บทที่ 9
การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

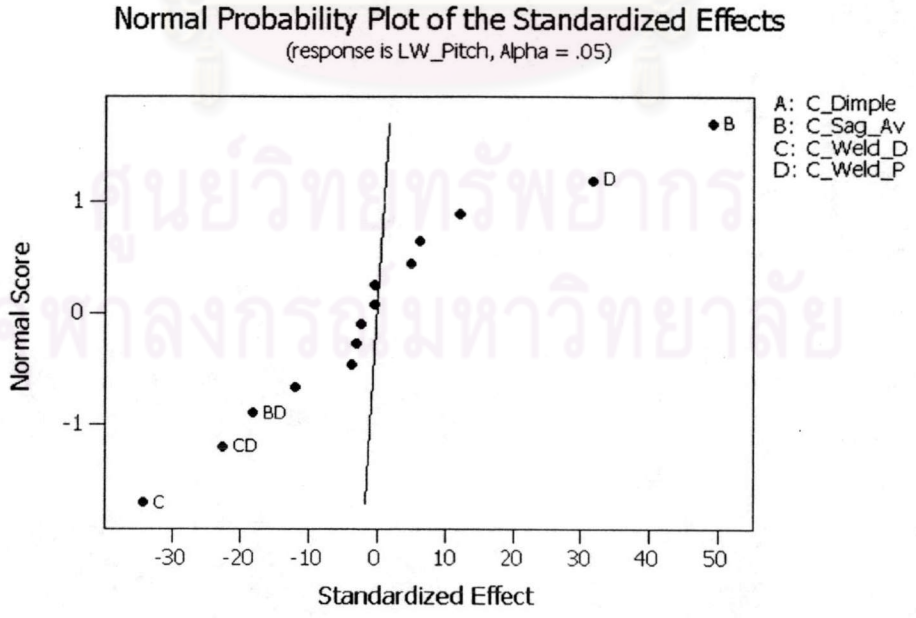
9.1 บทนำ

หลังจากได้ผลการทดลองตามแบบการทดลองในบทที่ 7 แล้ว นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักสถิติ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังกระบวนการเชื่อมเพื่อที่ทำให้ได้ค่า Pitch หลังเชื่อมตามที่เรากำหนด

9.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

9.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ในขั้นตอนแรกเป็นการวิเคราะห์ขั้นต้นดูว่ามีปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม โดยใช้วิธีตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) และหลักในการพิจารณาว่าปัจจัยหรือเทอมของปัจจัยร่วมใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch ให้พิจารณาจากเส้นกราฟ ดูว่ามีจุดใดบ้างที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงมากอย่างชัดเจน จุดของปัจจัยที่เบี่ยงเบนออกมาอย่างชัดเจนถือว่าปัจจัยนั้น ๆ มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม และจุดที่อยู่ในแนวเส้นตรงถือว่าไม่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม และจะนำผลการทดลองของกลุ่มเหล่านี้ไปร่วมเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง โดยกราฟตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) แสดงดังรูป 9.1



รูปที่ 9.1 แสดงกราฟตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot of the Effects)

และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Fractional Factorial Fit: LW_Pitch versus C_Dimple_Hei, C_Sag_Avg, ...

Estimated Effects and Coefficients for LW_Pitch (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-2.284	0.01241	-183.99	0.003
C_Dimple	-0.298	-0.149	0.01241	-12.02	0.053
C_Sag_Av	1.225	0.613	0.01241	49.35	0.013
C_Weld_D	-0.852	-0.426	0.01241	-34.30	0.019
C_Weld_P	0.788	0.394	0.01241	31.75	0.020
C_Dimple*C_Sag_Av	-0.088	-0.044	0.01241	-3.53	0.176
C_Dimple*C_Weld_D	0.159	0.079	0.01241	6.39	0.099
C_Dimple*C_Weld_P	0.121	0.061	0.01241	4.89	0.128
C_Sag_Av*C_Weld_D	0.296	0.148	0.01241	11.93	0.053
C_Sag_Av*C_Weld_P	-0.449	-0.225	0.01241	-18.10	0.035
C_Weld_D*C_Weld_P	-0.560	-0.280	0.01241	-22.55	0.028
C_Dimple*C_Sag_Av*C_Weld_D	-0.009	-0.005	0.01241	-0.37	0.775
C_Dimple*C_Sag_Av*C_Weld_P	-0.009	-0.005	0.01241	-0.37	0.774
C_Dimple*C_Weld_D*C_Weld_P	-0.073	-0.036	0.01241	-2.93	0.209
C_Sag_Av*C_Weld_D*C_Weld_P	-0.057	-0.029	0.01241	-2.31	0.261
Ct Pt		0.172	0.05118	3.35	0.185

Analysis of Variance for LW_Pitch (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	11.7454	11.7454	2.93634	1E+03	0.022
2-Way Interactions	6	2.6025	2.6025	0.43376	175.96	0.058
3-Way Interactions	4	0.0350	0.0350	0.00875	3.55	0.376
Curvature	1	0.0277	0.0277	0.02768	11.23	0.185
Residual Error	1	0.0025	0.0025	0.00247		
Total	16	14.4131				

พิจารณาจากกราฟการแจกแจงแบบปกติและผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อมเป็นดังนี้

1. ค่าเฉลี่ย Sag (Sag Avg.)
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม (Welding Diameter)
3. ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y (Welding Position Y)
4. ปัจจัยร่วมระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมกับตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y
5. ปัจจัยร่วมระหว่างค่าเฉลี่ย Sag กับตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y
6. ความสูง Dimple (Dimple Height)
7. ปัจจัยร่วมระหว่างค่าเฉลี่ย Sag กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม

โดยปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมในลำดับที่ 6 และ 7 ถ้าพิจารณาจากกราฟแจกแจงแบบปกติน่าจะไม่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม แต่ถ้าพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าค่า P-Value ของทั้ง 2 เทอมนี้อยู่ที่ 0.053 ซึ่งมีค่าใกล้ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นมาก พิจารณาแล้วยังไม่ควรที่จะตัดทิ้งในตอนนี้

ขั้นตอนต่อไปนี้เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเฉพาะปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อมเท่านั้นโดยปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์คือปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วม 7 ปัจจัยข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว และผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูป

Fractional Factorial Fit: LW_Pitch versus C_Dimple_Hei, C_Sag_Avg, ...

Estimated Effects and Coefficients for LW_Pitch (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-2.284	0.04220	-54.12	0.000
C_Dimple	-0.298	-0.149	0.04220	-3.53	0.008
C_Sag_Av	1.225	0.613	0.04220	14.52	0.000
C_Weld_D	-0.852	-0.426	0.04220	-10.09	0.000
C_Weld_P	0.788	0.394	0.04220	9.34	0.000
C_Sag_Av*C_Weld_D	0.296	0.148	0.04220	3.51	0.008
C_Sag_Av*C_Weld_P	-0.449	-0.225	0.04220	-5.32	0.001
C_Weld_D*C_Weld_P	-0.560	-0.280	0.04220	-6.63	0.000
Ct Pt		0.172	0.17400	0.99	0.353

Analysis of Variance for LW_Pitch (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	11.7454	11.7454	2.93634	103.05	0.000
2-Way Interactions	3	2.4121	2.4121	0.80402	28.22	0.000
Curvature	1	0.0277	0.0277	0.02768	0.97	0.353
Residual Error	8	0.2280	0.2280	0.02849		
Total	16	14.4131				

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบลดรูป (ตารางที่ 9.2) พบว่าค่า P-Value ทั้งของปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมน้อยกว่า 0.05 ทุกตัวดังนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมทั้ง 7 มีผลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม

9.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าข้อมูลจากการทดลองเป็นไปตามหลักการทางสถิติหรือไม่ โดยจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองว่า ความคลาดเคลื่อน (Error) มีรูปแบบการกระจายแบบปกติ และเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีคุณสมบัติ 3 ประการที่ต้องตรวจสอบดังนี้

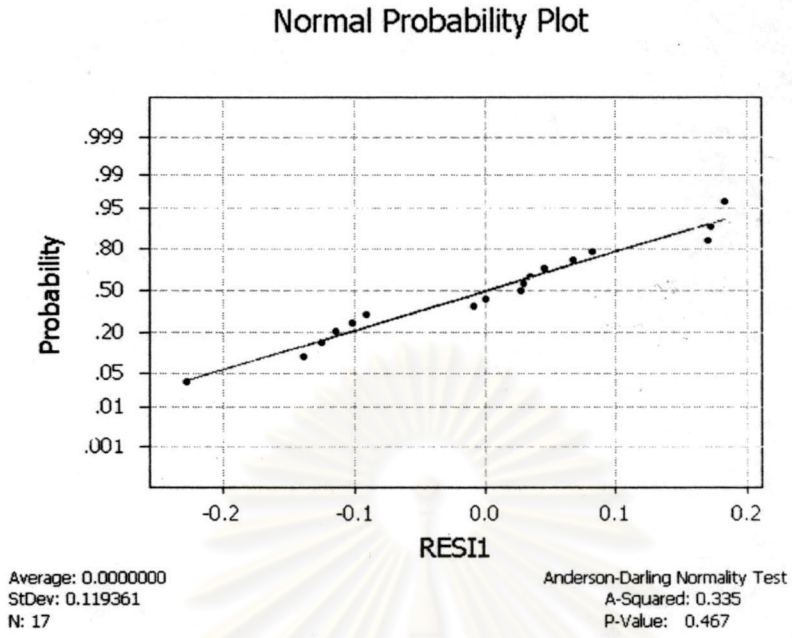
การกระจายปกติ (Normal Distribution)

ความเป็นอิสระ (Independent)

ความเสถียรของความแปรปรวน

1. การกระจายปกติ (Normal Distribution)

โดยกราฟแสดงการทดสอบการกระจายของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 9.2

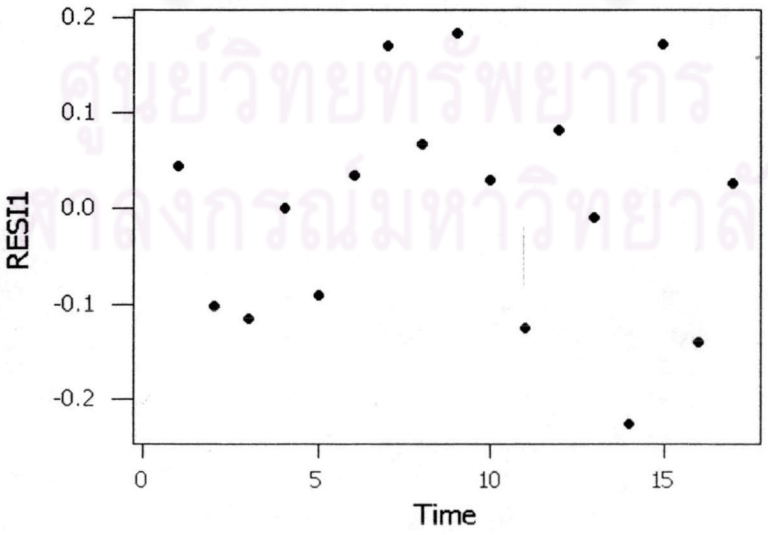


รูปที่ 9.2 แสดงกราฟทดสอบการกระจายของข้อมูล

จากกราฟพบว่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) มีการกระจายตัวแบบแจกแจงปกติ (ค่า P-Value มากกว่า 0.05) ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็น

2. ความเป็นอิสระ (Independent)

ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลจะพิจารณารูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) ที่เวลาต่าง ๆ ซึ่งต้องมีการกระจายตัวแบบไม่เป็นรูปแบบ โดยรูปแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อน (Residuals) แสดงดังรูปที่ 9.3

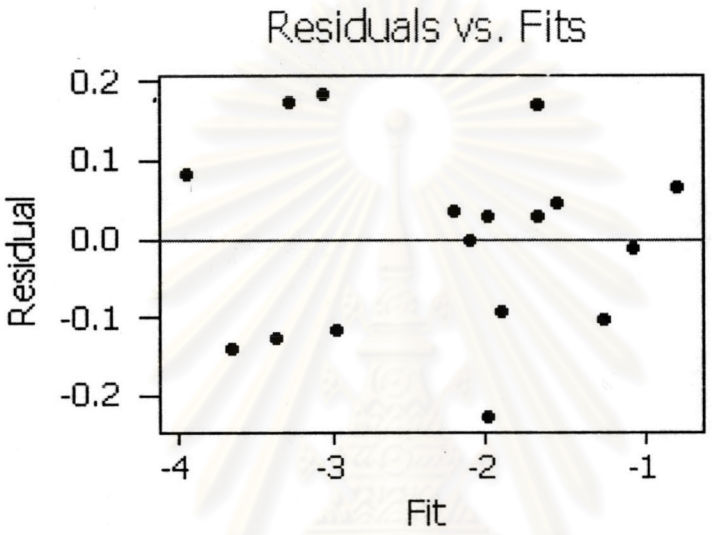


รูปที่ 9.3 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับเวลา

จากกราฟรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับเวลาพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกันไม่มีรูปแบบ จึงแสดงว่าข้อมูลที่ได้มีอิสระต่อกัน (Independent) ตามหลักการของการวิเคราะห์

3. ความเสถียรของความแปรปรวน

เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่ โดยกราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 9.4



รูปที่ 9.4 กราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวน

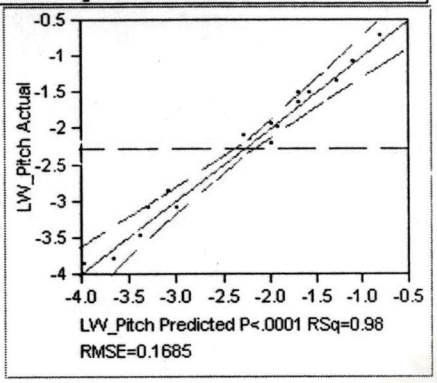
จากกราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวนพบว่าการกระจายของข้อมูลไม่มีรูปแบบ เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

9.2.3 การหาสมการความสัมพันธ์ของค่า Pitch หลังเชื่อม

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในหัวข้อที่ 9.2.1 พบว่ามีปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมทั้งหมด 7 ตัวที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมทั้ง 7 ที่มีต่อค่า Pitch หลังเชื่อม โดยนำหลักการ Regression มาช่วยในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ และผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 9.5

Response LW_Pitch

Actual by Predicted Plot



Response LW_Pitch

Summary of Fit

RSquare	0.982264
RSquare Adj	0.968468
Root Mean Square Error	0.168535
Mean of Response	-2.27366
Observations (or Sum Wgts)	17

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	7	14.157415	2.02249	71.2041
Error	9	0.255637	0.02840	Prob > F
C. Total	16	14.413052		<.0001

Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob>|t|
Intercept	-15.87486	1.920334	-8.27	<.0001
DH	-9.944375	2.808918	-3.54	0.0063
SAG	40.837918	2.808918	14.54	<.0001
Weld_Dia	-8.515953	0.842675	-10.11	<.0001
Weld_Position	7.8813806	0.842675	9.35	<.0001
SAG*(Weld_Dia-0.25)	197.38101	56.17836	3.51	0.0066
(Weld_Dia-0.25)*(Weld_Position-2.25)	-111.9583	16.85351	-6.64	<.0001
SAG*(Weld_Position-2.25)	-299.6213	56.17836	-5.33	0.0005

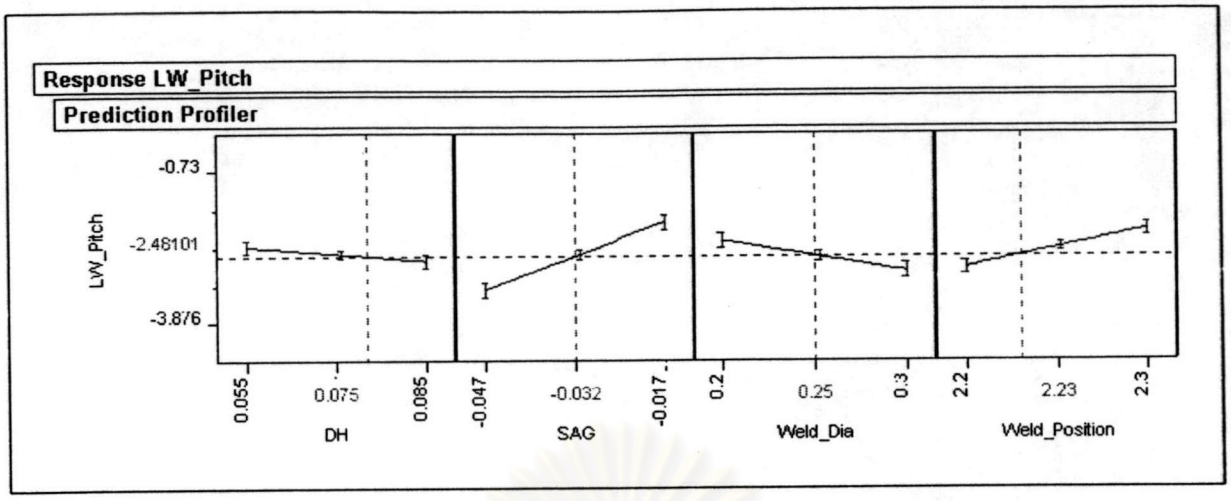
รูปที่ 9.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมต่อค่า Pitch หลังเชื่อม

และจากรูปที่ 9.5 ได้สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยและเทอมของปัจจัยร่วมกับค่า Pitch หลังเชื่อมดังนี้

ค่า Pitch หลังเชื่อม = -15.87 - 9.94 *Dimple Height + 40.84 *SAG
-8.52 *Weld_Diameter + 7.88*Weld_Position
+ SAG * ((Weld_Diameter - 0.25) * 197.38)
+ (Weld_Diameter - 0.25) * ((Weld_Position - 2.25) * -111.96)
+ SAG * ((Weld_Position - 2.25) * -299.62)

9.2.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม

ในขั้นตอนนี้เป็นการการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อมที่ทำให้ค่า Pitch หลังเชื่อมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เราต้องการมากที่สุด (-2.5 องศา) โดยอาศัยหลักการพยากรณ์จากสมการที่ได้มาจากขั้นตอนที่ 9.2.3 และผลจากการพยากรณ์แสดงดังรูปที่ 9.6



รูปที่ 9.6 แสดงผลการพยากรณ์เงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม

จากรูปที่ 9.6 พบว่าถ้าเราต้องการค่า Pitch หลังเชื่อมที่ –2.5 ควรที่จะใช้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อมตามเงื่อนไขดังนี้

1. ความสูง Dimple (Dimple Height)	0.075	มิลลิเมตร
2. ค่าเฉลี่ย Sag (Sag Average)	-0.032	มิลลิเมตร
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม	0.250	มิลลิเมตร
4. ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y	2.230	มิลลิเมตร

9.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองข้างต้นพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อมมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ดังนี้

1. ความสูง Dimple (Dimple Height)
2. ค่าเฉลี่ย Sag (Sag Average)
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม
4. ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y

โดยความสูง Dimple และค่าเฉลี่ย Sag จะมีการควบคุมที่กระบวนการปั๊มขึ้นรูป ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมและตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y ถูกควบคุมที่กระบวนการเชื่อม

ในบทต่อไปจะเป็นการนำผลการทดลองที่ได้ในบทนี้ไปทดลองผลิตชิ้นงานโดยที่ควบคุมเงื่อนไขของปัจจัยต่าง ๆ ตามที่ได้ระบุไว้ในหัวข้อ 9.2.4