

บทที่ 4

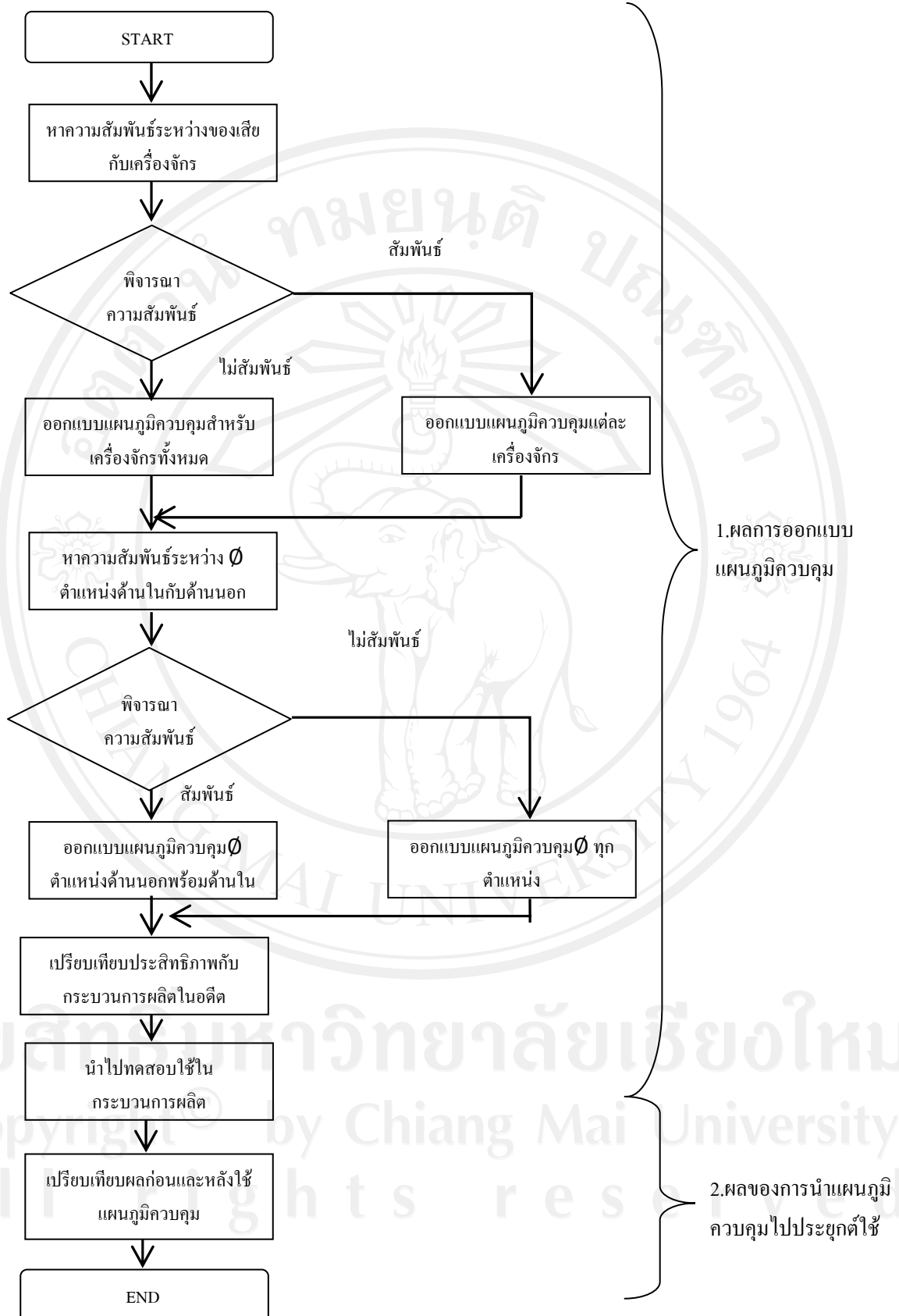
ผลการวิจัย

ในการออกแบบแผนภูมิควบคุมเพื่อการยอมรับเชิงเดียวในการเฟ้ระวังเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแท่งชิ้นงานนั้นจะต้องมีพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเสียกับเครื่องจักรแต่ละเครื่องและความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในกับด้านนอก เพื่อให้แผนภูมิควบคุมที่ออกแบบมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการนำไปใช้ควบคุมแท่งชิ้นงานในกระบวนการผลิต

ผลของการวิจัยที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ผลการออกแบบแผนภูมิควบคุมเพื่อใช้ควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแท่งชิ้นงาน
2. ผลของการนำแผนภูมิควบคุมไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต

ซึ่งผลจากการวิจัยทั้ง 2 ส่วนที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีแนวทางการวิเคราะห์และพิจารณาตามขั้นตอนที่แสดงรูปที่ 4.1 ตั้งแต่การออกแบบแผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานจนถึงขั้นตอนการนำไปประยุกต์ใช้



รูปที่ 4.1 Flow Chart การออกแบบแผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานจนถึงการนำไปประยุกต์ใช้

4.1 ผลการออกแบบแผนภูมิควบคุมเพื่อใช้ควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกของแท่งชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาขั้นตอนจากรูปที่ 4.1 ในขั้นตอนการออกแบบแผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานนั้น แสดงผลการวิจัยดังนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเสียกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต

ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างของเสียที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยทำการวิเคราะห์แบบไคสแควร์

1) ผู้วิจัยได้รวบรวมชนิดของเสียจากการผลิตแท่งชิ้นงาน โดยของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตจะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือของเสียที่ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าพิคตเรียกว่า “Big” ส่วนของเสียที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าพิคตเรียกว่า “Small” ซึ่งพิจารณาได้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดของเสียที่เกิดจากเครื่องจักร 4 เครื่อง

ชนิดของเสีย	Machine 1	Machine 2	Machine 3	Machine 4
Big	0	20	70	10
Small	10	120	10	0

ข้อมูลชนิดของเสียที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเสียกับเครื่องจักรกับข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละตำแหน่งเป็นข้อมูลคนละชุดไม่เกี่ยวข้องกัน

2) ทำการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับอัตราการเกิดของเสียที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

H_0 : เครื่องจักรไม่มีความสัมพันธ์กับชนิดของข้อบกพร่องของชิ้นงาน

H_1 : เครื่องจักรมีความสัมพันธ์กับชนิดของข้อบกพร่องของชิ้นงาน

3) ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ไคสแควร์ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ไคสแควร์

Machine	ชนิดของเสีย		Chi-Square	P-Value
	Big	Small		
Mc.1	0	10	133.47	0.00
Mc.2	20	120		
Mc.3	70	10		
Mc.4	10	0		
Total	100	140		

4) สรุปผลการวิเคราะห์ผลความสัมพันธ์

ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าของเสียที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดกับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตนั้นมีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 95.0%

ดังนั้นในการออกแบบแผนภูมิควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งขึ้นงานนั้นจะต้องใช้แผนภูมิควบคุมที่แตกต่างกันไม่สามารถใช้แผนภูมิควบคุมร่วมกันได้

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอก

จากการวิเคราะห์ข้างต้นนั้นทำให้ผู้วิจัยทราบว่าการควบคุมแท่งขึ้นงานที่ผลิตจากเครื่องจักรแต่ละเครื่องนั้นไม่สามารถใช้แผนภูมิควบคุมร่วมกันได้ โดยผู้วิจัยต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกและด้านในของแท่งขึ้นงานเพื่อที่จะทำการออกแบบแผนภูมิควบคุมสำหรับเฝ้าระวังความผิดปกติของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกและด้านในพร้อมกัน ซึ่งผู้วิจัยนั้นได้ใช้ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกและด้านในทั้ง 4 ตำแหน่งโดยใช้ตัวอย่างของข้อมูล 4 ตัวอย่างจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 10 กลุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งขึ้นงานในแต่ละตำแหน่งของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

1) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดแท่งขึ้นงานของเครื่องจักรเครื่องที่ 1

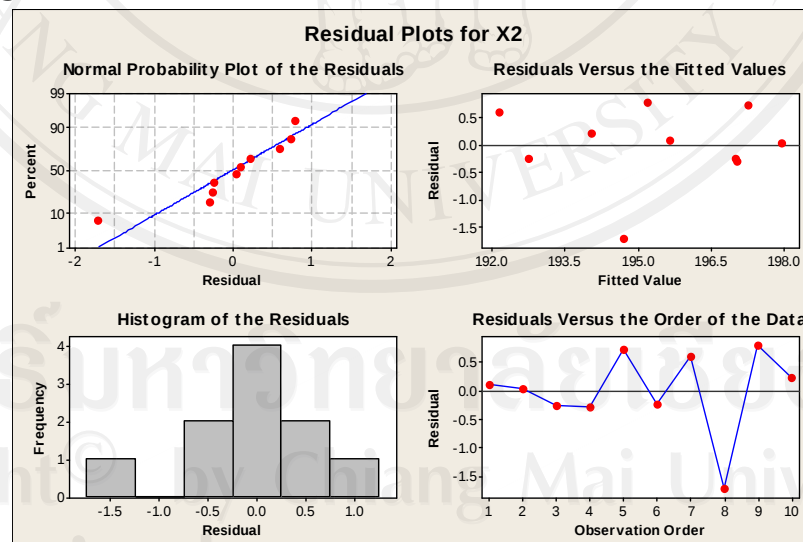
ในการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งขึ้นงานที่ตำแหน่งต่างๆว่ามีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2 , X_3) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (X_1 , X_4) อย่างไร

ขั้นตอนที่ 1 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.3 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_2 และ X_4 ของเครื่องจักรที่ 1

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y (ตำแหน่ง X_2)
198.50	197.75	197.75
200.00	202.25	198.00
199.75	199.75	196.75
199.25	200.75	196.75
199.50	201.00	198.00
193.50	197.50	192.50
193.75	195.25	192.75
196.00	199.25	193.00
196.00	200.75	196.00
194.50	199.75	194.25

ผลการวิเคราะห์โดยการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.2 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_2 ของเครื่องจักรที่ 1

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่
 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$H_0: \beta_i = 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$H_0: \beta_i \neq 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ถดถอยเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) ของเครื่องจักรที่ 1

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	19.15	26.92	0.71	0.50
X_1	0.57	0.14	4.01	0.005
X_4	0.32	0.17	1.81	0.113
S = 0.82 , R-Sq = 88.2%, R-Sq(adj) = 84.8%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_4 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการวิเคราะห์ใหม่ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) เครื่องจักรที่ 1

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	50.2	23.55	2.13	0.06
X_1	0.737	0.1195	6.16	0.00
S = 0.93 , R-Sq = 82.6%, R-Sq(adj) = 80.4%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 50.2 + 0.737X_1(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

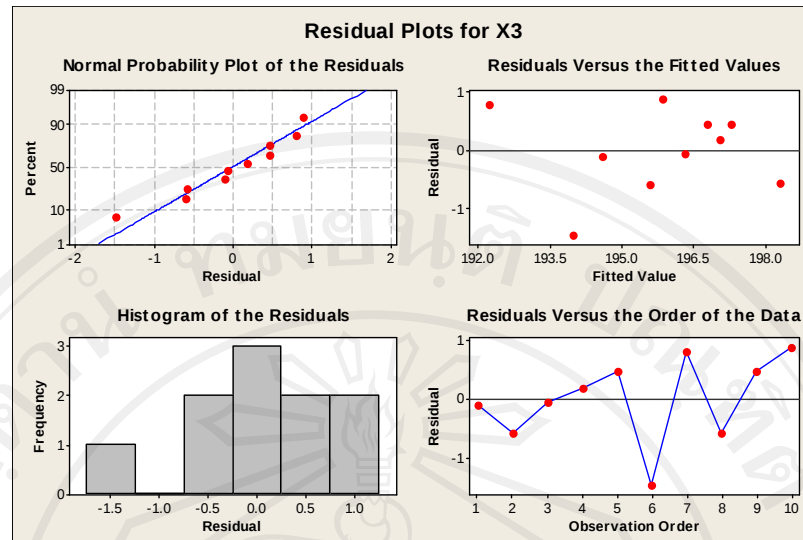
ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านในมีค่า 80.4%

ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_3) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.6 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_4 และ X_3 ของเครื่องจักรที่ 1

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y(ตำแหน่ง X_3)
198.50	197.75	194.50
200.00	202.25	197.75
199.75	199.75	196.25
199.25	200.75	197.25
199.50	201.00	197.75
193.50	197.50	192.50
193.75	195.25	193.00
196.00	199.25	195.00
196.00	200.75	197.25
194.50	199.75	196.75

ผลการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.3 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_3 ของเครื่องจักรที่ 1

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$$H_0: \beta_i = 0 \quad \implies Y \text{ กับ } X_i \text{ ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้}$$

$$H_0: \beta_i \neq 0 \quad \implies Y \text{ กับ } X_i \text{ สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้}$$

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเพื่อทำนายตำแหน่ง 0 ด้านใน (X_3) ของเครื่องจักรที่ 1

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	19.60	26.97	0.73	0.49
X_1	0.08	0.14	0.60	0.57
X_4	0.80	0.18	4.46	0.003
S = 0.82 , R-Sq = 86.0%, R-Sq(adj) = 81.9%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการลดรูปสมการ

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง Ø ด้านใน (X_3) เครื่องจักรที่ 1

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	22.08	25.57	0.86	0.41
X_4	0.87	0.13	6.79	0.00
S = 0.79 , R-Sq = 85.2%, R-Sq(adj) = 83.4%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 22.1 + 0.871X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง Ø ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง Ø ด้านในมีค่า 83.4%

ขั้นตอนที่ 3 สรุปความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและด้านนอกแต่ละตำแหน่ง

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในตำแหน่งที่ X_2 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ตามสมการดังนี้

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 50.2 + 0.737X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_3 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_4 ตามสมการดังนี้

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 22.1 + 0.871X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

2) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดแท่งชิ้นงานของเครื่องจักรเครื่องที่ 2

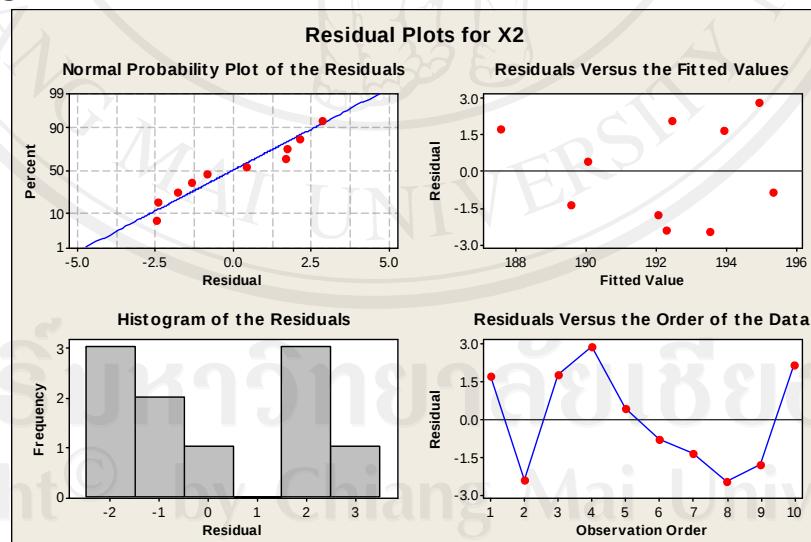
ในการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งชิ้นงานที่ตำแหน่งต่างๆว่ามีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2 , X_3) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (X_1 , X_4) อย่างไร

ขั้นตอนที่ 1 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.9 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.9 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_2 และ X_4 ของเครื่องจักรที่ 2

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y (ตำแหน่ง X_2)
201.17	189.59	195.63
198.58	189.31	189.88
191.10	194.13	189.29
202.93	196.66	197.85
195.11	195.64	190.47
203.64	202.39	194.53
194.35	195.78	188.22
200.63	192.32	191.09
198.46	204.98	190.27
198.99	199.91	194.58

ผลในการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.4 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_2 ของเครื่องจักรที่ 2

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่ $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$H_0: \beta_i = 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$H_0: \beta_i \neq 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ถดถอยเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) ของเครื่องจักรที่ 2

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	69.12	44.84	1.54	0.167
X_1	0.63	0.19	3.23	0.014
X_4	-0.01	0.15	-0.07	0.95
S = 2.29 , R-Sq = 60.3%, R-Sq(adj) = 49.0%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_4 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการลดรูปสมการ

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) เครื่องจักรที่ 2

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	67.59	35.75	1.89	0.095
X_1	0.63	0.18	3.49	0.008
S = 2.14 , R-Sq = 60.3%, R-Sq(adj) = 55.3%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 67.6 + 0.628X_1(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

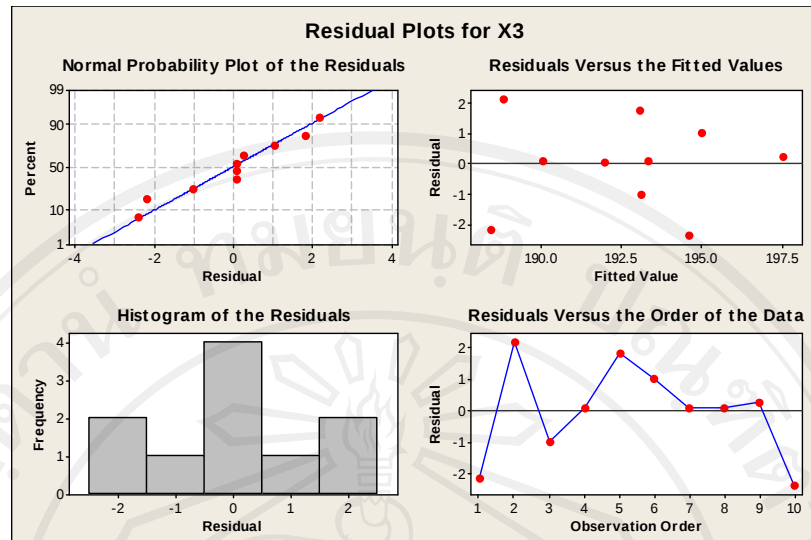
ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านในมีค่า 55.3%

ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_3) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.12 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.12 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_4 และ X_3 ของเครื่องจักรที่ 2

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y(ตำแหน่ง X_3)
201.17	189.59	186.20
198.58	189.31	190.96
191.10	194.13	192.09
202.93	196.66	192.02
195.11	195.64	194.89
203.64	202.39	196.03
194.35	195.78	193.41
200.63	192.32	190.11
198.46	204.98	197.83
198.99	199.91	192.23

ผลในการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.5 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_3 ของเครื่องจักรที่ 2

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$$H_0: \beta_i = 0$$

$\implies Y$ กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$$H_0: \beta_i \neq 0$$

$\implies Y$ กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์หาคดอยเพื่อทำนายตำแหน่ง ๐ ด้านใน (X_3) ของเครื่องจักรที่ 2

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	126.16	33.66	3.75	0.007
X_1	-0.22	0.15	-1.49	0.181
X_4	0.56	0.11	4.98	0.002
S = 1.72 , R-Sq = 78.4%, R-Sq(adj) = 72.2%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการลดรูปสมการ

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_3) เครื่องจักรที่ 2

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	87.95	23.33	3.77	0.005
X_4	0.53	0.12	4.49	0.002
S = 1.84 , R-Sq = 71.6%, R-Sq(adj) = 68.0%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 87.9 + 0.534X_4(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านในมีค่า 68.0%

ขั้นตอนที่ 3 สรุปความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอก

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_2 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ตามสมการดังนี้

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 67.6 + 0.628X_1(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_3 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_4 ตามสมการดังนี้

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 87.9 + 0.534X_4(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

3) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดแท่งชิ้นงานของเครื่องจักรเครื่องที่ 3

ในการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งชิ้นงานที่ตำแหน่งต่างๆว่ามีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2 , X_3) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (X_1 , X_4) อย่างไร

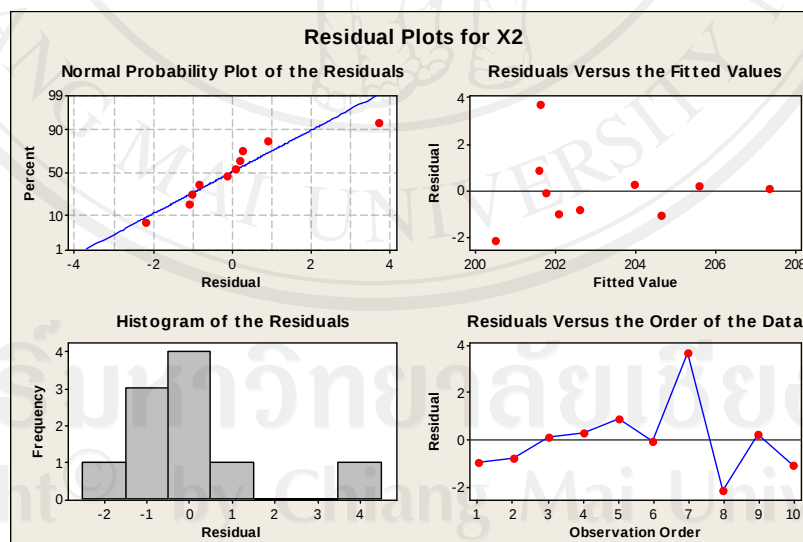
ขั้นตอนที่ 1 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.15 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.15 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_2 และ X_4 ของเครื่องจักรที่ 3

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y(ตำแหน่ง X_2)
206.88	211.80	201.06
207.22	218.24	201.74
213.08	216.17	207.46
209.25	209.85	204.25
206.33	210.27	202.46
206.40	213.41	201.61
206.09	217.10	205.32
204.85	213.76	198.26
211.34	207.19	205.82
209.69	218.58	203.55

ผ

ลในการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.6 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_2 ของเครื่องจักรที่ 3

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่ $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$H_0: \beta_i = 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$H_0: \beta_i \neq 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ถดถอยเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) ของเครื่องจักรที่ 3

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	23.04	60.17	0.38	0.713
X_1	0.83	0.23	3.63	0.008
X_4	0.04	0.16	0.23	0.827
S = 1.79 , R-Sq = 65.3%, R-Sq(adj) = 55.4%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_4 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการลดรูปสมการ

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) เครื่องจักรที่ 3

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	31.47	44.49	0.71	0.499
X_1	0.82	0.21	3.86	0.05
S = 1.68 , R-Sq = 65.1%, R-Sq(adj) = 60.7%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 31.5 + 0.825X_1(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของ ตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านในมีค่า 60.7%

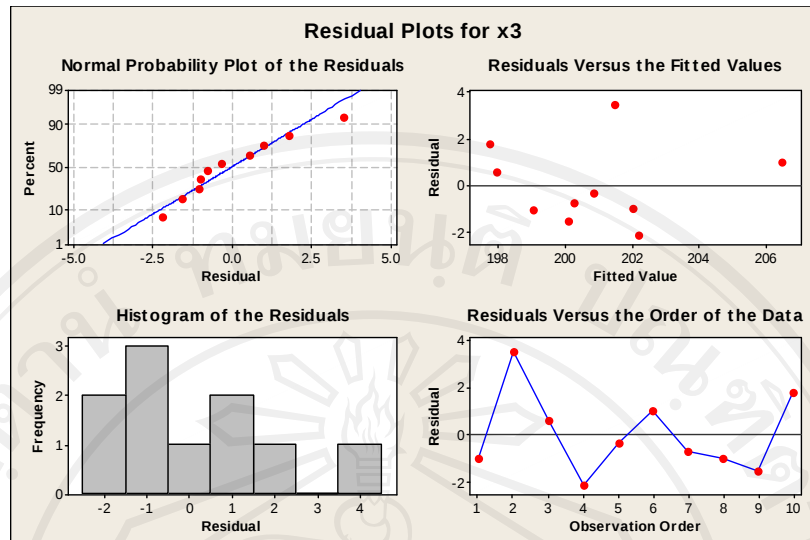
ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_3) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.18 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.18 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_4 และ X_3 ของเครื่องจักรที่ 3

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y(ตำแหน่ง X_3)
206.88	209.50	201.00
207.22	209.00	205.00
213.08	205.50	198.50
209.25	209.50	200.00
206.33	208.50	200.50
206.40	213.50	207.50
206.09	208.00	199.50
204.85	207.00	198.00
211.34	207.50	198.50
209.69	205.50	199.50

ผ

ลในการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.7 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_3 ของเครื่องจักรที่ 3

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่ $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$H_0: \beta_i = 0$ $\implies Y$ กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$H_0: \beta_i \neq 0$ $\implies Y$ กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเพื่อทำนายตำแหน่ง ๐ ด้านใน (X_3) ของเครื่องจักรที่ 3

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	-46.9	108.2	-0.46	0.661
X_1	0.07	0.28	0.25	0.80
X_4	1.13	0.32	3.52	0.01
S = 1.97, R-Sq = 68.2%, R-Sq(adj) = 59.1%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการลดรูปสมการ

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_3) เครื่องจักรที่ 3

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	31.47	44.49	0.71	0.499
X_4	0.82	0.21	3.86	0.05
S = 1.68 , R-Sq = 65.1%, R-Sq(adj) = 60.7%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = -26.5 + 1.09X_4(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของ ตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านในมีค่า 63.9%

ขั้นตอนที่ 3 สรุปความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอก

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_2 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ตามสมการดังนี้

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 31.5 + 0.825X_1(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_3 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_4 ตามสมการดังนี้

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = -26.5 + 1.09X_4(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

4) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดแท่งชิ้นงานของเครื่องจักรเครื่องที่ 4

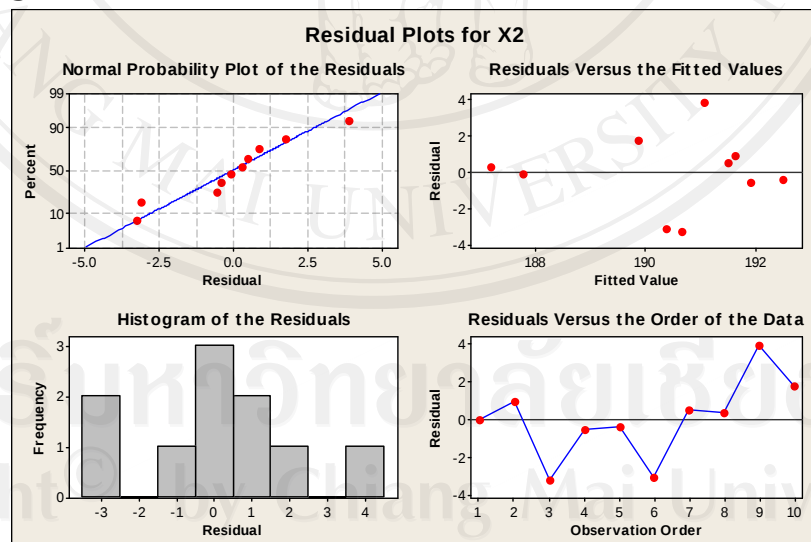
ในการตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งชิ้นงานที่ตำแหน่งต่างๆว่ามีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2 , X_3) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (X_1 , X_4) อย่างไร

ขั้นตอนที่ 1 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_2) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.21 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.21 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_2 และ X_4 ของเครื่องจักรที่ 4

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y(ตำแหน่ง X_2)
187.91	195.60	187.70
197.65	202.44	192.51
195.24	199.94	187.41
198.40	198.04	191.35
199.93	199.80	192.09
194.50	200.75	187.25
197.41	196.89	192.01
186.34	205.89	187.47
196.26	200.00	194.99
193.23	199.04	191.62

ผลในการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.8 ผล Residual plot เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_2 ของเครื่องจักรที่ 4

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่
 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$H_0: \beta_i = 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$H_0: \beta_i \neq 0 \implies Y(X_2)$ กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ถดถอยเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) ของเครื่องจักรที่ 4

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	113.11	74.63	1.52	0.173
X_1	0.39	0.19	2.13	0.071
X_4	0.002	0.286	0.01	0.993
S = 2.40 , R-Sq = 40.6%, R-Sq(adj) = 23.6%				

โดยหลักการแล้วการวิเคราะห์ค่า P-Value ในตาราง ANOVA หากค่า P-Value มีค่ามากกว่านัยสำคัญจะถือว่าตัวแปร X_2 ไม่มีความสัมพันธ์กับ X_1 และ X_4 แต่ในทางปฏิบัติมีข้อมูลบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่าง X_2 และ X_1 ดังนั้นผู้วิจัยจึงยังคงสมการความสัมพันธ์ระหว่าง X_2 กับ X_1

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ถดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านใน (X_2) เครื่องจักรที่ 4

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	113.71	32.81	3.47	0.008
X_1	0.39	0.17	2.34	0.047
S = 2.25 , R-Sq = 40.6%, R-Sq(adj) = 33.2%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\emptyset_{\text{ด้านใน}}) = 114 + 0.394X_1(\emptyset_{\text{ด้านนอก}})$$

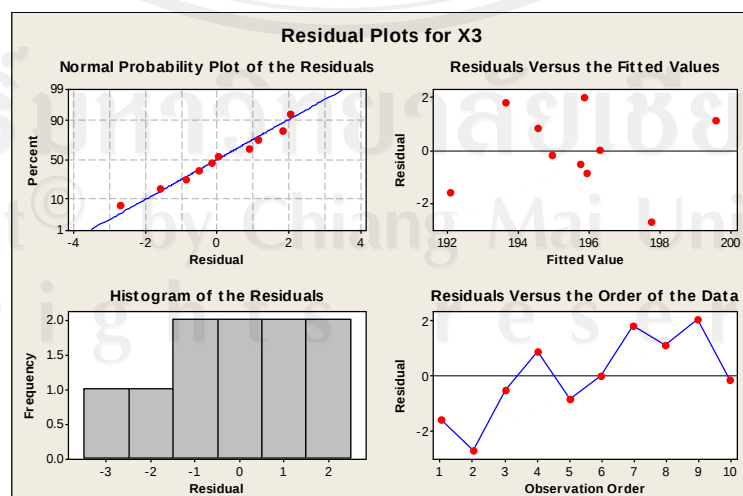
ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของ ตำแหน่ง $\emptyset$ ด้านในมีค่า 33.2%

ขั้นตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (X_3) กับด้านนอก (X_1 , X_4) ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ใช้จำนวนตัวอย่าง (Sample Size) จำนวน 4 ตัวอย่างโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่มตัวอย่าง (Subgroup) ที่ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆโดยมีการบันทึกผลการทดสอบดังตารางที่ 4.24 (ค่าที่แสดงในตาราง 4.24 เป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.24 ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_1 , X_4 และ X_3 ของเครื่องจักรที่ 4

เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก		เส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
ตำแหน่ง X_1	ตำแหน่ง X_4	Y(ตำแหน่ง X_3)
187.91	195.60	190.46
197.65	202.44	195.00
195.24	199.94	195.20
198.40	198.04	195.41
199.93	199.80	195.05
194.50	200.75	196.29
197.41	196.89	195.44
186.34	205.89	200.69
196.26	200.00	197.89
193.23	199.04	194.78

ผลในการวิเคราะห์โดยทำการตรวจสอบข้อสมมุติฐานว่า $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ หรือไม่โดยใช้ $\alpha = 0.05$



รูปที่ 4.9 ผล Residual plot ผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง X_3 ของเครื่องจักรที่ 4

ผลที่ได้พบว่า Residual มีการแจกแจงปกติ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนคงที่ $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

ทำการตรวจสอบ Model ที่ได้โดยมีสมมุติฐานคือ

$H_0: \beta_i = 0$ $\implies$ Y กับ X_i ไม่สัมพันธ์กัน, ไม่สามารถสร้างสมการได้

$H_0: \beta_i \neq 0$ $\implies$ Y กับ X_i สัมพันธ์กัน, สามารถสร้างสมการได้

ตารางที่ 4.25 การวิเคราะห์หัดถอยเพื่อทำนายตำแหน่ง $\varnothing$ ด้านใน (X_3) ของเครื่องจักรที่ 4

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	35.6	53.36	0.66	0.528
X_1	0.06	0.13	0.48	0.64
X_4	0.74	0.20	3.61	0.009
S = 1.71 , R-Sq = 65.3%, R-Sq(adj) = 55.4%				

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ไม่ควรอยู่ในสมการ (P-value > 0.05) จึงทำการลดรูปสมการ

ตารางที่ 4.26 การวิเคราะห์หัดถอยขั้นสุดท้ายเพื่อทำนายตำแหน่ง $\varnothing$ ด้านใน (X_3) เครื่องจักรที่ 4

Predictor	Coef	Se Coef	T	P
Constance	52.73	37.77	1.40	0.20
X_4	0.72	0.19	3.78	0.005
S = 1.63 , R-Sq = 64.2%, R-Sq(adj) = 59.7%				

ดังนั้นสมการที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยมีสมการคือ

$$Y(\varnothing_{\text{ด้านใน}}) = 52.7 + 0.715X_4(\varnothing_{\text{ด้านนอก}})$$

ซึ่งสมการสามารถอธิบายได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง $\varnothing$ ด้านนอกกับการเปลี่ยนแปลงของ ตำแหน่ง $\varnothing$ ด้านในมีค่า 38.4%

ขั้นตอนที่ 3 สรุปความสัมพันธ์ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอก

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_2 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_1 ตามสมการดังนี้

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 114 + 0.394X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในตำแหน่งที่ X_3 (Y) มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกที่ตำแหน่ง X_4 ตามสมการดังนี้

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 52.7 + 0.715X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแท่งชิ้นงานในแต่ละตำแหน่งของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง มีความสัมพันธ์กันดังตารางสรุปดังนี้

ตารางที่ 4.27 สมการความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่ง (X_1, X_2) และ (X_3, X_4)

Machine	สมการความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ละตำแหน่ง	
	(X_1, X_2)	(X_3, X_4)
Machine 1	$Y(X_2)$ $= 50.2$ $+ 0.737X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$	$Y(X_3)$ $= 22.1$ $+ 0.871X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$
Machine 2	$Y(X_2)$ $= 67.6$ $+ 0.628X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$	$Y(X_3)$ $= 87.9$ $+ 0.534X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$
Machine 3	$Y(X_2)$ $= 31.5$ $+ 0.825X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$	$Y(X_3)$ $= -26.5$ $+ 1.09X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$
Machine 4	$Y(X_2)$ $= 114 + 0.394X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$	$Y(X_3)$ $= 52.7$ $+ 0.715X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$

4.1.3 ผลการกำหนดจำนวนแผนภูมิควบคุมเพื่อควบคุมแท่งชิ้นงาน

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกทั้ง 4 ตำแหน่งของแท่งชิ้นงานทำให้เราทราบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกนั้น มีความสัมพันธ์ตามตารางที่ 4.27

ดังนั้นในการกำหนดจำนวนแผนภูมิเพื่อใช้ในการควบคุมแท่งขึ้นงานเพื่อให้สามารถควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในและด้านนอกพร้อมกันได้จะต้องทำการออกแบบแผนภูมิควบคุมทั้งหมด 8 แผนภูมิควบคุมคือ

- 1.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ $Y(X_2)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 1
- 2.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ $Y(X_4)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 1
- 3.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ $Y(X_2)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 2
- 4.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ $Y(X_4)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 2
- 5.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ $Y(X_2)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 3
- 6.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ $Y(X_4)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 3
- 7.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ $Y(X_2)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 4
- 8.) แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ $Y(X_4)$ ของเครื่องจักรเครื่องที่ 4

สรุปคือในการควบคุมแท่งขึ้นงานทั้งแท่งจะต้องใช้แผนภูมิควบคุมจำนวน 2 แผนภูมิควบคุมต่อเครื่องจักร 1 เครื่อง

4.1.4 ผลการออกแบบแผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงาน

หลังจากที่ทราบแล้วว่าต้องทำการออกแบบแผนภูมิควบคุมทั้งหมดจำนวน 8 แผนภูมิควบคุมด้วยกัน โดยการออกแบบแผนภูมิควบคุมนั้นได้กำหนดไว้ว่าแผนภูมินั้นจะต้องมีความสามารถในการตรวจพบของเสียที่ระดับ 10.0% ด้วยความสามารถในการตรวจจับร้อยละ 90 (Power = 0.9) และขนาดแท่งขึ้นงานที่ทำการศึกษานั้นมีขนาด $200 \pm 10 \mu\text{m}$. โดยมีค่าพิสัยสูงสุดคือ $210 \mu\text{m}$. และค่าพิสัยต่ำสุดคือ $190 \mu\text{m}$.

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทำการออกแบบแผนภูมิควบคุมแบบ Acceptance Control Chart โดยใช้หลักการ Inversed Regression โดยใช้การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

1. แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ X_2 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 1

1.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - H}{\sigma_{X_1}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $USL=210$, $Z=1.28(\beta=0.1)$ และ $\sigma_{X_1} = 0.934397$

$$H = 210 - (1.28 * 0.934397)$$

$$H = 208.80 \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งจีนงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 50.2 + 0.737X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 208.80 \mu m$.

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 50.2 + (0.737 * 208.80)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 204.08 m.$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ 204.08 m.

$$\begin{aligned} P(X > 210) &= 1 - \phi\left(\frac{210 - 204.08}{0.934397}\right) \\ &= 1 - \phi(6.34) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ 204.08 m. จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$UCL = USL - \left(Z_\gamma + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}}\right) \sigma_{X_1}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$USL = 210, Z_\gamma = \phi^{-1}(0.9), Z_\beta = \phi^{-1}(0.9), n =$$

4 และ $\sigma_{X_1} = 0.934397$

$$\begin{aligned} UCL &= 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}}\right) 0.934397 \\ &= 208.20 m. \end{aligned}$$

1.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_1}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_1} = 0.934397$

$$L = 190 + (1.28 * 0.934397)$$

$$L = 191.19 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 50.2 + 0.737X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 191.19 \mu m.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 50.2 + (0.737 * 191.19)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 191.10 m.$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ $191.10 m.$

$$\begin{aligned} P(X < 190) &= \phi\left(\frac{190 - 191.710}{0.934397}\right) \\ &= \phi(-1.18) \\ &= 0.119 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_1}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_1} = 0.934397$

$$L = 190 + (1.28 * 0.934397)$$

$$L = 191.19 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{X_2(\phi_{\text{ด้านใน}}) - 50.2}{0.737}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านใน}} = 191.19 \mu\text{m}$.

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{191.19 - 50.2}{0.737} = 191.30 m.$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก คือ $191.30 m$.

$$\begin{aligned} P(X < 190) &= \Phi\left(\frac{190 - 191.30}{0.934397}\right) \\ &= \Phi(-1.39) \\ &= 0.08 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ $191.30 m$. จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0% ขั้นตอนที่ 7 กำหนดหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$LCL = L(\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}} \sigma_{X_1}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $L(\phi_{\text{ด้านนอก}}) = 191.30, Z_\beta = \Phi^{-1}(0.9), n = 4$ และ $\sigma_{X_1} = 0.934397$

$$\begin{aligned} LCL &= 191.30 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 0.934397 \\ &= 191.89 m. \end{aligned}$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_1 และ X_2 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$UCL = 208.20 m.$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$LCL = 191.89 \text{ m}$$

2. แผนภูมิควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ X_4 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 1

2.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - H}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $USL=210$, $Z=1.28(\beta=0.1)$ และ $\sigma_{X_4} = 0.791946$

$$H = 210 - (1.28 * 0.791946)$$

$$H = 208.99 \text{ } \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งขึ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 22.1 + 0.871(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 208.99 \text{ } \mu\text{m}.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 22.1 + (0.871 * 208.99)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 204.13 \text{ m}.$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ $204.13 \text{ m}.$

$$\begin{aligned} P(X > 210) &= 1 - \phi\left(\frac{210 - 204.13}{0.791946}\right) \\ &= 1 - \phi(7.4) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ $204.13 \text{ m}.$ จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$UCL = USL - \left(Z_\gamma + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}}\right) \sigma_{X_4}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$USL = 210, Z_\gamma = \Phi^{-1}(0.9), Z_\beta = \Phi^{-1}(0.9), n = 4 \text{ และ } \sigma_{X_4} = 0.791946$$

$$UCL = 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}}\right) 0.791946 \\ = 208.48 \text{ m.}$$

2.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0% จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $LSL=190, Z=-1.28 (\beta=0.1)$ และ $\sigma_{X_4} = 0.791946$

$$L = 190 + (1.28 * 0.791946)$$

$$L = 191.01 \text{ } \mu\text{m.}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0% สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 22.1 + 0.871(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 191.01 \text{ } \mu\text{m.}$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 22.1 + (0.871 * 191.01)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 188.46 \text{ m.}$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ 188.46 m.

$$P(X < 190) = \Phi\left(\frac{190 - 188.46}{0.791946}\right) \\ = \Phi(1.94) \\ = 0.97$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_4} = 0.791946$

$$L = 190 + (1.28 * 0.791946)$$

$$L = 191.01 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{X_2(\phi_{\text{ด้านใน}}) - 22.1}{0.871}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านใน}} = 191.01 \mu m.$

$$\begin{aligned} Y\phi_{\text{ด้านนอก}} &= \frac{191.01 - 22.1}{0.871} \\ &= 193.92 m. \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก คือ $193.92 m.$

$$\begin{aligned} P(X < 190) &= \phi\left(\frac{190 - 193.92}{0.791946}\right) \\ &= \phi(-4.94) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ $193.92 m.$ จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$LCL = L(\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}} \sigma_{X_4}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $L = 193.92$, $Z_\beta = \phi^{-1}(0.9)$, $n = 4$ และ $\sigma_{X_4} = 0.791946$

$$LCL = 193.92 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 0.791946$$

$$= 194.42 \text{ m.}$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_3 และ X_4 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$UCL = 208.48 \text{ m.}$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$LCL = 194.42 \text{ m}$$

3. แผนภูมิควบคุมตำแหน่งชิ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ X_2 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 2

3.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - H}{\sigma_{X_1}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $USL=210$, $Z=1.28(\beta=0.1)$ และ $\sigma_{X_1} = 2.14181$

$$H = 210 - (1.28 * 2.14181)$$

$$H = 207.26 \text{ } \mu\text{m.}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_h) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์ตำแหน่ง

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 67.6 + 0.628X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 207.26 \text{ } \mu\text{m.}$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 67.6 + (0.628 * 207.26)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 197.75 \text{ m.}$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในคือ 197.75 *m*.

$$\begin{aligned} P(X > 210) &= 1 - \Phi\left(\frac{210 - 197.75}{2.14181}\right) \\ &= 1 - \Phi(5.72) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ 197.75 *m*. จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกจากสูตร

$$UCL = USL - \left(Z_\gamma + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}}\right) \sigma_{X_1}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$\begin{aligned} USL &= 210, Z_\gamma = \Phi^{-1}(0.9), Z_\beta = \Phi^{-1}(0.9), n = 4 \text{ และ } \sigma_{X_1} \\ &= 2.14181 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UCL &= 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}}\right) 2.14181 \\ &= 205.88 \text{ m.} \end{aligned}$$

3.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_1}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ LSL=190, Z=-1.28 ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_1} = 2.14181$

$$\begin{aligned} L &= 190 + (1.28 * 2.14181) \\ L &= 192.74 \text{ } \mu\text{m.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 67.6 + 0.628X_1(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 192.74 \mu\text{m}$.

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 67.6 + (0.628 * 192.74)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 188.64 \text{ m.}$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ 188.64 m.

$$\begin{aligned} P(X < 190) &= \phi\left(\frac{190 - 188.64}{2.14181}\right) \\ &= \phi(0.63) \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_1}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_1} = 2.14181$

$$L = 190 + (1.28 * 2.14181)$$

$$L = 192.74 \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{X_2(\phi_{\text{ด้านใน}}) - 67.6}{0.628}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านใน}} = 192.74 \mu\text{m}$.

$$\begin{aligned} Y\phi_{\text{ด้านนอก}} &= \frac{192.74 - 67.6}{0.628} \\ &= 199.27 \text{ m.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก คือ 199.27 m

$$\begin{aligned} P(X < 190) &= \Phi\left(\frac{190 - 199.27}{2.14181}\right) \\ &= \Phi(-4.33) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ 199.27 m. จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 กำหนดค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก จากสูตร

$$\begin{aligned} LCL &= L(\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}} \sigma_{X_1} \\ \text{แทนค่าในสูตรโดยที่ } L &= 199.27, Z_\beta = \Phi^{-1}0.1, n = 4 \text{ และ } \sigma_{X_1} = 2.14181 \\ LCL &= 199.27 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 2.14181 \\ &= 200.64 \text{ m.} \end{aligned}$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_1 และ X_2 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$UCL = 205.88 \text{ m.}$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$LCL = 200.64 \text{ m}$$

4. แผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ X_4 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 2

4.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - H}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $USL=210$, $Z=1.28(\beta=0.1)$ และ $\sigma_{X_4} = 1.84378$

$$H = 210 - (1.28 * 1.84378)$$

$$H = 207.64 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งจีนงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 87.9 + 0.534X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 207.64 \mu m.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 87.9 + (0.534 * 207.64)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 198.78 m.$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน

คือ $198.78 m.$

$$\begin{aligned} P(X > 210) &= 1 - \phi\left(\frac{210 - 198.78}{1.84378}\right) \\ &= 1 - \phi(6.08) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ $198.78 m.$ จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$UCL = USL - \left(Z_\gamma + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}}\right) \sigma_{X_4}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$\begin{aligned} USL &= 210, Z_\gamma = \phi^{-1}(0.9), Z_\beta = \phi^{-1}(0.9), n = 4 \text{ และ } \sigma_{X_4} \\ &= 1.84378 \end{aligned}$$

$$UCL = 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}}\right) 1.84378$$

$$= 206.46 \text{ m.}$$

4.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_4} = 1.84378$

$$L = 190 + (1.28 * 1.84378)$$

$$L = 192.36 \mu\text{m.}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 87.9 + 0.534X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 192.36 \mu\text{m.}$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 87.9 + (0.534 * 192.36)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 190.62 \text{ m.}$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน

คือ 190.62 m.

$$P(X < 190) = \Phi\left(\frac{190 - 190.62}{1.84378}\right)$$

$$= \Phi(-0.33)$$

$$= 0.37$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - L}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_{X_4} = 1.84378$

$$L = 190 + (1.28 * 1.84378)$$

$$L = 192.36 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{X_2(\phi_{\text{ด้านใน}}) - 87.9}{0.534}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านใน}} = 192.36 \mu m.$

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{192.36 - 87.9}{0.534}$$

$$= 195.62 .$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก คือ $195.62 \mu m.$

$$(< 190) = \left(\frac{190 - 195.62}{1.84378} \right)$$

$$= (-3.04)$$

$$= 0.0012$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ 195.62 . จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 กำหนดหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก

จากสูตร

$$= (\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \sqrt{\sigma_4}$$

$$\begin{aligned}
 \text{แทนค่าในสูตรโดยที่ } &= 195.62, =^{-1}(0.9), = 4 \text{ และ } \sigma_4 = 1.84378 \\
 &= 195.62 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 1.84378 \\
 &= 196.80 .
 \end{aligned}$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_3 และ X_4 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$= 206.46 .$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$= 196.80$$

5. แผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ X_2 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 3

5.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - \mu_H}{\sigma_i}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $USL=210$, $Z=1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_i = 1.68383$

$$= 210 - (1.28 * 1.68383)$$

$$= 207.84 \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\text{ด้านใน}) = 31.5 + 0.825X_1(\text{ด้านนอก})$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 207.84 \mu\text{m}.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 31.5 + (0.825 * 207.84)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 202.97 .$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน

คือ 202.97 .

$$\begin{aligned}
 (> 210) &= 1 - \left(\frac{210 - 202.97}{1.68383} \right) \\
 &= 1 - (4.175) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ 202.97 . จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก จากสูตร

$$= - \left(+ \frac{1}{\sqrt{4}} \right) \sigma_i$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$\begin{aligned}
 &= 210, = -1(0.9), = -1(0.9), = 4 \text{ และ } \sigma_i = 1.68383 \\
 &= 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} \right) 1.68383 \\
 &= 206.76 .
 \end{aligned}$$

5.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \mu_L}{\sigma_i}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ LSL=190, Z=-1.28 ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_i = 1.68383$

$$\begin{aligned}
 &= 190 + (1.28 * 1.68383) \\
 &= 192.16 \mu\text{m}.
 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งขึ้นงาน

$$Y(\text{ด้านใน}) = 31.5 + 0.825X_1(\text{ด้านนอก})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 192.16 \mu\text{m}$.

$$Y(\text{ด้านใน}) = 31.5 + (0.825 * 192.16)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 190.03 .$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ 190.03 .

$$\begin{aligned} P(\bar{X} < 190) &= P\left(\frac{190 - 190.03}{1.68383}\right) \\ &= P(-0.018) \\ &= 0.49 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \mu_L}{\sigma_L}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสูตร โดยที่ } LSL=190, Z=-1.28 (\alpha=0.1) \text{ และ } \sigma_L = 1.68383 \\ = 190 + (1.28 * 1.68383) \\ = 192.16 \mu\text{m.} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_U) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y_{\phi_{\text{ด้านนอก}}} = \frac{2(\phi_{\text{ด้านใน}}) - 31.5}{0.825}$$

$$\text{แทนค่าในสูตร โดยที่ } \phi_{\text{ด้านใน}} = 192.16 \mu\text{m.}$$

$$\begin{aligned} Y_{\phi_{\text{ด้านนอก}}} &= \frac{192.16 - 31.5}{0.825} \\ &= 194.74 . \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก คือ 194.74 .

$$\begin{aligned}
 (< 190) &= \left(\frac{190 - 194.74}{1.68383} \right) \\
 &= (-2.81) \\
 &= 0.002
 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ 194.74 . จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก จากสูตร

$$\begin{aligned}
 &= (\bar{X}_{\text{ด้านนอก}}) + \sqrt{C_4} \sigma_1 \\
 \text{แทนค่าในสูตรโดยที่ } &= 194.74, =^{-1}(0.9), = 4 \text{ และ } \sigma_1 = 1.68383 \\
 &= 194.74 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 1.68383 \\
 &= 195.81 .
 \end{aligned}$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_1 และ X_2 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$= 206.76 .$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$= 195.81$$

6. แผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ X_4 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 3

6.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - \mu_H}{\sigma_4}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $USL=210$, $Z=1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_4 = 1.84802$

$$= 210 - (1.28 * 1.84802)$$

$$= 207.63 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0% สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\text{ด้านใน}) = -26.5 + 1.09X_4(\text{ด้านนอก})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 207.63 \mu m.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = -26.5 + (1.09 * 207.63)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 199.82 .$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ 199.82 .

$$(> 210) = 1 - \left(\frac{210 - 199.82}{1.84802} \right)$$

$$= 1 - (5.50)$$

$$= 0$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ 199.82 . จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก จากสูตร

$$= - \left(+ \frac{1}{\sqrt{4}} \right) \sigma_4$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$= 210, = -1(0.9), = -1(0.9), = 4 \text{ และ } \sigma_4 = 1.84802$$

$$= 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} \right) 1.84802$$

$$= 206.45 .$$

6.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \bar{X}}{\sigma_4}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_4 = 1.84802$

$$= 190 + (1.28 * 1.84802)$$

$$= 192.36 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0% สมการความสัมพันธ์แท่งขึ้นงาน

$$Y(\text{ด้านใน}) = -26.5 + 1.09X_4(\text{ด้านนอก})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 192.36 \mu m.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = -26.5 + (1.09 * 192.36)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 183.17 .$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ 183.17 .

$$P(Z < -1.28) = \left(\frac{190 - 183.17}{1.84802} \right)$$

$$= (3.69)$$

$$= 0.99$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \bar{X}}{\sigma_4}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_4 = 1.84802$

$$= 190 + (1.28 * 1.84802)$$

$$= 192.36 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y\phi_{\text{ด้านนอก}} = \frac{{}_2(\phi_{\text{ด้านใน}}) + 26.5}{1.09}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านใน}} = 194.64 \mu\text{m}$.

$$\begin{aligned} Y\phi_{\text{ด้านนอก}} &= \frac{192.36 + 26.5}{1.09} \\ &= 200.79 . \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกคือ 200.79 .

$$\begin{aligned} (< 190) &= \left(\frac{190 - 200.79}{1.84802} \right) \\ &= (-5.79) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ 200.79 . จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกจากสูตร

$$= (\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \frac{-\sigma_4}{\sqrt{4}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $= 200.79, = {}^{-1}(0.9), = 4$ และ $\sigma_4 = 1.84802$

$$\begin{aligned} &= 200.79 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 1.84802 \\ &= 201.97 . \end{aligned}$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_3 และ X_4 โดยที่สามารถขอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$= 206.45 .$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$= 201.97$$

7. แผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานตำแหน่ง X_1 กับ X_2 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 4

7.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - \mu_H}{\sigma_I}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $USL=210$, $Z=1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_I = 2.24807$

$$= 210 - (1.28 * 2.24807)$$

$$= 207.12 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$(\text{ด้านใน}) = 114 + 0.394_I(\text{ด้านนอก})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 207.12 \mu m.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 114 + (0.394 * 207.12)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 195.61 .$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน

คือ 195.61 .

$$(> 210) = 1 - \left(\frac{210 - 195.61}{2.2487} \right)$$

$$= 1 - (6.4)$$

$$= 0$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ 195.61 จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$= - \left(+ \frac{1}{\sqrt{4}} \right) \sigma_i$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$= 210, = {}^{-1}(0.9), = {}^{-1}(0.9), = 4 \text{ และ } \sigma_i = 2.24807$$

$$= 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} \right) 2.24807$$

$$= 205.68 .$$

7.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \mu_L}{\sigma_i}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ LSL=190, Z=-1.28 ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_i = 2.24807$

$$= 190 + (1.28 * 2.24807)$$

$$= 192.88 \text{ } \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งจิ้งจอก

$$(\text{ด้านใน}) = 114 + 0.394_i(\text{ด้านนอก})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 192.88 \text{ } \mu\text{m}.$

$$Y(\text{ด้านใน}) = 114 + (0.394 * 192.88)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 190.00 .$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่โอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน

คือ 190.00.

$$(< 190) = \left(\frac{190 - 190.00}{2.24807} \right)$$

$$= (0)$$

$$= 0.50$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \mu_L}{\sigma_L}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\alpha=0.1$) และ $\sigma_L = 2.24807$

$$= 190 + (1.28 * 2.24807)$$

$$= 192.88 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_U) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y\phi_{ด้านนอก} = \frac{2(\phi_{ด้านใน}) - 114}{0.394}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{ด้านใน} = 192.88 \mu m.$

$$Y\phi_{ด้านนอก} = \frac{192.88 - 114}{0.394}$$

$$= 200.20 .$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกคือ 200.20 .

$$(< 190) = \left(\frac{190 - 200.20}{3.71} \right)$$

$$= (-4.54)$$

$$= 0$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ 200.20 . จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

จากสูตร

$$= (\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \sqrt{\sigma_1}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $= 200.20, = {}^{-1}(0.9), = 4$ และ $\sigma_1 = 2.24807$

$$= 200.20 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 2.24807$$

$$= 201.64 .$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_1 และ X_2 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$= 205.68 .$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$= 201.64$$

8. แผนภูมิควบคุมแท่งชิ้นงานตำแหน่ง X_3 กับ X_4 ของเครื่องจักรเครื่องที่ 4

8.1 การออกแบบขอบเขตควบคุมบน (UCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{USL - \mu_H}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $USL=210, Z=1.28(\beta=0.1)$ และ $\sigma_{X_4} = 1.6342$

$$\mu_H = 210 - (1.28 * 1.6342)$$

$$\mu_H = 207.90 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_H) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 52.7 + 0.715X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 207.90 \mu\text{m}$.

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 52.7 + (0.715 * 207.90)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 201.35 \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน คือ $201.35 \mu\text{m}$.

$$\begin{aligned} P(X > 210) &= 1 - \phi\left(\frac{210 - 201.35}{1.6342}\right) \\ &= 1 - \phi(5.29) \\ &= 0 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในมีค่าสูงสุดที่ $201.35 \mu\text{m}$. จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมบน (UCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก จากสูตร

$$UCL = USL - \left(Z_\gamma + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}}\right) \sigma_{X_4}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่

$$\begin{aligned} USL &= 210, Z_\gamma = \phi^{-1}(0.9), Z_\beta = \phi^{-1}(0.9), n = 4 \text{ และ } \sigma_{X_4} \\ &= 1.6342 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UCL &= 210 - \left(1.28 + \frac{1.28}{\sqrt{4}}\right) 1.6342 \\ &= 206.86 \mu\text{m}. \end{aligned}$$

8.2 การออกแบบขอบเขตล่าง (LCL)

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \mu_L}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_4} = 1.6342$

$$\mu_L = 190 + (1.28 * 1.6342)$$

$$\mu_L = 192.09 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

สมการความสัมพันธ์แท่งชิ้นงาน

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 52.7 + 0.715X_4(\phi_{\text{ด้านนอก}})$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $\phi_{\text{ด้านนอก}} = 192.09 \mu m.$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 52.7 + (0.715 * 194.61)$$

$$Y(\phi_{\text{ด้านใน}}) = 192.09 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน
คือ $192.09 \mu m.$

$$\begin{aligned} P(X < 190) &= \Phi\left(\frac{190 - 192.09}{1.6342}\right) \\ &= \Phi(-0.024) \\ &= 0.49 \end{aligned}$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียมากกว่า 10 % ดังนั้นต้องคำนวณหาค่าเส้นผ่าน
ศูนย์กลางแบบย้อนกลับคือคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านในก่อนแล้วจึงคำนวณเส้นผ่าน
ศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านใน (μ_L) ยอมรับของเสียที่ 10.0%

จากสูตร

$$Z = \frac{LSL - \mu_L}{\sigma_{X_4}}$$

แทนค่าในสูตรโดยที่ $LSL=190$, $Z=-1.28$ ($\beta=0.1$) และ $\sigma_{X_4} = 1.6342$

$$\mu_L = 190 + (1.28 * 1.6342)$$

$$\mu_L = 192.09 \mu m.$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μ_L) ขอมรับของเสียที่ 10.0% จากสมการย้อนกลับดังนี้

$$Y_{\phi_{\text{ด้านนอก}}} = \frac{X_2(\phi_{\text{ด้านใน}}) - 52.7}{0.715}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\phi_{\text{ด้านใน}} = 192.09 \mu\text{m}$.

$$Y_{\phi_{\text{ด้านนอก}}} = \frac{192.09 - 52.7}{0.715}$$

$$= 194.95 \mu\text{m}.$$

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อค่าต่ำสุดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก คือ $194.95 \mu\text{m}$.

$$P(X < 190) = \Phi\left(\frac{190 - 194.95}{1.6342}\right)$$

$$= \Phi(-3.03)$$

$$= 0.0001$$

จากการตรวจสอบพบว่าโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10 % ดังนั้นเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกมีค่าต่ำสุดที่ $194.95 \mu\text{m}$. จะมีโอกาสเกิดของเสียน้อยกว่า 10.0%

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมล่าง (LCL) ของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก จากสูตร

$$LCL = \mu_L(\phi_{\text{ด้านนอก}}) + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}} \sigma_{X_4}$$

แทนค่าในสูตร โดยที่ $\mu_L = 194.95$, $Z_\beta = \Phi^{-1}(0.9)$, $n = 4$ และ $\sigma_{X_4} = 1.6342$

$$LCL = 194.95 + \frac{1.28}{\sqrt{4}} 1.6342$$

$$= 196.00 \mu\text{m}.$$

จากการออกแบบหาค่าขอบเขตควบคุมบนและขอบเขตควบคุมล่างของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกเพื่อควบคุมตำแหน่งชิ้นงานด้าน X_3 และ X_4 โดยที่สามารถยอมรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ 10.0 % สรุปได้ดังนี้

ขอบเขตควบคุมบน

$$UCL = 206.86 \mu m.$$

ขอบเขตควบคุมล่าง

$$LCL = 196.00 \mu m$$

ในการออกแบบแผนภูมิควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอกและด้านในของแท่งขึ้นงานจากเครื่องจักรทั้งหมด จำนวน 4 เครื่องสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ขอบเขตควบคุมค่าสูงสุดและต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางตำแหน่งด้านนอก (μm)

Machine	ควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง(X_1, X_2)		ควบคุมแท่งขึ้นงานตำแหน่ง(X_3, X_4)	
Machine 1	UCL = 208.20	μ_H = 208.80	UCL = 208.48	μ_H = 208.99
	LCL = 191.89	μ_L = 191.30	LCL = 194.42	μ_L = 193.92
Machine 2	UCL = 205.88	μ_H = 207.26	UCL = 206.46	μ_H = 207.64
	LCL = 200.64	μ_L = 199.27	LCL = 196.80	μ_L = 195.62
Machine 3	UCL = 206.76	μ_H = 207.84	UCL = 206.45	μ_H = 207.63
	LCL = 195.81	μ_L = 194.74	LCL = 201.97	μ_L = 192.36
Machine 4	UCL = 205.68	μ_H = 207.12	UCL = 206.86	μ_H = 207.90
	LCL = 201.64	μ_L = 200.20	LCL = 196.00	μ_L = 194.95

4.1.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำแผนภูมิควบคุมไปใช้กับข้อมูลในอดีต

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนภูมิควบคุมขนาดสั้นผ่านศูนย์กลางแท่งจีนงานดังตารางที่ 4.28 ได้นำแผนภูมิควบคุมดังกล่าวไปทำทดสอบใช้กับข้อมูลในอดีตโดยนำข้อมูลการผลิตในอดีตที่เกิดของเสียมากกว่า 10.0% จากเครื่องจักรทั้ง 4 เครื่อง มาใช้กับแผนภูมิควบคุมที่ทำการออกแบบเพื่อตรวจสอบว่าแผนภูมิควบคุมที่ออกแบบสามารถตรวจสอบพบความผิดปกติหรือไม่เมื่อการผลิตนั้นมีความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถแสดงผลตามตารางที่ 4.29 (กระบวนการผลิตปกติ พบของเสียน้อยกว่า 10.0% และกระบวนการผลิตแบบผิดปกติคือพบของเสียมากกว่า 10.0%)

ตารางที่ 4.29 ประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมในการตรวจจับกระบวนการผลิตผิดปกติในอดีต

Machine	กระบวนการผลิตที่ผิดปกติ (Lot)	ตรวจพบความผิดปกติ (Lot)	ประสิทธิภาพ (%)
Machine 1	20	20	100.0%
Machine 2	20	20	100.0%
Machine 3	20	20	100.0%
Machine 4	20	20	100.0%

จากผลในตารางที่ 4.29 นั้นทำให้เราทราบว่าแผนภูมิควบคุมที่เราออกแบบนั้นเมื่อนำไปใช้ควบคุมกระบวนการผลิตที่ผิดปกติจำนวน 20 Lot เราจะสามารถตรวจพบความผิดปกติจากการใช้แผนภูมิควบคุมทั้งหมด 20 lot โดยมีประสิทธิภาพในการตรวจจับอยู่ที่ 100 %

ดังนั้นเราจะนำแผนภูมิควบคุมที่ได้จากการออกแบบนี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

4.2 ผลของการนำแผนภูมิควบคุมไปประยุกต์ใช้

หลังจากที่เราได้ออกแบบแผนภูมิควบคุมและตรวจสอบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมแล้ว ทางผู้วิจัยได้นำแผนภูมิควบคุมไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตแท่งชิ้นงานที่ผลิตจากเครื่องจักรทั้ง 4 เครื่องเป็นระยะเวลา 1 เดือนเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพและจำนวน Lot ที่ผิดปกติในการนำแผนภูมิควบคุมไปใช้ซึ่งแสดงผลตามตารางที่ 4.30 และ 4.31

ตารางที่ 4.30 ผลการนำแผนภูมิควบคุมไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต

Machine	Input (Pcs)	Out Spec (Pcs)		Yield (%)
		Big	Small	
Machine 1	103,018	891	1,907	97.3%
Machine 2	113,048	46	3,425	96.9%
Machine 3	120,835	2,236	2,701	95.9%
Machine 4	113,819	2,962	5,534	92.5%
Average	112,696	1,534	3,392	95.6%
Total	450,738	6,135	13,567	95.6%

ตารางที่ 4.31 จำนวน Lot ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผิดปกติ (ของเสียมากกว่า 10.0%)

Machine	Input (lot)	ผิดปกติ (Lot)	ผิดปกติ (%)
Machine 1	91	9	9.9%
Machine 2	78	6	7.7%
Machine 3	100	16	16.0%
Machine 4	80	23	28.8%
Average	87.25	13.5	15.5%
Total	349	54	15.5%