



**การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเรซิน ในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า  
เพื่อรองรับเทคโนโลยีการใช้สารทดแทนตะกั่ว**

**กิตติคุณ อภินันทนพงศ์**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรัม**

**พ.ศ. 2549**

**ISBN 974 – 671 – 509 - 7**

**The study of proper Resin 's temperature for Printed Circuit Board Fabrication to support  
Lead Free Soldering Technology**

**Kittikhun Apinuntanaphong**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
Department of Engineering Management  
Graduate School, Dhurakij Pundit University**

2006

เลขทะเบียน.....	0193123
วันลงทะเบียน.....	28 ก.พ. 2553
เลขเรียกหนังสือ.....	620.1994 ก 673 ก [2553] ก

ISBN 974 - 671 - 509 - 7



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์  
ปริญญา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเรซิน ในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า  
เพื่อรองรับเทคโนโลยีการใช้สารทดแทนตะกั่ว

เสนอโดย นายกิตติคุณ อภินันทนพวงศ์

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ไพฑูรย์ ช้อยิ่ง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์

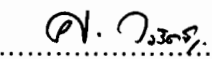
ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้ว

  
.....ประธานกรรมการ

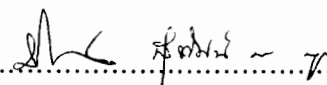
(ดร.รังสิต ศรีจิตติ)

  
.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผศ.ดร.ไพฑูรย์ ช้อยิ่ง)

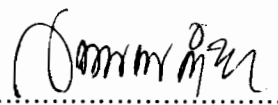
  
..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผศ.ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

  
..... กรรมการ

(ผศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผศ.ดร.สมศักดิ์ คำริชอบ)

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. .... ๒๕๖๕

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เนื่องจากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูรย์ ฮ้อยิ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาใช้เวลาอันมีค่าให้คำแนะนำ และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภรัชชัย วรรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ ดร. รังสิต ศรีจิตติ ที่ได้กรุณาใช้เวลาให้คำแนะนำทางวิชาการ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอขอบคุณ นางจิตรา และ เด็กชายนาวิน อภินันทพงษ์ ภรรยาและบุตรที่ให้ความรัก และเป็นกำลังใจอันยิ่งใหญ่แก่ผู้เขียนและขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว นอกจากนี้ขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ ทั้งหลาย เจ้าหน้าที่สาขาการจัดการทางวิศวกรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการติดต่อประสานงาน และขอขอบคุณผู้บริหาร บริษัท เอลเทค แอนด์ เอลเทค (ประเทศไทย) จำกัด ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลทางด้านเนื้อหากระบวนการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า ด้วยจิตตลอดมา

อนึ่ง หากวิทยานิพนธ์นี้มีคุณค่า และมีประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าของผู้สนใจ ผู้เขียนขออุทิศให้แก่บุพการี และผู้มีพระคุณทุกท่าน ส่วนความผิดพลาดและข้อบกพร่องใด ๆ ผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

กิตติคุณ อภินันทพงษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ม
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ซ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	7
1.3 ปัญหาที่คาดว่าจะพบของแผ่นวงจรไฟฟ้า.....	8
1.4 โรงงานที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย.....	8
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	9
1.6 ขอบเขตของการวิจัย.....	10
1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย.....	10
2 บททความวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
3 วิธีการวิจัย.....	16
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.2 ข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต แผ่นวงจรไฟฟ้า.....	17
4 ผลการศึกษาวิจัย.....	31
4.1 ข้อสรุปจากผลการทดสอบขั้นต้น.....	34
4.2 ข้อสรุปขั้นต้นจากการทดสอบโดยเครื่องมือ DSC Thermal Analysis.....	39
4.3 ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติ.....	41
5 สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	45
5.1 ข้อสรุปขั้นต้นจากการทดสอบโดยขบวนการ.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	47
บรรณานุกรม.....	49

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางการออกแบบการทดลองครั้งที่ 1.....	24
3.2 แสดงผลการทดสอบจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า.....	26
3.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิการทดลอง.....	27
3.4 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA.....	27
4.1 ตารางการออกแบบ ณ คุณสมบัติของเรซินปัจจุบันเพื่อยืนยันการทดสอบ.....	31
4.2 ผลการทดสอบรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ IST.....	32
4.3 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA.....	34
4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ย ในแต่ละอุณหภูมิ (เซลเซียส) การทดลอง.....	34
4.5 ตารางการออกแบบของอุณหภูมิการทดสอบที่คุณสมบัติต่าง ๆ.....	36
4.6 ตารางการออกแบบการทดลอง.....	39
4.7 ผลการทดสอบจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ในแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	40
4.8 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA.....	41
5.1 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนการผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าโดยเฉลี่ย.....	46

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยตะกั่ว.....	3
1.2 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยสารป้องกันการเกิดออกไซด์.....	4
1.3 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยวัสดุสีนุ๊ก.....	4
1.4 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเงิน.....	5
1.5 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยวัสดุทอง.....	5
1.6 ภาพรูปแบบการเชื่อมต่อพื้นฐานแสดงดังรูป.....	6
1.7 ภาพแสดงช่วงอุณหภูมิอุณหภูมิสูงสุดในทางปฏิบัติ ของสารบัดกรีแต่ละประเภท.....	7
1.8 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของเรซิน กับความเหมาะสมกับเทคโนโลยีแบบปราศจากตะกั่ว.....	8
1.9 ภาพแสดงโรงงานผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า และผลิตภัณฑ์ คือ แผ่นวงจรไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ จังหวัดปทุมธานี.....	9
2.1 ภาพแสดงตัวอย่างของปัญหาที่พบเจอจากการทดลองต่าง ๆ.....	14
3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเรซิน.....	17
3.2 ฉ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว.....	20
3.3 ฉ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน แตกเสียหาย.....	21
3.4 แสดงกระบวนการเคลือบเรซินบนเส้นใย.....	21
3.5 ภาพแสดงลักษณะของ โครงสร้างและส่วนประกอบของ แผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่นังรู.....	22
3.6 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบและขั้นตอนการทดสอบ.....	25
3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (เซลเซียส) กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า.....	28
3.8 แสดงการทดสอบเชิงทำลายโดยผ่าตรงบริเวณผ่นังรูเพื่อทำ การวิเคราะห์ของชิ้นงานดี.....	29
3.9 แสดงการทดสอบเชิงทำลายโดยผ่าตรงบริเวณผ่นังรูเพื่อทำ การวิเคราะห์ของชิ้นงานเสีย.....	29

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 กราฟ Box-Plot ระหว่าง จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า กับอุณหภูมิ (เซลเซียส) ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์.....	33
4.2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระหว่าง จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า กับอุณหภูมิ (เซลเซียส) ในการ ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์.....	33
4.3 แสดงภาพขยายตรงตำแหน่งที่เกิดการแตกร้าวตัวของรู.....	35
4.4 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 235 องศาเซลเซียส.....	37
4.5 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 260 องศาเซลเซียส.....	37
4.6 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการแตกเสียหาย (Td) ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 235 องศาเซลเซียส.....	38
4.7 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมี เริ่มมีการแตกเสียหาย (Td) ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 260 องศาเซลเซียส.....	38
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุคิปที่ใช้ กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า.....	41
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า.....	42
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า และวัสดุคิปที่ใช้.....	42
4.11 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ งานที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าที่ 6 รอบการทำงาน.....	43
4.12 กราฟแสดงค่าจำนวนรอบการผ่านค่าทดสอบทางไฟฟ้าของแต่ละกลุ่มการออกแบบของคุณสมบัติของเรซิน.....	44



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเรซิน ในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า เพื่อรองรับเทคโนโลยีการใช้สารทดแทนตะกั่ว
ชื่อผู้เขียน	กิตติคุณ อภินันทพงษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูรย์ อ้อยยิ่ง
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2549

### บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบัน หลาย ๆ องค์กร ในบางประเทศได้คำนึงถึง เรื่อง การจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อป้องกันและควบคุมไม่ให้ขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งก่อผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและมีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศของโลก จนยากต่อการแก้ไข ดังนั้นเพื่อเป็นการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม จึง ได้เกิดแนวคิดในการเลิกใช้สารเคมี หรือวัตถุ ที่เป็นอันตรายต่อ สิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเรซิน ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า เพื่อให้มีความสามารถในการคงทนต่อการใช้งานในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้น เนื่องจากการเลิกใช้สารตะกั่วในสารบัดกรี เพื่อรองรับต่อความต้องการในการควบคุมสารเคมีที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาโดยใช้วัตถุดิบจากทั้งที่ผลิตในบริษัท เอลเลค แอนด์ เอลเทค (ประเทศไทย) จำกัด และจากโรงงานอื่น ๆ เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเรซิน และทำการทดสอบตัวชิ้นงานทดสอบ ด้วยการทดสอบทางไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์เชิงทำลาย เพื่อตรวจสอบคุณภาพชิ้นส่วนโดยเครื่องมือจากบริษัทข้างต้น ว่ามีการแตกเสียหายหรือรอยร้าวตรงตำแหน่งที่มีความเสี่ยงต่อคุณภาพของชิ้นงาน หรือไม่ โดยทำการศึกษา 2 คุณสมบัติหลักของเรซิน คือ 1) ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่พันธะเคมีเกิดการแตกเสียหายของเรซิน (Td) 2) ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาที่มีผลโดยตรงต่อความคงทนของแผ่นวงจรไฟฟ้า ต่อการใช้งานที่อุณหภูมิในการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้นจากเดิมที่ 210-235 องศาเซลเซียส เป็น 240-260 องศาเซลเซียส คือ ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่พันธะเคมีเกิดการแตกเสียหายของเรซิน (Td) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และในส่วนของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) อาจกล่าวได้ว่ามีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ เท่ากับปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่พันธะเคมีของเรซินเกิดการแตกเสียหาย.

Thesis Title            The study proper of resin 's temperature for printed circuit board fabrication to support lead free soldering technology.

Author                    Kittikhun Apinuntanaphong

Thesis Advisor         Assistant Professor Paitoon Howying, Ph.D.

Department             Engineering Management

Academic Year         2006

### ABSTRACT

Regarding to many organizations and countries had some discussion regarding how to control Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipments or RoHS to prevent those of waste electrical consumer products rapidly increasing and affected to environment. Thus, to be save the environment, the idea to stop using any hazardous chemical or substances which is harmful to the environment is created then.

The objective of this thesis is to study proper temperature of resin which mainly raw material for printed circuit board fabrication to increase product reliability when use higher temperature at assembly site due to stop using lead material in solder paste material in order to cope of this stop using any hazardous chemical which affected to environment.

Regarding to the study result of both in-house raw materials and raw materials from other out-source/suppliers to find the proper of resin temperature as target and then test with test coupon specimens by electrical test equipment and performed cross section analysis to inspect risk area with may affected to product quality. 2 major factors are studied ; 1) decomposition temperature (Td) and glass transition temperature (Tg). From the study was shown that decomposition temperature at 350 Celsius is able to more reliable both product quality and reliability when use higher temperature at assembly process from 210-235 Celsius to 240-260 Celsius and glass transition temperature is not significant like as decomposition temperature as well.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อวันที่ 27 มกราคม 2546 สหภาพยุโรปได้ประกาศใช้ระเบียบว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment หรือ RoHS) เพื่อป้องกันไม่ให้ขยะไฮเทคที่เพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วในสหภาพยุโรป ก่อผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมจนยากต่อการแก้ไข เพื่อให้การจัดการซากเครื่องใช้ที่หมดอายุทำได้ง่ายและปลอดภัยยิ่งขึ้น ระเบียบนี้จะมีผลทำให้สินค้าเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ที่จะส่งเข้าไปในประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป หลังวันที่ 1 กรกฎาคม 2549 ต้องปลอดจากสารต้องห้าม 6 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว, ปรอท, แคดเมียม, โครเมียม-เฮกซะวาเลนต์ (Cr-VI), โพลีโบรมิเนทไบฟีนิล (Poly Brominated Biphenyls-PBB) และ โพลีโบรมิเนท ไดฟีนิล อีเทอร์ (Poly Brominated Diphenyl Ethers-PBDE) ในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในความหมายของระเบียบ RoHS หมายถึง เครื่องใช้ที่ต้องอาศัยกระแสไฟฟ้า หรือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการทำงานอย่างถูกต้อง และเครื่องใช้สำหรับกำเนิดส่งผ่าน และวัดกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้างกล่าว

นอกเหนือจากความต้องการข้างต้น ของตลาดสหภาพยุโรปแล้ว หลาย ๆ ประเทศทั้งทางเอเชีย หรือทางไซเบอร์อเมริกา รวมทั้งประเทศไทยเองก็ตาม ก็มีการกล่าวถึงความเป็นมิตรของสารเคมีที่ใช้งานต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนุรักษ์ และดูแลสิ่งแวดล้อม และหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีที่ทำลายชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีผลโดยตรงกับมนุษย์ ในส่วนของบริษัทที่ผู้วิจัยทำการศึกษาก็ตระหนักถึงเรื่องนี้เช่นเดียวกัน เพราะมีผลโดยตรงต่อพนักงาน ผู้ดูแลการผลิต จึงได้มีการศึกษา โดยร่วมกับผู้ส่งมอบวัตถุดิบ โดยการหาสารมาทดแทนสารตะกั่ว เพื่อจัดเตรียมเครื่องจักร พื้นที่วางเครื่องจักรในโรงงานผลิต และการนำเสนอต่อลูกค้า ทั้งในแง่ของการทดสอบเชิงคุณภาพ ราคา และขั้นตอนการผลิต แต่เนื่องจากต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างแตกต่างกันอย่างชัดเจน และระยะเวลาในการผลิตที่ยาวนานขึ้น จึงเป็นเหตุผลอันหนึ่งที่ยังไม่สามารถยกเลิกการใช้สารตะกั่วได้อย่างถาวร อีกทั้งยังคงมีบางลูกค้าไม่เชื่อมั่นต่อสารทดแทนสารตะกั่ว ดังนั้นจึงยังคงมีคำสั่งการสั่งซื้อแผ่นวงจรไฟฟ้าด้วยตะกั่วเป็นจำนวนมาก

เนื่องจาก ตลาดทาง สหภาพยุโรป เป็นตลาดเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญของ ไทย ระเบียบนี้จึงส่งผลทำให้ผู้ผลิตต้องปรับปรุงผลิตภัณฑ์ก่อนข้างมาก โดยทั่วไปการแก้ไข ปัญหา หรือปรับปรุงประสิทธิภาพ การออกแบบ และ / หรือการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ามีแนวปฏิบัติหลัก 4 แนวทางคือ

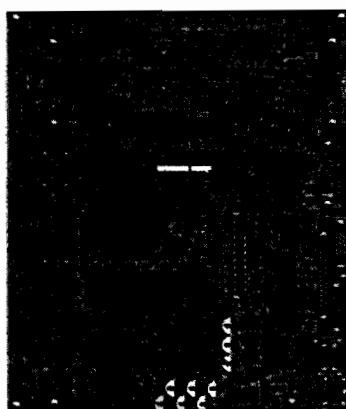
1. การแก้ปัญหาโดยใช้เทคโนโลยีวัสดุ
2. การแก้ปัญหาโดยการปรับปรุงการออกแบบชิ้นส่วน
3. การแก้ปัญหาโดยการปรับปรุงวิธีการผลิต และ
4. การแก้ปัญหาโดยการปรับปรุง/เปลี่ยนแนวคิดในการออกแบบตัวผลิตภัณฑ์

เครื่องใช้ หรือวงจร เพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์เดิมโดยวิธีใหม่ ๆ หรือผลลัพธ์ใหม่ที่ดีกว่าเดิม วิธีการแทนที่วัสดุ ให้ชิ้นส่วนที่มีลักษณะใกล้เคียงชิ้นส่วนเดิม น่าจะเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวผลิตภัณฑ์การเปลี่ยนแปลงภายในผลิตภัณฑ์ต้องไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง คุณภาพที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่

1. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ สมรรถนะ ประสิทธิภาพ ขีดความสามารถและการทำงานของผลิตภัณฑ์
2. มาตรฐานความปลอดภัย เช่น การทนไฟ การทนไฟกระชาก การทำงานในภาวะผิดปกติ เป็นต้น
3. สมรรถนะอื่น ๆ เช่น ทางความร้อน ทางกล ทางเคมี และทางโครงสร้าง
4. ความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ เช่น เสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นรอบ (ร้อน-เย็น) การทนความล้า การทนต่อความชื้น เป็นต้น

จากสารดังกล่าววัตถุดิบทั้ง 6 ชนิด ที่กล่าวถึง ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า (Printed Circuit Board, PCB) มีเพียง สารตะกั่ว เท่านั้นที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีการเคลือบผิวลายวงจรไฟฟ้าด้วยสารตะกั่ว หรือ ด้วยวิธี Hot Air Solder Coat Leveling วิธีนี้เป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมาก เพราะมีต้นทุนการผลิตที่ถูกลง การผลิตทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ และยังช่วยให้อายุการใช้งานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้ง่ายขึ้น โดยปกติ จะทำการผลิตเป็นชั้นคอนสตรัคชั่นด้วยชั้นคอนที่ไม่วุ่นวาย เพียงแค่นำแผ่นวงจรไฟฟ้า ไปชุบขั้วบ่อ ฟลักซ์ และบ่อตะกั่วที่ควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ชุบ ในชั้นคอนที่นำแผ่นวงจรไฟฟ้า ขึ้นจากบ่อตะกั่ว ก็จะมีการพ่นลมร้อนเข้าไปทั้งสองด้าน เพื่อรีดตะกั่วส่วนเกินออกไปจากแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เราทำอยู่ ความดันและอุณหภูมิ

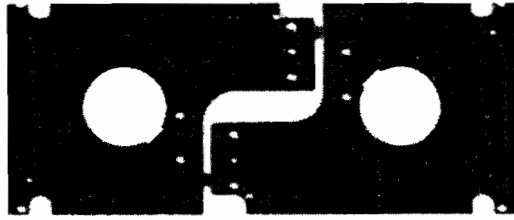
ประกอบกับอัตราโยกขึ้นลงของแผ่นวงจรไฟฟ้า จะเป็นตัวกำหนดความหนา และความสมบูรณ์ของการเคลือบตะกั่ว แล้วจึงนำไปสู่กระบวนการล้าง เพื่อล้างคราบ ฟลักซ์ และสิ่งสกปรกออกจนหมด โดยปกติทั่ว ๆ ไปในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ จะใช้โลหะดีบุกผสมกับตะกั่ว ในอัตราส่วน 63 : 37 หรือ 60 : 40 ขึ้นกับผู้ผลิต และความต้องการของผู้ใช้งาน จากข้อมูล ณ บริษัทที่ทำการศึกษาวิจัย พบว่าประมาณ 86% ของคำสั่งซื้อ ยังคงใช้ตะกั่วเป็นสารเคลือบลายวงจร ดังภาพ ที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ภาพแสดงตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยตะกั่ว

ซึ่งกระบวนการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า สามารถแก้ปัญหาโดยใช้วัสดุหรือกระบวนการอื่น ๆ ทดแทน โดยเปลี่ยนเป็นผิวที่เคลือบจากวัสดุตะกั่ว เป็นสารเคลือบอย่างอื่น ๆ คือ

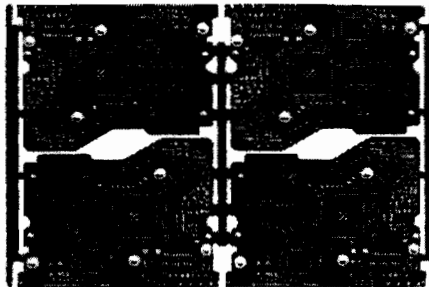
1. เคลือบด้วยสารป้องกันการเกิดออกไซด์ (OSP, Organic Surface Preservation) เป็นที่ยอมรับและตอบสนองด้วยดีจากผู้ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพราะมีผิวเคลือบที่มีความหนาสม่ำเสมอ แต่มีราคาแพงขึ้นจากการใช้ตะกั่วประมาณ เกือบ 10% และมีข้อจำกัดเรื่องของอุณหภูมิในการจัดเก็บและอายุการใช้งานที่สั้นลง เพราะสารที่เคลือบผิวจะเริ่มเสื่อมสภาพลง ทำให้มีผลต่อการบัดกรีเมื่อเทียบกับผิวเคลือบด้วยตะกั่ว จากข้อมูล ณ บริษัทที่ทำการศึกษาวิจัย พบว่าประมาณ 10% ของคำสั่งซื้อจากลูกค้าเป็นสารเคลือบป้องกันการเกิดออกไซด์ ดังภาพที่ 1.2 และโดยมากจะเป็นผู้สั่งซื้อจากลูกค้าประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ 1.2 ภาพแสดงตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยสารป้องกันการเกิดออกไซด์

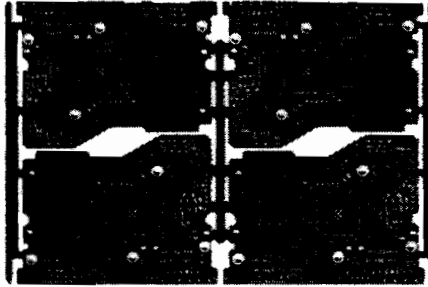
ส่วนวิธีการเคลือบด้วยดีบุก, เงิน และทอง จะมีกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน ต่างกันแค่สารเคมีที่นำมาใช้ ในส่วนของผิวชิ้นงาน ก็มีความเรียบที่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกัน แต่มีอายุการเก็บรักษาก่อนนำไปประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ยาวนานกว่าสารเคลือบป้องกันการเกิดออกไซด์ โดยสารที่เคลือบด้วยทองจะมีราคาแพงประมาณ 20% เมื่อเทียบกับตะกั่ว โดยรองลงมาคือสารเคลือบด้วยเงินและดีบุก อยู่ที่ประมาณ 15% เมื่อเทียบกับตะกั่ว โดยจากข้อมูล ณ บริษัทที่ทำการศึกษาวิจัย พบว่าประมาณแค่ 4% ของคำสั่งซื้อ เท่านั้นที่มีคำสั่งซื้อ สารเคลือบดีบุก, เงิน และทอง ดังแสดงโดยภาพที่ 1.3, 1.4 และ 1.5

## 2. เคลือบด้วยวัสดุดีบุก (Immersion Tin Surface Finishing)



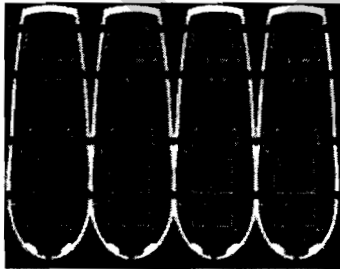
ภาพที่ 1.3 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยวัสดุดีบุก

### 3. เคลือบด้วยเงิน (Immersion Silver Surface Finishing)



ภาพที่ 1.4 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยวัสดุเงิน

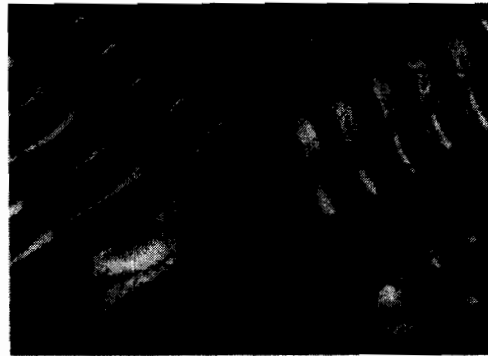
### 4. เคลือบด้วยทอง (Immersion Gold Surface Finishing)



ภาพที่ 1.5 ภาพตัวอย่างแผ่นวงจรไฟฟ้าที่เคลือบผิวด้วยวัสดุทอง

ซึ่งการทดแทนสารตะกั่วในส่วนการผลิตของแผ่นวงจรไฟฟ้า สามารถทำได้โดยใช้สารเคลือบการเกิดออกไซด์, เงิน, ดีบุก และทอง แต่การทดแทนที่เป็นปัญหาใหญ่ในปัจจุบัน และไม่ได้รับการยกเว้น และอยู่ภายใต้การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และเป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมต่อวงจรบนแผงวงจรไฟฟ้ากับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังแสดงโดยภาพที่ 1.6 คือ

1. แผ่นวงจรไฟฟ้า
2. ตัวชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
3. สารบัดกรี ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่าง ตัวชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และตัวนำวงจรไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์ไฟฟ้า



ตัวขึ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

แผ่นวงจรไฟฟ้า

สารบัคกรี

ภาพที่ 1.6 ภาพรูปแบบการเชื่อมต่อพื้นฐานแสดงคังรูป

ซึ่งในส่วนของการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ตะกั่วได้โดยการใช้วัสดุทดแทน เช่น ทอง คีบุก เงิน แทน แต่ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องหาวัสดุทดแทน แทนสารบัคกรีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีส่วนผสมของ คีบุก และตะกั่ว ซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนเป็นส่วนผสมของคีบุก เงิน และทองแดง แทน ซึ่งทำให้ อุณหภูมิสูงสุดในทางปฏิบัติของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนไป

หน้าที่หลักของสารบัคกรี คือ ให้การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างตัวขึ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และตัวนำวงจรไฟฟ้าบนแผ่นวงจรพิมพ์โดยไม่ทำให้ชิ้นส่วนหรือแผ่นวงจรพิมพ์เสียหาย การบัคกรีเป็นการให้ความร้อนเพื่อหลอมละลายสารบัคกรีซึ่งเป็นโลหะ อั่นลอยที่มีจุดหลอมเหลวต่ำและความนำไฟฟ้าสูง ในระหว่างขึ้นส่วนและตัวนำบนแผ่นวงจรพิมพ์

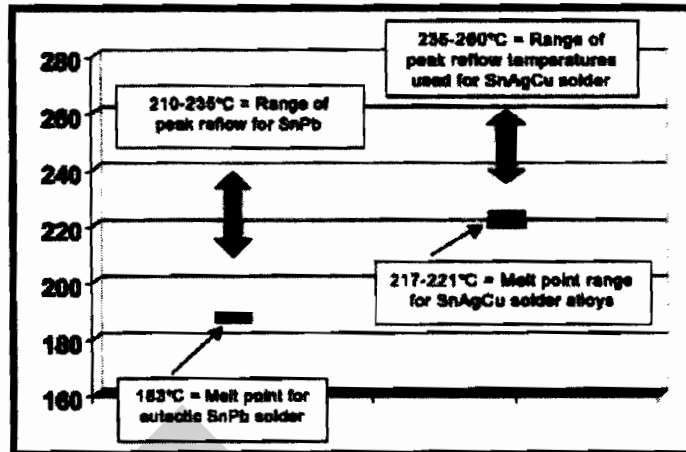
#### อุณหภูมิสูงสุดในทางปฏิบัติการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่ติดบนแผ่นวงจรมีรูปร่างขนาด และวัสดุแตกต่างกัน จึงมีมวลความร้อนที่แตกต่างกันเมื่อให้ความร้อนกับแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อทำการบัคกรีบริเวณที่มีชิ้นส่วนขนาดเล็ก หรือมีมวลความร้อนต่ำ จะร้อนเร็วกว่าบริเวณที่มีมวลสูงกว่า ในทางปฏิบัติจึงต้องให้ความร้อนสูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารบัคกรี เพื่อให้มั่นใจว่าสารบัคกรีสามารถหลอมละลายได้อย่างสมบูรณ์บนจุดทุกจุดบนแผ่นวงจรที่ต้องการตามปกติอุณหภูมิที่ใช้จริงในทางปฏิบัติ

1. กระบวนการสำหรับสารบัคกรี ที่มีส่วนผสมของคีบุกและตะกั่ว ส่วนใหญ่ตั้งอุณหภูมิสูงสุดที่ประมาณ 210 – 235 องศาเซลเซียส

2. กระบวนการสำหรับสารบัคกรี ที่มีส่วนผสมของคีบุก เงิน และทองแดง ส่วนใหญ่ตั้งอุณหภูมิสูงสุดที่ประมาณ 235-260 องศาเซลเซียส





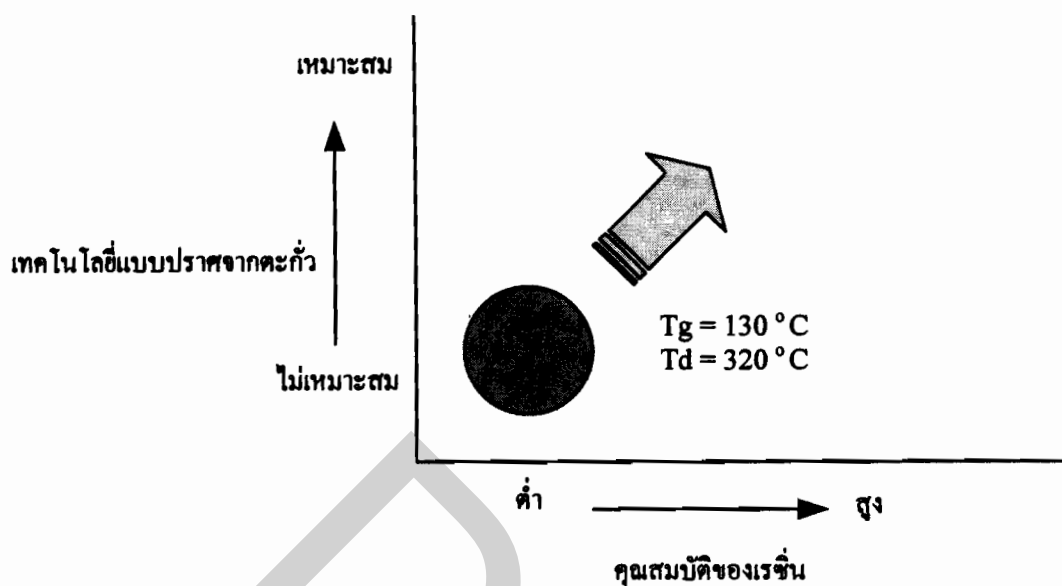
ภาพที่ 1.7 ภาพแสดงช่วงอุณหภูมิอุณหภูมิสูงสุดในทางปฏิบัติของสารบัดกรีแต่ละประเภท

ซึ่งในปัจจุบันชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์บางชนิด หรือแม้กระทั่งแผ่นวงจรไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่สามารถทนอุณหภูมิที่สูงระดับนี้ได้ ซึ่งโดยรวมแล้วการเปลี่ยนมาใช้สารบัดกรีไร้สารตะกั่วในปัจจุบันเป็นสิ่งที่สามารถทำได้ หากแต่ในทางปฏิบัติยังจำเป็นต้องมีการปรับโครงสร้างการผลิตหรือวัตถุดิบที่ในการผลิต เพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ อย่างต่อเนื่อง โดยวัตถุประสงค์ คือ การเลิกใช้สารเคมี ที่มีผลทำลายต่อสิ่งแวดล้อมและชั้นบรรยากาศของโลก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อหาปัจจัยอุณหภูมิที่เหมาะสมของตัวเรซิน ซึ่งใช้ในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้าเพื่อรองรับเทคโนโลยีในการผลิต โดยการใช้สารทดแทนตะกั่ว ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิในการประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้น

1.2.2 เพื่อทำการทดสอบแผ่นวงจรไฟฟ้า หลังจากที่สามารถหาคุณสมบัติที่เหมาะสมของเรซินที่พัฒนาแล้วกับกระบวนการประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 1.8 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของเรซิน กับ ความเหมาะสมกับเทคโนโลยีแบบปราศจากตะกั่ว

### 1.3 ปัญหาที่คาดว่าจะพบของแผ่นวงจรไฟฟ้า

1.3.1 การโค้งงอของแผ่นงานเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น

1.3.2 การผ่านชั้นคอนที่มีอุณหภูมิสูง หลายรอบ

1.3.2.1 การแตก หรือเกิดรอยร้าว ตรงตำแหน่งผนังรู ทำให้มีผลต่อการใช้งาน

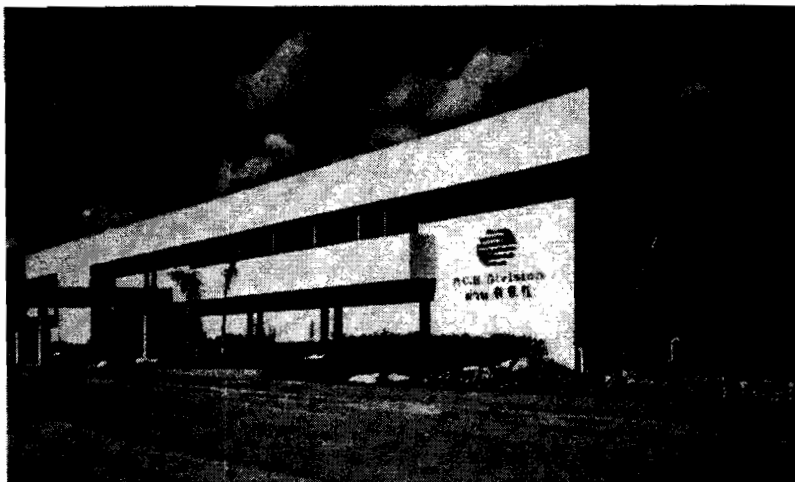
1.3.2.2 การทนความร้อนของชั้นผิวเคลือบ

1.3.3 การขีด/หุด ตัวหลายครั้งของแผ่นวงจรไฟฟ้า อาจทำให้ทองแดงที่เคลือบที่ชั้นผนังรูของแผ่นวงจรไฟฟ้าเสียหายได้

### 1.4 โรงงานที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย

1.4.1 โรงงานผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า

ผลิตภัณฑ์ คือ แผ่นวงจรไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์



**ภาพที่ 1.9** ภาพแสดงโรงงานผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า และผลิตภัณฑ์ คือ แผ่นวงจรไฟฟ้า สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ จังหวัดปทุมธานี

#### 1.4.2 โรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

#### 1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.1 เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมคำนวณเชิงสถิติ

1.5.2 เครื่องให้ความร้อนสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Re-flow Soldering)

1.5.3 เครื่องมือทดสอบทางไฟฟ้า (IST equipment) อุปกรณ์ในห้องทดลอง เช่น

Thermomechanical analysis (TMA), Differential Scanning Calorie.

1.5.4 เครื่องมือในการทดสอบเชิงทำลาย (Cross Section Equipment)

1.5.5 เครื่องมือในการวัดอุณหภูมิและบันทึกผลลัพธ์

#### 1.6 ขอบเขตของการวิจัย

1.6.1. เป็นการพัฒนาโดยมุ่งเน้นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า คือเรซิน โดยมุ่งเน้นที่การศึกษาคุณสมบัติ 2 คุณสมบัติหลักของเรซิน และผลลัพธ์ คือ จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า รวมถึงการวิเคราะห์เชิงทำลาย เพื่อทำการยืนยันผลการทดสอบ โดยที่ 2 คุณสมบัติหลักของเรซิน ที่ทำการศึกษา คือ

1.6.1.1 Glass Transition Temperature (T<sub>g</sub>) คือ ณ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว

1.6.1.2 Decomposition Temperature (T<sub>d</sub>) คือ ณ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน แตกเสียหาย

1.6.2 สร้างและใช้ชิ้นงานทดสอบโดยออกแบบตามมาตรฐาน ในการทดสอบและวัดผลลัพธ์ โดยอ้างอิงมาตรฐานตาม IPC STANDARD

1.6.3 ใช้โปรแกรมเชิงสถิติ เพื่อคำนวณผลลัพธ์ วิเคราะห์ผลการทดสอบ และแสดงนัยสำคัญในแต่ละปัจจัยที่เลือกมาของการออกแบบในเชิงสถิติ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

1.6.4 เกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบ และขั้นตอน อ้างอิงจากมาตรฐานตาม IPC STANDARD โดยการป้อนกระแสตรงไปยังชิ้นงานโดยควบคุมค่ากระแส และให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 150 +/- 2 °C เป็นเวลา 3 นาที ที่ค่าผิดพลาด +2, -0 วินาที และปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 นาที ที่ค่าผิดพลาด +2, -0 วินาที โดยทำการตั้งค่าที่เครื่องมือ IST

1.6.5 ผลลัพธ์ ของจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้ในรอบการทดสอบร้อน และเย็นต้องดีขึ้นอย่างน้อย 5% จากเดิม ของคุณสมบัติที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันที่ ณ อุณหภูมิของเรซิน ที่เริ่มมีการเคลื่อนไหว 130 องศาเซลเซียส และ ณ อุณหภูมิของเรซิน ที่แตกเสียหายที่ 320 องศาเซลเซียส

## 1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.7.1 สามารถนำเอาคุณสมบัติใหม่ของเรซินที่ผ่านการทดสอบและพัฒนาแล้ว ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงได้ ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป เพื่อศึกษาถึงต้นทุนในการผลิต และการศึกษาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ

1.7.2 เพิ่มความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ เช่น เสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นรอบการทำงาน (ร้อน-เย็น) และยังส่งผลทำให้คุณภาพของชิ้นงานเป็นไปตามทางด้านคุณภาพสู่มาตรฐานสากล เป็นต้น

1.7.3 ประหยัดค่าใช้จ่ายจากการที่ต้องซื้อวัตถุดิบที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยไม่มีความจำเป็น และยังเป็นการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาด้าน อื่น ๆ ต่อไป

1.7.4 เป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ เพื่อนำไปศึกษาเพิ่มเติม ในการปรับปรุง กระบวนการ

ผลิต การหาวัตถุดิบ ที่มีต้นทุนที่เหมาะสม และเหมาะต่อการใช้งานในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

1.7.5 เป็นต้นแบบ หรือแนวทาง ในการค้นคว้าวิจัย เรื่องของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม กับ สารเคมีที่เกี่ยวข้อง และเปรียบเทียบ ในแง่ของต้นทุนการผลิต และการใช้พลังงานในการทำงาน

## บทที่ 2

### บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**Douglas Leys and Steven P. Schaefer\* Park Electrochemical Corp (2001)**

เสนอแนวคิดและการทดสอบของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเรซิน เมื่อผ่านอุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้นเดิมจากปัจจุบัน โดยการนำชิ้นงานจริง คุณสมบัติใช้อยู่ปัจจุบัน โดยที่ไม่มีการปรับปรุงแก้ไข แล้วทำการผ่านการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นจากเดิม ประมาณ 255 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้สารบัดกรีตัวใหม่ ซึ่งเป็นสารที่นำมาทดแทนการใช้ตะกั่ว แล้วนำชิ้นงานนั้น ๆ มาทำการทดสอบแบบทำลาย เพื่อตรวจสอบสภาพของชั้นทองแดงที่บริเวณผนังรู เพื่อดูหลังจากมีการใช้อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นตัวเรซินเองหรือทองแดงที่ตรงผนังรูมีการแตกเสียหายหรือร่อนร้าวหรือไม่ ผลการทดสอบชิ้นค้นพบว่าการแตกเสียหาย แต่ความรุนแรงของปัญหาไม่เกิดขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์พบว่าเป็น แคบางชิ้นงานเท่านั้น ในบางตำแหน่งเท่านั้น แต่ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดในปรับปรุง หรือการพัฒนากระบวนการผลิต

**Robert Demaree (2001)**

เสนอแนวคิดการใช้วัสดุเรซินอีกรูปแบบ ซึ่งแตกต่างโดยสิ้นเชิง และมีราคาที่สูงมาก ยังไม่เป็นที่ยอมรับของวงการอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า ฮาโลเจน ฟรี แมคทีเลียส (Halogen Free material) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนรูปแบบของวัสดุเรซินโดยสิ้นเชิงทั้งทางด้านโครงสร้างทางโมเลกุล วัสดุที่ใช้ผสม และมีราคาที่สูงมาก ไม่เป็นที่ยอมรับของตลาดอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นวัสดุที่ ถูกพัฒนาเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารบางชนิดที่มีอันตรายต่อผู้ทำการผลิต และก่อนมกลายเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (ไม่มีการระบุสารดังกล่าว เพราะเป็นข้อมูลลับของผู้ผลิตเอง) โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้นจากเดิม ประมาณ 260 องศาเซลเซียส จากการทดสอบในห้องทดลอง และมีการทำการทดสอบจริง ที่โรงงานผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า แห่งหนึ่ง และโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แห่งหนึ่งเช่นเดียวกัน (ไม่มีการระบุชื่อของโรงงาน ช้างต้น) ซึ่งผลการทดสอบจากเครื่องมือ IST พบว่า รอบจำนวนการผ่าน

ทางไฟฟ้า นั้นเทียบเท่ากับ ชิงงาน ณ คุณสมบัติปัจจุบัน ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ ประมาณ 235 องศาเซลเซียส

**Matt Kelly, Quyen Chu and Jasbir Bath (2002)**

เสนอแนวคิด และการทดสอบของกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ ที่ต้องใช้ อุณหภูมิที่สูงขึ้น รวมทั้งการทำงานซ้ำ ๆ เป็นจำนวนหลาย ๆ ครั้ง เนื่องจากมีปัญหว่า บางจุดของ ชิ้นงานบนแผ่นวงจรไฟฟ้า กับอุปกรณ์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ บางตัว ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดทาง คุณภาพ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพของแผ่นวงจรไฟฟ้า ทำให้มีผลต่ออายุการใช้งาน และ ไม่เสถียร ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติบางตัวของชิ้นส่วนแผ่นวงจรไฟฟ้า เพื่อรองรับต่อ อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้น ซึ่งไม่ได้เสนอแนวทางใดๆ ในการ แก้ปัญหา แต่เป็นบทความว่าเจอปัญหาเท่านั้น

**Mark Cannon (2003)**

เสนอขั้นตอนการศึกษาของทั้งกระบวนการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า และกระบวนการ ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยขั้นตอนของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า กล่าวถึงในขั้น ตอนกระบวนการอัดร้อน (Lamination) และกระบวนการ อบเพื่อให้แผ่นงานคือแผ่นวงจรไฟฟ้า มี ความเสถียรมากยิ่งขึ้น และเป็นการลด ความเค้นในชิ้นงาน เพื่อลดการบิด งอ โค้งของแผ่นวงจรไฟ ฟ้า และกล่าวถึง วัสดุชิ้นส่วนซึ่งใช้ในการผลิตคู่ให้ความร้อนในขั้นตอนกระบวนการผลิตแผ่นวง จรไฟฟ้า และในขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากค่าการใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบ วัสดุที่ใช้ เพื่อให้มีความทนทานต่ออุณหภูมิการใช้งานที่สูงขึ้น เพื่อสู่ขั้นตอนการนำไปใช้งานจริงของการใช้สารทดแทนตะกั่ว โดยกล่าวถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เครื่องจักรในกระบวนการอัดร้อน (Lamination) วัสดุที่ใช้ในการผลิต ตัวแปร หรือขั้น ตอนที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ซึ่งเป็นการเตรียมการสู่ขั้นตอนการใช้สารทดแทนตะกั่ว แทนสารตะกั่ว ใน กระบวนการปัจจุบัน

**Ulrich Zimmer and Bill Birch (2003)**

กล่าวถึงการปรับปรุงคุณสมบัติของเรซิน โดยการแก้ไข ปรับปรุงในกระบวนการให้ ความร้อนและการอัด (Lamination) โดย การปรับค่าอุณหภูมิความร้อน ความดัน และเวลาให้ สอดคล้อง กับการไหล ของเรซินเมื่อโดนความร้อน เพื่อทำให้การยึดเกาะของพันธะของโครงสร้าง

เรซินแข็งแรง โดยสม่ำเสมอโดยทั่วทั้งแผ่นชิ้นงาน เพื่อลดการขยายตัวในแนวแกนตั้ง หรือลดการยืดหดตัวของเรซิน เพื่อลดความเสียหายของทองแดงที่เกาะยึดที่บริเวณผนังรู และส่วนอื่นๆ ผลการทดสอบ ให้ผลที่ดีขึ้นในระดับหนึ่ง แต่ชิ้นงานที่ออกมาจะมีความเสถียร ไม่เท่ากันทุกจุด แต่เนื่องจากมีข้อจำกัด บางประการ ในแง่ความสามารถในการผลิต ของเครื่องจักร ณ ปัจจุบันยังมีข้อจำกัด บางอย่างที่ไม่สามารถทำให้การกระจายตัวของความร้อนได้เท่ากันทุกจุด ที่เวลาเดียวกัน จึงทำให้พันธะทางเคมีของเรซินมีความแข็งแรง ไม่เท่ากันทุกจุด และไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ผลการทดสอบ ยังมีความเชื่อมั่นไม่ 100 เปอร์เซ็นต์

#### Ronald DePace and Wenne Chen (2003)

กล่าวถึงการทดสอบโดยการใช้อุณหภูมิที่ 210 – 235 องศาเซลเซียสในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ กับสารทดแทนสารตะกั่ว ซึ่งความเป็นจริงตามข้อมูลของเอกสารของสารทดแทนสารตะกั่ว ต้องใช้อุณหภูมิในการผลิตที่ 240 – 260 องศาเซลเซียส โดยทำการตรวจสอบอย่างเข้มงวด แต่ผลการทดสอบคือ ตัวชิ้นงานจะมีปัญหาทางด้าน คุณภาพ ดังรูป

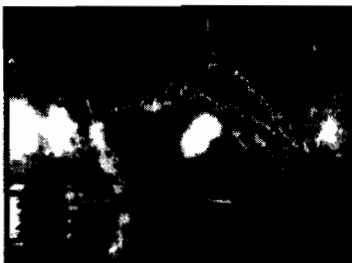


FIGURE 4: Flux residue under package.

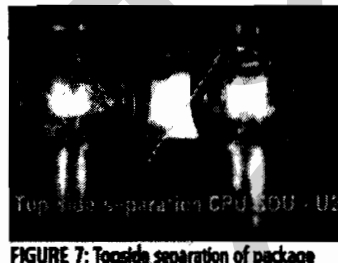


FIGURE 7: Topside separation of package and ball.

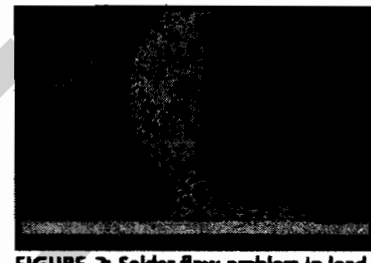


FIGURE 2: Solder flow problem in lead-free joint (Courtesy Zollner).

#### ภาพที่ 2.1 ภาพแสดงตัวอย่างของปัญหาที่พบเจอจากการทดลองต่าง ๆ

ปัญหาที่พบบ่อยหลังจากประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่พบหลังทำการตรวจสอบด้วยกล้องกำลังขยายสูง คือ

1. คราบของ ฟลักซ์ ปะการกที่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะด้านล่าง หรือใต้ห้องของอุปกรณ์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดปัญหาการทำงาน หรือการ ใช้งานในอนาคต
2. เกิดการแยกชั้นระหว่างสารบัดกรี กับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ หรือ สารบัดกรีกับแผ่นวงจรไฟฟ้า ซึ่งทำให้ความเสถียรของชิ้นงาน ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และอาจทำให้เกิดปัญหาด้านฟังก์ชันการทำงานผิดแผกจากการออกแบบ และไม่มีเสถียร ใช้งาน ติด ๆ ดับ ๆ



3. พบปัญหาฟองอากาศ เล็ก ๆ ในสารบัดกรี ซึ่งทำให้การซึบเกาะระหว่างชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ กับแผ่นวงจรไฟฟ้า ไม่แน่นพอและอาจทำให้หลุดหล่นได้ง่าย ซึ่งเมื่อเทียบกับสารบัดกรีปัจจุบัน จะไม่พบปัญหาฟองอากาศ เล็ก ๆ ดังกล่าวเลย

DPU

## บทที่ 3

### วิธีการวิจัย

#### 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตของทั้งโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้า และโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งวัตถุดิบ และ ขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรที่ใช้งาน

3.1.2 ทำการทดสอบทางไฟฟ้า และทดสอบเชิงทำลาย เบื้องต้นเพื่อตรวจสอบสภาพของแผงรูป โดยใช้คุณสมบัติ ณ ปัจจุบันของเรซิน ที่ ณ อุณหภูมิที่ทำให้โมเลกุลของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) 130 องศาเซลเซียส และ ณ อุณหภูมิที่ทำให้โมเลกุลของเรซิน เริ่มแตกเสียหาย (Td) 320 องศาเซลเซียส กับ อุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 210, 235, 240 และ 260 องศาเซลเซียส เพื่อยืนยันว่า ณ อุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่สูงขึ้นจะมีผลกับชิ้นงานทดสอบหรือไม่

3.1.3 ทำการปรับคุณสมบัติของเรซิน พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติขั้นต้น ในห้องทดลอง

3.1.4 ออกแบบการทดลอง โดยใช้เรซินที่ผ่านการปรับปรุง หลากหลายชนิด

3.1.5 ทำการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า ตามการออกแบบในหัวข้อ 3

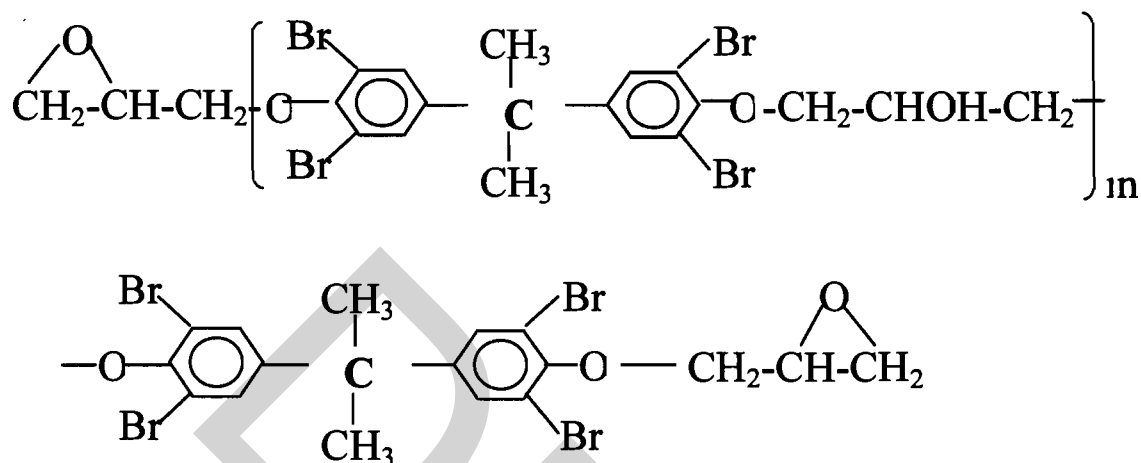
3.1.6 ตรวจสอบคุณสมบัติขั้นต้น อีกครั้ง

3.1.7 ทำการทดสอบทางไฟฟ้า พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยนำผลมาวิเคราะห์เชิงสถิติและทดสอบเชิงทำลาย เพื่อดูความแตกต่าง ในชั้นแผงรูป อีกครั้ง โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่แตกต่างกัน

3.1.8 วิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทางไฟฟ้าและการทดสอบเชิงทำลายเพื่อทำการสรุปผล ในเชิงสถิติ

### 3.2 ข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต แผ่นวงจรไฟฟ้า

#### 3.2.1 โครงสร้างทางเคมีของเรซิน ณ โรงงานที่ผู้วิจัยทำการศึกษาดังนี้



ภาพที่ 3.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเรซิน

ซึ่งประกอบด้วยหลัก ๆ คือ

1. ไฮโดรคาร์บอน ( $\text{CH}_3$ )
2. โบรมีน (Br)
3. คาร์บอน (C)

#### 3.2.2 คำจำกัดความของ เรซิน (Resins)

เป็นพลาสติกเริ่มต้น มีลักษณะเป็นเม็ด เป็นผง หรือเป็นของเหลว เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อาจเป็นเรซินชนิดเดียว หรือเรซิน หลายชนิดผสมกันก็ได้

### 3.2.3 วัตถุประสงค์ของสารที่ผสมลงในเรซิน

#### 3.2.3.1 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

เป็นสารที่เติมลงไปผสมกับเรซินเพื่อให้พลาสติกนิ่ม เป็นการเพิ่มคุณสมบัติในทางอ่อนตัว เพิ่มความเหนียว เพิ่มความทนทานต่อความร้อน เพิ่มความต้านทานการสึกหรอ และทำให้สามารถเติมฟิลเลอร์ได้เป็นปริมาณมากขึ้น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticizers) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณภาพสูงใช้ได้โดยตรง แต่มักมีราคาแพง
2. พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticizers) เป็นพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณภาพค่อนข้างต่ำกว่าประเภทแรก นำไปใช้โดยตรง ไม่ได้ จะต้องใช้ควบคู่กับพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ แต่พลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ จะเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะอย่างได้ดีกว่า

#### 3.2.3.2 สเตบิไลเซอร์ (Stabilizers)

เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อช่วยให้พลาสติก มีความอยู่ตัว ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ไม่เสื่อมสลายง่าย นอกจากนี้ ยังช่วยให้พลาสติกมีความทนทานต่อความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย

#### 3.2.3.3 ฟิลเลอร์ (Fillers)

เป็นวัสดุที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกให้มากขึ้น ทำให้ต้นทุนการผลิตถูกลง จะเห็นว่าฟิลเลอร์ที่เติมลงไปส่วนใหญ่ เพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง แต่ฟิลเลอร์บางชนิดก็อาจทำให้คุณภาพของพลาสติก เปลี่ยนไปด้วย เช่น ทำให้พลาสติกทึบแสงขึ้น มีความแข็งเพิ่มขึ้น มีความทนทานสูงขึ้น เป็นต้น

#### 3.2.3.4 สารหล่อลื่น (Lubricants)

เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดในเครื่องจักร ทำให้ทำการผสมง่ายขึ้น ตลอดจนทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ติดแม่พิมพ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricants) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อลดความฝืดระหว่างผิวของพลาสติกกับผิวของโลหะ หรือวัสดุที่ใช้ทำเครื่องจักรและแม่พิมพ์
2. สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricants) เป็นสารที่ช่วยลดความฝืดภายในเนื้อพลาสติก กล่าวคือ เป็นตัวช่วยลดความฝืดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ สารหล่อลื่นบางชนิดมี

คุณสมบัติอย่างอื่นอยู่ด้วย เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้พลาสติก หรือเป็นพลาสติกไฮเซอรัได้ ด้วย สารหล่อลื่นมีอยู่ 4 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. สารไฮโดรคาร์บอน
2. กรดไขมันและอนุพันธ์ของกรดไขมัน
3. กลิเซอรอล และแอลกอฮอล์
4. ไกซ์นธรรมชาติ

เรซินบางชนิดมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นตัวเอง เรียกว่า Self lubricants

#### 3.2.3.5 สี (Dyes and Pigments)

เป็นสารที่เติมลงไปในพลาสติก เพื่อให้เกิดสีขึ้นตามความต้องการ เป็นการเพิ่มคุณค่าและความสวยงามให้แก่ผลิตภัณฑ์

#### 3.2.3.6 โพรเซสซิงเอ็ด (Processing Aids)

เป็นสารที่เติมลงไปในพลาสติกช่วยเพิ่ม คุณสมบัติบางประการของพลาสติก เช่น เพิ่มความโปร่งใสให้แก่เนื้อพลาสติก ป้องกันไม่ให้พลาสติกเกิดริ้วรอยหรือเป็นลายในเนื้อพลาสติก

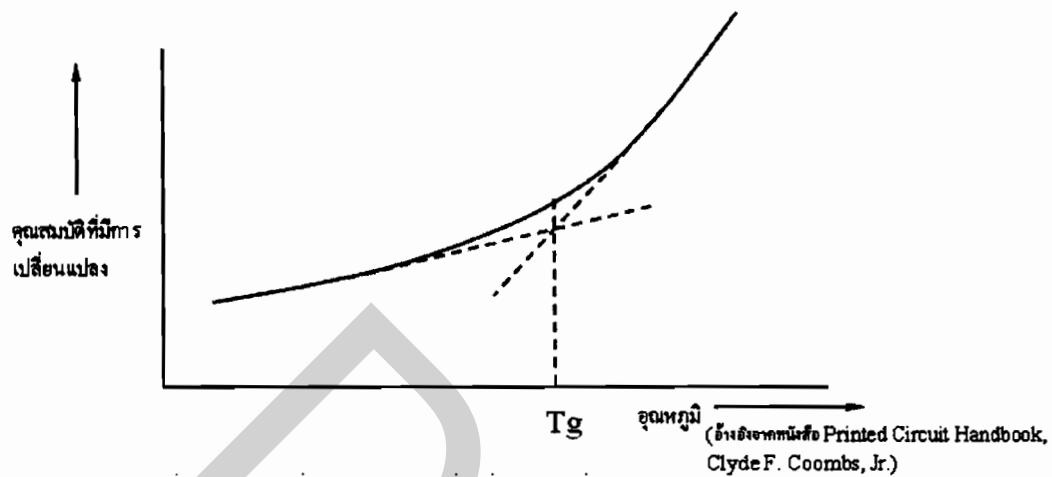
#### 3.2.3.7 โมดิฟายเออร์ (Modifiers)

เป็นสารที่เติมลงไปในพลาสติกเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพลาสติก โดยส่วนประกอบหลักทางเคมีคือพันธะของคาร์บอนและโบรมีน โดยจะมีโบรมีนและพันธะของคาร์บอนเป็นศูนย์กลางในการช่วยทำปฏิกิริยาให้สมบูรณ์, เพิ่มความคงทนต่อไฟ และเพื่อให้พันธะมีความที่แข็งแรงยิ่งขึ้น

### 3.2.4. คุณสมบัติหลักของเรซิน

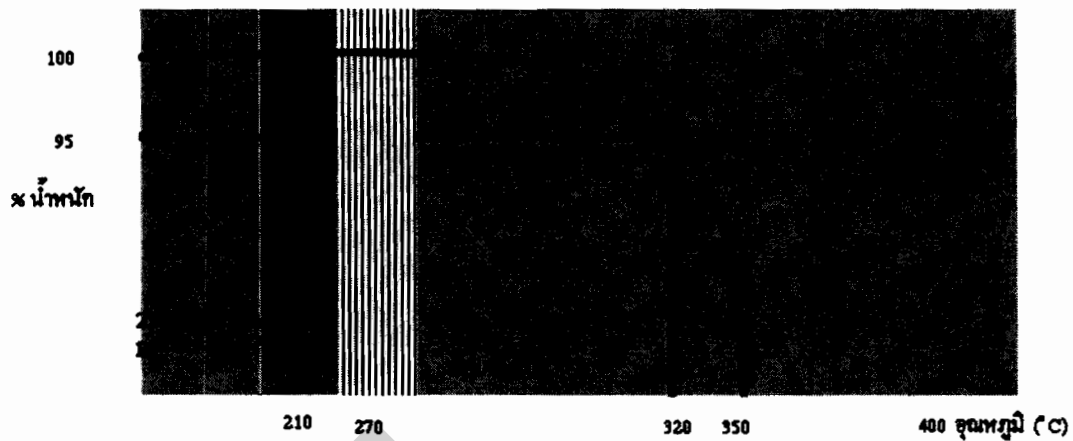
3.2.4.1 Glass Transition Temperature ( $T_g$ ) : 130 องศาเซลเซียส คือ ณ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว โดยโครงสร้างโมเลกุลของเรซิน จะประกอบด้วยพันธะทางเคมีเพื่อก่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะ แต่ ณ อุณหภูมิ จุด ๆ หนึ่ง พันธะทางเคมีของเรซินจะเริ่มมีการเคลื่อนไหว ดังสามารถแสดงด้วยภาพที่ 3.2 แต่ยังไม่เกิดการเสียหายของพันธะ นั่นหมายถึง การยึดเกาะของพันธะเคมียังสมบูรณ์ ซึ่งค่า Glass Transition Temperature เป็น

คุณสมบัติค่าหนึ่งๆ ของเรซินที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอุณหภูมิ ในการใช้งานของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ



ภาพที่ 3.2 ณ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว

3.2.4.2 Decomposition Temperature ( $T_d$ ) :  $320^\circ\text{C}$  คือ ณ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน แตกเสียหาย โดยการวัดน้ำหนักที่หายไป 5% จากน้ำหนักทั้งหมด นั้นหมายความว่า ถ้าอุณหภูมิในการใช้งาน สูงมากจนทำให้น้ำหนักของเนื้อเรซินหายไปมากกว่า 5% ของน้ำหนักเรซินทั้งหมดพันธะทางเคมีของเรซินก็จะเริ่มเคลื่อนไหวและแตกเสียหาย หลุดจากกันในที่สุด และไม่สามารถ คืบกลับสู่สภาพเดิมของพันธะทางเคมีได้ ดังแสดงด้วยภาพที่ 3.3

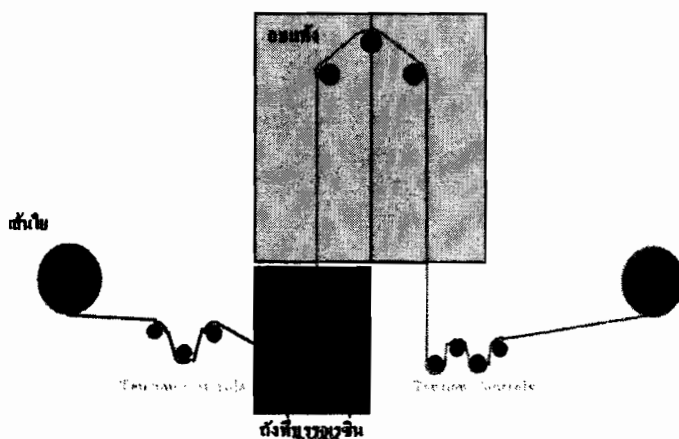


ภาพที่ 3.3 ณ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน แตกเสียหาย

### 3.2.5 ขั้นตอนการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า ณ สถานที่ที่ผู้วิจัยทำการศึกษา

3.2.5.1 เตรียมส่วนผสมเรซิน ซึ่งประกอบด้วย เนื้อเรซิน (Resin), โมดิฟายเออร์ (Modifiers), สเตบิไลเซอร์ (Stabilizers) ตามสัดส่วนที่ถูกกำหนดในขั้นตอนการทำงาน หลังจากนั้น ก็เข้าสู่ขั้นตอนการผสมเพื่อให้ส่วนผสมต่าง ๆ ถูกกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.2.5.2 นำเส้นใยไฟเบอร์ มาผ่านถังเรซิน ที่ถูกผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้เรซิน เคลือบอยู่บนเส้นใยทั้งสองด้าน ในความหนาของเรซินที่สม่ำเสมอ แล้วผ่านกระบวนการอบแห้ง หมด ๆ เพื่อให้เรซินเกาะติดกับเส้นใย



ภาพที่ 3.4 แสดงกระบวนการเคลือบเรซินบนเส้นใย

3.2.5.3 นำเส้นใยที่ผ่านการ เคลือบเรซินแล้ว มาทำการตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้ แล้ว นำเข้าสู่กระบวนการอัดรีด และเย็น โดยการควบคุมความดัน, เวลา และอุณหภูมิ

3.2.5.4 นำชิ้นงานที่ผ่านการอัดและแข็งตัว มาตัดตามขนาดที่ออกแบบไว้ หลังจากนั้น นำสู่กระบวนการเจาะรูบนแผ่นชิ้นงานด้วยดอกเจาะ

3.2.5.5 นำชิ้นงานที่ผ่านการเจาะเรียบร้อยแล้ว มาทำการชุบ ในถังชุบทองแดง ด้วยวิธีการ ทางเคมี โดยมีทองแดงเป็นส่วนผสมหลัก

3.2.5.6 นำชิ้นงานมาทำการถ่ายภาพวงจร แล้วผ่านกระบวนการกัดลายวงจรในส่วนที่ไม่ ต้องการออก

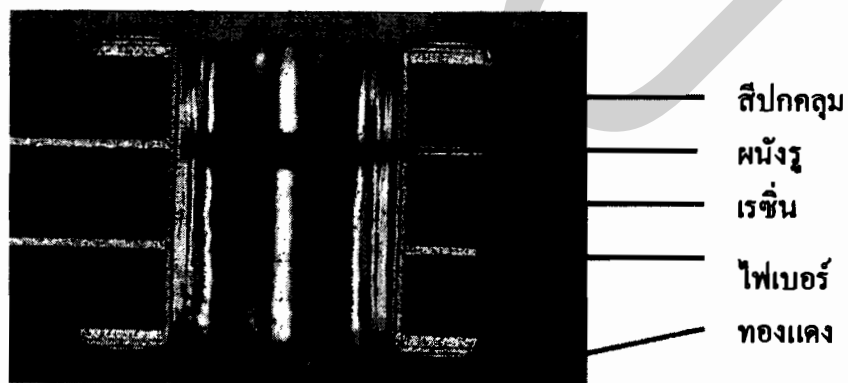
3.2.5.7 จากนั้นก็ได้งานที่มีลายวงจรตามที่ต้องการ และทำการเคลือบส่วนที่ไม่ต้องการ ให้สัมผัสกับอากาศ โดยใช้สีทนความร้อน

3.2.5.8 หลังจากนั้น ก็ผ่านกระบวนการเคลือบลายวงจร ไฟฟ้า ซึ่งอาจเป็นตะกั่ว ดีบุก เงิน หรือทอง ตามแต่คำสั่งซื้อของลูกค้า

3.2.5.9 ทำการตัดชิ้นงานตามขนาดที่ลูกค้าออกแบบมา

3.2.5.10 ทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานทั้งการทดสอบทางไฟฟ้า และความถูกต้อง ของลายวงจร ตามมาตรฐาน สากลของแผ่นวงจร ไฟฟ้า

3.2.6 ลักษณะของโครงสร้างและส่วนประกอบหลักของแผ่นวงจรไฟฟ้า ดังแสดงด้วยภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ภาพแสดงลักษณะของโครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผนังรู



### 3.2.7 ขั้นตอนกระบวนการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

3.2.7.1 เตรียมชิ้นงานเพื่อเข้าสู่เครื่องจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.2.7.2 ทำการเคลือบสารบัดกรีลงบนแผ่นวงจรไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่ต้องการให้ชิ้นส่วนวางบนแผ่นวงจรไฟฟ้า

3.2.7.3 เครื่องจับอุปกรณ์ จะจับชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น IC, Capacitor เป็นต้นวางบนแผ่นวงจรไฟฟ้า

3.2.7.4 จากนั้นแผ่นวงจรไฟฟ้าที่มีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ วางอยู่ ก็จะเคลื่อนที่ไปยังตู้ให้ความร้อน เพื่อให้สารบัดกรีหลอมเหลว แล้วแข็งตัวในที่สุด

3.2.7.5 นำแผ่นวงจรไฟฟ้าที่ผ่านการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แล้วเพื่อทำการตรวจคุณภาพ

### 3.2.8 ความรู้เรื่องสารบัดกรี (Solder Paste)

ในกระบวนการประกอบ นั้น สารบัดกรีจะใช้สำหรับการเชื่อมต่อตะกั่วขาของอุปกรณ์หรือขั้วต่อ กับลายวงจรของแผ่นวงจรไฟฟ้า ซึ่งสารบัดกรีจะถูกปาดลงบนลายวงจรของแผ่นวงจรไฟฟ้า แล้วทำการวางอุปกรณ์ลง แล้วผ่านกระบวนการให้ความร้อน เพื่อที่จะหลอมสารบัดกรีให้เชื่อมติดกันระหว่างอุปกรณ์ กับแผ่นวงจรไฟฟ้า

คุณสมบัติของสารบัดกรี (Solder Paste Property) ประกอบด้วยผงโลหะ ทรงกลมขนาดเล็กๆ และครีม ฟลักซ์ โดยที่ครีม ฟลักซ์จะทำหน้าที่ยึดผงโลหะให้เข้ากัน โดยมีคุณสมบัติของสารบัดกรีที่ควรพิจารณา มีดังนี้

3.2.8.1 โลหะผสม จะเน้นมีส่วนโลหะผสมต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน โดยทั่วไปจะใช้ส่วนผสมของ Pb63Sn37 และ Pb62Sn36Ag2 โดยที่ Pb63Sn37 จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 183 องศาเซลเซียส และ Pb62Sn36Ag2 จะมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 179 องศาเซลเซียส

3.2.8.2 ส่วนผสมของโลหะ ในสารบัดกรีจะเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสารบัดกรี เพราะจะต้องบ่งบอกว่าในสารบัดกรีจะประกอบด้วยส่วนผสมโลหะที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งในกรณีที่เปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมของโลหะในสารบัดกรีเปลี่ยนไป จะมีผลต่อ การเชื่อมต่อของตะกั่ว ได้ เช่น เปอร์เซ็นต์ เปลี่ยนจาก 10% เป็น 20% จะมีผลทำให้เกิดการเชื่อมของตะกั่ว (Solder Bridging) ได้หลังจากผ่านขบวนการให้ความร้อน เนื่องจากปริมาณของโลหะในสารบัดกรีเพิ่มมากขึ้น โดยปกติในการใช้งานจะใช้ เปอร์เซ็นต์ ของโลหะในสารบัดกรีอยู่ที่ประมาณ 80% - 90% ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน

3.2.8.3 รูปร่างและขนาดของเม็ดตะกั่ว รูปร่างของเม็ดตะกั่วที่ดีควรจะเป็นทรงกลม ซึ่งขนาดของเม็ดตะกั่ว จะมีผลต่อคุณสมบัติของสารตะกั่ว คือถ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นหมายถึงจะมีพื้นที่ยิ่งมากขึ้น หมายถึงโอกาสการเกิดออกไซด์ก็มากขึ้น และตัวรูปร่างของเม็ดตะกั่วไม่เป็นทรงกลม บิดเบี้ยวก็จะทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นหมายความว่า ออกไซด์ บ่มมากขึ้นด้วย และยังทำให้การเคลือบสารบัดกรีลงบนแผ่นวงจรไฟฟ้า ทำได้ยาก

3.2.8.4 หน้าที่ของฟลักซ์ คือการทำความสะอาด พื้นผิวหน้าของวงจรไฟฟ้า เพื่อให้สารบัดกรีติดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และแผ่นวงจรไฟฟ้าได้ดี ซึ่งฟลักซ์ จะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารบัดกรี

**การออกแบบการทดลองขั้นต้น เพื่อทดสอบสมมติฐานว่าน่าจะเกิดปัญหาจริง**

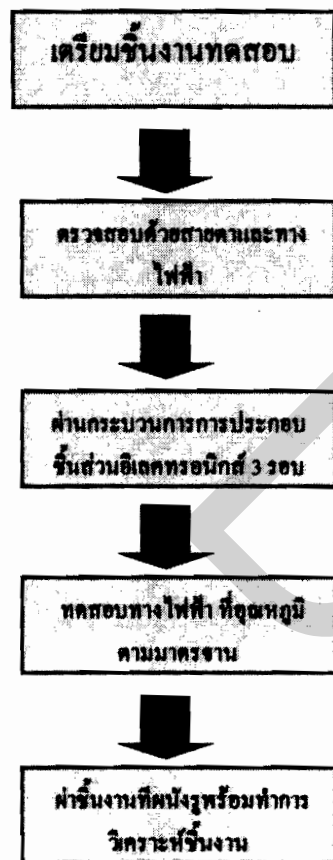
1. ปัจจัยคืออุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยมี 4 ระดับ : 210, 235, 240 & 260 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่สนใจ คือ คุณสมบัติของแผ่นงานที่ปัจจุบัน โดยมีอุณหภูมิ  $T_g = 130$  องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ  $T_d = 320$  องศาเซลเซียส โดยผ่านอุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่ ต่าง ๆ กัน ดังแสดงการออกแบบการทดลองดัง ตารางที่ 3.1 และขั้นตอนการทดลองดังภาพที่ 3.6 โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบว่าคุณสมบัติของเรซินที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันว่าสามารถรองรับ ต่ออุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้นได้หรือไม่

**ตารางที่ 3.1 ตารางการออกแบบการทดลอง ครั้งที่ 1**

	อุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (องศาเซลเซียส)			
	210	235	240	260
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ ปัจจุบัน	กลุ่มที่1	กลุ่มที่2	กลุ่มที่3	กลุ่มที่4

**หมายเหตุ** จำนวนชิ้นงานในการทดสอบ แต่ละครั้งเท่ากับ 12 ชิ้น

### ขั้นตอนการทดสอบชิ้นงาน



อ้างอิงมาตรฐานตาม IPC STANDARD

อ้างอิงมาตรฐานตาม IPC STANDARD

ภาพที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบและขั้นตอนการทดสอบ

### ผลการทดสอบ จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IST

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า

ผลการทดสอบ จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IST				
ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4
1	200	179	149	134
2	199	180	143	145
3	197	181	152	149
4	223	182	149	143
5	221	178	152	147
6	198	173	151	158
7	200	175	149	143
8	201	179	143	153
9	198	189	145	152
10	194	174	142	139
11	189	171	140	145
12	211	169	139	142
ค่าเฉลี่ย	203	178	146	146
ค่าสูงสุด	223	189	152	158
ค่าต่ำสุด	189	169	139	134
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.4	5.5	4.7	6.5

ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิการทดลอง

**Multiple Range Tests for Min cycles by Temperature**

Method: 95.0 percent LSD

Temperature	Count	Mean	Homogeneous Groups
260	12	146.3	X
240	12	151.8	X
235	12	173.5	X
210	12	179.2	X

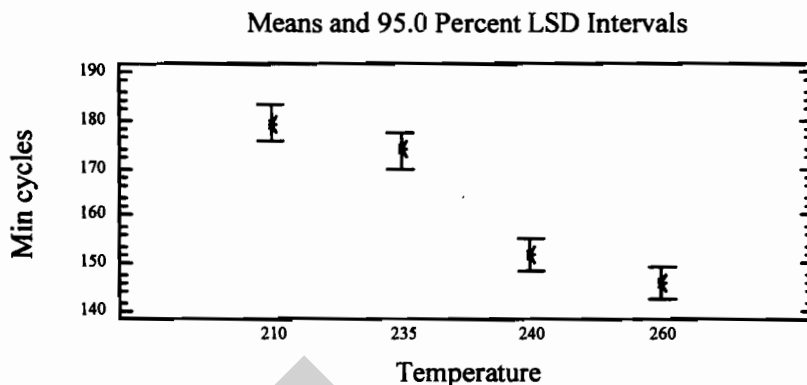
Contrast	Difference	+/- Limits
210 - 235	5.7	7.11571
210 - 240	*27.4	7.11571
210 - 260	*32.9	7.11571
235 - 240	*21.7	7.11571
235 - 260	*27.2	7.11571
240 - 260	5.5	7.11571

\* denotes a statistically significant difference.

ตารางที่ 3.4 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA

**ANOVA Table for Min cycles by Temperature**

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	7118.9	3	2372.97	37.70	0.0000
Within groups	2266.2	36	62.95		
Total (Corr.)	9385.1	39			

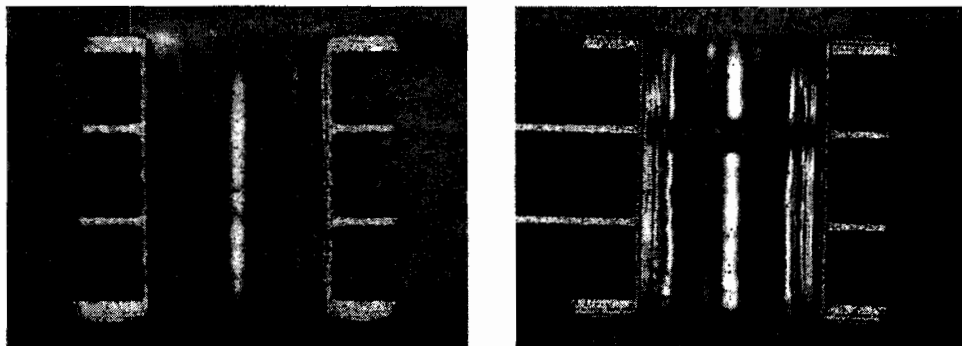


ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (เซลเซียส) กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า

#### ข้อสรุปในเชิงสถิติ

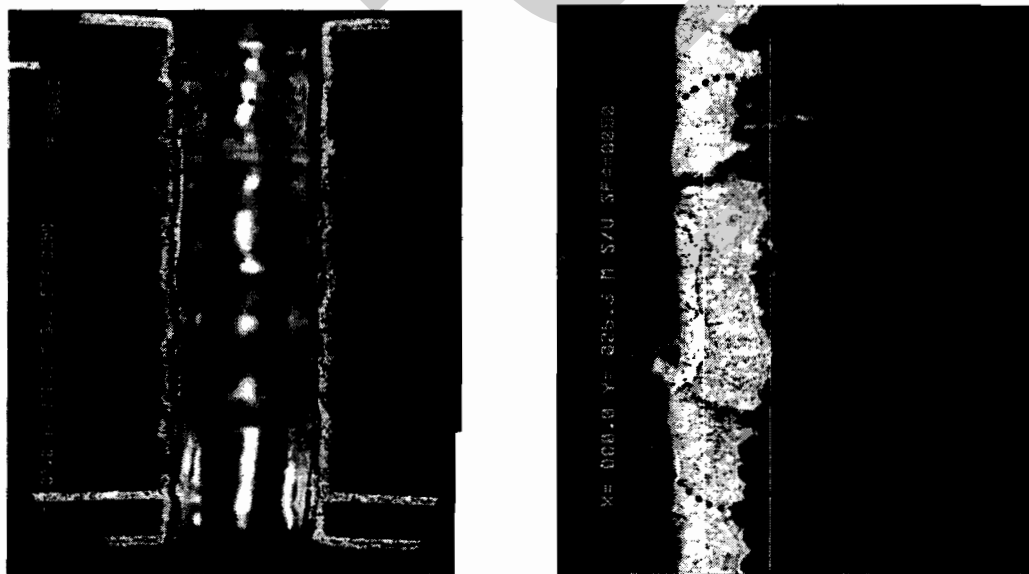
1. จากตาราง ANOVA แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยชิ้นงานทดสอบ และเครื่องมือ IST อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ผลต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าอุณหภูมิที่ 210 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกับอุณหภูมิที่ 235 องศาเซลเซียส และผลต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าอุณหภูมิที่ 240 องศาเซลเซียสไม่แตกต่างกับอุณหภูมิที่ 260 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ 235 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ กับอุณหภูมิที่ 240 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิที่ 260 องศาเซลเซียส

### ผลการทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยการผ่าผนังรูเพื่อทำการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.8 แสดงการทดสอบเชิงทำลายโดยผ่าตรงบริเวณผนังรูเพื่อทำการวิเคราะห์ของชิ้นงานดี

1. ภาพผนังรูโดยปกติทั่วไปจากการผ่าในแนวแกนตั้ง (ชิ้นงานปกติ) หลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 3 รอบ ที่ อุณหภูมิสูงสุดที่ 210 และ 235 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.9 แสดงการทดสอบเชิงทำลายโดยผ่าตรงบริเวณผนังรูเพื่อทำการวิเคราะห์ของชิ้นงานเสีย

2. ผนังรูลังจากการผ่านอุณหภูมิตั้งที่ 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส เป็นจำนวน 3 รอบโดยผ่านในแนวแกนตั้ง (ชั้นงานเสียบ)

#### สรุปผลการทดสอบเบื้องต้นจากการทดสอบแบบทำลาย

1. ไม่พบปัญหาการแตก หรือเกิดรอยร้าว ตรงตำแหน่งผนังรูล ที่อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ 210 องศาเซลเซียส และ 235 องศาเซลเซียส
2. จะพบปัญหาการแตก หรือเกิดรอยร้าว ตรงตำแหน่งผนังรูล ที่อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส ซึ่งมีผลต่อการใช้งานของผลิตภัณฑ์ในอนาคตและระยะยาว
3. ที่อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน ระหว่างที่อุณหภูมิตั้งที่ 210 องศาเซลเซียส และ 235 องศาเซลเซียส กับ อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส จะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างในแง่คุณภาพของผนังรูล นั้นหมายความว่า การที่อุณหภูมิตั้งในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้นจากเดิม ประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส มีผลต่อทองแดงที่บีบเกาะอยู่ที่ผนังรูล และสามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ทองแดง ซึ่งมีผลต่อการใช้งานต่อไปได้



## บทที่ 4

### ผลการศึกษาวิจัย

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการยืนยันการทดสอบแรก ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบซ้ำ โดยปัจจัยคืออุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยมี 4 ระดับ : 220, 240 & 260 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่สนใจ คือ คุณสมบัติของแผ่นงานที่ปัจจุบัน โดยมีอุณหภูมิ  $T_g = 130$  องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ  $T_d = 320$  องศาเซลเซียส โดยผ่านอุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่ ต่าง ๆ กัน ดังแสดงการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 4.1 และขั้นตอนการทดลองดังภาพที่ 3.6 โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบว่าคุณสมบัติของเรซินที่ใช้อยู่ ณ ปัจจุบันว่าสามารถรองรับ ต่ออุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้นได้หรือไม่

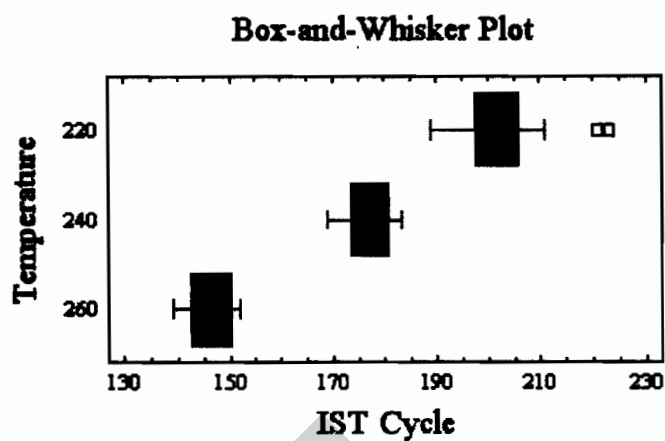
ตารางที่ 4.1 ตารางการออกแบบ ณ คุณสมบัติของเรซินปัจจุบัน เพื่อยืนยันการทดสอบ

	อุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (องศาเซลเซียส)		
	220	240	260
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ ปัจจุบัน	กลุ่มที่1	กลุ่มที่2	กลุ่มที่3

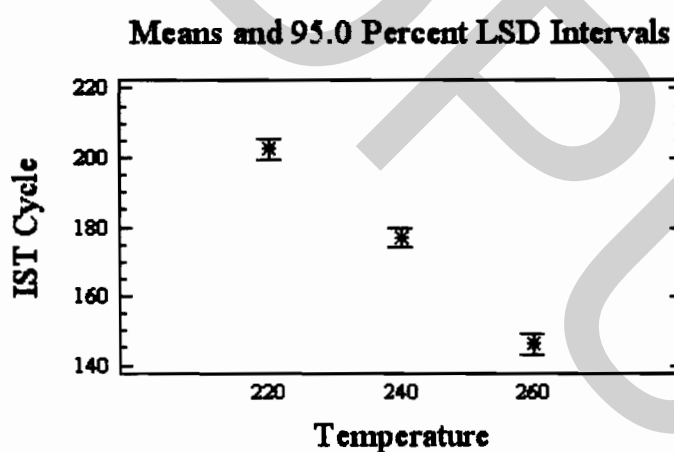
หมายเหตุ คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ ปัจจุบัน คือที่ อุณหภูมิ  $T_g = 130$  องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ  $T_d = 320$  องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือ IST

ผลการทดสอบ จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IST				
ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	หมายเหตุ
1	200	179	149	
2	199	180	143	
3	197	181	152	
4	223	182	149	
5	221	178	152	
6	198	173	151	
7	200	175	149	
8	201	179	143	
9	198	189	145	
10	194	174	142	
11	189	171	140	
12	211	169	139	
ค่าเฉลี่ย	203	178	146	
ค่าสูงสุด	223	189	152	
ค่าต่ำสุด	189	169	139	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.4	5.5	4.7	



ภาพที่ 4.1 กราฟ Box-Plot ระหว่าง จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า กับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระหว่าง จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า กับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในการ ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

#### ตารางที่ 4.3 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA

ANOVA Table for IST Cycle by Temperature

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	19152.2	2	9576.08	190.99	. 0
Within groups	1654.58	33	50.1389		
Total (Corr.)	20806.8	35			

#### ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ย ในแต่ละอุณหภูมิ (เซลเซียส) การทดลอง

Multiple Range Tests for IST Cycle by Temperature

Method: 95.0 percent LSD			
Temperature	Count	Mean	Homogeneous Groups
260	12	146.167	X
240	12	177.0	X
220	12	202.583	X
Contrast			Difference +/- Limits
220 - 240			*25.5833 5.8813
220 - 260			*56.4167 5.8813
240 - 260			*30.8333 5.8813

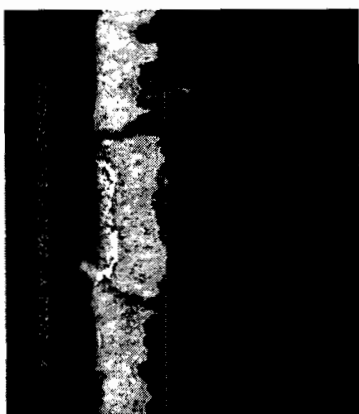
\* denotes a statistically significant difference.

#### 4.1 ข้อสรุปจากผลการทดสอบขั้นต้น

4.1.1 จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IST ยังคงเป็นไปตามผลการทดสอบ ณ ครั้งแรก จากผลการคำนวณตาราง ANOVA โดยที่ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยที่เลือก คืออุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า

4.1.2 ได้ทำการทดสอบแบบทำลายเพื่อทำตรวจสอบสภาพภายในรู ซึ่งพบรอยแตกร้าวภายในรูเหมือนการทดสอบแรก ของชิ้นงานที่ทดสอบที่อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส แต่ไม่พบรอยเสียหายของชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มี 220 องศาเซลเซียส

#### 4.1.3 จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าจะมีเกณฑ์การผ่านที่ต่ำ ที่อุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้น



ภาพที่ 4.3 แสดงภาพขยายตรงตำแหน่งที่เกิดการแตกร้าวตัวของรู

หลังจากได้ทำการทดสอบและผลการทดสอบเป็นไปตามการทดสอบครั้งแรก โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีผลต่ออย่างมีนัยสำคัญ ต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ดังนั้นขั้นตอนต่อไป จะทำการปรับส่วนผสมต่าง ของเรซินเพื่อให้ได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ คือ

1. ปรับ ๗ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว จาก 130 องศาเซลเซียส เป็น 170 องศาเซลเซียส โดยประมาณ
2. ปรับ ๗ อุณหภูมิที่ทำให้พันธะเคมีของเรซิน แตกเสียหาย จาก 320 องศาเซลเซียส เป็น 350 องศาเซลเซียส โดยประมาณ

โดยทำการปรับส่วนผสมของเรซิน ดังตารางด้านล่าง

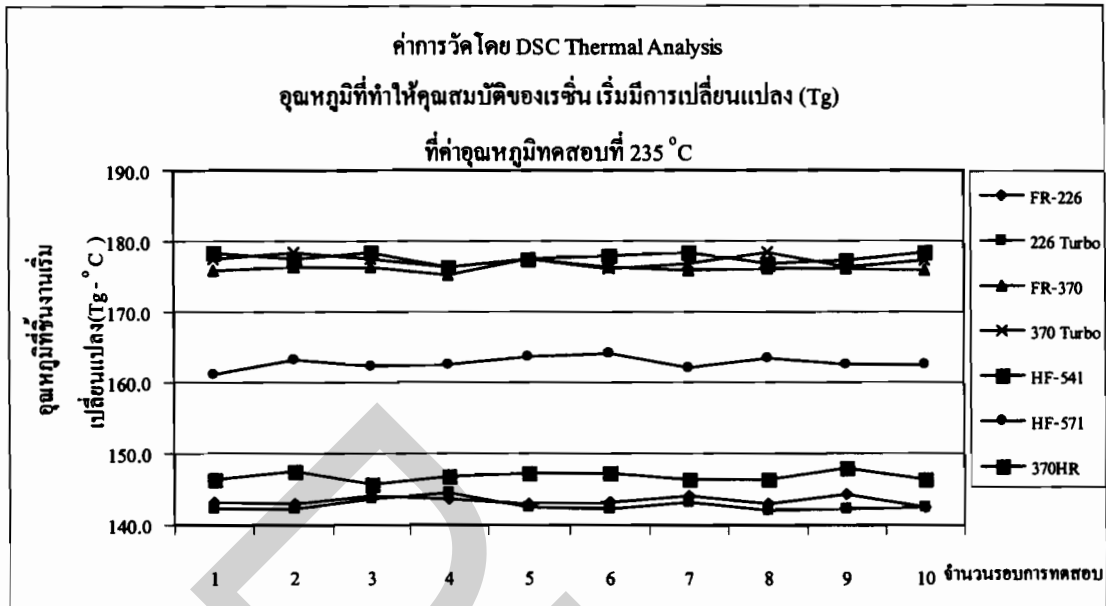
ตารางที่ 4.5 ตารางการออกแบบของอุณหภูมิการทดสอบที่คุณสมบัติต่าง ๆ

รหัสของวัสดุ ดิบในการ ทดสอบ	ณ อุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว (T <sub>g</sub> ) (องศา เซลเซียส)	ณ อุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน เกิดการแตกเสียหาย (T <sub>d</sub> ) (องศา เซลเซียส)
FR-226	140 °C	320 °C
226Turbo	140 °C	350 °C
FR-370	175 °C	310 °C
370Turbo	175 °C	350 °C
HF-541	140 °C	340 °C
HF-571	160 °C	340 °C
370HR	160 °C	350 °C

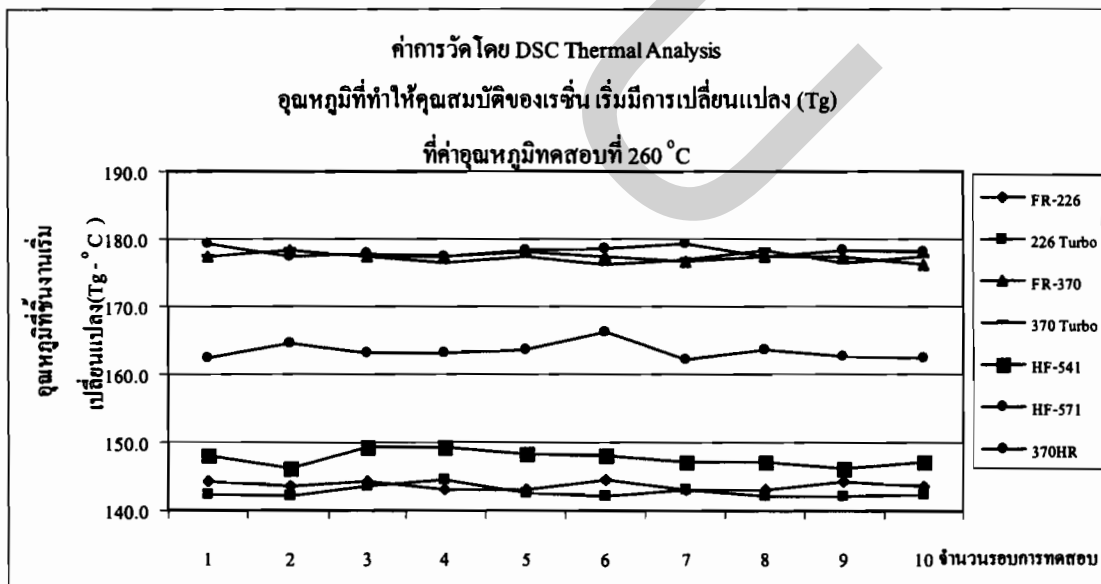
หลังจากที่ได้ทำการผลิตชิ้นงานทดสอบตามตารางที่ 4.4 แล้ว จึงทำการวัดค่าคุณสมบัติหลักของเรซิน เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีความผิดพลาดจากการผลิต คือ

1. Glass Transition Temperature (T<sub>g</sub>)
2. Decomposition Temperature (T<sub>d</sub>)

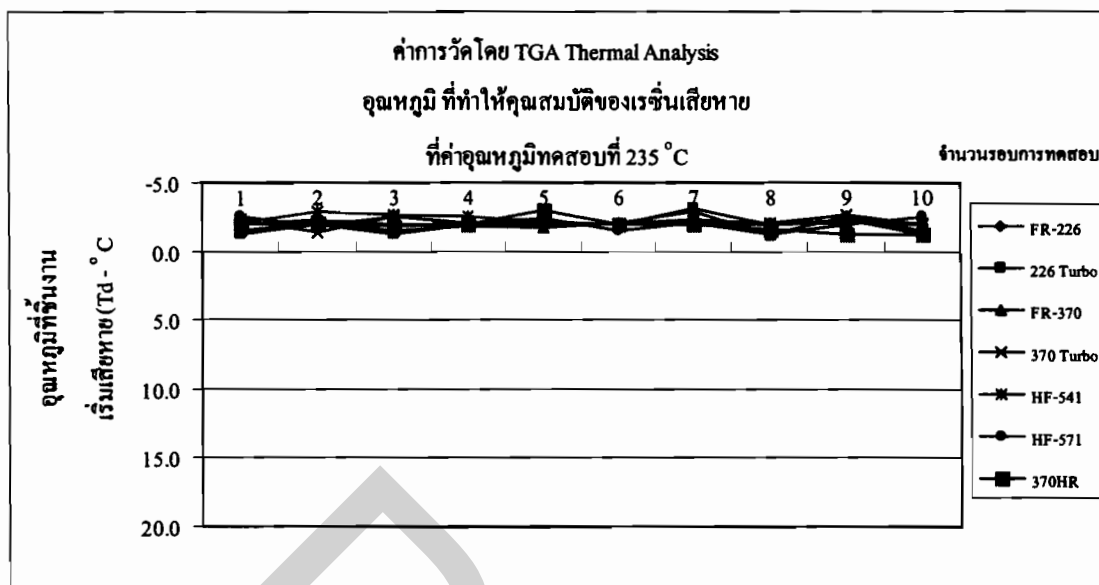
### ผลการทดสอบค่าวัดโดยเครื่องมือ DSC Thermal Analysis



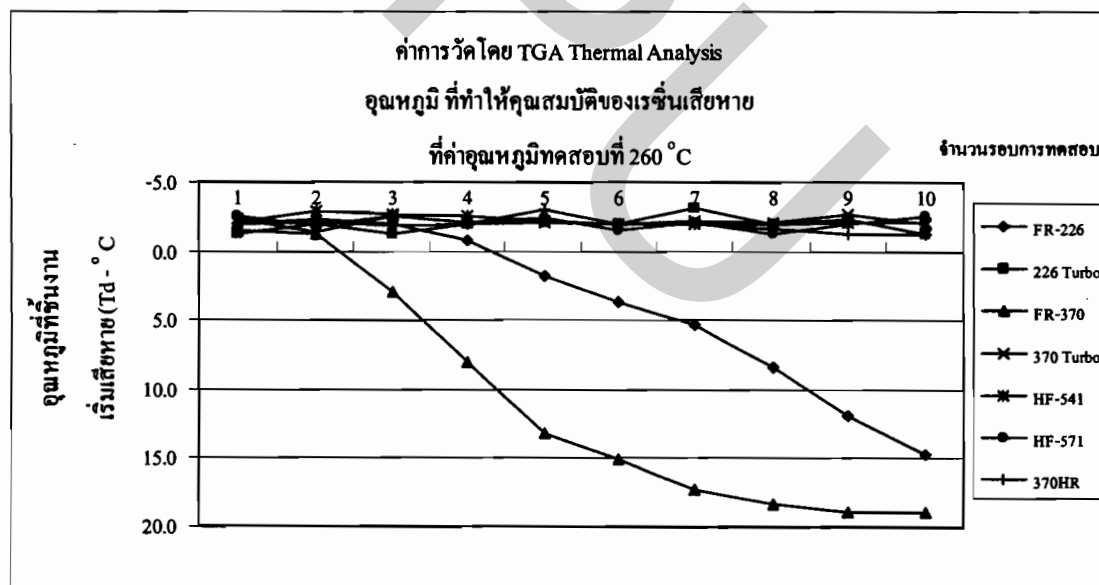
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ณ อุณหภูมิตดสอบที่ 235 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.5 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ณ อุณหภูมิตดสอบที่ 260 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.6 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการแตกเสียหาย (Td) ณ อุณหภูมิตดสอบที่ 235 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.7 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมี เริ่มมีการแตกเสียหาย (Td) ณ อุณหภูมิตดสอบที่ 260 องศาเซลเซียส



## 4.2 ข้อสรุปขั้นต้นจากการทดสอบโดยเครื่องมือ DSC Thermal Analysis

4.2.1 ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 235 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของวัสดุทดสอบทั้ง 7 กลุ่ม ผ่านการทดสอบ. คือเป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้

4.2.2 แต่ ณ อุณหภูมิทดสอบที่ 260 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของวัสดุทดสอบทั้ง 7 กลุ่ม ผ่านการทดสอบของค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) แต่พบว่าไม่มีบางกลุ่มไม่ผ่านค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซินที่พันธะเคมีเริ่มมีการแตกเสียหาย (Td) คือ FR226 (Tg = 140 องศาเซลเซียส , Td = 320 องศาเซลเซียส) และ FR370 (Tg = 175 องศาเซลเซียส , Td 310 องศาเซลเซียส)

4.2.3 จากผลการทดสอบจากข้อ 2 นั้นแสดงถึงว่า ค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ที่สูงขึ้นจาก 135 องศาเซลเซียส เป็น 175 องศาเซลเซียส ก็อาจจะไม่สามารถช่วยทำให้ความคงทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้

### ตารางที่ 4.6 ตารางการออกแบบการทดลอง

ตารางการออกแบบเพื่อการทดลอง

	อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วน อิเลคทรอนิกส์ (องศาเซลเซียส)		
	220	240	260
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ กลุ่มที่ 1	A	B	C
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ กลุ่มที่ 2	D	E	F
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ กลุ่มที่ 3	G	H	I

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มการทดลอง

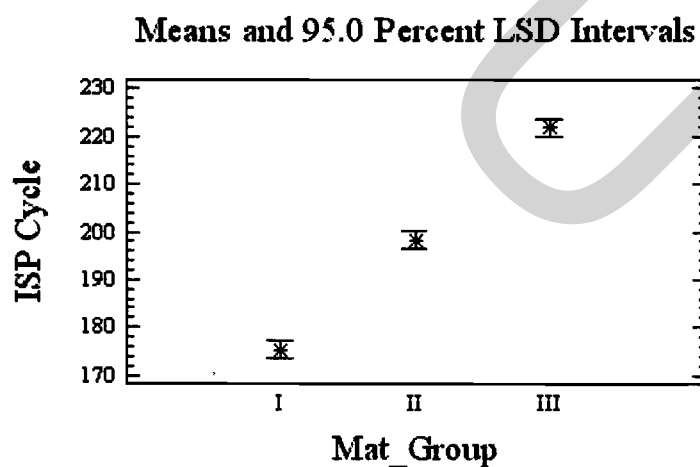
ผลการทดสอบ จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าด้วย เครื่องมือ IST (จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า)									
ชิ้นงานทดสอบชิ้นที่	220	240	260	220	240	260	220	240	260
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
	กลุ่ม A	กลุ่ม B	กลุ่ม C	กลุ่ม D	กลุ่ม E	กลุ่ม F	กลุ่ม G	กลุ่ม H	กลุ่ม I
1	200	179	149	210	187	165	245	211	198
2	199	180	143	222	190	167	254	221	189
3	197	181	152	232	199	162	235	219	188
4	223	182	149	235	201	171	256	218	183
5	221	178	152	231	210	169	265	214	194
6	198	173	151	253	201	168	247	220	182
7	200	175	149	227	219	162	263	218	194
8	201	179	143	234	212	169	253	219	196
9	198	183	145	231	200	171	257	204	200
10	194	174	142	227	193	164	279	211	199
11	189	171	140	219	189	169	263	225	198
12	211	169	139	221	200	159	265	215	189
ค่าเฉลี่ย	203	177	146	229	200	166	257	216	193
ค่าสูงสุด	223	183	152	253	219	171	279	225	200
ค่าต่ำ	189	169	139	210	187	159	235	204	182
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10	5	5	11	10	4	11	6	6

### 4.3 ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติ

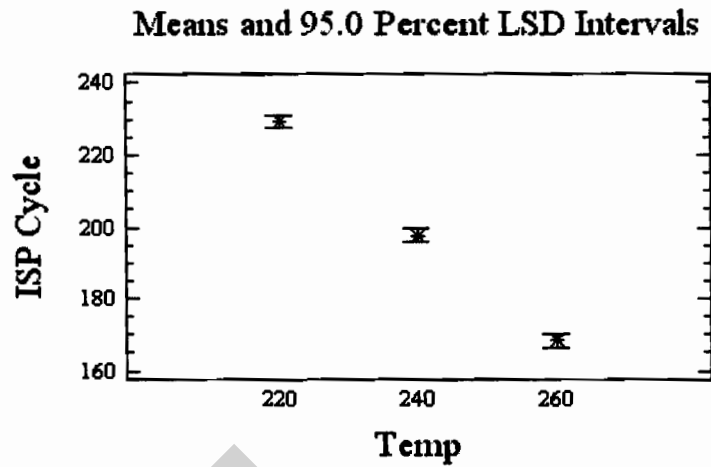
ตารางที่ 4.8 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA

Analysis of Variance for ISP Cycle - Type III Sums of Squares					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A:Mat_Group	39108.2	2	19554.1	306.98	. 0
B:Temp	66943.1	2	33471.5	525.47	. 0
<b>INTERACTIONS</b>					
AB	853.556	4	213.389	3.35	. 129
RESIDUAL	6306.08	99	63.6978		
TOTAL (CORRECTED)	113211.0	107			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

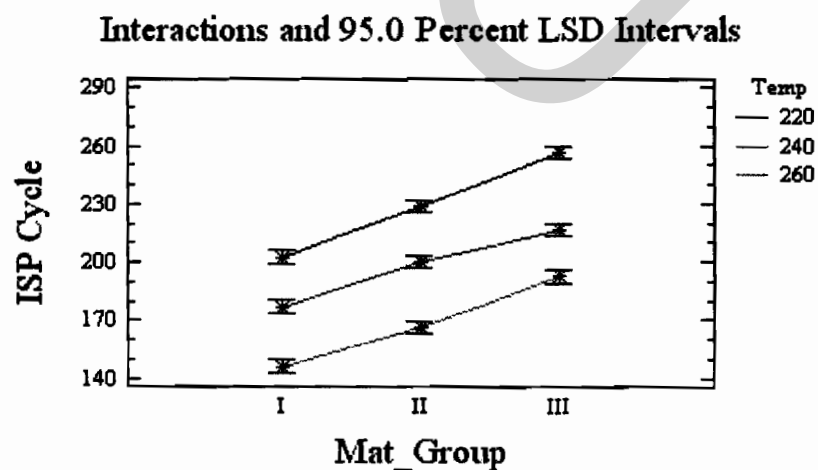


ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบที่ใช้ กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า

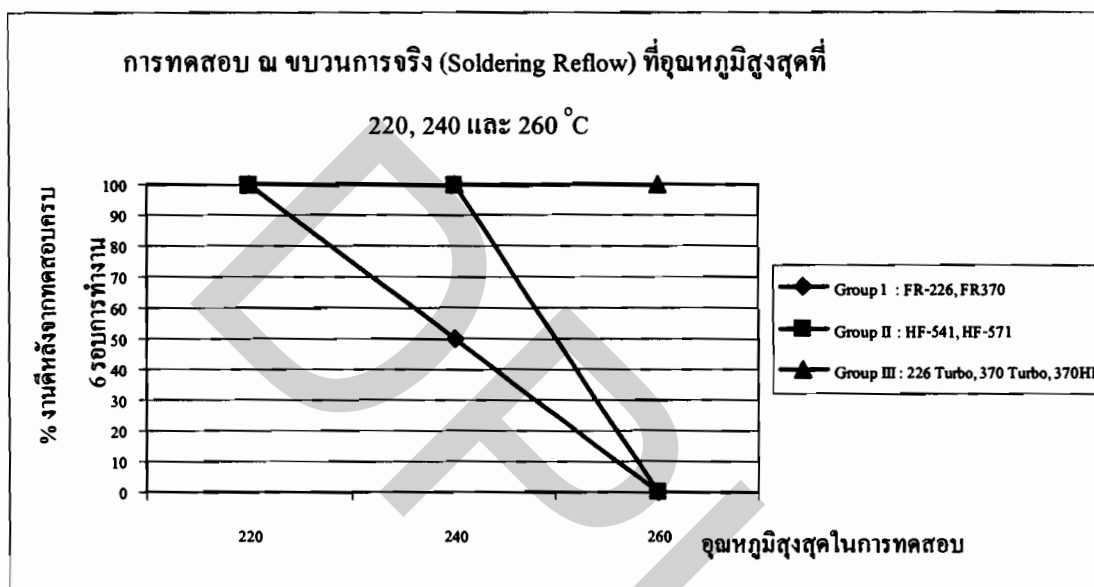
จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IST โดยจากผลการคำนวณตาราง ANOVA โดยที่ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยที่เลือก คืออุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุคืบทั้ง 3 กลุ่ม การทดสอบต่างก็มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ,จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า และวัสดุคืบที่ใช้

จากกราฟข้างต้น จะเห็นว่าจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าของวัสดุในกลุ่มที่ 3 จะมีค่ารอบการผ่านการทดสอบสูงสุด ในแต่ละอุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

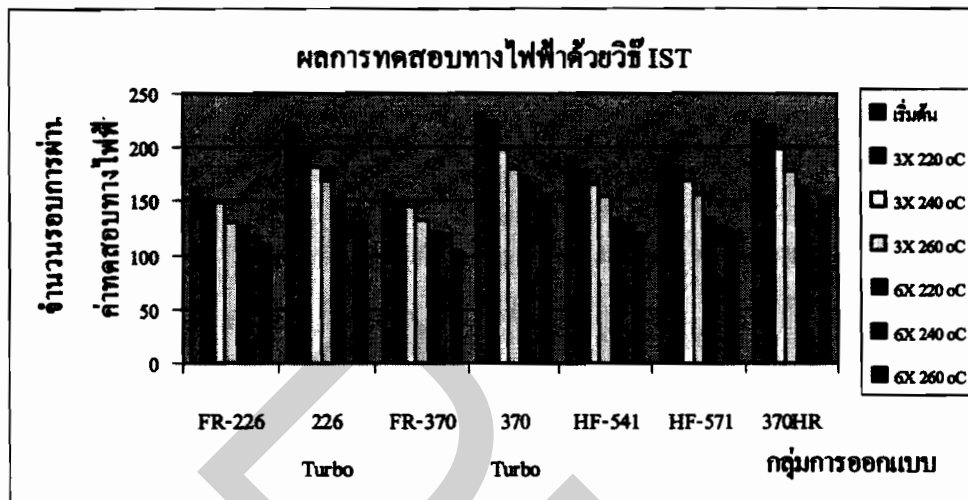
ผลการทดสอบโดยการทดสอบที่ขบวนการประกอบอุปกรณ์จริง ที่อุณหภูมิ 220 °C, 240 °C และ 260 °C



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ งานที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าที่ 6 รอบการทำงาน

จากกราฟข้างต้น เป็นการทดสอบ ณ ขบวนการประกอบอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จริง ณ การตั้งค่าอุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส, 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส โดยทำการตรวจสอบจำนวนที่ผ่านการทดสอบ และไม่ผ่านการทดสอบเป็นจำนวนนับ จะเห็นว่าวัสดุในกลุ่มที่ 3 สามารถผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อุณหภูมิในการประกอบชิ้นงานที่ อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่า ณ อุณหภูมิที่โครงสร้างของเรซิน มีการแตกเสียหาย สูงถึง 350 องศาเซลเซียส ในขณะที่ กลุ่มที่ 2 สามารถผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยที่อุณหภูมิในการประกอบชิ้นงานที่ อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส 240 องศาเซลเซียสเท่านั้น แต่ไม่สามารถผ่านการทดสอบทาง ไฟฟ้าได้เลย ณ ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส และในกลุ่มที่ 1 สามารถผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้ 100

เปอร์เซ็นต์ โดยที่อุณหภูมิในการประกอบชิ้นงานที่ อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียสเท่านั้น และไม่สามารถผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้เลย ณ ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่าจำนวนรอบการผ่านค่าทดสอบทางไฟฟ้า ของแต่ละกลุ่มการออกแบบของคุณสมบัติของเรซิน

จากการทดสอบ โดย 1.ไม่ผ่านการให้ความร้อนเลย, 2. ให้ความร้อน 3 ครั้ง ณ ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียส 3. ให้ความร้อน 6 ครั้ง ณ ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส 240 องศาเซลเซียส และ 260 องศาเซลเซียสโดยวัดผลลัพธ์ของจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ดังภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ชิ้นงานทดสอบสามารถผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้สูงสุด ถ้าปราศจากให้ความร้อน และจะมีค่าการผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าได้ต่ำ ถ้าผ่านการให้ความร้อนมากขึ้น และอุณหภูมิที่สูงขึ้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 ข้อสรุปขั้นต้นจากการทดสอบโดยขบวนการจริง (Soldering Re-flow) และการทดสอบโดยการผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า

5.1.1 จากการทดสอบและผลการทดลองดังภาพที่ 30 กลุ่มงานที่มีค่าการควบคุม อุณหภูมิ ที่คุณสมบัติของเรซิน เริ่มมีการแตกเสียหาย ( $T_d$ ) = 350 องศาเซลเซียส คือกลุ่มที่ 3 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าที่ผ่านการทดสอบดีที่สุด คือ 100%

5.1.2 กลุ่มที่ 1 : FR-226 ( $T_g$  : 140 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 320 องศาเซลเซียส), FR370 ( $T_g$  : 175 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 310 องศาเซลเซียส)

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 220 องศาเซลเซียส ผ่าน 100%

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 240 องศาเซลเซียส ผ่าน 50% โดยเฉลี่ย

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 260 องศาเซลเซียส ผ่าน 0% โดยเฉลี่ย

กลุ่มที่ 2 : HF-541 ( $T_g$  : 145 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 340 องศาเซลเซียส), HF-571 ( $T_g$  : 160 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 340 องศาเซลเซียส)

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 220 องศาเซลเซียส ผ่าน 100%

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 240 องศาเซลเซียส ผ่าน 100% โดยเฉลี่ย

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 260 องศาเซลเซียส ผ่าน 0% โดยเฉลี่ย

กลุ่มที่ 3 : 226Turbo ( $T_g$  : 140 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 350 องศาเซลเซียส), 370Turbo ( $T_g$  : 175 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 350 องศาเซลเซียส) และ 370HR ( $T_g$  : 175 องศาเซลเซียส,  $T_d$  : 350 องศาเซลเซียส)

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 220 องศาเซลเซียส ผ่าน 100%

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 240 องศาเซลเซียส ผ่าน 100% โดยเฉลี่ย

ที่ ณ อุณหภูมิการทดสอบ 260 องศาเซลเซียส ผ่าน 100% โดยเฉลี่ย

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนการผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าโดยเฉลี่ย

	อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ (องศาเซลเซียส)		
	220	240	260
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ กลุ่มที่ 1	100%	50%	0%
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ กลุ่มที่ 2	100%	100%	0%
คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ กลุ่มที่ 3	100%	100%	100%

การปรับค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ( $T_g$ ) ไม่มีผลทำให้ความคงทนของชิ้นงาน ณ อุณหภูมิที่ทำการผลิตสูงขึ้น แต่การปรับค่า ณ อุณหภูมิที่พันธะทางเคมีของเรซินเกิดการแตกเสียหาย ( $T_d$ ) มีผลต่อความคงทนต่ออุณหภูมิในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของชิ้นงาน ณ อุณหภูมิที่ทำการผลิตสูงขึ้น

จากผลการทดสอบดังกล่าว แสดงถึงแนวทางในการพัฒนาและการปรับปรุงคุณสมบัติเรซินซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญ ในการผลิตแผ่นวงจรไฟฟ้า เพื่อให้มีความคงทน ต่อการการผลิตที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และมีคุณภาพ ความเชื่อมั่นมากกว่าเดิมเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดโลก และการดูแลอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จากการใช้สารเคมีหรือโลหะที่มีผลต่อสภาพแวดล้อม

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลทำให้ค่าความคงทน และคุณภาพของแผ่นวงจรไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้นจากเดิมอยู่ที่ประมาณ 210-235 องศาเซลเซียส เป็น 240-260 องศาเซลเซียสในการผลิต คือ ณ อุณหภูมิที่พันธะทางเคมีของเรซินเกิดการแตกเสียหาย ( $T_d$ ) ที่ 350 องศาเซลเซียส จากค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนการผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ในกลุ่มของวัตถุดิบกลุ่มที่ 3 ซึ่งสามารถทนต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้นไปถึง 260 องศาเซลเซียส และสามารถทำงานที่อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ได้ถึง 3 รอบการทำงาน โดยที่ยังคงมีระดับคุณภาพดั้งเดิม แต่ในขณะที่ ณ อุณหภูมิที่พันธะทางเคมีของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว ( $T_g$ ) จะไม่ส่งผลต่อค่าความคงทน และคุณภาพของแผ่นวงจรไฟฟ้าเลย ต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์สูงขึ้นไปจากเดิม จากค่าเปอร์เซ็นต์จำนวนการผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ในกลุ่ม



ของวัตุดิบกลุ่มที่ 1 ซึ่งการปรับค่าคุณสมบัติของอุณหภูมิดังกล่าว มีผลการต้นทุนในการผลิต ไม่มากนักน้อย ซึ่งควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และต้นทุนการผลิต ต่ำที่สุด หรือทำการศึกษาเพิ่มเติมคุณสมบัติด้านอื่นๆ ของวัตุดิบ รวมถึงการศึกษาการใช้วัตุดิบทดแทน สารตะกั่ว ที่มีการใช้อุณหภูมิที่ต่ำลง เพราะต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานด้วย เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้น ย่อมหมายถึงการใช้พลังงานที่สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทั่วโลกกำลังทำการศึกษาวิจัย การหาพลังงานทดแทน และแนวทางในการประหยัดพลังงาน

## 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

5.2.1 ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม คุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของเรซิน ที่สามารถทำให้ความคงทนต่ออุณหภูมิการใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้น โดยศึกษาผลของต้นทุนของวัตุดิบที่ในการผลิต

5.2.2 ควรทำการทดสอบหาจุดที่เหมาะสมของอุณหภูมิที่พันธะทางเคมีของเรซินที่เกิดการแตกเสียหาย (Td) เพราะจากผลการทดสอบสามารถสรุปข้างต้นได้ว่า อุณหภูมิของพันธะทางเคมี ที่แตกเสียหายที่ 350 องศาเซลเซียส เป็นค่าที่ผ่านการทดสอบ แต่ก็ทำให้ต้นทุน ค่าใช้จ่าย ในการผลิตของวัตุดิบสูงขึ้นเช่นกัน

5.2.3 ควรทำการศึกษาเพิ่มเติม ในแง่การใช้พลังงาน โดยเปรียบเทียบ เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง ถึงข้อดีและข้อเสีย และอัตราการใช้พลังงาน เพราะนอกเหนือจากการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมแล้ว พลังงานก็มีส่วนสำคัญเช่นเดียวกัน

5.2.4 ศึกษาความเป็นไปได้ ในการปรับปรุงสารทดแทนสารตะกั่ว โดยที่อุณหภูมิการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่สูงขึ้น แต่มีระดับคุณภาพ เช่นเดียวกันเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

Draft

บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

#### หนังสือ

ปารเมศ ชูติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

#### บทความ

วิรัตน์ ศรีอมรกิจกุล. (2534, เมษายน). “พื้นฐานของเทคโนโลยีเซอร์เฟสเมตส์.” วารสารส่องโลกเทคโนโลยี. หน้า 12-33.

### ภาษาต่างประเทศ

#### BOOKS

Clyde F. Coombs, Jr. (1995). **Printed Circuits Handbook**. McGraw-Hill.

Donald G. Fink, and H. Wayne Beaty. (1987). **Standard Handbook for Electric Engineers** (12 th ed.). Editor McGraw-Hill.

Jennie S. Hwang. (2001). **Environment-Friendly Electronics: Lead-Free Technology**. Electrochemical Publications.

Martyn S. Ray. (1987). **The Technology and applications of Engineering Material**. Prentice Hall International.

S. S. Manson. (1966). **Thermal Stress and Low-Cycle Fatigue**. New York : McGraw-Hill.

## ARTICLES

- A. Miller and R. H. Priest. (1987). "Materials Response to Thermal-Mechanical Strain Cycling." **Elsevier Applied Science**. pp.113-175.
- Jennie S. Hwang, and Z. Gue. (1993). "Lead Free Solder For Electronics Packaging." **Surface Mount International**. p.733.

## ELECTRONIC SOURCES

- Douglas Leys and Steven P. Schaefer. (2001). PWB Dielectric Substrates for Lead Free Electronics Manufacturing. Retrieved September 24, 2004, from Park. Electrochemical Corp website. <http://www.parknelco.com>
- Matt Kelly, Quyen Chu and Jasbir Bath (2002). Lead Free Assembly Process Optimization. Retrieved May 15, 2004, from <http://www.circuitree.com>
- Mark Cannon (2003). PWB Process for Lead Free Technology. Retrieved May 11,2003, from <http://www.pcfab.com>
- Ulrich Zimmer and Bill Birch (2003). Lamination Process Parameter Optimization. Retrieved April 25, 2003, from <http://www.pcfab.com>
- Robert Demaree (2001). Halogen Free Material for Lead Free Technology. Retrieved August 15, 2004,from <http://www.circuitree.com>
- Ronald DePace and Wennei Chen (2003). Solder Joined Reliability study. Retrieved December 23,2004, from <http://www.circuitree.com>