

บทที่ 5

การคำนวณและการวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบแผนการทดลอง ซึ่งวิธีการวิเคราะห์จะเริ่มจากการทดสอบข้อมูลที่ได้เป็นการแจกแจงปกติหรือไม่ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้หลักการของ ANOVA และการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

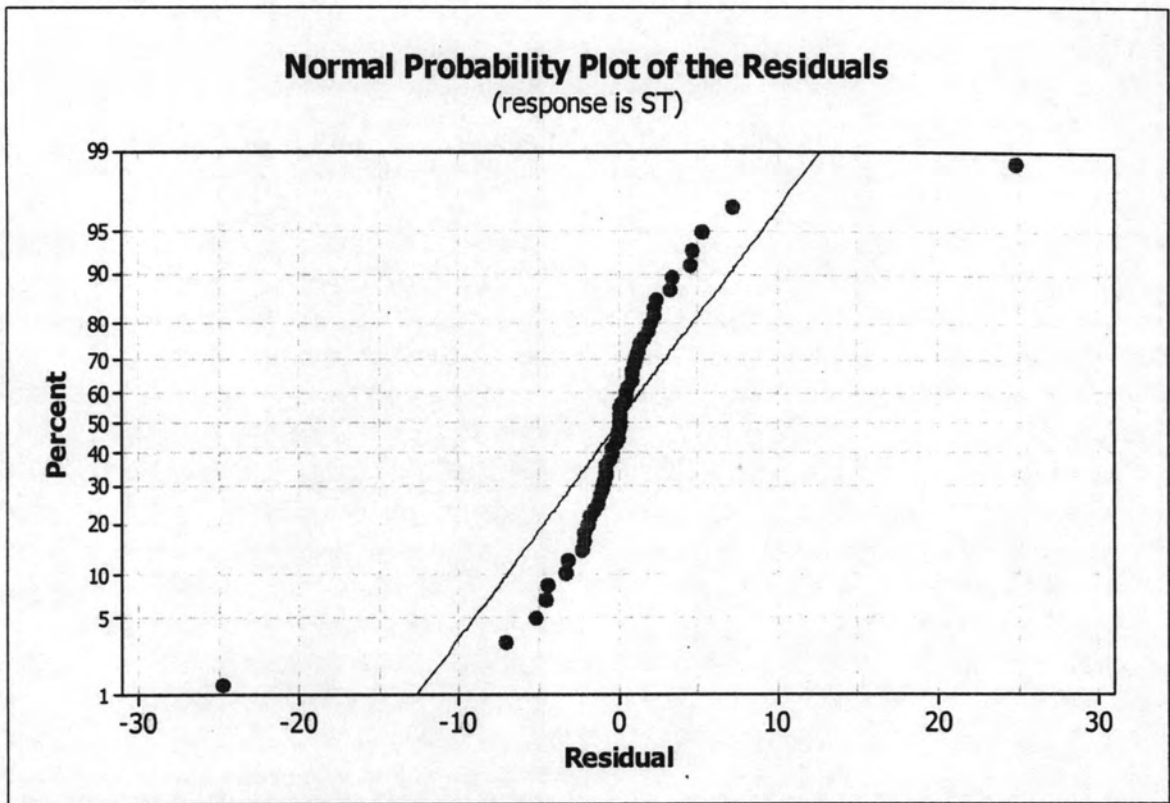
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามแผนการทดลองแล้ว จะนำผลที่ได้จากการทดลองมาตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ ว่าข้อมูลผลการทดลองมีความเหมาะสมหรือไม่ แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวนว่าปัจจัย หรือปัจจัยร่วมใดมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความต้านทานแรงคั้นน้ำของรอยเชื่อม นอกจากนี้จะนำผลการทดลองมาสร้างกราฟตัวแปรตอบสนอง เพื่อแสดงลักษณะความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความต้านทานแรงคั้นน้ำของรอยเชื่อม

5.1.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม

5.1.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

นำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสม และความถูกต้องโดยการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วย กราฟความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) ดังรูปที่ 5.1 พบว่า การกระจายของข้อมูลมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม

5.1.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

นำค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม

General Linear Model: TS, HH versus Speed, Amplitude, Pressure

Factor	Type	Levels	Values
Speed	fixed	3	25, 50, 75
Amplitude	fixed	3	50, 65, 80
Pressure	fixed	3	16, 25, 34

Analysis of Variance for TS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Speed	2	19344.2	19344.2	9672.1	715.75	0.000
Amplitude	2	904.8	904.8	452.4	33.48	0.000
Pressure	2	7729.7	7729.7	3864.9	286.01	0.000
Speed*Amplitude	4	169.2	169.2	42.3	3.13	0.031
Speed*Pressure	4	3235.2	3235.2	808.8	59.85	0.000
Amplitude*Pressure	4	194.6	194.6	48.7	3.60	0.018
Speed*Amplitude*Pressure	8	480.6	480.6	60.1	4.45	0.002
Error	27	364.9	364.9	13.5		
Total	53	32423.2				

S = 3.67603 R-Sq = 98.87% R-Sq(adj) = 97.79%

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้ดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

1.1) การทดสอบสมมติฐานของความเร็ว (Speed)

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } \tau_i \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ความเร็วของเครื่องเชื่อมอุตสาหกรรม มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

1.2) การทดสอบสมมติฐานของการควบคุมแอมพลิจูด (Amplitude)

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } \beta_j \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า การควบคุมแอมพลิจูดของ

กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิก มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

1.3) การทดสอบสมมติฐานของความดัน (Pressure)

$$H_0 : \gamma_k = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } \gamma_k \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ความดันของเครื่องเชื่อมอุลตราโซนิก มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม

2.1) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและการควบคุมแอม

ปลิดจูด

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและการควบคุมแอมปลิดจูดของกระแสไฟฟ้า มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2.2) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและความดัน

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและความดัน มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2.3) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างการควบคุมแอมปลิดจูดของกระแสไฟฟ้าและความดัน

$$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างการควบคุม

แอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้าและความดัน มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2.4) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็ว การควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดัน

$$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดัน มีอิทธิพลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้หลักการของ ANOVA สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้แก่ ความเร็ว, การควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้า, ความดัน, ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วกับการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้า, ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและความดัน, ปัจจัยร่วมระหว่างการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้ากับความดัน และปัจจัยร่วมระหว่างความเร็ว การควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้าและความดัน เนื่องจากพบว่า ค่า Sig.level มีค่าต่ำกว่า 0.05

จากตารางที่ 5.1 พบว่าค่า R-Sq(adj) = 97.79% หมายความว่า แผนการทดลองนี้มีค่าความน่าเชื่อถือถึง 97.79%

5.1.1.3 การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของความแข็งแรงของรอยเชื่อม

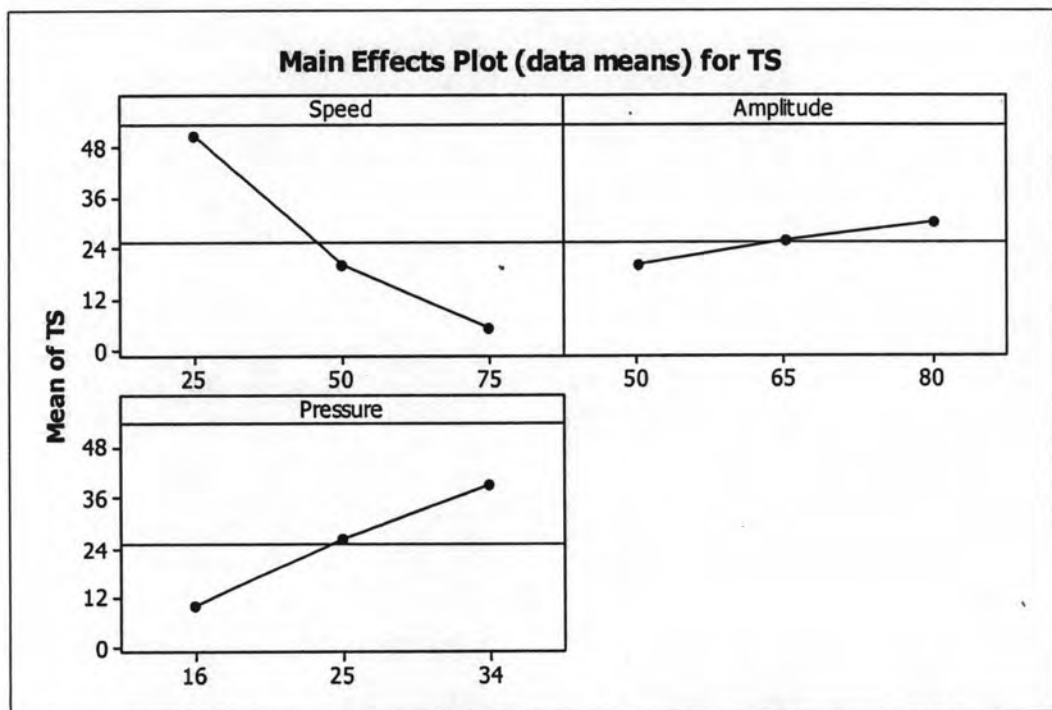
ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมได้ดังรูปที่ 5.2 และ 5.3

จากรูปที่ 5.2 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม พบว่า ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็ว การควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดัน มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม โดยที่

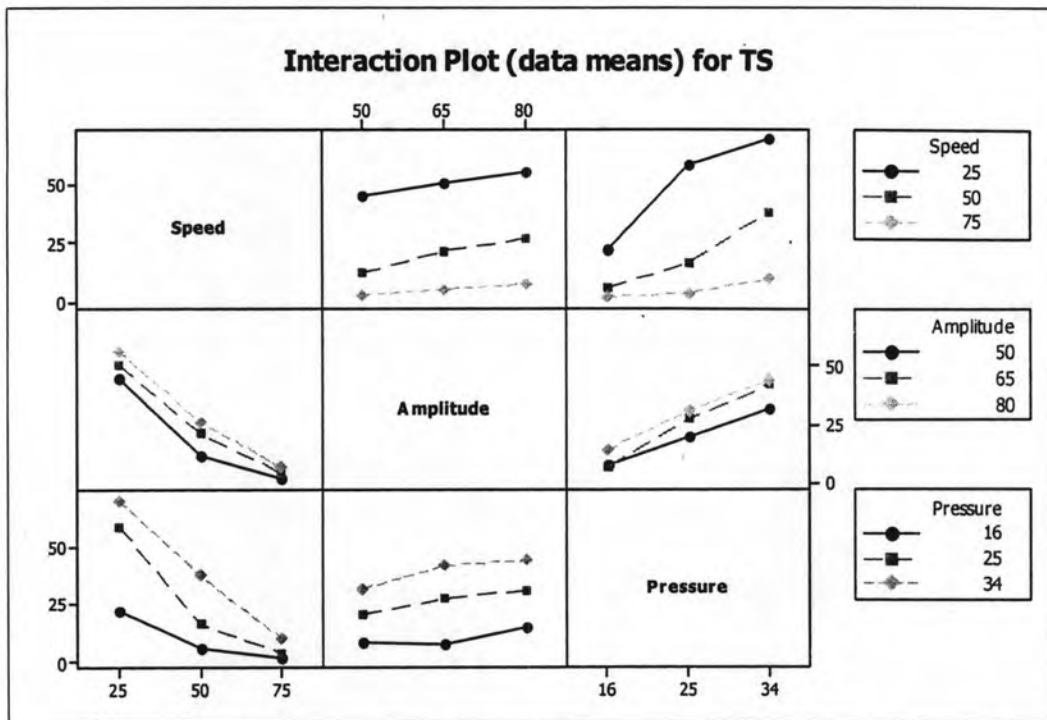
1) ค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมลดลง และจากกราฟจะเห็นว่า ที่ค่าความเร็ว 25% จะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงที่สุด รองลงมาคือความเร็วที่ 50% และ 75% ตามลำดับ

2) ระดับการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงขึ้น และจากกราฟจะเห็นว่า ที่ระดับการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า 80% จะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงที่สุด รองลงมาคือ ระดับการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าที่ 65% และ 50% ตามลำดับ

3) ค่าความดันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงขึ้น และจากกราฟจะเห็นว่า ที่ค่าความดัน 34 PSI จะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงที่สุด รองลงมาคือค่าความดันที่ 25 PSI และ 16 PSI ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อม



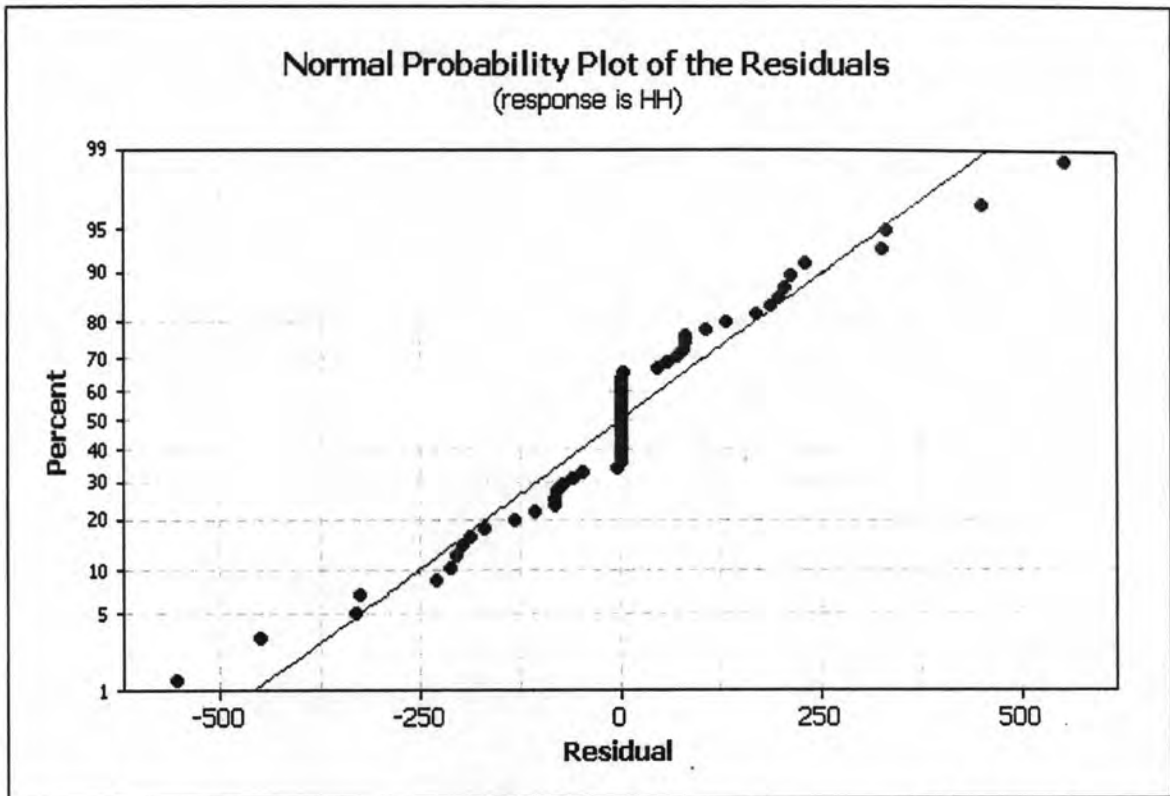
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมระหว่างแต่ละปัจจัย

จากรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่าปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทุกปัจจัยมีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของรอยเชื่อม

5.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบความต้านทานแรงคั้นน้ำ

5.1.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

นำผลการทดลองมาตรวจสอบความเหมาะสม และความถูกต้องโดยการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติของการทดสอบความต้านทานแรงคั้นน้ำของรอยเชื่อม กราฟความน่าจะเป็นปกติ (Normal Probability Plot) ดังรูปที่ 5.4 พบว่า การกระจายของข้อมูลมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลการทดสอบความต้านทานแรงคั้นน้ำของรอยเชื่อม

5.1.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

นำค่าความต้านทานแรงคั้นน้ำของรอยเชื่อมที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ผลดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบความต้านทานแรงคั้นน้ำของรอยเชื่อม

Analysis of Variance for HH, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Speed	2	6488916	6488916	3244458	42.71	0.000
Amplitude	2	1364828	1364828	682414	8.98	0.001
Pressure	2	2600719	2600719	1300359	17.12	0.000
Speed*Amplitude	4	1460773	1460773	365193	4.81	0.005
Speed*Pressure	4	7780168	7780168	1945042	25.61	0.000
Amplitude*Pressure	4	1761579	1761579	440395	5.80	0.002
Speed*Amplitude*Pressure	8	2124025	2124025	265503	3.50	0.007
Error	27	2050848	2050848	75957		
Total	53	25631853				

S = 275.604 R-Sq = 92.00% R-Sq(adj) = 84.29%



จากตารางที่ 5.2 สามารถสรุปผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้ดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

1.1) การทดสอบสมมติฐานของความเร็ว (Speed)

$$H_0 : \tau_i = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } \tau_i \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ความเร็วของเครื่องเชื่อมอุลตราโซนิค มีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

1.2) การทดสอบสมมติฐานของการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } \beta_j \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า การควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิค มีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

1.3) การทดสอบสมมติฐานของความดัน (Pressure)

$$H_0 : \gamma_k = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } \gamma_k \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ความดันของเครื่องเชื่อมอุลตราโซนิค มีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม

2.1) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า

$$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\tau\beta)_{ij} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็ว

และการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า มีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันนำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2.2) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและความดัน

$$H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและความดัน มีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันนำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2.3) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าและความดัน

$$H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าและความดัน มีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันนำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

2.4) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างความเร็ว การควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดัน

$$H_0 : (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

$$H_1 : \text{อย่างน้อยหนึ่งตัวที่ } (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$$

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดันมีอิทธิพลกับความต้านทานแรงดันนำของรอยเชื่อม ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

จากการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้หลักการ ANOVA สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดันนำของรอยเชื่อมที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้แก่ ความเร็ว, การควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า, ความดัน, ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและการควบคุมแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า, ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วและความดัน, ปัจจัยร่วมระหว่างการควบคุมแอม

ปฏิกูลและความดัน และปัจจัยร่วมระหว่างความเร็ว การควบคุมแอมปิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดัน เนื่องจากพบว่า ค่า Sig.level มีค่าต่ำกว่า 0.05

จากตารางที่ 5.2 พบว่าค่า $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 84.29\%$ หมายความว่า แผนการทดลองนี้มีค่าความน่าเชื่อถือ 84.29%

5.1.2.3 การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม

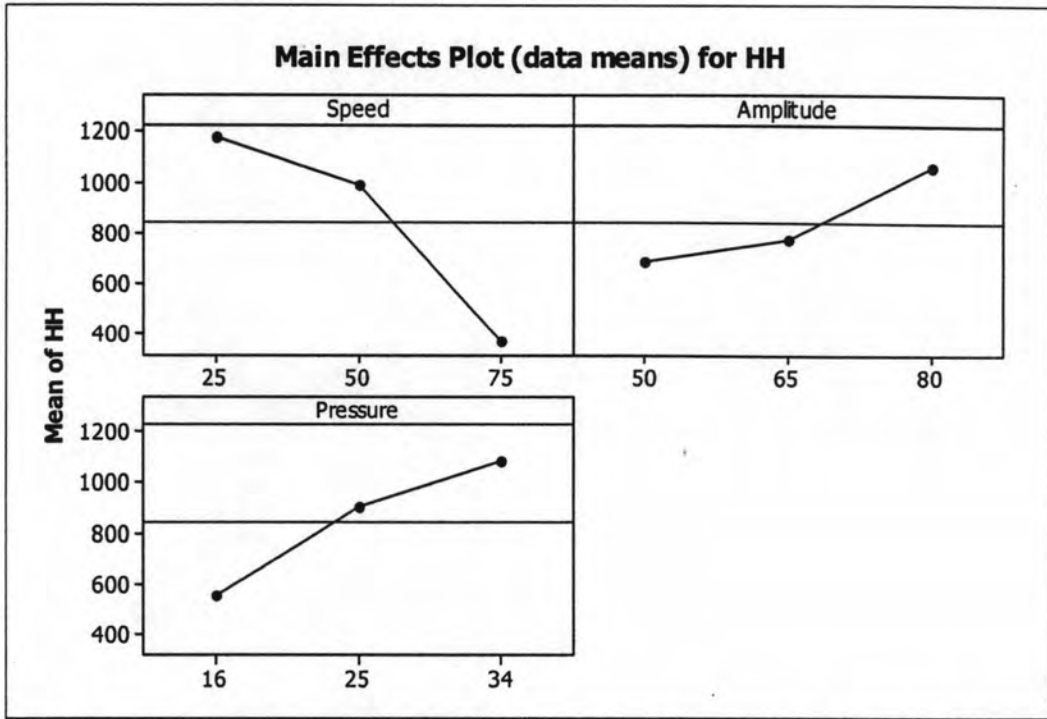
ทำการเขียนกราฟของตัวแปรตอบสนองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม ได้ดังรูปที่ 5.5 และ 5.6

จากรูปที่ 5.5 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม พบว่า ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็ว การควบคุมแอมปิจูดของกระแสไฟฟ้า และความดัน มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม โดยที่

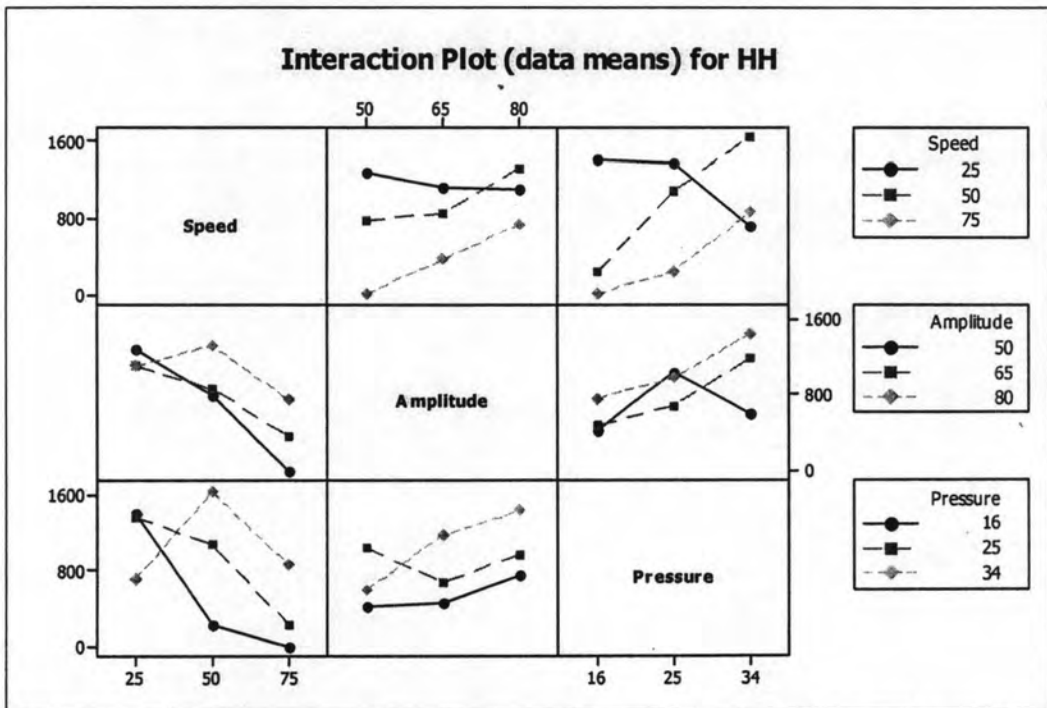
1) ค่าความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมลดลง และจากกราฟจะเห็นว่า ที่ค่าความเร็ว 25% จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมสูงที่สุด รองลงมาคือ ความเร็วที่ 50% และ 75% ตามลำดับ

2) ระดับการควบคุมแอมปิจูดของกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมสูงขึ้น และจากกราฟจะเห็นว่า ที่ระดับการควบคุมแอมปิจูดของกระแสไฟฟ้า 80% จะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงที่สุด รองลงมาคือ ที่ระดับการควบคุมแอมปิจูดของกระแสไฟฟ้าที่ 65% และ 50% ตามลำดับ

3) ค่าความดันที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมสูงขึ้น และจากกราฟจะเห็นว่า ที่ค่าความดัน 34 PSI จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมสูงที่สุด รองลงมาคือค่าความดันที่ 25 PSI และ 16 PSI ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 กราฟตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงตัวแปรตอบสนองของผลการทดสอบความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมระหว่างแต่ละปัจจัย

จากรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยทุกปัจจัยมีผลต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม

5.2 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตของเครื่องเชื่อม คือ ความแข็งแรงของรอยเชื่อม และความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม ซึ่งทั้งสองคุณสมบัติต้องผ่านมาตรฐาน CEN Standard และ AMMI Standard จากการทดลองพบว่า ในแต่ละระดับของแต่ละปัจจัยมีบางเงื่อนไขที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองทั้งสองค่าไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่กำหนด ดังนั้น จึงต้องทำการเลือกเงื่อนไขการผลิตที่สามารถทำให้ตัวแปรตอบสนองทั้งสองค่าผ่านมาตรฐาน

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมอีกประการหนึ่งก็คือ วัตถุประสงค์ของการทำการทดลองครั้งนี้ คือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร ดังนั้น จึงถือว่าปัจจัยความเร็วในการทำงานของเครื่องเชื่อมมีผลต่อการพิจารณามากที่สุด ต้องเลือกระดับของปัจจัยที่เร็วที่สุด

จากผลการทดลองพบว่า ที่ค่าระดับสูงที่สุดของความเร็ว คือ 75% ทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมไม่ผ่านมาตรฐานที่ 20 นิวตัน และค่าความต้านทานแรงดันน้ำเกือบทั้งหมดเป็นศูนย์ ดังนั้น จะทำการพิจารณาเฉพาะที่ค่าความเร็ว 25% และ 50%

ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในลำดับต่อมาคือ การควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกเพื่อใช้ในการเชื่อม เนื่องจากการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต ถ้าระดับการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้านั้นหมายความว่า กระแสไฟฟ้าที่เราต้องใช้เพื่อแปลงเป็นพลังงานอุลตราโซนิกก็ต้องสูงตามไปด้วย ดังนั้นเราควรจกระดับการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้าที่มีค่าต่ำสุดที่ทำให้ค่าความแข็งแรง และค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมผ่านมาตรฐาน นั่นคือ ที่ระดับแอมป์ลิจูด 50%

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับสุดท้ายคือ ระดับของปัจจัยความดันในการจับยึดชิ้นงาน ซึ่งความดันจะมีผลกับการจับชิ้นงานของเครื่องจักร ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการปรับค่าของความดัน คือ ถ้ายังให้ความดันสูงแรงในการจับยึดชิ้นงานก็จะสูง ทำให้ในขณะที่หัวเชื่อมเคลื่อนที่ลงมาจับยึดชิ้นงานเกิดแรงกระแทกมาก อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่หัวเชื่อม หรือทำให้อายุการใช้งานของหัวเชื่อมสั้นลงกว่าที่ควรจะเป็น แต่เราไม่สามารถเลือกใช้ค่าต่ำที่สุดของความดันที่ 16 PSI และค่ากลางที่ 25 PSI

ได้เนื่องจากมีผลทำให้ความแข็งแรงของรอยเชื่อมไม่ผ่านมาตรฐาน ดังนั้นระดับของความดันที่เหมาะสมในการทำงานคือ 34 PSI

สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการทำงานเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงานคือ

1. ปัจจัยความเร็ว คือ ที่ระดับความเร็ว 50% ของเครื่องจักร
2. ปัจจัยการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้า คือ ที่ระดับ 50% ของแอมป์ลิจูด
3. ปัจจัยความดัน คือ ที่ระดับความดัน 34 PSI

ซึ่งจะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนอง ดังนี้

1. ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมเท่ากับ 21.58 นิวตัน
2. ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมเท่ากับ 145.25 cm.H₂O

5.3 การประยุกต์ใช้

จากการทดลองเมื่อทราบถึงสภาวะระดับของปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว นำสภาวะของปัจจัยนั้นมาผลิตจริง สภาวะระดับของปัจจัยที่ใช้ผลิตในปัจจุบันเปรียบเทียบกับสภาวะระดับของปัจจัยที่ได้จากการทดลอง แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบสภาวะที่ใช้ในการผลิตปัจจุบันและสภาวะที่เหมาะสม

ปัจจัย	หน่วย	ระดับของปัจจัย	
		สภาวะปัจจุบัน	สภาวะที่เหมาะสม
ความเร็ว	%	25	50
การควบคุมแอมป์ลิจูด	%	65	50
ความดัน	PSI	24	34

จะเห็นได้ว่า ณ สภาวะที่เหมาะสม หรือเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมด้วยเครื่องอุตสาหกรรม โชนิคที่ได้จากการทดลอง พบว่า ความเร็วที่ใช้ในการผลิตของเครื่องเชื่อมเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อมเพิ่มมากขึ้น สามารถผลิตชิ้นงานได้จำนวนชิ้นต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น ระดับการควบคุมแอมป์ลิจูดของกระแสไฟฟ้าที่ลดลงทำให้พลังงานที่ใช้กับเครื่องเชื่อมลดลง ส่วนค่าของความดันมีค่าเพิ่มขึ้น

5.3.1 เปรียบเทียบค่าตัวแปรตอบสนอง

5.3.1.1 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงและความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมระหว่างสภาวะปัจจุบันและผลจากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าตัวแปรตอบสนองระหว่างสภาวะปัจจุบัน และจากผลการทดลอง

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	สภาวะปัจจุบัน	ผลที่ได้จากการทดลอง
ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม	นิวตัน	49.53	21.58
ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม	cm.H ₂ O	148.9	140.9

จากตารางที่ 5.4 พบว่า ในขณะที่ค่ามาตรฐานความแข็งแรงของรอยเชื่อมต้องการเพียง 20 นิวตัน แต่ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม ณ สภาวะปัจจุบันมีค่าสูงถึง 49.53 นิวตัน ซึ่งเกินกว่าความต้องการมาก ส่วนค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 21.58 นิวตัน ซึ่งใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

ในส่วน of ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม ค่ามาตรฐานที่ต้องการก็คือ 100 cm.H₂O ในขณะที่สภาวะปัจจุบันเท่ากับ 148.9 และ ผลจากการทดลองเท่ากับ 140.9 cm.H₂O ซึ่งทั้งสองค่าถือว่าไม่ต่างกันมาก และไม่สูงเกินกว่ามาตรฐานจนเกินไป

5.3.1.2 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงและความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อมระหว่างผลจากการทดลองและการนำไปใช้ในการผลิตจริง ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบค่าตัวแปรตอบสนองระหว่างผลจากการทดลองและการนำไปใช้จริง

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	ผลที่ได้จากการทดลอง	ผลจากการนำไปใช้จริง
ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อม	นิวตัน	21.58	24.20
ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของรอยเชื่อม	cm.H ₂ O	140.9	145.25

จากตารางที่ 5.5 ค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปใช้จริง พบว่า ผลจากการนำไปใช้จริงมีค่าสูงกว่าผลที่ได้จากการทดลองเล็กน้อย คือ ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 15% ซึ่งเนื่องมาจาก การนำไปใช้จริงนั้น เครื่องจักรทำงานต่อเนื่อง ดังนั้น ในส่วนของการตั้งค่า ในส่วนของความต่อเนื่องต่าง ๆ มีผลทำให้คุณภาพของงานดีกว่าการทดลอง

ในส่วนของคุณค่าความต้านทานแรงดันน้ำก็เช่นกัน ผลจากการนำไปใช้มีค่ามากกว่าผลจากการทดลองเล็กน้อย คือ ค่าความต้านทานแรงดันน้ำของการนำไปใช้จริงมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3% ซึ่งค่าความต้านทานแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผลิตที่ต่อเนื่องของการผลิตจริงทำให้คุณภาพของงานดีกว่าการทดลอง

5.3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม ดังนั้น ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองต้องทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมเพิ่มขึ้น จากการทดลองสามารถเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อม

กำลังการผลิตของเครื่องจักร 1 เครื่อง ต่อ 8 ชั่วโมง(ชิ้น)	กำลังการผลิต
สภาวะปัจจุบัน	1,512
ผลจากการทดลอง	2,040
ผลจากการนำไปประยุกต์ใช้ผลิตจริง	2,026

จากตารางที่ 5.6 เมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิต ณ สภาวะปัจจุบันกับผลจากการทดลองพบว่า กำลังการผลิตต่อ 8 ชั่วโมงของผลจากการทดลองเพิ่มขึ้นจากสภาวะปัจจุบัน 35%

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการผลิตต่อ 8 ชั่วโมง พบว่า กำลังการผลิตที่ได้จากการผลิตจริงเพิ่มขึ้นจากสภาวะปัจจุบันก่อนการทดลอง 34% ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบการผลิตจริงกับผลจากการทดลอง พบว่า กำลังการผลิตจากการผลิตจริงต่ำกว่าผลจากการทดลองเล็กน้อย เนื่องจากเกิดการสูญเสียของเวลาจากการเริ่มทำงานในตอนเช้า 15 นาที และในตอนเลิกงานอีกประมาณ 15 นาที

5.3.3 การจัดสมดุลสายการผลิต

จากบทนำที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ปัญหาหนึ่งที่ทำให้ผู้ทดลองต้องทำการหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องเชื่อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตคือ ความไม่สมดุลของสายการผลิต ดังที่กล่าวไว้ในบทนำแล้วว่า ขั้นตอนการทำเสื้อคลุมแพทย์ผ่าตัดประกอบไปด้วย การตัด การเชื่อม และการเย็บ ซึ่งเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอนนี้แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 สมดุลการผลิตเสื้อคลุมแพทย์ผ่าตัด ณ สภาวะปัจจุบัน

	หน่วย	การตัด	การเชื่อมแขนเสื้อ	การเย็บประกอบ
เวลาทำงานต่อ 1 เสื้อคลุมแพทย์ผ่าตัด	นาที	0.22	0.53	0.45
จำนวนเครื่องจักร	เครื่อง	2	4	4
กำลังการผลิตต่อขั้นตอนการผลิตต่อ 8 ชั่วโมง	ชิ้น	4,364	3,632	4,267

จากตารางที่ 5.7 พบว่าเกิดการรอนานระหว่างขั้นตอนการเชื่อมแขนกับการเย็บประกอบ ซึ่งปัจจุบันทางโรงงานที่ทำการศึกษาแก้ปัญหาโดยการให้ส่วนของการเชื่อมแขนทำงานล่วงหน้า 1 เครื่องประมาณวันละ 5 ชั่วโมง เพื่อสร้าง WIP ไว้สำหรับขั้นตอนการเย็บประกอบในแต่ละวัน

หลังทำการทดลองแล้วนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้จริงพบว่า ทำให้สมดุลในการผลิตดีขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 สมดุลการผลิตเสื้อคลุมแพทย์ผ่าตัดจากผลการทดลอง

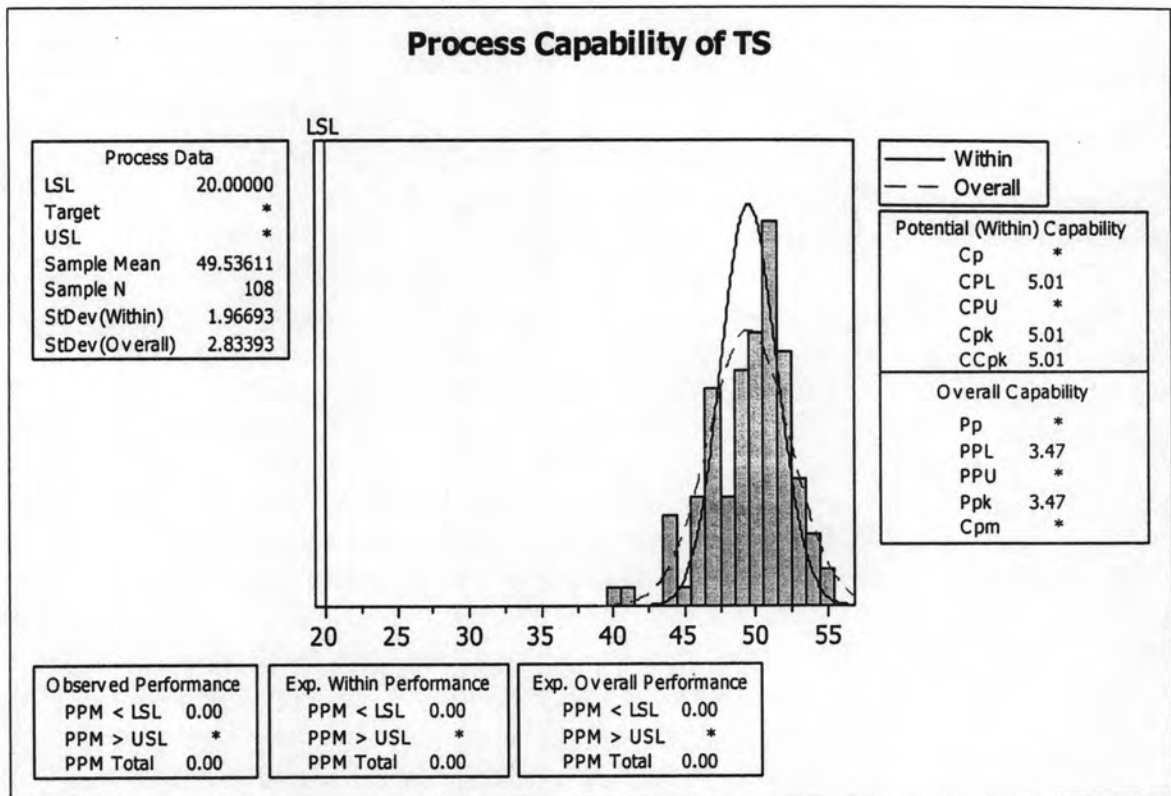
	หน่วย	การตัด	การเชื่อมแขนเสื้อ	การเย็บประกอบ
เวลาทำงานต่อ 1 เสื้อคลุมแพทย์ผ่าตัด	นาที	0.22	0.46	0.45
จำนวนเครื่องจักร	เครื่อง	2	4	4
กำลังการผลิตต่อขั้นตอนการผลิตต่อ 8 ชั่วโมง	ชิ้น	4,364	4,160	4,267

จากตารางที่ 5.8 สมดุลการผลิตเสื้อคลุมแพทย์ผ่าตัดจากผลการทดลอง พบว่า การรอนานของขั้นตอนการเย็บประกอบลดลง

5.3.4 ความสามารถของกระบวนการ

จากการนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ และทำการเก็บผลการทดลองเป็นจำนวน 3 Lot การผลิต และทำการหาค่า Cpk เพื่อวัดความสามารถของกระบวนการผลิต และเปอร์เซ็นต์ของเสียที่จะเกิดขึ้น พบว่า

5.3.4.1 ความแข็งแรงของรอยเชื่อม

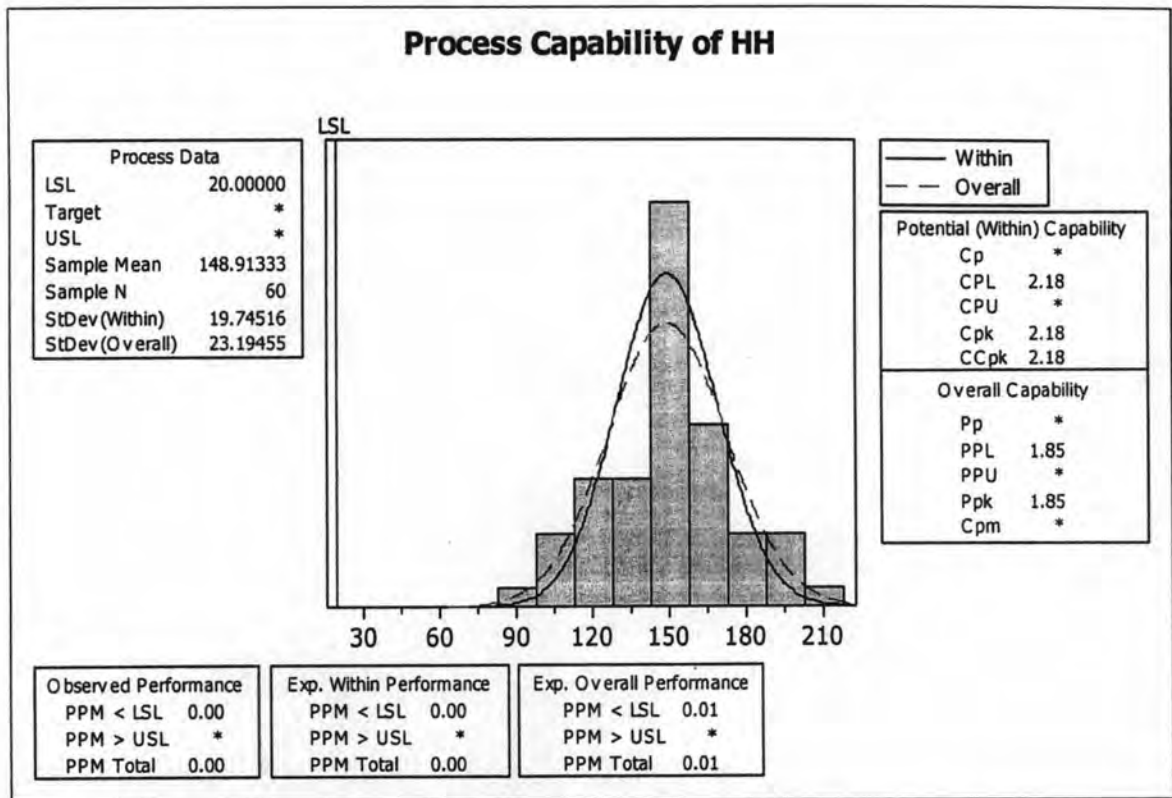


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการจากการวัดความแข็งแรงของรอยเชื่อม

จากผลการคำนวณความสามารถของกระบวนการ (Cpk) จากการวัดความแข็งแรงของรอยเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 5.7 พบว่า ค่า Cpk เท่ากับ 5.01 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการอยู่ที่เกณฑ์ที่ดี เนื่องจากโดยทั่วไปความสามารถของกระบวนการจะอยู่ที่ประมาณ 1.33

ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ของของเสียสามารถดูได้จากค่า PPM ซึ่งจากกราฟความสามารถของกระบวนการในรูปที่ 5.7 พบว่า PPM มีค่าเป็นศูนย์ นั้นหมายความว่าเปอร์เซ็นต์ที่จะเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตนี้มีค่าเป็นศูนย์

5.3.4.2 ความต้านทานความแรงค้ำน้ำของรอยเชื่อม



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการจากการวัดความต้านทานแรงค้ำน้ำของรอยเชื่อม

จากผลการคำนวณความสามารถของกระบวนการ (Cpk) จากการวัดความต้านทานแรงค้ำน้ำของรอยเชื่อมดังแสดงในรูปที่ 5.8 พบว่า ค่า Cpk เท่ากับ 2.18 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการอยู่ที่เกณฑ์ที่ดี เนื่องจากโดยทั่วไปความสามารถของกระบวนการจะอยู่ที่ประมาณ 1.33

ในส่วนของเปอร์เซ็นต์ของของเสียสามารถดูได้จากค่า PPM ซึ่งจากกราฟความสามารถของกระบวนการในรูปที่ 5.7 พบว่า PPM มีค่าเป็นศูนย์ นั้นหมายความว่าเปอร์เซ็นต์ที่จะเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตนี้มีค่าเป็นศูนย์

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมด้วยเครื่องอุลตราโซนิกที่ได้จากการทดลองทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อมอุลตราโซนิกเพิ่มขึ้น ในขณะที่คุณภาพของสินค้ายังคงผ่านมาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของสินค้าคือ ค่าความต้านทานแรงค้ำน้ำของรอยเชื่อมเท่ากับ 20 นิวตัน และ ค่าความต้านทานแรงค้ำน้ำของรอยเชื่อมเท่ากับ 100 cm.H₂O)