

## บทที่ 4 การดำเนินโครงการ

### 4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินการแก้ไขปัญหา axial play low ในกระบวนการประกอบ โรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์รุ่น DD โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการวัดของผู้ที่ทำการตรวจสอบชิ้นงาน ทั้งนี้มีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของกระบวนการ และการวิเคราะห์สาเหตุของอาการ axial play low การหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการกดละเอียด การหามาตรการตอบโต้ของปัญหาโดยการนำค่าที่ได้ไปใช้ในกระบวนการกดละเอียด ยืนยันผลการพิสูจน์สาเหตุและการวางแผนการควบคุม รวมถึงการจัดทำมาตรฐานการทำงาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดดังต่อไปนี้

#### 1. การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดเช่นผู้ทำการวัดเครื่องมือวัด ชิ้นงานที่ทำการวัดและวิธีการวัดโดยอ้างอิงขั้นตอนในการทดสอบกระบวนการวัดจากกระบวนการวัดค่า axial play ในกระบวนการประกอบ โรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์รุ่น DD

#### 2. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้อาศัยความรู้เฉพาะทางและเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (intrinsic technology) ในการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์รุ่น DD จากนั้นจึงนำเสนอด้วยเทคนิคแผนภาพสาเหตุและผล (cause and effect diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (fishbone diagram)

#### 3. การพิสูจน์สาเหตุ

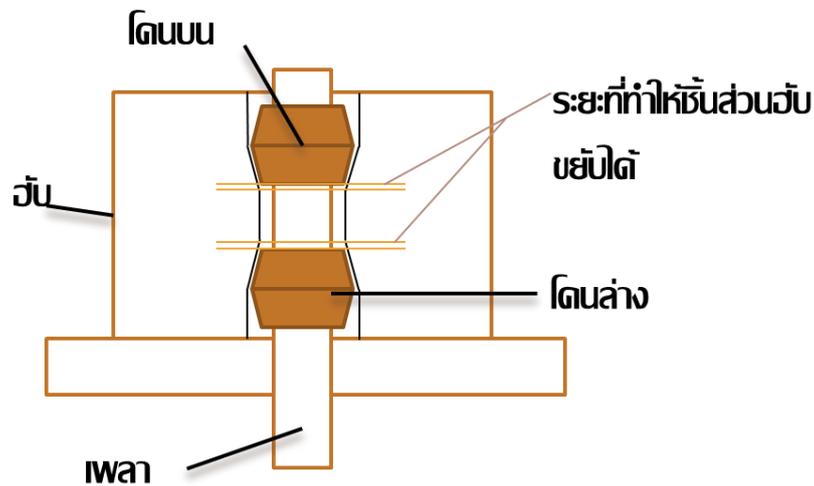
ในการพิสูจน์สาเหตุเป็นการนำปัจจัยที่มีโอกาสเป็นสาเหตุของการปรับปรุง axial play low มาทำการเก็บข้อมูลเพื่อพิสูจน์โดยอาศัยกลวิธีทางทางสถิติ ในการพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุ

#### 4. การยืนยันผลการพิสูจน์สาเหตุของปัญหา

จากการพิสูจน์สาเหตุของปัญหาแล้วทำให้ทราบค่าที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหา ดังนั้นแล้วผู้วิจัยจึงเก็บผลเพื่อยืนยันว่าเมื่อปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยแล้วจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนด axial play low ลดลง และหลังจากนั้นจึงจัดทำเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานต่อไป

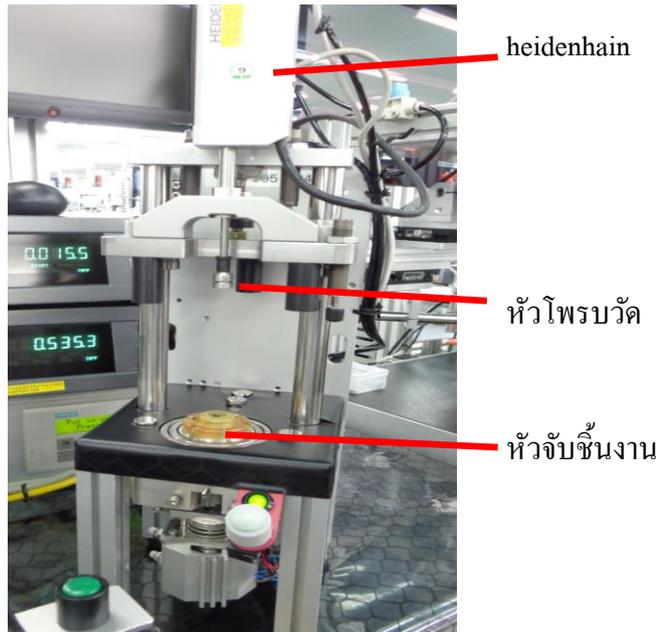
### 4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ระบบการวัดเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งก่อให้เกิดความผันแปรต่อค่าวัด ถ้าความผันแปรที่วัดได้จริงมาจากระบบการวัดมากเกินไปอาจส่งผลให้สรุปปัญหาผิดว่ากระบวนการมีความผันแปรสูงทั้งที่จริงๆแล้วไม่ได้เป็นเช่นนั้น ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด เช่น พนักงาน เครื่องมือวัด ชิ้นงานที่ทำการวัดและวิธีการวัด ใน การที่จะนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติหรือการทดสอบสมมติฐานนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบการวัดให้มีประสิทธิผลเพียงพอแก่การยอมรับทางสถิติเสียก่อน เพื่อลดความผันแปรของระบบให้มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตเท่านั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์กระบวนการได้



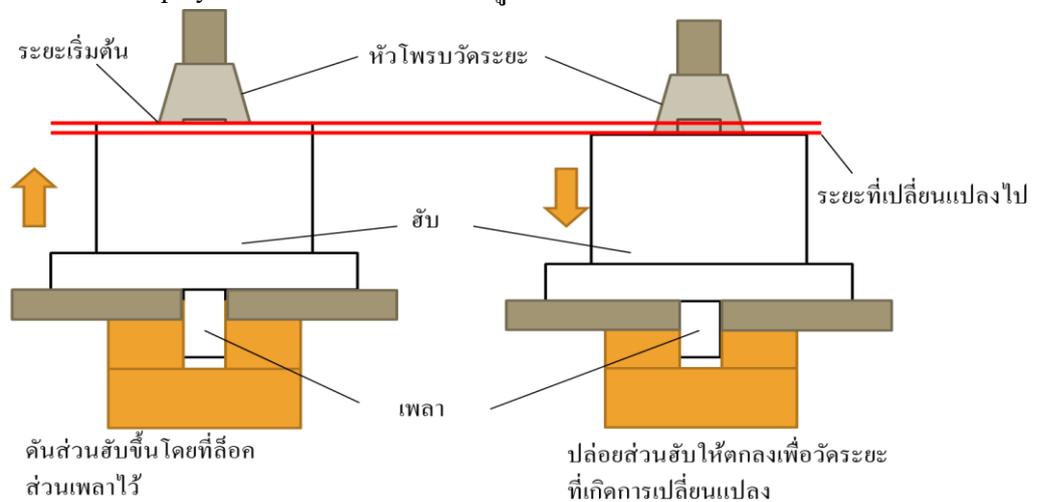
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งที่ทำให้เกิดการ axial play

axial play คือการขยับของชิ้นงานส่วนฮับในแนวแกน Y เป็นผลมาจากชุดโคน (โคนล่างและ โคนบน) ที่อยู่ภายในที่มีพื้นที่ว่างเหลืออยู่จึงทำให้มีการขยับขึ้นลงตามแนวแกนได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งข้อกำหนดของรุ่นผลิตภัณฑ์นี้ชิ้นงานสามารถขยับในแนวแกน Y ได้เป็นระยะ 12-17 ไมโครเมตร โดยการเก็บข้อมูลวัดซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า axial play tester ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่องมือในการวัดค่า axial play( axial play tester)

เนื่องจากการใช้ axial play tester ในการตรวจสอบชิ้นงานเปรียบเสมือนการใช้เครื่องมือในการคัดแยกชิ้นงานซึ่งไม่ใช่การใช้ความรู้สึกหรือสายตาพนักงานวัดโดยตรง ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงเป็นลักษณะตัวเลขและวิธีการให้ได้มาซึ่งตัวเลขนั้นมาจากความต้องการทราบระยะที่ชิ้นงานฮับขยับได้ แต่เมื่อมีการประกอบชิ้นส่วนฮับ โคนและเพลาลงเข้าด้วยกันแล้วทำให้ไม่สามารถวัดระยะของชุดโคนที่เหลืออยู่ได้(ระยะที่ทำให้ชิ้นงานขยับซึ่งอยู่ภายในชิ้นงาน) ทำให้เกิดแนวคิดว่าเป็นระยะขยับ แสดงว่าย่อมมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเกิดขึ้น หากมีการระบุตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้นแล้วปล่อยให้ชิ้นงานขยับไปตามระยะที่สามารถขยับได้แล้วทำการวัดระยะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นจะทำให้สามารถทราบค่า axial play หรือระยะขยับที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจากแนวคิดของการวัดระยะขยับตรงนี้ทำให้ได้หลักการการทำงานของเครื่อง axial play tester ออกมาดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลักษณะการวัดค่า axial play ของเครื่อง axial play tester

ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานโดยนำชิ้นงาน โรเตอร์มาวางบนตำแหน่งจับยึดของเครื่อง axial play tester และกดปุ่มเริ่มที่เครื่อง axial play tester หัวจับด้านล่างจะดันส่วนฮับขึ้นไปจนสุด จากนั้นหัวโพรบของเครื่องจะขยับลงมาเพื่อจับส่วนบนของฮับไว้และตัวยึดที่ดันชิ้นงานอยู่จะลดลงและปล่อยให้ฮับตกลงมา ระยะเวลาที่เกิดเปลี่ยนแปลงจากการตกนี้จะไปแสดงบนเกจวัดของเครื่อง axial play tester ที่ค่าๆ หนึ่งซึ่งค่าวัดนี้จะอ่านค่าของหัวโพรบที่มีการขยับไปตามชิ้นงานฮับที่ขยับไป ทำให้ได้ค่า axial play หรือระยะขยับมา ถ้าหากค่าวัดดังกล่าวมีขนาดอยู่ในช่วง 12-17 ไมโครเมตร ถือว่าเป็นชิ้นงานที่ดี แต่ถ้ามีขนาดต่ำกว่า 12 ไมโครเมตร ลงไปแสดงว่าเป็นชิ้นงานเกิดอาการ axial play low เพราะว่าชิ้นงานนี้ไม่สามารถขยับในแนวแกนได้ตามข้อกำหนดที่ตั้งไว้ซึ่งอาการ axial play low นี้เป็นหัวข้อปัญหาที่จะทำการศึกษาต่อไป

ขั้นตอนการการศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลตัวเลขในการประเมินผลระบบการวัดหรือการตรวจสอบในระยะสั้น มีวิธีการดังนี้

1. ทำการเลือกชิ้นงานจากกระบวนการผลิตประจำวัน ขึ้นมาจำนวน 10 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็น ชิ้นงานดี 6 ชิ้น และชิ้นงานเสีย 4 ชิ้น ดังตารางที่ 4.1
  - ชิ้นงานที่ดีมีค่าการขยับในแนวแกน Y อยู่ในช่วง 12-17 ไมโครเมตร
  - ชิ้นงานที่เสีย มีค่าการขยับในแนวแกน Y ต่ำกว่า 12 ไมโครเมตร

ตารางที่ 4.1 ค่าชิ้นงานสำหรับตรวจสอบระบบการวัด

ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าจริง	12	12.5	14	16	16.5	17	11	11.5	10	9

2. ทำการเลือกพนักงาน 2 คน จากพนักงานปกติ 2 คนจากแผนกผลิต ซึ่งเป็นพนักงานที่รับผิดชอบในการตรวจสอบชิ้นงานจากกระบวนการประกอบโรเตอร์และผ่านการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือวัดมาแล้ว
3. กำหนดชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น และจำนวนในการทดสอบซ้ำและสุ่มชิ้นงานตัวอย่าง คนละ 2 ซ้ำ โดยการกำหนดชิ้นงานตัวอย่างอ้างอิงข้อมูลจาก เรื่องการประเมินผลระบบการวัด (MSE) และทดสอบในสถานที่จริงด้วยเวลาการตัดสินใจใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง

4. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.4

5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

ตารางที่ 4.2 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด

run order	parts	operators	axial play		run order	parts	operators	axial play
1	5	1	16.5		21	7	1	12
2	8	1	12.3		22	9	1	11.5
3	7	1	11.8		23	4	1	17.1
4	2	1	13.2		24	8	1	11.8
5	3	1	15.4		25	3	1	15.6
6	4	1	17.3		26	1	1	12.4
7	10	1	10.1		27	10	1	9.9
8	9	1	11.8		28	6	1	18.4
9	6	1	17.9		29	2	1	13.9
10	1	1	12.3		30	5	1	16.6
11	8	2	12.2		31	1	2	12.4
12	5	2	16.4		32	5	2	16.4
13	2	2	14		33	7	2	11.6
14	3	2	15.7		34	8	2	12.2
15	10	2	10.1		35	3	2	15.9
16	6	2	18.3		36	6	2	17.8
17	7	2	11.9		37	9	2	11.8
18	4	2	17.2		38	2	2	13.8
19	1	2	12.4		39	10	2	9.9
20	9	2	11.2		40	4	2	17

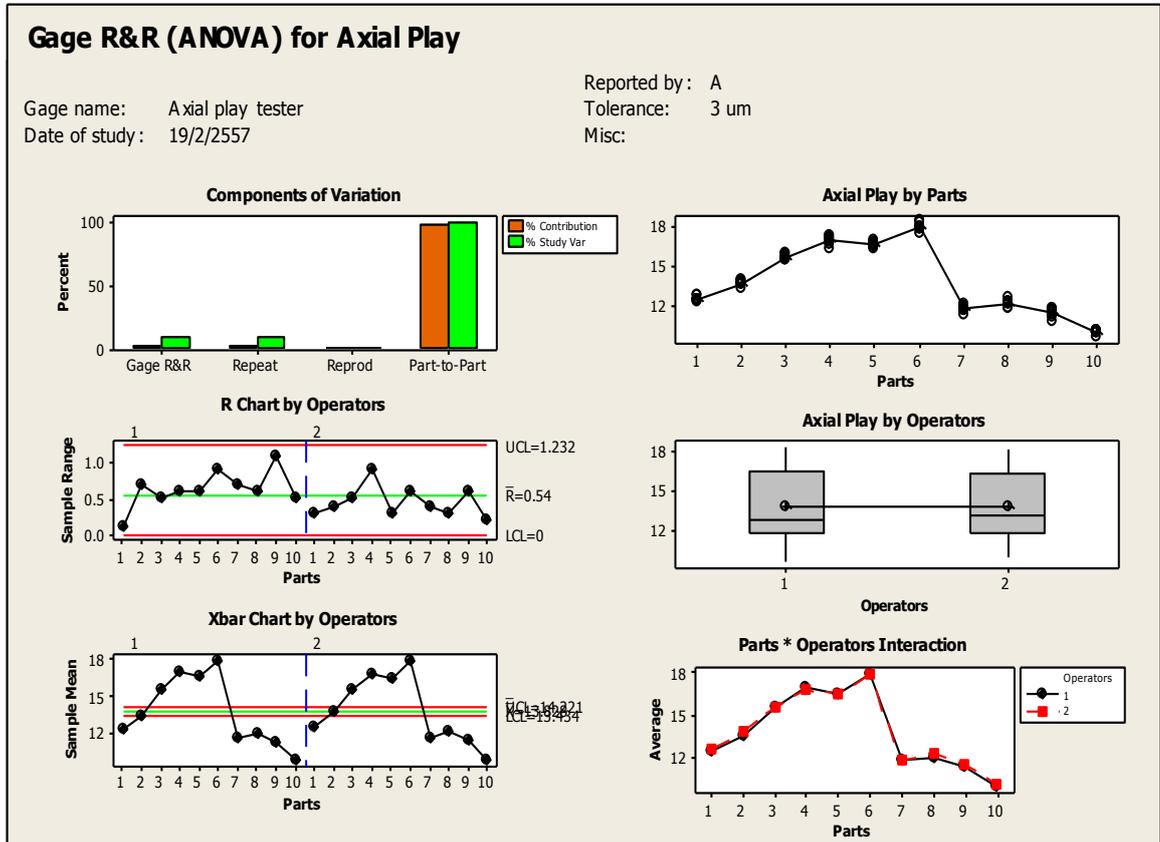
ตารางที่ 4.2 แผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด(ต่อ)

run order	parts	operators	axial play		run order	parts	operators	axial play
41	3	1	15.6		61	8	1	12.1
42	1	1	12.4		62	9	1	11.1
43	8	1	11.7		63	1	1	12.3
44	9	1	10.7		64	7	1	11.8
45	7	1	11.3		65	4	1	16.7
46	5	1	16.3		66	2	1	13.6
47	10	1	9.9		67	5	1	16.9
48	2	1	13.5		68	10	1	9.6
49	4	1	17.1		69	3	1	15.9
50	6	1	17.5		70	6	1	18
51	2	2	13.6		71	7	2	11.5
52	10	2	10		72	3	2	15.4
53	1	2	12.7		73	2	2	13.7
54	7	2	11.9		74	9	2	11.6
55	8	2	12.5		75	6	2	17.8
56	9	2	11.5		76	5	2	16.5
57	4	2	16.3		77	10	2	9.9
58	5	2	16.7		78	8	2	12.2
59	6	2	17.7		79	4	2	16.6
60	3	2	15.4		80	1	2	12.7

หลังจากดำเนินการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 4.2 แล้วจึงนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด โดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการวัดจากรูปที่ 4.4 ดังนี้

- พิจารณาจากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดค่า axial play มีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี โดยจากแผนภูมิพบว่าค่าวัดจากพนักงานคนที่ 1 มีความแตกต่างมากกว่าค่าวัดจากพนักงานคนที่ 2 และค่าพิสัยแต่ละค่ายังมีความสม่ำเสมอ
- พิจารณาจากแผนภูมิ X-Bar พบว่าความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการผลิต

- พิจารณาจากแผนภูมิแสดงอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานซึ่งจากแผนภูมิพบว่าไม่มีเส้นกราฟที่ตัดกันแสดงว่าระบบการวัดไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน



รูปที่ 4.4 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์แบบกราฟิกสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ทั้ง 3 ประเด็น ดังนั้นแล้วจึงสามารถวิเคราะห์ต่อในส่วนของ session ได้ ซึ่งส่วนหลักคือ ndc, MSE และ MSA จากการวิเคราะห์และประเมินสมบัตินด้านความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธี ANOVA ได้ผลดังรูปที่ 4.5 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- พิจารณาค่า ndc มีค่าเท่ากับ 14 แสดงว่าระบบการวัดค่า axial play มีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 14 ประเภทที่มีความแตกต่างกันแสดงว่าข้อมูลที่วัดได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้
- พิจารณา % study variation พบว่าถ้าความผันแปรจากกระบวนการมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย<sup>2</sup> แล้วความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตจะมีค่าเท่ากับ 99.55 หน่วย<sup>2</sup> และมีความ

ผันแปรจากที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัด 9.45 หน่วย<sup>2</sup> ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพได้

ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้วพบว่า ระบบการวัดที่จะทำได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในโครงการวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำมาใช้ทำการวัดในโครงการวิจัยนี้ได้

<b>Gage R&amp;R for Axial Play</b>						
<b>Gage R&amp;R Study - ANOVA Method</b>						
<b>Two-Way ANOVA Table With Interaction</b>						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Parts	9	537.625	59.7361	910.456	0.000	
Operators	1	0.085	0.0845	1.288	0.286	
Parts * Operators	9	0.591	0.0656	0.979	0.466	
Repeatability	60	4.020	0.0670			
Total	79	542.319				
Alpha to remove interaction term = 0.25						
<b>Two-Way ANOVA Table Without Interaction</b>						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Parts	9	537.625	59.7361	894.000	0.000	
Operators	1	0.085	0.0845	1.265	0.265	
Repeatability	69	4.610	0.0668			
Total	79	542.319				
<b>Gage R&amp;R</b>						
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)				
Total Gage R&R	0.06726	0.89				
Repeatability	0.06682	0.89				
Reproducibility	0.00044	0.01				
Operators	0.00044	0.01				
Part-To-Part	7.45865	99.11				
Total Variation	7.52592	100.00				
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)			
Total Gage R&R	0.25935	1.5561	9.45			
Repeatability	0.25849	1.5510	9.42			
Reproducibility	0.02102	0.1261	0.77			
Operators	0.02102	0.1261	0.77			
Part-To-Part	2.73105	16.3863	99.55			
Total Variation	2.74334	16.4600	100.00			
Number of Distinct Categories = 14						

รูปที่ 4.5 ผลจากการประมวลด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

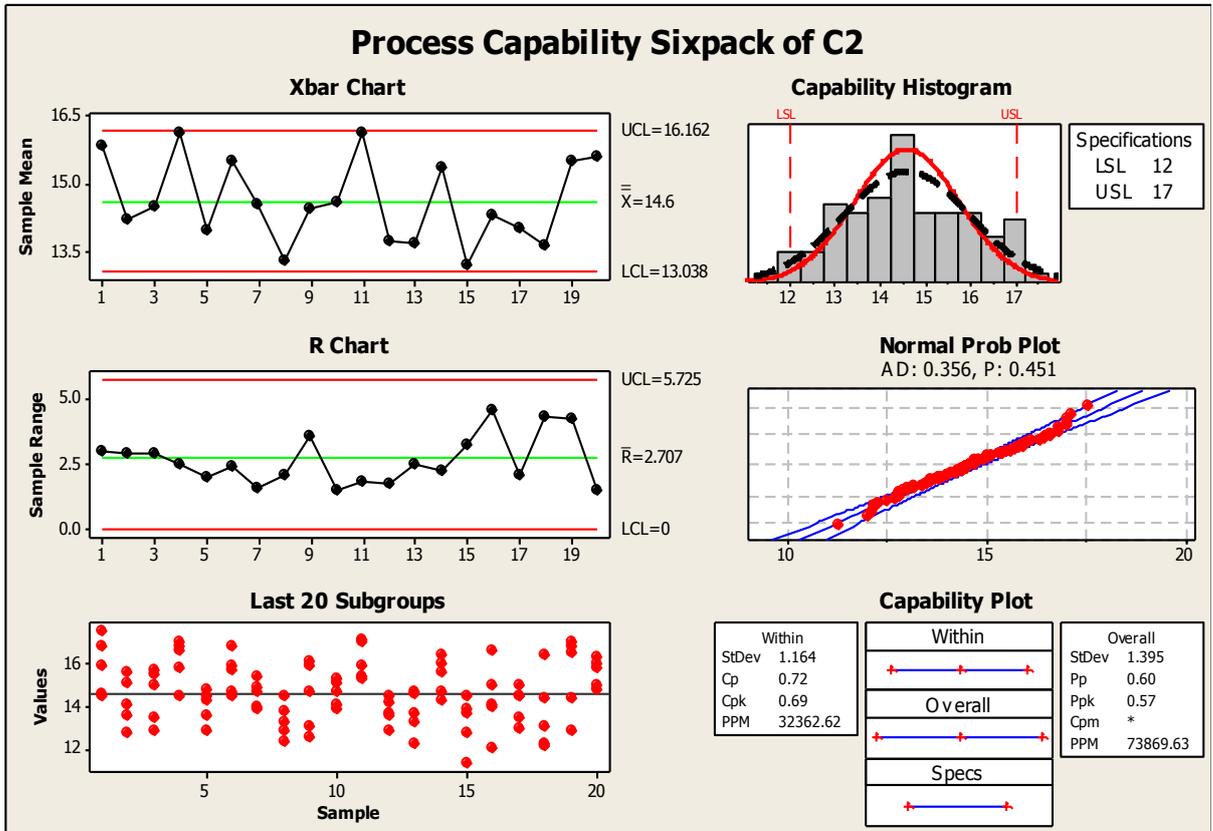
### 4.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

หลังจากที่ยืนยันว่าระบบการวัดมีความสามารถเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ โดยทำการศึกษาผ่านค่าดัชนีสำหรับการประเมินค่าความสามารถกระบวนการ ได้แก่ ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการที่สะท้อนถึงความผันแปรที่กระบวนการควรจะได้และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการที่สะท้อนถึงความผันแปรที่กระบวนการทำได้จริง เพื่อดูความผันแปรระยะสั้นที่บ่งบอกถึงค่าเซตตั้งหรือความผันแปรภายในกลุ่มและความผันแปรระยะยาวที่บ่งบอกถึงการควบคุมกระบวนการหรือความผันแปรระหว่างกลุ่ม ซึ่งในกรณีนี้ความผันแปรภายในกลุ่มมีแหล่งความผันแปรมาจากค่าเซตตั้งของเครื่องจักร และความผันแปรระหว่างกลุ่มมีแหล่งความผันแปรมาจากชิ้นงานที่เปลี่ยนล็อตที่มีการผลิต โดยเก็บข้อมูลจากการทำการผลิตจริงและควรเก็บข้อมูลให้มากพอที่จะครอบคลุมแหล่งความผันแปรมาทั้งหมดซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลมา 21 กลุ่มจากกระบวนการผลิตจริง โดยแต่ละกลุ่มเป็นการเก็บข้อมูลค่า axial play ของโรเตอร์ที่ประกอบจากวัสดุในล็อตที่แตกต่างกันทั้งหมด 21 ล็อต (21 กลุ่มย่อย) และโรเตอร์ที่ประกอบจากวัสดุในแต่ละล็อตจะมีการเก็บข้อมูลค่า axial play มา 5 ค่าจากชิ้นงานโรเตอร์ 5 ชิ้นที่ประกอบจากวัสดุในล็อตเดียวกันซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลวันละ 3 ล็อตที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาความสามารถของกระบวนการนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลค่า axial play มา ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลค่า axial play ของชิ้นงาน โรเตอร์ที่มาจากวัสดุ 21 ลอต

ตัวที่ ลอตที่	1	2	3	4	5
1	15.9	14.5	17.5	14.6	16.8
2	14	13.5	15.6	15.1	12.7
3	15.7	15	12.8	15.5	13.4
4	15.8	17	16.8	16.6	14.5
5	12.8	14.8	14.2	14.5	13.5
6	16.8	14.4	15.7	14.7	15.9
7	14.7	13.9	13.8	15.4	14.9
8	13.2	13.7	14.4	12.8	12.3
9	13	15.9	14.7	12.5	16.1
10	13.8	14.7	14	15.3	15.1
11	17	15.4	15.9	17.1	15.3
12	13.6	14.1	13.5	12.8	14.5
13	14.7	12.2	13.2	14.6	13.6
14	16	14.2	15.6	16.4	14.7
15	13.8	13.6	12.7	14.5	11.3
16	15	12	16.6	13.9	14
17	15	12	16.6	13.9	14
18	14.4	13.4	15	12.9	14.4
19	12.1	16.4	14.3	12.2	13
20	16.5	14.3	12.8	16.8	17
21	16.3	16	14.8	15	15.8

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ(ก่อนปรับปรุง)

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์พบว่าความผันแปรของข้อมูลมีความสม่ำเสมอเมื่อพิจารณาจาก R Chart และอยู่ภายใต้การควบคุมเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิ X-bar และพบว่าความผันแปรที่กระบวนการควรทำได้ (Cp) มีค่าเท่ากับ 0.72 ในขณะที่ความผันแปรที่กระบวนการทำได้จริง (Cpk) มีค่าเท่ากับ 0.69 แสดงว่าค่าเซตตั้งที่ใช้ในกระบวนการ ณ ปัจจุบันส่งผลต่อความผันแปรของค่า axial play ของชิ้นงาน โรเตอร์อยู่ค่อนข้างมากจึงควรมีการปรับค่าเซตตั้งให้มีความเหมาะสมกับกระบวนการมากขึ้น เพื่อลดความผันแปรที่เกิดเพราะความผันแปรที่ศึกษาระยะสั้นในที่นี้คือค่าเซตตั้งอีกทั้งค่า Cp ยังถือว่ามีค่าที่ต่ำอยู่จึงควรทำการปรับปรุงกระบวนการให้มีค่า Cp ที่สูงขึ้นก่อนและเมื่อพิจารณาไปถึงการศึกษา ระยะยาวจะพบว่า Ppk มีค่าต่ำกว่า Cpk แสดงว่ามีความผันแปรระหว่างเวลาหรือความต่างจากวัสดุในแต่ละล็อตค่อนข้างมากหรือตีความได้ว่าโรเตอร์ที่มาจากวัสดุในแต่ละล็อตมีค่า axial play ที่มีความแตกต่างกันอันเป็นผลมาจากการควบคุมกระบวนการที่ควรจะดำเนินการควบคุมกระบวนการให้ดีขึ้น และจากการศึกษาความสามารถกระบวนการทำให้ได้แนวทางของงานวิจัยนี้คือการปรับปรุงกระบวนการประกอบโรเตอร์ให้มีความสามารถของกระบวนการที่สูงขึ้นโดยการหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับกระบวนการประกอบโรเตอร์

#### 4.4 การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการศึกษา

จากการวิเคราะห์อาการผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ในกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์รุ่น DD ในบทที่ 3 พบว่ามีสาเหตุเบื้องต้นมาจากการขยับหรือการเคลื่อนที่มากน้อยเท่าไรของชิ้นส่วน โคนบน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ต่อไปว่ากระบวนการประกอบโรเตอร์มีกระบวนการใดบ้างที่มีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน โคนบนเพื่อเป็นการหาจุดเกิดเหตุของปัญหาอาการ ไม่ตรงข้อกำหนด axial play low ที่เกิดขึ้นสรุปออกมาได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 วิเคราะห์จุดเกิดเหตุของอาการไม่ตรงข้อกำหนด axial play low

กระบวนการ	โอกาสทำให้เกิดอาการปัญหา	เหตุผล
กระบวนการเคลือบสารหล่อลื่นที่เพลลา (โคนล่าง)	ไม่มี	ไม่มีความเกี่ยวข้องกับบริเวณ โคนบน
กระบวนการประกอบ โคนล่างเข้ากับเพลลา	ไม่มี	ไม่มีความเกี่ยวข้องกับบริเวณ โคนบน
กระบวนการเคลือบฟิล์มที่ฮับ	ไม่มี	ไม่มีความเกี่ยวข้องกับบริเวณ โคนบน
กระบวนการประกอบเพลลาเข้ากับฮับ	ไม่มี	ไม่มีความเกี่ยวข้องกับบริเวณ โคนบน
กระบวนการเคลือบสารหล่อลื่นที่เพลลา (โคนบน)	มี	ส่งผลในการช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานเพลลาและชิ้นงาน โคนบน
กระบวนการประกอบ โคนบนกับฮับ	มี	ส่งผลต่อการกำหนดค่า axial play เริ่มต้นที่กระบวนการกดละเอียดจะนำไปทำการกดต่อ
กระบวนการวัดค่า axial play(1)	ไม่มี	เป็นเพียงการป้อนค่าเพื่อสั่งให้เครื่องกดทำการกด
กระบวนการกดละเอียด	มี	เป็นกระบวนการสุดท้ายที่กำหนดค่า axial play ของชิ้นงาน

ซึ่งจากการศึกษากระบวนการประกอบ โรเตอร์พบว่า มี 3 กระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโคนบน ได้แก่ กระบวนการเคลือบสารหล่อลื่นที่เพลลา(โคนบน) กระบวนการประกอบโคนบนกับฮับ และกระบวนการกดละเอียด และเมื่อทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 กระบวนการดังกล่าวตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การระบุกระบวนการต้นเหตุของอาการ axial play low

กระบวนการ	ลักษณะการทำให้เกิดปัญหา	ผลที่เกิด	เป็นสาเหตุของการเกิดปัญหา
กระบวนการเคลือบสารหล่อลื่นที่เพลลา (โคนบน)	เคลือบสารหล่อลื่นที่เพลลาปริมาณมากเกินไป	แรงเสียดทานระหว่างเพลลาและโคนลดลงทำให้การควบคุมตำแหน่งการหยุดโคนมีความผันแปรเพิ่มมากขึ้น	ไม่ เพราะ การเคลือบสารหล่อลื่นที่เพลลาปริมาณมากเกินไปในกระบวนการถือเป็นสาเหตุผิดปกติ เนื่องจากในกระบวนการเคลือบสารหล่อลื่นเพียงเล็กน้อยไม่ส่งผลต่อการกดโคน
กระบวนการประกอบโคนบนกับฮับ	กดโคนไม่ตรงตำแหน่ง	โคนบนอยู่ไม่ตรงตำแหน่ง แต่มีการนำค่าดังกล่าวไปอ้างอิงสำหรับการกดโคนบนในกระบวนการกดละเอียด	ไม่ เพราะ เป็นเพียงกระบวนการกดแบบหยาบ จำเป็นต้องมีการกดอีกครั้ง ด้วยกระบวนการกดละเอียด ซึ่งหากมีการกดโคนไม่ตรงตำแหน่งในกระบวนการ จะนำค่าดังกล่าวไปเป็นค่าอ้างอิงในกระบวนการกดละเอียดต่อไป เพื่อให้กำหนดตำแหน่งโคนบนเป็นกระบวนการสุดท้าย
กระบวนการกดละเอียด	กดโคนไม่ตรงตำแหน่ง	โคนบนอยู่ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ชิ้นส่วนฮับเกิดการขยับได้น้อยกว่าข้อกำหนด ซึ่งเป็นอาการของความไม่ตรงข้อกำหนด axial play low	เป็น เพราะ เป็นกระบวนการสุดท้ายที่กำหนดค่า axial play ซึ่งความผันแปรจากกระบวนการนี้ส่งผลอย่างมากต่อตำแหน่งของโคนบนที่เป็นสาเหตุให้เกิดอาการ axial play low

จากการวิเคราะห์กระบวนการดังตารางที่ 4.5 พบว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดปัญหา axial play low คือ กระบวนการกดละเอียด เพราะเป็นกระบวนการที่ส่งหยุดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน โคนบนที่เป็นสาเหตุของอาการ axial play low หากมีความผันแปรมากในกระบวนการดังกล่าวจะส่งผลต่อการหยุด ชิ้นส่วน โคนบน ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่า axial play โดยตรงของชิ้นงานโรเตอร์ จึงสรุปว่าของปัญหา axial play low ในปัจจุบันมาจากกระบวนการกดละเอียด เพราะเป็นกระบวนการสุดท้ายที่เป็นตัวกำหนดระยะที่เหลือของชุด โคนที่ส่งผลให้ชิ้นส่วนฮับสามารถขยับขึ้นลงตามแนวแกนได้ของ ชิ้นงาน จากนั้นจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการกดละเอียดต่อ โดยศึกษาถึงการทำงานของ เครื่องจักรและวิธีในการทำงานของกระบวนการกดละเอียดเพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาและ วิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหา axial play low โดยอาศัยเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (intrinsic technology) ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติจากการสังเกตการทำงานจริงร่วมกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหา ดังกล่าวที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วจึงทำการพิสูจน์ตามข้อเท็จจริงสำหรับการแก้ไขต่อไป ซึ่งมีการ ระดมความคิดร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งผู้ควบคุมสายการผลิต QC ช่างบำรุงรักษาเครื่องจักร วิศวกรรวม ไปถึงพนักงานที่ทำการประกอบชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุของอาการ axial play low โดยในการ เสนอความคิดเห็นนั้นจะไม่จำกัดปริมาณและคุณภาพของความคิดเห็นเพื่อป้องกันการตกหล่นของ สาเหตุที่มีผลกระทบต่อปัญหาและในขั้นตอนสุดท้ายจะนำความคิดเห็นที่ได้มาจัดเป็นหมวดหมู่ด้วย เทคนิคแผนภาพสาเหตุและผล (cause and effect diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (fish bone diagram) ดังรูปที่ 4.9 เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย โดยได้ปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะ ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของค่า axial play ในปัญหา axial play low ของกระบวนการประกอบ โรเตอร์โดยเริ่มวิเคราะห์จาก 4M ได้แก่ วัสดุในการผลิต (material) พนักงาน (man) เครื่องจักร (machine) และวิธีการทำงาน (method) ดังตารางที่ 4.6

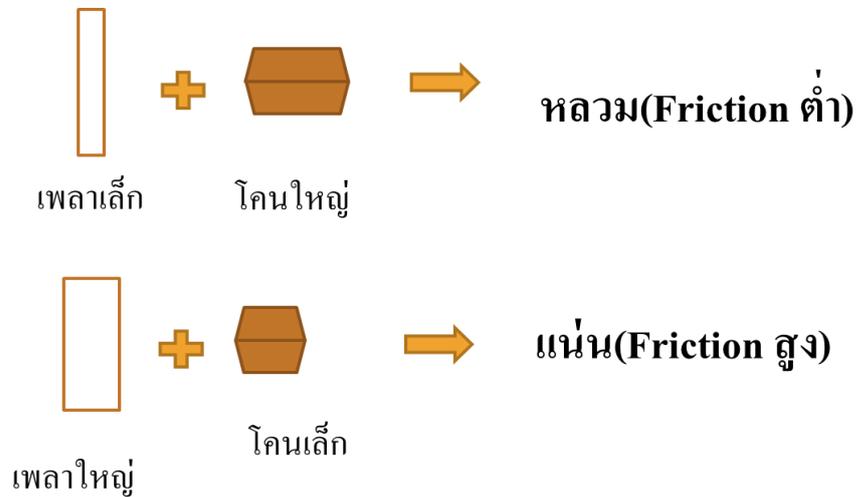
หลังจากที่ได้มีการระดมสมองเพื่อค้นหาปัจจัยที่น่าจะเป็นสาเหตุของปัญหาสามารถสรุปเบื้องต้นได้ ว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัยที่มีความไม่เหมาะสมกับกระบวนการประกอบโรเตอร์ เริ่มจากส่วนของค่าเส้นผ่าน ศูนย์กลางเพลลาและค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน โคน เพียงแค่ความผันแปรจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งใน สองปัจจัยดังกล่าวก็อาจส่งผลให้เกิดความไม่เหมาะสมในด้านของแรงต้านทานที่เกิดจากการประกอ บกันระหว่างโคนบนและเพลลาได้

ตารางที่ 4.6 ผลจากการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยและการวิเคราะห์ผลต่อค่า axial play

กลุ่ม	ปัจจัย	ผลต่อค่า axial play
วัสดุในการผลิต	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (outer diameter of shaft)	ส่งผลกระทบต่อแรงต้านการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโคนบน
	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในในโคน (inner diameter of cone)	ส่งผลกระทบต่อแรงต้านการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโคนบน
พนักงาน	ระยะที่กด (P62)	ส่งผลต่อตำแหน่งการหยุดของชิ้นส่วนโคนบน
เครื่องจักร	แรงกด (force)	ส่งผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโคนบน
	ความเร็วของมอเตอร์ที่กด (motor speed)	ส่งผลต่อตำแหน่งการหยุดของชิ้นส่วนโคนบน
วิธีการ	เนื่องจากโครงการวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้เทคโนโลยีการผลิตนี้เท่านั้นจึงไม่มีความสงสัยเกี่ยวกับปัจจัยด้านนี้	-

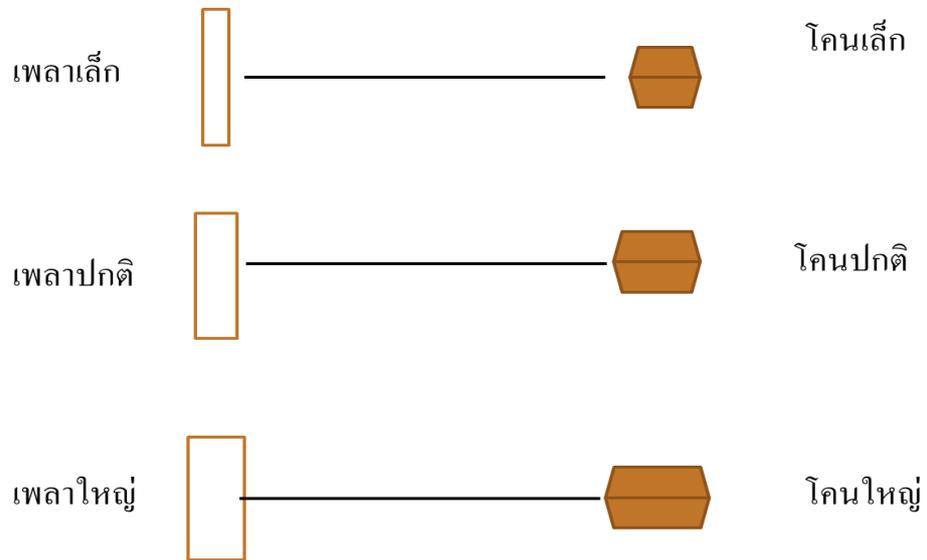
ในด้านของปัจจัยด้านระยะที่กด คือ การปรับค่าที่ทำอยู่เป็นประจำแต่ไม่ทราบว่าจริงๆควรใช้ค่าเท่าไร ในแต่ละล็อตของชิ้นส่วน โคนและเพลลาในการประกอบ ส่วนในด้านของความเร็วมอเตอร์ที่กดและแรงที่ใช้กดมีความสงสัยว่าระดับปัจจัยดังกล่าวไม่เหมาะสมกับกระบวนการเนื่องมาจากระยะหยุดของมอเตอร์มีความสัมพันธ์กับความเร็ว แรง และระยะที่กดซึ่งผลของการใช้ระดับปัจจัยในปัจจุบันพบว่าการหยุดของชิ้นงาน โคนบนที่ถูกคั่นลงมายังไม่ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เลือกปัจจัยที่เหลือปัจจัยที่มีโอกาสน่าจะเป็นสาเหตุของปัญหา axial play low มากที่สุด โดยการสังเกตการณ์ในทุกขั้นตอนของกระบวนการกลละเอียดซึ่งหลังจากศึกษาแล้วพบว่า มี 2 ปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดจากทางบริษัท ตรีศึกษาที่ผู้วิจัยไม่สามารถดำเนินการแก้ไขได้ ได้แก่ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา (outer diameter of shaft) และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในในโคน (inner diameter of cone) เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่มาจากวัสดุในการผลิต ซึ่งหากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาต่ำจะส่งผลให้เพลลาเล็กและในทางกลับกันถ้าค่าสูงจะส่งผลให้เพลลาใหญ่ และหากค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง

ภายในโคนต่ำจะส่งผลให้โคนเล็กกลับกันถ้าค่าสูงจะส่งผลให้โคนใหญ่ ซึ่งถ้าหากเพลาลึกมาจับคู่กับโคนใหญ่จะทำให้เกิดการหลวม กลับกันหากเพลาลึกมาจับคู่กับโคนเล็กจะทำให้เกิดการแน่น ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งทั้งสองอาการนี้ส่งผลโดยตรงกับความผันแปรของค่า axial play ของชิ้นงาน



รูปที่ 4.7 ลักษณะการจับคู่ของวัสดุที่ส่งผลโดยตรงกับค่า axial play

ซึ่งวิธีลดความผันแปรที่เกิดขึ้นนี้คือการจับคู่ให้กับโคนและเพลามีความเหมาะสมกันตามลักษณะ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ลักษณะการจับคู่ของวัสดุเพื่อลดความผันแปรของค่า axial play

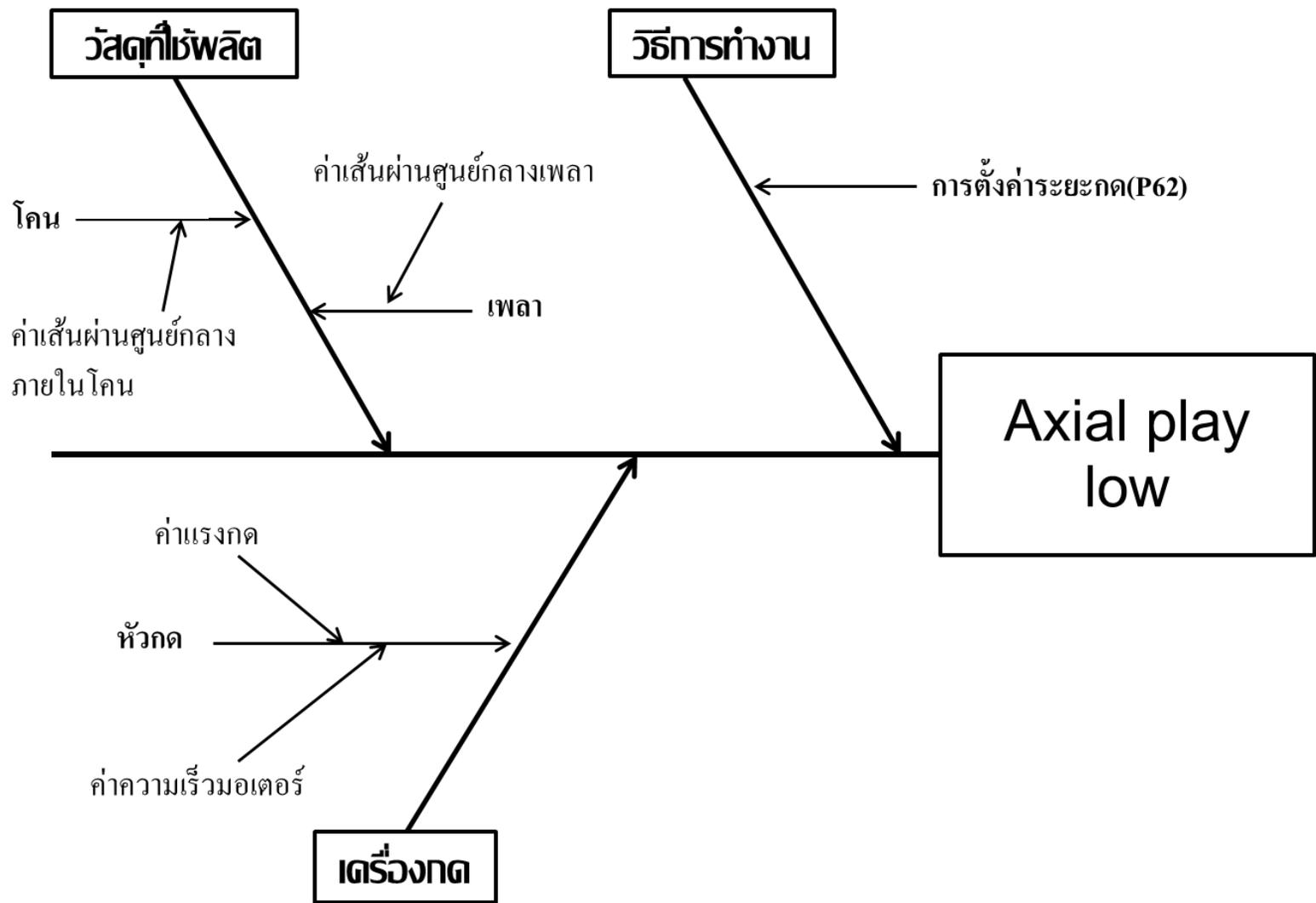
การจับคู่ตามรูปที่ 4.8 จะช่วยลดความผันแปรที่เกิดจากความไม่เหมาะสมจากปัจจัยด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลึกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในโคนได้ แต่วิธีดังกล่าวถือเป็นข้อจำกัดในการทำโครงการวิจัยนี้ ด้วยเหตุผลทางธุรกิจของทางบริษัทกรณีศึกษาในด้านของต้นทุนที่ต้องเพิ่มขึ้น เพราะวิธีการดังกล่าวจะต้องมีการตรวจสอบโคนและเพลาลึกทุกชิ้น ทำให้ต้องมีการเพิ่มกระบวนการเข้าไปทั้ง

ในส่วนของคุณตรวจสอบ และจุดคัดแยกอีกทั้งยังต้องมีการเพิ่มพนักงานตรวจสอบเข้าไปให้กับกระบวนการส่งผลต่อค่าใช้จ่ายและเวลาในการผลิตที่สูงขึ้น จึงทำให้ปัจจัยดังกล่าวกลายเป็นข้อจำกัดในการทำโครงการวิจัยครั้งนี้ และไม่นำมาพิจารณาว่าเป็นสาเหตุของอาการไม่ตรงข้อกำหนด axial play low ทำให้เหลือปัจจัยที่มีโอกาสเป็นสาเหตุของปัญหา axial play low มากที่สุดมี 3 ปัจจัย คือ 1. ค่าระยะที่ใช้กด(P62) 2. แรงที่ใช้ในการกด(force) และ 3. ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กด (motor speed) ซึ่งจากการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการกดละเอียดและ สิ่งที่ทำให้เกิดข้อสงสัยว่าปัจจัยดังกล่าวนี้ยังมีค่าไม่เหมาะสม คือ การที่อาการ axial play low จะเกิดได้นั้น ชิ้นงาน โคนจะต้องเคลื่อนที่เกินตำแหน่งที่กำหนด ซึ่งค่าระยะที่ใช้กดหากอยู่ในค่าที่เหมาะสมแล้วตำแหน่งของชิ้นงาน โคนควรจะอยู่ในจุดที่กำหนด หรือ หากแรงที่ใช้กดอยู่ในค่าที่เหมาะสมแล้ว ไม่ควรจะเกิดการเคลื่อนที่เกินจุดที่กำหนด หรือ หากความเร็วของมอเตอร์มีค่าที่เหมาะสมแล้ว ชิ้นงาน โคนควรจะ สามารถหยุดในตำแหน่งที่กำหนดได้เช่นเดียวกัน หรือ อาจจะเป็นผลมาจากความไม่เหมาะสมของ ปัจจัยมากกว่า 1 ตัวผสมกันและนั่นจึงเป็นผลให้ปัจจัยทั้ง 3 มีโอกาสเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิด ปัญหาดังกล่าวมากที่สุดในการประกอบโรเตอร์

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการอธิบายเหตุผลการวิเคราะห์เชิงกายภาพ (physical analysis)แล้วว่าปัจจัยทั้ง 3 ที่เลือกมาทำการพิสูจน์สามารถส่งผลทำให้เกิดอาการ axial play low ต่อโรเตอร์ได้อย่างไร แต่การวิเคราะห์ข้างต้นยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาจริงและจากการตรวจสอบสภาวะการดำเนินการผลิตในกระบวนการปกติ พบว่ามีเงื่อนไขในการปรับตั้งเครื่องจักร สำหรับรุ่นชิ้นงานนี้ โดยในการทำงานจะมีปัจจัยต่างๆและมีการใช้งานจริงของแต่ละระดับปัจจัย ดังนี้

แรงกด	0.5 – 0.8	กิโลนิวตัน
ระยะกด	15.5-17.0	ไมโครเมตร
ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กด	0.005-0.02	รอบ/นาที

แต่ในกระบวนการจริงเมื่อใช้ค่าที่กำหนดไว้สำหรับการปรับตั้งในกระบวนการประกอบโรเตอร์แล้ว ชิ้นงาน โรเตอร์ยังคงมีค่า axial play ของชิ้นงานที่ไม่ตรงข้อกำหนดอยู่มาก ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ระดับปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังไม่เหมาะสมกับกระบวนการจึงได้ทำการพิสูจน์และยืนยันปัจจัยทั้ง สามต่อในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4.9 แผนภาพก้างปลาแสดงปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหา axial play low

#### 4.5 แนวทางการเลือกปัจจัยมาทำการศึกษาและการพิสูจน์สาเหตุ

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อค่า axial play ของชิ้นงานในกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์รุ่น DD ซึ่งได้พิจารณาจากปัจจัยที่คาดได้ว่าน่าจะมีผลต่อค่า axial play ของชิ้นงานในกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์รุ่นดังกล่าวซึ่งประกอบด้วย

1. ระยะเวลา (P62)
2. แรงกด (force)
3. ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กด (motor speed)

หลังจากได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่า axial play low จากความรู้ทางทฤษฎีและจากแผนภาพก้างปลาแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการตัดสินใจเลือกปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่จะทำการศึกษามากที่สุด เพื่อที่ว่าเมื่อเปลี่ยนระดับของปัจจัยไปแล้วจะมีผลต่อค่า axial play ของชิ้นงานอย่างไร โดยปัจจัยที่จะทำการศึกษาถึงผลกระทบต่อปัญหา คือ ระยะเวลา, แรงกดและความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กด จึงได้นำปัจจัยดังกล่าวมาทำการทดสอบแบบ OFAT (one-factor-at-a-time) เพื่อทำการยืนยันปัจจัยว่ามีผลต่อการปรับปรุงโดยได้ตั้งสมมติฐานดังนี้

H0: ระยะเวลาไม่มีผลต่อค่า axial play

H1: ระยะเวลามีผลต่อค่า axial play

H0: แรงกดไม่มีผลต่อค่า axial play

H1: แรงกดมีผลต่อค่า axial play

H0: ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กดไม่มีผลต่อค่า axial play

H1: ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กดมีผลต่อค่า axial play

เนื่องจากในเบื้องต้นยังไม่ทราบถึงลักษณะอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อค่า axial play ของชิ้นงาน ดังนั้น จึงทำการกำหนดระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษา จากค่าปรับตั้งของกระบวนการปกติที่มีการใช้ในกระบวนการปัจจุบันที่จะใช้สำหรับทำการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ระดับปรับตั้งของปัจจัยที่ใช้สำหรับการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	ค่าต่ำ	ค่าสูง
1	แรงกด (กิโลนิวตัน)	0.5	0.8
2	ระยะกด (ไมโครเมตร)	15.5	17
3	ความเร็วมอเตอร์(รอบต่อนาที)	0.005	0.02

เมื่อได้ระดับปัจจัยที่ต้องการทดสอบแล้วจึงเริ่มทำการทดสอบปัจจัยแต่ละระดับเพื่อยืนยันปัจจัยว่ามีผลต่อการปรับปรุง เนื่องจากการทดสอบแบบ OFAT เป็นการศึกษาผลที่ละปัจจัย จึงทำการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ได้ผลจากปัจจัยที่ต้องการศึกษาจริงๆ และต้องยึดตามหลักการสุ่ม (randomization) และหลักการซ้ำ (replication) ได้ผลการทดสอบดังนี้

การทดสอบปัจจัยแรงกดที่ระดับปัจจัย 0.5 kN และ 0.8 kN

Statistics				
Variable	N	StDev	Variance	
0.5	30	1.248	1.557	
0.8	30	1.234	1.523	
Ratio of standard deviations = 1.011				
Ratio of variances = 1.022				
95% Confidence Intervals				
Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio		
Normal	(0.698, 1.465)	(0.487, 2.148)		
Continuous	(0.722, 1.551)	(0.522, 2.406)		
Tests				
Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	29	29	1.02	0.953
Levene's Test (any continuous)	1	58	0.07	0.790

รูปที่ 4.10 การยืนยัน  $\sigma$  ของปัจจัยแรงกดว่าทั้ง 2 ระดับปัจจัยมาจากเงื่อนไขเดียวกัน

จากรูปที่ 4.10 พิจารณาค่า P-value = 0.953 หมายความว่า ความผันแปรของค่า axial play ที่ทำการเก็บข้อมูลโดยการปรับระดับของปัจจัยแรงกดมีความแตกต่างกันน้อยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.953 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าความผันแปรของสองกลุ่มระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากการควบคุมปัจจัยระยะกด ความเร็วมอเตอร์และใช้ชิ้นงานจากล็อตเดียวกันและประกอบในช่วงเวลาใกล้

กันเพื่อให้ผลจากการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยทั้งสองมาจากเงื่อนไขเดียวกัน ทำให้ความผันแปรไม่แตกต่างกัน

### Two-Sample T-Test and CI: 0.5, 0.8

Two-sample T for 0.5 vs 0.8

	N	Mean	StDev	SE Mean
0.5	30	14.22	1.25	0.23
0.8	30	14.09	1.23	0.23

Difference = mu (0.5) - mu (0.8)

Estimate for difference: 0.137

95% CI for difference: (-0.505, 0.778)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.43 P-Value = 0.671 DF = 57

รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบปัจจัยแรงกดจากโปรแกรม Minitab

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.11 พบว่าแรงกดมีผลต่อค่า axial play อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.671 ซึ่งมีค่าสูงมาก หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยแรงกดที่ใช้ไม่มีผลต่อค่า axial play แสดงว่าระดับปัจจัยแรงกดที่ใช้ในกระบวนการปัจจุบันมีความเหมาะสมและเพียงพอในการเอาชนะแรงต้านที่เกิดจากผิวสัมผัสของโคนและเพลลา ทำให้ชิ้นส่วนโคนบนเคลื่อนที่ได้ จึงสรุปว่าแรงกดไม่มีผลต่อค่า axial play (fail to reject Ho)

การทดสอบปัจจัยระยะกคที่ระดับปัจจัย 15.5 ไมโครเมตรและ 17 ไมโครเมตร

### Statistics

Variable	N	StDev	Variance
15.5	30	1.512	2.287
17.0	30	1.367	1.869

Ratio of standard deviations = 1.106

Ratio of variances = 1.223

### 95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.763, 1.603)	(0.582, 2.570)
Continuous	(0.672, 1.656)	(0.451, 2.742)

### Tests

Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	29	29	1.22	0.591
Levene's Test (any continuous)	1	58	0.09	0.772

รูปที่ 4.12 การยืนยัน  $\sigma$  ของปัจจัยระยะกคที่ 2 ระดับปัจจัยมาจากเงื่อนไขเดียวกัน

จากรูปที่ 4.12 จากค่า P-value = 0.591 หมายความว่า ความผันแปรของค่า axial play ที่ทำการเก็บข้อมูล โดยการปรับระดับของปัจจัยแรงกดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.591 ซึ่งมี

ค่ามาก แสดงว่าความผันแปรของสองกลุ่มระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากการควบคุมปัจจัยแรงกด ความเร็วของมอเตอร์และใช้ชิ้นงานจากล็อตเดียวกันและประกอบในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเพื่อให้ผลจากการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยทั้งสองมาจากเงื่อนไขเดียวกันทำให้ความผันแปรไม่แตกต่างกัน

### Two-Sample T-Test and CI: 15.5, 17.0

Two-sample T for 15.5 vs 17.0

	N	Mean	StDev	SE Mean
15.5	30	12.89	1.51	0.28
17.0	30	14.24	1.37	0.25

Difference = mu (15.5) - mu (17.0)

Estimate for difference: -1.350

95% CI for difference: (-2.095, -0.605)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.63 P-Value = 0.001 DF = 57

### รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบปัจจัยระยะกดจากโปรแกรม Minitab

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 4.13 พบว่าระยะกดมีผลต่อค่า axial play อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.001 ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำ หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยระยะกดส่งผลต่อค่า axial play แสดงว่าระดับปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการมีความไม่เหมาะสม ทำให้เมื่อชิ้นส่วนโดนบนมีการเคลื่อนที่จะเกิดการหยุดไม่ตรงตำแหน่ง จึงสรุปได้ว่า ระยะกดมีผลต่อค่า axial play (reject Ho)

การทดสอบปัจจัยความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กดที่ระดับปัจจัย 0.02 รอบต่อนาทีและ 0.005 รอบต่อนาที

### Statistics

Variable	N	StDev	Variance
0.02	30	1.122	1.260
0.005	30	1.260	1.586

Ratio of standard deviations = 0.891

Ratio of variances = 0.794

### 95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(0.615, 1.292)	(0.378, 1.668)
Continuous	(0.521, 1.300)	(0.271, 1.689)

### Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	29	29	0.79	0.538
Levene's Test (any continuous)	1	58	0.70	0.407

### รูปที่ 4.14 การยืนยัน $\sigma$ ของปัจจัยความเร็วมอเตอร์ว่าทั้ง 2 ระดับปัจจัยมาจากเงื่อนไขเดียวกัน

จากรูปที่ 4.14 จากค่า P-value = 0.538 ที่ความได้ว่า ความผันแปรของค่า axial play ที่ทำการเก็บข้อมูล โดยการปรับระดับของปัจจัยแรงกดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.538 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าความผันแปรของสองกลุ่มระดับปัจจัยไม่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากการควบคุมปัจจัยแรงกด ระยะกด และใช้ชิ้นงานจากล็อตเดียวกันมีการประกอบในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเพื่อให้ผลจากการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยทั้งสองมาจากเงื่อนไขเดียวกันทำให้ความผันแปรไม่แตกต่างกัน

#### Two-Sample T-Test and CI: 0.02, 0.005

Two-sample T for 0.02 vs 0.005

	N	Mean	StDev	SE Mean
0.02	30	13.73	1.12	0.20
0.00530	14.82	1.26	0.23	

Difference = mu (0.02) - mu (0.005)

Estimate for difference: -1.087

95% CI for difference: (-1.703, -0.470)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.53 P-Value = 0.001 DF = 57

#### รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบปัจจัยความเร็วมอเตอร์จากโปรแกรม Minitab

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 4.15 ค่า P-value = 0.001 แสดงว่าความเร็วมอเตอร์มีผลต่อค่า axial play อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.001 ซึ่งมีค่าต่ำ หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยความเร็วมอเตอร์มีผลต่อค่า axial play แสดงว่าระดับปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการมีความไม่เหมาะสม ทำให้เมื่อมอเตอร์หมุนเพื่อส่งแรงในการกดชิ้นส่วน โคน มีการหยุดหมุนไม่สนิท ส่งผลต่อตำแหน่งหยุดของชิ้นส่วน โคน ทำให้ชิ้นส่วน โคนเกิดการหยุดไม่ตรงตำแหน่ง จึงสรุปว่า ความเร็วมอเตอร์มีผลต่อค่า axial play (reject  $H_0$ ) และจากการทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยเพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีผลต่อค่า axial play พบว่ามีเพียง 2 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อการปรับปรุง axial play ได้แก่ ระยะกดและความเร็วมอเตอร์ที่ใช้กด ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้ง 2 ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการมีอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างปัจจัยก่อนจะเข้าสู่การหาค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยทั้ง 2

## 4.6 การออกแบบการทดลอง

### 4.6.1 การหาขนาดตัวอย่าง (sample size)

การเลือกขนาดตัวอย่าง หรือการหาจำนวนการทำซ้ำ (replication) ของการทดลองมีผลโดยตรงกับระดับของอำนาจในการทดสอบ (power of the test) เพราะเมื่อเพิ่มจำนวนของการทำซ้ำในการทดลอง จะส่งผลให้ระดับของอำนาจของการทดสอบเพิ่มขึ้นด้วยแต่ในการปฏิบัติจริงผู้ทดลองต้องไม่ลืมว่าจำนวนการทำซ้ำที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการทดลองเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น

จำเป็นต้องมีการเลือกขนาดตัวอย่างในการทำซ้ำให้เหมาะสมกับการทดลองในแต่ละครั้งโดยพิจารณาจากปัจจัยดังนี้

- ระดับของอำนาจของการทดสอบ (power of the test) ซึ่งโดยทั่วไปผู้ทำการทดลองสามารถกำหนดได้ตามความเหมาะสมของมูลค่ากระบวนการ สำหรับการทดลองนี้ต้องการค่ามากกว่า 80%
- ความไว (sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจของการทดสอบต่อการเพิ่มของ effect จะต้องไม่สูงมาก
- effects : ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (means) ที่สามารถยอมรับได้ในระหว่างกระบวนการ ซึ่งจากการวิเคราะห์กระบวนการแล้ว เนื่องจากในกระบวนการผลิตปัจจุบันพบว่า ถ้าค่า axial play แตกต่างกันเกิน 2 ไมโครเมตร จะถือว่าชิ้นงานมีความแตกต่างกัน
- sigma : เป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ = 1.164 จากรูปที่ 4.6

จากนั้นหาขนาดตัวอย่างโดยการใช้โปรแกรม Minitab จากนั้นจะได้ระดับของอำนาจของการทดสอบที่ขนาดตัวอย่างการทดลองต่างๆ ดังนี้

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1.164					
Factors: 2 Base Design: 2, 4					
Blocks: none					
Including a term for center points in model.					
Center	Total				
Points	Effect	Reps	Runs	Power	
1	1.8	4	17	0.810083	
1	2.0	4	17	0.883219	
1	2.2	4	17	0.933686	
1	2.4	4	17	0.965312	

รูปที่ 4.16 ผลการหาขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม Minitab

การหาขนาดตัวอย่างดังที่แสดงในรูปที่ 4.16 ผู้วิจัยเลือกขนาดตัวอย่างในการทดลองที่ replicates เท่ากับ 4 เป็นขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสมสามารถนำมาทำการทดลองเก็บข้อมูลได้จริงโดยไม่มีผลกับสายการผลิต และเมื่อพิจารณาถึงความไวกับ effect พบว่ามีความไวน้อยเมื่อระดับ effect เปลี่ยนแปลงไป และมีระดับอำนาจของการทดสอบสูง

#### 4.6.2 การกำหนดลำดับและรูปแบบในการทดลอง

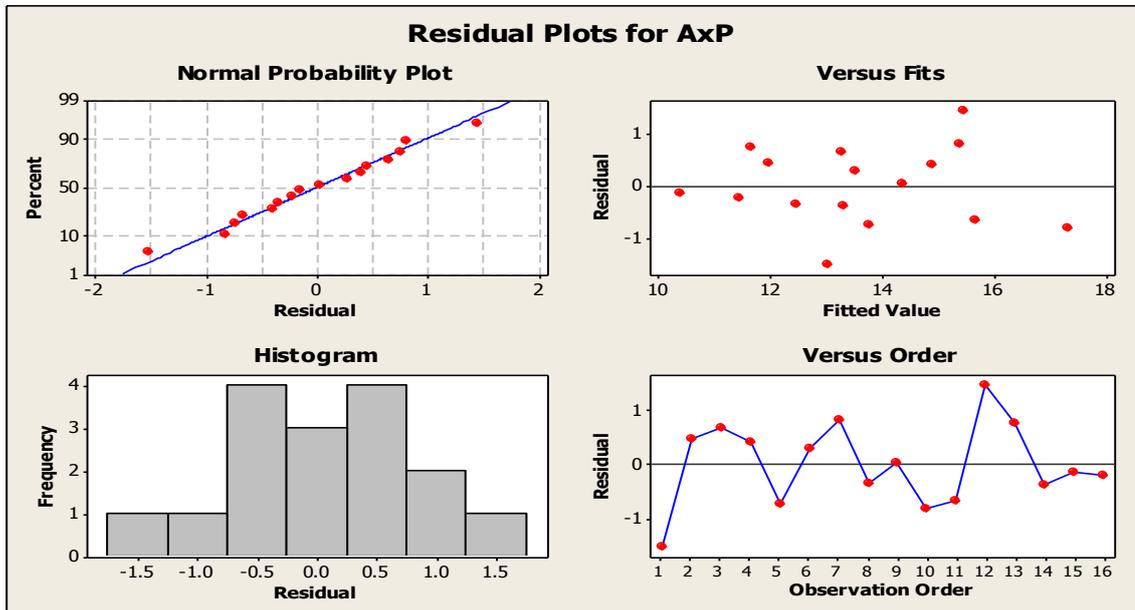
วิธีการทดลองที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อค่า axial play ของชิ้นงาน คือ การทดลองแบบ  $2^k$  แฟกทอเรียล ( $2^k$  factorial design) ซึ่งการทดลองแบบ  $2^k$  แฟกทอเรียล สามารถใช้ได้ ในกรณีที่ต้องการทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยต้องการศึกษาผล

ของอิทธิพลร่วม (interaction effect) ของปัจจัยเหล่านั้นที่มีต่อค่า axial play ของชิ้นงาน โดยในการทดลองครั้งนี้มีปัจจัยที่พิจารณาอยู่ 2 ปัจจัยด้วยกันจึงทำการออกแบบการทดลองโดยใช้  $2^2$  แฟกทอเรียลแต่เนื่องจากมีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อค่า axial play จึงต้องการกันผลจากปัจจัยออกโดยอาศัยหลักการบล็อก จึงจะต้องทำการทดลองทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยแต่ละเงื่อนไขทำการเก็บตัวอย่างเงื่อนไขละ 4 ชุด โดยแต่ละชุดจะทำการกันความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทำงานจริงออกโดยหลักการบล็อก ซึ่งในที่นี้ก็คือผลจากขนาดของวัสดุ เพราะขนาดของวัสดุที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการแน่นหรือหลวมซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่า axial play ที่เกิดขึ้น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4 จึงต้องมีการบล็อกผลจากอาการดังกล่าวโดยให้แต่ละ บล็อกมีขนาดของวัสดุที่แตกต่างกันจากนั้นผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดลำดับและรูปแบบของการทดลองเพื่อให้การทดลองเป็นไปแบบสุ่ม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ  $2^2$  แฟกทอเรียล ร่วมกับการบล็อกแสดงรายละเอียดของการทดลองตามรายการข้างล่างและดูข้อมูลการทดลองได้จากตารางที่ 4.8

**ตารางที่ 4.8** ตารางค่า axial play ที่ได้จากการทดลอง

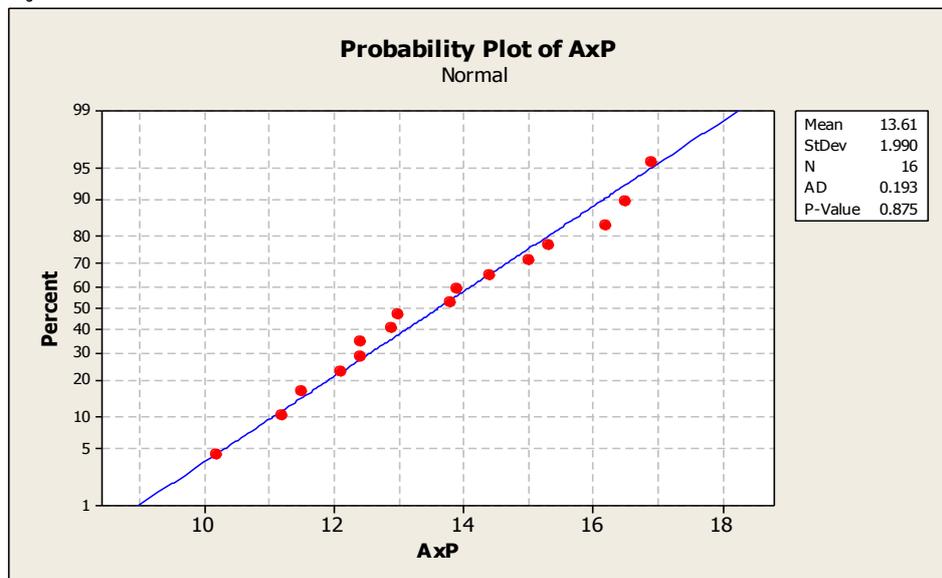
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	P62	Motor speed	Axial play
13	1	1	4	15.5	0.005	11.5
15	2	1	4	15.5	0.02	12.4
14	3	1	4	17.0	0.005	13.9
16	4	1	4	17.0	0.02	15.3
6	5	1	2	17.0	0.005	13
5	6	1	2	15.5	0.005	13.8
8	7	1	2	17.0	0.02	16.2
7	8	1	2	15.5	0.02	12.1
11	9	1	3	15.5	0.02	14.4
12	10	1	3	17.0	0.02	16.5
10	11	1	3	17.0	0.005	15
9	12	1	3	15.5	0.005	16.9
2	13	1	1	17.0	0.005	12.4
4	14	1	1	17.0	0.02	12.9
3	15	1	1	15.5	0.02	10.2
1	16	1	1	15.5	0.005	11.2

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์การทดลอง  $2^2$  แฟคทอเรียลร่วมกับบล็อก

จากรูปที่ 4.17 เป็นกราฟแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งแปลความได้ว่า กระบวนการทดลองอยู่ภายใต้การควบคุม และความผันแปรที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสาเหตุธรรมชาติ จากนั้นทำการพิจารณากราฟ normal probability plot ดังรูปที่ 4.18 เพื่ออ่านค่าการกระจายตัวของข้อมูลพบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.875 ซึ่งมีความมากแสดงว่าข้อมูลที่แสดงด้วยจุดในกราฟมีความแตกต่างจากการแจกแจงปกติที่แสดงด้วยเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.875 แสดงว่าข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.18 กราฟวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลการทดลอง  $2^2$  แฟคทอเรียล

จากนั้นพิจารณาผลจาก session ในรูปที่ 4.19 ว่าปัจจัยใดที่ไม่ส่งผลต่อค่า axial play และทำการตัดออกไป

**Factorial Fit: Axial Play versus Block, P62, Motor speed**

Estimated Effects and Coefficients for AxP (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		13.606	0.2436	55.85	0.000
Block 1		-1.931	0.4219	-4.58	0.001
Block 2		0.169	0.4219	0.40	0.699
Block 3		2.094	0.4219	4.96	0.001
P62	1.588	0.794	0.2436	3.26	0.010
Speed Motor	0.287	0.144	0.2436	0.59	0.570
P62*Speed Motor	1.363	0.681	0.2436	2.80	0.021

S = 0.974430      PRESS = 27.0084  
R-Sq = 85.61%      R-Sq(pred) = 54.52%      R-Sq(adj) = 76.02%

Analysis of Variance for AxP (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	33.0069	33.0069	11.0023	11.59	0.002
Main Effects	2	10.4113	10.4113	5.2056	5.48	0.028
P62	1	10.0806	10.0806	10.0806	10.62	0.010
Speed Motor	1	0.3306	0.3306	0.3306	0.35	0.570
2-Way Interactions	1	7.4256	7.4256	7.4256	7.82	0.021
P62*Speed Motor	1	7.4256	7.4256	7.4256	7.82	0.021
Residual Error	9	8.5456	8.5456	0.9495		
Total	15	59.3894				

Unusual Observations for AxP

Obs	StdOrder	AxP	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	13	11.5000	13.0187	0.6445	-1.5187	-2.08R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for AxP using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	20.7694
Block 1	-1.93125
Block 2	0.168750
Block 3	2.09375
P62	-0.0455556
Speed Motor	-1948.89
P62*Speed Motor	12.1111

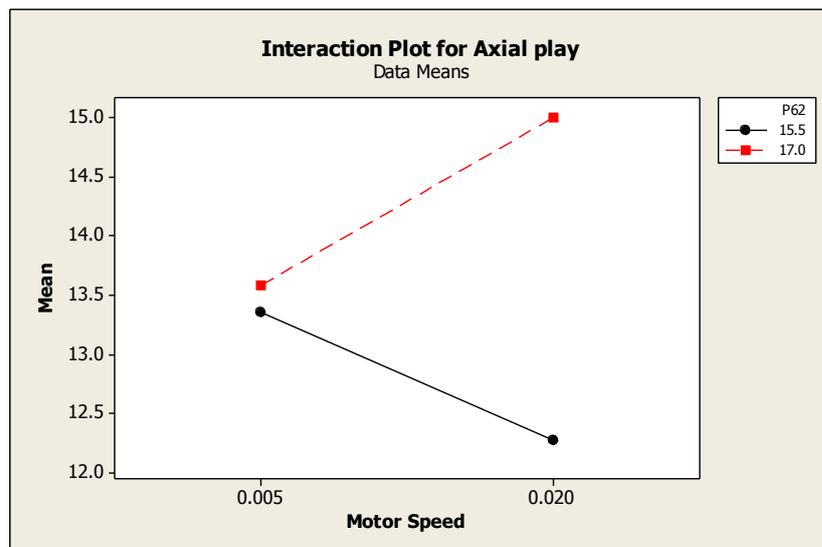
รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab ได้ว่าพิจารณาค่า  $R^2 = 85.61\%$  แปลความได้ว่าในความผันแปรของค่า axial play ทั้งหมด 100 หน่วย<sup>2</sup> เป็นความผันแปรที่สามารถอธิบาย

ได้ด้วยสมการในการทดลองประมาณ 85.61 หน่วย<sup>2</sup> นอกจากนั้น 14.39 หน่วย<sup>2</sup> เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถอธิบายได้ จากนั้นพิจารณาค่า P-value ของปัจจัยในการทดลองโดยพิจารณาค่าที่เป็นอิทธิพลร่วม (interaction effect) และค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยโดยตรง เพื่อหาว่าปัจจัยตัวใดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า axial play ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญซึ่งพิจารณาจากค่า P-value ดังนั้นจึงบอกได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่า axial play ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญดังนี้

- ปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างระยะกดกับความเร็วของมอเตอร์ ค่า P-value = 0.021

เนื่องจากปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมระหว่างระยะกดกับความเร็วของมอเตอร์ส่งผลต่อค่า axial play อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.021 ซึ่งมีค่าน้อย หมายความว่าเมื่อมีการปรับระดับปัจจัยระยะกดและความเร็วของมอเตอร์พร้อมกัน ส่งผลต่อค่า axial play แสดงว่าความเร็วของมอเตอร์และระยะกดมีผลต่อตำแหน่งในการหยุดของชิ้นส่วน โคน ทำให้ชิ้นส่วน โคนหยุดไม่ตรงตำแหน่ง จึงไม่สามารถตัดปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลของความเร็วของมอเตอร์ที่ส่งผลแบบไม่มีนัยสำคัญออกได้ โดยสามารถดูได้จากแผนภาพแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยด้านระยะกดและปัจจัยด้านความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กกดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แผนภาพแสดงผลจากอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยระยะกดและปัจจัยความเร็วมอเตอร์ที่ใช้กกด

จากรูปที่ 4.20 สามารถตีความได้ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยระยะกด(P62) จะส่งผลให้ effect ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนไป จึงจะต้องมีการทดลองปัจจัยทั้งสองปัจจัยไม่สามารถมองข้ามปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงค่า axial play ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด 2 ปัจจัย ได้แก่

1. ระยะกด (P62)
2. ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กกด (motor speed)

## 4.7 การทดลองเพื่อระบุค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัย

จากการดำเนินการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมาพบว่า มีปัจจัยที่มีผลต่อค่า axial play ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ ระยะเวลาและความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กดซึ่งหลังจากสามารถระบุปัจจัยที่มีผลต่อค่าตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะต้องหาค่าปรับตั้งของปัจจัยให้ได้ใกล้เคียงเป้าหมาย โดยก่อนอื่นต้องตรวจสอบก่อนว่า ภายในขอบเขตของค่าปรับตั้งปัจจุบันมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงหรือไม่เพื่อที่จะหาเส้นตั้งฉากที่เป็นวิธีการปรับปรุงและใช้เส้นตั้งฉากนี้ขยับเข้าไปหาจุดเหมาะสมโดยใช้การทดลองแบบ  $2^k$  แฟกทอเรียลแบบมีจุดกึ่งกลางเป็นตัวแทนในการทดลอง สมมติฐานจากนั้นหาขนาดตัวอย่างโดยการใส่โปรแกรม Minitab จะได้ระดับของอำนาจของการทดสอบที่ขนาดตัวอย่างการทดลองต่างๆ ดังรูปที่ 4.21

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1.164					
Factors: 2 Base Design: 2, 4					
Blocks: none					
Including a term for center points in model.					
Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Power	
1	1.8	4	17	0.810083	
1	2.0	4	17	0.883219	
1	2.2	4	17	0.933686	
1	2.4	4	17	0.965312	

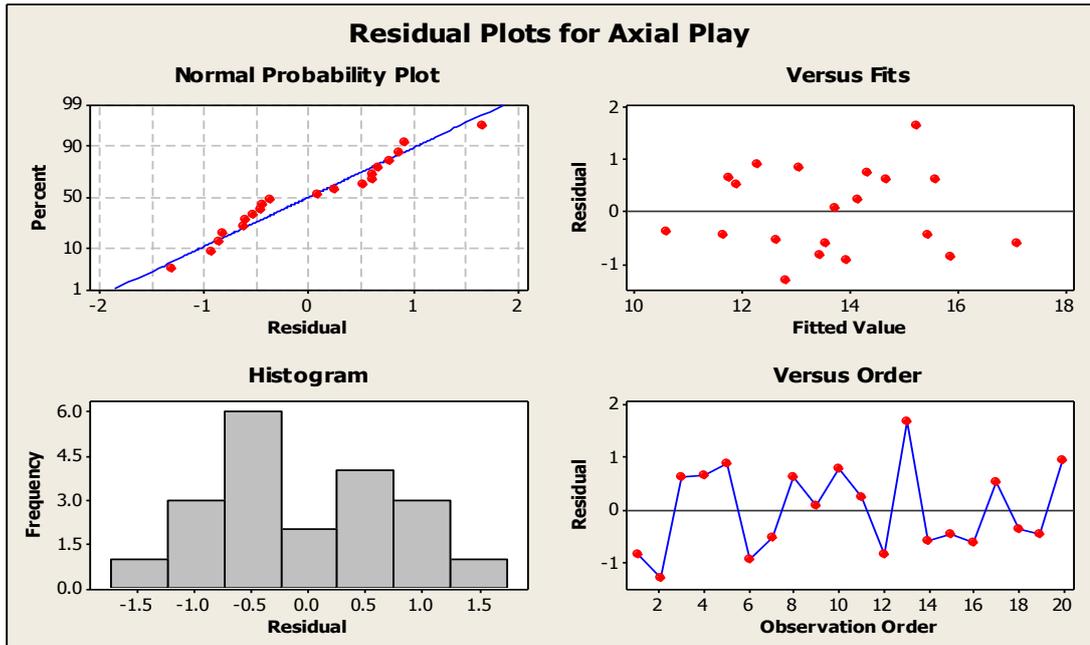
รูปที่ 4.21 การหาขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม Minitab

การหาขนาดตัวอย่างดังที่แสดงข้างต้น ผู้ทดลองเลือกขนาด ตัวอย่างในการทดลองที่ replicates = 4 เป็นขนาดตัวอย่างที่มีความเหมาะสม อีกทั้งยังมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ effect น้อยและยังสามารถนำมาทำการทดลองเก็บข้อมูลได้จริงโดยไม่มีผลกับสายการผลิตและ สำหรับการทดลองนี้ต้องการค่ามากกว่า 80% จากนั้นใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดลำดับและรูปแบบของการทดลองเพื่อให้การทดลองเป็นไปแบบสุ่มโดยใช้การทดลองแบบ  $2^k$  แฟกทอเรียลแบบเต็มรูปแบบและทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยจะแสดงรายละเอียดของการทดลองตามตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดลองและค่า Y ที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองและค่า axial play ที่ได้จากการทดลอง

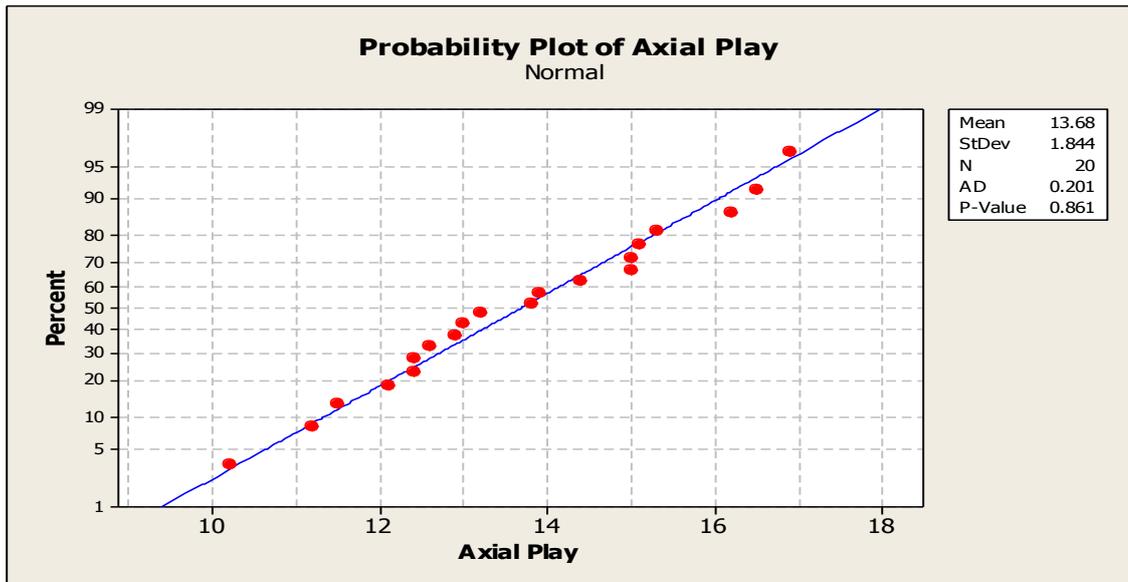
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	P62	Motor speed	Axial play
5	1	0	1	162.5	0.0125	12.6
1	2	1	1	155.0	0.0050	11.5
4	3	1	1	170.0	0.0200	15.3
3	4	1	1	155.0	0.0200	12.4
2	5	1	1	170.0	0.0050	13.9
7	6	1	2	170.0	0.0050	13.0
8	7	1	2	155.0	0.0200	12.1
9	8	1	2	170.0	0.0200	16.2
6	9	1	2	155.0	0.0050	13.8
10	10	0	2	162.5	0.0125	15.1
13	11	1	3	155.0	0.0200	14.4
15	12	0	3	162.5	0.0125	15.0
11	13	1	3	155.0	0.0050	16.9
14	14	1	3	170.0	0.0200	16.5
12	15	1	3	170.0	0.0050	15.0
19	16	1	4	170.0	0.0200	12.9
17	17	1	4	170.0	0.0050	12.4
18	18	1	4	155.0	0.0200	10.2
16	19	1	4	155.0	0.0050	11.2
20	20	0	4	162.5	0.0125	13.2

จากตารางข้อมูลค่า axial play ของชิ้นงานที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง โดยเริ่มจากตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์การทดลอง  $2^2$  แฟกทอเรียล แบบเต็มรูปแบบและทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง

จากรูปที่ 4.22 เป็นกราฟแสดงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งแปลความได้ว่ากระบวนการทดลองอยู่ภายใต้การควบคุมและความผันแปรที่เกิดขึ้นเกิดจากสาเหตุธรรมชาติ จากนั้นทำการพิจารณากราฟ normal probability plot ดังรูปที่ 4.23 เพื่ออ่านค่าการกระจายตัวของข้อมูลพบว่าค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.861 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าข้อมูลที่แสดงด้วยจุดในกราฟมีความแตกต่างจากการแจกแจงปกติที่แสดงด้วยเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.861 แสดงว่าข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.23 กราฟวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลการทดลอง  $2^2$  แฟกทอเรียล แบบเต็มรูปแบบและทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง

### Factorial Fit: Axial Play versus Block, P62, Speed Motor

Estimated Effects and Coefficients for Axial Play (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		13.6062	0.2514	54.13	0.000
Block 1		-0.5400	0.3894	-1.39	0.191
Block 2		0.3600	0.3894	0.92	0.373
Block 3		1.8800	0.3894	4.83	0.000
P62	1.5875	0.7938	0.2514	3.16	0.008
Speed Motor	0.2875	0.1437	0.2514	0.57	0.578
P62*Speed Motor	1.3625	0.6812	0.2514	2.71	0.019
Ct Pt		0.3687	0.5621	0.66	0.524

S = 1.00548      PRESS = 31.2337  
R-Sq = 81.23%      R-Sq(pred) = 51.67%      R-Sq(adj) = 70.28%

Analysis of Variance for Axial Play (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	34.2280	34.2280	11.4093	11.29	0.001
Main Effects	2	10.4113	10.4113	5.2056	5.15	0.024
P62	1	10.0806	10.0806	10.0806	9.97	0.008
Speed Motor	1	0.3306	0.3306	0.3306	0.33	0.578
2-Way Interactions	1	7.4256	7.4256	7.4256	7.34	0.019
P62*Speed Motor	1	7.4256	7.4256	7.4256	7.34	0.019
Curvature	1	0.4351	0.4351	0.4351	0.43	0.524
Residual Error	12	12.1320	12.1320	1.0110		
Total	19	64.6320				

Unusual Observations for Axial Play

Obs	StdOrder	Axial Play	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
13	11	16.9000	15.2300	0.6359	1.6700	2.14R

R denotes an observation with a large standardized residual.  
Estimated Coefficients for Axial Play using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	20.7694
Block 1	-0.540000
Block 2	0.360000
Block 3	1.880000
P62	-0.0455556
Speed Motor	-1948.89
P62*Speed Motor	12.1111
Ct Pt	0.368750

**รูปที่ 4.24** ผลการวิเคราะห์ปัจจัยแบบเต็มรูปแบบและทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง  
ด้วยโปรแกรม Minitab

จากนั้นพิจารณาผลจาก session ว่าปัจจัยใดที่ไม่ส่งผลและทำการตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลออกและทำการพิจารณาอีกครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ได้จาก โปรแกรม Minitab ตามรูปที่ 4.24 โดยเริ่มจากการ พิจารณาค่า  $R^2 = 81.23\%$  แปลความได้ว่า ในความผันแปรของค่า axial play ของชิ้นงานทั้งหมด 100 หน่วย<sup>2</sup> เป็นความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการในการทดลองประมาณ 81.23 หน่วย<sup>2</sup> นอกจากนั้น 18.77 หน่วย<sup>2</sup> เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถอธิบายได้ จากนั้นพิจารณาค่า

curvature ซึ่งมีค่า P-value เท่ากับ 0.524 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าความต่างของระนาบจากความสูงที่จุดกึ่งกลางกับความสูงของจุดกึ่งกลางถึงระนาบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.524 จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแบบที่ได้เป็นเส้นตรงและสมการที่ได้เป็น first order model ซึ่งยังอยู่ห่างจากจุดเป้าหมายจึงต้องหาทางสู่ยอดเขาด้วย method of steepest ascent โดยปรับช่วงที่กำหนดใหม่เพื่อหาช่วงการทดลองที่เหมาะสมโดยตั้งข้อกำหนดไว้คือ ค่า axial play ของชิ้นงานอยู่ในช่วง 13.5-15.5 ไมโครเมตร

เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไปจึงต้องทำการแปลงค่าของตัวแปรอิสระ (independent variables) หรือตัวแปรธรรมชาติ (natural variables) ให้เป็นตัวแปรรหัส (coded variables) เสียก่อนดังนี้

$$X_A = \frac{(\xi_A - 16.0)}{1} \text{----- (4.1)}$$

$$X_B = \frac{(\xi_B - 0.01)}{0.18} \text{----- (4.2)}$$

เมื่อ  $\xi$  หมายถึง ตัวแปรธรรมชาติ (natural variables)

เมื่อ  $X$  หมายถึง ตัวแปรรหัส (coded variables)

จากสมการการหากราเดียนท์จะได้

$$\nabla f = \left[ \frac{\partial f}{\partial X_A}, \frac{\partial f}{\partial X_B}, \frac{\partial f}{\partial X_C}, \dots, \frac{\partial f}{\partial X_n} \right] \text{----- (4.3)}$$

$$\nabla f = (0.79 + 0.68_B, 0.144 + 0.68_A)$$

พิจารณาจากสมการข้างต้น จะพบว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นทางจะมีลักษณะทิศทางในการเคลื่อนที่เป็นการเคลื่อนที่ขึ้น เป็นเส้นทางกรขึ้นเขาเพื่อหาจุดที่เหมาะสม นั่นคือต้องหาจุดที่จะทำให้ได้ค่า axial play ของชิ้นงานได้ตามเป้าหมายโดยสามารถหาขนาดการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

จากเครื่องจักรในการปรับตั้งระยะกด สามารถปรับตั้งความละเอียดได้ครั้งละ 1 ไมโครเมตร ดังนั้นถ้าทำการปรับเลื่อนไปครั้งละ 1 หน่วย ปัจจัยที่เหลือจะขยับไปในทิศทางบวกเท่ากับ

$$\Delta x_A = 1$$

$$\Delta x_B = \frac{0.144}{0.79} = 0.18$$

จากการคำนวณในการปรับช่วงค่าการทำงานของปัจจัยความเร็วของมอเตอร์จะต้องลดลงครั้งละ 0.18 รอบ/นาที ซึ่งในทางปฏิบัติงานจริง การปรับตั้งที่เครื่องจักรที่ใช้งานอยู่ใช้ค่าอยู่ที่ 0.01 รอบ/นาที จึงทำการปรับค่าที่ได้จากการคำนวณให้เป็นค่าที่สามารถปรับตั้งได้ตามการทำงานจริง ความเร็วตัดต้องปรับเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.0018 รอบ/นาที และทำการปรับค่าที่ต้องทำการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 4.10 ซึ่งสามารถปรับตั้งเครื่องจักรได้จริง ดังนั้นจึงเริ่มทำการทดลองตามตารางที่ 4.10 และบันทึกผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 การออกแบบการเคลื่อนที่เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด

step	ตัวแปรรหัส (code variables)		ตัวแปรธรรมชาติ (natural variables)	
	$x_A$	$x_B$	$\zeta_A$	$\zeta_B$
$\Delta$	1	-0.01	1	0.0018
Base + $\Delta$	1	-0.01	16.1	0.0118
Base + $2\Delta$	2	-0.02	16.2	0.0136
Base + $3\Delta$	3	-0.03	16.3	0.0154
Base + $4\Delta$	4	-0.04	16.4	0.0172
Base + $5\Delta$	5	-0.05	16.5	0.019
Base + $6\Delta$	6	-0.06	16.6	0.0208
Base + $7\Delta$	7	-0.07	16.7	0.0226
Base + $8\Delta$	8	-0.08	16.8	0.0244
Base + $9\Delta$	9	-0.09	16.9	0.0262
Base + $10\Delta$	10	-0.010	17.0	0.028
Base + $11\Delta$	11	-0.011	17.1	0.0298

ตารางที่ 4.11 การทดลองการเคลื่อนที่ขึ้นเขาด้วยเส้นทางที่ชันที่สุด

step	ตัวแปรรหัส (code variables)		ตัวแปรธรรมชาติ (natural variables)		ค่า axial play ของ ชิ้นงาน
	$x_A$	$x_B$	$\xi_A$	$\xi_B$	
$\Delta$	-0.02	-0.01	1	0.86	
Base + $\Delta$	-0.02	-0.01	16.1	0.0118	13.2
Base + 2 $\Delta$	2	-0.02	16.2	0.0136	11.9
Base + 3 $\Delta$	3	-0.03	16.3	0.0154	16
Base + 4 $\Delta$	4	-0.04	16.4	0.0172	14.4
Base + 5 $\Delta$	5	-0.05	16.5	0.019	14
Base + 6 $\Delta$	6	-0.06	16.6	0.0208	14.9
Base + 7 $\Delta$	7	-0.07	16.7	0.0226	14.7
Base + 8 $\Delta$	8	-0.08	16.8	0.0244	14.2
Base + 9 $\Delta$	9	-0.09	16.9	0.0262	14.6
Base + 10 $\Delta$	10	-0.010	17.0	0.028	14.3
Base + 11 $\Delta$	11	-0.011	17.1	0.0298	15.9

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 พบว่า ตำแหน่งที่ใกล้เคียงเป้าหมายที่สุด คือ บริเวณตำแหน่งที่มีการใช้ค่าปรับตั้งที่ ระยะกดที่ 16.5 ไมโครเมตรและความเร็วของมอเตอร์ที่ 0.019 รอบต่อนาที ทำให้ค่า axial play ของชิ้นงาน เท่ากับ 14 ไมโครเมตร ซึ่งถือเป็นจุดยอดเขาหรือจุดที่ดีที่สุด แต่จากการทดลองปรับระดับค่าปรับตั้ง พบว่าบางช่วงค่า axial play มีลักษณะของการสุม ซึ่งเกิดจากความผันแปรจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่ค่าดังกล่าวเป็นเพียงความผันแปรเล็กน้อยที่ยังสามารถยอมรับได้ จึงตีความได้ว่าหากไม่มีความผันแปรจากปัจจัยอื่นๆเข้ามาส่งผลด้วยระดับปัจจัยที่จุดยอดเขาจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการ แต่ในการทำงานจริงอาจมีปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หลายอย่างที่เข้ามาส่งผลกระทบต่อค่า axial play ทำให้การจะได้ค่า ณ ตำแหน่งนี้เสมอเป็นไปได้

ยาก จึงทำการเลือกช่วงที่สามารถยอมรับได้มาทำการทดลองแทนทำให้ได้ขอบเขตในการปรับตั้งใหม่สำหรับการทดลอง ดังนี้

ลำดับ	ปัจจัย	ค่าต่ำ	ค่าสูง
1	ระยะกค: ไมโครเมตร	16.4	17.0
2	ความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กค: รอบต่อนาที	0.0172	0.028

เนื่องจากการปรับตั้งระดับปัจจัยด้วยระดับดังกล่าวส่งผลให้ค่า axial play อยู่ในช่วง 14.0-14.9 ไมโครเมตร เป็นช่วงของค่า axial play ที่ดีที่สุดและสามารถยอมรับได้ จึงทำการระบุระดับปัจจัยของระยะกคและความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กคอยู่ที่ช่วง 16.4-17.0 ไมโครเมตรและ 0.0172-0.028 รอบต่อนาที ตามลำดับ

ขั้นตอนมาผู้ทดลองใช้โปรแกรม Minitab ในการออกแบบการทดลองที่จุด near optimal เพื่อให้การทดลองเป็นไปแบบสุ่ม โดยใช้การทดลองแบบ  $2^k$  แฟคทอเรียล แบบเต็มรูปแบบและทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง และได้ค่า axial play ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4.12 จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองด้วยระดับปัจจัยใหม่

Std order	RunOrder	CenterPt	Blocks	P62	Motor speed	Axial play
14	1	1	3	17.0	0.028	14.4
11	2	1	3	16.4	0.0172	16.1
13	3	1	3	16.4	0.028	13.0
12	4	1	3	17.0	0.0172	16.8
15	5	0	3	16.7	0.0226	12.9
6	6	1	2	16.4	0.0172	15.2
8	7	1	2	16.4	0.028	12.8
10	8	0	2	16.7	0.0226	13.5
9	9	1	2	17.0	0.028	14.3
7	10	1	2	17.0	0.0172	17.2
3	11	1	1	16.4	0.028	12.6
1	12	1	1	16.4	0.0172	12.9
2	13	1	1	17.0	0.0172	13.1
4	14	1	1	17.0	0.028	14.2
5	15	0	1	16.7	0.0226	13.0
19	16	1	4	17.0	0.028	14.9
20	17	0	4	16.7	0.0226	13.4
18	18	1	4	16.4	0.028	13.1
17	19	1	4	17.0	0.0172	16.5
16	20	1	4	16.4	0.0172	14.3

### Factorial Fit: Axial play versus Block, P62, Motor speed

Estimated Effects and Coefficients for Axial play (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		14.463	0.2227	64.94	0.000
Block 1		0.390	0.3450	1.13	0.280
Block 2		-1.050	0.3450	-3.04	0.010
Block 3		0.230	0.3450	0.67	0.518
P62	1.425	0.712	0.2227	3.20	0.008
Speed Motor	-1.600	-0.800	0.2227	-3.59	0.004
P62*Speed Motor	0.150	0.075	0.2227	0.34	0.742
Ct Pt		-1.262	0.4980	-2.54	0.026

S = 0.890833      PRESS = 35.2601  
R-Sq = 76.51%      R-Sq(pred) = 13.02%      R-Sq(adj) = 62.81%

Analysis of Variance for Axial play (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	3	7.4620	7.4620	2.4873	3.13	0.066
Main Effects	2	18.3625	18.3625	9.1813	11.57	0.002
P62	1	8.1225	8.1225	8.1225	10.24	0.008
Speed Motor	1	10.2400	10.2400	10.2400	12.90	0.004
2-Way Interactions	1	0.0900	0.0900	0.0900	0.11	0.742
P62*Speed Motor	1	0.0900	0.0900	0.0900	0.11	0.742
Curvature	1	5.1005	5.1005	5.1005	6.43	0.026
Residual Error	12	9.5230	9.5230	0.7936		
Total	19	40.5380				

Unusual Observations for Axial play

Obs	StdOrder	Axial play	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
12	7	13.1000	14.8500	0.5634	-1.7500	-2.54R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Coefficients for Axial play using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-8.2192
Block 1	0.390000
Block 2	-1.05000
Block 3	0.230000
P62	1.57581
Speed Motor	-1239.78
P62*Speed Motor	64.516
Ct Pt	-1.26250

Alias Structure

I  
Blocks =  
P62  
Speed Motor  
P62\*Speed Motor

รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยใหม่ด้วยโปรแกรม Minitab

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab จากรูปที่ 4.25 โดยเริ่มจากพิจารณาค่า  $R^2 = 76.51\%$  แปลความได้ว่า ในความผันแปรของค่า axial play ของชิ้นงานโรเตอร์ทั้งหมด 100 หน่วย<sup>2</sup> เป็นความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วย ปัจจัยของข้อมูลการทดลองประมาณ 76.51 หน่วย<sup>2</sup> นอกจากนั้น 23.49 หน่วย<sup>2</sup> เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถอธิบายได้จากนั้นพิจารณา curvature พบว่ามีค่า P-value = 0.026 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.026 จึงต้องทำการทดลองต่อเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด โดยผู้ทดลองเลือกทำการแบบต่อแกน หรือ CCD ซึ่งเมื่อพิจารณาเงื่อนไขของการปรับตั้งค่าของปัจจัยต่างๆแล้วพบว่า อยู่ในขอบเขตของเครื่องจักรที่สามารถทำการปรับตั้งได้และสามารถดำเนินการกระบวนการผลิตต่อได้โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดลำดับและรูปแบบของการทดลองเพื่อให้การทดลองเป็นไปแบบสุ่มโดยทำการทดลองแบบต่อแกนดังตารางที่ 4.13 จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 4.26

**ตารางที่ 4.13** ตารางการทดลองและค่า axial play ที่ได้จากการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	P62	Motor speed	Axial play
14	1	1	3	17.0	0.02440	14.4
11	2	1	3	16.4	0.01510	16.1
13	3	1	3	16.4	0.02440	13.0
12	4	1	3	17.0	0.01510	16.8
15	5	0	3	16.7	0.01975	12.9
6	6	1	2	16.4	0.01510	15.2
8	7	1	2	16.4	0.02440	12.8
10	8	0	2	16.7	0.01975	13.5
9	9	1	2	17.0	0.02440	14.3
7	10	1	2	17.0	0.01510	17.2

ตารางที่ 4.13 ตารางการทดลองและค่า axial play ที่ได้จากการทดลอง(ต่อ)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	P62	Motor speed	Axial play
3	11	1	1	16.4	0.02440	12.6
1	12	1	1	16.4	0.01510	12.9
2	13	1	1	17.0	0.01510	13.1
4	14	1	1	17.0	0.02440	14.2
5	15	0	1	16.7	0.01975	13.0
19	16	1	4	17.0	0.02440	14.9
20	17	0	4	16.7	0.01975	13.4
18	18	1	4	16.4	0.02440	13.1
17	19	1	4	17.0	0.01510	16.5
16	20	1	4	16.4	0.01510	14.3
21	21	-1	5	16.1	0.01975	12.2
22	22	-1	5	17.3	0.01975	16.8
23	23	-1	5	16.7	0.01045	14.1
24	24	-1	5	16.7	0.02905	13.0
25	25	0	5	16.7	0.01975	13.5
26	26	0	5	16.7	0.01975	12.9
27	27	0	5	16.7	0.01975	13.3
28	28	0	5	16.7	0.01975	14.2

### Response Surface Regression: Axial Play versus Block, P62, Motor speed

The analysis was done using coded units.  
Estimated Regression Coefficients for AxP

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13.6500	0.2899	47.081	0.000
Block 1	-0.9357	0.3634	-2.575	0.019
Block 2	0.5043	0.3634	1.388	0.182
Block 3	0.5443	0.3634	1.498	0.152
Block 4	0.3443	0.3634	0.947	0.356
P62	0.8583	0.1871	4.586	0.000
Speed Motor	-0.6250	0.1871	-3.340	0.004
P62*P62	0.3973	0.1786	2.225	0.039
Speed Motor*Speed Motor	0.1598	0.1786	0.895	0.383
P62*Speed Motor	0.0750	0.2292	0.327	0.747

S = 0.916826 PRESS = 43.3081

R-Sq = 72.65% R-Sq(pred) = 21.72% R-Sq(adj) = 58.98%

#### Analysis of Variance for AxP

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	8.6711	9.2906	2.3226	2.76	0.060
Regression	5	31.5257	31.5257	6.3051	7.50	0.001
Linear	2	27.0567	27.0567	13.5283	16.09	0.000
P62	1	17.6817	17.6817	17.6817	21.04	0.000
Speed Motor	1	9.3750	9.3750	9.3750	11.15	0.004
Square	2	4.3791	4.3791	2.1895	2.60	0.101
P62*P62	1	3.7059	4.1602	4.1602	4.95	0.039
Speed Motor*Speed Motor	1	0.6731	0.6731	0.6731	0.80	0.383
Interaction	1	0.0900	0.0900	0.0900	0.11	0.747
P62*Speed Motor	1	0.0900	0.0900	0.0900	0.11	0.747
Residual Error	18	15.1303	15.1303	0.8406		
Lack-of-Fit	15	14.2428	14.2428	0.9495	3.21	0.183
Pure Error	3	0.8875	0.8875	0.2958		
Total	27	55.3271				

#### Unusual Observations for AxP

Obs	StdOrder	AxP	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
2	11	16.100	14.593	0.542	1.507	2.04 R
13	2	13.100	14.680	0.542	-1.580	-2.14 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Regression Coefficients for AxP using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1220.35
Block 1	-0.935714
Block 2	0.504286
Block 3	0.544286
Block 4	0.344286
P62	-145.651
Speed Motor	-1324.22
P62*P62	4.41468
Speed Motor*Speed Motor	7391.44
P62*Speed Motor	53.7634

รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยใหม่ด้วยโปรแกรม Minitab

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab จากรูปที่ 4.27 ได้ว่าพิจารณาค่า  $R^2 = 72.65\%$  แปลความได้ว่า ในความผันแปรของค่า axial play ของชิ้นงานโรเตอร์ทั้งหมด 100 หน่วย<sup>2</sup> เป็นความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยของข้อมูลการทดลองประมาณ 72.65 หน่วย<sup>2</sup> นอกจากนั้น 27.35 หน่วย<sup>2</sup> เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถอธิบายได้และพิจารณา lack-of-fit พบว่ามีค่า P-value เท่ากับ 0.183 แสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความแตกต่างกับผลการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.183 ซึ่งมีค่ามาก จึงสรุปได้ว่าความสมรูปของตัวแบบกับข้อมูลมีความเหมาะสม

ดังนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ตาม coded units ดังนี้

$$Y = 13.65 + 0.858x_A - 0.625x_B + 0.397x_A^2 + 0.159x_B^2 \text{ ----- (4.5)}$$

การวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Minitab ได้ดังนี้

**Response Optimization**

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
AxP	Target	13.5	14	15.5	1	1

Global Solution

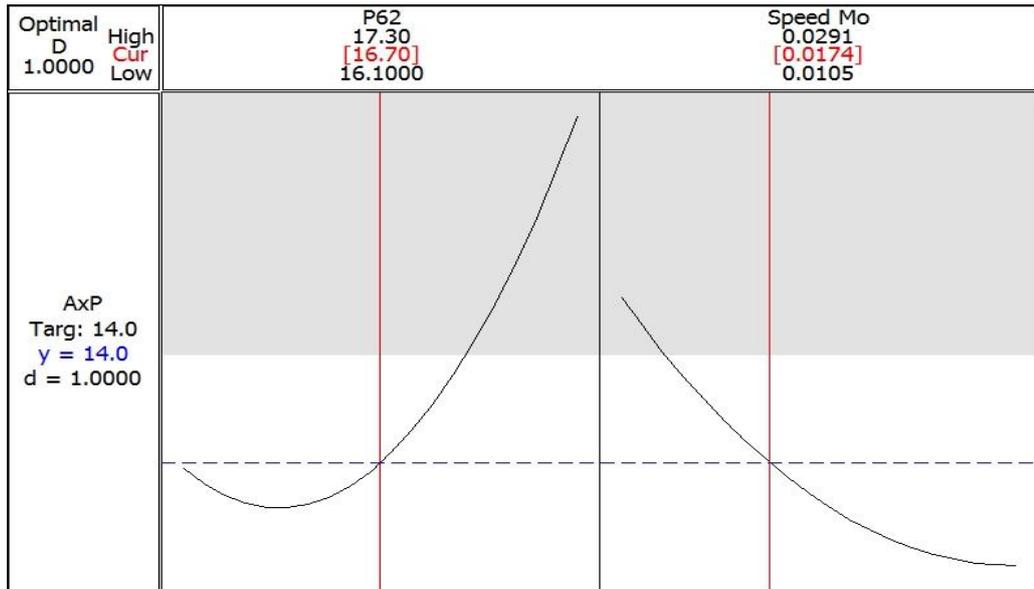
P62 = 16.7  
 Speed Motor = 0.0174396

Predicted Responses

AxP = 14 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

รูปที่ 4.27 ค่าที่เป็นไปได้ที่ทำให้ค่า axial play ของชิ้นงานเข้าใกล้เป้าหมาย



รูปที่ 4.28 ค่าที่เป็นไปได้ที่ทำให้ค่า axial play ของชิ้นงานเข้าใกล้เป้าหมาย

การหาจุดที่เหมาะสมที่สุดนี้จะหาได้จากสมการ (4.5) โดยนำปัจจัยทั้งหมดที่ทำการทดลอง คือ ระยะเวลา ( $x_A$ ) และความเร็วมอเตอร์ที่ใช้กด ( $x_B$ ) มาพิจารณาค่าที่เป็นไปได้แทนลงในสมการหรือทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Minitab ดังนั้นจะได้ค่าปรับตั้งใหม่ที่เลือกใช้ในกระบวนการ คือ

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลา} &= 16.7 && \text{ไมโครเมตร} \\ \text{ความเร็วของมอเตอร์} &= 0.0174 && \text{รอบ/นาที} \end{aligned}$$

ซึ่งเมื่อทำการปรับตั้งค่าต่างๆตามสมการข้างต้นจะให้ค่า axial play ของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการเท่ากับ 14 ไมโครเมตร และมีค่าเผื่อ ( $\pm 1.5$  ไมโครเมตร)

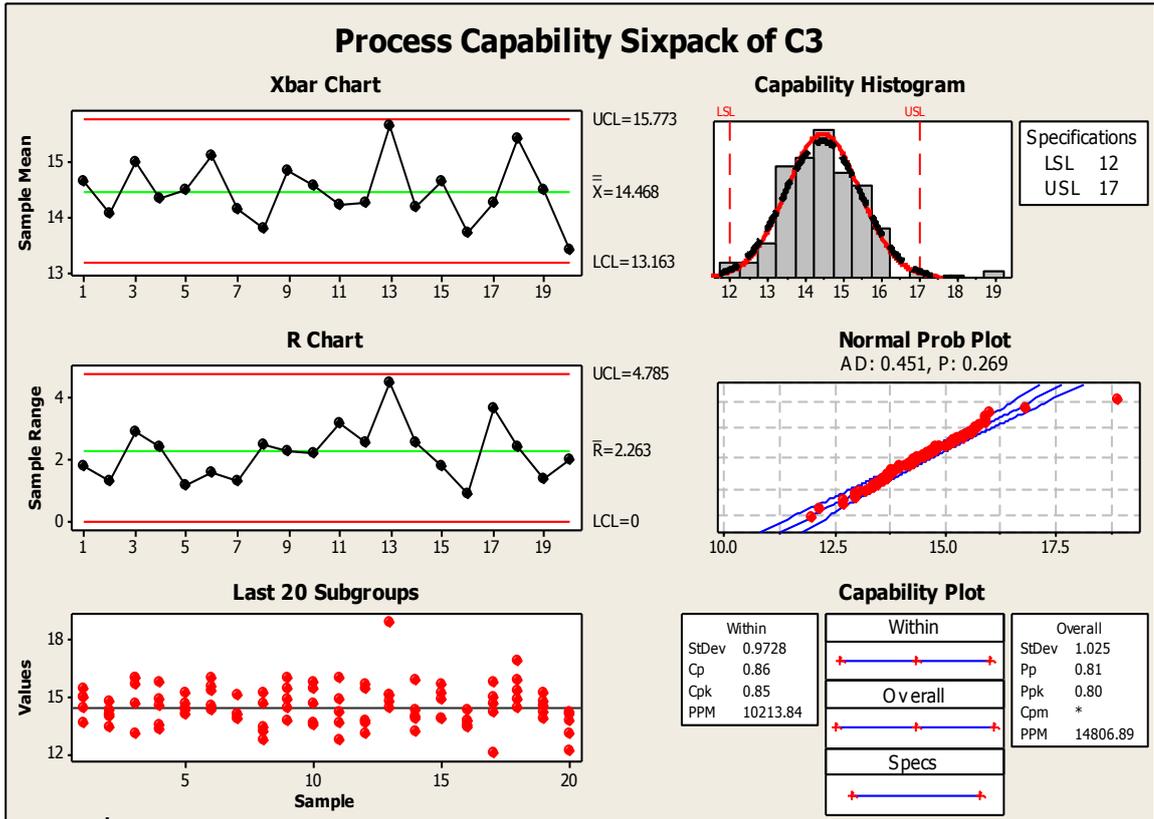
#### 4.8 การยืนยันผลจากการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้ง 2

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้นว่าปัญหา axial play low มีสาเหตุมาจากความไม่เหมาะสมของค่าปรับตั้งระยะเวลาและความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กด จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการและจากการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่ดีที่สุด ทำให้ได้ค่าปรับตั้งที่ระดับปัจจัยใหม่ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหา axial play low น้อยลง โดยค่าปรับตั้งของทั้ง 2 ปัจจัยคือ ระยะเวลา ที่ 16 – 17.4 ไมโครเมตร และ ความเร็วของมอเตอร์ ที่ 0.0124 – 0.024 รอบต่อนาที จากนั้นจึงนำระดับปรับตั้งใหม่ไปทำการทดลองใช้ในกระบวนการและทำการอธิบายขั้นตอนการปฏิบัติงานแก่พนักงาน ในกระบวนการถึงการกำหนดระดับปรับตั้งใหม่ เพื่อยืนยันผลการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้ง 2 และ

ผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลค่า axial play ของโรเตอร์ที่ประกอบจากวัสดุในล็อตที่แตกต่างกันทั้งหมด 20 ล็อต (20 กลุ่มย่อย) และโรเตอร์ที่ประกอบจากวัสดุในแต่ละล็อตจะมีการเก็บข้อมูลค่า axial play มา 5 ค่าจากชิ้นงานโรเตอร์ 5 ชิ้นที่ประกอบจากวัสดุในล็อตเดียวกัน โดยเก็บข้อมูลวันละ 3 ล็อตและการศึกษาความสามารถกระบวนการนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ดังผลตามรูปที่ 4.29 และยืนยันผลของการปรับเปลี่ยนระดับการทำงานใหม่ โดยวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการอีกครั้งดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการเก็บข้อมูลค่า axial play ในการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ

ตัวที่ ล็อตที่	1	2	3	4	5
1	15.4	14.9	13.6	15	14.4
2	14.3	14.7	13.9	13.4	14.1
3	13	15.9	15.9	14.6	15.6
4	13.5	14.5	15.7	14.8	13.3
5	15.2	14.6	14.3	14.4	14
6	15.3	15.9	14.3	14.5	15.5
7	14	13.8	15.1	14	13.8
8	13.4	14.6	12.7	15.2	13.1
9	15.4	14.4	16	13.7	14.8
10	13.5	14.6	13.6	15.4	15.7
11	12.7	15.9	14.2	13.6	14.8
12	13.7	13.6	15.4	13	15.6
13	14.7	18.9	14.4	15.1	15.1
14	13.9	15.8	13.2	13.8	14.3
15	15.2	15.6	13.8	14.8	13.8
16	13.7	13.5	14.3	13.4	13.7
17	14.9	14.2	14.6	15.7	12
18	15.8	16.8	15.3	14.8	14.4
19	14.5	14.2	13.8	14.7	15.2
20	13.7	12.2	14.2	14	13



รูปที่ 4.29 ผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ของการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ(หลังปรับปรุง)

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ตามรูปที่ 4.29 พบว่า ความผันแปรของข้อมูลมีความสม่ำเสมอดีเมื่อพิจารณาจาก R Chart และกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิ X-Bar เมื่อพิจารณาต่อพบว่าสิ่งที่กระบวนการควรทำได้ (Cp) มีค่าเท่ากับ 0.86 และสิ่งที่กระบวนการทำได้จริง (Cpk) มีค่าเท่ากับ 0.85 ซึ่งเมื่อเทียบกับกระบวนการก่อนการปรับปรุงจะเห็นว่าค่า Cp และ Cpk ที่สูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวเกิดจากการปรับปรุงกระบวนการ โดยการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมให้กับกระบวนการเพื่อลดความผันแปรของค่า axial play ที่เกิดจากการเปลี่ยนลวดของวัสดุที่ใช้ในการประกอบโรเตอร์ ซึ่งการปรับใช้ระดับปัจจัยใหม่ในครั้งนี้ส่งผลให้ความผันแปรภายในกลุ่มลดลงเนื่องจากปัจจัยที่ได้ทำการปรับระดับใหม่ เป็นพารามิเตอร์ในกระบวนการกดละเอียด ทำให้ค่าเฉลี่ยของค่า axial play เข้าใกล้ค่ากลางของพิสัยของข้อกำหนดมากขึ้น จึงเห็นว่าค่าดัชนี Cpk สูงขึ้น แต่ทั้งนี้ค่าที่ได้แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ เป็นเพียงผลกระทบเล็กน้อยเท่านั้น จากนั้นพิจารณาค่า Ppk ต่อ พบว่าผลการปรับปรุงเป็นไปได้ด้วยดี การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมให้กับระยะกดและความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้กดส่งผลให้ในขั้นตอนการกดละเอียดที่มีการกดชิ้นส่วน โคนของกระบวนการประกอบโรเตอร์ สามารถกดชิ้นส่วน โคนและหยุดชิ้นส่วน โคนที่เคลื่อนที่ได้ดีขึ้น แสดงว่าการปรับปรุงกระบวนการส่งผลให้ค่า axial play มีค่าที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลดลงและเมื่อพิจารณาไปถึงการศึกษาระยะยาวจะพบว่าค่า Ppk มีค่าเท่ากับ 0.80 พบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าก่อนการปรับปรุง และมีค่าเข้าใกล้ค่า Cpk มากขึ้น แสดงว่ามีความผันแปรระหว่างเวลาหรือความผันแปรอันเนื่องมาจาก

การเปลี่ยนลวดของวัสดุที่ใช้ประกอบโรเตอร์ลดลงซึ่งเป็นผลจากการใช้ระดับปัจจัยใหม่ที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการกดละเอียดทำให้ลดความผันแปรระหว่างลวด ที่เกิดจากวัสดุที่ใช้ประกอบโรเตอร์ลงได้ ส่งผลให้เป็นการควบคุมกระบวนการที่ดีขึ้น หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการโดยการนำค่าปรับตั้งใหม่ไปทดลองใช้ในกระบวนการ โดยใช้ค่าปรับตั้งของระยะกดอยู่ในช่วง 16 – 17.4 ไมโครเมตร และ ค่าปรับตั้งของความเร็วมอเตอร์อยู่ในช่วง 0.0124 – 0.024 รอบต่อนาที และทำการการติดตามผล โดยทำการตั้งสมมติฐานดังนี้

H0: การปรับปรุงไม่ทำให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ลดลง

H1: การปรับปรุงทำให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ลดลง

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐาน โดยการเก็บข้อมูลสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดมา 30 ลวดได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการปรับปรุง

จำนวนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนด		
ลวดที่	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	12	1
2	4	0
3	0	1
4	16	2
5	10	0
6	4	3
7	4	0
8	5	1
9	3	1
10	6	0
11	7	1
12	4	2
13	9	0
14	4	0
15	8	0

จำนวนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนด		
ลวดที่	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
16	0	0
17	4	1
18	19	2
19	16	2
20	9	0
21	4	2
22	10	3
23	11	2
24	0	0
25	5	0
26	0	1
27	3	0
28	15	2
29	5	0
30	4	1

### Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	28	9000	0.003111
2	201	9000	0.022333

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: -0.0192222

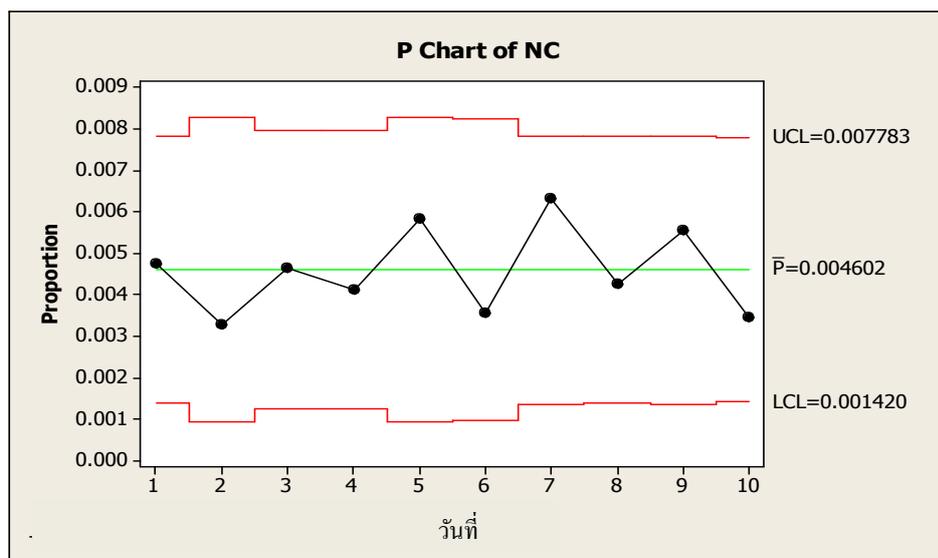
95% upper bound for difference: -0.0164843

Test for difference = 0 (vs < 0): Z = -11.55 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

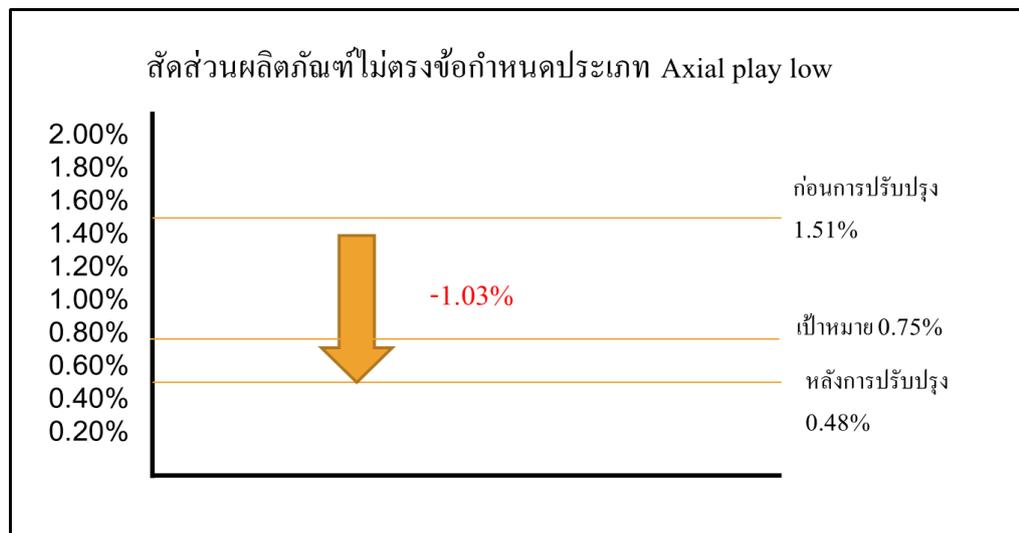
#### รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์หลังปรับปรุงและก่อนปรับปรุงกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.30 พบว่า การปรับปรุงทำให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญขั้นต่ำ 0.000 ซึ่งมีค่าต่ำหมายความว่า การปรับปรุงกระบวนการด้วยการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ส่งผลให้ความผันแปรของค่า axial play ลดลง จึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงกระบวนการมีผลต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low (reject Ho) จากนั้นจึงทำการติดตามผลต่อ โดยทำการเก็บข้อมูลสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดของเครื่องจักรตัวอย่างเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดมีความผันแปรอย่างสม่ำเสมอค่ากลางของแผนภูมิควบคุมภายใต้พิถีพิถันควบคุม ดีความว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภท axial play low อยู่ในสภาวะเสถียรภาพ หมายความว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ที่ผลิตด้วยเครื่องจักรตัวอย่างที่ 0.48% ของจำนวนงานป้อนเข้าที่ผลิตด้วยเครื่องจักรตัวอย่างมีความเสถียรและสามารถคาดการณ์ผลการเกิดในอนาคตได้ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 แผนภูมิควบคุมของสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดหลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุงกระบวนการ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ของเครื่องจักรตัวอย่างลดลงจาก 1.51% เหลือ 0.48% ของจำนวนโรเตอร์ทั้งหมดที่ผลิตด้วยเครื่องจักรตัวอย่างดังรูปที่ 4.31 และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.29 จะเห็นว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดที่ผลิตออกมามีค่าสูงกว่าค่าคาดหวังที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ ซึ่งเกิดจากสาเหตุครั้งคราวที่เป็นผลมาจากวัสดุในการผลิตบางลอตที่ส่งผลอย่างมากต่อค่า axial play ของชิ้นงานทำให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดที่เกิดขึ้นจริงคลาดเคลื่อนไป ซึ่งในส่วนนี้บริษัทกรณีศึกษาอาจมีการดำเนินการ โดยมุ่งเน้นในการควบคุมกระบวนการเพื่อลดปัญหานี้ต่อไป



รูปที่ 4.32 ผลของการปรับปรุงกระบวนการ

#### 4.9 การวางแผนควบคุมระดับปัจจัย

จากการยืนยันผลจากปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยคือค่าระยะกดและความเร็วมอเตอร์แล้วพบว่าผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low ลดลงหลังจากที่ทำการทดสอบยืนยันผล ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมและรักษาเสถียรภาพของกระบวนการ จึงต้องกำหนดแผนควบคุมกระบวนการเพื่อให้เป็นมาตรฐานในการทำงานและเป็นการควบคุมให้ค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ไม่ตรงข้อกำหนดประเภท axial play low มีความผันแปรเป็นไปโดยปกติซึ่งจากผลดังกล่าวสามารถสรุปจุดที่ต้องควบคุมได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แผนการควบคุมพารามิเตอร์ที่เครื่องกด

ลำดับที่	พารามิเตอร์	ค่าควบคุม	หน่วยวัด	วิธีการ	ผู้รับผิดชอบ
1	ระยะกด	$16.7 \pm 0.7$	ไมโครเมตร	เช็ค ค่าพารามิเตอร์ ตามข้อกำหนด เฉพาะ	พนักงาน ปรับตั้งเครื่อง
2	ความเร็วของ มอเตอร์	$0.0174 \pm 0.005$	รอบ/นาที	เช็ค ค่าพารามิเตอร์ ตามข้อกำหนด เฉพาะ	พนักงาน ปรับตั้งเครื่อง