

บทที่ 7

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7.1 บทนำ

หลังจากการทดสอบความมีนัยสำคัญเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมแล้ว ขั้นตอนต่อไปในการดำเนินการคือ การนำปัจจัยทั้ง 3 นี้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ 4 ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้คือ

- เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมในสภาวะค่าต่าง ๆ ของปัจจัยทั้ง 3 ที่เกี่ยวข้อง
- เพื่อกำหนดสภาวะของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสามคือ ค่าแรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม และระยะ Y ของจุดเชื่อม ที่จะทำให้ค่ามุมหลังเชื่อมของตัวงานมีความแปรปรวนที่ลดลงจากเดิม

7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาศึกษาเพื่อลดความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม และระยะ Y ของจุดเชื่อม โดยแต่ละปัจจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับด้วยกัน คือระดับต่ำ และระดับสูง ซึ่งจะแทนด้วยหมายเลข -1 และ 1 ตามลำดับ การกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในแต่ละระดับของการทดลอง จะกำหนดตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์หรือช่วงของการใช้งานในปัจจุบันดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 แสดงค่าระดับของปัจจัยในการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัยป้อนเข้า	ระดับ		หน่วย
		-1	1	
1	แรงดันไฟฟ้า	280	320	โวลท์
2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม	0.220	0.280	มิลลิเมตร
3	ระยะ Y ของจุดเชื่อม	1.985	2.035	มิลลิเมตร

7.3 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ ผู้ทำการศึกษาที่มีความสนใจที่จะพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่กำหนดในการทดลองคือ ค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม โดยจะแสดงผลในรูปของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละลำดับการทดลอง ซึ่งจะคำนวณจากจำนวนข้อมูลทั้งหมดของแต่ละลำดับการทดลองนั้นๆ

7.4 แบบการทดลอง

แบบการทดลองที่พิจารณา จะใช้การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาอิทธิพลจากหลายๆ ปัจจัยพร้อมกัน โดยมีปัจจัยนำเข้าที่นำมาพิจารณาจำนวน 3 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยจะแบ่งเป็น 2 ระดับตามหัวข้อที่ 7.2 ซึ่งหลักในการออกแบบการทดลองที่พิจารณาคือ

7.4.1 การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment combination หนึ่งจะถูกทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะช่วยให้สามารถที่จะประมาณค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ และทำให้ขนาดของความคลาดเคลื่อนลดลงได้ โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองโดยการซ้ำในแต่ละ Treatment combination เท่ากับ 2 ครั้ง (2 replications) เนื่องจากทำให้ประหยัดเวลาในการทดลองและเป็นการประหยัดวัสดุที่ใช้ในการทดลองด้วยเช่นกัน

7.4.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุ โดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งจะกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design matrix) โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จากช่อง RunOrder ของตาราง

7.4.3 การทดลองแบบบล็อก (Blocking)

เป็นเทคนิคในการออกแบบการทดลองที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำการศึกษา โดยการลดหรือกำจัดทั้งความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้ทำการศึกษา (Nuisance factor) ซึ่งในการทดลองนี้คือ “ วันในการทำการทดลอง” เป็นปัจจัยที่ถูกบล็อกเนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองทั้ง 16 ลำดับการทดลองให้เสร็จภายในหนึ่งวัน โดยสังเกตจากตาราง Design matrix ในช่อง Blocks จะแบ่งเป็น 2 ค่าคือ 1 และ 2 ซึ่งหมายถึงการทำการทดลองวันที่ 1 และการทำการทดลองวันที่ 2 ตามลำดับ

ข้อกำหนดอื่นๆ ในการทดลองคือ

- ปัจจัยที่พิจารณาเป็นแบบคงที่ (Fixed factors)
- อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและบล็อก ไม่มีผลกระทบและสามารถที่จะตัดทิ้งได้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

โดยสรุปการทดลองนี้จะเป็นแบบ RCBD (Randomize Complete Block Design) และมีจำนวนทั้งสิ้น 16 ลำดับการทดลอง (16 runs) และในแต่ละการทดลองจะใช้จำนวนงานทั้งสิ้น 100 ตัว (100 repetitions) รวมจำนวนงานที่ใช้สำหรับการทดลองเท่ากับ 1,600 ตัว และผลจากการสร้างตาราง Design Matrix ด้วยโปรแกรม MINITAB แสดงดังตารางที่ 7.2

กำหนดให้	A	แทนปัจจัยแรงดันไฟฟ้า
	B	แทนปัจจัยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม
	C	แทนปัจจัยระยะ Y ของจุดเชื่อม

ตารางที่ 7.2 ตาราง Design Matrix ของการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Treatment Combination	หมายเลข sheet				
1	5	1	1	-1	-1	-1	(1)	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5
2	1	1	1	1	-1	-1	a	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5
3	6	1	1	-1	1	-1	b	3/1	3/2	3/3	3/4	3/5
4	4	1	1	1	1	-1	ab	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5
5	3	1	1	-1	-1	1	c	5/1	5/2	5/3	5/4	5/5
6	8	1	1	1	-1	1	ac	6/1	6/2	6/3	6/4	6/5
7	7	1	1	-1	1	1	bc	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5
8	2	1	1	1	1	1	abc	8/1	8/2	8/3	8/4	8/5
9	10	1	2	-1	-1	-1	(1)	9/1	9/2	9/3	9/4	9/5
10	12	1	2	1	-1	-1	a	10/1	10/2	10/3	10/4	10/5
11	13	1	2	-1	1	-1	b	11/1	11/2	11/3	11/4	11/5
12	9	1	2	1	1	-1	ab	12/1	12/2	12/3	12/4	12/5
13	14	1	2	-1	-1	1	c	13/1	13/2	13/3	13/4	13/5
14	15	1	2	1	-1	1	ac	14/1	14/2	14/3	14/4	14/5
15	11	1	2	-1	1	1	bc	15/1	15/2	15/3	15/4	15/5
16	16	1	2	1	1	1	abc	16/1	16/2	16/3	16/4	16/5

และสมการตัวแบบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$Y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \delta_l + \varepsilon_{ijklm}$$

- i = 1,2 (ระดับของแรงดันไฟฟ้า)
 j = 1,2 (ระดับเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม)
 k = 1,2 (ระดับของระยะ Y ของจุดเชื่อม)
 l = 1,2 (จำนวนบล็อก)
 m = 1,2 (จำนวนการทำซ้ำ)

โดยกำหนดให้

- Y คือตัวแปรตอบสนองของการทดลอง (ค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม)
 μ คือค่าเฉลี่ย
 τ คืออิทธิพลที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้า
 β คืออิทธิพลที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม



- γ คืออิทธิพลที่เกิดจากระยะ Y ของจุดเชื่อม
- δ คือ อิทธิพลที่เกิดจากการบล็อก
- $\tau\beta$ คืออิทธิพลร่วมที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม
- $\tau\gamma$ คืออิทธิพลร่วมที่เกิดแรงดันไฟฟ้าและระยะ Y ของจุดเชื่อม
- $\beta\gamma$ คืออิทธิพลร่วมที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและระยะ Y ของจุดเชื่อม
- $\tau\beta\gamma$ คืออิทธิพลร่วมที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม และระยะ Y ของจุดเชื่อม
- ε คืออิทธิพลจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

7.5 การเตรียมการทดลอง

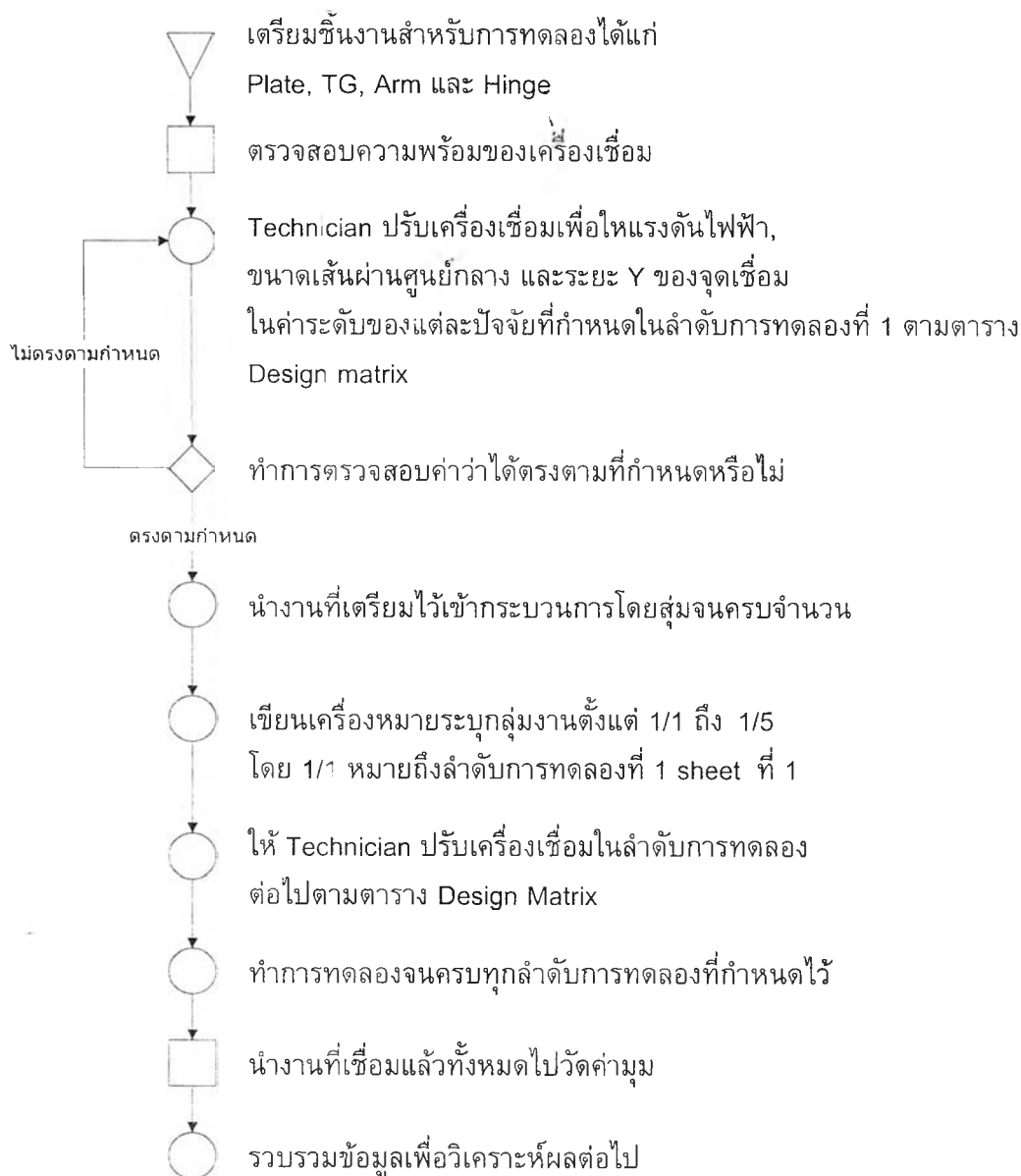
- เตรียมชิ้นส่วนที่จะใช้ในการทดลองให้ครบจำนวนที่ต้องการ ได้แก่ Formed arm sheet, Hinge sheet, Base plate และ TG
- เตรียมเครื่องเชื่อมและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน
- ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่
 - เตรียมชิ้นงาน Arm, Plate และ TG ที่มาจากล็อตเดียวกันทั้งหมด หรือผ่านกระบวนการก่อนหน้าอย่างต่อเนื่องเป็นกลุ่มเดียวกันทั้ง 16 ชิ้นของการทดลอง
 - ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันในการทดลอง
 - ใช้ carrier ตัวเดียวกัน
 - ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน
 - ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน
- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

7.6 ขั้นตอนในการทดลอง

ให้ช่างประจำกระบวนการเชื่อมทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัยในแต่ละสภาวะของการทดลองให้ตรงกับที่กำหนดไว้ เมื่อได้ค่าปัจจัยตามที่ต้องการแล้ว จึงนำชิ้นส่วนเข้ากระบวนการโดยสุ่มอย่างต่อเนื่องจนครบจำนวน ทำการทดลองจนครบทั้ง 16 สภาวะ โดยลำดับการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ในช่อง "RunOrder" ของตาราง design matrix และจะทำการทดลองให้เสร็จทีละบล็อก จากนั้นจึงนำงานทดลองทั้งหมดนี้ไปวัดค่ามุมหลังเชื่อมที่เครื่องวัด แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลองแสดงในรูปที่ 7.1

7.7 ดำเนินการทดลอง

ทำการทดลองตามแผนการที่ได้วางไว้และนำข้อมูลการทดลองที่ได้ (แสดงในภาคผนวก ซ) มาใส่ในโปรแกรม MINITAB เพื่อทำการคำนวณทางสถิติต่อไป



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

7.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

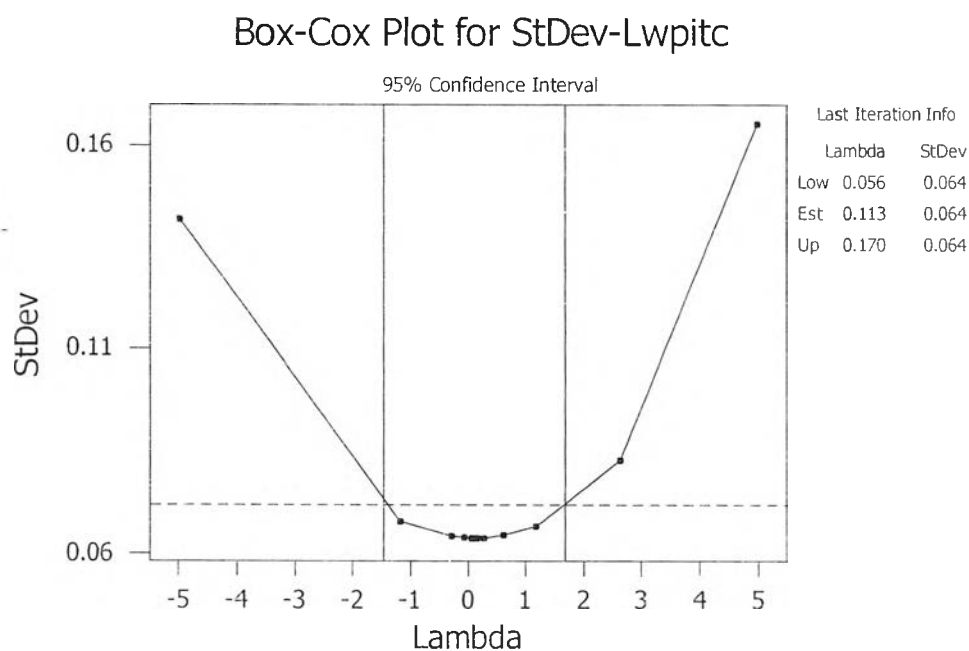
เมื่อได้รวบรวมข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด และนำมาใส่ในโปรแกรม MINITAB แล้ว ในการวิเคราะห์ผลจะใช้ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เพื่อพิจารณาผลลัพธ์ต่างๆ ที่ได้ดังต่อไปนี้

7.8.1 การแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox (The Box-Cox Method)

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องทำการแปลงรูปของข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายเข้าใกล้การกระจายแบบปกติมากที่สุด ซึ่งเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นในการพิจารณาด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้ในการแปลงรูปของข้อมูลเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวคือ วิธีการของ Box-Cox โดยจะทำการแปลงรูปของข้อมูลตามสมการ

$$y^* = y^\lambda$$

โดยที่ y^* คือค่าตัวแปรตอบสนองที่ถูกแปลงรูปแล้ว และค่า λ คือค่า power family ของการแปลงรูป พิจารณาโดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $SS_E(\lambda)$ กับค่า λ และทำการเลือกค่า λ ที่ทำให้ค่า $SS_E(\lambda)$ มีค่าต่ำที่สุดจากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว จากข้อมูลการทดลองนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ เพื่อพิจารณาค่า λ ได้ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $SS_E(\lambda)$ กับค่า λ

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 7.2 พบว่าค่า λ ที่ทำให้ค่า $SS_E(\lambda)$ มีค่าต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.113 และจะนำค่า λ นี้ใช้ในการแปลงรูปข้อมูล โดยข้อมูลหลังการแปลงรูปด้วยวิธี Box-Cox แล้วจะแสดงในภาคผนวก ข

7.8.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

สมมติฐานของการทดลองคือ

- สมมติฐานของปัจจัยเดี่ยวมี 4 สมมติฐาน

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } \tau_i \neq 0$$

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } \beta_j \neq 0$$

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } \gamma_k \neq 0$$

$$H_0 : \delta_1 = \delta_2 = 0$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } \delta_i \neq 0$$

- สมมติฐานของปัจจัยร่วมมีดังนี้คือ

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, j$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, k$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

$$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } j, k$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$$

$$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i, j, k$$

$$H_a : \text{อย่างน้อยหนึ่งค่าของ } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$$

ขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยทั้งสามปัจจัยที่นำมาทดลอง รวมทั้งปัจจัยร่วมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อที่จะพิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

Fractional Factorial Fit: StDev-Lwpitch* versus Voltage, Diameter, ...						
Estimated Effects and Coefficients for StDev-Lw (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.82214	0.003715	221.28	0.000	
Block		-0.00341	0.003715	-0.92	0.389	
Voltage	0.02661	0.01330	0.003715	3.58	0.009	
Diameter	0.04204	0.02102	0.003715	5.66	0.001	
Y-Distan	-0.02281	-0.01140	0.003715	-3.07	0.018	
Voltage*Diameter	-0.00358	-0.00179	0.003715	-0.48	0.645	
Voltage*Y-Distan	0.00706	0.00353	0.003715	0.95	0.374	
Diameter*Y-Distan	-0.02003	-0.01002	0.003715	-2.70	0.031	
Voltage*Diameter*Y-Distan	-0.00507	-0.00254	0.003715	-0.68	0.517	
Analysis of Variance for StDev-Lw (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.0001865	0.0001865	0.0001865	0.84	0.389
Main Effects	3	0.0119832	0.0119832	0.0039944	18.09	0.001
2-Way Interactions	3	0.0018554	0.0018554	0.0006185	2.80	0.118
3-Way Interactions	1	0.0001030	0.0001030	0.0001030	0.47	0.517
Residual Error	7	0.0015461	0.0015461	0.0002209		
Total	15	0.0156741				

จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม พบว่าอิทธิพลจากบล็อกหรือวันในการทำการทดลอง ไม่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นจึงพิจารณาอิทธิพลจากเทอมของปัจจัยต่างๆ เทอมที่เกี่ยวข้องได้ผลสรุปดังต่อไปนี้คือ

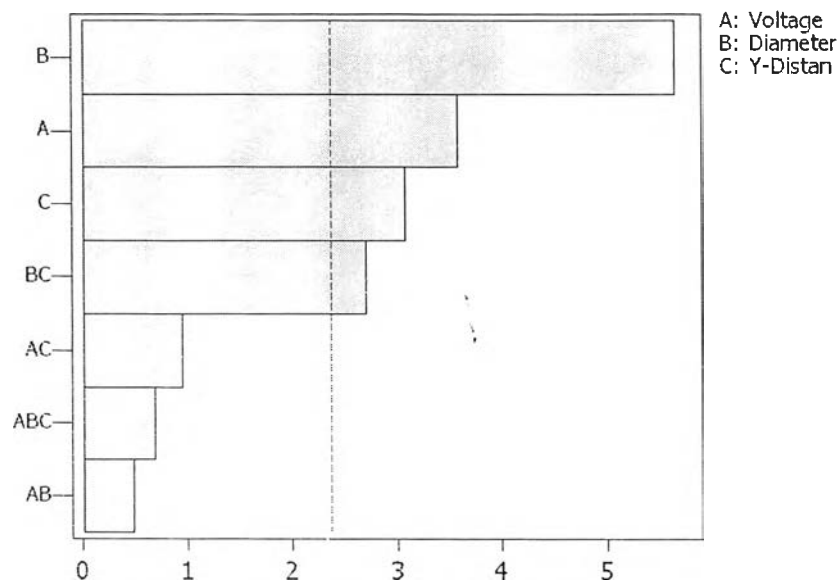
เทอมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่

- อิทธิพลจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม
- อิทธิพลจากแรงดันไฟฟ้า
- อิทธิพลจากระยะ Y ของจุดเชื่อม และ
- อิทธิพลร่วมระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและระยะ Y ของจุดเชื่อม

โดยพิจารณาจากค่า P-value ของแต่ละปัจจัยดังกล่าวซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 หรือพิจารณาได้จากแผนภูมิพาเรโตที่แสดงขนาดของอิทธิพลในแต่ละเทอมของปัจจัยที่เกิดขึ้น โดยเทอมของปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจะมีเส้นประสีแดงลากผ่าน แสดงดังรูปที่ 7.4

Pareto Chart of the Standardized Effects

(response is StDev-Lw, Alpha = .05)



รูปที่ 7.3 แผนภูมิพารेटอแสดงอิทธิพลของเทอมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า เทอมของปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ อิทธิพลร่วมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะ Y ของจุดเชื่อม, อิทธิพลร่วมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม และอิทธิพลร่วมระหว่างแรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและระยะ Y ของจุดเชื่อม โดยพิจารณาจากค่า P-value ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีค่ามากกว่า 0.05 หรือสังเกตจากแผนภูมิพารेटอที่แสดงขนาดอิทธิพลของเทอมของปัจจัยที่เส้นประสีแดงไม่ลากผ่าน ซึ่งผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) ของเทอมของปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำไปรวมกับค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูปต่อไป

- การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูป

หลังจากได้พิจารณาอิทธิพลของเทอมของปัจจัยทั้งหมดที่เกี่ยวข้องแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตัวแบบลดรูป โดยเลือกพิจารณาเฉพาะเทอมของปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูปแสดงดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบลดรูป

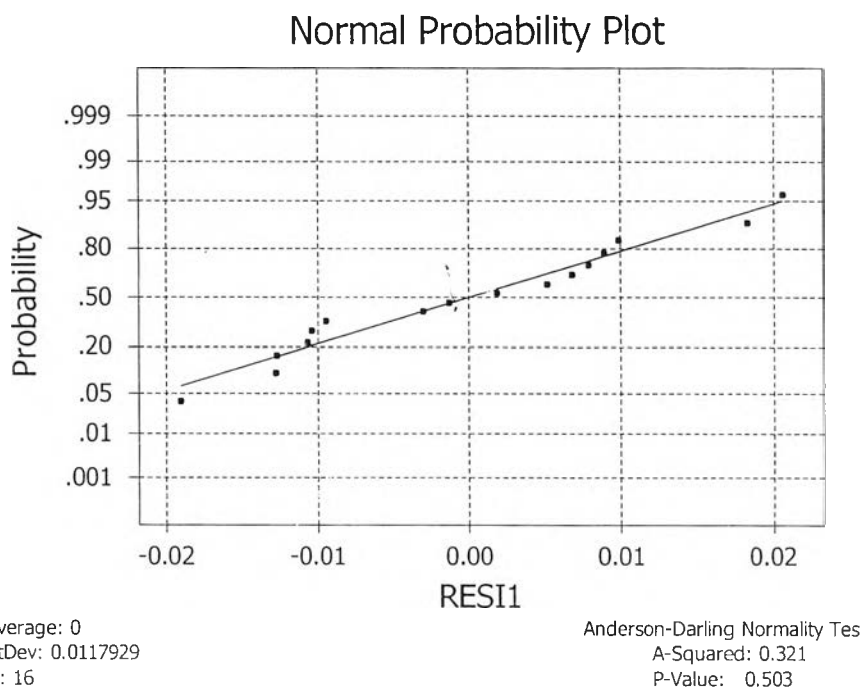
Fractional Factorial Fit: StDev-Lwpitch* versus Voltage, Diameter, ...						
Estimated Effects and Coefficients for StDev-Lw (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.82214	0.003443	238.80	0.000	
Voltage	0.02661	0.01330	0.003443	3.86	0.003	
Diameter	0.04204	0.02102	0.003443	6.11	0.000	
Y-Distan	-0.02281	-0.01140	0.003443	-3.31	0.007	
Diameter*Y-Distan	-0.02003	-0.01002	0.003443	-2.91	0.014	
Analysis of Variance for StDev-Lw (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.0119832	0.0119832	0.0039944	21.06	0.000
2-Way Interactions	1	0.0016048	0.0016048	0.0016048	8.46	0.014
Residual Error	11	0.0020861	0.0020861	0.0001896		
Lack of Fit	3	0.0003535	0.0003535	0.0001178	0.54	0.666
Pure Error	8	0.0017326	0.0017326	0.0002166		
Total	15	0.0156741				

จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูปพบว่า เทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสามปัจจัยคือ แรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม และระยะ Y ของจุดเชื่อม รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมกับระยะ Y ของจุดเชื่อมมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 นั่นคือทุกเทอมของปัจจัยในตัวแบบลดรูปนี้มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าเทอมของปัจจัยทั้ง 4 เทอมนี้เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง

7.8.3 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการคือ ข้อมูลเป็นตัวแทนสุ่มแบบปกติ, ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งวิธีในการพิจารณาจะใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ (ข้อมูลค่าเศษเหลือแสดงในภาคผนวก ข) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

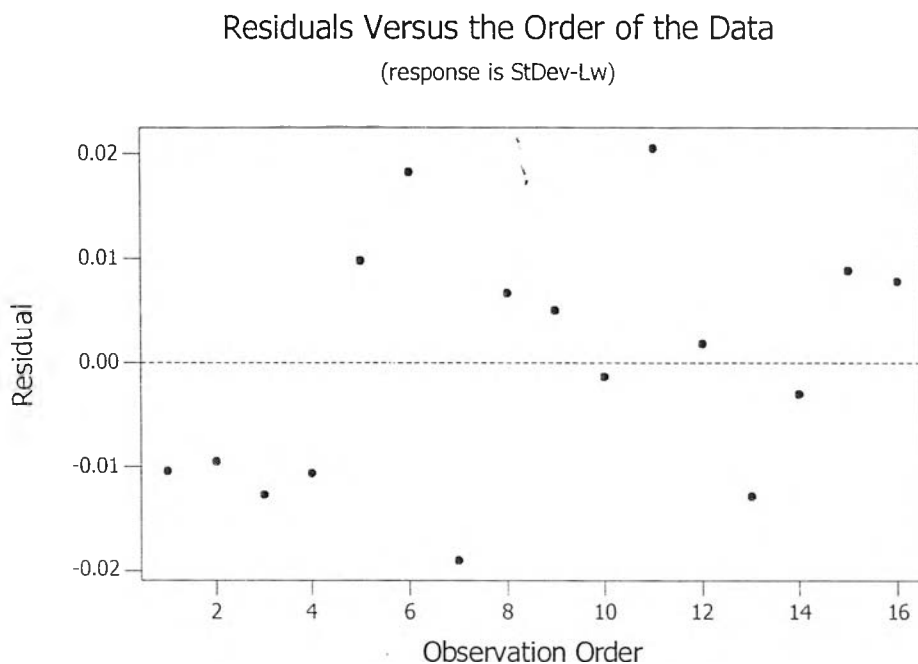
7.8.3.1 ความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบด้วยการทดสอบการกระจายของค่าเศษเหลือ ซึ่งกราฟการกระจายของค่าเศษเหลือแสดงดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.4 กราฟแสดงการกระจายของค่าเศษเหลือ

จากกราฟแสดงการกระจายของค่าเศษเหลือ สังเกตได้ว่าลักษณะของกราฟที่ได้เป็นลักษณะเส้นตรง หรือพิจารณาได้จากค่า P-value ที่มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือค่าเศษเหลือมีการกระจายเป็นแบบปกติ และสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

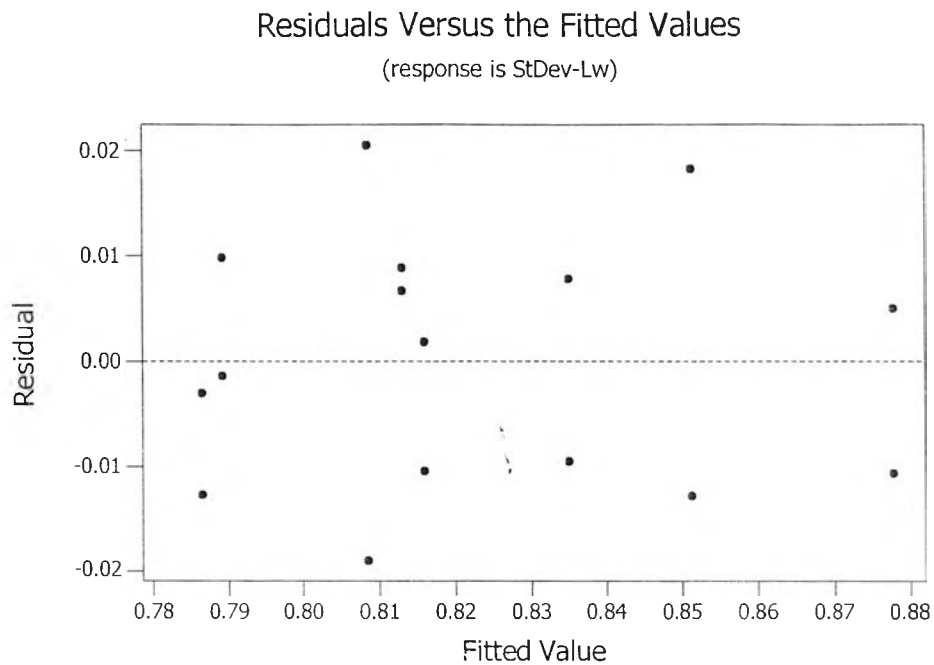
7.8.3.2 ความเป็นอิสระ (Independent) โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 7.6 ซึ่งแผนภาพไม่ควรที่จะมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 7.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตเห็นได้ว่าค่าเศษเหลือมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

7.8.3.3 ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 7.7 ซึ่งแผนภาพไม่ควรที่จะมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 7.6 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและค่า Fitted value

จากกราฟสังเกตเห็นว่าค่าเศษเหลือมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของข้อมูลที่น่ามาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อคือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ, มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

7.8.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เพื่อเป็นการวินิจฉัยและสร้างตัวแบบสำหรับความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ จะนำหลักการของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Regression analysis) มาช่วยในการวิเคราะห์ ดังนี้คือ

7.8.4.1 ตัวแบบถดถอย

จากข้อมูลที่ได้และผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน นำเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 เทอมคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมต่อ, แรงดันไฟฟ้า, ระยะ Y ของจุดเชื่อมต่อ และเทอมของอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมต่อและระยะ Y ของจุดเชื่อมต่อมาหาความสัมพันธ์เพื่อหาตัวแบบถดถอยของเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญดังกล่าว ผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรม MINITAB วิเคราะห์ตัวแบบถดถอยได้ผลดังนี้คือ

$$\begin{aligned}
 \text{StDev-Lwpitch}^* &= 0.822142 \\
 &+ 0.01330 \text{ A} \\
 &+ 0.02102 \text{ B} \\
 &- 0.01140 \text{ C} \\
 &- 0.01002 \text{ BC}
 \end{aligned}$$

โดยค่า StDev-Lwpitch* คือตัวแปรตอบสนองในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ามุมหลังเชื่อมที่แปลงรูปด้วยวิธี Box-Cox

7.8.4.2 การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะแยกพิจารณาเป็นความผันแปรของตัวแบบถดถอยที่ได้และความคลาดเคลื่อนโดยสาเหตุธรรมชาติ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบถดถอย

Summary of Fit					
R-Sq		0.866908			
R-Sq (adj)		0.818511			
RMS Error		0.013771			
Mean of Response		0.822142			
Observation		16			
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	0.01358792	0.003397	17.9124	0.0001
Residual Error	11	0.00208609	0.000190		
Total	15	0.01567401			

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบถดถอย พบว่าค่า P-value ของตัวแบบถดถอยมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าเทอมของตัวแปรอิสระภายในตัวแบบถดถอยมีความสามารถในการอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นในตัวแปรตอบสนองได้ และจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ หรือ R^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 82 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือความผันแปรจำนวน 82 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ ส่วนปริมาณความผันแปรที่เหลืออีก 18 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถที่จะอธิบายได้เนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนโดยสาเหตุธรรมชาติ นั่นคือตัวแบบถดถอยนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าต่างๆ ตามที่ต้องการ

7.8.4.3 การทดสอบความไม่สมรูปของตัวแบบกับข้อมูล

เพื่อเป็นการทดสอบว่าตัวแบบถดถอยดังกล่าวมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือไม่ จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบเทียบความกลมกลืนกันของตัวแบบถดถอยดังกล่าว ด้วยการพิจารณาจากค่าเศษเหลือของข้อมูลที่เกิดจากตัวแบบถดถอยว่ามีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ตัวแบบถดถอยมีความสมรูป (Fit) กับข้อมูล

H_a : ตัวแบบถดถอยไม่มีความสมรูปกับข้อมูล

ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความไม่สมรูปของตัวแบบกับข้อมูล

Lack of Fit					
Source	DF	SS	MS	F	P
Lack of Fit	3	0.00035354	0.000118	0.5442	0.6657
Pure Error	8	0.00173255	0.000217		
Total Error	11	0.00208609			

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าเศษเหลือจากความไม่สมรูปของตัวแบบกับข้อมูลมีค่าไม่มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่า P-value ที่มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลักและถือว่าตัวแบบมีความสมรูปกับข้อมูลด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

7.8.4.4 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยในหัวข้อ 7.8.4.1 นำมาพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อทำให้ชิ้นงานเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมชิ้นงานมีความแปรปรวนของค่ามุมตัวงานที่ลดลงจากเดิม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ได้ผลแสดงดังรูปที่ 7.8

จากรูปที่ 7.8 สังเกตได้ว่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเป็นดังนี้คือ

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม ระดับ -1 หรือที่ค่า 0.220 มิลลิเมตร
- แรงดันไฟฟ้า ระดับ -1 หรือที่ค่า 280 โวลต์
- ระยะ Y ของจุดเชื่อม ระดับ 1 หรือที่ค่า 2.035 มิลลิเมตร

Optimal D 0.21357	Hi Cur Lo	Voltage 320.0 [280.0] 280.0	Diameter 0.280 [0.220] 0.220	Y-Distan 2.0350 [2.0350] 1.9850
StDev-Lw Minimum $y = 0.7864$ $d = 0.21357$				

รูปที่ 7.7 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

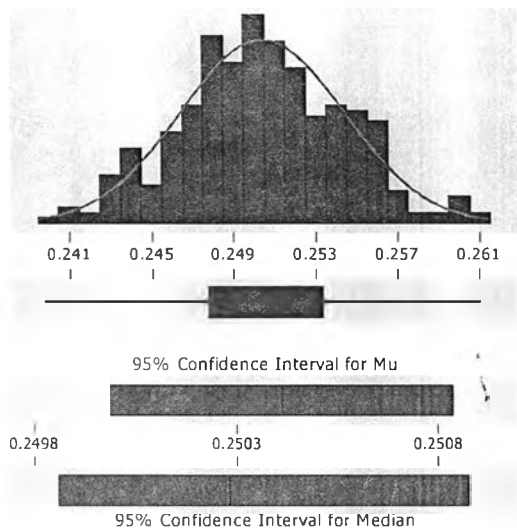
และที่ค่าระดับดังกล่าว จะทำให้ได้ค่าความผันแปรของค่ามุดังงาน หลังการเชื่อมในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.119259 หรือประมาณ 0.12 (โดยการแปลงรูปกลับในค่าของ $y^* = 0.7864$ ตามสมการ $y = y^*^{(1/2)}$)

นั่นคือจะต้องปรับค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ที่ระดับต่ำ ในขณะที่ต้องปรับค่าระยะ Y ของจุดเชื่อมให้อยู่ที่ระดับสูง ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 280 โวลต์นี้ สามารถที่จะตั้งค่าได้ที่เครื่องเชื่อมและไม่มีผลกับข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า จึงสามารถที่จะกำหนดให้ค่าของแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่า 280 โวลต์ได้ ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและระยะ Y ของจุดเชื่อม เป็นค่าขอบล่างสุดและบนสุดของข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าตามลำดับ ดังนั้นจะต้องพิจารณาค่าที่ใกล้เคียงในย่านต่ำและสูงของข้อกำหนดที่สามารถเป็นไปได้ โดยจะต้องพิจารณาเทียบจากความสามารถของกระบวนการเชื่อมในปัจจุบันของทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ดังมีรายละเอียดในแต่ละปัจจัยดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม

จากการเก็บข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม พบว่ากระบวนการเชื่อมในปัจจุบันมีความผันแปรของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0039 และ 0.0043 และมีช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0037 ถึง 0.0043 และ 0.0040 ถึง 0.0047 ของจุดเชื่อมที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7.9 และ 7.10

Descriptive Statistics



Variable: Diameter1

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.307
P-Value: 0.563

Mean 0.250412
StDev 0.003972
Variance 1.58E-05
Skewness 4.61E-02
Kurtosis -1.5E-01
N 341

Minimum 0.239751
1st Quartile 0.247770
Median 0.250280
3rd Quartile 0.253284
Maximum 0.260999

95% Confidence Interval for Mu

0.249989 0.250836

95% Confidence Interval for Sigma

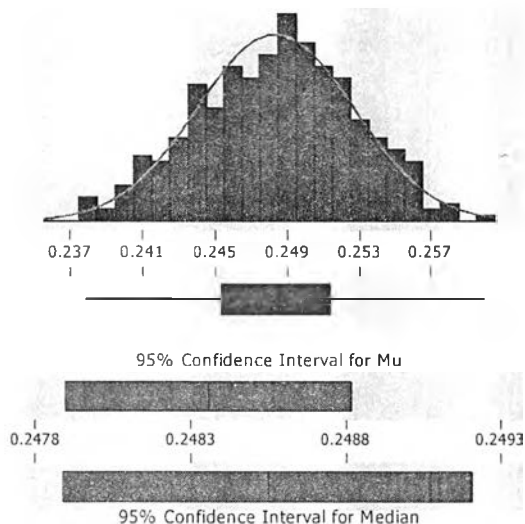
0.003695 0.004295

95% Confidence Interval for Median

0.249861 0.250873

รูปที่ 7.8 แผนภูมิการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมที่ 1

Descriptive Statistics



Variable: Diameter2

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.330
P-Value: 0.513

Mean 0.248358
StDev 0.004321
Variance 1.87E-05
Skewness -7.3E-02
Kurtosis -4.3E-01
N 341

Minimum 0.237792
1st Quartile 0.245351
Median 0.248548
3rd Quartile 0.251305
Maximum 0.259924

95% Confidence Interval for Mu

0.247897 0.248818

95% Confidence Interval for Sigma

0.004019 0.004672

95% Confidence Interval for Median

0.247890 0.249210

รูปที่ 7.9 แผนภูมิการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมที่ 2

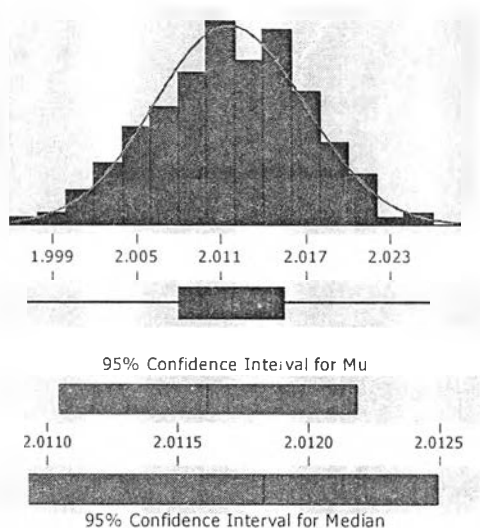
จากข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมดังกล่าว พบว่าช่วงการกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมเนื่องมาจากสาเหตุโดยธรรมชาติ จะมีค่าเท่ากับ 0.0141 (ช่วง $\pm 3\sigma$) ซึ่งพิจารณาจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าสูงสุดคือ 0.0047 เพื่อประกันว่าค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมที่กำหนดหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะมีโอกาสออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด และมีค่าใกล้กับค่า

ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นจะกำหนดค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมที่ 1 และ 2 ให้อยู่ที่ค่า 0.234 มิลลิเมตร

- ระยะ Y ของจุดเชื่อม

จากการเก็บข้อมูลของระยะ Y ของจุดเชื่อม พบว่ากระบวนการเชื่อมในปัจจุบัน มีความผันแปรของระยะ Y ของจุดเชื่อมในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0053 และ 0.0054 ของจุดเชื่อมจุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และมีช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0049 ถึง 0.0058 สำหรับจุดเชื่อมจุดที่ 1 และ 0.0051 ถึง 0.0059 สำหรับจุดเชื่อมจุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 7.11 และ 7.12

Descriptive Statistics



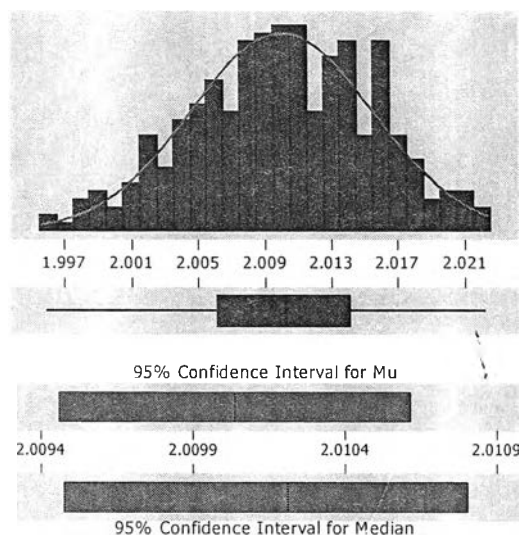
Variable: Y-Distance1

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared:	0.381
P-Value:	0.400
Mean	2.01161
StDev	0.00534
Variance	2.85E-05
Skewness	-1.4E-01
Kurtosis	-3.0E-01
N	341
Minimum	1.99719
1st Quartile	2.00800
Median	2.01183
3rd Quartile	2.01542
Maximum	2.02582
95% Confidence Interval for Mu	2.01105 2.01218
95% Confidence Interval for Sigma	0.00497 0.00578
95% Confidence Interval for Median	2.01093 2.01250

รูปที่ 7.10 แผนภูมิการกระจายของระยะ Y ของจุดเชื่อมที่ 1

Descriptive Statistics



Variable: Y-Distance2

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 0.439
P-Value: 0.291

Mean: 2.01004
StDev: 0.00544
Variance: 2.96E-05
Skewness: -1.6E-01
Kurtosis: -4.1E-01
N: 341

Minimum: 1.99589
1st Quartile: 2.00615
Median: 2.01021
3rd Quartile: 2.01406
Maximum: 2.02218

95% Confidence Interval for Mu

2.00946 2.01062

95% Confidence Interval for Sigma

0.00506 0.00589

95% Confidence Interval for Median

2.00948 2.01080

รูปที่ 7.11 แผนภูมิการกระจายของระยะ Y ของจุดเชื่อมต่อที่ 2

จากข้อมูลของระยะ Y ของจุดเชื่อมดังกล่าว พบว่าช่วงการกระจายของระยะ Y ของจุดเชื่อมเนื่องมาจากสาเหตุโดยธรรมชาติ จะมีค่าเท่ากับ 0.018 (ช่วง $\pm 3\sigma$) ซึ่งพิจารณาจากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าสูงสุดคือ 0.0059 เพื่อประกันว่าค่าระยะ Y ของจุดเชื่อมต่อที่กำหนดหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตจะมีโอกาสออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง จากข้อมูลดังกล่าว จึงกำหนดค่าระยะ Y ของจุดเชื่อมทั้งจุดเชื่อมต่อที่ 1 และ 2 ให้มีค่าเท่ากับ 2.017 มิลลิเมตร

7.9 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ผลจากการทดลองเพื่อการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม และระยะ Y ของจุดเชื่อม พบว่าปัจจัยทั้งสามมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุ่มตัวงานหลังเชื่อม รวมทั้งอิทธิพลร่วมระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมกับระยะ Y ของจุดเชื่อม โดยระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากผลการทดลองคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมอยู่ที่ค่า 0.220 มิลลิเมตร, แรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ค่า 280 โวลต์ และระยะ Y ของจุดเชื่อมอยู่ที่ค่า 2.035 มิลลิเมตร และผลจากการทดลองแสดงว่าค่าความผันแปรของค่ามุ่มตัวงานหลังเชื่อม ที่ระดับค่าของปัจจัยดังกล่าวนี้ จะมีค่าต่ำสุดประมาณ 0.12 ในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาควบคู่กับข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของปัจจัยเหล่านี้ร่วมด้วย ทำให้ค่าการใช้งานที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ที่กำหนดให้ใช้หลังปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม ที่ค่า 0.234 มิลลิเมตร
- แรงดันไฟฟ้า ที่ค่า 280 โวลต์
- ระยะ Y ของจุดเชื่อม ที่ค่า 2.017 มิลลิเมตร

ในขั้นตอนการต่อไปคือการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนการนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต