

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

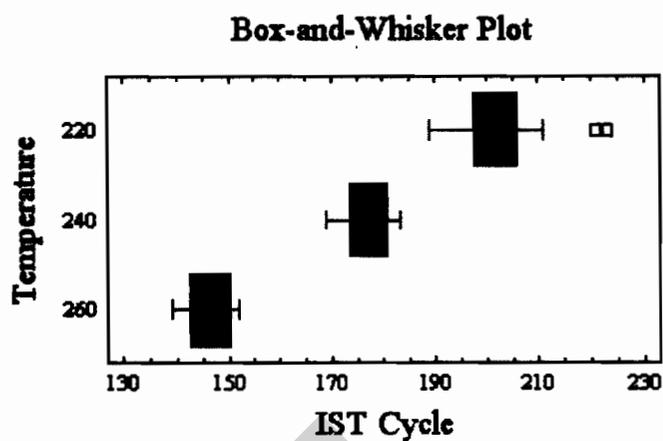
ตารางที่ 4.1 ตารางการออกแบบ ณ คุณสมบัติของเรซินปัจจุบัน เพื่อยืนยันการทดสอบ

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

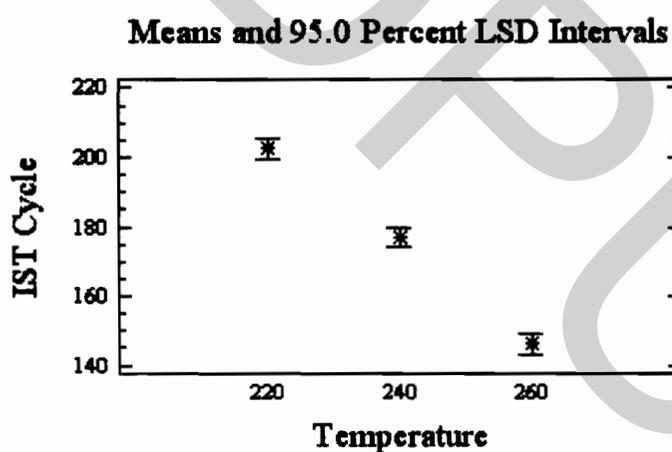
หมายเหตุ คุณสมบัติของแผ่นงาน ณ ปัจจุบัน คือที่ อุณหภูมิ $T_g = 130$ องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ $T_d = 320$ องศาเซลเซียส

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

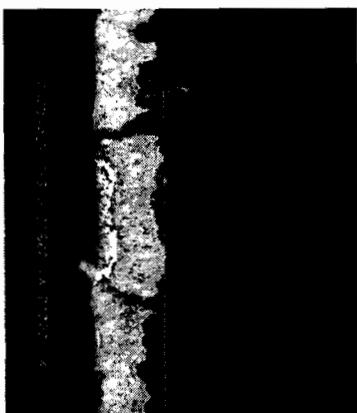
* denotes a statistically significant difference.

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

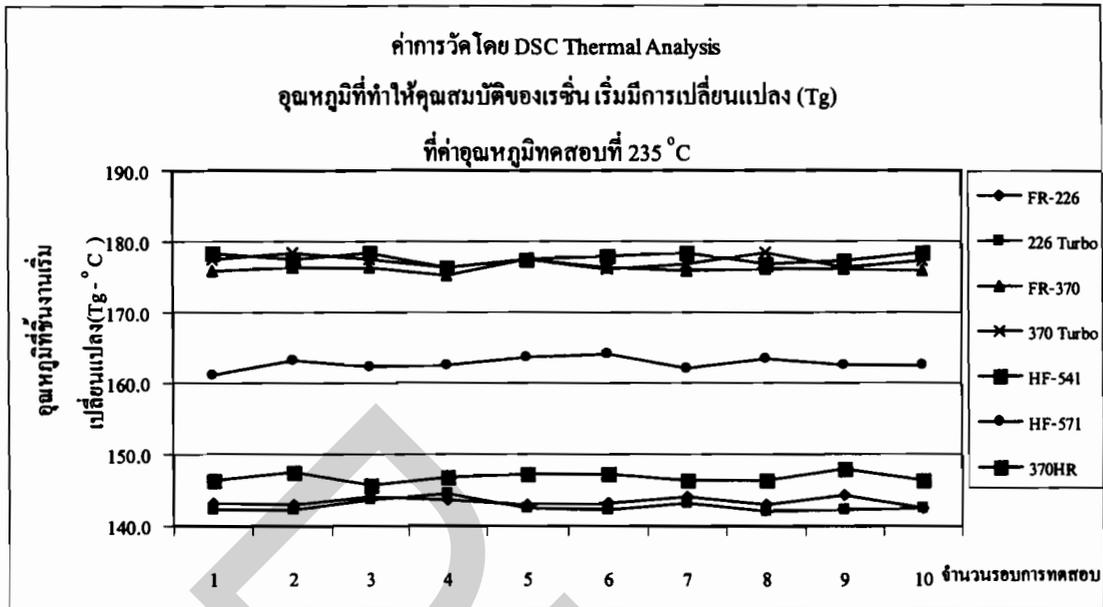
ตารางที่ 4.5 ตารางการออกแบบของอุณหภูมิการทดสอบที่คุณสมบัติต่าง ๆ

รหัสของวัสดุ ดิบในการ ทดสอบ	ณ อุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน เริ่มมีการเคลื่อนไหว (T _g) (องศา เซลเซียส)	ณ อุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน เกิดการแตกเสียหาย (T _d) (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

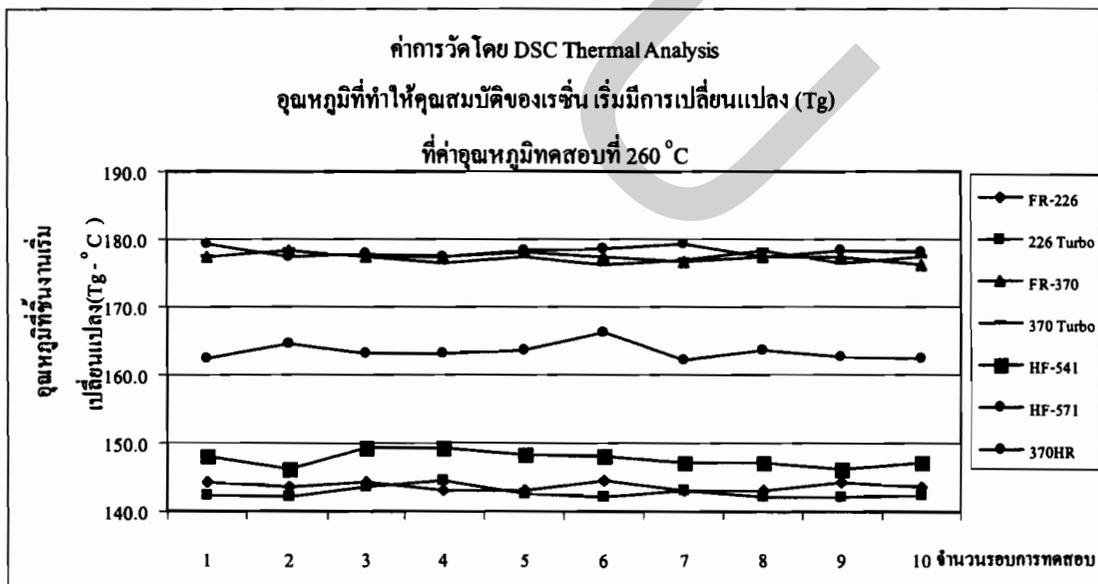
หลังจากที่ได้ทำการผลิตชิ้นงานทดสอบตามตารางที่ 4.4 แล้ว จึงทำการวัดค่าคุณสมบัติหลักของเรซิน เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีความผิดพลาดจากการผลิต คือ

1. Glass Transition Temperature (T_g)
2. Decomposition Temperature (T_d)

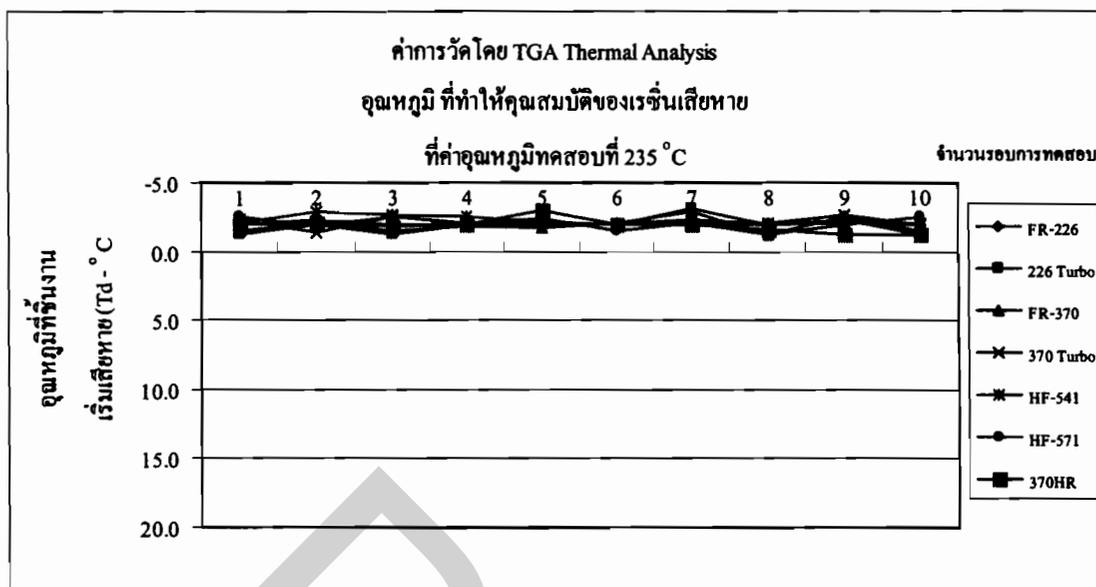
ผลการทดสอบค่าวัดโดยเครื่องมือ DSC Thermal Analysis



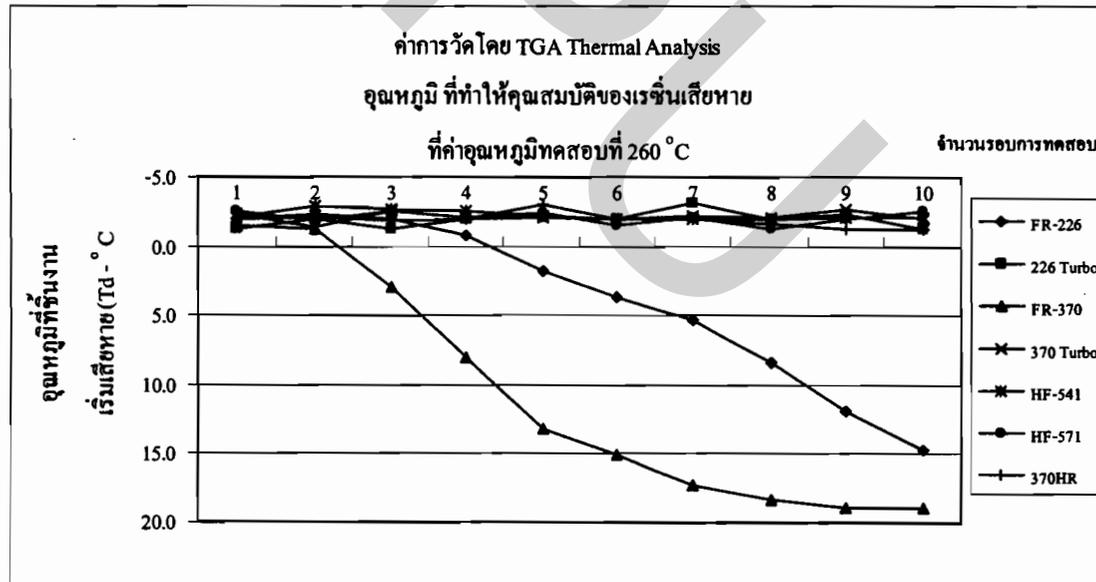
ภาพที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซิน ที่พันธะเคมีเริ่มมีการเคลื่อนไหว (Tg) ณ อุณหภูมิตดสอบที่ 235 องศาเซลเซียส



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 (T_g) แต่พบว่าไม่มีบางกลุ่มไม่ผ่านค่าอุณหภูมิที่คุณสมบัติของเรซินที่พันธะเคมีเริ่มมีการแตกเสียหาย (T_d) คือ FR226 ($T_g = 140$ องศาเซลเซียส , $T_d = 320$ องศาเซลเซียส) และ FR370 ($T_g = 175$ องศาเซลเซียส , $T_d 310$ องศาเซลเซียส)

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

ตารางที่ 4.6 ตารางการออกแบบการทดลอง

ตารางการออกแบบเพื่อการทดลอง

	อุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วน อีเลคทรอนิกส์ (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								
	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

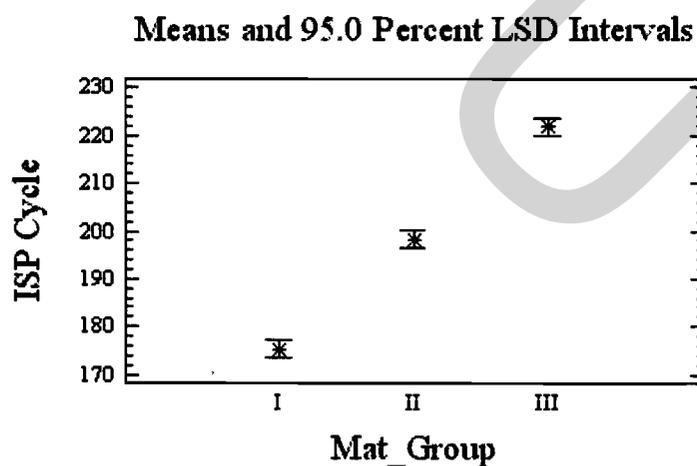
4.3 ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์เชิงสถิติ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลความสัมพันธ์และข้อสรุปของตาราง ANOVA

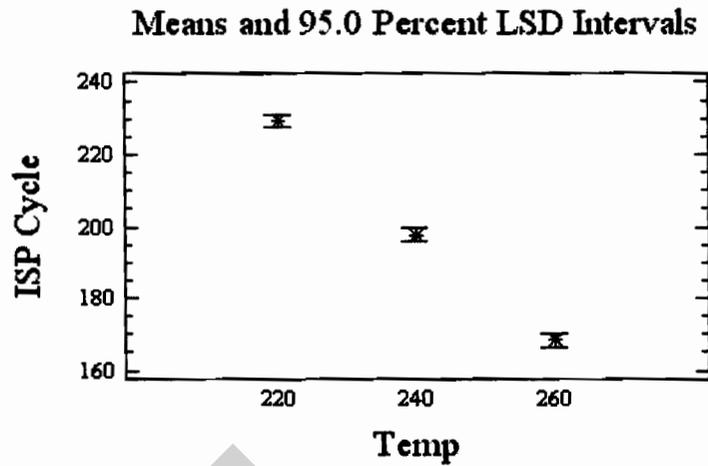
Analysis of Variance for ISP Cycle - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Mat_Group	39108.2	2	19554.1	306.98	. 0
B:Temp	66943.1	2	33471.5	525.47	. 0
INTERACTIONS					
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.

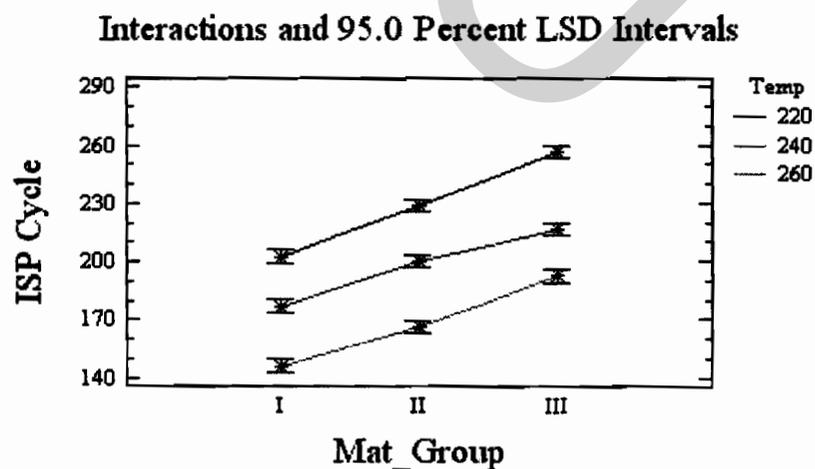


ภาพที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุดิบที่ใช้ กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) กับจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า

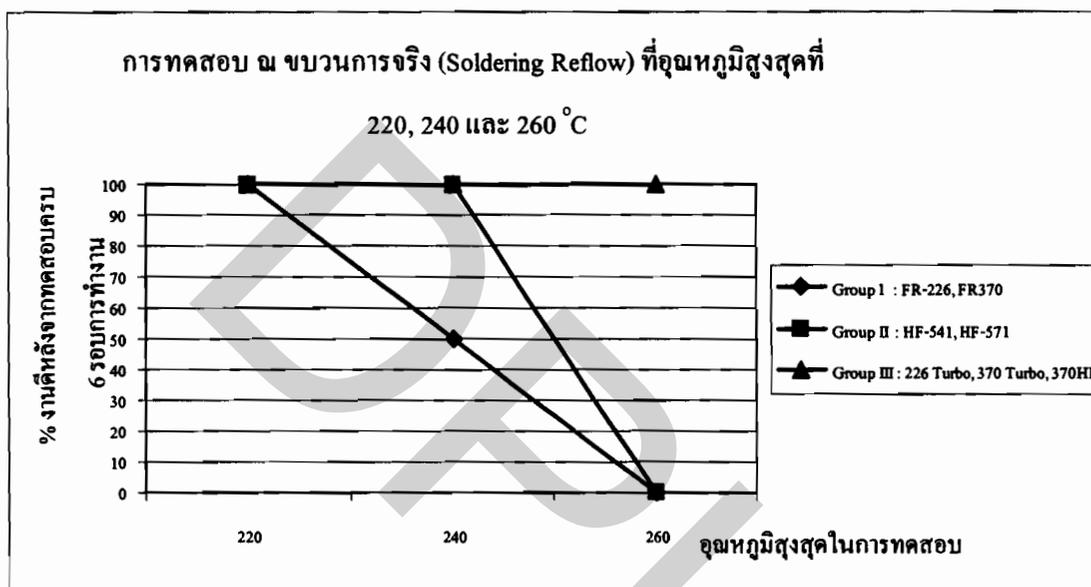
จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องมือ IST โดยจากผลการคำนวณตาราง ANOVA โดยที่ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0 ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยที่เลือก คืออุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุคืบทั้ง 3 กลุ่ม การทดสอบต่างก็มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ,จำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า และวัสดุคืบที่ใช้

จากกราฟข้างต้น จะเห็นว่าจำนวนรอบที่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าของวัสดุในกลุ่มที่ 3 จะมีค่ารอบการผ่านการทดสอบสูงสุด ในแต่ละอุณหภูมิการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

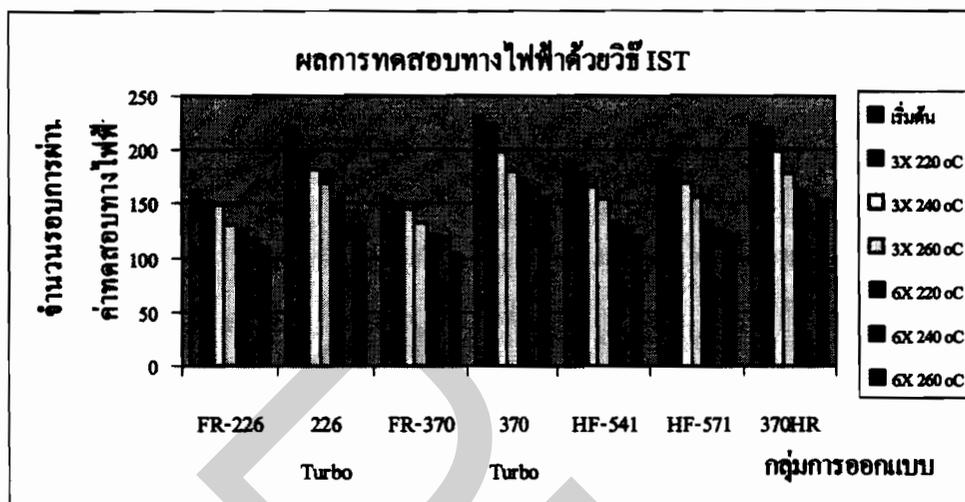
ผลการทดสอบโดยการทดสอบที่ขบวนการประกอบอุปกรณ์จริง ที่อุณหภูมิ 220 °C, 240 °C และ 260 °C



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