บทที่ 7
การออกแบบการทดลอง

7.1 กำหนดปัญหาที่น่าสนใจ

ปัญหาที่เราสนใจคือค่า Pitch หลังจากเชื่อม กล่าวคือ ระหว่าง Pitch หลังเชื่อมกับค่า Pitch ที่ตรวจสอบก่อนนำงานส่งให้ลูกค้าจะมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ค่าหนึ่งซึ่งถ้าเรารู้ว่าค่าที่แตกต่างกันนี้มีค่าเท่าใด เราจะควบคุมค่า Pitch ที่ตรวจสอบก่อนนำงานส่งให้ลูกค้าได้โดยการควบคุมค่า Pitch หลังเชื่อม ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 3โดยความแตกต่างระหว่างค่า Pitch หลังเชื่อม และค่า Pitch ที่ตรวจสอบก่อนนำงานส่งให้ลูกค้ามีค่าอยู่ที่ บวก 3.5 องศา (อ้างอิงจากข้อมูลในบทที่ 3) หมายความว่าถ้าต้องการให้ค่า Pitch ที่ตรวจสอบก่อนนำส่งลูกค้ามีค่าเท่ากับ 1 อาศา ควรให้ค่า Pitch หลังเชื่อมมีค่าเท่ากับ –2.5 องศา เพราะฉะนั้นเนื่องจากค่า Pitch ตามข้อกำหนดของลูกค้าอยู่ที่ 1 องศา ดังนั้นปัญหาที่เราสนใจคือ ทำอย่างไรให้ค่า Pitch หลังเชื่อมมีค่าเท่ากับ –2.5 องศา

7.2 ปัจจัยที่จะทำการศึกษา และระดับของปัจจัย

จากการทดสอบสมมติฐานในบทที่ 6 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม มีทั้งหมด 4 ปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ความสูง Dimple (Dimple Height)
2. ค่าเฉลี่ย Sag (Sag Avg.)
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม (Welding Diameter)
4. ตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y (Welding Position Y)

ในการทดลองครั้งนี้ การกำหนดระดับของปัจจัยจะพิจารณาช่วงที่ครอบคลุมการใช้งาน โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมมติฐาน และประสบการณ์ในการทำงานที่ผ่านมา ช่วยในการกำหนดระดับ ซึ่งสามารถกำหนดระดับของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ได้ดังนี้

7.2.1 ความสูง Dimple (Dimple Height)

ในปัจจุบันค่าความสูง Dimpleใช้อยู่ที่ประมาณ 0.070 มิลลิเมตร เพื่อที่ให้การกำหนดระดับคลอบคลุมช่วงการใช้งานในปัจจุบัน จึงเลือกระดับของความสูง Dimple ดังนี้

ระดับ	ความสูง Dimple	หน่วย
ต่ำ (-1)	0.050-0.060	มิลลิเมตร
กลาง (0)	0.065-0.075	มิลลิเมตร
สูง (1)	มากกว่า 0.080	มิลลิเมตร

7.2.2 ค่าเฉลี่ย Sag (Sag Avg.)

แบ่ง Sag Avg. ออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับ	ค่าเฉลี่ย Sag	หน่วย
ต่ำ (-1)	0.010-0.020	มิลลิเมตร
กลาง (0)	0.027-0.031	มิลลิเมตร
สูง (1)	มากกว่า 0.040	มิลลิเมตร

7.2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม (Welding Diameter)

แบ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม (Welding Diameter) ออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม	หน่วย
ต่ำ (-1)	0.19 - 0.22	มิลลิเมตร
กลาง (0)	0.25 – 0.26	มิลลิเมตร
สูง (1)	0.28- 0.31	มิลลิเมตร

7.2.4 ตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y (Welding Position Y)

แบ่ง ตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y (Welding Position Y) ออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับ	ตำแหน่งของจุดเชื่อม Plate บน ในแนวแกน Y	หน่วย
ต่ำ (-1)	2.18 – 2.20	มิลลิเมตร
กลาง (0)	2.23 –2.24	มิลลิเมตร
สูง (1)	2.28 – 2.30	มิลลิเมตร

จากปัจจัย และระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่จะทำการทดลอง สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตาราง ที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)	
1. ความสูง Dimple	A	0.050-0.060	0.065-0.075	0.080 Min	mm.
2. ค่าเฉลี่ย Sag	B	0.010-0.020	0.027-0.031	0.040 Min	mm.
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม	C	0.190-0.220	0.250-0.260	0.280-0.310	mm.
4. ตำแหน่งจุดเชื่อมในแนวแกน Y	D	2.180-2.20	2.230-2.240	2.280-2.300	mm.

7.3 ตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

จากการกำหนดปัญหาในข้อ 7.1 ผู้ทดลองมีความสนใจที่จะทำให้ค่า Pitch หลังเชื่อมมีค่าเข้าใกล้ –2.5 มากที่สุด ดังนั้นตัวแปรตอบสนอง คือ ค่า Pitch หลังเชื่อม ซึ่งเราสามารถวัดได้จากการนำงานที่ผ่านกระบวนการเชื่อมแล้วไปวัดที่เครื่อง Voyager ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่ง โดยใช้หลักการสะท้อนกลับของแสง

7.4 แบบการทดลอง (Experimental design)

เนื่องจากปัจจัยที่นำมาใช้ในการทำการทดลองมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ซึ่งมีปริมาณไม่มากจนเกินไปดังนั้นจึงเลือกแผนการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลบวกค่ากลาง (Addition of Center Points to 2^k Design) โดยแต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ และจะมีอีกหนึ่งจุดที่เป็นค่ากลางของระดับแต่ละปัจจัย

เหตุที่เลือกแผนการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลบวกค่ากลาง เพราะว่าเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกัน กล่าวคือมีการใช้ระดับของปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่าง ๆ ในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ ได้พร้อมกัน เหตุผลอีกข้อที่สนับสนุนให้เลือกการทดลองแบบ2^k แฟคทอเรียลบวกค่ากลาง เพราะปัจจัยและตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์ในรูปแบบของเส้นตรงซึ่งทำให้การตีความหมายของข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง

หลักในการออกแบบการทดลองได้แก่

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) เป็นเทคนิคการจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์ หรือจัดหน่วยทรีทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลอง โดยให้แต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์ไดทรีทเมนต์หนึ่งเท่า ๆ กัน

2. การทำซ้ำ (Replication) คือการที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยทดลอง โดยที่จุดประสงค์ของการทำซ้ำคือ ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ และช่วยลดขนาดของความคลาดเคลื่อน

ในการทดลองนี้เลือกทำการทดลองแบบทำซ้ำทั้งหมด 1 ครั้ง (Replication) เนื่องจากข้อจำกัดด้านวัตถุดิบ และทำการทดลองแบบสุ่ม

7.5 ดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองผู้ทำการทดลองใช้เทคนิคการทดลองแบบ2^k แฟคทอเรียลบวกค่ากลางเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของปัจจัยด้วย โดยจะดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามแผนการทดลองอย่างเคร่งครัด

7.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data)

ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะนำโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยโปรแกรมนี้มีชื่อว่า Minitab หลังจากได้ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูปแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาสรุปโดยใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล

สมการตัวแบบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + (\tau\beta\delta)_{ijl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

i= 1,2 (ระดับของความสูง Dimple)

j = 1,2 (ระดับของค่าเฉลี่ย Sag)

k = 1,2 (ระดับของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม)

l = 1,2 (ระดับของตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y)

โดยที่

Y คือ ตัวแปรตอบสนองของการทดลอง (ค่า Pitch หลังเชื่อม)

μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากความสูง Dimple

β คือ อิทธิพลที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag

γ คือ อิทธิพลที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม

δ คือ อิทธิพลที่เกิดจากตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

$\tau\beta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากความสูง Dimpleกับค่าเฉลี่ย Sag

$\tau\gamma$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากความสูง Dimpleกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม

$\tau\delta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากความสูง Dimpleกับตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

$\beta\gamma$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม

$\beta\delta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sag กับตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

$\gamma\delta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมกับตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

$\tau\beta\gamma$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากความสูง Dimpleกับค่าเฉลี่ย Sagและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม

$\tau\beta\delta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากความสูง Dimpleกับค่าเฉลี่ย Sagและตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\beta\gamma\delta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากค่าเฉลี่ย Sagกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

$\tau\beta\gamma\delta$ คือ อิทธิพลร่วม (Interactiom Effect) ที่เกิดจากความสูง Dimple , ค่าเฉลี่ย Sag ,ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมและตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

สมมติฐานของการทดลองคือ

1. สมมติฐานของปัจจัยเดี่ยวมี 4 สมมติฐาน

   H0 : $\tau_1 = \tau_2 = 0$

   H1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $\tau_i \neq 0$

   H0 : $\beta_1 = \beta_2 = 0$

   H1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $\beta_j \neq 0$

   H0 : $\gamma_1 = \gamma_2 = 0$

   H1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $\gamma_k \neq 0$

   H0 : $\delta_1 = \delta_2 = 0$

   H1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $\delta_l \neq 0$

2. สมมติฐานของปัจจัยร่วมมี 10 สมมติฐาน เช่น

   H0 : $(\tau\beta)_{ij} = 0$ สำหรับทุกค่า i,j

   H1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$

   H0 : $(\tau\gamma)_{ik} = 0$ สำหรับทุกค่า i,k

   H1 : อย่างน้อยหนึ่งค่าของ $(\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

และตรวจสอบความถูกต้อง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบของรูปแบบของข้อมูลซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น หลังจากได้ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบเรียบร้อยแล้วจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ

7.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and recommendation)

หลังจากวิเคราะห์ผลการทดลอง ก็นำมาสรุปผลการทดลอง ปัจจัยแต่ละตัวมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ ปัจจัยร่วมตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองและแต่ละปัจจัยควรจะกำหนดค่าใช้งานที่เท่าใด

โดยเราสามารถสรุปแผนการออกแบบการทดลองได้ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง

แผนการออกแบบการทดลอง

1. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า Pitch หลังเชื่อม และเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตที่ทำให้ค่า Pitch หลังเชื่อม เข้าใกล้ค่าที่เราต้องการมากที่สุด (-2.5 องศา)

2. ข้อมูลพื้นฐาน

Pitch หลังเชื่อม คือตัวสำคัญที่ส่งผลต่อค่า Pitch ของตัวงานสำเร็จ โดยจะมีความแตกต่างของค่า Pitch สองค่านี้อยู่ค่าหนึ่งขึ้นอยู่ชนิดของชิ้นงานที่เรานำมาศึกษา โดยชิ้นงานที่เรานำมาศึกษานี้ค่า Pitch ของตัวงานสำเร็จ หรือข้อกำหนดของลูกค้าอยู่ที่ 1 องศา และความแตกต่างระหว่างค่า Pitch หลังเชื่อมกับค่า Pitch ของตัวงานสำเร็จอยู่ที่บวก 3.5

เนื่องจากความสำคัญของค่า Pitch หลังเชื่อมดังที่กล่าวมาแล้วจึงมีความจำเป็นต้องควบคุมค่า Pitc หลังเชื่อมโดยค่า Pitch หลังเชื่อม ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว เช่น ความสูง Dimple , ค่าเฉลี่ย Sag

3. ตัวแปรการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง

ค่า Pitch หลังเชื่อม ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือวัด Voyager อาศัยหลักการสะท้อนกลับของลำแสง

3.2 ปัจจัย

		ระดับ	
1. ความสูง Dimple (Dimple Height)	0.025-0.040	0.060-0.075	อย่างน้อย 0.085
2. ค่าเฉลี่ย Sag (Sag Average)	0.010-0.020	0.027-0.031	อย่างน้อย 0.060
3. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม	0.19-0.22	0.25-0.26	0.28-0.31
4. ตำแหน่งของจุดเชื่อมในแนวแกน Y	2.18-2.22	2.23-2.24	2.28-2.30

3.3 ปัจจัยควบคุม

1. แม่พิมพ์ขึ้นรูป
2. เครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อม
3. เครื่องมือวัดค่าปัจจัยต่าง ๆ
4. พนักงานประจำเครื่องปั๊มขึ้นรูป
5. พนักงานประจำเครื่องเชื่อม
6. พนักงานประจำเครื่องมือวัด
7. พลังงานที่ใช้ในการเชื่อมของเครื่องเชื่อม
8. แรงกดของเครื่องปั๊มขึ้นรูป

4 . จำนวนซ้ำ

การทดลองทำทั้งหมด 16 บวก 1 ค่ากลาง = 17 สภาวะ ไม่มีการทำซ้ำ

5. วิธีการสุ่ม

ใช้วิธีการสุ่มอย่างสมบูรณ์ ในการทดสอบ โดยลำดับการทดลองดังตารางที่ 7.3

6. เมตริกการออกแบบ

เมตริกการออกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 7.3

7. ผลการทดลอง

แสดงดังภาคผนวก ข.

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Model Adequacy Checking)

กราฟตัวแปรตอบสนอง(Response Variable)

กราฟเรสซิดวล (Residual Plot)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.3 เมตริกการออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Basic Design				E=ABCD	Treatment Combination	Sheet no. *				
				A	B	C	D							
1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	e	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
6	2	1	1	1	-1	1	-1	1	ace	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5
13	3	1	1	-1	-1	1	1	1	cde	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5
8	4	1	1	1	1	1	-1	-1	abc	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5
12	5	1	1	1	1	-1	1	-1	abd	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5
15	6	1	1	-1	1	1	1	-1	bcd	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5
9	7	1	1	-1	-1	-1	1	-1	d	7-1	7-2	7-3	7-4	7-5
5	8	1	1	-1	-1	1	-1	-1	c	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5
10	9	1	1	1	-1	-1	1	1	ade	9-1	9-2	9-3	9-4	9-5
16	10	1	1	1	1	1	1	1	abcde	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5
2	11	1	1	1	-1	-1	-1	-1	a	11-1	11-2	11-3	11-4	11-5
17	12	0	1	0	0	0	0	0	0	12-1	12-2	12-3	12-4	12-5
7	13	1	1	-1	1	1	-1	1	bce	13-1	13-2	13-3	13-4	13-5
4	14	1	1	1	1	-1	-1	1	abe	14-1	14-2	14-3	14-4	14-5
3	15	1	1	-1	1	-1	-1	-1	b	15-1	15-2	15-3	15-4	15-5
14	16	1	1	1	-1	1	1	-1	acd	16-1	16-2	16-3	16-4	16-5
11	17	1	1	-1	1	-1	1	1	bde	17-1	17-2	17-3	17-4	17-5