0.0276	-0.0289	-0.0279
-0.0301	-0.0314	-0.0282	-0.0287	-0.0275	-0.0305	-0.0292	-0.0279
-0.0280	-0.0288	-0.0276	-0.0290	-0.0267	-0.0274	-0.0272	-0.0277
-0.0292	-0.0291	-0.0269	-0.0282	-0.0271	-0.0286	-0.0284	-0.0275
-0.0287	-0.0290	-0.0289	-0.0257	-0.0298	-0.0276	-0.0282	-0.0289
-0.0276	-0.0287	-0.0294	-0.0277	-0.0299	-0.0286	-0.0272	-0.0288
-0.0269	-0.0278	-0.0260	-0.0279	-0.0292	-0.0288	-0.0283	-0.0281
-0.0288	-0.0269	-0.0279	-0.0282	-0.0268	-0.0275	-0.0293	-0.0281
-0.0265	-0.0272	-0.0262	-0.0282	-0.0278	-0.0277	-0.0302	-0.0286
-0.0253	-0.0272	-0.0273	-0.0272	-0.0268	-0.0284	-0.0279	-0.0280
-0.0290	-0.0277	-0.0289	-0.0294	-0.0279	-0.0291	-0.0286	-0.0299
-0.0290	-0.0291	-0.0283	-0.0276	-0.0272	-0.0279	-0.0298	-0.0268
-0.0278	-0.0287	-0.0289	-0.0299	-0.0269	-0.0303	-0.0286	-0.0282
-0.0287	-0.0273	-0.0303	-0.0275	-0.0262	-0.0291	-0.0285	-0.0285
-0.0282	-0.0287	-0.0279	-0.0286	-0.0289	-0.0282	-0.0275	-0.0283
-0.0282	-0.0272	-0.0278	-0.0291	-0.0281	-0.0280	-0.0284	-0.0297
-0.0296	-0.0275	-0.0279	-0.0303	-0.0295	-0.0287	-0.0298	-0.0278
-0.0280	-0.0268	-0.0280	-0.0282	-0.0295	-0.0283	-0.0295	-0.0283
-0.0284	-0.0257	-0.0293	-0.0252	-0.0270	-0.0297	-0.0283	-0.0284
-0.0287	-0.0272	-0.0301	-0.0292	-0.0281	-0.0289	-0.0271	-0.0269
-0.0285	-0.0308	-0.0299	-0.0283	-0.0272	-0.0290	-0.0289	-0.0271
-0.0269	-0.0280	-0.0266	-0.0308	-0.0282	-0.0290	-0.0274	-0.0284
-0.0278	-0.0285	-0.0301	-0.0304	-0.0280	-0.0275	-0.0259	-0.0288
-0.0287	-0.0295	-0.0273	-0.0310	-0.0291	-0.0293	-0.0288	-0.0277
-0.0278	-0.0276	-0.0293	-0.0275	-0.0288	-0.0281	-0.0272	-0.0286
-0.0274	-0.0291	-0.0259	-0.0302	-0.0292	-0.0281	-0.0284	-0.0301
-0.0273	-0.0288	-0.0275	-0.0298	-0.0281	-0.0287	-0.0286	-0.0274
-0.0275	-0.0280	-0.0261	-0.0285	-0.0298	-0.0291	-0.0304	-0.0286
-0.0279	-0.0292	-0.0285	-0.0296	-0.0296	-0.0265	-0.0278	-0.0278
-0.0285	-0.0270	-0.0290	-0.0273	-0.0284	-0.0268	-0.0278	-0.0285
-0.0270	-0.0271	-0.0280	-0.0279	-0.0278	-0.0289	-0.0281	-0.0284
-0.0278	-0.0295	-0.0296	-0.0298	-0.0285	-0.0280	-0.0291	-0.0294

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2)

%TD Change							
0.0293	0.0299	0.0307	0.0293	0.0293	0.0306	0.0299	0.0306
0.0291	0.0300	0.0304	0.0310	0.0297	0.0297	0.0300	0.0293
0.0292	0.0305	0.0293	0.0311	0.0299	0.0299	0.0296	0.0307
0.0296	0.0304	0.0296	0.0305	0.0304	0.0309	0.0302	0.0296
0.0304	0.0307	0.0303	0.0298	0.0300	0.0301	0.0293	0.0296
0.0303	0.0298	0.0300	0.0300	0.0290	0.0296	0.0306	0.0312
0.0311	0.0298	0.0307	0.0313	0.0294	0.0316	0.0310	0.0299
0.0287	0.0298	0.0308	0.0299	0.0293	0.0291	0.0307	0.0307
0.0294	0.0308	0.0299	0.0296	0.0305	0.0307	0.0315	0.0294
0.0299	0.0308	0.0299	0.0304	0.0293	0.0303	0.0298	0.0301
0.0303	0.0307	0.0300	0.0303	0.0295	0.0302	0.0303	0.0301
0.0293	0.0304	0.0299	0.0305	0.0302	0.0311	0.0302	0.0300
0.0299	0.0296	0.0312	0.0300	0.0284	0.0305	0.0303	0.0307
0.0305	0.0293	0.0310	0.0299	0.0311	0.0308	0.0304	0.0307
0.0298	0.0314	0.0304	0.0285	0.0296	0.0291	0.0306	0.0300
0.0299	0.0301	0.0296	0.0302	0.0307	0.0299	0.0304	0.0301
0.0298	0.0289	0.0297	0.0308	0.0296	0.0309	0.0304	0.0294
0.0305	0.0307	0.0302	0.0299	0.0305	0.0302	0.0301	0.0293
0.0308	0.0288	0.0296	0.0306	0.0291	0.0307	0.0305	0.0298
0.0302	0.0290	0.0310	0.0306	0.0303	0.0298	0.0292	0.0294
0.0314	0.0301	0.0302	0.0310	0.0295	0.0297	0.0303	0.0309
0.0297	0.0300	0.0313	0.0304	0.0306	0.0310	0.0306	0.0300
0.0291	0.0300	0.0295	0.0301	0.0296	0.0314	0.0305	0.0301
0.0290	0.0302	0.0305	0.0299	0.0296	0.0298	0.0295	0.0307
0.0293	0.0298	0.0303	0.0305	0.0294	0.0289	0.0304	0.0310
0.0299	0.0292	0.0295	0.0298	0.0297	0.0294	0.0309	0.0307
0.0302	0.0292	0.0285	0.0302	0.0304	0.0301	0.0297	0.0301
0.0299	0.0300	0.0296	0.0290	0.0299	0.0283	0.0290	0.0312
0.0300	0.0314	0.0296	0.0293	0.0308	0.0301	0.0303	0.0307
0.0303	0.0310	0.0300	0.0319	0.0305	0.0293	0.0307	0.0304
0.0310	0.0310	0.0283	0.0301	0.0309	0.0292	0.0319	0.0287
0.0302	0.0290	0.0301	0.0308	0.0305	0.0295	0.0303	0.0291
0.0304	0.0298	0.0306	0.0285	0.0301	0.0298	0.0299	0.0309
0.0288	0.0297	0.0297	0.0297	0.0293	0.0296	0.0305	0.0298
0.0296	0.0311	0.0294	0.0294	0.0299	0.0299	0.0294	0.0292
0.0301	0.0327	0.0305	0.0300	0.0300	0.0307	0.0301	0.0304
0.0300	0.0298	0.0304	0.0301	0.0293	0.0302	0.0309	0.0302
0.0302	0.0297	0.0299	0.0307	0.0293	0.0318	0.0289	0.0307
0.0300	0.0301	0.0308	0.0298	0.0302	0.0302	0.0312	0.0297
0.0295	0.0304	0.0293	0.0294	0.0298	0.0302	0.0308	0.0295
0.0310	0.0292	0.0301	0.0300	0.0307	0.0314	0.0301	0.0307
0.0286	0.0307	0.0295	0.0307	0.0296	0.0310	0.0296	0.0299
0.0297	0.0292	0.0298	0.0289	0.0290	0.0289	0.0286	0.0303
0.0297	0.0308	0.0297	0.0302	0.0303	0.0302	0.0301	0.0297
0.0306	0.0302	0.0308	0.0297	0.0308	0.0301	0.0295	0.0295

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้ง)

%TD Change							
0.0307	0.0292	0.0315	0.0305	0.0289	0.0288	0.0316	0.0304
0.0317	0.0295	0.0310	0.0321	0.0297	0.0305	0.0286	0.0296
0.0307	0.0292	0.0282	0.0274	0.0318	0.0287	0.0291	0.0297
0.0299	0.0294	0.0305	0.0299	0.0301	0.0295	0.0276	0.0318
0.0307	0.0294	0.0283	0.0304	0.0314	0.0292	0.0316	0.0325
0.0297	0.0281	0.0302	0.0325	0.0297	0.0327	0.0306	0.0305
0.0291	0.0275	0.0290	0.0294	0.0271	0.0301	0.0271	0.0304
0.0294	0.0317	0.0289	0.0308	0.0310	0.0297	0.0317	0.0280
0.0309	0.0285	0.0287	0.0306	0.0313	0.0313	0.0292	0.0299
0.0323	0.0292	0.0281	0.0300	0.0308	0.0298	0.0287	0.0311
0.0285	0.0304	0.0300	0.0294	0.0304	0.0292	0.0291	0.0295
0.0297	0.0292	0.0313	0.0315	0.0297	0.0312	0.0293	0.0304
0.0312	0.0307	0.0289	0.0290	0.0292	0.0297	0.0294	0.0305
0.0299	0.0286	0.0281	0.0298	0.0305	0.0314	0.0298	0.0286
0.0314	0.0298	0.0312	0.0309	0.0271	0.0281	0.0308	0.0294
0.0274	0.0283	0.0318	0.0291	0.0300	0.0297	0.0300	0.0295
0.0327	0.0304	0.0309	0.0308	0.0290	0.0270	0.0294	0.0310
0.0303	0.0302	0.0315	0.0284	0.0292	0.0289	0.0294	0.0303
0.0292	0.0275	0.0282	0.0281	0.0304	0.0321	0.0293	0.0306
0.0300	0.0311	0.0305	0.0311	0.0279	0.0298	0.0298	0.0296
0.0298	0.0284	0.0309	0.0290	0.0292	0.0316	0.0310	0.0286
0.0315	0.0300	0.0298	0.0335	0.0304	0.0291	0.0290	0.0311
0.0283	0.0299	0.0310	0.0309	0.0312	0.0299	0.0313	0.0305
0.0283	0.0291	0.0295	0.0295	0.0299	0.0302	0.0308	0.0314
0.0293	0.0305	0.0291	0.0290	0.0303	0.0315	0.0320	0.0308
0.0307	0.0305	0.0295	0.0285	0.0295	0.0323	0.0297	0.0311
0.0310	0.0309	0.0305	0.0304	0.0333	0.0291	0.0298	0.0297
0.0307	0.0293	0.0298	0.0292	0.0317	0.0315	0.0305	0.0306
0.0337	0.0277	0.0285	0.0308	0.0294	0.0294	0.0294	0.0286
0.0323	0.0269	0.0299	0.0317	0.0297	0.0304	0.0300	0.0284
0.0328	0.0295	0.0312	0.0288	0.0289	0.0298	0.0304	0.0299
0.0319	0.0289	0.0298	0.0307	0.0308	0.0299	0.0302	0.0289
0.0312	0.0297	0.0298	0.0298	0.0315	0.0314	0.0267	0.0302
0.0306	0.0307	0.0316	0.0299	0.0282	0.0292	0.0291	0.0323
0.0306	0.0320	0.0303	0.0298	0.0297	0.0292	0.0287	0.0310
0.0298	0.0300	0.0293	0.0303	0.0293	0.0316	0.0301	0.0325
0.0295	0.0293	0.0294	0.0311	0.0299	0.0279	0.0302	0.0307
0.0323	0.0325	0.0288	0.0315	0.0312	0.0286	0.0305	0.0314
0.0259	0.0307	0.0296	0.0294	0.0310	0.0303	0.0286	0.0295
0.0297	0.0297	0.0314	0.0326	0.0303	0.0307	0.0297	0.0308
0.0290	0.0312	0.0303	0.0322	0.0306	0.0303	0.0303	0.0300
0.0305	0.0309	0.0306	0.0285	0.0299	0.0304	0.0305	0.0319
0.0307	0.0297	0.0315	0.0277	0.0319	0.0302	0.0302	0.0289
0.0299	0.0277	0.0313	0.0274	0.0302	0.0297	0.0301	0.0308
0.0315	0.0321	0.0327	0.0288	0.0279	0.0286	0.0292	0.0298

ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของ **Peel Strength** ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของกระบวนการบ่มครั้งที่ 2)

Peel Strength							
5.98	5.12	5.18	5.18	5.00	5.05	5.98	5.01
5.97	5.05	5.17	5.13	5.14	5.14	5.12	5.23
5.01	5.87	5.09	5.10	5.04	5.18	5.16	5.16
5.47	5.97	5.00	5.07	5.04	5.14	5.00	5.99
5.09	5.96	5.19	5.26	5.10	5.18	5.08	5.80
5.56	5.19	5.52	5.92	5.64	5.04	5.21	5.22
5.92	5.87	5.58	5.28	5.86	5.14	5.12	5.18
5.91	5.91	5.97	5.12	5.02	5.06	5.27	5.26
5.07	5.16	5.09	5.14	5.96	5.08	5.05	5.09
5.89	5.95	5.08	5.12	5.07	5.03	5.09	5.96
5.98	5.09	5.18	5.44	5.04	5.08	5.24	5.12
5.95	5.13	5.87	5.11	5.18	5.01	5.10	5.05
6.08	5.09	5.20	5.28	5.09	5.09	5.14	5.13
5.95	5.08	5.15	5.13	5.14	5.02	5.10	5.14
5.47	5.24	5.29	5.04	5.10	5.02	5.08	5.17
5.03	5.93	5.17	5.61	5.09	5.08	5.03	5.13
5.99	5.98	5.13	5.31	5.86	5.24	5.20	5.12
5.33	5.03	5.21	5.90	5.13	5.42	5.29	5.17
5.84	5.03	5.66	5.23	5.00	5.30	5.26	5.21
5.91	5.90	5.09	5.99	6.00	5.30	5.25	5.19
5.03	5.10	5.18	5.27	5.04	5.24	5.98	5.67
5.96	5.54	5.07	5.16	5.90	5.20	5.22	5.18
5.05	5.06	5.14	5.20	5.28	5.14	5.20	5.17
5.49	5.10	5.50	5.37	5.40	5.07	5.21	5.19
5.98	5.09	5.17	5.11	5.91	5.19	5.30	5.19
5.01	5.05	5.10	5.16	5.47	5.17	5.30	5.18
5.82	5.10	5.80	5.48	5.03	5.18	5.29	5.28
5.01	5.62	5.13	5.17	5.10	5.25	5.32	5.16
5.97	5.76	5.05	5.13	5.77	5.18	5.22	5.14
5.45	5.74	5.09	5.21	5.42	5.16	5.18	5.16
5.83	5.75	5.06	5.10	5.14	5.18	5.25	5.09
5.88	5.96	5.00	5.10	5.16	5.24	5.31	5.21
5.97	5.97	5.99	5.16	5.15	5.33	5.27	5.22
5.01	5.97	5.01	5.99	5.34	5.23	5.14	5.08
5.99	5.98	5.29	5.98	5.10	5.50	5.41	5.25
5.96	5.58	5.17	5.28	5.53	5.70	5.38	5.20
5.99	5.02	5.18	5.41	5.94	5.38	5.47	5.26
5.07	5.09	5.80	5.02	5.95	5.42	5.36	5.12
5.93	5.98	5.01	5.20	5.00	5.38	5.36	5.01
5.95	5.42	5.16	5.43	5.19	5.31	5.19	5.09
5.13	5.84	5.98	5.55	5.12	5.31	5.38	5.22
5.12	5.71	5.05	5.26	5.45	5.25	5.13	5.80
5.95	5.91	5.75	5.13	5.09	5.32	5.21	5.15
5.52	5.95	5.94	5.21	5.26	5.33	5.25	5.17
5.10	5.98	5.60	5.61	5.17	5.26	5.38	5.28

ตารางที่ ค.6 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของ **Peel Strength** ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้งเป็น 1 ครั้ง)

Peel Strength							
5.98	5.03	5.92	5.84	5.93	5.06	5.41	5.20
5.03	5.00	5.12	5.04	5.83	5.04	5.32	5.09
5.75	5.96	5.04	5.95	5.06	5.65	5.02	5.06
5.97	5.91	5.81	5.85	5.95	5.95	5.86	5.40
5.93	5.94	5.90	5.93	5.94	5.58	5.11	5.11
5.56	5.78	5.08	5.07	5.89	5.95	5.01	5.16
5.92	5.18	5.00	5.97	5.04	5.04	5.22	5.09
5.12	5.01	5.08	5.78	5.60	5.98	5.04	5.99
5.89	5.52	5.77	5.18	5.94	5.87	5.17	5.66
5.82	5.77	5.80	5.94	5.96	5.24	5.56	5.00
5.97	5.73	5.02	5.08	5.96	5.92	5.04	5.96
5.26	5.94	5.97	5.98	5.33	5.85	5.36	5.33
5.97	5.02	5.04	5.02	5.80	5.97	5.11	5.02
5.87	5.93	5.02	5.97	5.91	5.74	5.04	5.98
5.02	5.04	5.05	5.96	5.86	5.02	5.94	5.64
5.57	5.55	5.63	5.71	5.96	5.89	5.68	5.07
5.94	5.93	5.99	5.59	5.02	5.50	5.25	5.08
5.49	5.66	5.93	5.16	5.25	5.30	5.32	5.09
5.73	5.22	5.01	5.11	5.16	5.02	5.13	5.04
5.99	5.97	5.09	6.17	5.44	5.89	5.94	5.75
5.45	5.73	5.55	5.87	5.08	5.12	5.32	5.21
5.00	5.26	5.05	5.19	5.08	5.06	5.10	5.06
5.65	5.08	6.04	5.06	5.00	5.27	5.20	5.13
5.97	5.76	5.75	5.06	5.99	5.10	5.32	5.20
5.87	5.99	6.07	5.16	5.05	5.01	5.11	5.98
5.92	5.98	6.06	5.21	5.13	5.11	5.17	5.20
5.06	5.08	6.04	5.18	5.16	5.35	5.20	5.09
5.04	5.03	5.12	5.13	5.13	5.96	5.84	5.15
5.36	5.90	5.96	5.13	5.03	5.93	5.03	5.67
5.91	5.89	5.97	5.06	5.01	5.03	5.99	5.08
5.90	5.96	5.04	5.17	5.00	5.05	5.02	5.02
5.96	5.99	5.11	5.20	5.13	5.99	5.98	5.98
5.82	5.97	5.06	5.19	5.24	5.98	5.96	5.96
5.97	5.91	5.93	5.76	5.09	5.08	5.82	5.99
5.93	5.91	5.14	5.63	5.34	5.15	5.09	5.00
5.23	5.71	5.84	5.29	5.24	5.23	5.10	5.24
5.91	5.07	5.15	5.24	5.23	5.58	5.97	5.09
5.75	5.00	5.14	5.90	5.15	5.08	5.15	5.11
5.02	5.01	5.07	5.22	5.23	5.06	5.06	5.99
5.91	5.92	5.96	5.07	5.17	5.22	5.22	5.99
5.93	5.96	5.89	5.01	5.86	5.78	5.23	5.17
5.21	5.11	5.08	5.20	5.18	5.11	5.06	5.62
5.14	5.11	5.08	5.23	5.03	5.02	5.12	5.03
5.88	5.05	5.06	5.27	5.17	5.98	5.17	5.99
5.04	5.12	5.22	5.66	5.04	5.53	5.35	5.17

ตารางที่ ค.7 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของความต้านทานทางไฟฟ้า ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้ง)

ความต้านทานไฟฟ้า							
2.84	2.74	2.84	2.79	2.86	2.86	2.64	2.69
2.67	2.70	2.82	2.71	2.77	2.74	2.73	2.81
2.90	2.81	2.82	2.81	2.86	2.82	2.65	2.70
2.76	2.75	2.72	2.70	2.75	2.67	2.76	2.72
2.82	2.83	2.70	2.03	2.09	2.09	2.79	2.82
2.59	2.77	2.72	2.70	2.79	2.77	2.68	2.76
2.83	2.89	2.76	2.71	2.77	2.79	2.73	2.67
2.82	2.78	2.70	2.69	2.67	2.61	2.80	2.80
2.79	2.78	2.86	2.83	2.86	2.76	2.66	2.59
2.77	2.78	2.78	2.74	2.71	2.53	2.89	2.73
2.58	2.77	2.77	2.69	2.77	2.66	2.74	2.74
2.83	2.88	2.73	2.70	2.24	2.17	2.81	2.81
2.64	2.75	2.74	2.73	2.73	2.76	2.75	2.75
2.84	2.92	2.87	2.85	2.82	2.75	2.74	2.83
2.85	2.77	2.22	2.44	2.61	2.73	2.22	2.85
2.77	2.85	2.75	2.78	2.76	2.65	2.51	2.01
2.17	2.51	2.79	2.78	2.34	2.65	2.06	2.97
2.75	2.86	2.83	2.81	2.26	2.20	2.08	2.01
2.37	2.50	2.74	2.57	2.73	2.70	2.05	2.99
2.82	2.75	2.68	2.61	2.76	2.87	2.08	2.05
2.87	2.82	2.85	2.73	2.88	2.81	2.07	2.90
2.72	2.77	2.75	2.71	2.74	2.73	2.13	2.38
2.22	2.69	2.47	2.79	2.82	2.76	2.99	2.21
2.82	2.75	2.77	2.52	2.94	2.74	2.16	2.13
2.68	2.70	2.77	2.70	2.62	2.50	2.68	2.32
2.71	2.77	2.80	2.79	2.57	2.72	2.27	2.23
2.27	2.63	2.74	2.71	2.78	2.84	2.51	2.12
2.07	2.81	2.80	2.70	2.31	2.18	2.37	2.36
2.66	2.65	2.72	2.88	2.68	2.69	2.49	2.19
2.11	2.16	2.38	2.81	2.89	2.74	2.83	2.22
2.70	2.69	2.76	2.71	2.75	2.73	2.95	2.72
2.76	2.74	2.68	2.72	2.78	2.72	2.24	2.86
2.79	2.76	2.52	2.79	2.80	2.78	2.98	2.96
2.75	2.74	2.76	2.70	2.77	2.70	3.00	2.68
2.70	2.77	2.62	2.67	2.82	2.69	2.98	2.03
2.77	2.70	2.63	2.44	2.76	2.71	2.19	2.01
2.82	2.77	2.60	2.80	2.85	2.82	2.20	2.12
2.79	2.71	2.62	2.68	2.72	2.63	2.08	2.17
2.77	2.73	2.80	2.80	2.79	2.76	2.95	2.04
2.49	2.71	2.75	2.70	2.79	2.74	2.91	2.01
2.75	2.71	2.80	2.89	2.85	2.78	2.91	2.10
2.78	2.65	2.44	2.67	2.78	2.70	2.04	2.11
2.77	2.71	2.72	2.72	2.69	2.76	2.84	2.29
2.80	2.76	2.76	2.76	2.87	2.79	2.95	2.00
2.80	2.69	2.76	2.78	2.84	2.78	2.03	2.96

ตารางที่ ค.8 ผลการทดสอบยืนยันผลค่าของความต้านทานทางไฟฟ้า ของแผ่นวงจรพิมพ์
(ผลจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการบ่มจาก 2 ครั้ง เป็น 1 ครั้ง)

ความต้านทานไฟฟ้า							
2.64	2.61	2.71	2.77	2.82	2.71	2.71	2.75
2.60	2.69	2.80	2.84	2.71	2.81	2.82	2.79
2.73	2.73	2.71	2.73	2.79	2.78	2.74	2.75
2.62	2.67	2.81	2.41	2.62	2.54	2.76	2.75
2.73	2.73	2.71	2.81	2.76	2.75	2.77	2.76
2.64	2.46	2.75	2.62	2.74	2.74	2.78	2.77
2.65	2.75	2.72	2.80	2.79	2.75	2.70	2.73
2.68	2.67	2.78	2.81	2.74	2.79	2.72	2.78
2.66	2.69	2.74	2.81	2.81	2.31	2.82	2.85
2.62	3.00	2.37	2.28	2.47	2.46	2.65	2.74
2.66	2.63	2.77	2.85	2.79	2.75	2.77	2.78
2.59	2.73	2.78	2.84	2.82	2.95	2.05	2.75
2.66	2.51	2.73	2.67	2.19	2.76	2.41	2.77
2.72	2.63	2.73	2.92	2.69	2.63	2.76	2.33
2.67	2.61	2.75	2.53	2.65	2.95	2.20	2.53
2.29	2.59	2.01	2.37	2.13	2.29	2.76	2.79
2.63	2.66	2.71	2.82	2.77	2.77	2.54	2.75
2.33	2.47	2.03	2.35	2.67	2.62	2.66	2.50
2.74	2.38	2.29	2.84	2.69	2.75	2.64	2.05
2.65	2.66	2.40	2.78	2.34	2.80	2.72	2.49
2.67	2.68	2.46	2.20	2.55	2.65	2.71	2.77
2.63	2.69	2.63	2.81	2.73	2.71	2.74	2.76
2.68	2.51	2.79	2.81	2.80	2.42	2.05	2.63
2.27	2.96	2.67	2.81	2.57	2.70	2.88	2.71
2.56	2.28	2.51	2.59	2.82	2.73	2.65	2.73
2.66	2.67	2.80	2.77	2.71	2.74	2.54	2.10
2.64	2.49	2.67	2.17	2.21	2.76	2.78	2.73
2.64	2.71	2.78	2.00	2.18	2.73	2.57	2.28
2.63	2.39	2.95	2.87	2.78	2.71	2.70	2.15
2.61	2.18	2.98	2.33	2.79	2.32	2.56	2.81
2.61	2.69	2.50	2.47	2.91	2.63	2.74	2.76
2.61	2.74	2.81	2.79	2.73	2.81	2.81	2.78
2.21	2.58	2.72	2.77	2.81	2.77	2.80	2.70
2.69	2.76	2.82	2.76	2.76	2.79	2.76	2.73
2.80	2.73	2.80	2.81	2.79	2.81	2.79	2.73
2.71	2.77	2.80	2.78	2.83	2.86	2.86	2.78
2.64	2.69	2.78	2.74	2.78	2.75	2.76	2.72
2.69	2.72	2.77	2.79	2.80	2.81	2.81	2.80
2.69	2.63	2.74	2.63	2.64	2.82	2.79	2.76
2.73	2.73	2.30	2.71	2.72	2.80	2.85	2.77
2.60	2.67	2.77	2.83	2.86	2.70	2.79	2.76
2.72	2.58	2.82	2.79	2.74	2.86	2.83	2.84
2.72	2.72	2.81	2.79	2.83	2.82	2.81	2.80
2.59	2.32	2.79	2.76	2.73	2.67	2.76	2.65
2.74	2.66	2.83	2.82	2.81	2.82	2.76	2.79

ภาคผนวก ง

ข้อมูลหลังการปรับปรุงการผลิต

- ตารางที่ ง.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549
- ตารางที่ ง.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549
- ตารางที่ ง.3 ค่า **Peel Strength** ของแผ่นวงจรพิมพ์ หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549
- ตารางที่ ง.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นวงจรพิมพ์ หลังการปรับปรุง
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

%MD Change (September 2006)						
-0.0423	-0.0692	-0.0755	-0.0451	-0.0212	-0.0339	0.0063
0.0152	-0.0151	-0.0537	-0.0863	-0.0817	-0.0093	-0.0680
-0.0257	-0.0308	-0.0961	-0.0029	-0.0500	-0.0667	-0.0554
0.0255	0.0202	0.0108	-0.0384	-0.0096	-0.0759	0.0360
-0.0432	-0.0314	-0.0178	-0.0089	-0.0601	0.0037	0.0111
-0.0357	-0.0194	-0.0417	-0.0527	-0.0099	-0.0559	-0.0229
-0.0401	-0.0030	0.0305	-0.0550	-0.0043	-0.0256	-0.0617
-0.0573	-0.0443	-0.0582	-0.0361	-0.0379	-0.0647	-0.0673
-0.0406	-0.0785	-0.1022	-0.0395	0.0007	-0.0561	-0.0689
-0.0158	-0.0466	-0.0700	0.0176	-0.0317	-0.0560	0.0012
-0.0309	-0.0200	-0.0079	0.0111	-0.0360	-0.0260	0.0069
-0.0289	-0.0695	-0.0773	0.0454	-0.0164	-0.0360	-0.0240
-0.0562	-0.0016	-0.0500	-0.0369	0.0038	-0.0614	-0.0629
-0.0688	-0.0017	-0.0442	-0.0156	0.0037	-0.0916	-0.0205
-0.0023	-0.0538	0.0409	-0.0326	-0.0187	-0.0193	-0.0294
-0.0123	-0.0500	-0.0763	-0.0060	-0.0038	-0.0185	-0.0121
-0.0463	-0.0425	-0.0593	-0.0249	-0.0436	-0.0531	0.0494
-0.0238	-0.0252	-0.0097	-0.0662	-0.0530	-0.0690	-0.0853
-0.0343	-0.0180	-0.1008	-0.0597	-0.0336	-0.0074	-0.0587
-0.0651	-0.0042	0.0257	-0.0419	-0.0300	-0.0789	-0.0457
-0.0624	-0.0074	-0.0745	-0.0464	-0.0132	-0.0169	-0.0837
-0.0145	-0.0274	-0.0114	-0.0590	-0.0561	-0.0021	-0.0176
0.0003	-0.0338	0.0211	-0.0158	-0.0433	-0.0783	-0.0315
-0.0877	0.0413	-0.0306	0.0109	-0.0599	-0.0295	-0.0523
-0.0025	-0.0618	-0.0208	-0.0594	-0.0788	0.0130	-0.0903
-0.0396	-0.0532	-0.0330	-0.0291	-0.0522	-0.0076	0.0084
-0.0498	0.0158	-0.0573	-0.0408	-0.0545	-0.0484	-0.0873
-0.0211	-0.0622	0.0293	-0.0369	-0.0722	-0.0445	0.0483
-0.0598	-0.0210	-0.0613	-0.0006	-0.0411	-0.0587	-0.0466
-0.0371	-0.0039	0.0029	-0.0321	-0.0235	-0.0070	-0.0531
-0.0148	-0.0457	-0.0907	-0.0238	0.0105	-0.0728	-0.0412
0.0071	0.0078	-0.0030	-0.0826	-0.0022	-0.0657	0.0090
-0.0514	-0.0643	-0.0084	-0.0453	0.0088	-0.0501	0.0017
-0.0390	-0.0571	-0.0483	-0.0044	0.0208	-0.0231	-0.0322
-0.0620	0.0291	-0.0287	-0.0143	-0.0377	-0.0244	-0.0102
-0.0501	-0.0220	-0.0765	0.0297	0.0092	-0.0438	-0.0330
0.0081	-0.0071	0.0227	-0.0456	-0.0068	-0.0347	0.0097
-0.0419	-0.0326	-0.0389	-0.0740	0.0004	-0.0453	-0.0127
-0.0271	-0.0244	-0.0305	0.0061	0.0449	-0.0638	-0.0576
-0.0655	-0.0995	-0.0271	-0.0234	-0.0886	-0.0255	0.0164
-0.0876	-0.0114	0.0047	-0.0694	0.0005	-0.0270	-0.0266
-0.0529	-0.0468	-0.0239	-0.0136	-0.0859	-0.0144	-0.0068
-0.0880	-0.0059	0.0081	-0.0294	-0.0099	-0.0467	

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุง
กระบวนการบ่มจากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

% MD Change (October 2006)						
-0.0164	0.0489	0.0559	-0.0161	-0.1424	0.0179	-0.0694
-0.0806	-0.0523	-0.0313	0.0485	0.0152	-0.0130	-0.0676
-0.0613	-0.0439	-0.0589	-0.0414	-0.0244	-0.0743	0.0118
-0.0221	-0.0382	-0.0385	0.0086	-0.0239	-0.0217	-0.0611
-0.0470	0.0077	-0.0161	0.0260	0.0046	-0.0665	-0.0524
-0.0293	0.0015	-0.0459	-0.0213	-0.0402	-0.0591	0.0098
-0.0585	-0.0159	-0.0634	-0.0628	-0.0350	0.0010	-0.0341
0.0076	0.0209	0.0133	-0.0411	-0.0032	-0.0123	-0.0708
-0.0409	-0.0134	-0.0406	-0.0056	-0.0115	-0.0312	-0.0255
-0.0546	-0.0121	-0.0750	-0.0330	0.0433	-0.0176	-0.0843
-0.0841	0.0067	-0.0044	-0.0294	-0.0261	-0.0317	-0.0514
-0.0741	0.0193	-0.0088	-0.0020	-0.0438	0.0216	-0.0160
0.0618	-0.0160	-0.0411	-0.0741	-0.0017	-0.0684	-0.0970
-0.0784	-0.0122	-0.0169	-0.0569	-0.0850	-0.0620	-0.0564
-0.0343	-0.0054	-0.0645	0.0668	-0.0480	-0.0427	-0.0463
-0.0306	-0.0104	-0.0028	-0.0203	0.0046	-0.0344	0.0451
-0.0518	0.0171	-0.0650	-0.0655	-0.0520	-0.0368	-0.0378
-0.0272	-0.0256	-0.0244	-0.0323	-0.0918	-0.0286	-0.0157
0.0093	-0.0454	-0.0473	-0.0269	0.0003	-0.0387	-0.0460
-0.0298	-0.0060	-0.0743	-0.0509	-0.0212	-0.0485	-0.0007
-0.0242	0.0151	0.0453	-0.0304	-0.0321	-0.0500	-0.0196
-0.0127	-0.0505	-0.0174	-0.0463	-0.0345	-0.0472	0.0113
-0.0185	0.0041	-0.0020	-0.0134	-0.0080	-0.0607	0.0437
-0.0285	-0.0537	-0.0141	-0.0296	-0.0436	-0.0215	-0.0490
-0.0137	-0.0490	-0.0623	-0.0055	-0.0140	0.0108	-0.0385
0.0189	0.0068	-0.0433	-0.0678	-0.0204	0.0013	-0.0186
-0.0312	-0.0627	0.0047	-0.0039	-0.0307	-0.0170	-0.0285
-0.0336	0.0229	0.0018	-0.0288	-0.0460	-0.0488	-0.0585
-0.0445	-0.0468	-0.0027	-0.0277	-0.0695	-0.0501	-0.0732
-0.0353	-0.0626	-0.0522	-0.0685	-0.0087	-0.0804	-0.0268
0.0041	-0.0216	-0.1054	-0.0334	-0.0811	-0.0435	-0.0257
-0.0480	-0.0475	-0.0282	-0.0495	0.0116	-0.0777	-0.0308
-0.0736	0.0155	0.0024	-0.0474	-0.0412	-0.0241	-0.0272
0.0599	-0.0740	-0.0057	0.0045	-0.0895	0.0267	-0.0271
-0.0607	0.0233	-0.0694	-0.0083	-0.0153	-0.0378	-0.0203
-0.0285	-0.0148	-0.0298	0.0024	-0.0279	-0.0675	-0.0213
0.0492	0.0101	-0.0006	-0.0764	-0.0708	0.0253	-0.0360
-0.0304	-0.0193	-0.0130	-0.0267	-0.0513	0.0152	-0.0310
-0.0311	-0.0081	-0.0910	-0.0007	-0.0905	-0.0356	0.0128
-0.0154	-0.0446	-0.0602	-0.0423	-0.0501	-0.0055	-0.0432
-0.0403	-0.0727	-0.0657	-0.0366	-0.0915	0.0183	0.0047
-0.0591	-0.0348	-0.0503	0.0745	-0.0850	-0.0487	-0.0338
-0.0520	-0.0419	-0.0512	0.0043	-0.0611	-0.0150	

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุง

กระบวนการบ่มจากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

% MD Change (November 2006)						
-0.0011	-0.0475	0.0710	-0.0585	-0.0601	0.0025	-0.0308
-0.0751	-0.0341	0.0354	-0.0311	-0.0704	-0.0698	-0.0496
-0.0370	-0.0636	-0.0144	-0.0233	-0.0247	-0.0292	-0.0060
0.0387	0.0051	-0.0633	-0.0940	-0.0109	-0.0138	-0.0272
-0.0045	-0.0272	-0.0287	0.0091	-0.0252	-0.0038	-0.0108
-0.0563	-0.0247	-0.0452	-0.0174	0.0023	-0.0518	-0.0456
0.0163	-0.0586	0.0435	-0.0276	-0.0135	-0.0090	-0.0908
-0.0493	-0.0340	-0.0402	-0.0417	-0.0477	-0.0357	-0.0344
-0.0632	-0.0479	0.0343	-0.0396	-0.0494	-0.0274	-0.0372
-0.0514	-0.0325	-0.0940	-0.0815	-0.0424	-0.0472	-0.0354
0.0017	-0.0158	-0.0243	0.0058	0.0032	-0.0479	-0.0770
-0.0358	0.0088	-0.0407	0.0135	-0.0306	-0.0017	-0.0869
-0.0483	-0.0140	-0.0646	-0.0272	-0.0352	0.0005	-0.0465
-0.0528	-0.0598	-0.0768	-0.0852	0.0057	-0.0198	0.0346
0.0118	-0.0441	-0.0444	-0.0306	-0.0304	-0.0464	-0.0932
-0.0329	-0.0087	-0.0204	-0.0784	-0.0499	-0.0269	0.0218
-0.0329	-0.0361	-0.0288	0.0180	0.0232	0.0011	0.0157
-0.0045	0.0596	-0.0306	-0.0269	0.0080	-0.0489	-0.0711
-0.0577	-0.0277	-0.0208	-0.0058	-0.0157	-0.0489	-0.0782
-0.0103	-0.0322	-0.0013	-0.0295	-0.0556	-0.0840	-0.0800
-0.0500	0.0022	-0.0105	0.0056	-0.0502	0.0178	-0.0439
-0.0371	-0.0575	-0.0097	0.0101	0.0131	-0.0247	-0.0556
-0.0158	-0.0038	-0.0281	-0.0526	-0.0432	-0.0931	-0.0515
-0.0507	-0.0687	-0.0185	-0.0399	-0.0489	-0.0507	-0.0413
-0.0581	-0.0522	-0.0637	-0.0092	-0.0828	-0.0222	-0.0088
-0.0954	-0.0682	0.0326	-0.0557	0.0058	-0.0405	-0.0653
-0.0071	-0.0213	-0.0688	-0.0658	-0.0741	-0.0400	-0.0372
-0.1165	-0.0168	-0.0443	-0.0603	-0.0147	-0.0071	-0.0404
-0.0146	-0.0061	-0.0181	-0.0208	0.0066	-0.0056	-0.0254
-0.0208	-0.0134	-0.0338	-0.0243	-0.0024	-0.0418	0.0054
0.0014	0.0262	-0.0935	0.0052	-0.0233	-0.0675	-0.0108
-0.0464	-0.0713	-0.0409	-0.0545	-0.0171	-0.0581	-0.0327
0.0000	0.0088	-0.0128	-0.0070	-0.1066	0.0091	-0.0455
-0.1127	-0.0334	-0.0002	0.0302	-0.0393	-0.0807	-0.0353
-0.0510	-0.0037	-0.0697	0.0351	0.0259	-0.0301	-0.0089
-0.0618	-0.0204	0.0054	0.0124	-0.0081	-0.0518	-0.0835
-0.0324	-0.0675	0.0103	0.0285	-0.0139	0.0334	-0.0092
-0.0012	-0.0933	-0.0029	-0.0415	0.0276	-0.0199	-0.0147
-0.0459	-0.0193	-0.0321	-0.0602	-0.0058	-0.0024	-0.0287
-0.0270	-0.0779	-0.0509	-0.0635	-0.0226	-0.0931	-0.0103
-0.0086	-0.0045	-0.0074	0.0599	0.0124	-0.0712	-0.0208
-0.0530	-0.0603	-0.0064	-0.0175	0.0304	0.0074	-0.0130
-0.0402	-0.0549	-0.0663	0.0302	-0.0437	-0.0422	

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของแผ่นวงจรพิมพ์หลังการปรับปรุง

กระบวนการบ่มจากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

% MD Change (December 2006)						
0.0187	-0.0291	-0.0398	0.0340	-0.0435	-0.0359	-0.0488
-0.0914	-0.0284	-0.0184	-0.0233	-0.0322	-0.0797	-0.0402
-0.0360	0.0060	-0.0279	-0.0850	-0.0324	-0.0084	-0.0458
-0.0251	-0.0954	-0.0466	-0.0701	-0.0184	-0.0251	-0.0598
-0.1076	-0.0470	-0.0195	-0.0888	0.0091	-0.0766	-0.0104
-0.0219	-0.0914	-0.0065	-0.0129	0.0218	-0.0267	-0.0494
0.0013	-0.0478	-0.0231	0.0242	-0.0543	-0.0183	-0.0625
-0.0503	-0.0181	-0.0230	-0.0211	-0.0231	-0.0121	-0.0291
-0.0805	-0.0004	-0.0455	0.0309	-0.0547	-0.0854	-0.0688
-0.0512	-0.0734	-0.0190	0.0079	-0.0367	0.0371	-0.0718
-0.0615	-0.0008	-0.0404	-0.0402	-0.0514	-0.0486	-0.0131
-0.0323	-0.0212	0.0193	-0.0236	-0.0472	0.0136	-0.0347
-0.0711	-0.0549	0.0068	-0.0215	-0.0401	0.0101	-0.0252
-0.0198	-0.0884	-0.0557	-0.0373	-0.0436	-0.0084	-0.0229
-0.0605	-0.0148	-0.0392	-0.0440	-0.0790	-0.0184	-0.0131
-0.0272	-0.0191	-0.0132	-0.0101	-0.0154	-0.0189	-0.0221
-0.0642	-0.0293	-0.0822	-0.0423	-0.0753	-0.0517	-0.0124
-0.0140	-0.0217	-0.0106	-0.0031	-0.0195	-0.0074	-0.0127
-0.0419	-0.0151	-0.0578	-0.0329	-0.0450	-0.0103	-0.0396
-0.0241	-0.0918	0.0338	-0.0486	0.0161	-0.0215	0.0035
-0.0225	-0.0125	-0.0437	0.0091	-0.0198	-0.1069	-0.0517
-0.0098	-0.0131	-0.0050	-0.0407	-0.0306	-0.0175	-0.0838
-0.0455	-0.0083	-0.1009	-0.0219	-0.0500	-0.0513	-0.0720
-0.0219	-0.0092	-0.0654	-0.0802	-0.0173	-0.0321	-0.0354
-0.0619	-0.0537	0.0263	-0.0232	-0.0285	-0.0785	-0.0555
-0.0060	-0.1160	-0.0622	-0.0197	-0.1037	-0.0006	-0.0066
0.0166	0.0049	0.0019	-0.0597	-0.0517	-0.0765	-0.0118
0.0326	-0.0162	-0.0168	-0.0732	-0.1019	0.0133	-0.0237
0.0361	-0.0601	-0.0361	-0.0478	-0.0308	-0.0219	-0.0231
-0.0188	-0.1316	-0.0124	-0.0538	-0.0653	-0.0493	-0.0331
-0.0269	0.0061	-0.0179	-0.0616	0.0105	-0.0879	-0.0800
-0.0517	-0.0232	-0.0440	-0.0726	-0.0101	-0.0701	-0.0028
-0.0470	-0.0403	0.0229	-0.0721	-0.0085	-0.0453	0.0214
0.0162	-0.0433	-0.1093	-0.0248	0.0339	-0.0003	-0.0429
-0.0218	-0.0573	0.0001	-0.0534	-0.0462	-0.0344	-0.0081
-0.0521	-0.0187	0.0008	0.0103	-0.0371	-0.0988	-0.0264
-0.0177	-0.0087	-0.0483	-0.0252	0.0112	-0.0603	-0.0655
0.0462	-0.0125	-0.0702	0.0488	-0.0255	-0.0703	-0.0194
-0.0101	0.0088	-0.0053	-0.0085	-0.0263	-0.0741	-0.0320
-0.0380	-0.0324	-0.0245	-0.0206	-0.0149	-0.0252	0.0210
-0.0484	0.0350	-0.1017	0.0225	-0.0395	-0.0624	0.0133
-0.0671	-0.0540	-0.0140	0.0040	-0.0845	-0.0732	0.0238
-0.0573	-0.0665	-0.0431	-0.0272	-0.0724	-0.0741	

ตารางที่ ง.2 ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรมพิมพ์หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

%TD Change (September 2006)						
0.0274	-0.0240	0.0281	0.0786	0.0203	0.0510	0.0195
-0.0111	0.0254	0.0078	0.0441	0.0427	0.0467	0.0329
0.0345	0.0461	-0.0173	0.0309	0.0140	0.0804	0.0161
0.0290	0.0206	0.0223	0.0396	0.0461	0.0522	0.0151
0.0222	0.0328	0.0109	0.0557	0.0130	0.0517	0.0414
0.0076	0.0131	0.0597	-0.0029	0.0391	0.0093	0.0081
0.0370	0.0335	0.0063	0.0085	0.0151	0.0251	0.0386
0.0498	0.0666	0.0282	0.0495	0.0100	0.0381	0.0248
0.0074	0.0578	0.0278	0.0104	0.0696	0.0273	0.0429
0.0114	0.0535	0.0506	0.0342	0.0301	0.0634	0.0202
0.0005	0.0365	-0.0086	0.0492	0.0495	0.0461	0.0492
0.0098	0.0473	0.0402	0.0105	-0.0069	0.0103	0.0335
0.0307	0.0196	0.0174	0.0465	0.0594	0.0189	0.0239
0.0615	-0.0179	-0.0365	0.0006	0.0334	0.0232	0.0679
0.0287	0.0555	0.0222	0.0390	0.0334	0.0186	0.0175
-0.0099	0.0388	-0.0095	0.0709	0.0286	0.0022	0.0006
0.0261	0.0499	0.0106	0.0142	0.0083	-0.0089	0.0287
0.0130	0.0229	0.0199	0.0223	0.0279	0.0382	0.0535
0.0397	0.0478	0.0376	-0.0090	0.0109	0.0381	0.0242
0.0303	0.1021	0.0283	0.0243	0.0389	0.0087	0.0082
0.0434	0.0663	0.0513	0.0236	0.0146	0.0284	0.0305
0.0878	0.0170	0.0540	0.0479	0.0893	0.0654	0.0158
0.0310	0.0200	0.0297	0.0296	0.0488	0.0164	0.0145
0.0604	0.0160	0.0448	0.0121	0.0247	0.0298	0.0613
0.0257	0.0600	0.0485	0.0516	-0.0045	0.0546	0.0277
0.0269	-0.0321	0.0553	0.0549	0.0064	0.0469	0.0247
0.0263	0.0670	0.0144	0.0209	0.0372	0.0384	0.0141
0.0329	0.0213	0.0386	0.0235	0.0307	0.0464	0.0165
0.0068	-0.0161	0.0146	0.0269	0.0322	0.0112	0.0176
0.0300	0.0224	0.0281	0.0353	0.0472	0.0384	0.0102
0.0041	0.0597	0.0451	-0.0162	0.0358	0.0141	-0.0362
0.0481	0.0624	0.0400	0.0451	0.0111	0.0322	0.0369
0.0324	0.0297	0.0557	0.0357	0.0435	-0.0163	0.0637
0.0153	0.0428	0.0349	0.0916	0.0289	0.0507	0.0724
0.0495	0.0492	0.0138	0.0008	0.0124	0.0284	0.0232
0.0526	0.0160	0.0463	0.0458	0.0192	0.0097	0.0304
0.0133	0.0145	0.0316	0.0280	0.0207	0.0728	0.0206
0.0015	0.0419	0.0168	0.0678	0.0496	0.0285	-0.0068
0.0410	0.0262	0.0216	-0.0036	0.0161	0.0668	0.0282
0.0330	0.0166	0.0469	0.0106	0.0618	0.0409	-0.0272
0.0516	0.0071	0.0536	0.0612	-0.0131	0.0489	0.0494
0.0743	0.0262	0.0329	0.0414	0.0286	0.0110	0.0353
0.0606	0.0248	0.0153	0.0142	0.0779	0.0438	

ตารางที่ ง.๒(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรมพิมพ์หลังการปรับปรุง
กระบวนการบ่มจากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

% TD Change (October 2006)						
0.0534	0.0549	0.0605	0.0152	0.0161	0.0247	0.0202
0.0340	0.0491	0.0587	0.0762	0.0478	0.0341	0.0174
0.0193	0.0453	-0.0063	0.0702	0.0459	0.0522	0.0257
0.0410	0.0325	-0.0124	0.0111	0.0318	0.0796	0.0035
0.0108	0.0317	0.0325	0.0423	0.0204	0.0179	0.0446
-0.0012	0.0352	0.0140	0.0029	0.0598	0.0332	0.0480
0.0485	0.0449	0.0403	0.0404	0.0048	0.0607	0.0322
0.0136	0.0432	-0.0114	0.0053	-0.0129	0.0010	0.0462
0.0395	0.0375	0.0241	0.0436	0.0016	0.0423	0.0133
0.0328	0.0196	0.0069	0.0644	0.0226	0.0473	-0.0137
-0.0157	0.0235	0.0322	0.0357	0.0297	0.0267	0.0326
0.0282	0.0563	0.0498	0.0291	0.0223	0.0278	0.0732
0.0356	0.0083	0.0213	0.0433	0.0043	-0.0345	0.0440
0.0315	0.0011	0.0403	0.0275	0.0464	0.0507	0.0425
0.0219	0.0313	0.0495	0.0498	0.0305	0.0224	0.0161
-0.0068	0.0642	0.0015	0.0233	-0.0091	0.0492	0.0570
0.0385	0.0344	0.0085	0.0370	0.0560	0.0735	0.0186
0.0532	0.0116	0.0208	0.0032	0.0246	0.0321	0.0560
0.0088	0.0198	0.0511	0.0451	0.0321	0.0675	-0.0060
0.0371	0.0324	0.0123	0.0528	-0.0152	0.0283	0.0652
-0.0043	0.0446	0.0228	0.0407	0.0264	0.0708	0.0206
0.0038	0.0289	-0.0090	0.0396	0.0183	0.0029	0.0463
0.0334	0.0115	0.0633	0.0736	0.0282	0.0629	0.0394
0.0771	0.0162	0.0514	0.0021	-0.0238	0.0262	0.0128
0.0104	0.0562	-0.0020	0.0432	0.0111	0.0028	0.0370
0.0396	0.0186	0.0507	0.0355	0.0030	-0.0223	0.0091
0.0071	0.0175	0.0007	0.0384	0.0189	-0.0072	0.0733
0.0161	0.0209	0.0379	0.0236	0.0191	0.0234	0.0658
0.0212	0.0686	0.0000	0.0632	0.0081	-0.0021	0.0437
0.0160	0.0273	-0.0003	0.0834	0.0398	0.0505	0.0463
0.0349	0.0513	0.0318	0.0647	-0.0029	0.0207	0.0570
0.0248	0.0357	0.0757	0.0216	0.0208	-0.0025	0.0334
-0.0105	-0.0055	0.0602	0.0095	0.0551	0.0416	-0.0011
0.0087	0.0419	0.0470	0.0443	0.0444	-0.0079	0.0177
0.0599	0.0112	0.0049	0.0244	0.0325	0.0507	0.0377
0.0401	-0.0001	0.0181	0.0375	-0.0019	0.0206	0.0063
0.0360	0.0097	0.0170	0.0544	0.0242	0.0050	0.0136
0.0443	0.0378	0.0432	0.0282	0.0551	0.0528	0.0370
0.0606	0.0540	0.0511	0.0086	0.0235	0.0377	0.0260
0.0358	0.0384	0.0352	0.0377	0.0464	0.0167	-0.0013
0.0041	0.0159	0.0464	-0.0119	0.0055	0.0612	0.0111
0.0169	0.0156	0.0296	0.0210	0.0546	0.0297	0.0486
0.0354	0.0656	0.0167	0.0426	0.0168	0.0400	

ตารางที่ ง.2(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรมพิมพ์หลังการปรับปรุง
กระบวนการบ่มจากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

% TD Change (November 2006)						
0.0084	0.0311	0.0372	0.0101	0.0091	0.0581	0.0382
0.0502	-0.0143	0.0387	0.0224	0.0246	0.0258	0.0480
0.0583	0.0197	0.0154	0.0400	0.0432	0.0081	0.0231
0.0300	0.0387	-0.0162	0.0867	0.0395	0.0322	0.0601
-0.0235	-0.0226	0.0149	-0.0056	0.0970	0.0512	0.0422
0.0201	0.0148	0.0152	0.0656	-0.0258	0.0353	0.0318
0.0121	0.0029	0.0061	0.0162	0.0434	0.0176	0.0055
0.0396	0.0529	0.0176	0.0165	0.0699	-0.0016	0.0399
0.0217	0.0058	0.0279	0.0576	0.0429	0.0119	0.0185
0.0050	0.0857	0.0315	0.0176	0.0516	0.0455	0.0213
0.0186	0.0549	0.0222	0.0271	0.0147	0.0144	0.0272
0.0421	0.0412	0.0219	0.0222	0.0386	0.0258	0.0332
0.0008	0.0533	0.0247	0.0642	0.0353	0.0450	-0.0191
0.0435	0.0149	0.0157	0.0237	0.0282	0.0023	-0.0056
0.0441	0.0139	0.0405	0.0492	0.0236	0.0171	0.0308
0.0434	0.0428	0.0023	0.0638	0.0578	0.0842	0.0073
0.0555	0.0297	0.0586	0.0544	0.0801	0.0494	0.0292
0.0050	0.0409	0.0527	0.0502	0.0311	0.0964	0.0049
0.0498	0.0288	0.0496	0.0514	0.0465	0.0266	0.0435
0.0391	0.0507	0.0129	0.0318	0.0333	0.0611	0.0259
0.0206	0.0013	0.0283	0.0147	0.0346	0.0469	0.0586
-0.0035	0.0360	0.0545	0.0085	0.0066	0.0314	0.0735
0.0285	0.0452	0.0255	0.0320	0.0042	0.0022	-0.0067
0.0409	0.0764	0.0235	0.0424	0.0662	0.0201	0.0131
-0.0033	0.0075	0.0262	0.0211	0.0772	0.0518	0.0535
0.0472	0.0515	-0.0011	0.0108	0.0242	0.0535	0.0540
-0.0009	0.0100	0.0483	-0.0108	0.0598	0.0928	0.0328
0.0130	0.0769	0.0799	0.0528	0.0592	0.0033	0.0671
0.0336	0.0146	0.0302	0.0128	0.0291	0.0110	0.0395
0.0381	0.0039	-0.0020	0.0027	-0.0070	0.0485	0.0579
0.0009	0.0612	0.0118	0.0167	0.0578	0.0326	0.0292
0.0417	0.0463	0.0313	0.0041	-0.0168	0.0586	-0.0010
0.0238	0.0450	0.0171	0.0456	0.0699	0.0254	0.0185
0.0577	0.0473	0.0352	0.0551	0.0314	0.0237	0.0455
0.0603	0.0352	-0.0036	0.0345	0.0392	0.0259	0.0488
0.0264	0.0409	0.0406	-0.0284	0.0056	0.0032	0.0621
0.0421	-0.0170	0.0346	0.0251	0.0252	0.0401	0.0054
0.0354	0.0111	0.0006	0.0493	0.0363	0.0523	0.0856
0.0532	0.0289	-0.0088	0.0151	0.0312	0.0382	0.0472
0.0232	0.0475	0.0354	0.0012	0.0668	0.0522	0.0363
0.0058	0.0416	0.0220	0.0266	0.0538	0.0361	0.0154
0.0551	0.0683	0.0140	-0.0074	0.0668	0.0122	0.0396
0.0525	0.0379	0.0017	0.0238	0.0522	0.0249	

ตารางที่ ง.๒(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแผ่นวงจรมพิมพ์หลังการปรับปรุง
กระบวนการบ่มจากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

% TD Change (December 2006)						
0.0294	-0.0077	0.0266	0.0383	0.0453	0.0436	0.0349
0.0640	0.0615	0.0642	0.0313	0.0098	0.0524	0.0458
0.0420	0.0013	0.0368	0.0349	0.0423	0.0234	0.0080
0.0098	0.0316	0.0326	0.0251	0.0281	0.0327	0.0227
0.0350	-0.0111	0.0168	0.0293	0.0288	0.0041	0.0353
0.0572	0.0294	-0.0151	0.0542	0.0666	0.0389	-0.0088
0.0840	0.0515	0.0071	0.0192	0.0418	0.0385	0.0170
0.0368	0.0259	0.0118	0.0334	-0.0049	0.0741	0.0626
0.0062	0.0073	0.0346	0.0108	0.0124	-0.0244	0.0354
0.0280	0.0335	0.0298	0.0408	0.0510	0.0447	0.0301
0.0074	-0.0107	0.0003	0.0290	0.0349	0.0267	0.0460
-0.0043	0.0438	0.0107	0.0433	0.0575	0.0568	0.0544
0.0396	0.0694	0.0218	0.0147	0.0317	0.0431	0.0082
0.0445	0.0213	0.0638	0.0633	0.0357	0.0083	0.0818
-0.0009	0.0658	0.0145	0.0096	0.0027	0.0108	0.0514
-0.0182	0.0123	0.0302	0.0586	0.0478	0.0514	0.0111
0.0040	-0.0118	0.0404	0.0029	0.0596	0.0422	0.0347
0.0329	0.0306	0.0176	-0.0004	0.0209	0.0451	0.0533
0.0523	0.0297	0.0154	0.0195	-0.0117	0.0239	0.0231
0.0220	-0.0126	0.0387	0.0499	0.0282	0.0219	0.0191
0.0499	-0.0126	0.0274	0.0581	0.0881	0.0193	0.0259
0.0317	0.0505	0.0616	0.0374	0.0425	-0.0120	0.0350
-0.0095	-0.0045	0.0453	0.0069	0.0543	0.0247	0.0136
0.0416	0.0339	0.0140	0.0045	0.0345	0.0274	0.0446
-0.0170	-0.0176	0.0243	0.0241	0.0265	0.0267	0.0882
0.0429	0.0030	0.0137	0.0209	0.0099	-0.0301	0.0257
0.0221	0.0191	0.0443	0.0010	-0.0165	0.0282	0.0517
0.0275	0.0216	0.0411	0.0668	0.0132	-0.0036	0.0022
0.0309	0.0210	0.0130	0.0016	0.0127	0.0298	0.0464
0.0531	0.0198	0.0408	0.0577	0.0447	0.0217	0.0510
0.0953	0.0519	0.0118	0.0392	0.0557	0.0454	0.0528
0.0215	0.0735	0.0223	0.0362	0.0135	0.0304	0.0352
0.0198	0.0686	0.0328	0.0670	0.0295	0.0615	0.0430
0.0353	-0.0105	0.0165	0.0526	0.0075	0.0364	0.0055
0.0376	0.0605	0.0447	0.0472	0.0498	0.0234	0.0342
0.0529	0.0523	0.0089	0.0402	0.0640	0.0056	0.0127
0.0462	0.0389	-0.0045	0.0327	0.0495	0.0300	0.0327
-0.0134	0.0142	0.0188	0.0417	0.0283	0.0480	0.0199
0.0602	0.0165	0.0602	0.0115	0.0376	0.0054	0.0142
0.0563	0.0560	0.0177	0.0390	0.0089	0.0588	0.0436
0.0203	0.0463	0.0412	0.0079	0.0136	0.0185	0.0372
0.0258	0.0414	0.0412	0.0204	0.0245	0.0138	-0.0086
0.0548	0.0421	0.0103	0.0055	-0.0231	0.0189	

ตารางที่ ง.3 ค่า Peel Strength ของแผ่นวงจรมพิมพ์ หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

Peel Strength (September 2006)					
5.13	14.49	11.87	8.33	5.83	5.26
9.43	5.21	6.15	11.32	6.12	5.01
7.75	8.48	6.86	9.98	14.30	5.09
7.19	7.19	5.90	7.69	5.09	5.32
7.65	7.80	6.92	6.74	8.24	6.90
10.11	10.25	6.71	6.65	11.84	11.21
14.77	6.72	7.51	13.07	11.56	6.46
7.23	7.19	8.45	7.44	6.42	8.66
8.37	11.42	5.15	10.67	19.41	7.16
8.50	11.37	8.98	6.04	8.75	8.73
8.07	8.48	9.51	8.98	9.63	8.06
12.41	7.49	7.40	7.67	10.03	5.89
7.60	7.53	11.30	8.46	8.73	13.59
5.75	13.32	7.31	7.65	5.23	5.49
11.42	5.51	10.83	6.86	5.88	12.88
8.60	8.95	8.10	5.68	5.06	7.10
6.13	7.62	6.94	13.32	13.18	10.95
6.12	6.07	5.63	5.07	11.56	5.75
6.32	8.84	6.87	7.25	10.94	9.16
6.17	5.13	13.06	6.60	9.87	10.41

Peel Strength (October 2006)					
8.42	11.68	9.53	5.12	6.70	5.90
8.27	9.52	5.30	6.62	5.83	6.49
5.44	11.04	5.98	6.56	10.47	5.27
6.39	8.98	9.88	8.58	7.11	6.31
10.04	5.48	6.21	5.90	6.06	8.97
9.91	6.82	8.60	5.96	6.31	11.74
9.66	5.81	9.10	5.56	5.90	7.81
8.96	6.00	6.03	6.79	5.87	5.23
10.94	7.50	5.45	5.18	8.62	12.52
5.95	5.27	8.66	5.59	12.21	7.01
5.48	8.73	9.21	11.28	5.14	7.94
9.84	7.49	7.71	6.33	14.63	8.58
8.01	8.27	7.38	6.20	13.28	6.05
5.89	9.25	7.83	9.07	10.54	10.93
10.04	12.85	15.41	7.93	7.95	7.09
7.18	13.14	6.89	7.43	5.83	7.67
7.26	12.77	6.01	9.37	5.06	9.88
8.47	5.22	12.71	5.98	10.23	12.01
12.54	15.49	5.91	5.89	6.87	11.94
8.18	6.89	8.14	7.05	5.79	6.42

ตารางที่ ง.3(ต่อ) ค่า **Peel Strength** ของแผ่นวงจรพิมพ์ หลังการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

Peel Strength (November 2006)					
13.63	5.63	13.07	5.42	5.49	5.09
7.20	7.35	5.70	6.69	5.99	9.10
7.10	5.28	7.83	5.72	11.04	8.29
7.93	5.12	10.07	10.31	5.79	5.30
7.72	7.55	9.49	5.95	8.97	6.42
7.78	9.54	6.36	7.06	12.43	8.79
10.05	11.97	6.87	8.94	7.54	5.06
6.11	6.85	8.38	5.34	6.81	12.12
6.47	5.47	11.48	7.80	6.83	6.84
10.80	5.21	7.18	6.46	6.74	11.77
5.76	9.74	6.67	6.41	7.53	6.81
6.74	5.18	9.60	9.17	8.11	5.42
8.33	8.11	10.72	10.10	10.81	8.47
5.88	10.51	6.88	8.74	9.09	6.63
6.97	5.25	12.71	9.82	8.92	6.43
6.81	6.10	11.03	13.42	7.19	12.08
7.66	7.74	7.89	6.66	6.86	6.84
8.89	6.79	10.10	9.09	7.04	5.08
5.64	5.59	10.23	7.80	8.95	6.55
14.79	8.26	5.55	7.79	6.36	7.23

Peel Strength (December 2006)					
6.54	8.89	7.14	5.86	10.72	9.51
5.89	11.59	6.08	5.78	8.25	11.46
6.16	7.81	7.84	6.22	7.08	9.92
8.29	5.17	6.46	11.18	12.26	6.48
6.15	5.30	6.86	5.36	5.52	9.20
6.51	5.05	5.71	6.94	9.25	6.09
9.95	5.75	10.77	11.72	5.00	6.90
5.05	7.73	8.67	6.69	7.24	7.85
9.57	6.23	7.60	6.22	9.47	11.07
13.97	6.55	6.32	8.56	7.94	9.99
5.49	12.01	5.82	8.67	10.48	7.86
6.28	7.33	7.40	6.09	10.07	6.69
8.70	8.46	6.99	6.19	8.99	11.39
5.52	6.76	7.98	5.82	6.00	8.18
11.92	5.69	9.73	5.60	6.43	8.29
6.91	11.00	11.46	7.01	5.69	13.76
8.53	7.06	10.47	5.64	5.86	5.11
5.49	12.17	9.88	7.87	11.97	7.81
9.99	7.64	6.69	5.23	12.33	11.41
7.62	7.65	6.47	9.84	8.64	10.46

ตารางที่ ง.4 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นวงจรพิมพ์ หลังการปรับปรุงกระบวนการบ่ม
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

ความต้านทานไฟฟ้า (September 2006)					
2.27	2.03	1.88	2.73	1.63	2.35
2.21	3.12	2.84	2.59	2.93	2.16
2.96	2.76	2.20	3.18	2.28	2.56
1.93	2.67	3.20	2.53	2.17	2.31
1.91	2.52	2.34	2.22	3.25	3.30
3.07	1.56	2.17	2.84	2.64	1.49
2.47	3.19	1.54	3.07	1.98	1.68
2.95	2.67	2.85	2.67	2.19	2.54
1.59	2.98	2.03	3.81	1.68	1.21
1.55	3.14	2.93	1.77	3.15	3.80
2.00	1.97	3.06	2.80	2.60	2.93
2.99	1.97	2.95	3.13	1.90	2.13
2.42	2.95	3.70	2.42	2.37	3.02
2.33	1.54	2.38	3.03	2.30	1.86
2.06	1.63	3.04	2.77	2.25	2.81
1.82	3.17	1.92	2.38	3.18	2.23
2.84	3.09	1.41	3.15	2.93	1.97
3.13	2.83	3.35	2.12	2.53	2.06
1.67	1.89	1.58	1.98	2.73	3.15
2.55	1.34	2.69	3.11	3.43	2.55

ความต้านทานไฟฟ้า (October 2006)					
3.15	2.04	3.03	2.59	1.58	2.15
2.70	1.59	1.80	2.33	1.95	1.81
3.14	2.28	2.71	1.90	3.34	1.73
2.17	2.46	3.08	3.08	1.98	2.83
3.12	2.88	3.01	2.26	2.54	1.88
2.16	3.43	3.47	1.97	1.68	1.60
2.74	2.27	1.98	3.28	1.67	2.58
2.01	1.96	3.44	2.86	2.45	2.69
2.68	2.41	2.30	3.33	2.19	3.99
2.99	2.32	2.86	2.72	2.15	2.23
2.60	1.95	2.17	3.02	2.78	2.58
3.16	2.46	2.15	1.91	2.40	1.79
2.74	2.70	2.71	2.78	2.44	2.29
1.71	2.80	1.57	1.68	2.07	1.88
3.17	3.20	2.51	1.72	1.71	1.84
2.29	3.18	2.92	3.27	2.10	2.22
1.89	2.34	2.68	2.95	2.67	1.75
2.17	1.90	2.57	2.12	2.61	2.49
3.07	2.89	3.34	1.91	3.83	2.01
2.50	2.27	2.02	2.90	3.33	1.62

ตารางที่ ง.4(ต่อ) ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นวงจรพิมพ์ หลังการปรับปรุง
จากเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2549

ค่าความต้านทานไฟฟ้า (November 2006)					
2.01	3.18	3.01	1.90	1.65	2.77
3.35	1.69	2.67	1.53	2.94	2.70
3.39	3.09	3.26	2.75	2.14	3.02
2.70	2.40	2.24	2.56	1.88	2.11
1.71	1.66	2.08	2.23	2.62	2.49
3.09	2.18	1.73	2.77	1.85	3.12
1.78	2.59	3.04	2.37	1.88	2.79
3.40	2.10	1.62	2.56	2.21	2.92
2.23	3.29	2.52	2.98	2.97	2.54
3.38	2.37	2.36	2.45	3.55	2.09
2.88	3.09	2.76	1.55	2.24	1.15
2.76	2.40	2.20	1.66	3.22	1.54
1.60	3.24	2.23	3.16	2.75	2.05
2.62	2.62	1.99	3.29	2.67	1.76
2.40	2.89	3.37	1.79	2.94	1.97
2.79	2.00	2.49	2.59	3.26	3.02
3.25	3.08	3.09	2.94	2.26	2.51
3.20	2.47	1.58	2.35	2.03	1.28
1.53	2.82	2.78	3.89	2.95	3.14
1.73	2.95	2.76	1.69	3.01	2.58

ค่าความต้านทานไฟฟ้า (December 2006)					
1.77	3.13	2.37	1.96	3.23	3.02
2.94	2.41	3.12	3.18	1.52	2.71
2.62	1.56	3.59	1.89	3.02	1.84
2.98	2.40	3.19	3.52	2.32	2.91
2.40	3.36	3.53	1.88	2.89	2.01
3.51	3.26	1.76	1.53	2.00	2.00
2.08	2.41	2.81	3.05	2.81	3.25
3.27	3.05	3.07	2.26	2.40	2.12
2.88	2.11	3.19	2.89	2.79	2.25
3.41	2.82	3.45	1.61	2.33	2.10
3.34	2.63	3.03	2.21	3.05	2.08
3.06	3.26	1.81	3.24	1.71	2.12
2.43	2.47	2.87	2.38	2.03	2.14
2.23	1.83	1.61	3.09	2.49	2.54
2.17	2.82	2.84	2.34	2.79	2.18
2.70	3.48	2.76	1.87	3.25	2.08
3.33	2.21	1.92	1.61	1.99	3.08
1.59	2.59	2.39	1.71	1.81	2.95
2.18	3.38	1.91	3.23	3.12	2.43
2.41	1.88	2.70	2.54	3.11	2.32

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรรณรัตน์ จตุพรพรรณษา เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2520 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาจากวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปี พ.ศ. 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขา ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย