บทที่ 5

การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในขั้นตอนต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทนี้ เป็นการนำปัจจัยมาทำการทดลอง เพื่อพิสูจน์สมมติฐานว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวจากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพล เพื่อใช้สำหรับการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการหาสภาวะระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้วทำการยืนยันผลโดยทำการผลิตจริง

5.1 วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาว

ในส่วนของการทดลองเบื้องต้นนั้น ใช้ตาราง Orthogonal Array $L_{16}(2^{13})$ คือทำการทดลอง 16 การทดลอง จำนวน 13 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ดังตารางที่ 4.3 หลังจากที่ได้ดำเนินการทดลอง ถัดมาจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของอิทธิพลแต่ละปัจจัย

5.1.1 วิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาวฝาบน

นำกล่องกระดาษลูกฟูกมาทำการวัดค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง แสดงในตาราง 5.1 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาว และความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

การทดลอง	ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น													ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	7.0
2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	9.4	9.6
3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	5.0	4.5
4	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	10.3	10.1
5	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	8.7	9.2
6	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	4.8	4.9
7	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	8.9	8.9
8	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	5.3	4.6
9	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	4.2	3.9
10	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	8.5	8.2
11	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	4.7	5.4
12	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	5.5	5.8
13	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	3.3	2.9
14	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	6.5	6.8
15	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	3.8	3.9
16	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	4.1	4.8

ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ ในตารางที่ 5.1 หาค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้และค่าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงค่าให้อยู่ในรูปของอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ชนิด Norminal the best type problem ก่อนที่จะวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

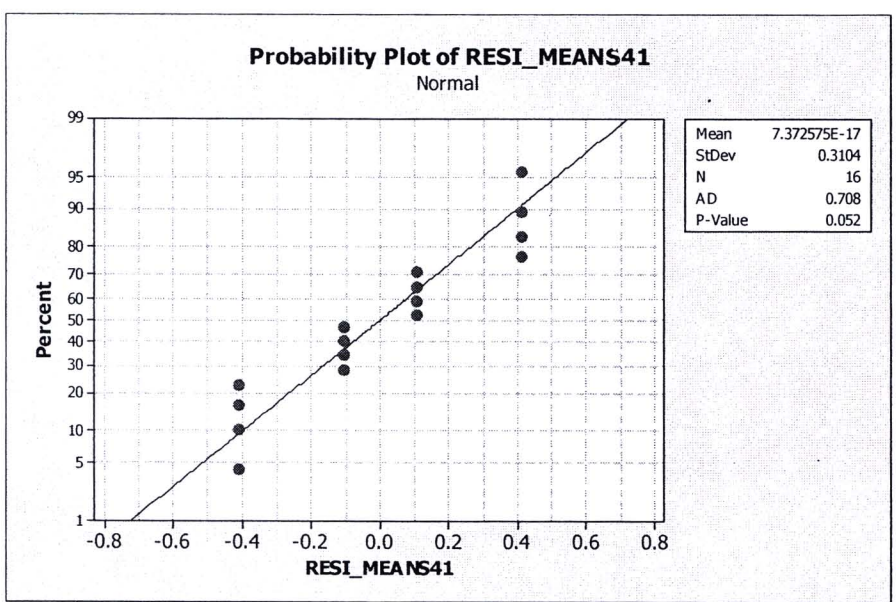
การทดลอง	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่า S/N Ratio**
1	7.46	0.61	4.32
2	9.50	0.13	17.44
3	4.72	0.38	8.36
4	10.19	0.12	18.40
5	8.97	0.35	9.21
6	4.85	0.13	17.44
7	8.91	0.02	33.47
8	4.92	0.49	6.11
9	4.03	0.19	14.38
10	8.31	0.23	12.91
11	5.06	0.52	5.63
12	5.66	0.25	12.13
13	3.11	0.26	11.65
14	6.64	0.17	15.41
15	3.80	0.07	23.01
16	4.49	0.50	5.99

5.1.1.1 **การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน**

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบเป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) **การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล**

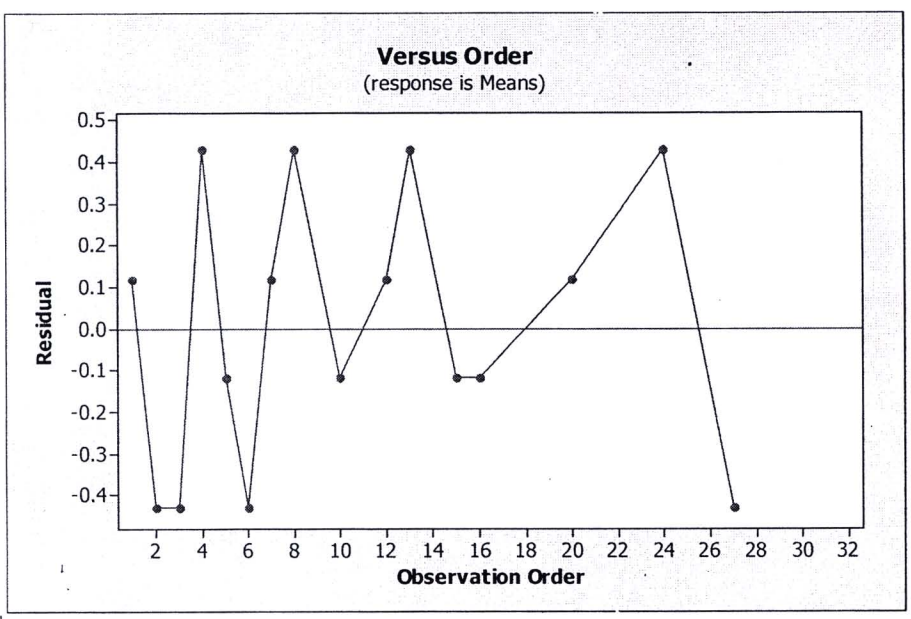
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.1 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.1 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

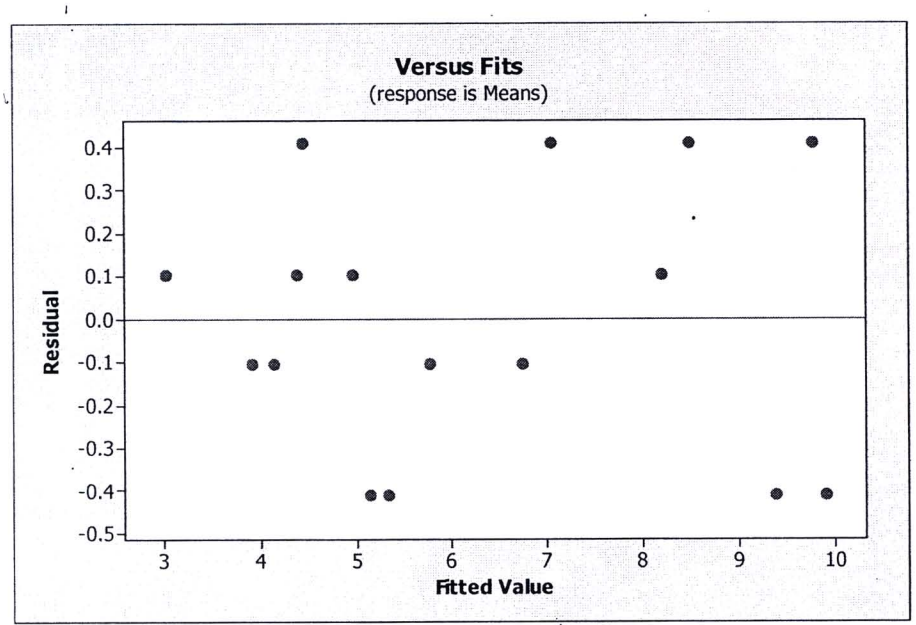
เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมดเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.2 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ในที่นี้คือค่าคาดหมายของผลตอบสนอง ซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.3 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน สรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนองของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) ของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.1.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาวฝาบน

นำค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) จากตารางที่ 5.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ เพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากมีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ จะต้องทำการควบคุมปัจจัยดังกล่าวเพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

ตารางที่ 5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของระยะห่างร่อง กาวฝาบน

Analysis of Variance for SN ratios

Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	11.636	1	11.636	0.10	0.783
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B)	51.486	1	51.486	0.44	0.576
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	2.802	1	2.802	0.02	0.892
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D)	6.695	1	6.695	0.06	0.834
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E)	40.754	1	40.754	0.35	0.616
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F)	23.535	1	23.535	0.20	0.699
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G)	0.789	1	0.789	0.01	0.942
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H)	1.110	1	1.110	0.01	0.932
ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J)	9.396	1	9.396	0.08	0.804
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K)	229.351	1	229.351	1.95	0.298
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	35.975	1	35.975	0.31	0.636
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	165.575	1	165.575	1.41	0.358
ระยะตั้งกั้นท้าย (N)	41.791	1	41.791	0.35	0.612
Residual Error	235.553	2	117.776		
Total	856.447	15			

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.3 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของระยะร่องกาวฝาบน เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,2}$ = 18.51) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 0.10
2) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 0.44
3) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 0.02
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 0.06
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 0.35
6) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 0.20
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 0.01
8) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 0.01
9) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 0.08
10) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า F เท่ากับ 1.95
11) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 0.31
12) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 1.41
13) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 0.35

สรุปได้ว่าไม่มีปัจจัยใดที่ต้องควบคุม เพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

5.1.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน

ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นนั้นสามารถนำมาสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของระยะห่างร่องกาวฝาบนอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน

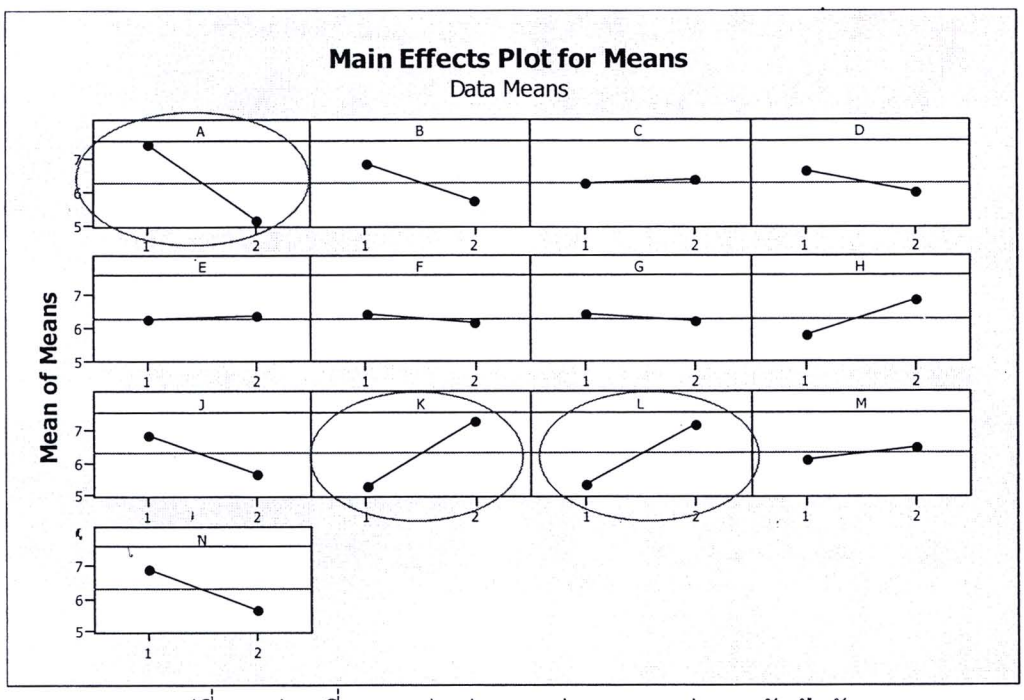
Analysis of Variance for Means					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	21.1945	1	21.1945	29.33	0.032
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B)	5.3419	1	5.3419	7.39	0.113
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	0.0395	1	0.0395	0.05	0.837
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D)	1.6352	1	1.6352	2.26	0.271
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E)	0.0683	1	0.0683	0.09	0.788
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F)	0.3094	1	0.3094	0.43	0.580
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G)	0.2268	1	0.2268	0.31	0.632
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H)	4.5103	1	4.5103	6.24	0.130
ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J)	5.8867	1	5.8867	8.15	0.104
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา(K)	16.5344	1	16.5344	22.88	0.041
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	13.9596	1	13.9596	19.32	0.048
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	0.5532	1	0.5532	0.77	0.474
ระยะตั้งกั้นท้าย(N)	6.3819	1	6.3819	8.83	0.097
Residual Error	1.4453	2	0.7227		
Total	78.0870	15			

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของระยะห่างร่องกาวฝาบน อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.4 พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนที่มีค่าสถิติทดสอบ F ของปัจจัยมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ผลการทดลองจากรูปที่ 5.1 ประกอบการพิจารณาดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 29.33
2) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า F เท่ากับ 22.88
3) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 19.32

ส่วนปัจจัยที่เหลือไม่มีผลพอที่จะสรุปว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 7.39
2) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 0.05
3) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 2.26
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 0.09
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 0.43
6) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 0.31
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 6.24
8) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 8.15
9) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 0.77
10) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 8.83



รูปที่ 5.4 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนของแต่ละระดับปัจจัย

การออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยแต่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio น้อยแสดงว่าปัจจัยนั้นมีไว้เพื่อที่จะใช้ในการปรับค่าให้อยู่ที่ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ จากการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

สำหรับปัจจัยอื่นๆที่ไม่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ย แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลกระทบต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน ได้แก่ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1, 2 และ 3 ปัจจัยระยะกดชุดทับร่อยชุดที่ 1 และ 2 ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย ปัจจัยระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และปัจจัยระยะตั้งกั้นท้าย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะให้มีค่าคงที่ในการทดลองต่อไป

5.1.2 วิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

นำกล่องกระดาษลูกฟูกมาทำการวัดค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองแสดงในตาราง 5.5 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาว และความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 5.5 ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

การทดลอง	ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น													ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	4.5
2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	9.8	9.9
3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	6.1	5.9
4	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	9.7	9.5
5	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	7.2	7.5
6	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	2.3	2.8
7	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	10.1	9.8
8	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	4.3	4.6
9	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	4.7	4.4
10	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	8.2	8.1
11	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	4.1	4.3
12	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	3.1	3.4
13	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	4.3	4.5
14	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	5.4	5.5
15	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	4.2	4.7
16	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	4.6	4.2

ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น โดยใช้เทคนิคทากูชิที่วัดได้ในตารางที่ 5.5 หาค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้และค่าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงค่าให้อยู่ในรูปของอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ชนิด Norminal the best type problem ก่อนที่จะวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

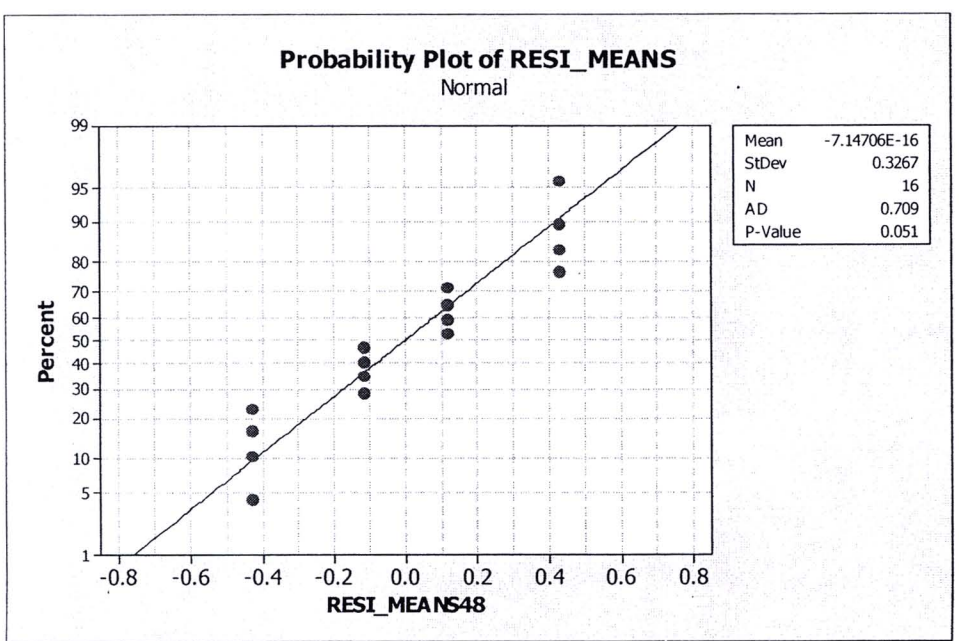
การทดลอง	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่า S/N Ratio**
1	4.60	0.14	16.99
2	9.85	0.07	23.01
3	6.00	0.14	16.99
4	9.60	0.14	16.99
5	7.35	0.21	13.47
6	2.55	0.35	9.03
7	9.95	0.21	13.47
8	4.45	0.21	13.47
9	4.55	0.21	13.47
10	8.15	0.07	23.01
11	4.20	0.14	16.99
12	3.25	0.21	13.47
13	4.40	0.14	16.99
14	5.45	0.07	23.01
15	4.45	0.35	9.03
16	4.40	0.28	10.97

5.1.2.1 **การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง**

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบเป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) **การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล**

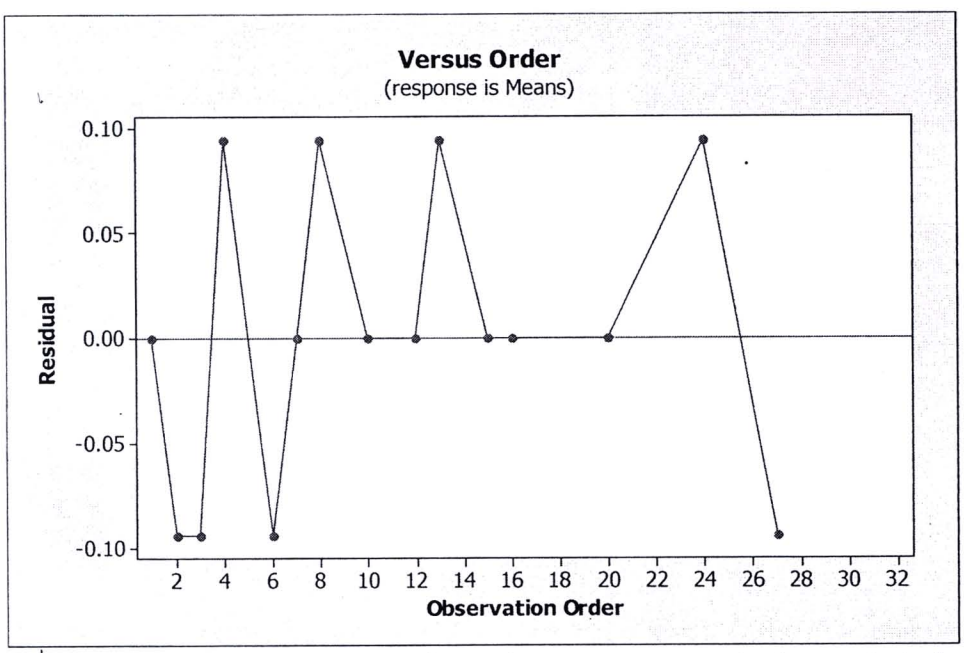
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.5 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.5 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

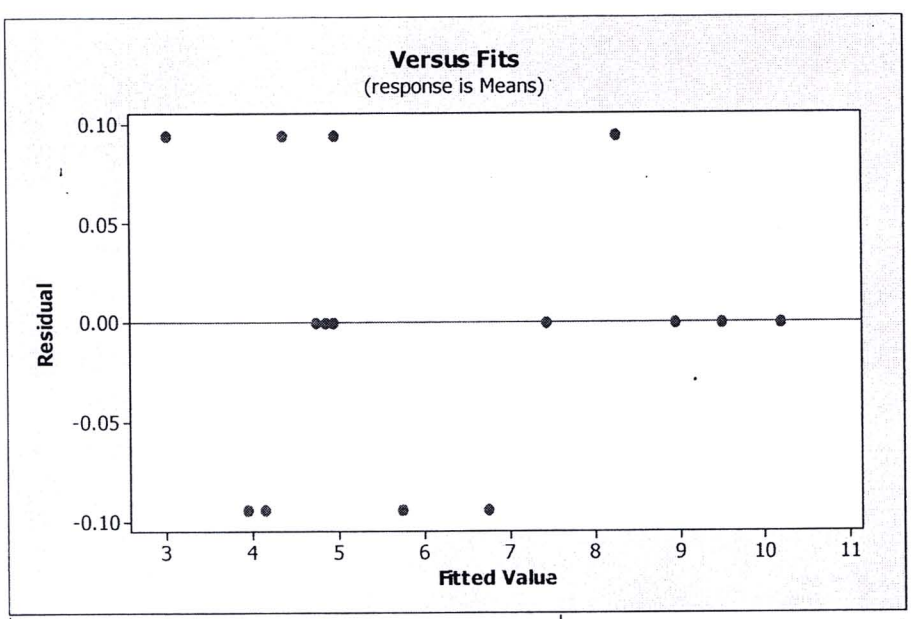
เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมดเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.6 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ในที่นี้คือค่าคาดหมายของผลตอบสนองซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.7 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนซึ่งสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนองของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.1.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

นำค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) จากตารางที่ 5.6 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆเพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากมีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ จะต้องทำการควบคุมปัจจัยดังกล่าว เพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

Analysis of Variance for SN ratios					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	0.775	1	0.7752	0.07	0.822
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ(B)	61.939	1	61.9394	5.21	0.150
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	19.380	1	19.3801	1.63	0.330
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D)	47.625	1	47.6246	4.01	0.183
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E)	37.323	1	37.3229	3.14	0.218
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F)	0.775	1	0.7752	0.07	0.822
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G)	37.323	1	37.3229	3.14	0.218
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H)	15.138	1	15.1380	1.27	0.376
ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J)	9.603	1	9.6035	0.81	0.463
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K)	4.536	1	4.5362	0.38	0.600
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	9.603	1	9.6035	0.81	0.463
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	21.926	1	21.9264	1.85	0.307
ระยะตั้งกั้นท้าย (N)	15.138	1	15.1380	1.27	0.376
Residual Error	23.754	2	11.8772		
Total	304.840	15			

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.7 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของระยะร่องกาวฝาล่าง เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,2}$ = 18.51) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 0.07
2) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 5.21
3) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 1.63
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 4.01
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 3.14
6) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 0.07
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 3.14
8) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 1.27
9) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 0.81
10) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า Fเท่ากับ 0.38
11) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 0.81
12) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 1.85
13) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 1.27

สรุปได้ว่าไม่มีปัจจัยใดที่ต้องควบคุมเพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

5.1.2.3 **การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง**

ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นนั้นสามารถนำมาสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของระยะห่างร่องกาวฝาล่างอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

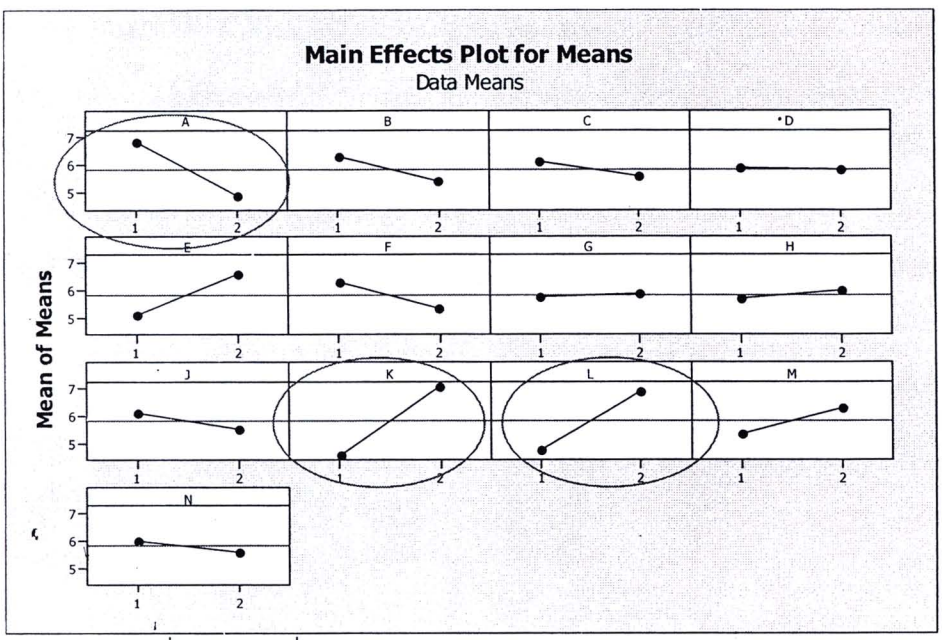
Analysis of Variance for Means					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	15.0156	1	15.0156	18.76	0.049
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ(B)	3.2400	1	3.2400	4.05	0.182
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	1.1556	1	1.1556	1.44	0.352
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D)	0.0225	1	0.0225	0.03	0.882
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E)	8.8506	1	8.8506	11.06	0.080
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F)	3.6100	1	3.6100	4.51	0.168
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G)	0.0506	1	0.0506	0.06	0.825
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H)	0.3025	1	0.3025	0.38	0.601
ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J)	1.6256	1	1.6256	2.03	0.290
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K)	27.0400	1	27.0400	33.79	0.028
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	19.1406	1	19.1406	23.92	0.039
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	4.0000	1	4.0000	5.00	0.155
ระยะตั้งกั้นท้าย (N)	0.6806	1	0.6806	0.85	0.454
Residual Error	1.6006	2	0.8003		
Total	86.3350	15			

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.8 พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่มีค่าสถิติทดสอบ F ของปัจจัยมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ผลการทดลองจากรูปที่ 5.8 ประกอบการพิจารณาดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 18.76
2) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า F เท่ากับ 33.79
3) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 23.92

ส่วนปัจจัยที่เหลือไม่มีผลพอที่จะสรุปว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆดังนี้

1) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 4.05
2) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 1.44
3) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 0.03
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 11.06
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 4.51
6) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 0.06
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 0.38
8) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 2.03
9) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 5.00
10) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 0.85



รูปที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างของแต่ละระดับปัจจัย

การออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยแต่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio น้อยแสดงว่าปัจจัยนั้นมีไว้เพื่อที่จะใช้ในการปรับค่าให้อยู่ที่ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ จากการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

สำหรับปัจจัยอื่นๆที่ไม่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ย แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลกระทบต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ได้แก่ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1, 2 และ 3 ปัจจัยระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย ปัจจัยระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และปัจจัยระยะตั้งกั้นท้าย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะให้มีค่าคงที่ในการทดลองต่อไป

5.2 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

จากการผลการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาทำการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง สรุปแผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

แผนการออกแบบการทดลอง			
1. วัตถุประสงค์ หาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก			
2. ข้อมูลพื้นฐาน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองเบื้องต้น			
3. ตัวแปรในการทดลอง 3.1 **ตัวแปรตอบสนอง** คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง			
3.2 **ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง**	**ระดับปัจจัย**		
	(-) ต่ำ	**(0) กลาง**	**(+) สูง**
3.2.1 ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	80	100	120
3.2.2 ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	387	397	407
3.2.3 ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	0.0	0.25	0.5

ตารางที่ 5.9 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

3.3 **ตัวแปรควบคุม**	**การควบคุม**
3.3.1 ตำแหน่งตัวตบข้าง (มิลลิเมตร)	963
3.3.2 สภาพลุ้อป้อนกระดาษ	สภาพดี ไม่สึก
3.3.3 แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ (บาร์)	5
3.3.4 ความขนานรางพับ	ขนาน
3.3.5 ระยะกดล้อกาว (มิลลิเมตร)	976.0
3.3.6 ความตึงสายพานพับกล่อง	ขนาน
3.3.7 ความตึงสายพานประคองข้าง	ขนาน
3.3.8 แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง	ขนาน
3.3.9 ความโค้งงอกระดาษลูกฟูก	กระดาษเรียบ/ไม่งอ
3.3.10 เกรดกระดาษลูกฟูก	A
3.3.11 ชนิดลอนลูกฟูก	ลอน C
3.3.12 ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก	ใหญ่
3.3.13 ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (มิลลิเมตร)	2.2
3.3.14ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (มิลลิเมตร)	2.0
3.3.15 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (มิลลิเมตร)	1.8
3.3.16 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (มิลลิเมตร)	1.8
3.3.17 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (มิลลิเมตร)	1.7
3.3.18 ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (มิลลิเมตร)	1.8
3.3.19 ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (มิลลิเมตร)	1.7
3.3.20 ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (มิลลิเมตร)	328.2
3.3.21 ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (มิลลิเมตร)	10
3.3.22 ระยะตั้งกั้นท้าย (มิลลิเมตร)	704
4. **การออกแบบการทดลอง** 3^k Factorial Design ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งหมด 3x3x3x2 = 54 การทดลอง	
5. **เมตริกซ์การออกแบบการทดลอง** ดังตารางที่ 5.10	
6. **วิธีการสุ่มอย่างสมบูรณ์** (Complete Randomization) ดังตารางที่ 5.11	

ตารางที่ 5.10 เมตริกซ์การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

A	B								
	-			0			+		
	C			C			C		
	-	0	+	-	0	+	-	0	+
-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
+	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	46	47	48	49	50	51	52	53	54

เครื่องหมาย (-) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับต่ำ

เครื่องหมาย (0) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับกลาง

เครื่องหมาย (+) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับสูง

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

ตารางที่ 5.11 ลำดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ลำดับทดลอง	การทดลอง	ลำดับทดลอง	การทดลอง
1	53	21	16	41	33
2	19	22	4	42	11
3	34	23	9	43	44
4	28	24	13	44	21
5	25	25	6	45	52
6	31	26	26	46	15
7	20	27	45	47	54
8	51	28	18	48	17
9	38	29	23	49	37
10	22	30	5	50	24
11	3	31	49	51	1
12	50	32	12	52	46
13	8	33	30	53	29
14	39	34	32	54	41
15	10	35	7		
16	35	36	14		
17	42	37	48		
18	43	38	27		
19	36	39	2		
20	47	40	40		

5.3 การวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการหาระดับที่เหมาะในการปรับตั้งเครื่องจักร มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

จากการดำเนินการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยปัจจัยที่ทำการทดลองได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย ผลการทดลองของค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนดังตาราง 5.12 มีดังนี้

ตาราง 5.12 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
1	53	120	407	0.25	8.0
2	19	120	387	0.0	6.2
3	34	80	407	0.0	8.8
4	28	80	387	0.0	7.7
5	25	120	407	0.0	6.8
6	31	80	397	0.0	9.0
7	20	120	387	0.25	6.8
8	51	120	397	0.5	7.6
9	38	100	387	0.25	8.3
10	22	120	397	0.0	7.2
11	3	80	387	0.5	9.1

ตาราง 5.12 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
12	50	120	397	0.25	7.7
13	8	80	407	0.25	8.8
14	39	100	387	0.5	8.4
15	10	100	387	0.0	7.9
16	35	80	407	0.25	9.0
17	42	100	397	0.5	8.6
18	43	100	407	0.0	8.8
19	36	80	407	0.5	9.1
20	47	120	387	0.25	7.1
21	16	100	407	0.0	8.6
22	4	80	397	0.0	8.7
23	9	80	407	0.5	9.3
24	13	100	397	0.0	8.2
25	6	80	397	0.5	9.0
26	26	120	407	0.25	8.2
27	45	100	407	0.5	8.6
28	18	100	407	0.5	9.3
29	23	120	397	0.25	7.6
30	5	80	397	0.25	8.7
31	49	120	397	0.0	8.1
32	12	100	387	0.5	8.2
33	30	80	387	0.5	8.9

ตาราง 5.12 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

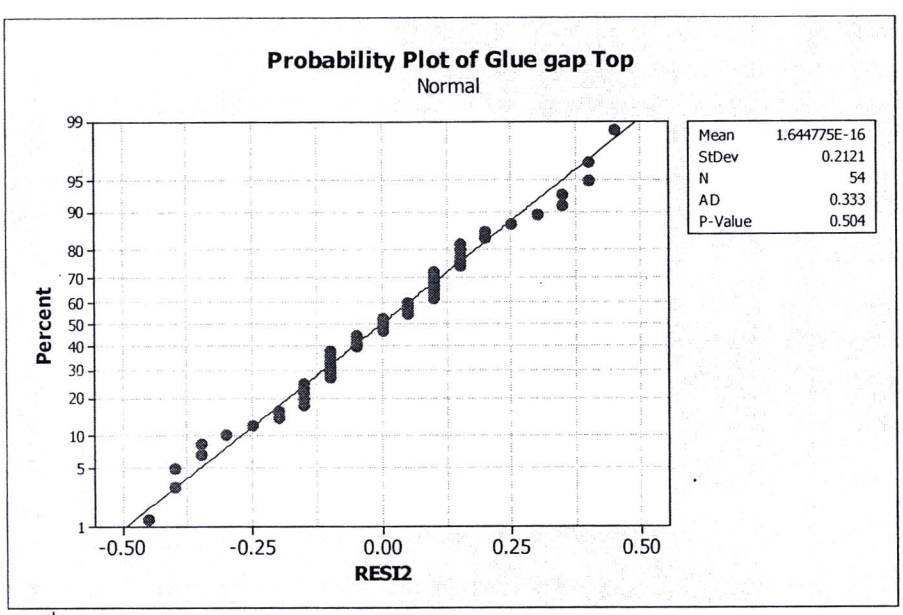
ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
34	32	80	397	0.25	8.6
35	7	80	407	0.0	8.7
36	14	100	397	0.25	8.6
37	48	120	387	0.5	8.0
38	27	120	407	0.5	8.1
39	2	80	387	0.25	9.0
40	40	100	397	0.0	8.2
41	33	80	397	0.5	8.7
42	11	100	387	0.25	9.1
43	44	100	407	0.25	8.7
44	21	120	387	0.5	7.6
45	52	120	407	0.0	7.4
46	15	100	397	0.5	9.0
47	54	120	407	0.5	8.8
48	17	100	407	0.25	9.2
49	37	100	387	0.0	7.8
50	24	120	397	0.5	7.8
51	1	80	387	0.0	8.5
52	46	120	387	0.0	5.9
53	29	80	387	0.25	9.0
54	41	100	397	0.25	8.3

5.3.1.1 **การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบระยะห่างร่องกาวฝาบน**

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อ ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) **การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล**

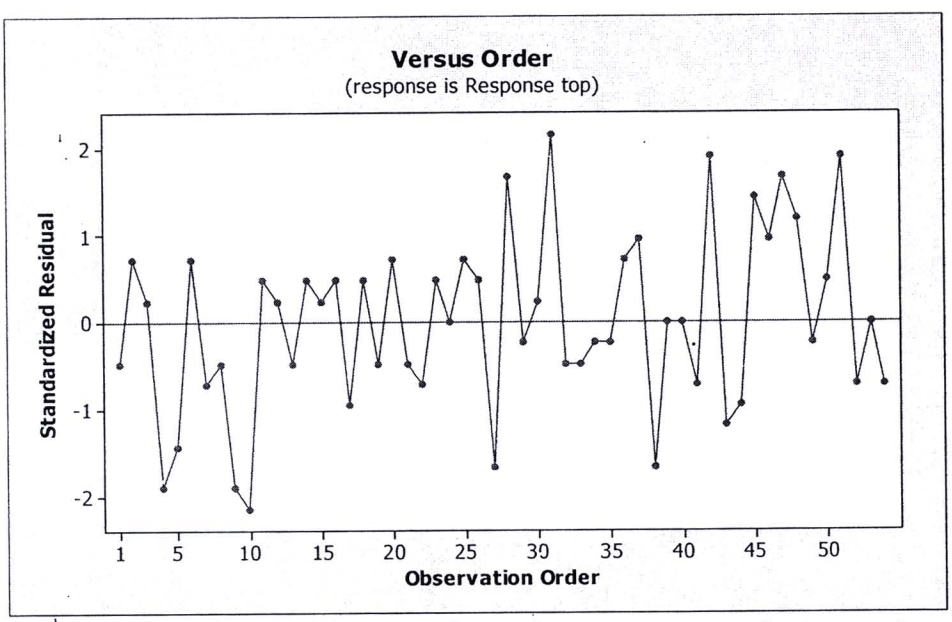
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.9 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.9 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการ ออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

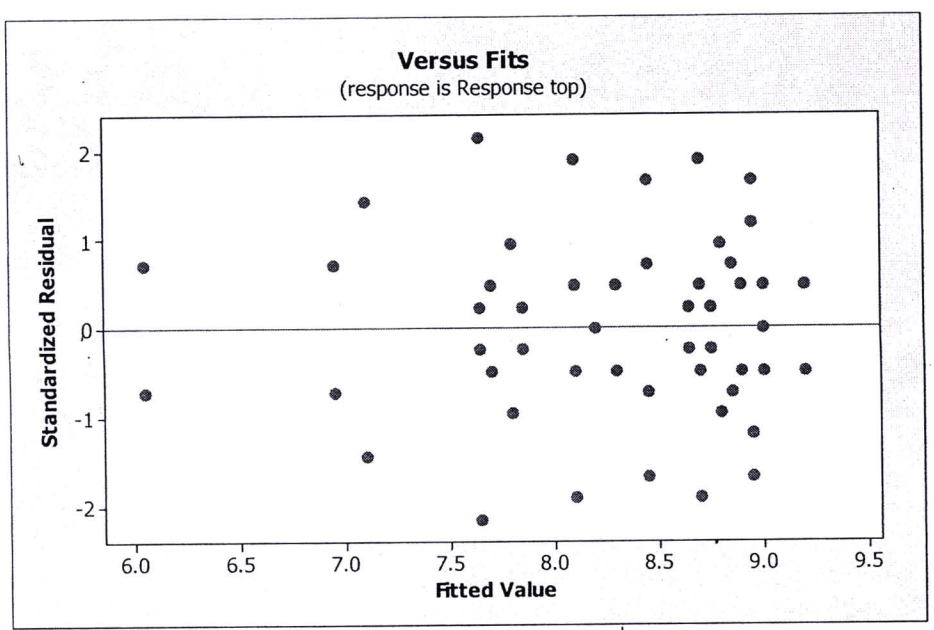
เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมดเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.10 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ในที่นี้คือค่าคาดหมายของผลตอบสนองซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆเมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.11 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนซึ่งสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.3.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของระยะห่างร่องกาวฝาบน

เมื่อข้อมูลได้ทำการการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบแล้ว จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยโปรแกรม Minitab วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ได้ดังตาราง 5.13

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะห่างร่องกาวฝาบน

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
A	17.4433	2	8.7217	98.74	0.000
B	3.2011	2	1.6006	18.12	0.000
C	3.9511	2	1.9756	22.36	0.000
A*B	1.0222	4	0.2556	2.89	0.041
A*C	0.8056	4	0.2014	2.28	0.087
B*C	1.4278	4	0.3569	4.04	0.011
A*B*C	1.3589	8	0.1699	1.92	0.098
Error	2.3850	27	0.0883		
Total	31.5950	53			

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

จากตารางที่ 5.13 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 5.13 สรุปผลได้ดังนี้

1) พบว่า Main Effect A มีค่า F-Ratio เท่ากับ 98.74 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วเครื่องจักร มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Main Effect B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 18.12 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวามีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) พบว่า Main Effect C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 22.36 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วรางพับด้านซ้าย มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบน ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

การทดสอบสมมติฐานของอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

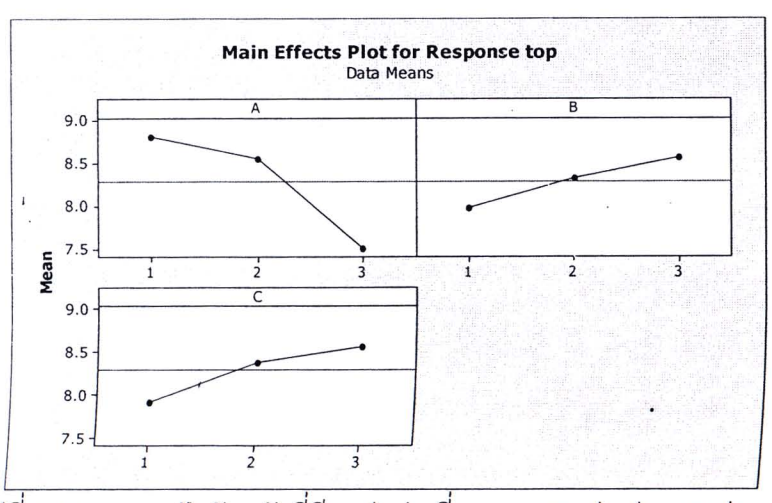
พิจารณาค่า P-Value ของ Interactions ในตารางที่ 5.13 สรุปผลได้ดังนี้

1) พบว่า Interaction Effect A*B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 2.89 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบน ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Interaction Effect A*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 0.77 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า *ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับความเร็วรางพับด้านซ้าย ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบน ที่ระดับนัยสำคัญ* α = 0.05

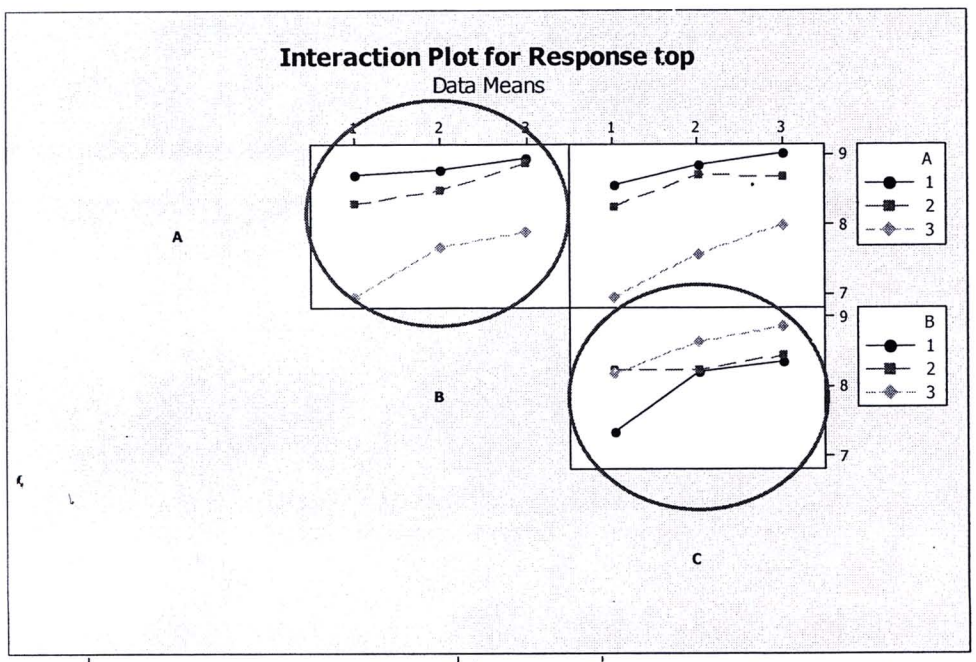
3) พบว่า Interaction Effect B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 2.28 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 4.04 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวากับความเร็วรางพับด้านซ้าย มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

4) พบว่า Interaction Effect A*B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 1.92 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.31 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ 120 กล่อง/นาที ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับสูง จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด ในส่วนปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) ที่ 387 มิลลิเมตร ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) ที่ 0.0 เท่า ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด แต่เนื่องจากมีผลของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร (A) กับ ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) และอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) กับ ความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) มีอิทธิพลต่อค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบน ซึ่งจะใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test) เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อกัน มีรายละเอียดการคำนวณและการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 5.12 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน



รูปที่ 5.13 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน

หมายเหตุ ในรูปที่ 5.12 และ 5.13

หมายเลข 1 แทนระดับต่ำของปัจจัย

หมายเลข 2 แทนระดับกลางของปัจจัย

หมายเลข 3 แทนระดับสูงของปัจจัย

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

5.3.1.3 **การทดสอบพหุพิสัยของดันแคนระยะห่างร่องกาวฝาบน**

วิธีก่ารทดสอบพหุพิสัยของดันแคน เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ยองอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร กับ ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และ อันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา กับ ความเร็วรางพับด้านซ้าย ที่แต่ละระดับปัจจัยว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ รายละเอียดการคำนวณ มีดังต่อไปนี้

5.3.1.3.1 **การทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา**

1) **การเปรียบเทียบความเร็วเครื่องจักรระดับสูงที่ 120 กล่อง/นาที**

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0883 , N=54, n=6) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 120 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

ค่า Standard Error ของค่าเฉลี่ยการทดลอง (Treatment Mean) ดังต่อไปนี้

$$S_{\overline{YB}} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.0883}{6}}$$

$$= 0.1213$$

หาค่า Least Significant Range ได้ดังต่อไปนี้ โดยที่ เปิดตาราง Significant Ranges for Duncan's Multiple Range Test หา $r_{0.05(2,27)}$= 2.91, $r_{0.05(3,27)}$ =3.06

$$R_2 = r_{0.05(2,27)}\ S_{\overline{YB}}$$

$$= (2.91)(0.1213) = 0.3530$$

$$R_3 = r_{0.05(3,27)}\ S_{\overline{YB}}$$

$$= (3.06)(0.1213) = 0.3712$$

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(=6.2+6.8+7.1+8+7.6+5.9)}{6} = 6.93 \qquad (1)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(7.6+7.2+7.7+7.6+8.1+7.8)}{6} = 7.67 \qquad (2)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8+6.8+8.2+8.1+7.4+8.8)}{6} = 7.88 \qquad (3)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (3) VS (1) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความ เชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(3) VS (1) : 7.88 – 6.93 = 0.95 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (3) VS (2) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(3) VS (2) : 7.88 – 7.67= 0.22 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (2) VS (1) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(2) VS (1) : 7.67– 6.93 = 0.73 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

2) การเปรียบเทียบความเร็วเครื่องจักรระดับกลางที่ 100 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วของเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 100 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(8.3+8.4+7.9+8.2+9.1+7.8)}{6} = 8.82 \qquad (4)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8.6+8.2+8.6+8.2+9+8.3)}{6} = 8.48 \qquad (5)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8.8+8.6+8.6+9.3+8.7+9.2)}{6} = 8.87 \qquad (6)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (6) VS (4) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(6) VS (4) : 8.87- 8.82 = 0.58 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (6) VS (5) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(6) VS (5) : 8.87- 8.48 = 0.38 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (5) VS (4) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(5) VS (4) : 8.48 – 8.82 = 0.20 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

3) การเปรียบเทียบความเร็วเครื่องจักรระดับต่ำที่ 80 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 80 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ ดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(7.7+9.1+8.9+9+8.5+9)}{6} = 8.70 \qquad (7)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(9+8.7+9+8.7+8.6+8.7)}{6} = 8.78 \qquad (8)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8.8+8.8+9+9.1+9.3+8.7)}{6} = 8.95 \qquad (9)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (9) VS (7) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(9) VS (7) : 8.95 - 8.70 = 0.25 < 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (9) VS (8) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(9) VS (8) : 8.95 - 8.78 = 0.17 < 0.3530 (R_2)

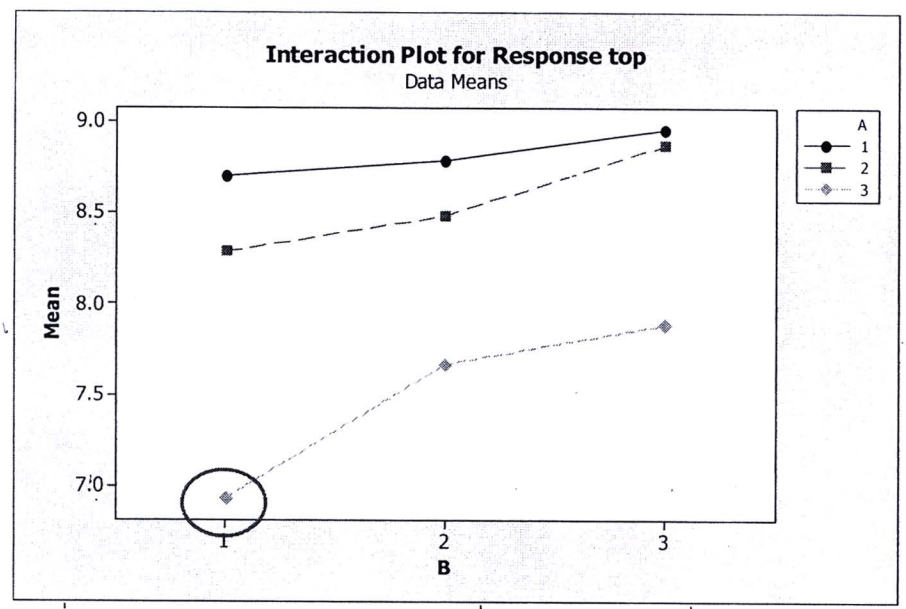
สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (8) VS (7) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(8) VS (7) : 8.78 – 8.70 = 0.08 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

พิจารณาจากดังรูปที่ 5.14 พบว่าปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ระดับสูง อัตรา120 กล่อง/นาที และปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) ที่ระดับต่ำ 387 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด



รูปที่ 5.14 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน

5.3.1.3.2 การทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวากับความเร็วรางพับด้านซ้าย

1) การเปรียบเทียบระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาระดับสูงที่ 407 มิลลิเมตร

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาสัมพันธ์กับความเร็วรางพับด้านซ้ายทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูง 407 มิลลิเมตร กับความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(8.8+8.8+9+9.1+9.3+8.7)}{6} = 8.18 \quad (10)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8+8.8+9+8.2+8.7+9.2)}{6} = 8.65 \quad (11)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(9.1+9.3+8.6+9.3+8.1+8.8)}{6} = 8.87 \quad (12)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (12) VS (10) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(12) VS (10) : 8.87- 8.18 = 0.68 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (12) VS (11) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(12) VS (11) : 8.87- 8.65 = 0.22 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (11) VS (10) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(11) VS (10) : 8.65 - 8.18= 0.47 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

2) การเปรียบเทียบระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาระดับกลางที่ 397 มิลลิเมตร

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาสัมพันธ์กับความเร็วรางพับด้านซ้ายทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูง 397 มิลลิเมตร กับความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(9+7.2+8.7+8.2+8.1+8.2)}{6} = 8.23 \qquad (13)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(7.7+7.6+8.7+8.6+8.6+8.3)}{6} = 8.25 \qquad (14)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(7.6+8.6+9+8.7+9+7.8)}{6} = 8.45 \qquad (15)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (15) VS (13) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(15) VS (13) : 8.45 - 8.23 = 0.22 < 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (15) VS (14) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(15) VS (14) : 8.45 - 8.25 = 0.20 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (14) VS (13) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(14) VS (13) : 8.25 – 8.23 = 0.02 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

3) การเปรียบเทียบระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาระดับสูงที่ 387 มิลลิเมตร

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาสัมพันธ์กับความเร็วรางพับด้านซ้ายทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูง 387 มิลลิเมตร กับความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(6.2+7.7+7.9+7.8+8.5+5.9)}{6} = 7.33 \qquad (16)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(6.8+8.3+7.1+9+9.1+9)}{6} = 8.22 \qquad (17)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(9.1+8.4+8.2+8.9+8+7.6)}{6} = 8.37 \qquad (18)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (18) VS (16) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(18) VS (16) : 8.37- 7.33 = 1.03 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (18) VS (17) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(18) VS (17) : 8.37 - 8.22 = 0.15 < 0.3530 (R_2)

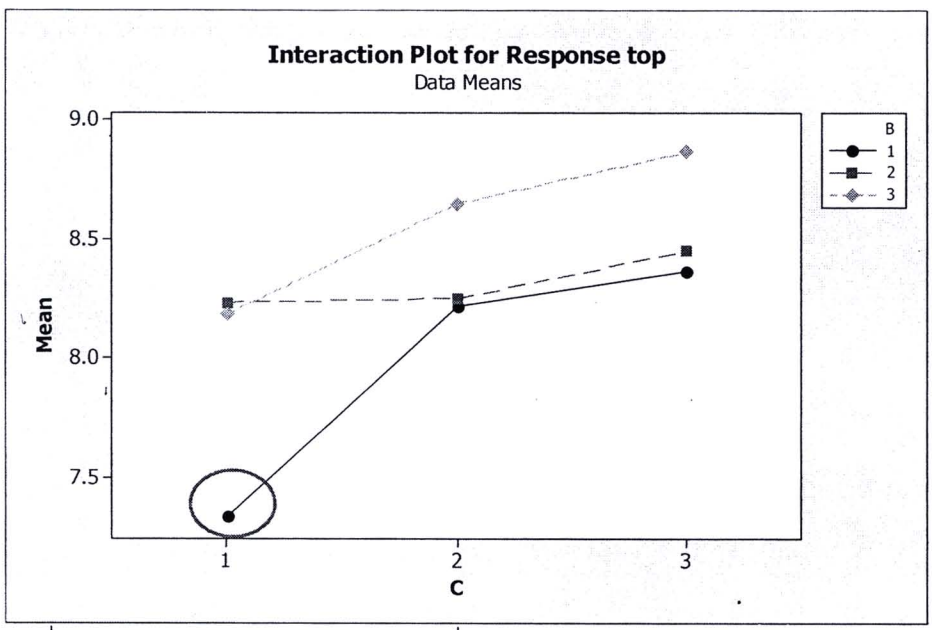
สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (17) VS (16) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(17) VS (16) : 8.22 – 7.33 = 0.88 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

พิจารณาจากดังรูปที่ 5.15 พบว่าปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) ที่ระดับต่ำ 387 มิลลิเมตร และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) ที่ระดับต่ำ 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา จะทำให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด



รูปที่ 5.15 ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน

ดังนั้นค่าปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบนลดลงในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	สูง (+)	120	กล่อง/นาที
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา	ต่ำ (-)	387	มิลลิเมตร
ความเร็วรางพับด้านซ้าย	ต่ำ (-)	0.0	เท่า

5.3.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

จากการดำเนินการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยปัจจัยที่ทำการทดลองได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย ผลการทดลองของค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ดังตาราง 5.15 มีดังนี้

ตาราง 5.15 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
1	53	120	407	0.25	7.2
2	19	120	387	0.0	5.8
3	34	80	407	0.0	9.5
4	28	80	387	0.0	7.9
5	25	120	407	0.0	5.8
6	31	80	397	0.0	8.5
7	20	120	387	0.25	5.3
8	51	120	397	0.5	6.2
9	38	100	387	0.25	7.8
10	22	120	397	0.0	6.5
11	3	80	387	0.5	8.7
12	50	120	397	0.25	6.9
13	8	80	407	0.25	9.7
14	39	100	387	0.5	8.0
15	10	100	387	0.0	7.5
16	35	80	407	0.25	9.8

ตาราง 5.15 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
17	42	100	397	0.5	8.2
18	43	100	407	0.0	8.5
19	36	80	407	0.5	10.8
20	47	120	387	0.25	6.2
21	16	100	407	0.0	7.8
22	4	80	397	0.0	9.0
23	9	80	407	0.5	9.8
24	13	100	397	0.0	7.6
25	6	80	397	0.5	9.5
26	26	120	407	0.25	7.9
27	45	100	407	0.5	8.2
28	18	100	407	0.5	7.8
29	23	120	397	0.25	6.5
30	5	80	397	0.25	9.3
31	49	120	397	0.0	7.7
32	12	100	387	0.5	7.7
33	30	80	387	0.5	8.6
34	32	80	397	0.25	9.2
35	7	80	407	0.0	9.2
36	14	100	397	0.25	8.4
37	48	120	387	0.5	7.8
38	27	120	407	0.5	7.6

ตาราง 5.15 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

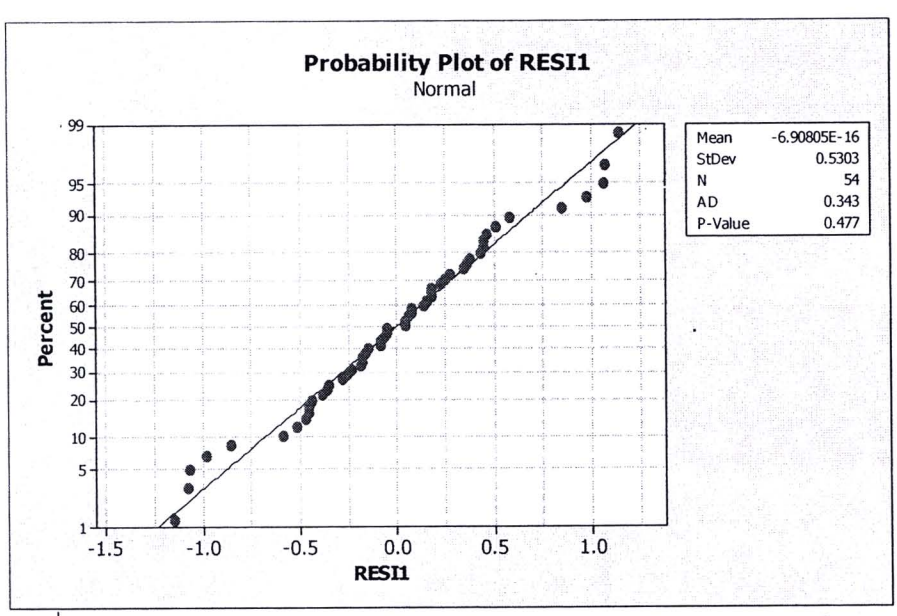
ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
39	2	80	387	0.25	6.2
40	40	100	397	0.0	7.8
41	33	80	397	0.5	7.5
42	11	100	387	0.25	8.7
43	44	100	407	0.25	6.2
44	21	120	387	0.5	6.9
45	52	120	407	0.0	6.7
46	15	100	397	0.5	8.3
47	54	120	407	0.5	8.1
48	17	100	407	0.25	8.5
49	37	100	387	0.0	7.1
50	24	120	397	0.5	8.3
51	1	80	387	0.0	6.2
52	46	120	387	0.0	5.7
53	29	80	387	0.25	8.3
54	41	100	397	0.25	7.6

5.3.2.1 **การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบระยะห่างร่องกาวฝาล่าง**

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) **การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล**

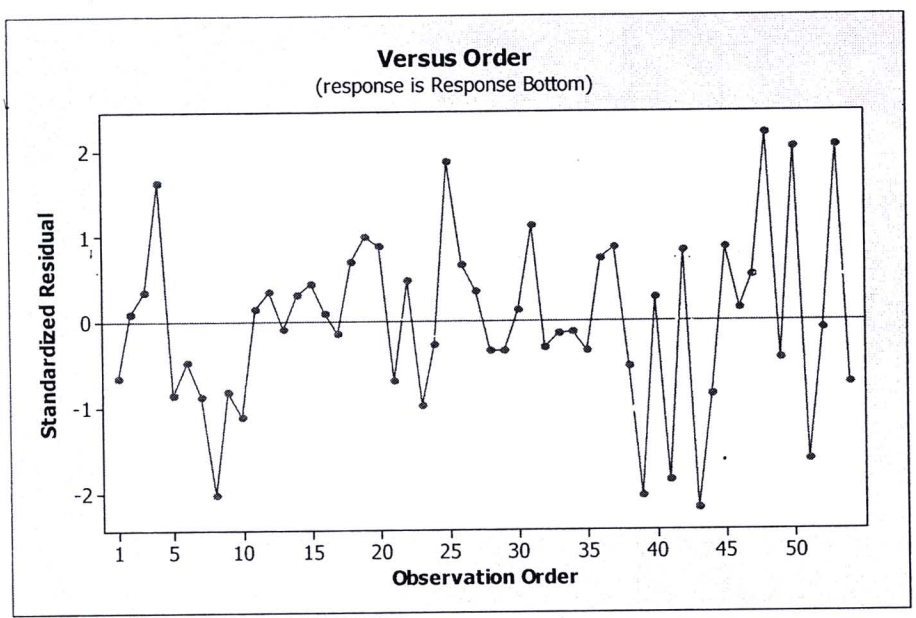
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.16 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.16 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

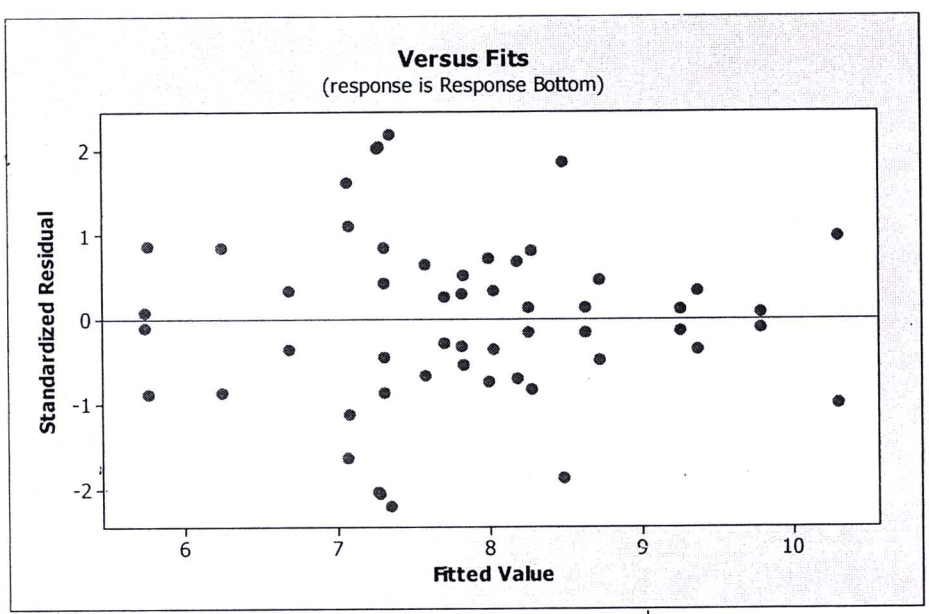
เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมดเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.17 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.18 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน สรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้อง ของตัวแปรตอบสนอง คือค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.3.2.2 **การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง**

เมื่อข้อมูลได้ทำการการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ แล้วจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร ด้วยโปรแกรม Minitab วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ได้ดังตาราง 5.16

ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
A	33.5409	2	16.7705	30.38	0.000
B	10.2525	2	5.1263	9.29	0.001
C	4.7375	2	2.3687	4.29	0.024
A*B	6.7726	4	1.6932	3.07	0.033
A*C	1.1408	4	0.2852	0.52	0.724
B*C	1.8147	4	0.4537	0.82	0.523
A*B*C	5.1906	8	0.6488	1.18	0.349
Error	14.9061	27	0.5521		
Total	78.3557	53			

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

จากตารางที่ 5.16 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 5.16 สรุปผลได้ดังนี้

1) พบว่า Main Effect A มีค่า F-Ratio เท่ากับ 30.38 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วเครื่องจักรมีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Main Effect B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 10.71 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 9.29 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวามีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) พบว่า Main Effect C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 4.29 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วรางพับด้านซ้ายมีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

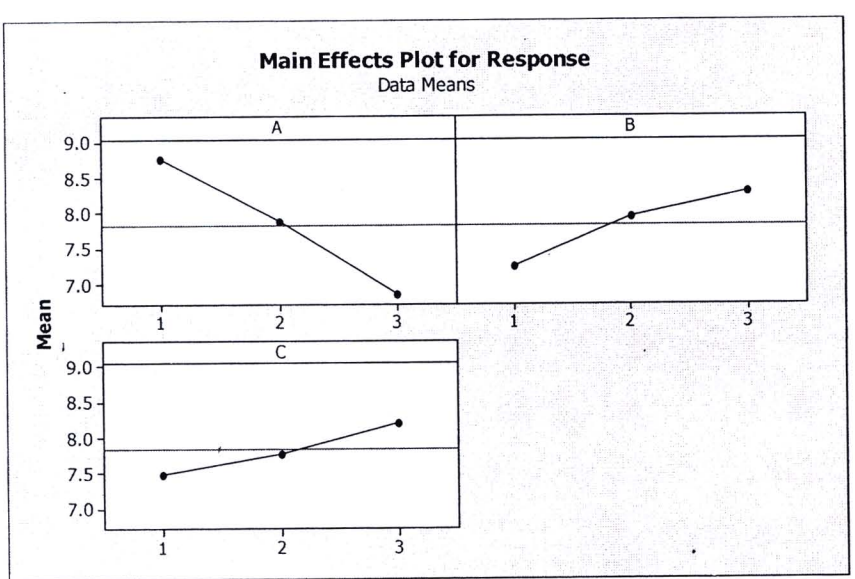
พิจารณาค่า P-Value ของ Interactions ในตารางที่ 5.16 สรุปผลได้ดังนี้

1) พบว่า Interaction Effect A*B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 3.07 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและระยะเบี่ยงรางพับด้านขวามีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Interaction Effect A*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 0.52 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

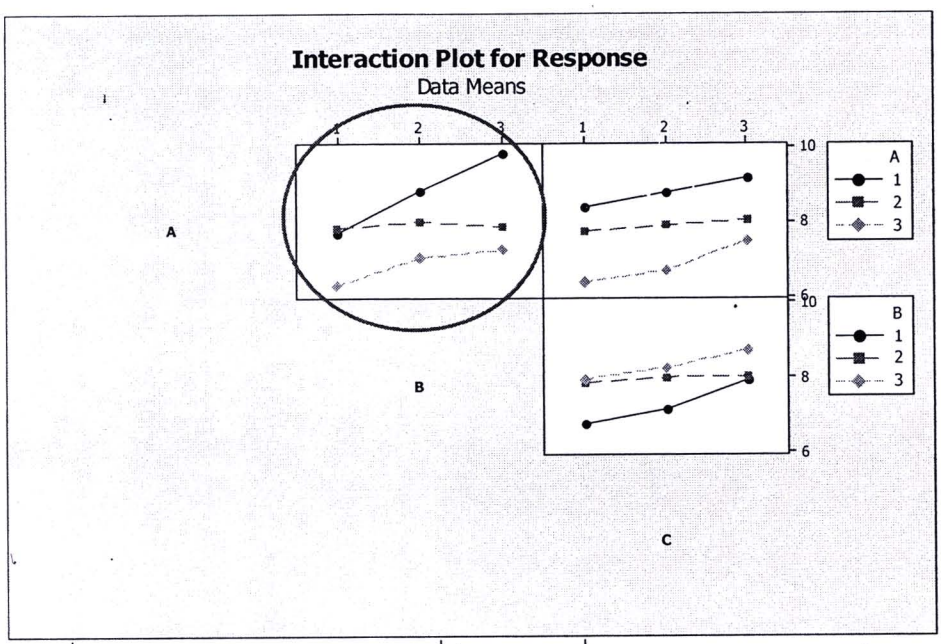
3) พบว่า Interaction Effect B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 0.82 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

4) พบว่า Interaction Effect A*B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 1.18 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.31 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ 120 กล่อง/นาที ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับสูง จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด ในส่วนปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) ที่ 387 มิลลิเมตร ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) ที่ 0.0 เท่า ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด แต่เนื่องจากมีผลของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร (A) กับ ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) มีอิทธิพลต่อค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ซึ่งจะใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อกัน มีรายละเอียดการคำนวณและการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 5.19 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่าง



รูปที่ 5.20 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน

หมายเหตุ ในรูปที่ 5.19 และ 5.20

หมายเลข 1 แทนระดับต่ำของปัจจัย

หมายเลข 2 แทนระดับกลางของปัจจัย

หมายเลข 3 แทนระดับสูงของปัจจัย

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

5.3.2.3 **การทดสอบพหุพิสัยดันแคนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง**

วิธีการทดสอบพหุพิสัยดันแคน เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ส่งผลต่อค่า ที่แต่ละระดับปัจจัยว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ รายละเอียดการคำนวณ มีดังต่อไปนี้

5.2.2.3.1 **ทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา**

1) **การเปรียบเทียบความเครื่องจักรที่ระดับสูง 120 กล่อง/นาที**

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.16 (MS_E = 0.5676, N=54, n=6) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 120 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้ ค่า Standard Error ของค่าเฉลี่ยการทดลอง (Treatment Mean)

$$S_{\overline{YB}} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.5521}{6}}$$

$$= 0.3033$$

หาค่า Least Significant Range ได้ดังต่อไปนี้โดยที่ เปิดตาราง Significant Ranges for Duncan's Multiple Range Test หา $r_{0.05(2,27)}$= 2.91, $r_{0.05(3,27)}$=3.06

$R_2 = r_{0.05(2,27)}\ S_{\overline{YB}}$

= (2.91)(0.3033) = 0.8827

$R_3 = r_{0.05(3,27)}\ S_{\overline{YB}}$

= (3.06)(0.3033) = 0.9282

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(5.8+5.3+6.2+7.8+6.9+5.7)}{6} = 6.28 \quad (19)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(6.2+6.5+6.9+6.5+7.7+8.3)}{6} = 7.02 \quad (20)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(7.2+5.8+7.9+7.6+6.7+8.1)}{6} = 7.22 \quad (21)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (21) VS (19) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(21) VS (19) : 7.22 – 6.28 = 0.93 > 0.9282 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (21) VS (20) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(21) VS (20) : 7.22 – 7.02 = 0.20 < 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (20) VS (19) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(20) VS (19) : 7.02 – 6.28= 0.73 < 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

2) การเปรียบเทียบความเครื่องจักรที่ระดับกลาง 100 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.16 (MS_E = 0.5676) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 100 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(7.8+8+7.5+7.7+8.7+7.1)}{6} = 7.80 \qquad (22)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8.2+7.6+8.4+7.8+8.3+7.6)}{6} = 7.98 \qquad (23)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8.5+7.8+8.2+7.8+6.2+8.5)}{6} = 7.83 \qquad (24)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (24) VS (22) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(24) VS (22) : 7.83 - 7.80 = 0.03 < 0.9282 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (24) VS (23) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(24) VS (23) : 7.98 - 7.83 = 0.13 < 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (23) VS (22) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(23) VS (22) : 7.98 – 7.80 = 0.18 < 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

3) การเปรียบเทียบความเครื่องจักรที่ระดับต่ำ 80 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.16 (MS_E = 0.5676) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 80 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ ดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(7.9+8.7+8.6+6.2+6.2+8.3)}{6} = 7.65 \qquad (25)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8.5+9+9.5+9.3+9.2+7.5)}{6} = 8.83 \qquad (26)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(9.5+9.7+9.8+10.8+9.8+9.2)}{6} = 9.80 \qquad (27)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (27) VS (25) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(27) VS (25) : 9.80 – 7.65 = 2.15 > 0.9282 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (27) VS (26) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(27) VS (26) : 9.80 – 8.83 = 0.97 > 0.8827 (R_2)

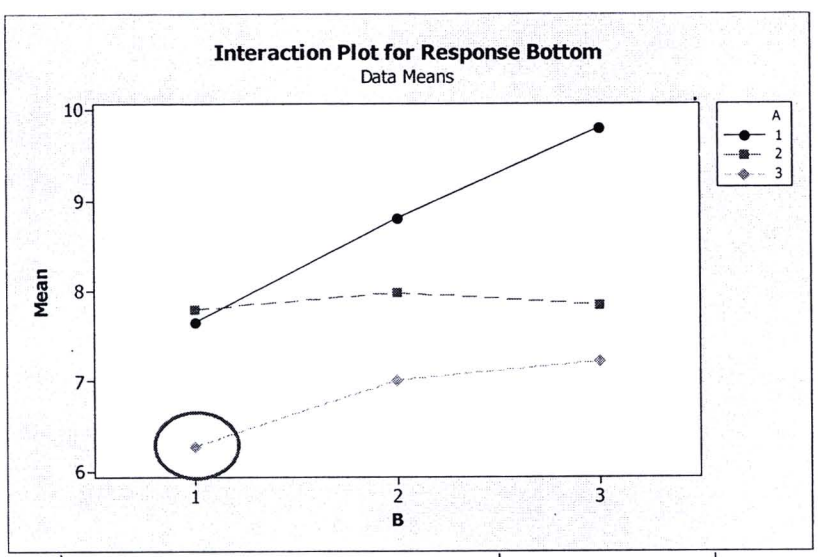
สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (26) VS (25) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(26) VS (25) : 8.83 – 7.65 = 1.18 > 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

พิจารณาจากดังรูปที่ 5.21 พบว่าปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ระดับสูง อัตรา120 กล่อง/นาที และปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) ที่ระดับต่ำ 387 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด



รูปที่ 5.21 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

ดังนั้นค่าปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่างลดลงในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	สูง (+)	120	กล่อง/นาที
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา	ต่ำ (-)	387	มิลลิเมตร
ความเร็วรางพับด้านซ้าย	ต่ำ (-)	0.0	เท่า

5.4 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย โดยจะทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าตามที่ได้กำหนดค่าไว้ ดังตารางที่ 5.17 เพื่อตรวจสอบว่าค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่างมีค่าความเบี่ยงเบนลดลง และ ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) หลังปรับปรุงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่

5.4.1 การเตรียมการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

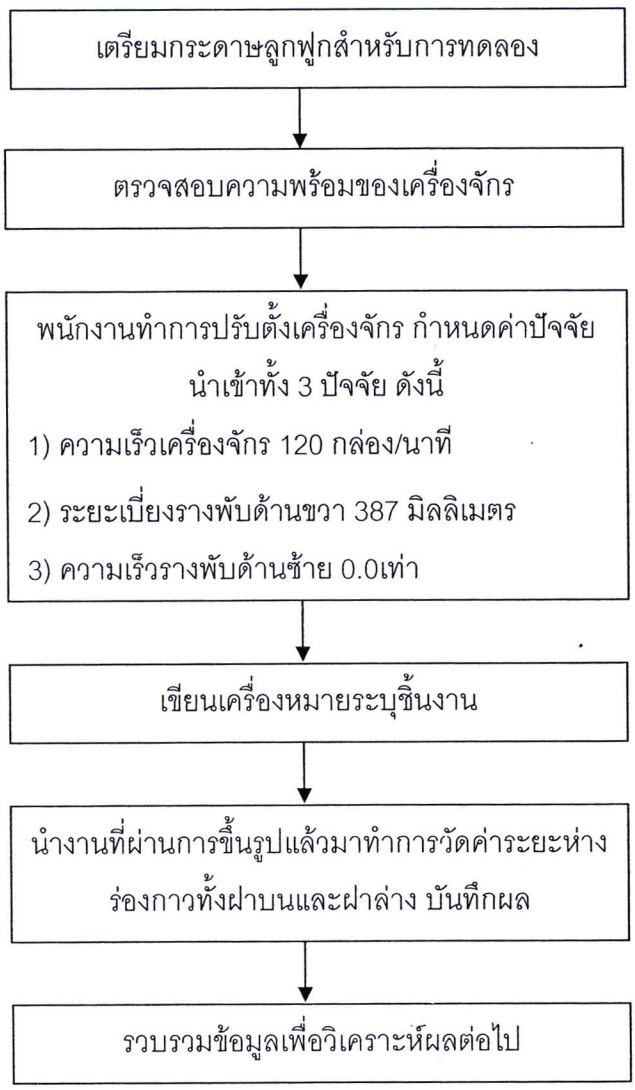
ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองมีดังนี้

1) **การเตรียมการทดลอง**

ใช้ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก รหัส A ทำการทดลองที่สภาวะการปฏิบัติงานจริงของการผลิต โดยใช้เครื่องเครื่องขึ้นรูปกล่องอัตโนมัติที่เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler

2) **ขั้นตอนการทดสอบ**

นำกล่องกระดาษลูกฟูกที่เตรียมไว้ ผ่านเข้าเครื่องจักรทำการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิต และทำการเก็บข้อมูลของค่าระยะห่างร่องกาวทั้งฝาบนและฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูกจากกระบวนการผลิต ที่ได้จากการปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยที่ได้กำหนดค่าไว้แล้ว ทำการทดลองและบันทึกผลตามแผนที่วางไว้ และนำข้อมูลการทดลองที่ได้วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab รายละเอียดขั้นตอนการทดสอบดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลการทดลอง

5.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล

ในวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อยืนยันผล แบ่งออก 2 ส่วน คือการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีรายละเอียดดังนี้

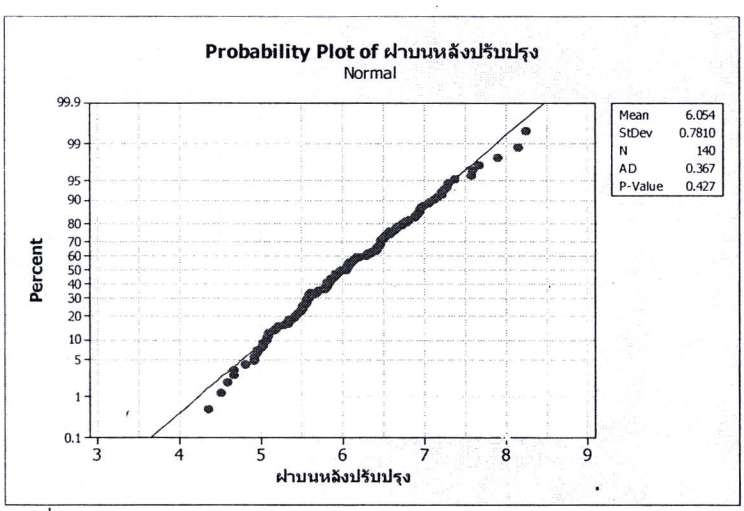
5.4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผลของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้จากการพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยทำการปรับตั้งเครื่องจักรระดับปัจจัยตามที่ได้จากตารางที่ 5.17 จากนั้นทำการผลิตจริง และนำค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้มาทดสอบ Normality เพื่อเป็นการทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ ใช้โปรแกรม minitab เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีสมมติฐานว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาบน ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติเ นื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลกระจายแบบปกติดังรูปที่ 5.23

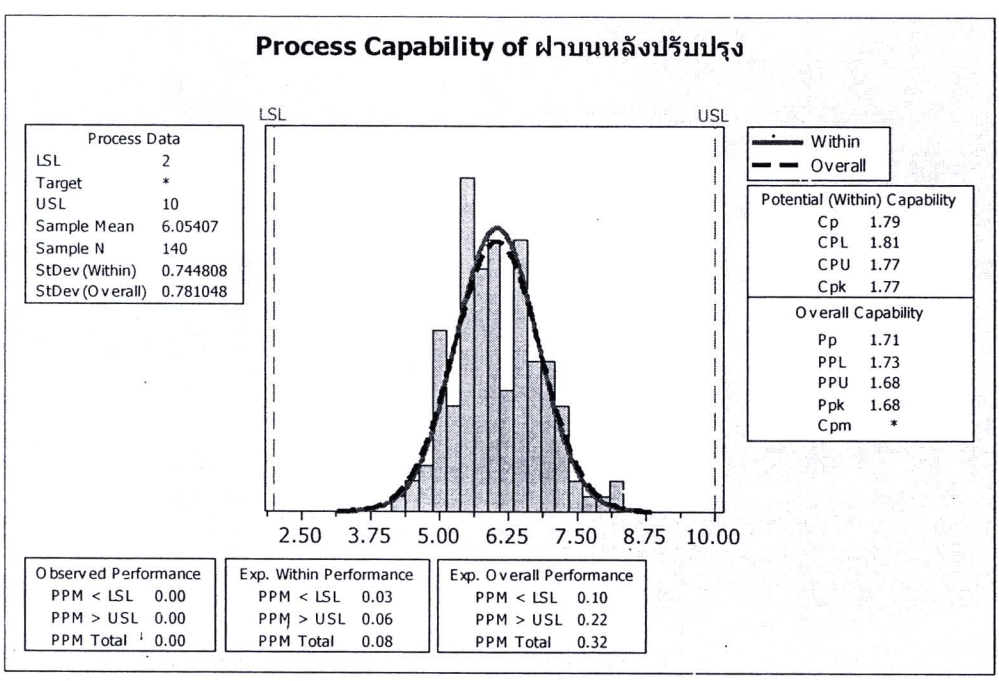


รูปที่ 5.23 ความเป็นปกติข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 5.24 ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน มีดังนี้

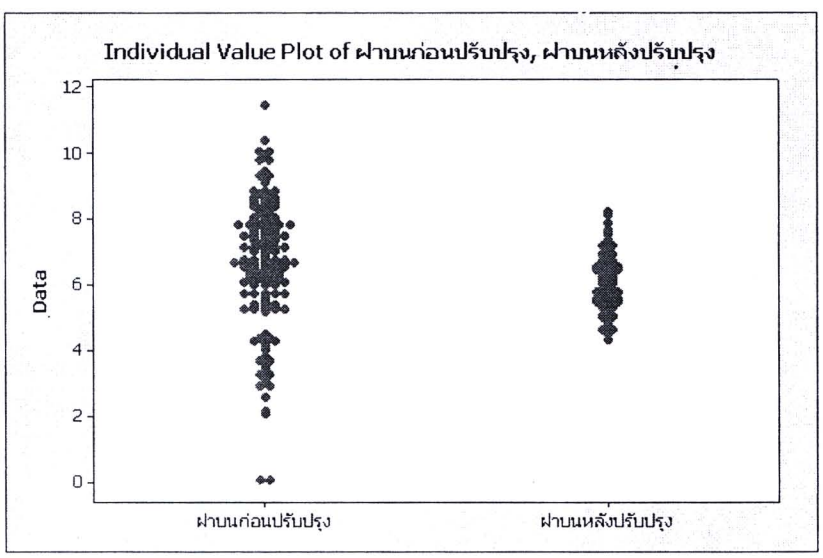
1. ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 6.05 มิลลิเมตร
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.74 มิลลิเมตร
3. ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.79
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.77

การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองจากการปรับตั้งเครื่องจักรโดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าสามารถลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนได้จริง โดยค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน หลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 6.05±0.74 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าเป็น 6.61±1.69 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่าเท่ากับ 1.77 ซึ่งอยู่เกณฑ์ที่ดีมีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ทั่วไปความสามารถของกระบวนการควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$



รูปที่ 5.24 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังปรับปรุง

จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ที่ออกนอกช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 4 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย จากรูปที่ 5.25 พบว่าค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังการปรับปรุงมีการกระการกระจายตัวลดลงและใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบการกระจายตัวค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนและหลังปรับปรุง

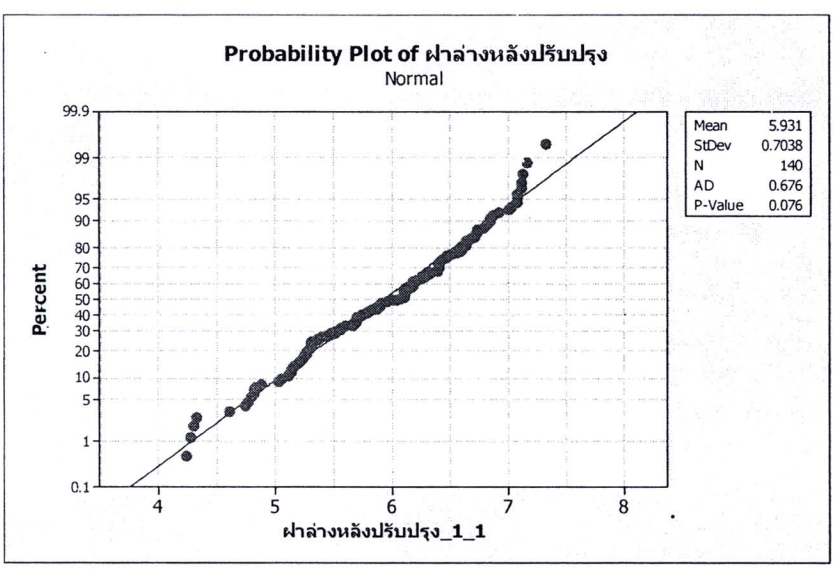
5.4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผลของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้จากการพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยทำการปรับตั้งเครื่องจักรระดับปัจจัยตามที่ได้จากตารางที่ 5.17 จากนั้นทำการผลิตจริง และนำค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้มาทดสอบ Normality เพื่อเป็นการทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ ใช้โปรแกรม minitab เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีสมมติฐานว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาล่าง ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติเ นื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลกระจายแบบปกติดังรูปที่ 5.26

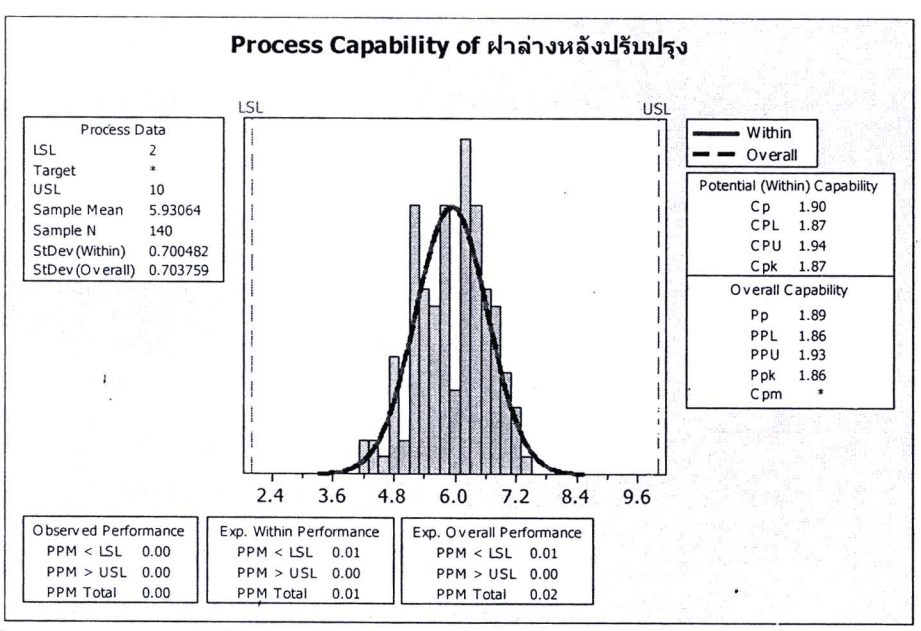


รูปที่ 5.26 ความเป็นปกติข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 5.27 ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีดังนี้

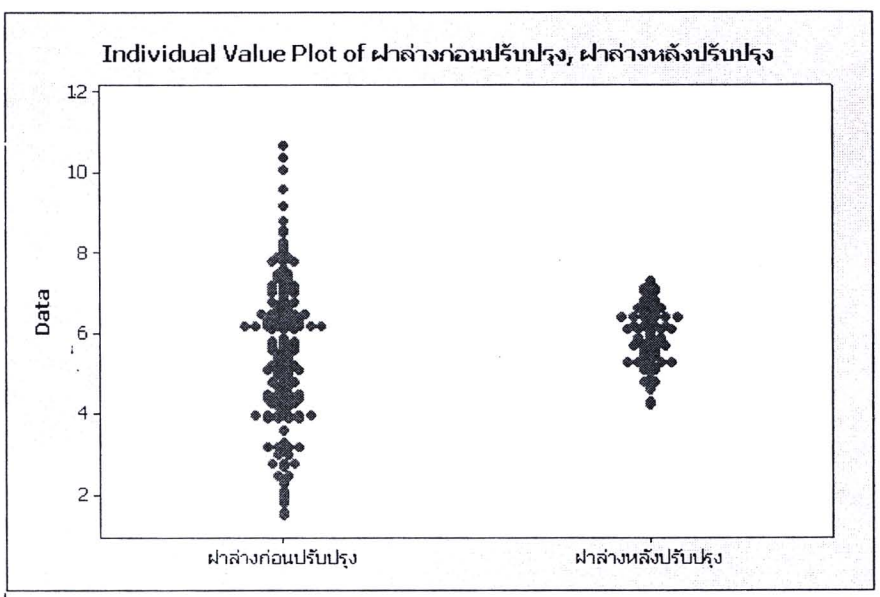
1. ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 5.93 มิลลิเมตร
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร
3. ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.90
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.87

การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองจากการปรับตั้งเครื่องจักรโดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าสามารถลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างได้จริง โดยค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 5.93±0.70 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าเป็น 5.50±1.40 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่าเท่ากับ 1.87 ซึ่งอยู่เกณฑ์ที่ดีมีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ทั่วไปความสามารถของกระบวนการควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$



รูปที่ 5.27 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังปรับปรุง

จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ที่ออกนอกช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 7 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย จากรูปที่ 5.28 พบว่าค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังการปรับปรุงมีการกระการกระจายตัวลดลงและใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบการกระจายตัวค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนและหลังปรับปรุง

ระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร สำหรับปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วเครื่องจักร 120 กล่อง/นาที ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา 387 มิลลิเมตร และความเร็วรางพับด้านซ้าย 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา จากการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริง พบว่าค่าระดับปัจจัยดังกล่าวทำให้ค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวลดลง และสามารถเพิ่มดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้นได้ จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต