บทที่ 5

การคำนวณและการวิเคราะห์ผล

<u>การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลอง</u>

ทำการวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติวิศวกรรม

1. การวิเคราะห์ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

การทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ เป็นการทดสอบความสามารถในการยืดหยุ่นจากการพับผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยพิจารณาวัดผลเป็นความยาวรอยแตกของผิวเคลือบแลกเกอร์ที่เกิดจากการพับต่อความยาวของรอยพับทั้งหมด (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก)

ก. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการนำอิทธิพลของปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการของฟิชเชอร์ (Fisher) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ (กำหนด $\alpha = 0.05$) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5.1 สรุปปัจจัยที่มีผลภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลัก (Main Effects)
   - 1.1 ชนิดของแลกเกอร์
   - 1.2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่
   - 1.3 อุณหภูมิบ่ม
   - 1.4 เวลาที่ใช้ในการบ่ม
2. ปัจจัยร่วม (Interaction Effects)

2.1 ปัจจัยร่วมของชนิดของแลกเกอร์กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ มีผลต่อความสามารถในการยืดหยุ่น แสดงว่าแลกเกอร์แต่ละชนิด มีปริมาณการใช้น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่เหมาะสมแตกต่างกันที่จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นที่ดี

2.2 ปัจจัยร่วมของชนิดของแลกเกอร์ กับอุณหภูมิบ่ม มีผลต่อความสามารถในการยืดหยุ่น แสดงว่าแลกเกอร์แต่ละชนิด มีระดับอุณหภูมิบ่มที่เหมาะสมแตกต่างกันที่จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นที่ดี

2.3 ปัจจัยร่วมของน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ กับอุณหภูมิบ่ม แสดงว่า

ในการเคลือบแลกเกอร์ที่จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นที่เหมาะสม ต้องใช้น้ำหนักแลกแกอร์กับอุณหภูมิบ่มที่สัมพันธ์กัน

2.4 ปัจจัยร่วมของอุณหภูมิบ่มกับเวลาที่ใช้ในการบ่ม แสดงว่าในการเคลือบแลกเกอร์ที่จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นที่เหมาะสม ต้องใช้เวลาในการบ่มที่สัมพันธ์กับระดับอุณหภูมิบ่ม และที่อุณหภูมิบ่มต่ำการเพิ่มเวลาที่ใช้ในการบ่มจะสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ได้

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F		F วิกฤต (α=0.05)
A	146.75	2	73.37	7.97	*	3.00
B	363.6	2	181.80	19.75	*	
C	301.2	2	150.60	16.36	*	
D	135.42	2	67.71	7.35	*	
AB	179.43	4	44.85	4.87	*	2.37
AC	107.06	4	26.76	2.90	*	
AD	35.06	4	8.76	0.95		
BC	136.77	4	34.19	3.71	*	
BD	3.43	4	0.85	0.09		
CD	104.95	4	26.23	2.85	*	
ERROR	1187.38	129	9.20			
Total	2701.07	161				

$F_{0.05,2,129} = 3.00$

$F_{0.05,4,129} = 2.37$

* มีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$

ข. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสม และความถูกต้องในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นไปดังรูปที่ 5.1 - 5.3 ซึ่งหมายความว่า รูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อ

1. ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

2. ข้อมูลมีความอิสระ

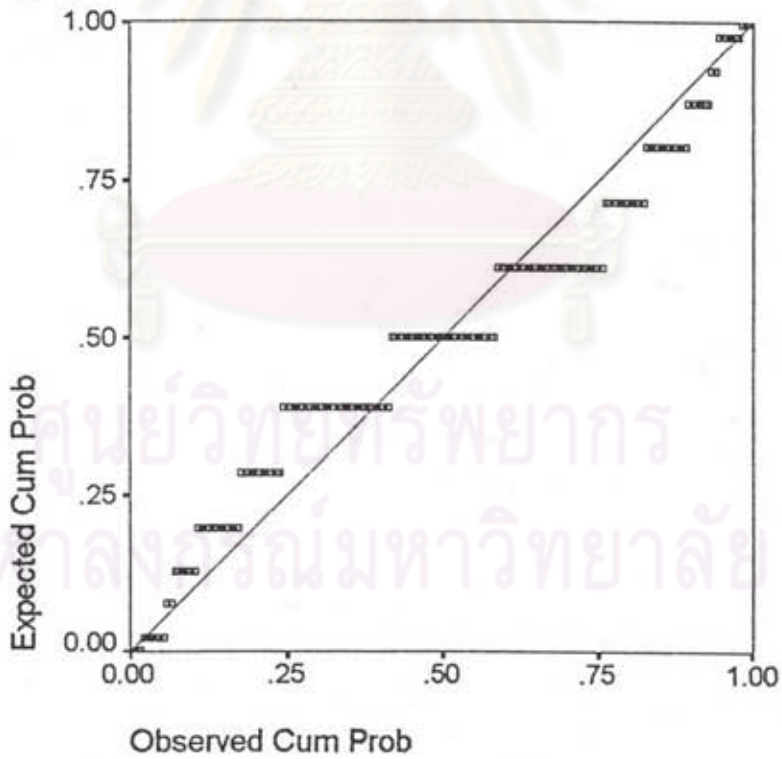
3. ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

โดยการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการที่ระบุไว้ในทฤษฎี (บทที่ 2)

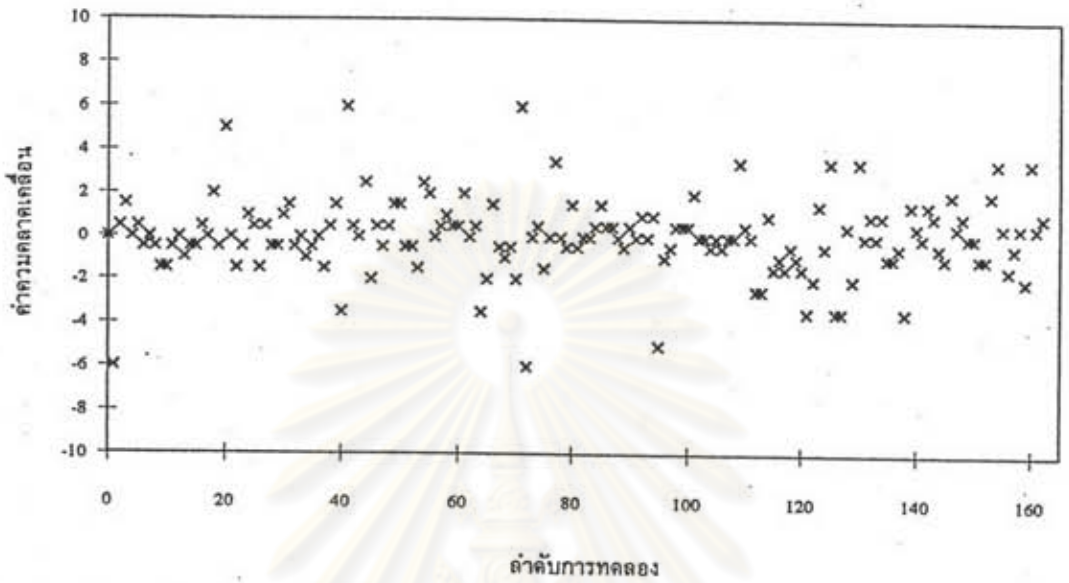
จากรูปที่ 5.1 เมื่อทำการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 5.2 เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างอิสระ สม่ำเสมอ ซึ่งแสดงได้ว่าลักษณะข้อมูลมีความอิสระ

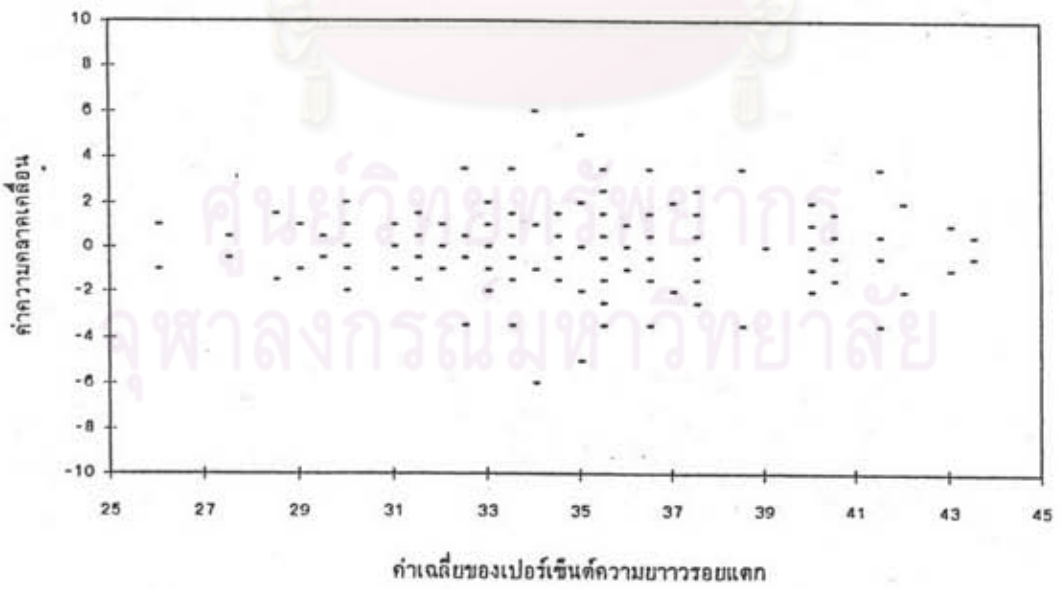
จากรูปที่ 5.3 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอไม่เกิดเป็นลักษณะแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นหรือลดลง(Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 5.1 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์



รูปที่ 5.2 ค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับการทดลองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

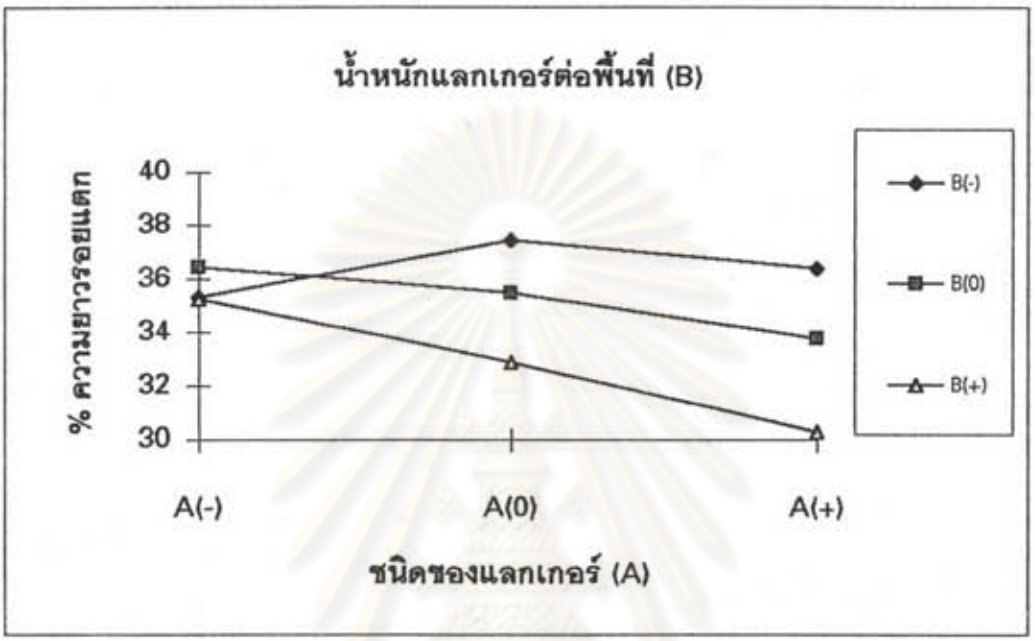


รูปที่ 5.3 ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองในปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

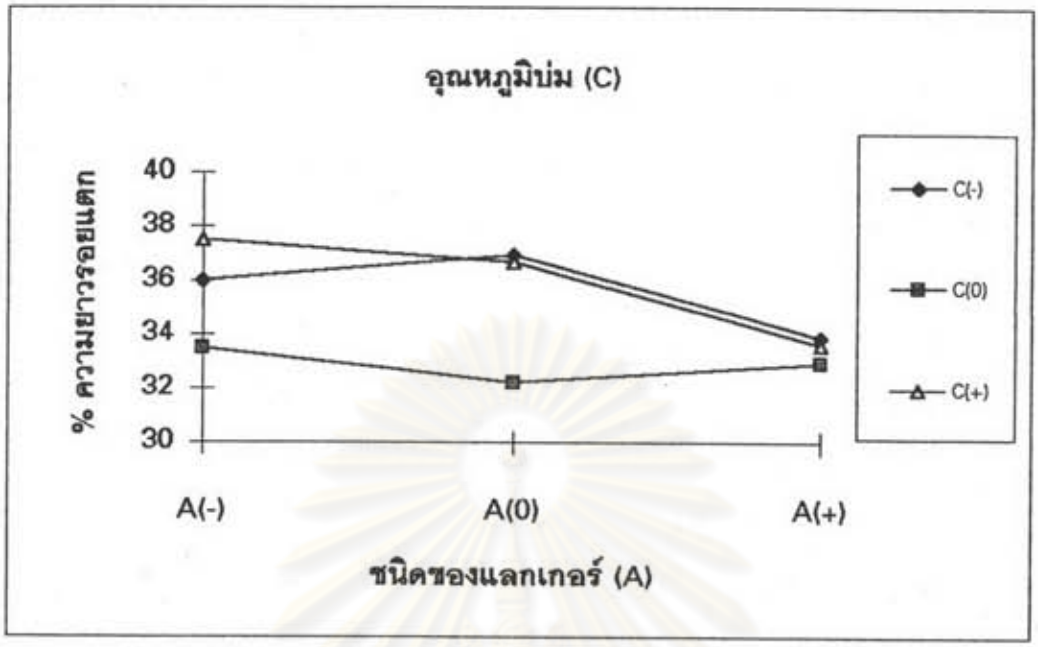


รูปที่ 5.4 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

		น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่		
		B(-)	B(0)	B(+)
แลกเกอร์ X	A(-)	35.33	36.44	35.22
แลกเกอร์ Y	A(0)	37.44	35.50	32.89
แลกเกอร์ Z	A(+)	36.38	33.78	30.27

จากรูปที่ 5.4 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ โดยแลกเกอร์ชนิด X มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่อระดับของน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เปลี่ยนไป และเมื่อน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่สูงขึ้น ความสามารถในการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ก็สูงขึ้นด้วย

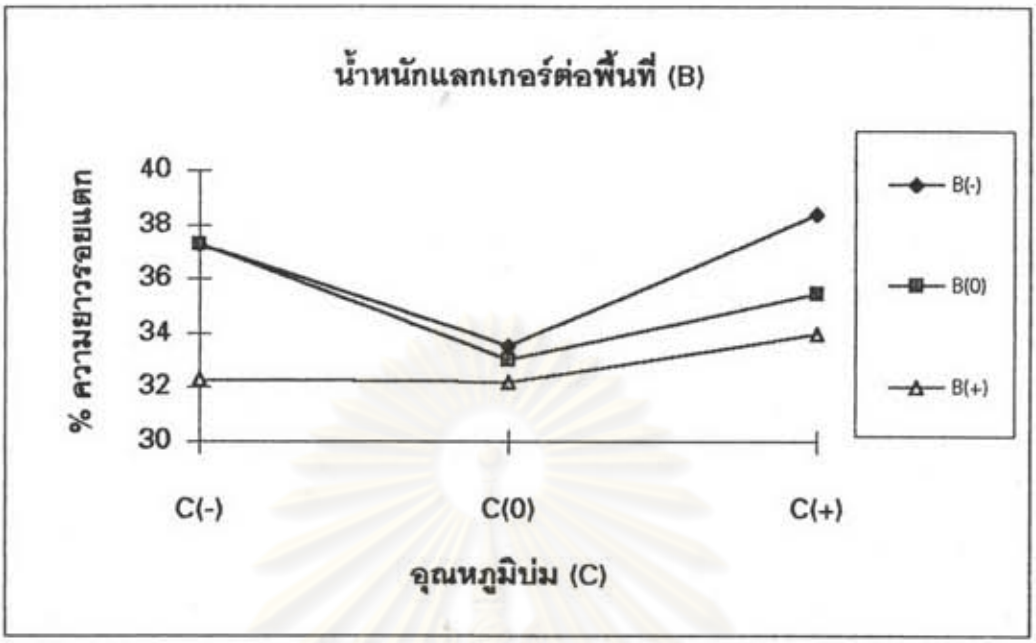


รูปที่ 5.5 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม

		อุณหภูมิบ่ม		
		C(-)	C(0)	C(+)
แลกเกอร์ X	A(-)	36.00	33.50	37.50
แลกเกอร์ Y	A(0)	36.94	32.22	36.67
แลกเกอร์ Z	A(+)	33.89	32.94	33.61

จากรูปที่ 5.5 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ กับอุณหภูมิบ่ม โดยแลกเกอร์ชนิด Z จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิบ่มน้อยที่สุด และมีผลของเปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตกต่ำสุด หรือมีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวสูงสุด และในแลกเกอร์ชนิด X และ Y ซึ่งหากใช้อุณหภูมิบ่มที่สูงหรือต่ำกว่า 205°C คือ 215°C หรือ195°C จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตกเพิ่มขึ้น 4-5 เปอร์เซ็นต์

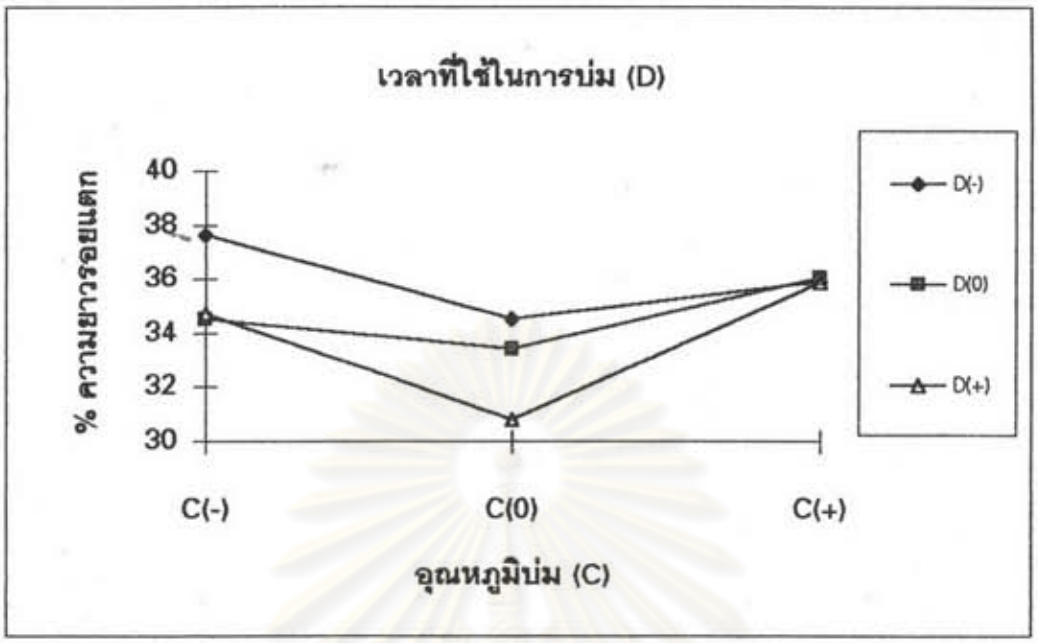


รูปที่ 5.6 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่กับอุณหภูมิบ่ม

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่กับอุณหภูมิบ่ม

		น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่		
		B(-)	B(0)	B(+)
อุณหภูมิบ่ม	C(-)	37.27	37.27	32.27
	C(0)	33.50	33.00	32.16
	C(+)	38.38	35.44	33.94

จากรูปที่ 5.6 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ กับอุณหภูมิบ่ม ซึ่งที่อุณหภูมิบ่ม 205 °C ผลของเปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตกมีความไวต่ำต่อการเปลี่ยนแปลงระดับของน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ และที่อุณหภูมิบ่ม 205 °C ยังให้ผลของเปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตกต่ำสุด หรือมีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวสูงสุดอีกด้วย

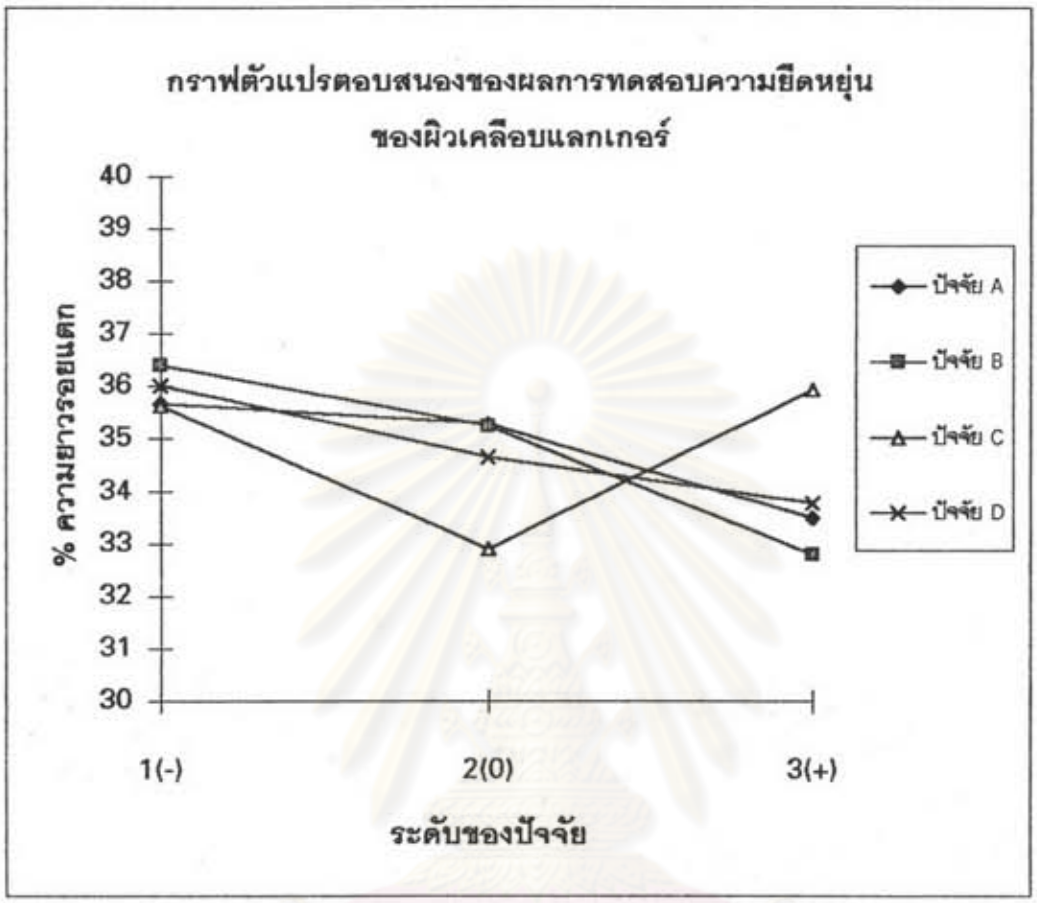


รูปที่ 5.7 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างอุณหภูมิบ่มกับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างอุณหภูมิบ่มกับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

		เวลาที่ใช้ในการบ่ม		
		D(-)	D(0)	D(+)
อุณหภูมิบ่ม	C(-)	37.61	34.50	34.72
	C(0)	34.50	33.38	30.78
	C(+)	35.89	36.05	35.83

จากรูปที่ 5.7 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิบ่ม กับเวลาที่ใช้ในการบ่ม และที่อุณหภูมิบ่ม 215°C เมื่อเปลี่ยนแปลงระดับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ ก็มีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อเปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตก ซึ่งที่อุณหภูมิ 205 ° C และเวลาที่ใช้ในการบ่ม 13 นาที จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตกน้อยที่สุด



รูปที่ 5.8 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่น
ของผิวเคลือบแลกเกอร์

ตารางที่ 5.6 ผลทดสอบของการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

ระดับ	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C	ปัจจัย D
1(-)	35.667	36.389	35.611	36.000
2(0)	35.278	35.241	32.889	34.648
3(+)	33.481	32.796	35.926	33.778

จากรูปที่ 5.8 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่า ปัจจัยหลักทั้ง 4 คือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม และเวลาที่ใช้ในการบ่ม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยที่

- แลกเกอร์ชนิด Z มีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวดีที่สุด และรองลงมา คือ แลกเกอร์ชนิด Y และแลกเกอร์ชนิด X

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ พบว่าเมื่อน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นหรือความหนาของฟิล์มมากขึ้น ความสามารถของการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์จะสูงขึ้นตาม และจากผลการทดลองน้ำหนักแลกเกอร์ 8.5±0.5 g./m.^{2} จะมีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวดีที่สุด คือมีรอยแตกจากการพับน้อยที่สุด

- อุณหภูมิบ่ม 205 °C เป็นอุณหภูมิบ่มที่ทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์มีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวสูงสุด เมื่อเทียบกับระดับอุณหภูมิบ่ม 215 °C และ 195 °C

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มมากขึ้นความสามารถในการยืดหยุ่นตัวของผิวเคลือบแลกเกอร์จะสูงขึ้น และจากการทดลอง เวลาที่ใช้ในการบ่ม 13 นาที มีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวสูงสุด

จากกราฟตัวแปรตอบสนองทั้งหมด (รูปที่ 5.4-5.8) สามารถเสนอแนะสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการเคลือบแลกเกอร์ที่ให้ผลการทดสอบความสามารถในการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์อยู่ในระดับที่ดี คือ ใช้แลกเกอร์ชนิด X หรือ Y อุณหภูมิบ่ม 205° C เวลาที่ใช้ในการบ่ม 13 นาที และน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5±0.5 g./m.^{2}

2. การวิเคราะห์ผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ เป็นการทดสอบสามารถในการทนต่อแรงในการขีดข่วน ซึ่งวัดผลเป็นน้ำหนักที่ใช้จนทำให้เกิดรอยขีดข่วนถึงเนื้อเหล็ก (ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก)

ก. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการนำอิทธิพลของปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการของฟิชเชอร์ (Fisher) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ (กำหนด α = 0.05) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5.7 สรุปปัจจัยที่มีผลภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลัก
   1.1 ชนิดของแลกเกอร์
   1.2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่
   1.3 อุณหภูมิบ่ม
2. ปัจจัยร่วม
   2.1 ปัจจัยร่วมของชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม มีผลต่อความ

สามารถในการทนต่อการขีดข่วน แสดงว่าแลกเกอร์แต่ละชนิด มีระดับอุณหภูมิบ่มที่เหมาะสมแตกต่างกันที่จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนที่ดี

2.2 ปัจจัยร่วมของชนิดของแลกเกอร์กับเวลาที่ใช้ในการบ่ม มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการขีดข่วน แสดงว่าแลกเกอร์แต่ละชนิด จะใช้เวลาที่ใช้ในการบ่มต่างกันที่จะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่ได้มีความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนที่ดี

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F		F วิกฤต (α=0.05)
A	521975.31	2	260987.65	65.02	*	3.00
B	982345.68	2	491172.84	122.37	*	
C	42345.68	2	21172.84	5.27	*	
D	3456.79	2	1728.39	0.43		
AB	33950.62	4	8487.65	2.11		2.37
AC	70617.28	4	17654.32	4.39	*	
AD	45061.73	4	11265.43	2.80	*	
BC	19135.8	4	4783.95	1.19		
BD	25802.47	4	6450.61	1.60		
CD	2469.14	4	617.28	0.15		
ERROR	517777.78	129	4013.78			
Total	2264938.27	161				

$F_{0.05,2,129} = 3.00$

$F_{0.05,4,129} = 2.37$

* มีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$

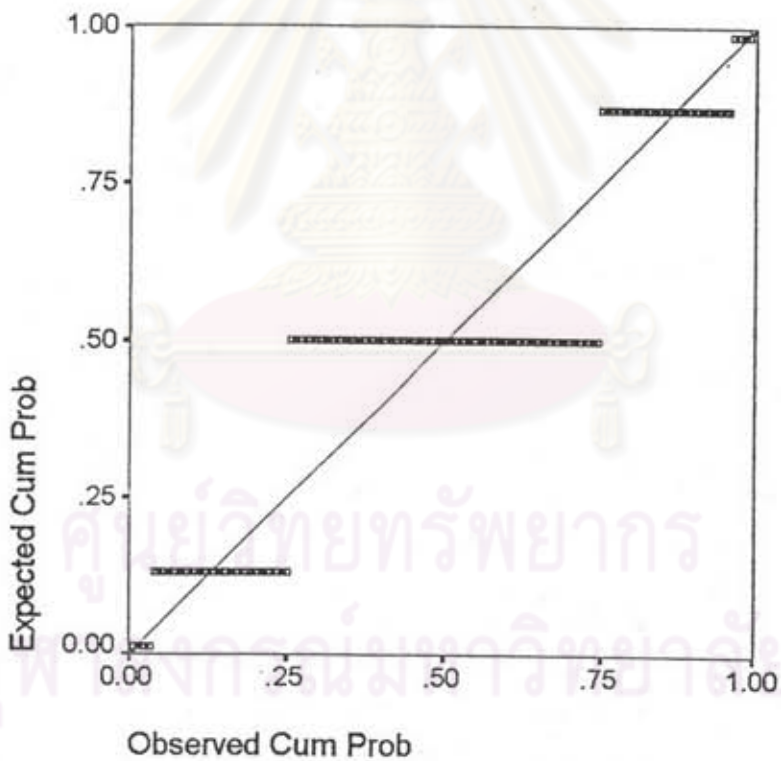
ข. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เป็นการตรวจสอบความเหมาะสม และความถูกต้องในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นไปดังรูปที่ 5.9 - 5.11 ซึ่งหมายความว่า รูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อ ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการที่ระบุไว้ในทฤษฎี (บทที่ 2)

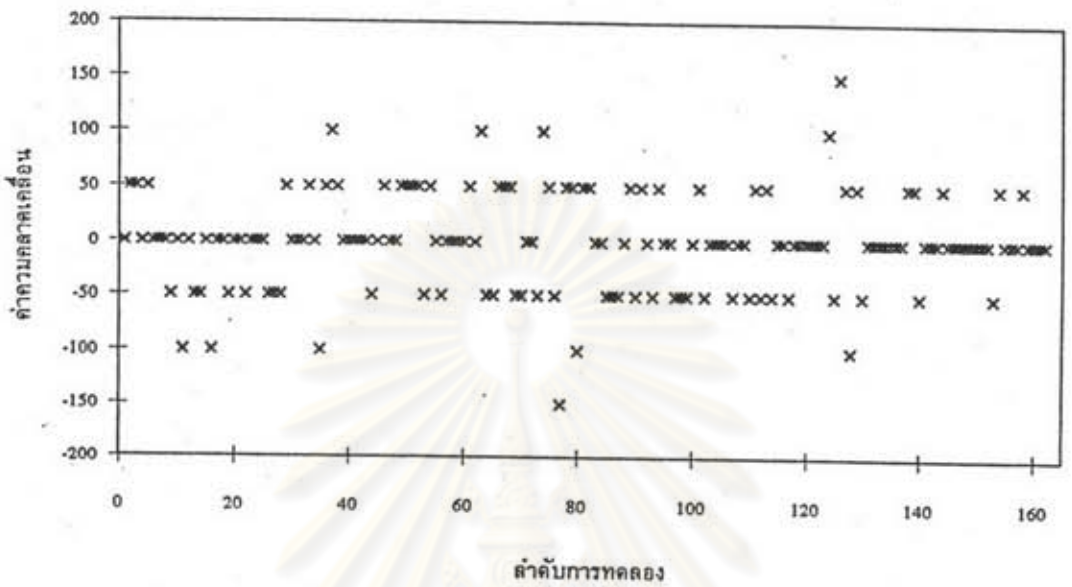
จากรูปที่ 5.9 เมื่อทำการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นกลุ่มใหญ่ตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 5.10 เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างอิสระ สม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบ แสดงว่าลักษณะข้อมูลมีความอิสระ

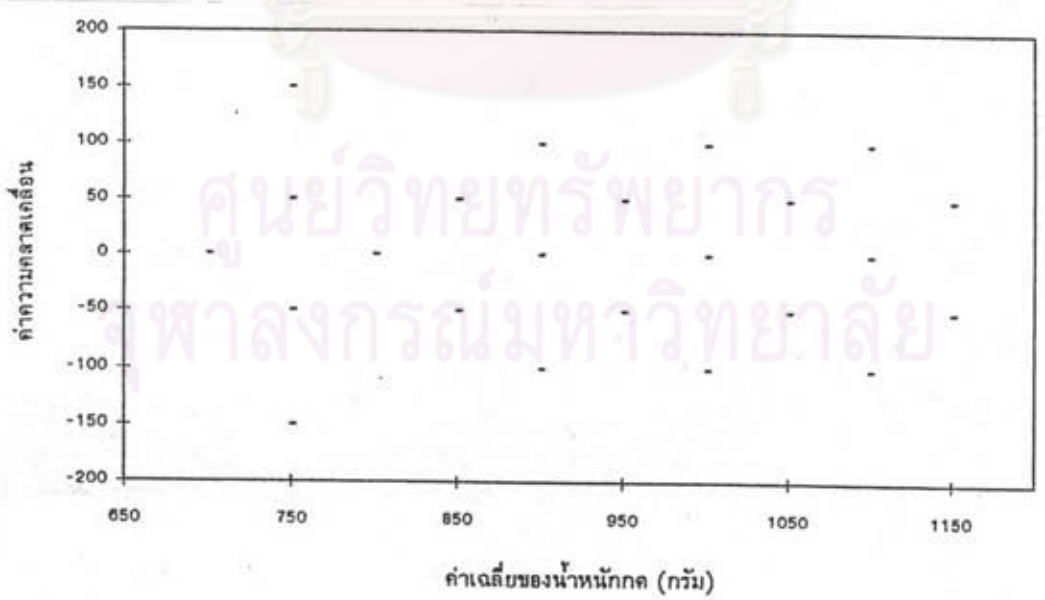
จากรูปที่ 5.11 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในแต่ละค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกด และไม่เกิดเป็นลักษณะแนวโน้มของการเพิ่มขึ้น หรือลดลง(Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 5.9 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์



รูปที่ 5.10 ค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับการทดลองของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

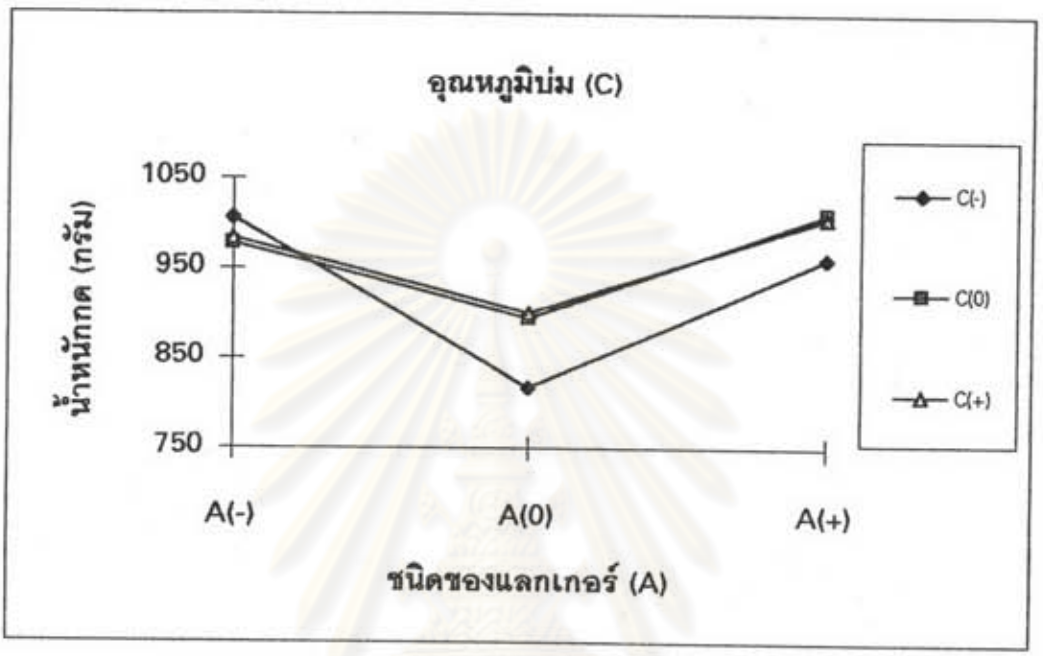


รูปที่ 5.11 ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกด(กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองในปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

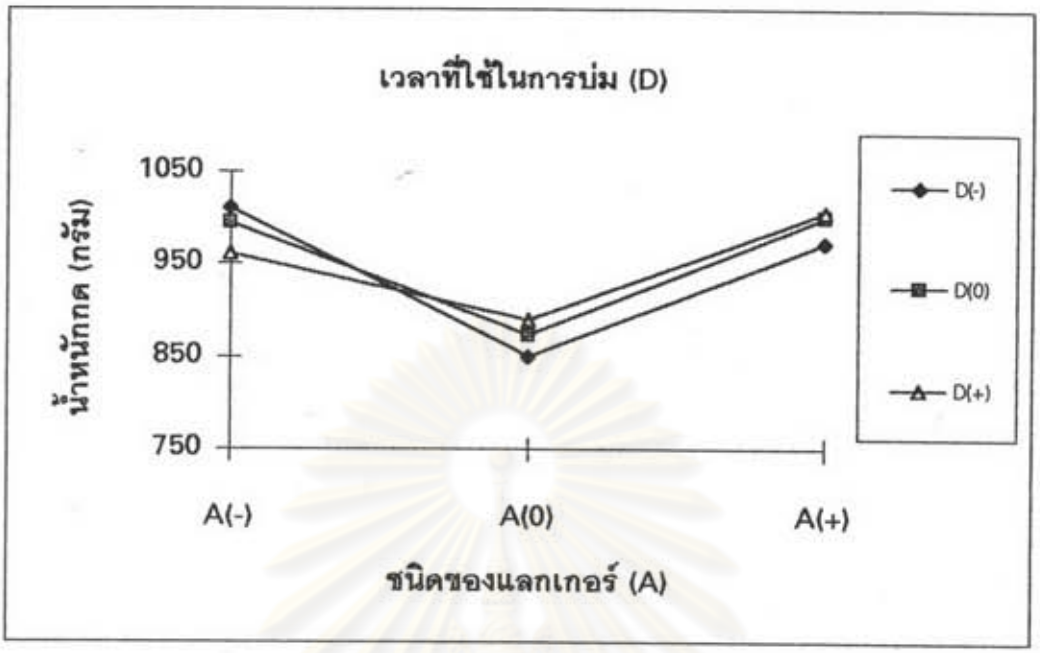


รูปที่ 5.12 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม

		อุณหภูมิบ่ม		
		C(-)	C(0)	C(+)
แลกเกอร์ X	A(-)	1005.56	977.78	983.33
แลกเกอร์ Y	A(0)	816.67	894.44	900.00
แลกเกอร์ Z	A(+)	961.11	1011.11	1005.56

จากรูปที่ 5.12 แสดงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ กับอุณหภูมิบ่ม โดยที่อุณหภูมิบ่ม 195 °C จะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์ของแลกเกอร์ชนิด Y และ Z ทนต่อแรงที่ใช้ในการขีดข่วนได้ต่ำลง

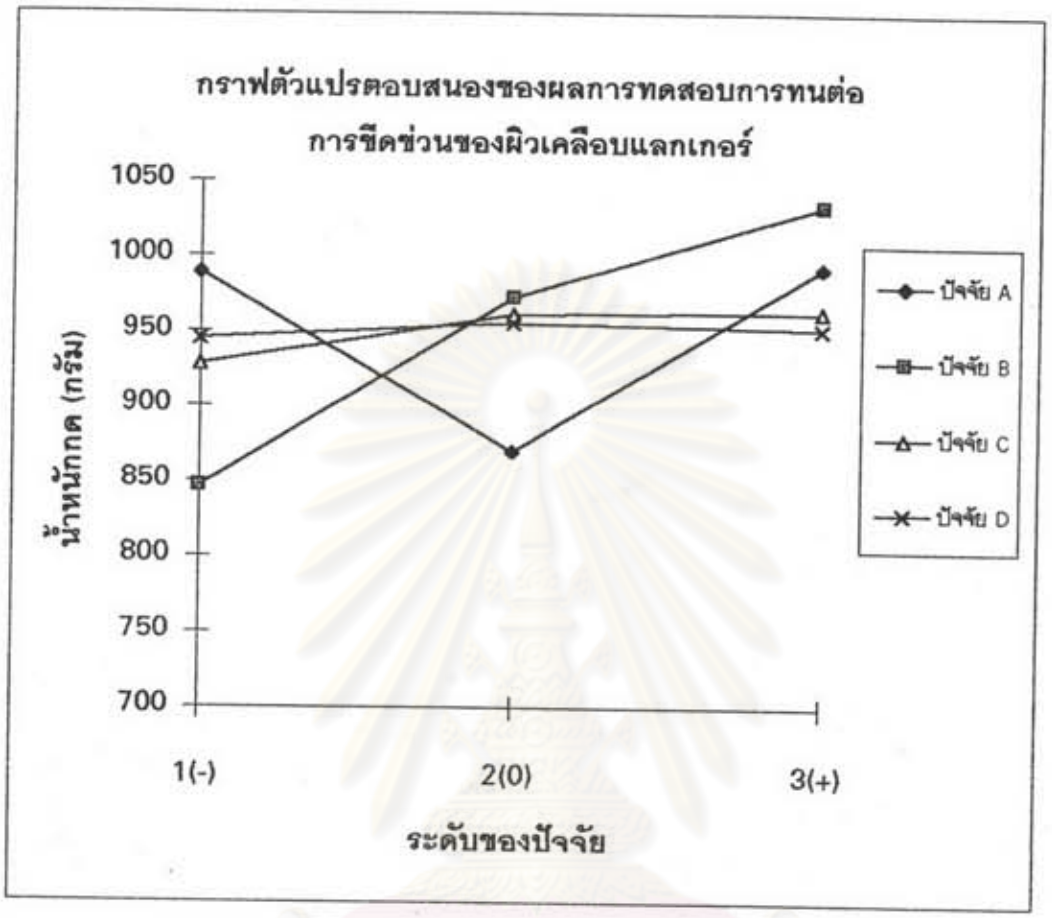


รูปที่ 5.13 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

		เวลาที่ใช้ในการบ่ม		
		D(-)	D(0)	D(+)
แลกเกอร์ X	A(-)	1011.11	994.44	961.11
แลกเกอร์ Y	A(0)	850.00	872.22	888.89
แลกเกอร์ Z	A(+)	972.22	1000.00	1005.56

จากรูปที่ 5.13 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ กับเวลาที่ใช้ในการบ่ม ซึ่งเมื่อชนิดของแลกเกอร์เปลี่ยนไป อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการบ่มต่อความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนจะเปลี่ยนไปด้วย



รูปที่ 5.14 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วน ของผิวเคลือบแลกเกอร์

ตารางที่ 5.10 ผลทดสอบของการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

ระดับ	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C	ปัจจัย D
1(-)	988.889	846.296	927.778	944.444
2(0)	870.370	972.222	961.111	955.556
3(+)	992.593	1033.333	962.963	951.852

จากรูปที่ 5.14 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 คือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนัก-แลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม และเวลาที่ใช้ในการบ่ม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยที่

- แลกเกอร์ชนิด Z กับ X มีความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ดีใกล้เคียงกัน ส่วนแลกเกอร์ชนิด Y จะทนแรงขีดข่วนได้ต่ำสุด

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ พบว่าเมื่อน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นหรือความหนาของฟิล์มมากขึ้น ความสามารถของการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์จะสูงขึ้นตาม และจากผลการทดลองน้ำหนักแลกเกอร์ 8.5±0.5 g./m.^{2} จะมีความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ดีที่สุด คือทนแรงกดในการขีดได้มากที่สุด

- อุณหภูมิบ่ม พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิบ่ม 215 °C ความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์จะมากที่สุด แต่อุณหภูมิบ่มจะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการทนต่อการขัดถูน้อย เมื่อเทียบกับปัจจัยตัวอื่น

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม พบว่าเวลาที่ใช้ในการบ่มจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์น้อย ซึ่งเวลาที่ใช้ในการบ่มทั้ง 3 ระดับจะให้ผลใกล้เคียงกัน โดยเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการบ่มไม่มีผลต่อการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์อย่างมีนัยสำคัญ (α = 0.05)

จากกราฟตัวแปรตอบสนองทั้งหมด (รูปที่ 5.12-5.14) สามารถกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการเคลือบแลกเกอร์ที่ให้ผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์อยู่ในระดับที่ดี คือ ใช้แลกเกอร์ชนิด X หรือ Z อุณหภูมิบ่ม 215°C หรือ 195 °C และน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5 ± 0.5 g./m.^{2}

3. การวิเคราะห์ผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์

การทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ เป็นการทดสอบโดยนำแผ่นเหล็กเคลือบแลกเกอร์ทดสอบ ไปถูด้วยลำลีชุบด้วยเมททิลเอททิลคีโทน (Methyl Ethyl Ketone) จนกว่าผิวเคลือบแลกเกอร์จะหลุด และนับจำนวนคู่ของการถู (ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก)

ก. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการนำอิทธิพลของปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการของฟิชเชอร์ (Fisher) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ 0.05 (กำหนด α = 0.05) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5.11 สรุปปัจจัยที่มีผลภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลัก

1.1 ชนิดของแลกเกอร์

1.2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

1.3 อุณหภูมิบ่ม

1.4 เวลาที่ใช้ในการบ่ม

2. ปัจจัยร่วม

2.1 ปัจจัยร่วมของชนิดของแลกเกอร์ กับอุณหภูมิบ่ม มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการขัดถู แสดงว่าแลกเกอร์แต่ละชนิด มีระดับอุณหภูมิบ่มที่เหมาะสมแตกต่างกันที่จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการขัดถูที่ดี

ตารางที่ 5.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F		F วิกฤต (α=0.05)
A	32311.49	2	16155.745	351.98	*	3.00
B	2363.94	2	1181.97	25.75	*	
C	730.09	2	365.045	7.95	*	
D	833.72	2	416.86	9.08	*	
AB	295.62	4	73.90	1.61		2.37
AC	1415.91	4	353.97	7.71	*	
AD	378.17	4	94.54	2.05		
BC	152.36	4	38.09	0.82		
BD	55.51	4	13.87	0.30		
CD	191.91	4	47.97	1.04		
ERROR	5920.9	129	45.89			
Total	44649.6	161				

$F_{0.05,2,129} = 3.00$

$F_{0.05,4,129} = 2.37$

* มีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$

ข. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

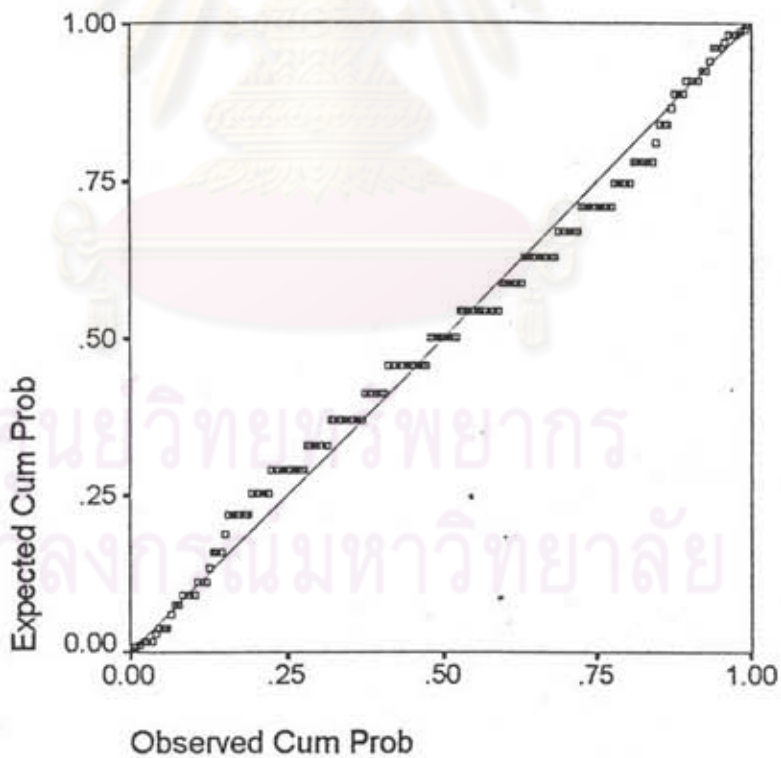
เป็นการตรวจสอบความเหมาะสม และความถูกต้องในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นไปดังรูปที่ 5.15 - 5.17 ซึ่งหมาย

ความว่า รูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อ ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการที่ระบุไว้ในทฤษฎี (บทที่ 2)

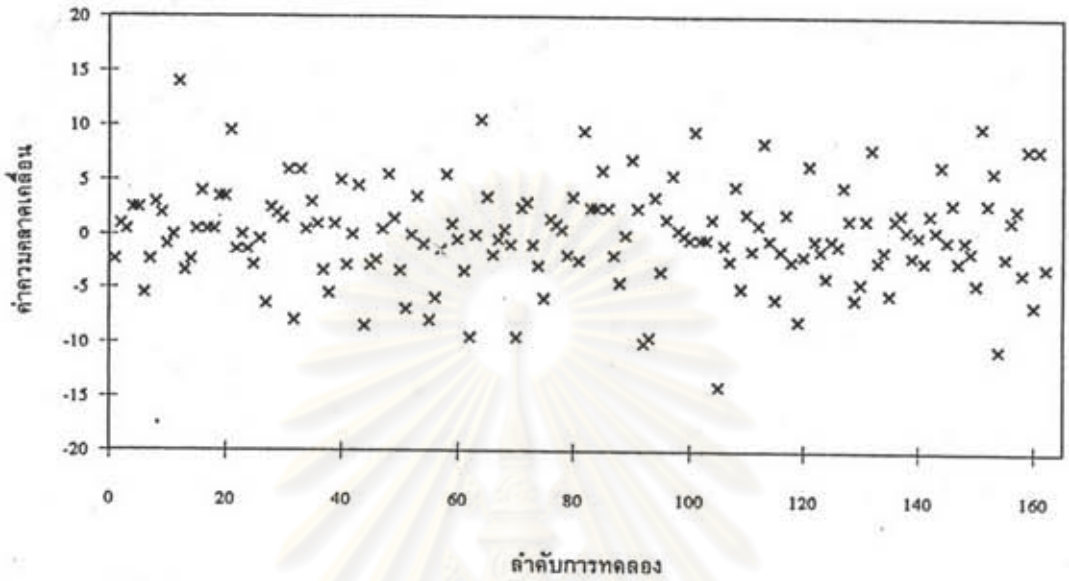
จากรูปที่ 5.15 เมื่อทำการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 5.16 เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างอิสระ แสดงว่าลักษณะข้อมูลมีความอิสระ

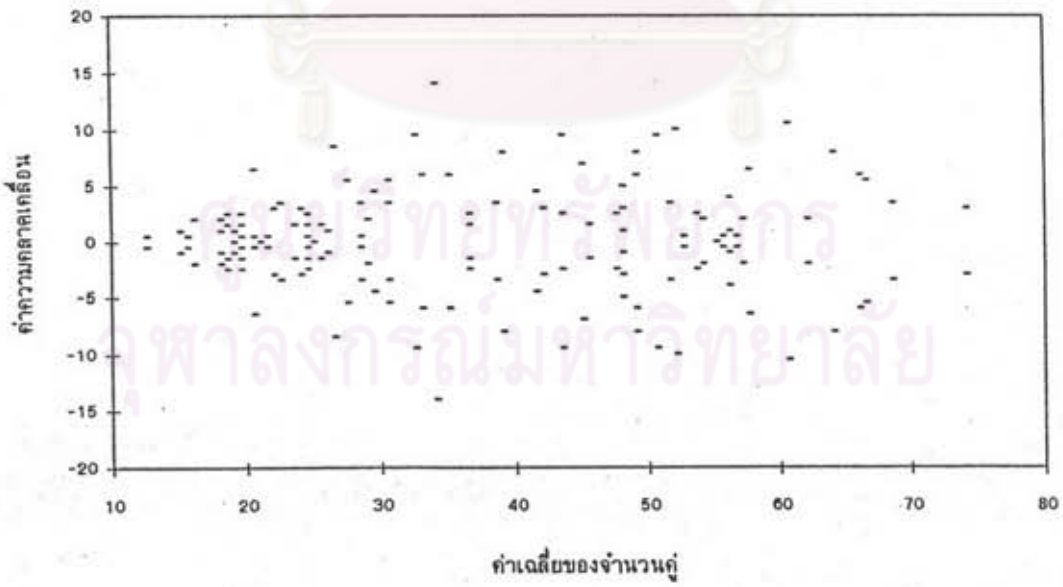
จากรูปที่ 5.17 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในแต่ละค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกด ไม่เกิดเป็นลักษณะแนวโน้มของการเพิ่มขึ้น หรือลดลง(Megaphone) แสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 5.15 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์



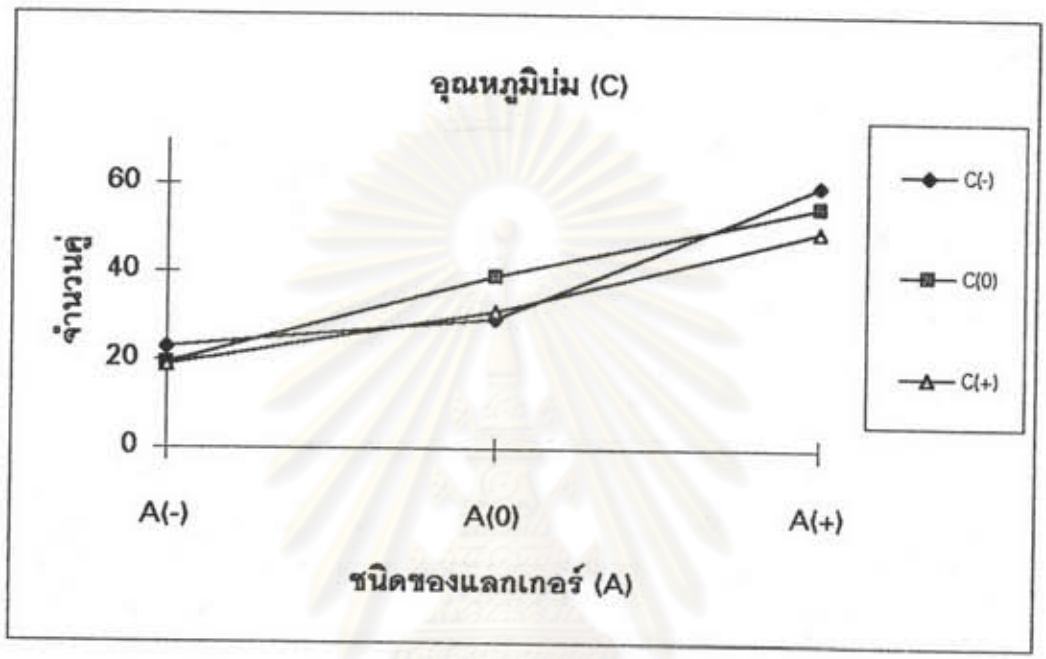
รูปที่ 5.16 ค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับการทดลองของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์



รูปที่ 5.17 ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าเฉลี่ยของจำนวนคู่

ค. การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์

ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองในปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์

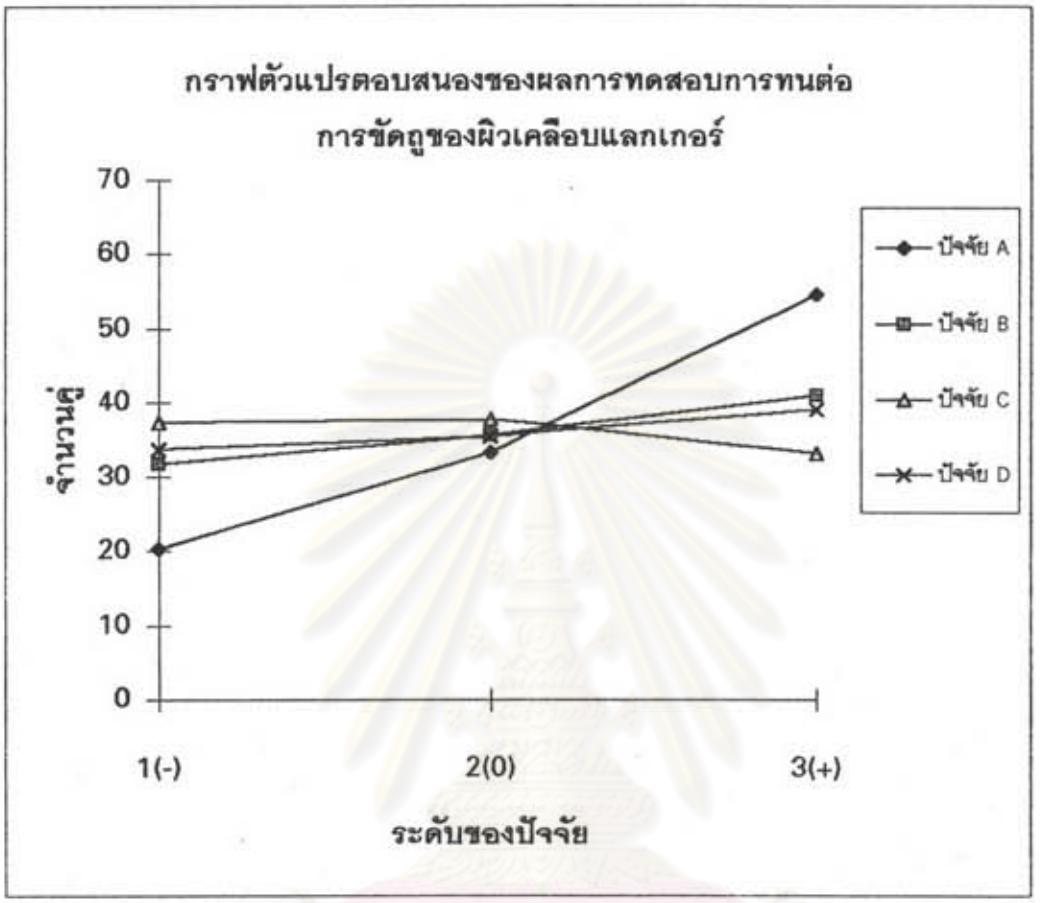


รูปที่ 5.18 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับอุณหภูมิบ่ม

		อุณหภูมิบ่ม		
		C(-)	C(0)	C(+)
แลกเกอร์ X	A(-)	22.94	19.27	18.83
แลกเกอร์ Y	A(0)	29.38	39.11	31.11
แลกเกอร์ Z	A(+)	59.72	54.83	49.22

จากรูปที่ 5.18 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ กับอุณหภูมิบ่ม พบว่าปัจจัยชนิดของแลกเกอร์จะมีผลต่อผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูมากที่สุด โดยเป็นไปตามสมมุติฐานที่คาดว่า แลกเกอร์แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการต้านทานต่อการทำลายต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า แลกเกอร์ชนิด Z จะมีความสามารถในการทนต่อการขัดถูสูงสุด



รูปที่ 5.19 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถู
ของผิวเคลือบแลกเกอร์

ตารางที่ 5.13 ผลทดสอบของการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกกอร์

ระดับ	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C	ปัจจัย D
1(-)	20.352	31.648	37.352	33.648
2(0)	33.204	35.537	37.741	35.407
3(+)	54.593	40.963	33.056	39.093

จากรูปที่ 5.19 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 คือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม และเวลาที่ใช้ในการบ่ม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยที่

- แลกเกอร์ชนิด Z มีความสามารถในการการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ดีที่สุด คือใช้จำนวนรอบในการขัดถูจนแลกเกอร์หลุดลอกมากที่สุด และรองลงมาคือแลกเกอร์ชนิด Y และแลกเกอร์ชนิด X

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ พบว่าเมื่อน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นหรือความหนาของฟิล์มมากขึ้น ความสามารถของการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์จะสูงขึ้นตาม และจากผลการทดลองน้ำหนักแลกเกอร์ 8.5±0.5 g./m.^{2} จะมีความสามารถในการทนต่อการขัดถูดีที่สุด คือใช้จำนวนคู่ในการขัดถูจนแลกเกอร์หลุดลอกมากที่สุด

- อุณหภูมิบ่ม พบว่า เมื่อระดับอุณหภูมิบ่มต่ำลงความสามารถในการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิบ่ม 195°C ความสามารถในการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์จะมากที่สุด

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น ความสามารถของการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์จะสูงขึ้นตาม แต่เวลาที่ใช้ในการบ่มจะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการทนต่อการขัดถูน้อย เมื่อเทียบกับปัจจัยตัวอื่น

จากกราฟตัวแปรตอบสนองทั้งหมด (รูปที่ 5.18-5.19) พบว่า แลกเกอร์ชนิด Z และน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5 ± 0.5 g./m.^{2} จะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์มีคุณสมบัติในการทนต่อการขัดถูที่ดี

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ เป็นการทดสอบโดยนำแผ่นเหล็กที่เคลือบแลกเกอร์ไปนึ่งในหม้อนึ่งอัด (Autoclave) และวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดฝ้าไอน้ำและระดับความรุนแรง(ผลการทดสอบแสดงใน ภาคผนวก ก)

ก. การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการนำอิทธิพลของปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการของฟิชเชอร์ (Fisher) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ 0.05 (กำหนด α = 0.05) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5.14 สรุปปัจจัยที่มีผลภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้

1. ปัจจัยหลัก
   1.1 ชนิดของแลกเกอร์
   1.2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่
   1.3 อุณหภูมิบ่ม

2. ปัจจัยร่วม

2.1 ปัจจัยร่วมของชนิดของแลกเกอร์กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ แสดงว่าแลกเกอร์แต่ละชนิด มีปริมาณการใช้น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่เหมาะสมแตกต่างกัน ที่ทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำที่ดี

ตารางที่ 5.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	F		F วิกฤต (α=0.05)
A	233.93	2	116.96	40.57	*	3.00
B	48.44	2	24.22	8.40	*	
C	30.04	2	15.02	5.20	*	
D	9.59	2	4.79	1.66		
AB	30.74	4	7.68	2.66	*	2.37
AC	18.81	4	4.70	1.63		
AD	14.81	4	3.70	1.28		
BC	24.3	4	6.07	2.10		
BD	11.85	4	2.96	1.02		
CD	20.7	4	5.17	1.79		
ERROR	371.9	129	2.88			
Total	815.11	161				

$F_{0.05,2,129}$ = 3.00

$F_{0.05,4,129}$ = 2.37

* มีนัยสำคัญที่ α = 0.05

ข. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

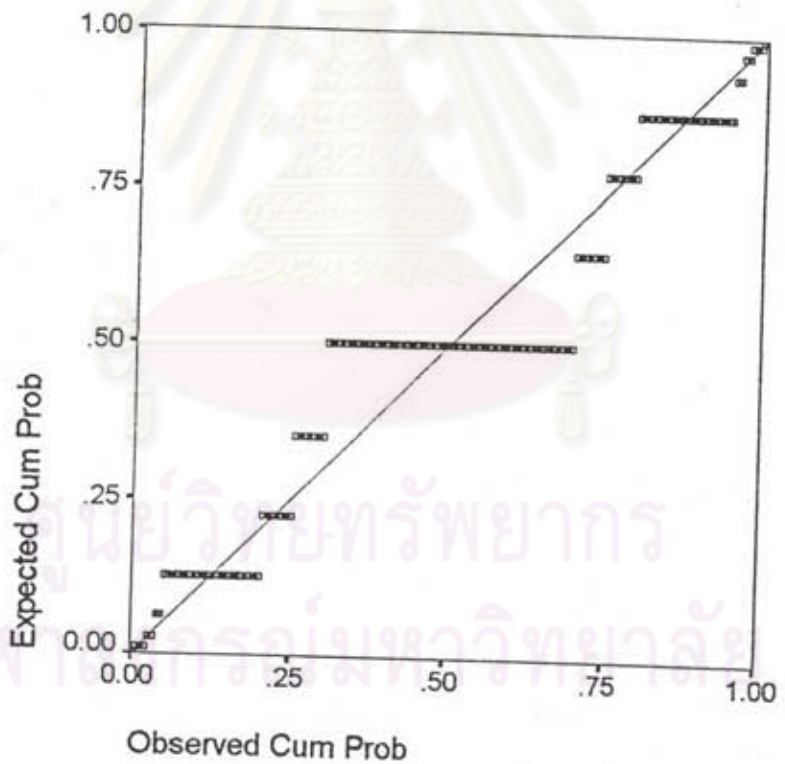
เป็นการตรวจสอบความเหมาะสม และความถูกต้องในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นไปดังรูปที่ 5.20 - 5.22 ซึ่งหมายความว่า รูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อ ซึ่งมีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการที่ระบุไว้ในทฤษฎี (บทที่ 2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

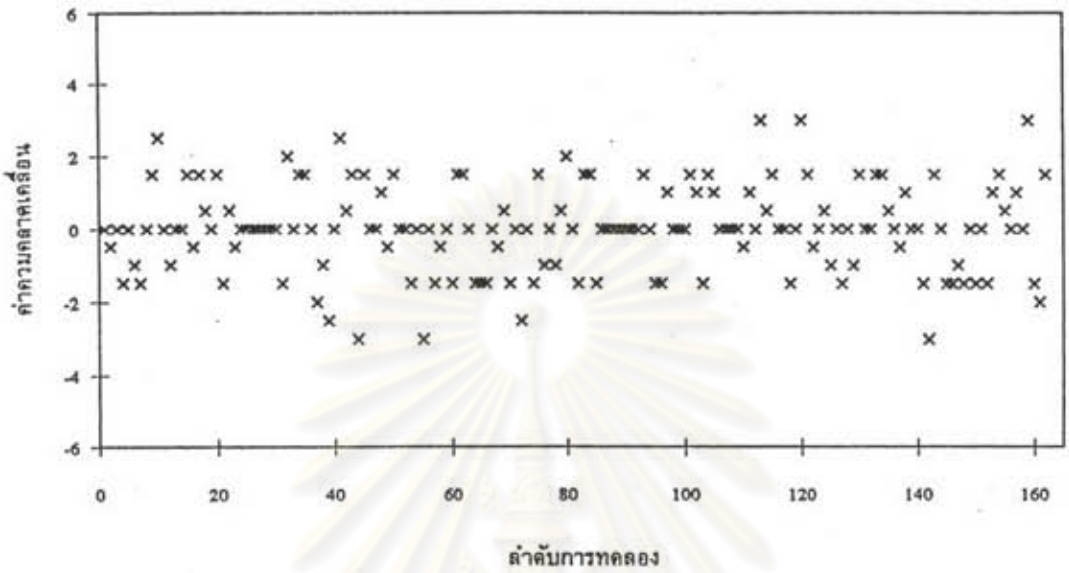
จากรูปที่ 5.20 เมื่อทำการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

จากรูปที่ 5.21 เป็นการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวแลกเกอร์ มีการกระจายตัวอย่างอิสระ แสดงว่าลักษณะข้อมูลมีความอิสระ

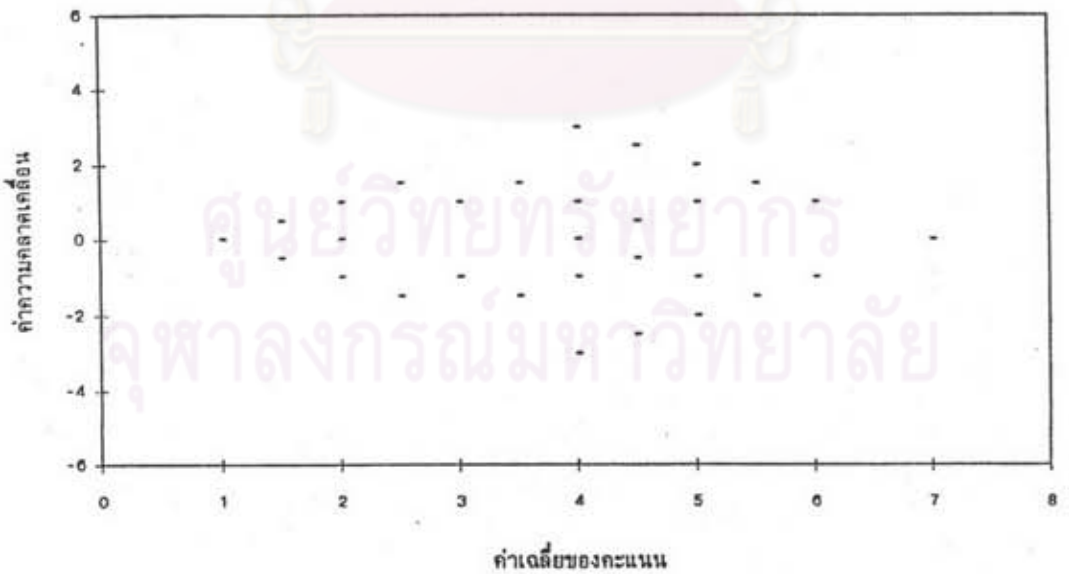
จากรูปที่ 5.22 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในแต่ละค่าเฉลี่ยของคะแนน ไม่เกิดเป็นลักษณะแนวโน้มของการเพิ่มขึ้น หรือลดลง(Megaphone) หรือรูปแบบแสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 5.20 การตรวจสอบการกระจายแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์



รูปที่ 5.21 ค่าความคลาดเคลื่อนกับลำดับการทดลองของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

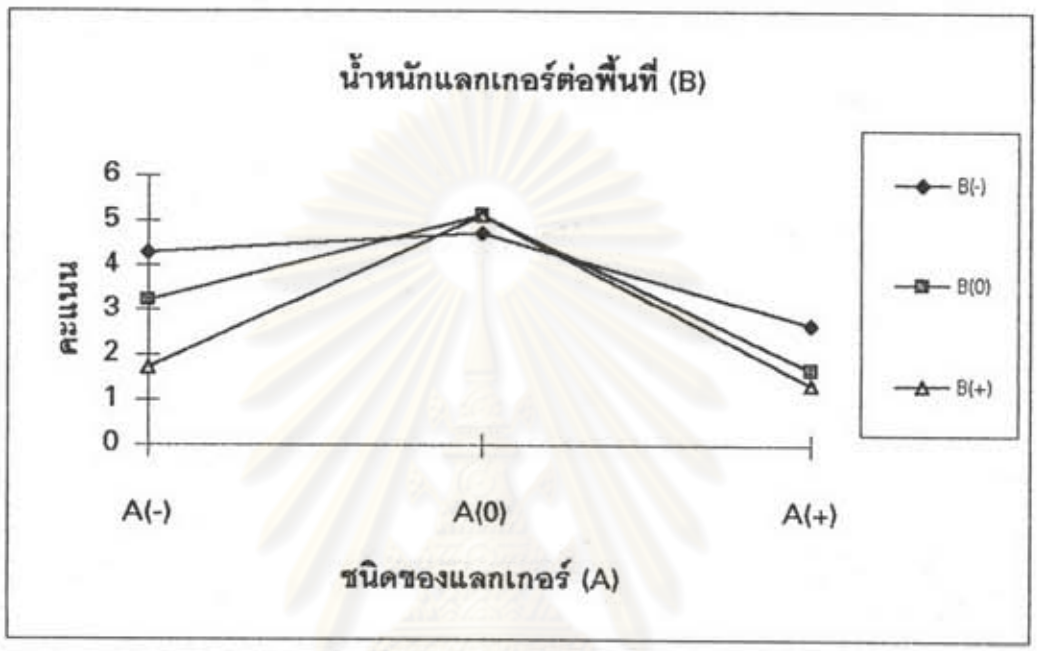


รูปที่ 5.22 ค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าเฉลี่ยของคะแนน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองของปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

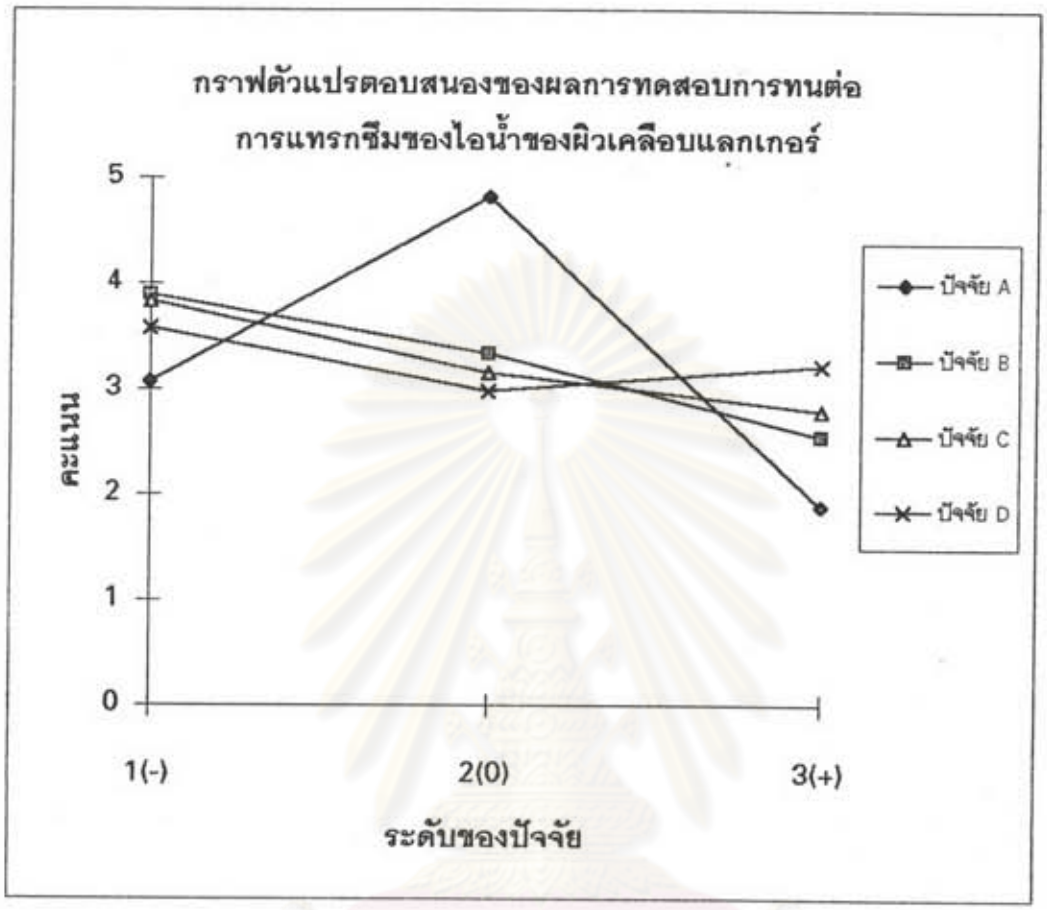


รูปที่ 5.23 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบของแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ระหว่างชนิดของแลกเกอร์กับเวลาที่ใช้ในการบ่ม

		เวลาที่ใช้ในการบ่ม		
		D(-)	D(0)	D(+)
แลกเกอร์ X	A(-)	4.27	3.22	1.72
แลกเกอร์ Y	A(0)	4.72	5.11	5.11
แลกเกอร์ Z	A(+)	2.67	1.67	1.33

จากรูปที่ 5.23 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ กับน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ และแลกเกอร์ชนิด Y จะมีความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำต่ำสุด ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำคือ ชนิดของแลกเกอร์ ส่วนน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่ 8.5 ± 0.5 g./m.^{2} จะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์มีความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำดีที่สุด



รูปที่ 5.24 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของ
ของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

ตารางที่ 5.16 ผลทดสอบของการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

ระดับ	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C	ปัจจัย D
1(-)	3.074	3.889	3.833	3.574
2(0)	4.815	3.333	3.148	2.981
3(+)	1.889	2.556	2.796	3.222

จากรูปที่ 5.24 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 4 คือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม และเวลาที่ใช้ในการบ่ม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยที่

- แลกเกอร์ชนิด Z มีความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ดีที่สุด คือ มีพื้นที่ที่เกิดฝ้าไอน้ำ และระดับความรุนแรงต่ำสุด และรองลงมาคือแลกเกอร์ชนิด X และแลกเกอร์ชนิด Y

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ พบว่าเมื่อน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นหรือความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้น ความสามารถของการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์จะสูงขึ้นตาม และจากผลการทดลองน้ำหนักแลกเกอร์ 8.5±0.5 g./m.^{2} จะมีความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ดีที่สุด คือมีพื้นที่ที่เกิดฝ้าไอน้ำ และระดับความรุนแรงต่ำสุด

- อุณหภูมิบ่ม พบว่า เมื่อระดับอุณหภูมิบ่มสูงขึ้นความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอุณหภูมิบ่ม 215 °C ความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม พบว่าเวลาที่ใช้ในการบ่มจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์น้อย ซึ่งเวลาที่ใช้ในการบ่มทั้ง 3 ระดับจะให้ผลใกล้เคียงกัน โดยเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการบ่มไม่มีผลต่อการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากกราฟตัวแปรตอบสนอง (รูปที่ 5.23-5.24) พบว่า แลกเกอร์ชนิด Z จะมีความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำดีที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมของน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ คือ 8.5±0.5 g./m.^{2}

5. การวิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็ก

การทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็ก ก็เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของผิวเคลือบแลกเกอร์ จากการทดสอบพบว่าผลของความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็กอยู่ในระดับที่ดีทั้งหมด คือ ไม่พบการหลุดลอกของแลกเกอร์ ดังนั้นคุณสมบัติทางด้านนี้จึงผ่านข้อกำหนดในการใช้งาน

6. การวิเคราะห์ผลการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อ

จากการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อ โดยนำแผ่นเหล็กเคลือบแลกเกอร์ทดสอบไปขึ้นรูปเป็นฝา มาต้มในสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

pH 10 อุณหภูมิ 100 °C ไม่พบการหลุดลอกของแลกเกอร์ แสดงว่าผิวเคลือบแลกเกอร์สามารถทนต่อการต้มฆ่าเชื้อได้เป็นอย่างดี และคุณสมบัติทางด้านนี้ผ่านข้อกำหนดในการใช้งาน

<u>การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง</u>

เนื่องจากการทดลองมีการทดสอบคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์ในหลาย ๆ ด้าน หรือมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว ฉะนั้นเพื่อให้ได้ลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของผิวเคลือบแลกเกอร์ที่ดี จึงต้องพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับของแต่ละปัจจัยของการทดลองจากการประเมินผลของตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ที่ศึกษา และพิจารณาคะแนนรวมของทุกตัวแปรตอบสนองเพื่อการตัดสินใจ การกำหนดระดับคะแนนของตัวแปรตอบสนองแสดงในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 การกำหนดระดับคะแนนของตัวแปรตอบสนอง

การทดสอบที่ 1* (%ความยาวรอยแตก)	การทดสอบที่ 2* (น้ำหนักกด(กรัม))	การทดสอบที่ 3* (จำนวนคู่)	การทดสอบที่ 4* (คะแนน)	ระดับคะแนน
น้อยกว่า 27.31	มากกว่า 1149	มากกว่า 55	1.00-1.60	10
27.31-29.10	1149-1100	55-50.5	1.61-2.20	9
29.11-30.90	1099-1050	50-45.5	2.21-2.80	8
30.91-32.70	1049-1000	45-40.5	2.81-3.40	7
32.71-34.50	999-950	40-35.5	3.41-4.00	6
34.51-36.30	949-900	35-30.5	4.01-4.60*[4]	5
36.31-38.10	899-850	30-25.5	4.61-5.20	4
38.11-39.90*[1]	849-800*[2]	25-20.5*[3]	5.21-5.80	3
39.91-41.70	799-750	20-15.5	5.81-6.40	2
มากกว่า 41.70	น้อยกว่า 750	น้อยกว่า 15.5	6.41-7.00	1

*การทดสอบที่ 1 การทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์
*การทดสอบที่ 2 การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์
*การทดสอบที่ 3 การทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์
*การทดสอบที่ 4 การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

*[1] ระดับเกณฑ์ของข้อกำหนดในการใช้งานที่ต่ำสุดของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ คือ เปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตกต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 39.90 เปอร์เซ็นต์ หรือระดับคะแนนต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 3

*[2] ระดับเกณฑ์ของข้อกำหนดในการใช้งานที่ต่ำสุดของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ คือ น้ำหนักกดต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 800 กรัม หรือระดับคะแนนต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 3

*[3] ระดับเกณฑ์ของข้อกำหนดในการใช้งานที่ต่ำสุด ของผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ คือ จำนวนคู่ในการทดสอบต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 20.5ครั้ง หรือระดับคะแนนต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 3

*[4] ระดับเกณฑ์ของข้อกำหนดในการใช้งานที่ต่ำสุด ของผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ คือ คะแนนต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.6 หรือระดับคะแนนต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 5

ประเมินผลคะแนนรวมจากผลของการทดสอบทั้ง 4 การทดสอบ (ผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก) โดยทำการเลือกสภาวะของปัจจัยในการเคลือบแลกเกอร์ ที่ให้ผลการทดสอบที่ผ่านเกณฑ์ที่ต่ำสุดของข้อกำหนดในการใช้งานในทุกผลการทดสอบ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาด้านใดด้านหนึ่งซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้ แล้วนำมาประเมินระดับคะแนนเพื่อเปรียบเทียบผล แสดงการประเมินผลคะแนนรวมเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม ได้ดังตารางที่ 5.18 โดยที่

คะแนน 1 คะแนนของผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์
คะแนน 2 คะแนนของผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์
คะแนน 3 คะแนนผลของการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์
คะแนน 4 คะแนนผลของการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.18 การประเมินผลคะแนนรวมเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม

ลำดับที่	สภาวะปัจจัย				คะแนน 1	คะแนน 2	คะแนน 3	คะแนน 4	คะแนนรวม
	A	B	C	D	ความสำคัญ 0.25	ความสำคัญ 0.25	ความสำคัญ 0.25	ความสำคัญ 0.25	
1	-	0	-	+	4	7	3	6	5
2	-	0	+	0	3	6	3	7	4.75
3	-	+	-	-	5	9	4	8	6.5
4	-	+	-	0	5	9	4	10	7
5	-	+	-	+	6	9	4	6	6.25
6	-	+	0	+	6	7	3	10	6.5
7	-	+	+	+	4	8	3	10	6.25
8	0	-	0	0	6	3	5	6	5
9	0	0	-	0	4	4	4	6	4.5
10	0	0	+	0	7	6	4	7	6
11	0	0	+	+	6	6	5	8	6.25
12	0	+	-	0	7	5	5	7	6
13	0	+	+	+	7	7	7	6	6.75
14	+	-	-	0	4	4	9	10	6.75
15	+	-	-	+	6	4	7	6	5.75
16	+	-	0	-	4	6	7	6	5.75
17	+	-	0	0	5	6	10	9	7.5
18	+	-	0	+	6	6	10	10	8
19	+	-	+	-	6	5	4	6	5.25
20	+	-	+	0	5	5	8	6	6
21	+	0	-	-	5	7	10	8	7.5
22	+	0	-	0	5	6	9	8	7
23	+	0	-	+	7	7	10	8	8
24	+	0	0	-	5	7	8	9	7.25
25	+	0	0	0	7	9	10	10	9
26	+	0	0	+	7	7	9	10	8.25
27	+	0	+	-	6	9	8	10	8.25
28	+	0	+	+	8	8	10	10	9

ตารางที่ 5.18 การประเมินผลคะแนนรวมเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับที่	สภาวะปัจจัย				คะแนน 1	คะแนน 2	คะแนน 3	คะแนน 4	คะแนนรวม
	A	B	C	D	ความสำคัญ 0.25	ความสำคัญ 0.25	ความสำคัญ 0.25	ความสำคัญ 0.25	
29	+	+	-	-	7	7	10	8	8
30	+	+	-	0	8	9	10	10	9.25
31	+	+	-	+	7	8	10	10	8.75
32	+	+	0	-	8	8	10	10	9
33	+	+	0	0	7	7	9	10	8.25
34	+	+	0	+	9	9	10	10	9.5
35	+	+	+	-	7	5	10	10	8
36	+	+	+	0	9	9	9	10	9.25
37	+	+	+	+	7	10	9	10	9

จากตารางที่ 5.18 การประเมินผลคะแนนรวม โดยใช้เกณฑ์คะแนนรวมสูงสุดจากผลการทดสอบทั้ง 4 การทดสอบ คือ การทดสอบความยืดหยุ่น การทดสอบการทนต่อการขีดข่วน การทดสอบการทนต่อการขัดถู และการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบแลกเกอร์ตามสภาวะ ในลำดับที่ 34 คือ

1 ปัจจัย A(+) แลกเกอร์ชนิด Z
2 ปัจจัย B(+) น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5 ± 0.5 g./m.^{2}
3 ปัจจัย C(0) อุณหภูมิบ่ม 205 °C
4 ปัจจัย D(+) เวลาที่ใช้ในการบ่ม 13 นาที

โดยมีผลการทดสอบดังนี้

ผลการทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์
- เปอร์เซ็นต์ของความยาวรอยแตกเฉลี่ย เท่ากับ 29 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์
- น้ำหนักกดเฉลี่ยเท่ากับ 1100 กรัม

ผลการทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์
- จำนวนคู่เฉลี่ยเท่ากับ 66.5 คู่

ผลการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์
- คะแนน เฉลี่ยเท่ากับ 1.5 คะแนน

ผลการทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็ก และผลการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อไม่พบการหลุดลอกของแลกเกอร์

ประเมินผลเปรียบเทียบกับสภาวะการเคลือบแลกเกอร์ในปัจจุบัน

การดำเนินการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก ในปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้แลกเกอร์ชนิด Z และสภาวะการเคลือบในปัจจุบันคือ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 6.0-6.5 g./m.^{2} อุณหภูมิบ่ม 205 °C เวลาที่ใช้ในการบ่ม 10 นาที ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันเปรียบเทียบกับสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลอง แสดงได้ดังนี้

	สภาวะที่เหมาะสม	สภาวะในปัจจุบัน
ชนิดของแลกเกอร์	แลกเกอร์ชนิด Z	แลกเกอร์ชนิด Z
น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่(g./m.^{2})	8.5 ± 0.5	6.0 - 6.5
อุณหภูมิบ่ม (°C)	205	205
เวลาที่ใช้ในการบ่ม (นาที)	13	10

จะเห็นได้ว่าสภาวะที่เหมาะสม หรือเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบแลกเกอร์ที่ได้จากการทดลอง ใช้น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 6.0-6.5 g./m.^{2} เป็น 8.5 ± 0.5 g./m.^{2} และเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการบ่มเพิ่มขึ้น 3 นาที ส่วนชนิดของแลกเกอร์และอุณหภูมิบ่มยังคงเดิม คือ แลกเกอร์ชนิด Z และอุณหภูมิบ่ม 205 °C ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบของผิวเคลือบแลกเกอร์ทั้ง 4 การทดสอบของสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองกับข้อมูลผลการทดสอบในอดีตของสภาวะในปัจจุบัน แสดงได้ดังตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ

การทดสอบที่	ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ	
	สภาวะที่เหมาะสม	สภาวะในปัจจุบัน
1*	29	31.3
2*	1100	1066.6
3*	66.5	38.6
4*	1.50	2

1* การทดสอบที่ 1 การทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ (เปอร์เซ็นต์ความยาวรอยแตก)

2* การทดสอบที่ 2 การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์ (น้ำหนักกด(กรัม))

3* การทดสอบที่ 3 การทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์ (จำนวนคู่)

4* การทดสอบที่ 4 การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ (คะแนน)

และผลการทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดของแลกเกอร์กับเนื้อเหล็กและผลการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อ ของสภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองกับสภาวะการผลิตในปัจจุบันไม่แตกต่างกัน คือ ไม่พบการหลุดลอกของแลกเกอร์

จากการเปรียบเทียบจะพบว่าสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์ดีกว่าเดิม โดยความสามารถในการยืดหยุ่นดีขึ้น คือ เปอร์เซ็นต์ความรอยแตกเฉลี่ยลดลง จาก 31.3 เปอร์เซ็นต์เป็น 29 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนสูงขึ้น คือ น้ำหนักกดเฉลี่ยสูงขึ้นจากเดิม 1066.6 กรัมเป็น 1100 กรัม ความสามารถในการทนต่อการขัดถูสูงขึ้น คือ จำนวนคู่เฉลี่ยที่ใช้ในการถูเพิ่มขึ้นจากเดิม 38.6 เป็น 66.5 คู่ และความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์สูงขึ้น คือ คะแนนเฉลี่ยลดลงจาก 2 เป็น 1.5

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบแลกเกอร์ที่ได้จากการทดลองทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีคุณสมบัติดีกว่าสภาวะการเคลือบในปัจจุบัน ในด้านความสามารถในการยืดหยุ่น การทนต่อการขีดข่วน การทนต่อการขัดถู และการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย