บทที่ 6

การปรับปรุง

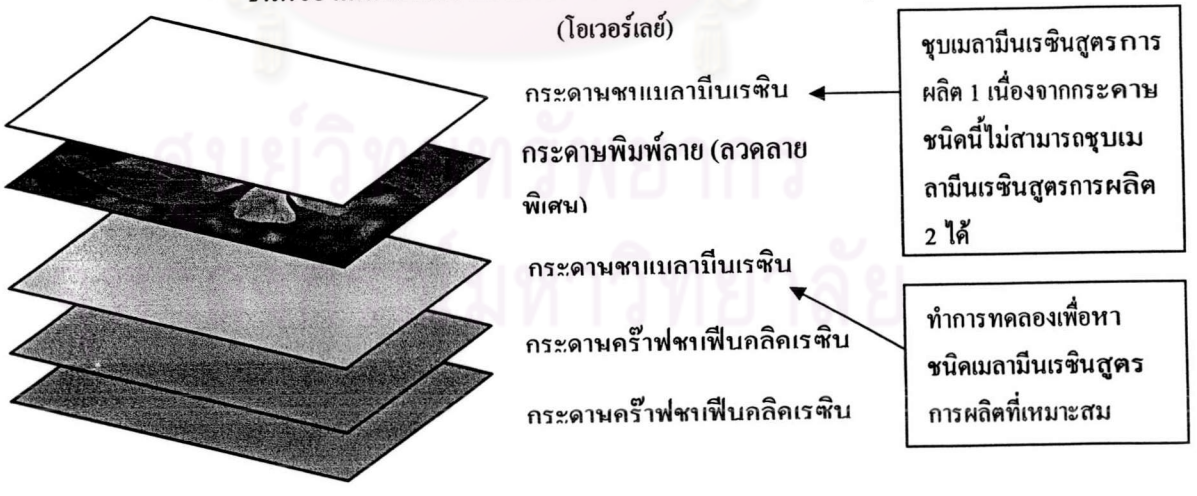
6.1 บทนำ

หลังจากทำการทดสอบสมมติฐานในบทที่ผ่านมา โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนของเสีย ฝ้า/คราบ บนผิวหน้าแผ่นลามิเนตแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเริ่มนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้น ๆ โดยที่จะส่งผลต่อสัดส่วนของเสีย ฝ้า/คราบ บนผิวหน้าแผ่นลามิเนตน้อยที่สุด

6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลต่อสัดส่วนของเสีย ฝ้า/คราบ บนผิวหน้าแผ่นลามิเนตคือ ชนิดของเมลามีนเรซิน อัตราเร็วในการทำปฏิกิริยา ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) อุณหภูมิในการอัด โดยแต่ละปัจจัยมีการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัย อยู่ที่ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (1) ดังนี้

- ชนิดของเมลามีนเรซินสำหรับกระดาษชุบเมลามีนเรซินดังรูป (โอเวอร์เลย์)



<u>รูปที่ 6.1</u> แสดงโครงสร้างการเรียงชุดกระดาษเพื่อศึกษาชนิดของเมลามีนเรซินสำหรับกระดาษชุบเมลามีนเรซิน

โดยทำการกำหนดสูตรการผลิตเมลามีนเรซิน 1 เป็นปัจจัยระดับต่ำ และ สูตรการผลิตเมลามีนเรซิน 2 เป็นปัจจัยระดับสูง

- อัตราเร็วของปฏิกิริยาในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)

<u>รูปที่ 6.2</u> แสดงโครงสร้างการเรียงชุดกระดาษเพื่อศึกษาชนิดอัตราเร็วของปฏิกิริยาในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)

โดยกำหนดให้ อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ 6 นาทีเป็นปัจจัยระดับต่ำ และ อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ 10 นาทีเป็นปัจจัยระดับสูง

- ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)

โดยกำหนดให้ ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) 56% เป็นปัจจัยระดับต่ำ และ ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) 58% เป็นปัจจัยระดับสูง

- อุณหภูมิในการอัด

โดยกำหนดให้ อุณหภูมิในการอัด 130 องศาเซลเซียสเป็นปัจจัยระดับต่ำ และ อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียสเป็นปัจจัยระดับสูง

ซึ่งสามารถแสดงค่าระดับของปัจจัยในการทดลองดังตารางที่ 6.1

ตาราง 6.1 แสดงค่าระดับของปัจจัยในการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
		-1	1	
1	ชนิดของเมลามีนเรซินสำหรับกระดาษชุบเมลามีนเรซิน	สูตรการผลิต 1	สูตรการผลิต 2	-
2	อัตราเร็วของปฏิกิริยาของเรซินในกระดาษโอเวอร์เลย์	6	10	นาที
3	ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)	56	58	%
4	อุณหภูมิในการอัด	130	140	องศาเซลเซียส

6.3 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ผู้ทำการศึกษามีความสนใจที่จะพิจารณาลด สัดส่วนของเสียเนื่องจากฝ้า/คราบบนแผ่นลามิเนตดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่ต้องการในการทดลองคือ สัดส่วนของเสียเนื่องจากฝ้า/คราบบนแผ่นลามิเนท

6.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยมี Center point

โดยที่ k คือจำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง

และ 2 คือจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย

จากการพิจารณา Main effect point ของการทดลองแบบ 2^k จะพบว่า effect ของแต่ละ factor จะเป็นเส้นตรงเพราะมีข้อมูลเพียงสองจุดซึ่งในกรณีนี้อาจไม่เป็นจริงเสมอไป การเพิ่มจุดกึ่งกลางให้กับการออกแบบ 2^k จะแก้ปัญหานี้ซึ่งผลของ ANOVA และรูปกราฟจะทำให้เราทราบว่ามีส่วนโค้งระหว่างจุดของการทดลองหรือไม่ จุดกึ่งกลางหรือ Center point นั้นจะแตกต่างไปจากการทดลอง 3

ระดับ เพราะจะรวมจุดกึ่งกลางของทุก ๆ factor ไว้เป็นเงื่อนไขของการทดลองเดียวเท่านั้นถ้ามีส่วนโค้งก็จะสามารถทดสอบได้ทันที

สรุปเหตุผลของการทำ Center Point

1. เป็นการประเมินดูว่าส่วนโค้งอยู่ในความสำคัญหรือไม่
2. เพื่อให้มี Degree of freedom สำหรับ error term

ยิ่งมีจำนวน Center point มากยิ่งเป็นผลดีกับสองปัจจัยข้างต้น จำนวนครั้งของการทดลองที่ Center point คือให้มากที่สุดหรืออย่างน้อยเท่ากับจำนวน factor ของการทดลอง

การทดลองซ้ำ

การทดลองซ้ำ หมายถึง การที่ Treatment Combination หนึ่งจะถูกทำการทดลองมากว่าหนึ่งครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถที่จะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ และทำให้ขนาดของความคลาดเคลื่อนลดลงได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการทำซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 2 ครั้ง (2 replication) เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลองและเป็นการประหยัดวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึง การจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น
การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

อ้างอิงจากข้อมูลการทดสอบสมมติฐาน ในบทที่ 6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่าจำนวนสิ่งตัวอย่างของการเปรียบเทียบ Two Proportion ของปัจจัยเป็นดังนี้

ตาราง 6.2 แสดงจำนวนสิ่งตัวอย่างของการเปรียบเทียบ Two Proportion ของแต่ละปัจจัย

ลำดับที่	ปัจจัย	หน่วย
1	ชนิดของเมลามีนเรซินสำหรับกระดาษชุบเมลามีนเรซิน	30
2	อัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาของเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)	376
3	ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)	163
4	อุณหภูมิในการอัด	173

จากตารางที่ 6.2 พบว่า จำนวนสิ่งตัวอย่างที่มากที่สุด คือ จำนวนสิ่งตัวอย่างของการเปรียบเทียบ Two Proportion ของปัจจัยอัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาของเรซิน ในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) สำหรับแต่ละการทดลอง

โดยสรุปการทดลองนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 40 ลำดับการทดลอง (40 runs) และในแต่ละการทดลองใช้จำนวนตัวอย่างอย่างน้อย 376 ตัวอย่าง

6.5 การเตรียมการทดลอง

การเตรียมการทดลอง

1. เตรียมชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองให้จำนวนที่ต้องการ โดยเตรียมชิ้นงานจากการผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
2. เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง
3. ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้
   - ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
   - ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันตลอดการทดลอง
   - ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
   - ใช้พนักงานคนเดียวกันในการตรวจสอบชิ้นงาน

6.6 ขั้นตอนในการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลอง

1. ระบุปัจจัยนำเข้า และระดับของปัจจัยที่สนใจดังรายละเอียดในหัวข้อ 6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ
2. คัดเลือกจำนวนสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมดังรายละเอียดในหัวข้อ 6.4
3. ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม MINITAB
4. ทำการทดลองและเก็บข้อมูล
5. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม MINITAB

NOTE The number of centerpoints specified is doubled for each categorical factor. For Q categorical factors, the result is 2**Q times as many centerpoints.

Factorial Design

Full Factorial Design

Factors: 4 Base Design: 4, 16
Runs: 40 Replicates: 2
Blocks: none Center pts (total): 8
All terms are free from aliasing

Data Matrix (randomized)

Run	A	B	C	D
1	-	-	+	+
2	+	+	+	-
3	+	0	0	0
4	+	+	-	+

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 - + + -

6 + - - -

7 - + - -

8 - - - -

9 - + + +

10 - + - -

11 + + + +

12 + + - +

13 + + - -

14 + + + -

15 - 0 0 0

16 - + + -

17 - 0 0 0

18 - + - +

19 + 0 0 0

20 + - + +

21 - 0 0 0

22 - - - -

23 + + - -

24 - - - +

25 - + - +

26 + - - +

27 + 0 0 0

28 - - + +

29 - - - +

30 + - + +

31 + - - +

32 - + + +

33 + - - -

34 - - + -

35 - 0 0 0

36 + - + -

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

37 + + + +

38 + 0 0 0

39 + - + -

40 - - + -

ตาราง 6.3 แสดงผลการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม MINITAB

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Melamine resin recipe	Reaction	Resin content	Pressing temp
13	1	1	1	2	6	58	140
8	2	1	1	1	10	58	130
40	3	1	1	1	8	57	135
12	4	1	1	1	10	56	140
7	5	1	1	2	10	58	130
18	6	1	1	1	6	56	130
19	7	1	1	2	10	56	130
1	8	1	1	2	6	56	130
15	9	1	1	2	10	58	140
3	10	1	1	2	10	56	130
16	11	1	1	1	10	58	140
28	12	1	1	1	10	56	140
20	13	1	1	1	10	56	130
24	14	1	1	1	10	58	130
35	15	0	1	2	8	57	135
23	16	1	1	2	10	58	130
39	17	0	1	2	8	57	135
27	18	1	1	2	10	56	140
36	19	0	1	1	8	57	135
14	20	1	1	1	6	58	140
37	21	0	1	2	8	57	135
10	26	1	1	1	6	56	140
38	27	0	1	1	8	57	135
29	28	1	1	2	6	58	140

ตาราง 6.3 แสดงผลการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม MINITAB (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Melamine resin recipe	Reaction	Resin content	Pressing temp
25	29	1	1	2	6	56	140
30	30	1	1	1	6	58	140
26	31	1	1	1	6	56	140
31	32	1	1	2	10	58	140
2	33	1	1	1	6	56	130
5	34	1	1	2	6	58	130
33	35	0	1	2	8	57	135
6	36	1	1	1	6	58	130
32	37	1	1	1	10	58	140
34	38	0	1	1	8	57	135
22	39	1	1	1	6	58	130
21	40	1	1	2	6	58	130

จากนั้นทำการทดลองจนครบ 40 สภาวะโดยลำดับการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดในช่อง Run number โดยจะทำการทดลองกับกระดาษพิมพ์ลายที่มีความเข้มของสี C0 (โดยเลือกเฉดสีเขียวเข้ม)

6.7 ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองและเก็บข้อมูลสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังแสดงในตาราง 6.4

ตาราง 6.4 แสดงผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Melamine resin recipe	Reaction	Resin content	Pressing temp	Result
13	1	1	1	2	6	58	140	0.55
8	2	1	1	1	10	58	130	0.37
40	3	1	1	1	8	57	135	0.31

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการแบบการทดลอง(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Melamine resin recipe	Reaction	Resin content	Pressing temp	Result
12	4	1	1	1	10	56	140	0.35
7	5	1	1	2	10	58	130	0.67
18	6	1	1	1	6	56	130	0.42
19	7	1	1	2	10	56	130	0.75
1	8	1	1	2	6	56	130	0.53
15	9	1	1	2	10	58	140	0.58
3	10	1	1	2	10	56	130	0.77
16	11	1	1	1	10	58	140	0.28
28	12	1	1	1	10	56	140	0.34
20	13	1	1	1	10	56	130	0.45
24	14	1	1	1	10	58	130	0.39
35	15	0	1	2	8	57	135	0.59
23	16	1	1	2	10	58	130	0.64
39	17	0	1	2	8	57	135	0.62
27	18	1	1	2	10	56	140	0.59
36	19	0	1	1	8	57	135	0.32
14	20	1	1	1	6	58	140	0.12
37	21	0	1	2	8	57	135	0.57
17	22	1	1	2	6	56	130	0.54
4	23	1	1	1	10	56	130	0.46
9	24	1	1	2	6	56	140	0.56
11	25	1	1	2	10	56	140	0.58
10	26	1	1	1	6	56	140	0.25
38	27	0	1	1	8	57	135	0.32
29	28	1	1	2	6	58	140	0.54
25	29	1	1	2	6	56	140	0.5
30	30	1	1	1	6	58	140	0.11
26	31	1	1	1	6	56	140	0.27
31	32	1	1	2	10	58	140	0.56

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการแบบการทดลอง(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Melamine resin recipe	Reaction	Resin content	Pressing temp	Result
2	33	1	1	1	6	56	130	0.44
5	34	1	1	2	6	58	130	0.64
33	35	0	1	2	8	57	135	0.57
6	36	1	1	1	6	58	130	0.21
32	37	1	1	1	10	58	140	0.26
34	38	0	1	1	8	57	135	0.28
22	39	1	1	1	6	58	130	0.18
21	40	1	1	2	6	58	130	0.62

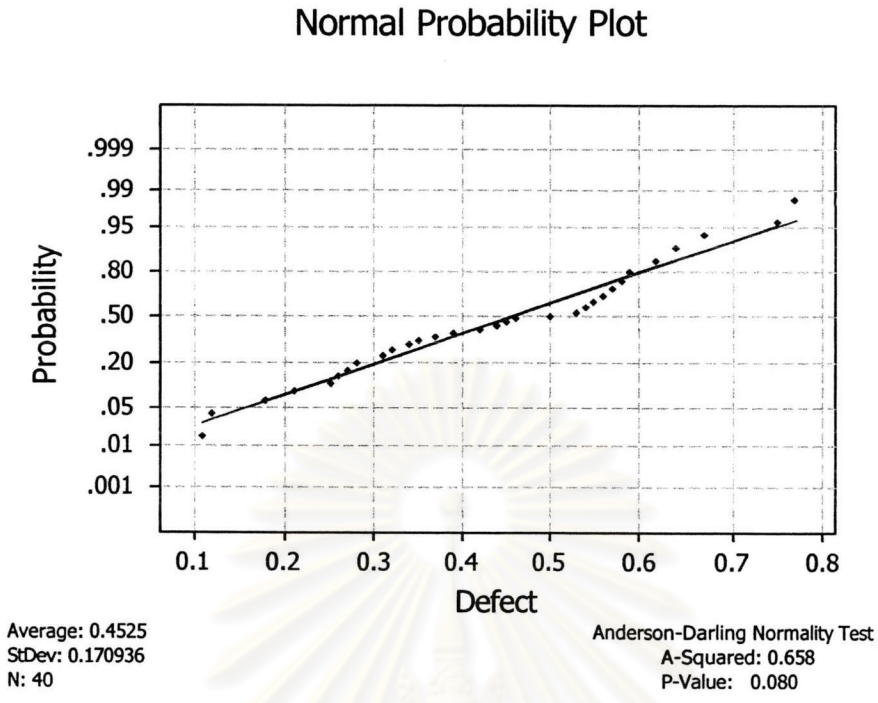
6.8 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลอง จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนี้ ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามเงื่อนไขของ NID ($0,\sigma^2$) 3 ประการ คือ

- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มปกติ
- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระข้อมูลมีความอิสระต่อกัน
- ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนของเสียเนื่องจากฝ้า/คราบบนแผ่นลามิเนท) ที่ได้ ซึ่งควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-value มากกว่า 0.05 นั่นคือข้อมูลเป็นตัวแปรแบบสุ่มปกติ ดังแสดงในรูป 6.3

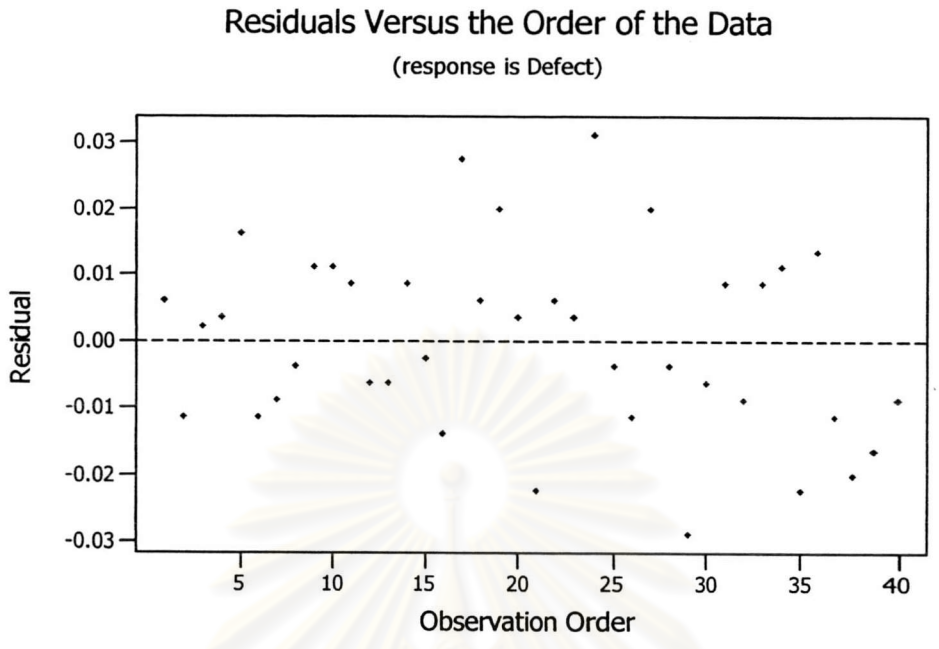


<u>รูปที่ 6.3</u> กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลโดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังแสดงในรูป 6.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



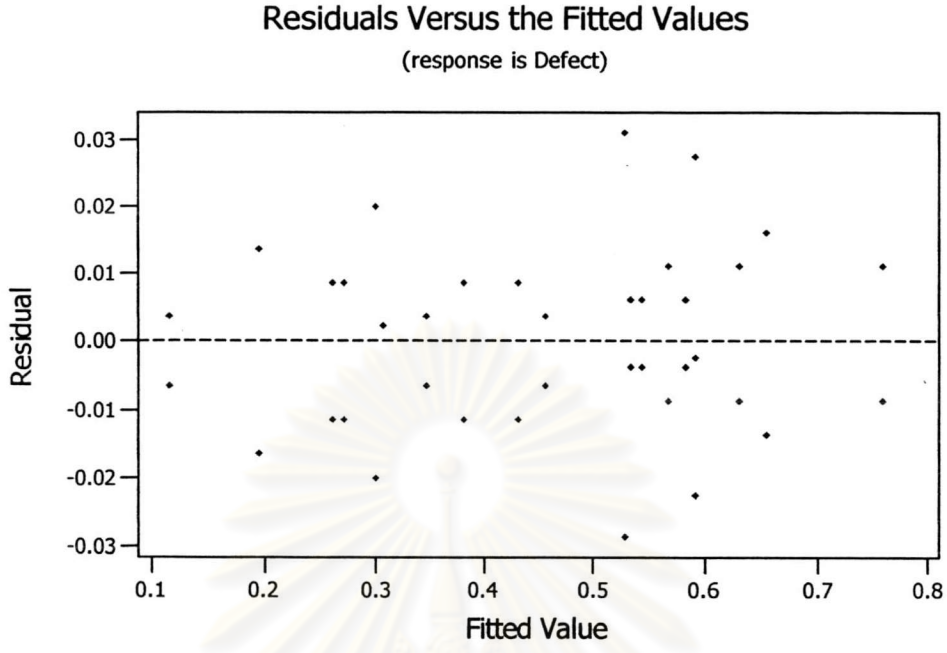
<u>รูปที่ 6.4</u> แสดงแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะของการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังแสดงในรูป 6.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



<u>รูปที่ 6.5</u> แสดงแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนของเสียเนื่องจากฝ้า/คราบบนแผ่นลามิเนท) ที่นำมาทดลองนี้พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามเงื่อนไขของ NID ($0,\sigma^2$) ทั้ง 3 ประการ คือ

- ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มปกติ
- ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน
- ข้อมูลมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

6.9 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถสร้างตาราง ANOVA สำหรับแบบการทดลองเต็มรูปได้ดังนี้

ตัวแบบเต็มรูป (ตาราง ANOVA)

Estimated Effects and Coefficients for Defect (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.4538	0.003130	144.98	0.000
Melamine	-0.2924	-0.1462	0.002848	-51.33	0.000
Reaction	0.0975	0.0487	0.003177	15.34	0.000
Resin co	-0.0675	-0.0338	0.003177	-10.62	0.000
Pressing	-0.1025	-0.0513	0.003177	-16.13	0.000
Melamine*Reaction	0.0150	0.0075	0.003177	2.36	0.027
Melamine*Resin co	-0.0650	-0.0325	0.003177	-10.23	0.000
Melamine*Pressing	-0.0150	-0.0075	0.003177	-2.36	0.027
Reaction*Resin co	0.0000	0.0000	0.003177	0.00	1.000
Reaction*Pressing	-0.0175	-0.0088	0.003177	-2.75	0.011
Resin co*Pressing	0.0125	0.0062	0.003177	1.97	0.061
Melamine*Reaction*Resin co	0.0575	0.0287	0.003177	9.05	0.000
Melamine*Reaction*Pressing	0.0250	0.0125	0.003177	3.93	0.001
Melamine*Resin co*Pressing	0.0100	0.0050	0.003177	1.57	0.129
Reaction*Resin co*Pressing	0.0100	0.0050	0.003177	1.57	0.129
Melamine*Reaction*Resin co *Pressing	-0.0325	-0.0162	0.003177	-5.11	0.000
Ct Pt		-0.0076	0.007496	-1.01	0.323

จากค่า P-value แสดงว่าข้อมูลไม่มีนัยสำคัญ

จากค่า P-value ของ Center point แสดงว่าระบบไม่มี Curvature

Analysis of Variance for Defect (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1.04919	1.04770	0.261925	810.70	0.000
2-Way Interactions	6	0.04110	0.04110	0.006850	21.20	0.000
3-Way Interactions	4	0.03305	0.03305	0.008262	25.57	0.000
4-Way Interactions	1	0.00845	0.00845	0.008450	26.15	0.000

Curvature	1	0.00033	0.00033	0.000329	1.02 0.323
Residual Error	23	0.00743	0.00743	0.000323	
Lack of Fit	2	0.00029	0.00029	0.000145	0.43 0.659
Pure Error	21	0.00714	0.00714	0.000340	
Total	39	1.13955			

จากค่า P-value ของ Lack of fit แสดงว่าตัวแบบมีความเหมาะสมดีกับกลุ่มข้อมูล

Unusual Observations for Defect

Obs	Defect	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
24	0.560000	0.528763	0.012639	0.031237	2.44R
29	0.500000	0.528763	0.012639	-0.028763	-2.25R

R denotes an observation with a large standardized residual

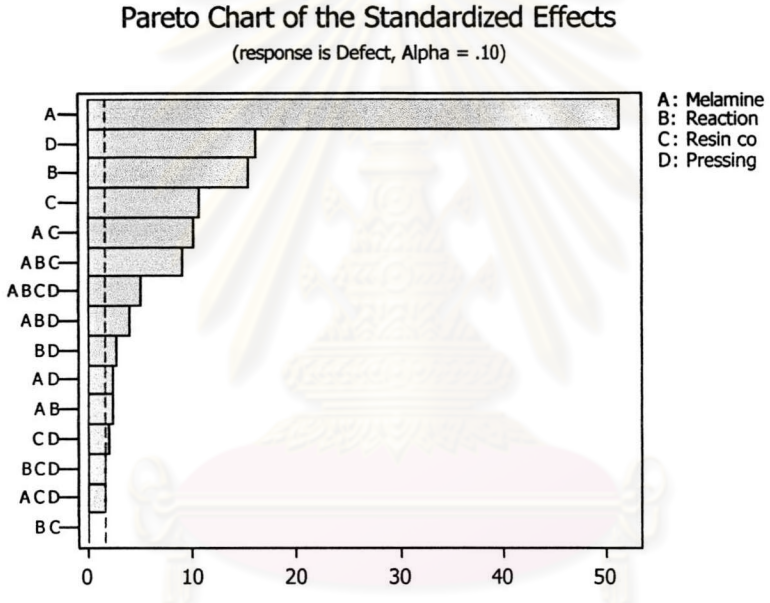
Estimated Coefficients for Defect using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-18.5399
Melamine	117.514
Reaction	3.99000
Resin co	0.337500
Pressing	0.153500
Melamine*Reaction	-13.4887
Melamine*Resin co	-2.03750
Melamine*Pressing	-0.809500
Reaction*Resin co	-0.0675000
Reaction*Pressing	-0.0293750
Resin co*Pressing	-0.00275000
Melamine*Reaction*Resin co	0.233750
Melamine*Reaction*Pressing	0.0938750

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Melamine*Resin co*Pressing	0.0140000
Reaction*Resin co*Pressing	0.000500000
Melamine*Reaction*Resin co *Pressing	-0.00162500
Ct Pt	-0.00756522

และเมื่อพิจารณาแผนภูมิพาเรโต้ ของ แบบการทดลอง จะพบว่าสอดคล้องกับ ตัวแบบเต็มรูป นั่นคือ Main Effects, 2-Way Interactions, 3-Way Interactions, 4-Way Interactions มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 แผนภูมิพาเรโต้แสดง Standardized Effect

จากข้อมูลข้างต้นย้าย Center point และ Interaction ที่ไม่มีนัยสำคัญออกเพื่อทำตัวแบบลดรูป สามารถสร้างตาราง ANOVA ได้ดังนี้

ตัวแบบลดรูป

Estimated Effects and Coefficients for Defect (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.45250	0.003078	147.02	0.000
Melamine	0.29200	0.14600	0.003078	47.44	0.000
Reaction	0.09750	0.04875	0.003441	14.17	0.000
Resin co	-0.06750	-0.03375	0.003441	-9.81	0.000
Pressing	-0.10250	-0.05125	0.003441	-14.89	0.000
Melamine*Reaction	-0.01500	-0.00750	0.003441	-2.18	0.038
Melamine*Resin co	0.06500	0.03250	0.003441	9.44	0.000
Melamine*Pressing	0.01500	0.00750	0.003441	2.18	0.038
Reaction*Pressing	-0.01750	-0.00875	0.003441	-2.54	0.017
Melamine*Reaction*Resin co	-0.05750	-0.02875	0.003441	-8.35	0.000
Melamine*Reaction*Pressing	-0.02500	-0.01250	0.003441	-3.63	0.001
Melamine*Reaction*Resin co *Pressing	0.03250	0.01625	0.003441	4.72	0.000

Analysis of Variance for Defect (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1.04919	1.04919	0.262298	692.21	0.000
2-Way Interactions	4	0.03985	0.03985	0.009963	26.29	0.000
3-Way Interactions	2	0.03145	0.03145	0.015725	41.50	0.000
4-Way Interactions	1	0.00845	0.00845	0.008450	22.30	0.000
Residual Error	28	0.01061	0.01061	0.000379		
Curvature	1	0.00033	0.00033	0.000329	0.86	0.361
Lack of Fit	6	0.00314	0.00314	0.000523	1.54	0.214
Pure Error	21	0.00714	0.00714	0.000340		
Total	39	1.13955				

จากค่า P-value ของ Lack of fit แสดงว่าตัวแบบมีความเหมาะสมดีกับกลุ่มข้อมูล

Unusual Observations for Defect

Obs	Defect	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
6	0.420000	0.376294	0.010996	0.043706	2.72R
8	0.530000	0.575588	0.011944	-0.045588	-2.97R
10	0.770000	0.727647	0.012668	0.042353	2.87R
11	0.280000	0.240824	0.011197	0.039176	2.46R
12	0.340000	0.374676	0.011197	-0.034676	-2.18R
13	0.450000	0.494824	0.011197	-0.044824	-2.81R
14	0.390000	0.340676	0.011197	0.049324	3.10R
16	0.640000	0.681853	0.012668	-0.041853	-2.83R
22	0.540000	0.575588	0.011944	-0.035588	-2.32R
23	0.460000	0.494824	0.011197	-0.034824	-2.19R
24	0.560000	0.518412	0.011944	0.041588	2.71R
33	0.440000	0.376294	0.010996	0.063706	3.97R
34	0.640000	0.583912	0.011944	0.056088	3.65R
36	0.210000	0.249206	0.010996	-0.039206	-2.44R
39	0.180000	0.249206	0.010996	-0.069206	-4.31R
40	0.620000	0.583912	0.011944	0.036088	2.35R

R denotes an observation with a large standardized residual

Estimated Coefficients for Defect using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	12.3070
Melamine	-7.76900
Reaction	-0.352500
Resin co	-0.131250
Pressing	-0.0377500
Melamine*Reaction	1.27469

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Melamine*Resin co	0.0880000
Melamine*Pressing	0.0230000
Reaction*Pressing	0.00287500
Melamine*Reaction*Resin co	-0.0165735
Melamine*Reaction*Pressing	-0.00828382
Melamine*Reaction*Resin co *Pressing	0.000101471

เป้าหมายของการลดรูปคือ ในตัวแบบให้คงไว้ซึ่งเทอมที่มีนัยสำคัญทางสถิติเท่านั้น ส่วนเทอมอื่น ๆ ที่แสดงออกทางคณิตศาสตร์ว่าไม่มีนัยสำคัญจะถูกยุบรวมกับ error term

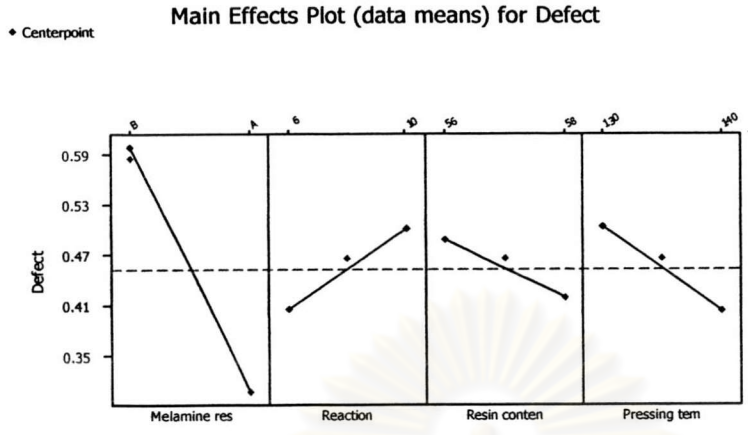
และจากตัวแบบลดรูปสามารถเขียนสมการ

Y = 12.307 – 7.769 Melamine – 0.353 Reaction – 0.131 Resin Content -0.037 Pressing Temp + 1.27 Melamine*Reaction – 0.088 Melamine* Resin content -0.023 Melamine * Pressing Temp - 0.003 Reaction* Pressing Temp - 0.017 Melamine*Reaction-Resin content + 0.008 Melamine*Reaction*Pressing + 0.0001 Melamine*Reaction*Resin content*Pressing temp

จากสมการข้างต้นเมื่อพิจารณาความมีนัยสำคัญของของแต่ละเทอมพบว่า ความมีนัยสำคัญของ Melamine*Reaction-Resin content, Melamine*Reaction*Pressing, Melamine*Reaction*Resin content*Pressing temp มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ ความมีนัยสำคัญของเทอมอื่น ดังนั้นทีมงานจึงมีมติที่จะตัดเทอมทั้ง 3 ดังกล่าวข้างต้นออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ Main Effect

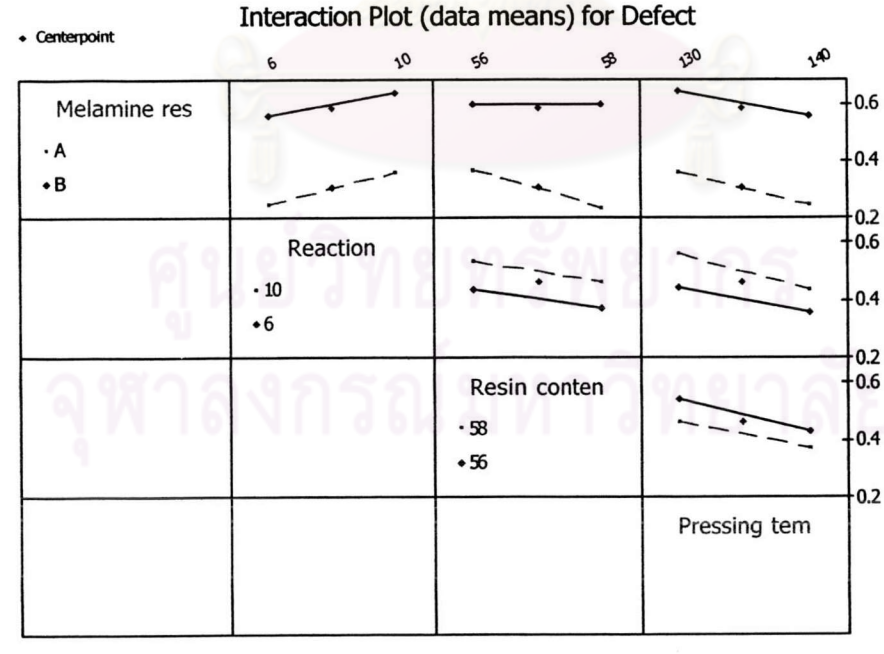


รูปที่ 6.7 แสดง Main Effect

จากกราฟ จะพบว่าค่าเฉลี่ยของ Center point จะอยู่ใกล้กับค่าเฉลี่ยรวม ถือได้ว่า Center point นั้นไม่มีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์ Interaction ที่มีนัยสำคัญ

จากกราฟจะพบว่ารูปกราฟค่อนข้างขนานกัน นั่นคือ Interaction มีความมีนัยสำคัญแต่ก็ไม่มากนัก



รูปที่ 6.8 แสดง Interaction ของ Main Effect

จากข้อมูลตัวแบบลดรูปนำ Main Effect และ 2-Way Interaction มาหาความสำพันธ์เพื่อหาตัวแบบถดถอยของเทอมของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าว ผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรม MINITAB วิเคราะห์ตัวแบบถดถอยให้ผลดังนี้

Estimated Regression Coefficients for Defect

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.45250	0.006382	70.899	0.000
Melamine	0.14600	0.006382	22.876	0.000
Reaction	0.04875	0.007136	6.832	0.000
Resin co	-0.03375	0.007136	-4.730	0.000
Pressing	-0.05125	0.007136	-7.182	0.000
Melamine*Reaction	-0.00750	0.007136	-1.051	0.301
Melamine*Resin co	0.03250	0.007136	4.555	0.000
Melamine*Pressing	0.00750	0.007136	1.051	0.301
Reaction*Pressing	-0.00875	0.007136	-1.226	0.229

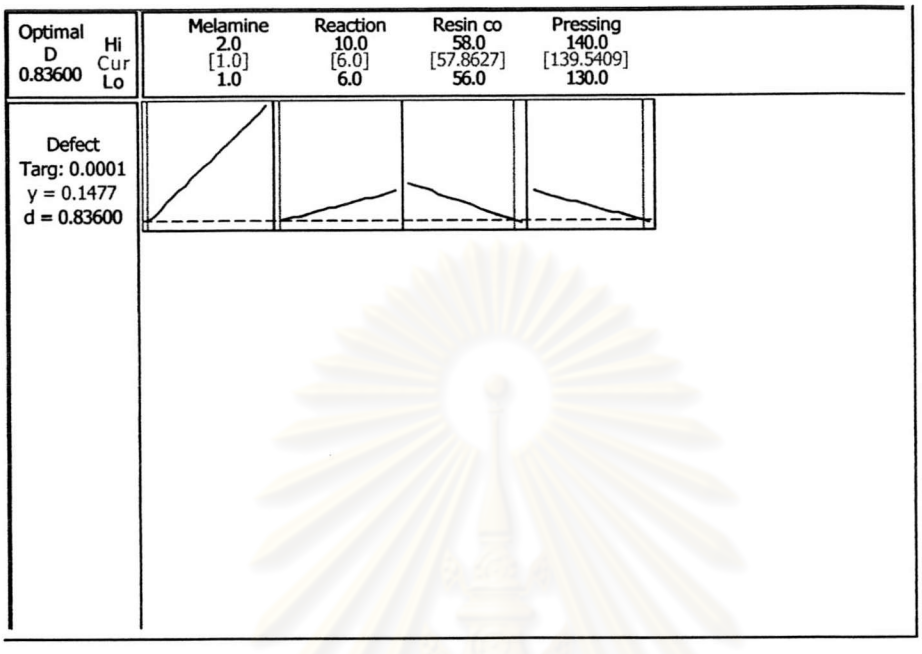
S = 0.04037 R-Sq = 95.6% R-Sq(adj) = 94.4%

จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธ์แสดงการตัดสินใจ หรือ R-Sq(adj) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 94.4 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือความผันแปร 94.4 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้ ส่วนความผันแปรที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากความคลาดเคลื่อนโดยธรรมชาติ นั่นคือ ตัวแบบถดถอยที่ได้นี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือที่จะนะนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่าง ๆ ได้

การหาค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจาการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์ระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนของเสียเนื่องจาก ฝ้า/คราบ บนผิวหน้าของแผ่นลามิเนต ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังนี้

การวิเคราะห์ Response Optimization



Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Defect	Target	0	0.0001	0.9	1	1

Global Solution

Melamine res = 1

Reaction = 6

Resin conten = 57.863

Pressing tem = 139.541

Predicted Responses

Defect = 0.14769, desirability = 0.83600

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Composite Desirability = 0.83600

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตาราง 6.5

ตาราง 6.5 แสดงค่าระดับความเหมาะสมของปัจจัยในการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับ	หน่วย
1	ชนิดของเมลามีนเรซินสำหรับกระดาษชุบเมลามีนเรซิน	สูตรการผลิต 1	-
2	อัตราเร็วของปฏิกิริยา	6	นาที
3	ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์)	58	%
4	อุณหภูมิในการอัด	140	องศาเซลเซียส

เนื่องจากรายการที่ 3 ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) และ 4 อุณหภูมิในการอัด โรงงานกรณีศึกษาไม่สามรถปรับค่าให้เป็น มีค่าเท่ากับ 57.863% และ 139.541 องศาเซลเซียส ได้จึงปรับค่าให้เป็นตัวเลขดังแสดงในตาราง 6.5

6.11 สรุปขั้นตอนการแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ ทั้ง 4 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 Full Factorial Design แบบมี Center point ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสัดส่วนของเสียเนื่องจาก ฝ้า/คราบ บนผิวหน้าแผ่นลามิเนท และระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการทดลอง คือ ชนิดของเมลามีนเรซินสำหรับกระดาษชุบเมลามีนเรซินเป็นสูตรการผลิต 1 อัตราเร็วของปฏิกิริยาของเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) 6 นาที ปริมาณเรซินในกระดาษผิวหน้า (โอเวอร์เลย์) 58% และ อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดชิ้นงานใช้อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส