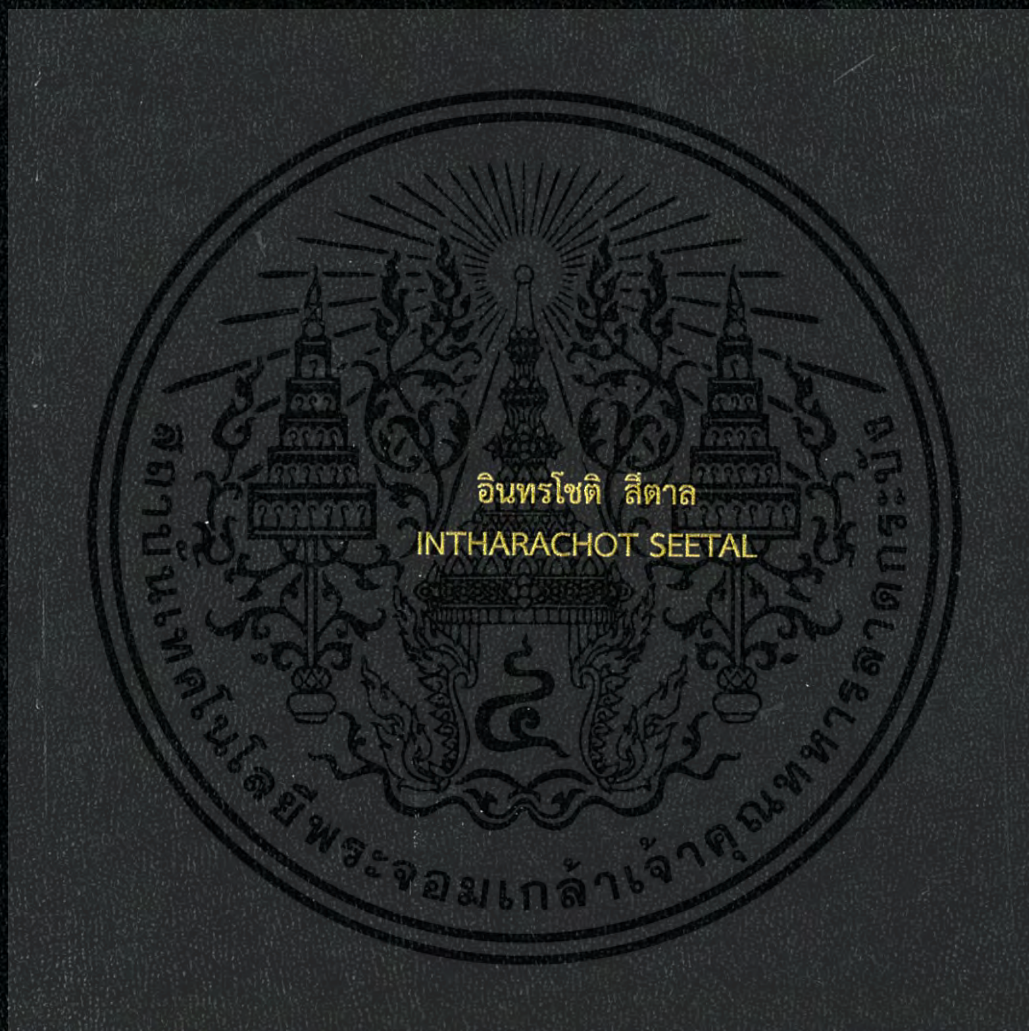


การเพิ่มผลผลิตโดยวิธีการซิกส์ซิกมา : กรณีศึกษาของการประกอบโรเตอร์  
สำหรับการผลิตสปินเดิลมอเตอร์

YIELD ENHANCEMENT WITH SIX SIGMA METHODOLOGY: A CASE STUDY  
OF ROTOR ASSEMBLY FOR SPINDLE MOTOR PRODUCTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2560  
KMITL-2017-EN-M-257-150

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเพิ่มผลผลิตโดยวิธีการซิกส์ซิกมา : กรณีศึกษาของการประกอบโรเตอร์  
สำหรับการผลิตสปินเดิลมอเตอร์

YIELD ENHANCEMENT WITH SIX SIGMA METHODOLOGY: A CASE STUDY  
OF ROTOR ASSEMBLY FOR SPINDLE MOTOR PRODUCTION



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **148782**  
ในเดือนปี **23 พ.ย. 2560**

b.00267078  
f.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-257-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YIELD ENHANCEMENT WITH SIX SIGMA METHODOLOGY: A CASE STUDY  
OF ROTOR ASSEMBLY FOR SPINDLE MOTOR PRODUCTION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2017  
KMITL-2017-EN-M-257-150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มผลผลิตโดยวิธีการซิกส์ซิกมา : กรณีศึกษาของการประกอบโรเตอร์  
สำหรับการผลิตสปินเดิลมอเตอร์

Thesis Title Yield Enhancement with Six Sigma Methodology : A Case Study  
of Rotor Assembly for Spindle Motor Production

นักศึกษา นายอินทรโชติ สีताल

รหัสประจำตัว 55613612

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.พิทยา ปานนิล

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-257-150

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เชิดพงษ์	ดีเลิศไพบูลย์	
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	
รศ.ประสิทธิ์	จุลเสวีวงศ์	
รศ.ดร.พิทยา	ปานนิล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 08.00-10.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มผลผลิตโดยวิธีการซิกส์ซิกมา : กรณีศึกษาของการประกอบโรเตอร์สำหรับการผลิตสปินเดิลมอเตอร์
ชื่อนักศึกษา	นาย อินทรโชติ สีताल
รหัสนักศึกษา	55613612
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. พิทยา ปานนิล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกรณีศึกษาและนำเสนอวิธีปรับปรุงการผลิตโดยใช้วิธีซิกส์ซิกมา (Six Sigma) เพื่อเพิ่มผลผลิต (Yield) กระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) ของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้ระบบดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC (Define ,Measurement, Analyze Improve ,Control) กับปัญหาของเสียที่เกิดในกระบวนการนำมาใช้ซิกส์ซิกมาปรับปรุงงานประกอบเป็นโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ (Rotor of Spindle Motor) ระหว่าง ตัวชุดแบริ่ง (Bearing Unit) กับชุดฮับรองรับแผ่นฮาร์ดดิสก์ (Hub Assembly) ที่เครื่องสวมอัด (Press Fit Machine) ให้เป็นสปินเดิลมอเตอร์ จากนั้นทำการทดสอบหามุนสปินเดิลมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 7,200 รอบต่อนาทีพบว่ามีของเสียหลังการประกอบโรเตอร์ คือปิกฮับหมุนแกว่งแนวตั้ง (Ax RRO: Axial Repeat Run-Out) เพื่อลดของเสียโดยการปรับปรุงเพื่อหาค่าเหมาะสมของตัวแปรในงานประกอบสปินเดิลมอเตอร์ด้วยวิธีทาгуชิ (Taguchi Method) วิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab และนำไปดำเนินแก้ไขปรับปรุงต่อในกระบวนการพร้อมทั้งควบคุมกระบวนการเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยพิจารณาจากนัยสำคัญของตัวแปรที่มีกระทบผลต่อปัญหาของเสียและเกิดการปรับปรุงค่าผลผลิตดีขึ้นจาก 99.28% เป็น 99.78%

Thesis Title	Yield Enhancement with Six Sigma Methodology: A Case Study of Rotor Assembly for Spindle Motor Production
Student	Mr. Intharachot Seetal
Student ID.	55613612
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Pittaya Pannil

## ABSTRACT

This thesis presents a systematic improvement using Six Sigma methodology for increasing process yield in a spindle motor hub assembly for hard disk drive (HDD) production. A data-driven DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) approach is utilized to improve the existing process for press fitting a hub assembly into a bearing assembly of Rotor's spindle motor. A Six Sigma defect is defined as any hub/bearing assembly process that fails the axial run-out testing for high rotational speed of 7,200 rpm. Optimization of process parameters for defect reduction to enhance process yield is based on the use of Minitab software with Taguchi method. Statistically significant results confirm that the manufacturing yield can be increased from 99.28% up 99.78%.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำช่วยเหลือจนทำให้ งานวิจัยนี้สำเร็จจาก รศ.ดร.พิทยา ปานนิล และความช่วยเหลือแนะนำจาก ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี รวมถึงความคำแนะนำอย่างมีคุณค่าต่อวิทยานิพนธ์นี้ จาก รศ.ประสิทธิ์ และ รศ.ดร.อัพนัน จุลเสรีวงศ์ รวมไปถึงท่านอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติทุกท่านที่ได้ให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า ขอกราบ ขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุก ๆ ท่านเป็นอย่างสูง

ต้องขอขอบคุณ ดร.จรัล ทรัพย์เสรี (Master Black Belt) และอ.สุเมธ คงสำราญ (Master Black Belt) ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำในการประยุกต์ใช้ในเครื่องมือในการควบคุมกระบวนการผลิต และการเพิ่มผลผลิตโดยถ่ายทอดความรู้ผ่าน หลักการเนื้อหาหลักสูตร Six Sigma Black Belt ในขณะที่ข้าพเจ้าได้ปฏิบัติงานในโรงงานผลิตสปีนเดิลมอเตอร์ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่โรงงานแห่งนี้ที่ ได้นำกรณีศึกษาดังกล่าวมาประยุกต์ใช้วิธีซิกส์ซิกมา

ต้องขอขอบคุณลูกค้าของโรงงานที่ทำให้เรามีการกิจกรรมดี ๆ ที่ได้ทำการปรับปรุง กระบวนการอย่างต่อเนื่อง เพิ่มความพึงพอใจในการส่งมอบผลิตภัณฑ์สปีนเดิลมอเตอร์ที่ดีมีคุณภาพ และใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงเพื่อผลิตเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ต้องขอขอบคุณอย่างเป็นพิเศษต่อการ ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก นายจิรวัดน์ พุ่มท่วง นายปรัชญ์ วิจักขณา เพื่อนและน้องในสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและคอยให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ส่วนงานบริหารวิชาการและบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความ ช่วยเหลือในเรื่องประสานงาน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณพ่อฟุ้ง-แม่ยุพิน สีताल ขอบคุณ ภรรยา-สิริญา สีताल ลูกชายทั้งสองแฝงตัว มินิคูเปอร์ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจให้การสนับสนุนในทุกเรื่องจนสามารถ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านและแต่สถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้

อินทโรชิต สีताल

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 แนวความคิดของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 หลักการ และ เทคนิคซิกส์ซิกมากับการปรับปรุงกระบวนการ.....	9
2.1 บทนำ.....	9
2.2 ความเป็นมาและหลักการของซิกส์ซิกมา(6σ).....	9
2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานซิกส์ซิกมา.....	10
2.4 การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase).....	11
2.5 ระบบการวัดปัญหา (Measure Phase).....	11
2.5.1 การระดมความคิด (Brainstorming).....	12
2.5.2 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Mapping).....	12
2.5.3 แผนผังเหตุและผล (Cause & Effect diagram).....	12
2.5.4 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) .....	13
2.5.5 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA).....	14
2.5.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis).....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase).....	19
2.6.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) .....	20
2.6.2 Two-Sample t-test และ Confidence Interval.....	20
2.6.3 Test for Equal Variance.....	21
2.6.4 การวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis of Variance: ANOVA).....	21
2.6.5 One-Way Analysis of Variance.....	22
2.7 การปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase).....	23
2.7.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	23
2.7.2 วัตถุประสงค์ของ DoE.....	24
2.7.3 ประโยชน์ DoE ในการพัฒนากระบวนการผลิต.....	24
2.7.4 ประโยชน์ในการพัฒนาในการออกแบบเชิงวิศวกรรม.....	24
2.7.5 สาเหตุที่ต้องทำ DoE.....	25
2.7.6 วิธีการของ DoE.....	26
2.7.7 การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทากูชิ (Design of Experiment for Quality improvement by Taguchi Method).....	26
2.7.7.1 วางแผนการทดลอง (Planning Experiment).....	26
2.7.7.2 ออกแบบการทดลอง (Design Experiment).....	27
2.7.7.3 ดำเนินการทดลอง (Conducting Experiment).....	27
2.7.7.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง (Analyzing Experiment).....	27
2.7.7.5 พิจารณาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน.....	27
2.7.7.6 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย.....	28
2.7.7.7 เลือกรูปแบบการทดลอง.....	28
2.7.7.8 ความหมายและความสำคัญของOrthogonal Array (OA).....	29
2.7.7.9 สัญลักษณ์ของตาราง OA.....	29
2.7.7.10 Linear Graph.....	29
2.7.7.11 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยตาราง OA.....	29

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 การควบคุมกระบวนการผลิต (Control phase).....	30
บทที่ 3 การใช้ซิกส์ซิกมากับการเพิ่มผลผลิตกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์.....	31
3.1 บทนำ.....	31
3.2 การกำหนดตัวปัญหา (Define phase).....	31
3.2.1 กรณีศึกษากระบวนการประกอบโรเตอร์.....	31
3.2.2 กลไกของการเกิดปัญหา.....	31
3.2.3 การตรวจสอบผลการประกอบด้วยเครื่องมือวัดโรเตอร์.....	33
3.2.4 พิจารณาประวัติข้อมูลการผลิตโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์.....	34
3.2.5 กำหนดเป้าหมายที่ใช้ในการปรับปรุงประกอบโรเตอร์.....	34
3.2.5.1 เป้าหมายหลัก (Hard Saving).....	34
3.2.5.2 เป้าหมายรอง (Soft Saving).....	35
3.3 ขั้นตอนระบบการวัดปัญหา (Measure phase).....	35
3.3.1 การวิเคราะห์ความสามารถการประกอบโรเตอร์ (Process capability Analysis).....	35
3.3.2 คุณลักษณะความสามารถในปัจจุบันของกระบวนการประกอบโรเตอร์.....	36
3.3.3 แผนผังกระบวนการผลิต (Process Mapping).....	37
3.3.3.1 แผนผังกระบวนการประกอบโรเตอร์ (Hub assembly Insert process mapping).....	37
3.3.3.2 แผนผังกระบวนการผลิตชุดฮับ (Hub assembly process Mapping).....	37
3.3.3.3 แผนผังกระบวนการผลิตประกอบแบร์ริงยูนิท (Fluid Dynamic Bearing unit process mapping).....	37
3.3.3.4 แผนผังกระบวนการทดสอบโรเตอร์ (Hub Axial RRO Tester process mapping).....	39
3.3.4 พิจารณาปัจจัยนำเข้าของกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์.....	39
3.3.5 ระบบการวัดเครื่องวัดปีกฮับหมุนแกว่ง (MSA of tester).....	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5.1 ผลลัพธ์ของ Gauge R&R เครื่องวัดปีกฮับหมุนแกว่ง.....	41
3.3.5.2 ความสัมพันธ์ของตัวเครื่องวัด (Correlation of tester).....	43
3.3.5.3 Pair-T-test เครื่องวัดปีกฮับหมุนแกว่ง.....	45
3.3.6 แผนผังเหตุและผล (Cause & Effect diagram).....	46
3.3.7 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่องในกระบวนการ (PFMEA)..	46
3.3.8 แผนภาพพาร์โตจัดความสำคัญ ปัจจัยกระทบปัญหามากที่สุด (Pareto KPIVs Hub Axial RRO failed chart).....	48
3.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase).....	49
3.4.1 การหาจำนวน Sample size ของผลการทดสอบสมมติฐาน.....	49
3.4.2 การทดสอบ Hypothesis test ANOVA $\bar{x}$ & $s^2$ .....	50
3.4.2.1 KPIV1 รูปแบบความเอียงด้านในรูฮับ (Height diff Taper ID hub)....	50
3.4.2.2 KPIV2 การปรับตั้งร่วมศูนย์ของฟิกเจอร์ด้านล่างกับบน (Adjust..... center lower & upper)	52
3.4.2.3 KPIV3 ความเร็วการกดเครื่องสวมอัดที่ระดับ 2 ไม่เหมาะสม (Improper pressing speed 2 <sup>nd</sup> ).....	54
3.4.2.4 KPIV4 ความเร็วการกดเครื่องสวมอัดที่ระดับ 3 ไม่เหมาะสม (Improper pressing speed 3 <sup>rd</sup> ).....	56
3.4.2.5 KPIV5 ความเผื่อระหว่างแบร์ริงกับฟิกเจอร์ด้านบน (Loose gap of Upper fixture).....	58
3.4.2.6 KPIV6 ความขนานของกันแบร์ริง (Thrust bush parallel).....	60
3.4.2.7 KPIV7 ไกด์พินของฟิกเจอร์ด้านล่าง (Guide pin alignment Condition).....	62
3.4.2.8 KPIV8 ค่าลมดูดฟิกเจอร์ด้านบน (Improper vacuum pressure Upper fixture).....	64
3.4.2.9 KPIV9 ค่าความขนานของพื้นผิวผนังของแบร์ริงฟิกเจอร์ด้านบน (Parallelism of upper fixture failed).....	66

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 ผลสรุปการทดสอบ Hypothesis จาก KPIVs ที่ส่งผลกระทบต่อ KPOV.....	68
3.5 การปรับปรุงกระบวนการผลิต (Improve phase).....	69
3.5.1 การปรับปรุงกับปัจจัยนำเข้าจากการวิเคราะห์ที่นำไปแก้ไขก่อน.....	69
3.5.1.1 ความขนานของกันแบริง (Thrust bush parallel of FDB).....	69
3.5.1.2 การปรับตั้งร่วมศูนย์ของฟิกซ์เจอร์ด้านล่างกับบน.....	71
3.5.1.3 การควบคุมฟิกเจอร์ด้านล่าง (Lower fixture condition).....	72
3.5.1.4 การควบคุมฟิกเจอร์ด้านบน (Upper fixture condition).....	72
3.5.1.5 การสูมนำร่องเครื่องสวมอัดการประกอบโรเตอร์.....	73
3.5.2 การออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการประกอบ.....	74
3.5.2.1 ชนิดของการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ L18 ..... (Mixed 2-3 Level design)	74
3.5.2.2 ผลของการทดลองของ Main Effect ของค่า $\hat{Y}$ .....	76
3.5.2.3 ผลของการทดลองของ Main Effect ของค่า $\ln S.d$ .....	76
3.5.2.4 ผลของการออกแบบทดลองของ Optimal ทั้ง 6 ปัจจัย.....	77
3.5.2.5 การเปรียบเทียบปัจจัยของการออกแบบทดลองของ Optimal.....	78
กับปัจจุบัน	
3.5.2.6 ผลลัพธ์เปรียบเทียบพารามิเตอร์ DoE ไปทดลอง.....	78
3.5.2.7 เปลี่ยนพารามิเตอร์ตามผล DoE ที่เครื่องสวมอัดและอุณหภูมิตัว..... อุ่นฮับเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์จากการประกอบโรเตอร์ระยะยาว	79
3.6 การควบคุม (Control phase).....	79
3.6.1 การควบคุมปัจจัยนำเข้าหลังจากการปรับปรุง.....	79
3.6.2 การควบคุมค่าระยะ Gap ยกตัวแนวตั้งของแบริงยูนิต.....	80
3.6.3 การควบคุมความเร็วการกดเครื่องสวมอัดที่ระดับ 2 และ 3 ไม่เหมาะสม.....	80

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6.4 การควบคุมอุณหภูมิการอุ่นผิวยอดของฮับ (Pre heat temperature..... Top surface.	81
3.6.5 การควบคุมความเอียงด้านในรูฮับของ IQA.....	81
3.6.6 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ..... (PFMEA) หลังทำการปรับปรุงต้องนำไปทันสมัยต่อการควบคุม	82
3.6.7 การใช้ระบบ Real time SPC (Statistical Process Control).....	83
3.6.8 การใช้งานระบบ Real time SPC ตรวจสอบ Ax RRO tester.....	85
บทที่ 4 สรุปผลการทดสอบซิกซ์ซิกมากับกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์	85
4.1 บทนำ.....	85
4.2 สรุปผลการกรณีศึกษา.....	85
4.3 ผลลัพธ์ขั้นตอนวัดเครื่องโรเตอร์.....	87
4.3.1 ผลลัพธ์ขั้นตอนวิเคราะห์ที่โดยเริ่มนำปัจจัยนำเข้าแก้ไขก่อน.....	87
4.3.2 ผลลัพธ์ขั้นตอนปรับปรุงเริ่มปัจจัยนำเข้าที่ได้ Optimize DoE ลงไปแก้ไข.....	88
4.3.3 ผลลัพธ์ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการหลังจากปรับปรุง.....	88
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	92
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก งานวิจัยที่ตีพิมพ์.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level.....	10
2.2	ตาราง ANOVA สำหรับวิเคราะห์ระบบการวัด.....	19
2.3	ตาราง One-way ANOVA.....	23
2.4	วิวัฒนาการของ วิธีการ DoE.....	25
2.5	ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะของวิธีการ DoE.....	26
3.1	ตารางกำหนดเป้าหมายการปรับปรุงการประกอบโรเตอร์ในทางซิกส์ซิกมา.....	34
3.2	ตารางพารามิเตอร์พื้นฐานสถิติระหว่างตัวแทนประชากรกับการสุ่มตัวอย่าง.....	35
3.3	ตารางตัวชี้วัดความสามารถของระบบการวัดก่อนเริ่มใช้ในกระบวนการประกอบโรเตอร์..	40
3.4	การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องการประกอบโรเตอร์.....	47
3.5	ตารางผล RPN ของคะแนนสูงสุดทั้ง 9 ปัจจัยที่กระทบต่อปัญหา.....	49
3.6	สรุปการวิเคราะห์ Hypothesis test โดยสาเหตุที่กระทบต่อปีกฮับหมุนแกว่ง.....	68
3.7	ออกแบบการทดลอง $L_{18}(2^1 \times 3^5)$ 2 ระดับกับ 1 ปัจจัยและ 3 ระดับ 5 ปัจจัยประกอบ โรเตอร์	74
3.8	ตารางการเปรียบเทียบปัจจัยที่จะนำไปทดสอบกับเครื่องสวมอัด.....	78
3.9	ตารางการเปรียบเทียบผลลัพธ์ความสามารถเครื่องสวมอัดระหว่างปัจจุบันกับแบบ DoE.. ที่นำไปปรับตั้ง	79
3.10	การเปรียบเทียบรายการ KPIVs ระหว่าง DoE ค่าที่เหมาะสมกับค่าปัจจุบัน.....	80
3.11	การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องการประกอบโรเตอร์หลังการ..... ปรับปรุงในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง	82
4.1	สรุปผลการทดสอบระบบการวัดเครื่องวัดโรเตอร์.....	87

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์และมาตรฐานควบคุม.....	2
1.2	ขั้นตอนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	2
1.3	การแก้ไขปัญหาปีกฮับหมุนแกว่งโดยซิกซ์ซิกมา.....	6
1.4	ขั้นตอนการวิจัยกรณีศึกษา.....	7
2.1	กราฟฮิสโตแกรมกระบวนการเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ .....	10
2.2	วงล้อการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยวิธีทางซิกซ์ซิกมา.....	11
2.3	สัญลักษณ์ในการสร้างแผนภาพกระบวนการผลิต.....	12
2.4	ตัวอย่างแผนผังก้างปลาของปัญหาการรอกอยเตียงรักษาในโรงพยาบาล.....	13
2.5	แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อบกพร่องในการจ่ายยาผิด.....	14
2.6	แผนภาพการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ.....	15
2.7	แผนภาพกระบวนการออกแบบการทดลอง.....	23
2.8	แผนภาพปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์.....	27
2.9	แผนภาพปัจจัยที่มีความสัมพันธ์น้อย.....	28
2.10	แผนภาพปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มาก.....	28
2.11	แบบทั่วไปของแผนภูมิควบคุม.....	30
3.1	การประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์และมาตรฐานควบคุม.....	32
3.2	แผนภาพกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ของรุ่น SP.....	32
3.3	การตรวจสอบผลการประกอบโดยเครื่องมือวัดโรเตอร์.....	33
3.4	Ax RRO yield ระยะเวลา WW#18-24 จาก 7 สัปดาห์.....	33
3.5	แนวคิดสถิติขั้นพื้นฐานในการปรับปรุงกระบวนการกรณีศึกษา.....	35
3.6	ความสามารถของกระบวนการค่าปีกฮับหมุนแกว่งก่อนการปรับปรุง.....	36
3.7	ความสามารถของปีกฮับหมุนแกว่งที่แสดงการทดสอบความเป็น Normality.....	36
3.8	แผนผังกระบวนการประกอบโรเตอร์ Hub to bearing assembly แบบ Macro.....	37
3.9	แผนผังกระบวนการประกอบผลิตฮับแอสบลีหน่วยแบบ Micro.....	38
3.10	แผนผังกระบวนการประกอบแบร์ริงยูนิต แบบ Micro.....	38
3.11	แผนผังกระบวนการทดสอบ Hub Axial RRO tester แบบ Micro.....	39

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12	องค์ประกอบของปัจจัยนำเข้าที่กระบวนการประกอบ..... 40
3.13	ผลลัพธ์ผ่าน Gauge R&R เครื่องวัดTFX57190 โดยโปรแกรม Minitab..... 41
3.14	(ต่อ)ผลลัพธ์ผ่าน Gauge R&R เครื่องวัดTFX57184 โดยโปรแกรม Minitab..... 42
3.15	ผลลัพธ์ผ่าน Gauge R&Rเครื่องวัดTFX46021 โดยโปรแกรม Minitab..... 43
3.16	ผลลัพธ์เครื่องวัด(Serial no.TFX57190) Correlation เทียบกับ Master..... 44
3.17	ผลลัพธ์เครื่องวัด(Serial no.TFX57184) Correlation เทียบกับ Master..... 44
3.18	ผลลัพธ์เครื่องวัด(Serial no.TFX46021) Correlation เทียบกับ Master..... 45
3.19	ผลลัพธ์เครื่องวัด(Serial no.TFX57190) Pair-t-test เทียบกับ Master..... 45
3.20	ผลลัพธ์เครื่องวัด(Serial no. TFX57184) Pair-t-test เทียบกับ Master..... 46
3.21	ผลลัพธ์เครื่องวัด(Serial no. TFX46021) Pair-t-test เทียบกับ Master..... 46
3.22	แผนผังเหตุและผล Cause & Effect diagram ของปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง..... 47
3.23	แผนภาพพาเรโตจัดลำดับสำคัญปัจจัย (KPIVs) กระทบปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง..... 48
3.24	องค์ประกอบของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้เกิดปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง..... 49
3.25	การหา Sample size ของ Hypothesis mean test ..... 50
3.26	แบบความเอียงของด้านในรูฮับ..... 50
3.27	ด้อยพล็อตความเอียงด้านในรูฮับกับ $\bar{x}$ ของ Hub Ax RRO ..... 51
3.28	ช่วงความเอียงของด้านในรูฮับ กับ $s^2$ ของ Hub Ax RRO ..... 52
3.29	การปรับตั้งร่วมศูนย์ของฟิกซ์เจอร์ด้านล่างกับด้านบน..... 52
3.30	ด้อยพล็อตของการปรับตั้ง กับไม่ปรับตั้ง $\bar{x}$ ของ Hub Ax RRO..... 53
3.31	การเปรียบเทียบกับไม่ต้องปรับกับปรับตั้ง $s^2$ ของ Hub Axial RRO..... 54
3.32	วิเคราะห์ความเร็วในการกด 2 <sup>nd</sup> & 3 <sup>rd</sup> ของเครื่องสวมอัด..... 54
3.33	ความเร็วการกดเฉลี่ย $\bar{x}$ ของเครื่องสวมอัดที่ Speed2..... 55
3.34	ความผันแปร $s^2$ การปรับความเร็วการกดของเครื่องสวมอัดที่ Speed2..... 56
3.35	วิเคราะห์ความเร็วในการกด 2 <sup>nd</sup> & 3 <sup>rd</sup> ของเครื่องสวมอัด..... 56

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.36	$\bar{x}$ ความเร็วเฉลี่ยการกดของเครื่องสวมอัดที่ Speed3.....	57
3.37	ความผันแปร $s^2$ ความเผื่อระหว่างแบร์ริงกับฟิกเจอร์ด้านบน ระหว่างเดิมกับใหม่.....	58
3.38	ศึกษาคุณลักษณะความสามารถกระบวนการของความขนานกันแบร์ริง.....	58
3.39	$\bar{x}$ ความเผื่อระหว่างแบร์ริงกับฟิกเจอร์ด้านบนระหว่างเดิมกับใหม่.....	59
3.40	ความผันแปร $s^2$ ความเผื่อระหว่างแบร์ริงกับฟิกเจอร์ด้านบน ระหว่างเดิมกับใหม่.....	59
3.41	ศึกษาคุณลักษณะความสามารถกระบวนการของความขนานกันแบร์ริง.....	60
3.42	$\bar{x}$ ความขนานกันแบร์ริง $H_0$ ( $0 < /TB < 5$ ) กับ $H_a$ ( $5 < /TB < 20$ ).....	61
3.43	ความผันแปร $s^2$ ความขนานกันแบร์ริง $H_0$ ( $0 < /TB < 5$ ) กับ $H_a$ ( $5 < /TB < 20$ ).....	61
3.44	สภาพของไกด์พินที่เป็น $H_0$ แบบเดิมTaper pin กับ $H_a$ แบบเรียบFlat pin.....	62
3.45	$\bar{x}$ ไกด์พินฟิกเจอร์ด้านล่าง $H_0$ แบบเดิมTaper pin กับ $H_a$ แบบเรียบFlat pin.....	62
3.46	ความผันแปร $s^2$ ไกด์พินฟิกเจอร์ล่าง $H_0$ แบบเดิมTaper pinกับ $H_a$ แบบเรียบ.....	63
3.47	แรงลมดูดของฟิกเจอร์ด้านบน (Vacuum pressure of Upper fixture).....	64
3.48	$\bar{x}$ แรงลมดูดแรงลมดูด $H_0$ ค่าเดิม-ค่าใหม่ไม่แตกต่าง กับ $H_a$ ตั้งค่าเดิม-ค่าใหม่ต่างกัน.....	64
3.49	ความผันแปร $s^2$ แรงลมดูด $H_0$ ค่าเดิม-ค่าใหม่ไม่แตกต่าง กับ $H_a$ ตั้งค่าเดิม-ค่าใหม่แตกต่างกัน	65
3.50	ค่าความขนานผิวของพื้นผิวของแบร์ริงมานั่งในระหว่างการประกอบโรเตอร์.....	66
3.51	$\bar{x}$ ความขนาน $H_0$ ค่า 1.8-15 ไม่แตกต่าง กับ $H_a$ ค่า 1.8-15 แตกต่างกัน.....	66
3.52	ความผันแปร $s^2 H_0$ ความขนาน 1.8um กับ 15um ไม่แตกต่าง กับ $H_a$ ความขนาน 1.8um กับ 15um แตกต่างกัน	67
3.53	แผนภูมิความสัมพันธ์จาก KPIVs จากการวิเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อ KPOV.....	68
3.54	ความสัมพันธ์ระหว่างความขนานกันแบร์ริงกับค่าปิกฮับหมุนแกว่ง.....	69
3.55	ความสามารถกระบวนการของความขนานกันแบร์ริงและลักษณะงานดี-งานเสีย.....	70
3.56	การเพิ่มเซ็นเซอร์ในการป้องกันเกิดการทำงานผิดพลาด Top clamp ที่เลเซอร์เวลดึง.....	70
3.57	เครื่องมือการวัดความขนานกันแบร์ริงอัตโนมัติ (USL : 0.005mm.).....	70
3.58	กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติงานการปรับตั้งร่วมศูนย์ฟิกเจอร์ ด้านบน-ล่าง.....	71

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.59	สภาพฟีกเจอร์ ด้านล่างที่ต้องควบคุม ไกด์พิน และ ฟิคที่Coat รอบ.....	72
3.60	สภาพฟีกเจอร์ด้านบนและฟีกัดความเผื่อ +0.040/+0.020mm.....	72
3.61	กำหนดให้ฟีกเจอร์ด้านบนควบคุมค่าความขนาน0.002mm.....	72
3.62	การสูมนำร่องค่า Ax RRO เฉลี่ยไม่เกิน 0.005mm. แก่ไขกับ 3 ปีจจัยก่อน.....	73
3.63	ผลผลิตการประกอบโรเตอร์ในช่วง WW#39-WW#45 ที่เริ่มแก้ไข.....	73
3.64	แบบ DoE Taguchi L18กับปีจจัยทั้ง 6 มาทำการปรับที่เครื่องสวมอัด.....	75
3.65	กราฟผลลัพธ์ Main Effect ของปีจจัยจาก Y-hat (Ax RRO).....	75
3.66	กราฟผลลัพธ์ Main Effect ของปีจจัยจาก ln S.d (Ax RRO).....	76
3.67	กราฟผลลัพธ์ Optimal จาก DoE ของเครื่องสวมอัดต้นแบบ.....	77
3.68	กราฟผลลัพธ์การประกอบโรเตอร์เปรียบเทียบ Optimize ด้านขวา กับ การปรับตั้ง..... ปัจจุบัน-ด้านซ้าย	78
3.69	Pressing speed 2 <sup>nd</sup> & 3 <sup>rd</sup> press fit with Hub insertion mc.....	81
3.70	เครื่องอุ่นผิวของรูฮับ (Pre heat temperature top surface mc).....	81
3.71	ผล PFMEA ของ RPN คะแนนความรุนแรงหลังจากการปรับปรุงแล้ว RPN≤170 คะแนน..	83
3.72	แหล่งความผันแปรทางด้านขาเข้า 5M+1E และทางด้านขาออก..... เป็น 4P ด้านขาเข้าเป็น SPC กับขาออกเป็น SPM	84
3.73	เส้นทางการเลือกซาร์ทของตัวแปรแบบ Variable.....	84
3.74	กราฟ Real time X-bar , S-Chart ของเครื่อง Ax RRO tester.....	85
4.1	ผลสรุปกรณีศึกษาการประกอบโรเตอร์ตามเป้าหมายทั้ง 5 ขั้นตอนซิกส์ซิกมา.....	86
4.2	ผลเริ่มแก้ไขจากขั้นตอนการวิเคราะห์ เริ่ม 3 ปีจจัยนำเข้ากับการประกอบโรเตอร์.....	87
4.3	Real time SPC: X-bar และ S-Chart ของเครื่องวัดโรเตอร์ RT1.....	88
4.4	Real time SPC: X-bar และ S-Chart ของเครื่องวัดโรเตอร์ RT2.....	89
4.5	Real time SPC: X-bar และ S-Chart ของเครื่องวัดโรเตอร์ RT3.....	89

# บทที่ 1

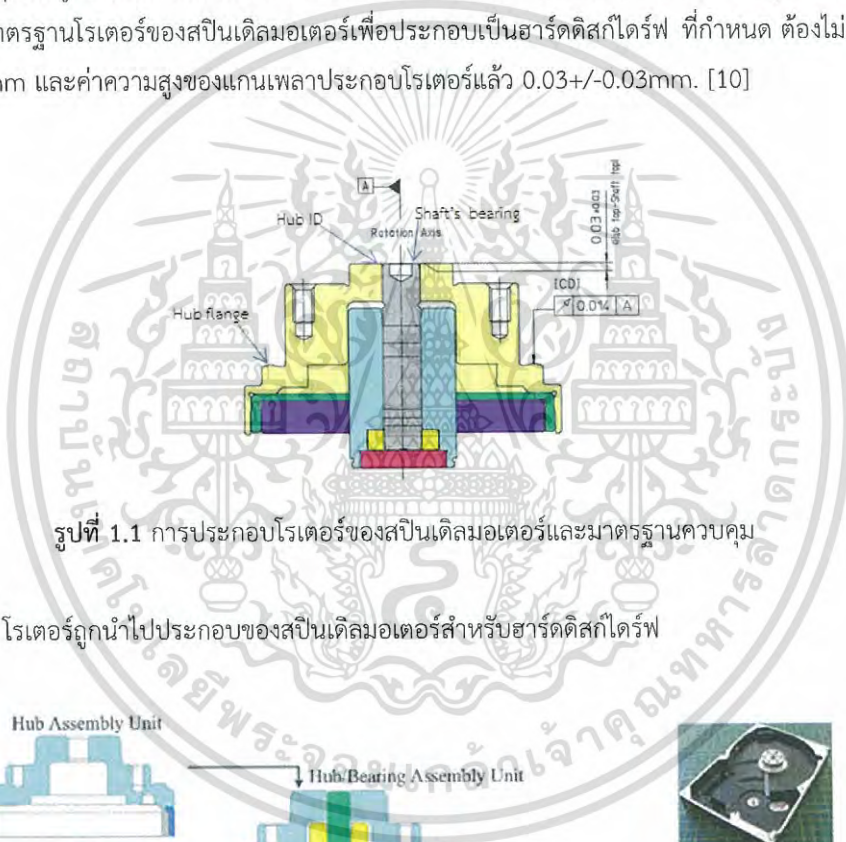
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นผู้ส่งออกอันดับต้นของโลกตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553 จนถึงปัจจุบัน เรามีส่วนแบ่งถึงร้อยละ 30 ของตลาดโลกไทยส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ทั้งที่สำเร็จรูปและเป็นชิ้นส่วนรวมมีมูลค่าสูงถึง 596,677 ล้านบาทคิดเป็นร้อยละ 10 ของการส่งออกโดยรวมทั้งประเทศ เรามีบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่ของโลกถึง 3 รายบริษัทซีเกต เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด (Seagate) บริษัทเวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด (Western Digital), บริษัทฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด (HGST) ที่เข้ามาตั้งฐานการผลิตอยู่ในประเทศไทย รวมถึงบริษัทใน Value Chain ของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อีกกว่า 60 บริษัท อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดผลต่อการลงทุนจากต่างประเทศและสร้างรายได้แก่ประเทศในฐานะของสินค้าส่งออกที่สำคัญของไทย การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และชิ้นส่วนในประเทศไทยมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่องมาแต่ต้องเผชิญกับการแข่งขันอย่างรุนแรงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีการผลิตขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว ผู้ผลิตต้องปรับตัวให้พร้อมรองรับการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชนิดใหม่ที่มีความจุมากขึ้นโดยเฉพาะการพัฒนากระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติให้มีความแม่นยำ ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงการจัดการต้นทุนการผลิตให้มีความมีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่บริษัทระดับโลกใช้ในการพิจารณาเข้าไปลงทุนหรือย้ายฐานการผลิตนั้น คือแหล่งผลิตที่ให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด การดำเนินงานในประเทศไทย และปัญหาในกระบวนการผลิตนั้น ทำให้เกิดความสูญเสียอย่างมาก ดังนั้นเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตในประเทศไทยลดลง จึงมีความจำเป็นในลำดับความสำคัญที่จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องเพื่อบรรลุเป้าหมายการดำเนินการผลิตชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [7]

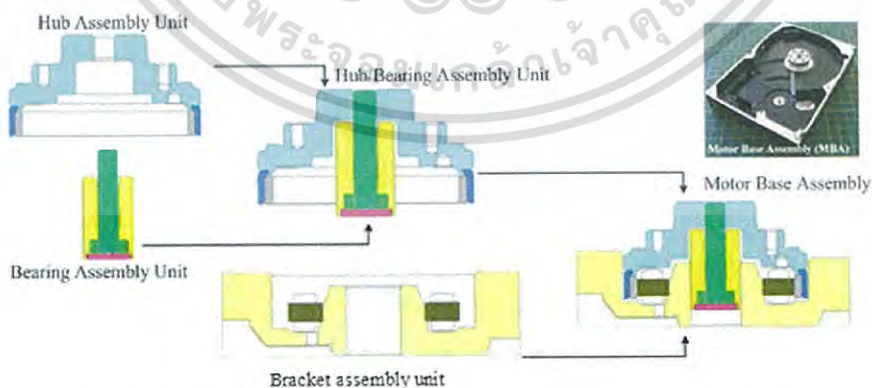
ซิกส์ซิกมาเป็นวิธีการปรับปรุงที่มีระเบียบวิธีการขั้นตอนมุ่งเน้นพิจารณาลดความแปรปรวนและลดของเสีย ทำอย่างไรให้เกิดของเสียเกิดน้อยและเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้น เครื่องมือของซิกส์ซิกมาเพื่อการใช้ปรับปรุงจะมีวงล้อเป็นที่รู้จักกันคือ DMAIC ซึ่งเป็นการนำเสนอในแต่ละขั้นตอน ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define) การวัดระบบของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze) การปรับปรุง (Improve) การควบคุมปัญหา (Control) ซึ่งมีตัวอย่างการใช้งานซิกส์ซิกมา การลดของเสียกระบวนการผลิตที่เพิ่ม Yield [11][12] สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการปรับปรุงคุณภาพ [13] และการมองหาวិธีการวิเคราะห์การปรับปรุงความสามารถกระบวนการทดสอบ [14] การใช้งานขั้นตอน DMAIC กับการการระบุของเสียและความแปรปรวนในกระบวนการผลิต เพื่อหาวิธีลดของเสียเพื่อเพิ่ม Yield ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนเพื่อผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [15,16] ในงานวิจัยนี้ได้นำมาพัฒนาจากวัตถุประสงค์ที่ใช้งานปรับปรุงที่กล่าวมาแล้ว กับการประกอบโรเตอร์ด้วยเครื่องสวมอัดของ

ผู้ผลิตสปินเดิลมอเตอร์เพื่อส่งต่อไปให้ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พร้อมทั้งยังรับประกัน โรงงานผลิตสปินเดิลมอเตอร์ ภายใต้ “งานเสียเป็นศูนย์” เพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุดและปรับปรุงคุณภาพสูงสุด กรณีศึกษากระบวนการประกอบชุดฮับและแบร์ริงใช้เครื่องสวมอัด (press fit machine) ประกอบเป็นโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ ต่อจากนั้นนำไปตรวจสอบด้วยเครื่องทดสอบปิกฮับหมุนแกว่ง (Axial Run-Out tester) โรเตอร์จะหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วที่ 7,200 rpm เป็นการเริ่มหมุนของสปินเดิลมอเตอร์ครั้งแรก การจับการหมุนของปิกฮับจะเกิดโดยแกนหมุนอ้างอิง (A) คือแกนเพลลาของแบร์ริง และจุดที่ทำการวัดค่าของคุณลักษณะคุณภาพที่สนใจคือปิกฮับเป็นบริเวณที่ต้องวางแผนฮาร์ดดิสก์กำหนดเป็นค่าการหมุนหนีศูนย์ (Run out) เทียบกับแกนอ้างอิง A และพบว่าเกิดของเสียคือปิกฮับหมุนแกว่ง ค่าเกินค่ามาตรฐานโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์เพื่อประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่กำหนด ต้องไม่เกิน 0.014 mm และค่าความสูงของแกนเพลลาประกอบโรเตอร์แล้ว 0.03+/-0.03mm. [10]



รูปที่ 1.1 การประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์และมาตรฐานควบคุม

โรเตอร์ถูกนำไปประกอบของสปินเดิลมอเตอร์สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ มีองค์ประกอบดัง รูปที่1.2 ซึ่งมีชุดอับรองรับจานแข็ง (Hub assembly unit) ชุดแบร์ริง (Bearing assembly unit) การประกอบชุดอับและแบร์ริง (Hub/Bearing assembly unit) เรียกอีกอย่างว่า โรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์สำหรับฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ชุดสเตเตอร์พร้อมโครงสร้างภายนอกของ HDD (Base plate assembly unit) จากกรณีศึกษา โรงงานผลิตมอเตอร์สปินเดิลในประเทศไทยแห่งหนึ่งซึ่งเป็นชนิดของ มอเตอร์สปินเดิลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 3.5 นิ้ว, จำนวนแผ่นแข็ง 1 ดิสก์ (SP-type) ความเร็วรอบ 7,200 rpm.

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพิจารณาประยุกต์ใช้ซิกส์ซิกมา (Six Sigma methodology) กับกรณีศึกษากระบวนการประกอบโรเตอร์ ของสปินเดิลมอเตอร์ที่ต้องการผลลัพธ์ คือลดของเสียปัญหา ปีกอับหมุนแกว่ง (Axial Run-Out) โดยจุดที่สนใจคือ

- ❖ การเพิ่มผลผลิต (Axial Run-Out Yield) ที่การประกอบโรเตอร์ในปัจจุบัน 99.28% จะทำการปรับปรุงให้ Yield 99.73% ภายในระยะเวลาหกเดือน
- ❖ ลดต้นทุนการผลิตประโยชน์ที่ได้จากการเพิ่มผลผลิตสามารถประหยัดได้หนึ่งล้านหนึ่งแสนบาทต่อปี

## 1.3 แนวความคิดของวิทยานิพนธ์

ถ้าโรเตอร์สปินเดิลมอเตอร์หมุนแกว่งหัวอ่านจะตกลงกระแทกบนแผ่นฮาร์ดดิสก์ทำให้ข้อมูลเสียหายโดยข้อกำหนดที่สำคัญเหล่านี้ทำให้การประกอบ Hub/Bearing assembly unit โดยใช้เครื่องสวมอัดต้องถูกควบคุมให้มีความแม่นยำสูงต้องลดการผิดพลาดเกิดขึ้นในกระบวนการประกอบโรเตอร์ของมอเตอร์สปินเดิล โดยไม่ส่งผลให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมากในสายการผลิต

การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous improvement) รวมถึงตอบสนองต่อลูกค้าพึงพอใจ (Satisfaction) ต่อการส่งมอบสินค้าที่ปราศจากของเสียหลุดไปหาลูกค้า (Zero defect) ผู้วิจัยได้นำซิกส์ซิกมา มาทำการพิสูจน์ที่จะปรับปรุง Yield และรักษากระบวนการให้มีความสม่ำเสมอ หลังจากเราได้ตัวแปรนำเข้า (KPIVs) ที่มีผลกระทบ กับ ปัญหาปีกอับหมุนแกว่ง (KPOV)

การปรับปรุงคุณภาพในวงการผู้ผลิตส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยมากจะยึดถือแนวทางการปรับปรุงซิกส์ซิกมาแบบพลิกโฉม (Six sigma breakthrough) [11],[15],[16]

ซิกส์ซิกมามีเครื่องมือในแต่ละขั้นตอนต่อการรับมือการปัญหาอย่างครบวงจรที่ความเชื่อมั่น ช่วงที่ (Confident Interval) ที่ 95% ยอมรับความเสี่ยงอยู่ที่  $\alpha=0.05$  จากงานวิจัยที่มีดำเนินการลดของเสีย ด้วยการใช้เทคนิคซิกส์ซิกมาสามารถนำไปประยุกต์ปรับปรุงในโรงงานผลิตบอร์ดไดรฟ์ของ HDD โดยการลดปัญหาการประกอบอุปกรณ์ลงบนบอร์ด (Surface mounting) คาปาซิเตอร์ที่ขาลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tombstone capacitance) จำนวนงานเสียลดลงหลังจากถูกปรับปรุง 1,154 DPPM เป็น 314 DPPM งานเสียลดลงถึงร้อยละ 73% และเพิ่ม Yield 98.4% เป็น 99.66% [11]

นโยบายขององค์กร ON Semiconductor ต้องการเพิ่มผลผลิตคุณภาพของ Wafer โดยยึดแนวทางคุณภาพเส้นทางสู่งานเสียเป็นศูนย์ (Road to Zero Defect) ชีક્ส์ซิกมา DMAIC นำมาประยุกต์ โดยการกลั่นกรองตัวแปรนำเข้าที่มีผลกระทบกับปัญหาารอยชุดโพรบ(Probe damage) ที่พื้นที่ในการบอนด์สายตัวนำจากการวิเคราะห์ห้กับแผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) ตัวแปรนำเข้าทั้งหมด 144 รายการประกอบกับใช้ตารางสาเหตุและผลหาความสำคัญต่อปัญหา (Cause and Effect Matrix) ได้ตัวแปรนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมด 15 รายการและทำการแก้ไข โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) จากนั้นนำไปดำเนินการแก้ไขปัญหาในสายการผลิต สามารถลดของเสียในกระบวนการได้เป็นที่น่าพึงพอใจ DPPM 407.6 เป็น DPPM 176.1 [12]

การประยุกต์ใช้ชีક્ส์ซิกมา เพื่อการปรับปรุงเพิ่มทนทานต่อการแตก (Bending strength) ของ Medium/Small-Sized TFT-LCDs ของผู้ผลิตทินฟิล์ม ให้เป็นที่น่าพึงพอใจในการผลิต และลูกค้าด้วยวิธีการของชีક્ส์ซิกมา โดยใช้แผนผังเหตุและผล คัดกรองปัจจัยนำเข้าที่ผลต่อปัจจัยปัญหา นำไปสู่การออกแบบการทดลอง (DoE) และทำการควบคุมปัจจัยอย่างเหมาะสมที่สุด โดยทำให้เพิ่มระดับคุณภาพ จาก 1 เป็น 4 sigma level และสามารถปรับปรุงได้ผลกำไรเพิ่มขึ้น 15.4% [13]

การประยุกต์ใช้ชีક્ส์ซิกมากับโรงงานผลิตแขนจับหัวอ่าน (Suspensions in HDD) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อเพิ่ม Yield การตัดค่ากรัมโหลด (Gram load) ในกระบวนการตัดแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ให้มีค่าได้มาตรฐาน ก่อนการนำไปประกอบสไลเดอร์ (Slider) มีการดำเนินการใช้วิธีค้นหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ จาก 5 แหล่งที่มาของ Man , Machine , Method , Material และ Measurement ซึ่งถือว่าเป็นอิทธิพลของความแปรปรวนอย่างมาก ในกระบวนการผลิตที่ทำให้ผลผลิตต่ำ เพื่อทำการปรับปรุงโดยใช้การระบุตัวปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ค่ากรัมโหลด ใช้แผนผังเหตุและผล PFMEA เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเพิ่ม Yield การตัดได้คัดกรองมาได้ 6 KPIVs พิจารณาค่าเหมาะสมที่สุดกับค่าเฉลี่ยเพื่อเข้าสู่เป้าหมาย Yield และ ลดความผันแปร  $\ln(\sigma)$  ของกระบวนการตัดแขนจับหัวอ่านใช้การออกแบบการทดลอง แฟคชันนอล แฟคตอเรียล  $2^{6-1}$  จากนั้นนำผลที่การทดลองที่เหมาะสมที่สุดไปทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์กับเครื่องตัดแขนจับหัวอ่าน ผลลัพธ์สุดท้ายสามารถเพิ่ม Yield 98.59% ไปเป็น 99.14% [15]

กรณีศึกษาการประยุกต์ชีક્ส์ซิกมา DMAIC โรงงานผลิตแขนจับหัวอ่าน (Suspension in HDD) ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟดำเนินการแก้ปัญหาทางานบิด (Bend defect) ทำการพิจารณาจากการกำหนดตัวปัญหาที่ผลิตภัณฑ์ S และ M เกิดของเสียในกระบวนการด้านหลัง (Back End) 15,649 DPPM และส่งผลกระทบต่อสูญเสียเป็นเงิน 9,944,224 บาทต่อปีและทำการตั้งเป้าหมายลดปัญหางานบิดลง ที่ 13,800 DPPM ขั้นตอนระบบการวัดพิจารณาระบบ MSA ของผู้ตรวจสอบชิ้นงานด้วยการดูได้กล้องไมโครสโคป (Visual Inspection) ให้อยู่ในระดับ 95% ขึ้นไป และทำการใช้เครื่องมือตาราง Cause & Effect matrix หาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ โดยมาทำการคัดกรองและจัดลำดับโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PFMEA เพื่อทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาคือการไปการใช้เครื่องมือทดสอบสมมติฐานแบบ Proportion test กับกระบวนการย่อย ๆ อย่างเลเซอร์เวลดึง คัทดิ่ง พอร์มมิ่ง ไฟนอลทิมมิ่ง การติดแถมเปอร์ และ การัดแชนจับหัวอ่าน โดยกำหนด  $\alpha=0.05$  กับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาทางาน บิตทุก KPIVs เพื่อทำการปรับปรุง เช่น ทำการออกแบบเทอร์รอร์รับแชนจับหัวอ่านใหม่ ทำการ ออกแบบตัวดูดจับแชนจับหัวอ่านไม่ให้มีช่องว่างมากเกินไป ทำการออกแบบ Die set ในขั้นตอนการ พอร์มใหม่ลดช่องว่างที่ไม่เหมาะสม ปรับปรุงเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน ให้ทันสมัยต่อแนว ทางการแก้ไขทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการแก้สามารถลดงานบิตที่กระบวนการด้านหลังเสียลงไปได้ 9,263 DPPM เป็นการลดต้นทุนที่ไม่ต้องสูญเสีย 5,360,254 บาทต่อปี (ทำได้ดีกว่าเป้าหมายตั้งไว้ 13,800 DPPM) [16]

#### 1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือในการแก้ปัญหาปิกฮับหมุนแกว่งกับเทคนิค ชิกส์ชิกมา DMAIC ทุกขั้นตอนทำการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab

การกำหนดตัวปัญหา (Define phase) เพื่อระบุกลไกในการเกิดปัญหาทางกายภาพ, กำหนด เป้าหมายกระบวนการที่จะทำการลดปัญหา กำหนดเป้าหมายที่จะได้รับในเชิง Hard & Soft saving โดยรวบรวมข้อมูลผลผลิต (Yield) จากพื้นฐานของผลผลิต (Base line yield) จากผลผลิตที่ดีที่สุด (Entitlement yield) และพลิกโฉมเป้าหมายตามวิธีชิกส์ชิกมา เพิ่มอีก 70% ของพื้นฐานของ ผลผลิตให้เป็นเป้าหมายปรับปรุง (Target yield)

การวัดระบบของปัญหา (Measure phase) พิจารณาถึงความถูกต้อง (Accuracy) และ แม่นยำ (Precision) ในการวัดปิกฮับหมุนแกว่งจากผลของ Gage Repeatability & Reproduction (GR&R) ค่าความสามารถของกระบวนการผลิตในสภาพก่อนทำการแก้ไขปัญหาคือเครื่องมือแผนผัง กระบวนการผลิต (Process mapping) และการนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวปัญหาอย่างแผนผังเหตุ และผลของปัญหา (Cause & Effect diagram) ทำการกลั่นกรองต่อไปด้วยการวิเคราะห์ถึง ผลกระทบอันเนื่องจากข้อบกพร่องในกระบวนการ (PFMEA) แผนภาพพาราโตสาเหตุของปิกฮับหมุน แกว่ง (Pareto Axial RRO failed) เพื่อจัดลำดับของปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดต่อการแก้ไขปัญหาคือ ฮับหมุนแกว่ง จากนั้นทำให้ได้ปัจจัยที่มีนัยสำคัญและมีน้ำหนักพอเพียงต่อปัญหามาไว้วิเคราะห์ แก้ไขต่อไป

การวิเคราะห์ (Analyze Phase) ปัจจัยนำเข้า (KPIVs) เกี่ยวข้องปัญหาเริ่มจากหาจำนวน การสุ่ม ที่มีนัยสำคัญต่อการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) เพื่อเป็นพิสูจน์ช่วงความเชื่อมั่นใน การ (Confident Interval : 95%) ที่  $\alpha=0.05$  ข้อมูลใช้ขับเคลื่อนเพื่อการปรับปรุง (Data-driven) ต่อการทดสอบสมมติฐานกับ 9 ปัจจัยและอภิปรายผลด้วย Minitab software เป็นการวิเคราะห์ครั้ง ละหนึ่งปัจจัย (One factor at a time : OFAT) ทดสอบค่าเฉลี่ย (ANOVA test) และทดสอบค่าผัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปร (Variance test) ตัวแปรที่เราพบว่ามีความสำคัญเราสามารถนำไปทำการแก้ไขได้จากการวิเคราะห์ เพื่อเพิ่มผลผลิตและทำการลดความผันแปรในกระบวนการผลิตที่มีอยู่จะเป็นการทรงปัจจัยที่สำคัญ เหลือเพียง 6 ปัจจัยเพื่อเป็นการส่งอิทธิพลให้การปรับปรุงอย่างเหมาะสมต่อไป

การปรับปรุง (Improve phase) การหาความสัมพันธ์โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DoE) วิธีของทากูชิ  $L_{18}(2^1 \times 3^5)$  มีทั้งหมด 6 ปัจจัย 2 ระดับที่ 1 ปัจจัย 3 ระดับที่ 5 ปัจจัยต้องทำการทดสอบทั้งหมด 18 การทดลอง (Runs) จากการนำผลในแต่ละการทดลองมาทำการวิเคราะห์บนโปรแกรม Minitab เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยจะได้ ค่าแต่ละปัจจัยที่ตอบสนองต่อการลดความผันแปรและการควบคุมค่าเฉลี่ยซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มผลผลิตอย่างคงทน

การควบคุม (Control) กระบวนการให้รักษาสภาพ (Sustain) และคงไว้ตามเป้าหมายของผลลัพธ์ที่เป็นไปตามความต้องการ (KPOV) โดยควบคุมตัวปัจจัยที่ได้ทำการดำเนินการหลังการปรับปรุง จากควบคุมตัวแปรนำเข้าไปจากผลการออกแบบการทดลองนำไปปรับแต่งในกระบวนการ จนถึงเป้าหมายและเงื่อนไขที่พิสูจน์จากการวิเคราะห์ที่สามารถดำเนินการแก้ไขได้ก่อนเมื่อพบว่ามี ความสำคัญและเฝ้าตรวจสอบ (SPC Monitoring) ผลลัพธ์แนวโน้มของค่าปิกฮัมมุนแกว่งของทั้ง ค่าเฉลี่ยและค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน เช่นแก้ไขปรับปรุงให้เป็นการปรับปรุงแก้ไข PFMEA พิจารณาจากแหล่งความแปรปรวน 5M+1E, Man, Machine, Method, Measurement และ Material, Environment.

## 1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขึ้นตอนการศึกษาสรุปได้ดังรูปที่ 1.4 เริ่มจากการกรณีศึกษาของการใช้ เครื่องสวมอัตรระหว่างแกนเพลลาและฮับประกอบเป็นโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ต่อนั้นนำมา ตรวจสอบด้วยเครื่องทดสอบปิกฮัมมุนแกว่งพบว่าเกิดปัญหากระบวนการประกอบคือปัญหาปิกฮัมมุนแกว่งเกินมาตรฐานพิจารณาการแก้ไขโดยซิกส์ซิกมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตงานวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

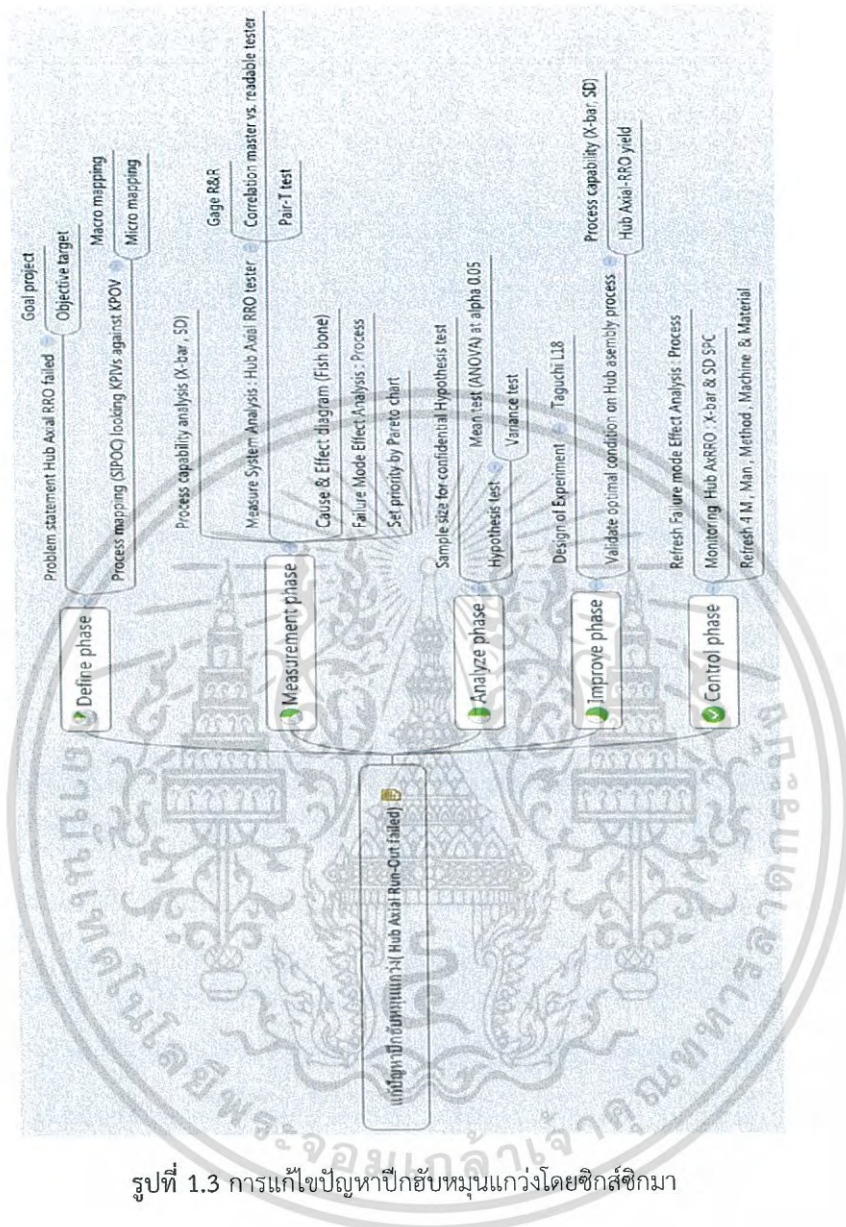
บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและเทคนิคซิกส์ซิกมากับการปรับปรุงกระบวนการ

บทที่ 3 กล่าวถึงการใช้ซิกส์ซิกมากับการเพิ่มผลผลิตกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์

บทที่ 4 กล่าวถึงสรุปผลการทดสอบซิกส์ซิกมากับกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์

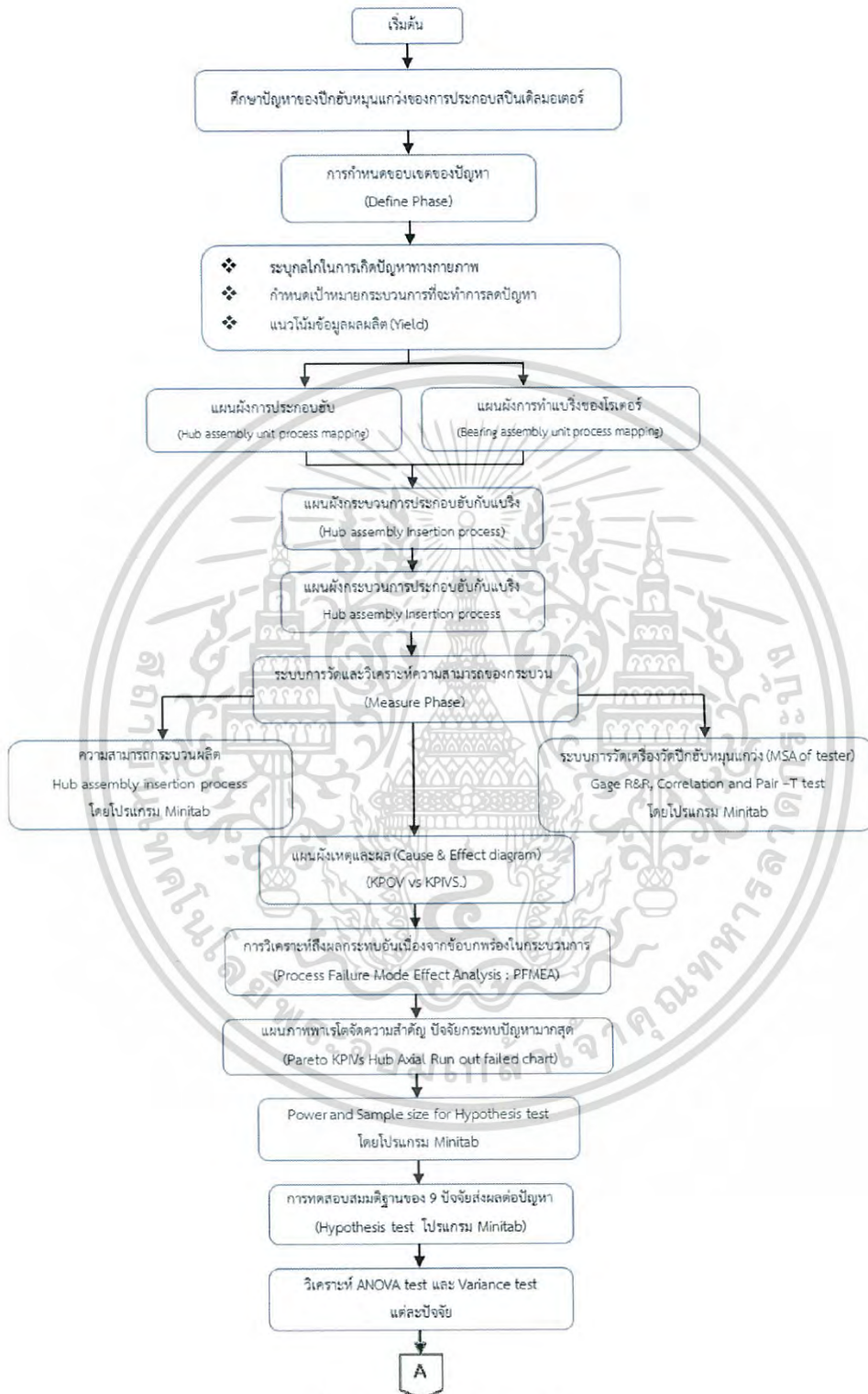
บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



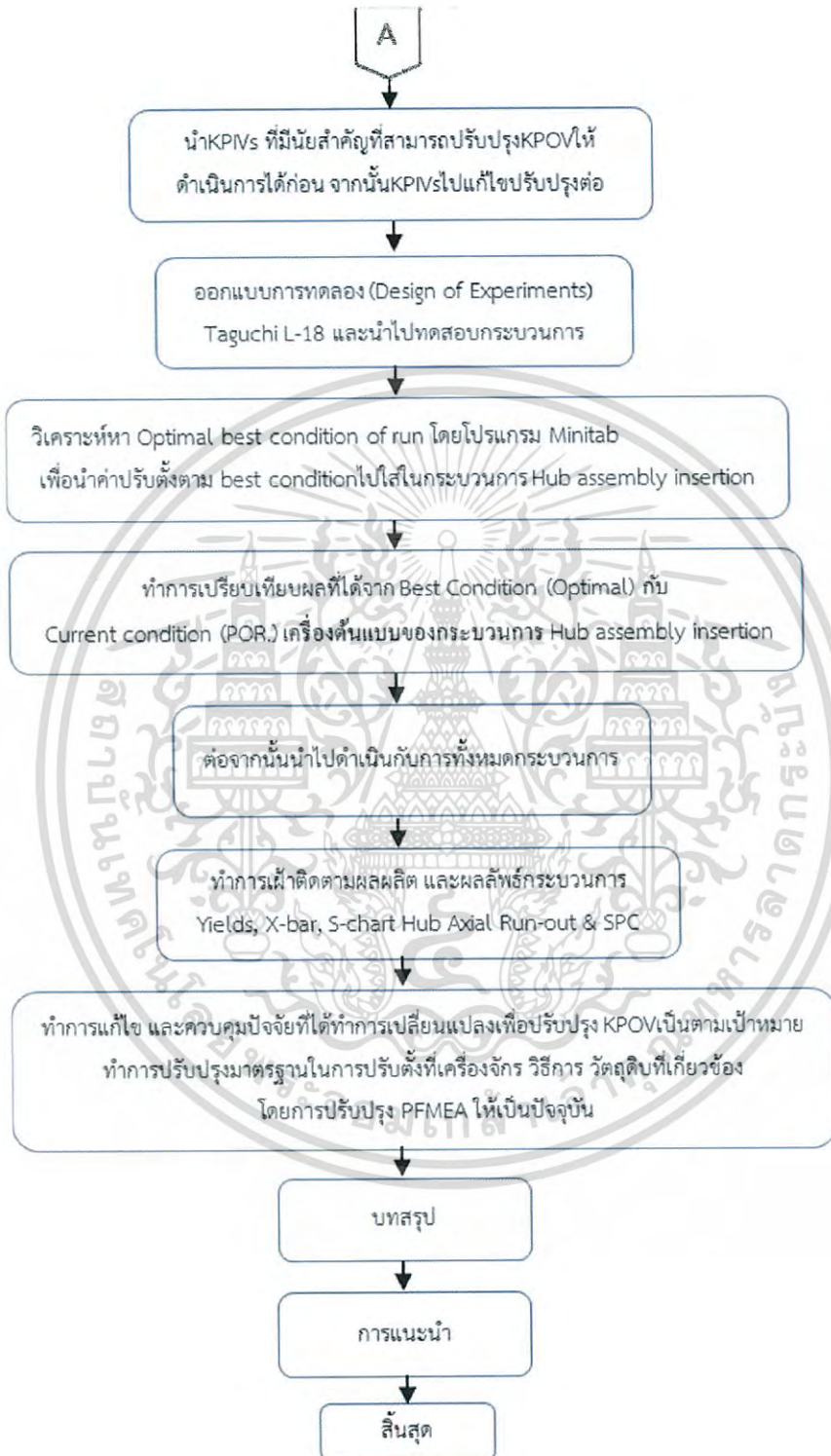
รูปที่ 1.3 การแก้ไขปัญหาปั๊มที่ชำรุดเสียหายโดยซีกส์ซิกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการวิจัยกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 (ต่อ) ขั้นตอนการวิจัยกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# หลักการและเทคนิคซิกส์ซิกมากับการปรับปรุงกระบวนการ

### 2.1 บทนำ

ซิกส์ซิกมาบพนี้กล่าวถึงความเป็นมาโดยสังเขปของอิทธิพลที่ได้รับผลการลัพธ์จากการนำไปใช้ และผลตอบสนองที่ได้รับประโยชน์อีกมากมายเมื่อนำซิกส์ซิกมาใช้ในองค์กร ยิ่งกล่าว ถึงที่มาของระดับคุณภาพของกระบวนการ (Quality six sigma level) ที่วัดได้จริงโดยแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของดี และ จำนวนของเสียในปริมาณที่ผลิตในล้านหน่วยโดยมีข้อจำกัดที่ความผันแปรกึ่งกลางที่อนุโลมให้คลาดเคลื่อน  $\pm 1.5\sigma$  และเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการล้วนแต่เกี่ยวเนื่องกัน ๘ ทั้งสิ้น

### 2.2 ความเป็นมาและหลักการของซิกส์ซิกมา (6 $\sigma$ )

ซิกส์ซิกมาคือระบบที่ทำให้องค์กรสามารถนำความรู้และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ผลิตภัณที่มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการซิกส์ซิกมา ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 โดยบริษัทโมโตโรล่าผู้บุกเบิกแนวคิดทางซิกส์ซิกมาคือ Robert W. Galvin เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่เพจเจอร์ซึ่งภายหลังประสบความสำเร็จตามเป้าหมายจึงได้รับการแต่งตั้งให้เป็น CEO (Chief Executive Officer) ของบริษัทโมโตโรล่าในเวลาต่อมาและในปี ค.ศ. 1986 วิธีการซิกส์ซิกมาได้ถูกพัฒนาโดย Dr. Mikel J Harry ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทโมโตโรล่าเช่นเดียวกันจนในปี ค.ศ. 1988 หลังจากที่บริษัทโมโตโรล่าได้ใช้ปรัชญาทางซิกส์ซิกมาเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กร ทำให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige Nation Quality Award. กลยุทธ์ในการปรับปรุงคุณภาพของโมโตโรล่าได้กลายเป็นที่สนใจขององค์กรทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ ซึ่งวิธีการซิกส์ซิกมานั้นได้จุดประกายความสนใจขององค์กรต่าง ๆ ที่จะใช้วิธีการนี้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมายหนึ่งในนั้นคือบริษัท ไอบีเอ็ม ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่นำวิธีการนี้มาใช้ในองค์กรโดยประยุกต์ใช้กับหน่วยงาน Application Business Systems Division ซึ่งหลังจากประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้ วิธีการทางซิกส์ซิกมาเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทำให้บริษัท ไอบีเอ็มได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige Nation Quality Award ในปี 1990 [17]

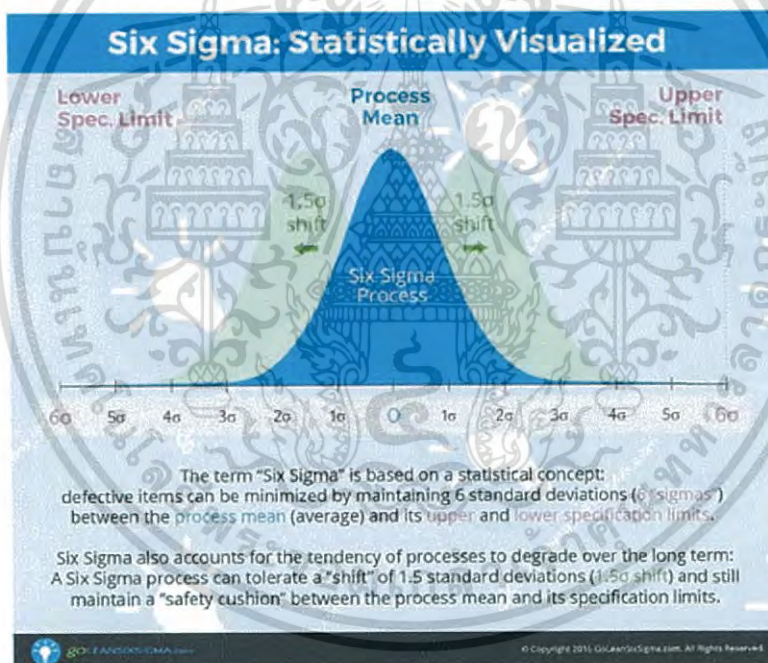
ตัวชี้วัดระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของ กระบวนการมีอยู่ด้วยกันหลายทางเลือกเช่น Yield, Rolled throughput yield ค่าดัชนี ความสามารถของกระบวนการ Cp, Cpk อัตราการเกิดของเสียที่เกิดขึ้นที่ผลิตล้านหน่วย (Defect Part Per Million : DPPM) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์และค่า Sigma Quality Level ในซิกส์ซิกมานี้มักจะอ้างอิงถึงค่า Sigma Quality Level เพื่อบ่งบอกถึงระดับคุณภาพของกระบวนการ ซึ่งต่างจากค่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่หมายถึงการกระจายตัวของข้อมูลในทางสถิติกล่าวคือค่าระดับ Sigma Quality Level ยังมีค่ามากจะบ่งบอกถึงโอกาสการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตที่มีน้อยลงด้วยระดับคุณภาพ 6 Sigma ระดับสูงสุด มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิตและเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเลื่อนไปจากจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กึ่งกลางเท่ากับ  $\pm 1.5\sigma$  จะมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวน 3.4 ชิ้นต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิตรายละเอียดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นเทียบกับค่า Sigma Quality Level [17][18]

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level [18]

Sigma Quality Level	Mean at Center		Mean shifted $1.5\sigma$	
	Percentage	DPPM	Percentage	DPPM
1 $\sigma$	68.27	317,300	30.23	697,700
2 $\sigma$	95.45	45,500	69.13	308,700
3 $\sigma$	99.73	2,700	93.32	66,810
4 $\sigma$	99.9937	63	99.379	6,210
5 $\sigma$	99.99943	0.57	99.9767	233
6 $\sigma$	99.999998	0.002	99.99966	3.4

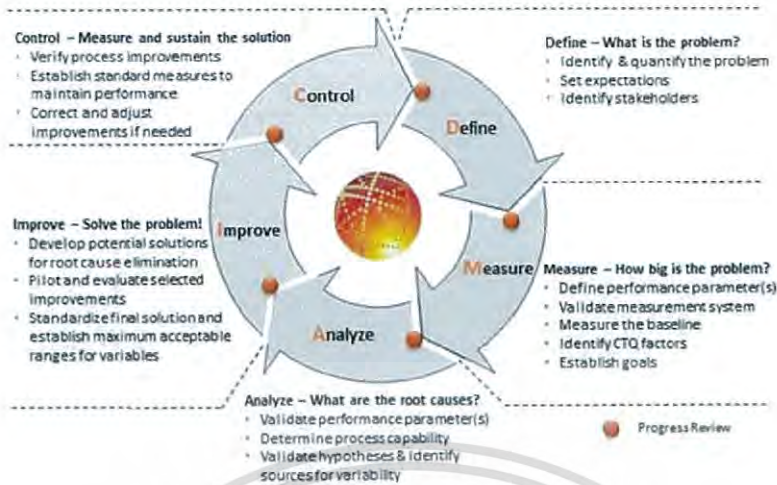


รูปที่ 2.1 กราฟฮิสโตแกรมกระบวนการเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับ  $\pm 1.5\sigma$  [20]

### 2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานซิกส์ซิกมา [2],[11],[17],[18]

วิธีการทางซิกส์ซิกมาจะต้องมีปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุก ขั้นตอนปฏิบัติ ต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ทางสถิติวิศวกรรมซิกส์ซิกมา กับแต่ละขั้นตอนของ 5 ขั้นตอน DMAIC ที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ การกำหนดขอบเขตของปัญหา(Define phase) ระบบการวัดปัญหา (Measure phase) ,วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase) การปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase) และ การควบคุมกระบวนการ (Control phase) ดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงล้อการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยวิธีทางซิกส์ซิกมา [19]

เครื่องมือพื้นฐานทางสถิติในแต่ละขั้นตอนซึ่งเป็นการคัดกรองปัญหาอย่างเป็นระบบ อย่างมีตรรกะและมีเงื่อนไขในการตัดสินใจ การยอมรับ การปฏิเสธจากการตีความ (Interprets) กับข้อมูลที่เกิดขึ้นตามขั้นตอน DMAIC การกำหนดปัญหา การวัดระบบปัญหา การวิเคราะห์ การปรับปรุงและการควบคุม

### 2.4 การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase)

การกำหนดขอบเขตของปัญหาเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการทางซิกส์ซิกมาและเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดในการกำหนดจุดเริ่มต้นและรวมไปถึงทิศทางในการดำเนินการวิจัยโดยขั้นตอนการกำหนดขอบเขตปัญหานี้จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตเทียบกับความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัทซึ่งทำให้บริษัททราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นและได้ข้อมูลสนับสนุนในการพิจารณาเลือกถึงปัญหาที่จะทำการแก้ไขและขีดความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการที่สามารถปฏิบัติได้จริงนอกจากนี้ยังเป็นการกำหนดภาพรวมของการทำวิจัย อันได้แก่วัตถุประสงค์ เป้าหมาย แนวทางปฏิบัติ ระยะเวลาในการทำการวิจัยการกำหนดสมาชิกและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

### 2.5 ระบบการวัดปัญหา (Measure Phase)

ขั้นตอนต่อจากการกำหนดขอบเขตของปัญหาซึ่งจะศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิต ที่ทำการวิจัยจากนี้ ทำการศึกษาแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหารวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสาเหตุที่ทำการวิเคราะห์ และ จัดลำดับความสำคัญแต่ละสาเหตุที่เป็นไปได้เพื่อที่จะเลือกสาเหตุ คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงต่อกระบวนการผลิตมาทำการแก้ไขต่อไป นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด เพื่อลดความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดในการเก็บข้อมูลและจากการทดลองซึ่งความรู้และเครื่องมือทางสถิติวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องในการศึกษากระบวนการขั้นตอนรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1 การระดมความคิด(Brainstorming)

วิธีในการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยระดมความคิดจากบุคคลที่มีความรู้ความชำนาญในแต่ละจุดการทำงานภายในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษาซึ่งในขั้นตอนนี้จุดมุ่งหมายอยู่ที่ปริมาณของความคิดเห็นที่ได้รับเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ความสำคัญด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ในขั้นตอนต่อไป [17]

### 2.5.2 แผนภาพกระบวนการผลิต(Process Mapping) [17][18]

แผนภาพการประกอบด้วยโครงสร้างและความสัมพันธ์ของขั้นตอนในกระบวนการผลิตซึ่งจะบอกถึงลำดับของกิจกรรมแรกที่เริ่มต้นจนถึงกิจกรรมสุดท้ายตามลำดับเพื่อประโยชน์ในการศึกษาถึงกระบวนการผลิตทำให้สมาชิกในกลุ่มที่ร่วมกิจกรรมมีความเข้าใจในภาพเดียวกันที่ทำการศึกษาโดยละเอียดและเป็นแนวทางเดียวกันนอกจากนี้ประโยชน์ของแผนภาพ กระบวนการผลิตจะช่วยในการประเมินความสามารถของกระบวนการในแต่ละขั้นตอนชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนที่คอขวดของกระบวนการผลิตชี้ชัดให้เห็นถึงขั้นตอนหรือกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non-value added activities) กับผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถที่จะทำการพิจารณากำจัดออกหรือทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไขและอธิบายถึงกิจกรรมในการตรวจสอบทำให้การวางแผนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้องไม่เกิดข้อผิดพลาดและการตีความข้อมูลผิดไปจากกระบวนการด้วยสัญลักษณ์พื้นฐานที่ใช้ในการสร้างแผนภาพกระบวนการผลิตจะประกอบไปด้วยสัญลักษณ์ดังรูป 2.3

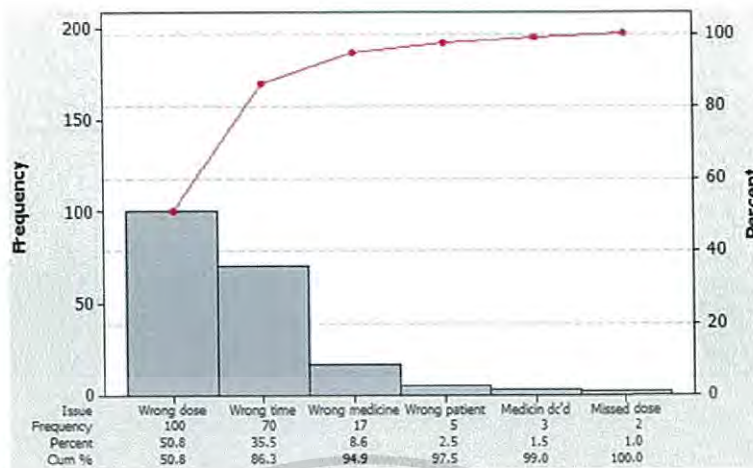


รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ในการสร้างแผนภาพกระบวนการผลิต

### 2.5.3 แผนผังเหตุและผล (Cause & Effect diagram)[18]

แผนผังที่ประกอบไปด้วยผลกระทบของปัญหาและกลุ่มของแหล่งที่มาของสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาที่ทำการศึกษาเป็นเครื่องมือหนึ่งในระบบการควบคุมภาพที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการแก้ไขปัญหาแผนภาพนี้ได้ถูกคิดค้นและเริ่มใช้งานโดย ดร.อิชิคาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว โดยทั่วไปจะพิจารณาแยกแยะสาเหตุหลักเป็นแหล่งที่สร้างความผันแปรที่ผลกระทบต่อตัวปัญหาให้เป็นหัวปลาสาเหตุหลักทำหน้าที่เป็นก้างหลักโดยมาจากแหล่งความผันแปรดังนี้มาจาก 5 M+1E ส่วนก้างรองพิจารณาลักษณะของสาเหตุว่าเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้, ตัวแปรที่เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.5 แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อบกพร่องในการจ่ายยาผิด

ขั้นตอนในการสร้างแผนภูมิพาเรโต มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. กำหนดปัญหาและคุณลักษณะของกระบวนการที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน
2. กำหนดช่วงเวลาสำหรับการเก็บข้อมูลการศึกษา
3. นับจำนวนความถี่ในการเกิดปัญหาคุณลักษณะของกระบวนการ
4. ทำการจัดลำดับคุณลักษณะดังกล่าว โดยเรียงลำดับจากที่มีจำนวนความถี่มากไปน้อยและจากซ้ายไปทางขวา
5. พล็อตกราฟแต่ละคุณลักษณะดังกล่าวตามความถี่ในการเกิดขึ้นมากไปน้อย
6. วิเคราะห์ผลจากแผนภูมิพาเรโต โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะปัญหาที่มีความถี่มากตามลำดับในการแก้ปัญหา

### 2.5.5 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA) [2]

PFMEA เป็นเครื่องมือหนึ่งในระบบการวางแผนการควบคุมคุณภาพ ซึ่งเป็นกลุ่มกิจกรรมเพื่อใช้ในการศึกษาและ วินิจฉัยลักษณะข้อบกพร่องของสาเหตุ (Potential Failure Mode) ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า PFMEA มักจะนำมาประยุกต์ใช้ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบกระบวนการและ การออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยผ่านกระบวนการระดมความคิดของกลุ่มสมาชิกที่ได้จัดตั้งขึ้นและรวมถึงใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการกิจกรรมในการลดของเสียหรือข้อบกพร่อง ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์นอกจากนี้ยังใช้ PFMEA มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต

#### 2.5.5.1 จุดประสงค์ในการทำ PFMEA มีดังนี้

- เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ จัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ว่ามีระบบเกี่ยวกับชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต
- พิจารณาวิธีการป้องกันและแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้เพื่อจำกัด โอกาสในการเกิดของข้อบกพร่องในอนาคตที่จะเกิดขึ้น
- จัดทำเอกสารเพื่อใช้ในการอ้างอิงสำหรับการปรับปรุง และเปลี่ยนแปลงการผลิต หรือ ผลิตภัณฑ์ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.5.2 ขั้นตอนการปฏิบัติ

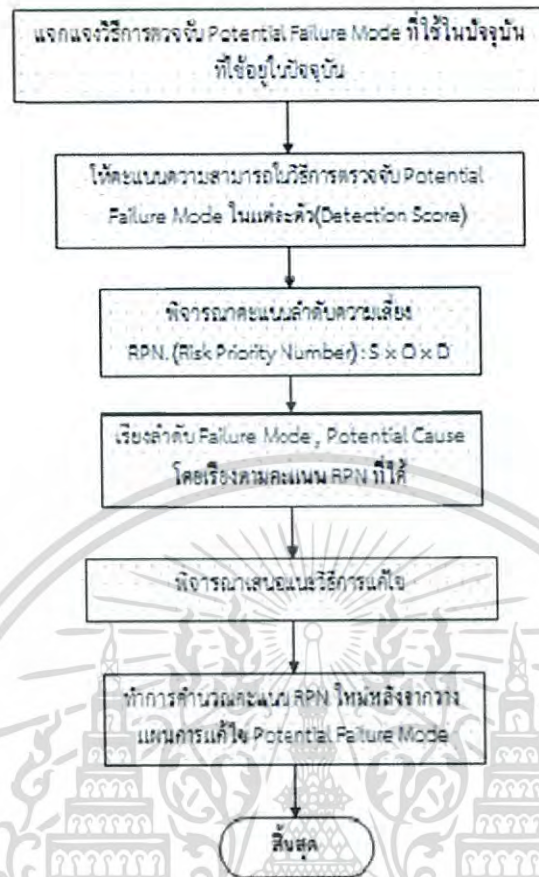
ก่อนเริ่มทำงาน PFMEA ควรปฏิบัติดังนี้

- รวบรวมกลุ่มสมาชิกที่จะร่วมกันทำการ PFMEA ซึ่งจะประกอบด้วยสมาชิกจากแหล่งหน่วยงานที่แตกต่างกันและทำการเลือกผู้ที่เป็นหัวหน้ากลุ่ม
- กำหนดกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ ตัวแปรที่ตอบสนอง ที่ทำการศึกษาให้ชัดเจน
- กำหนดขอบเขตของการศึกษาให้ชัดเจน ได้แก่ ระยะเวลาในการศึกษา, ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์
- ควรพิจารณาขนาดของปัญหาที่ทำการศึกษา หากมีขนาดใหญ่สำหรับการทำ PFMEA 1 โครงการ ควรจะแยกให้เป็นปัญหาย่อย และทำการศึกษา PFMEA แยกในแต่ละปัญหาย่อยนี้

ขั้นตอนการปฏิบัติ PFMEA จะกระทำโดยการระดมความคิดเห็นของกลุ่มสมาชิกที่ได้จัดตั้งขึ้น ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนเสร็จสิ้นขั้นตอนสุดท้ายของการปฏิบัติ แสดงรูปที่ 2.6 มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.6 แผนภาพการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 (ต่อ) แผนภาพการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ

พิจารณาแจกแจงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของ KPIVs ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาในแต่ กระบวนการย่อย หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่จะทำกรณีศึกษาโดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการศึกษา ได้แก่แผนผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งจะพิจารณา KPIVs จากแหล่งที่มาทั้ง 6 แหล่ง ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการปฏิบัติงาน ระบบการวัดและสภาพแวดล้อม พิจารณาแจกแจง Potential Failure Mode สำหรับแต่ละปัจจัยนำเข้าพิจารณาถึงลักษณะความ ผิดปกติในกระบวนการในขั้นตอน

พิจารณาแจกแจง Potential cause แต่ละตัวที่ได้มาจากขั้นตอนก่อนหน้านั้นโดยจะเป็นการ พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น มีผลต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาที่ ทำการศึกษาโดย Potential cause แต่ละตัวอาจจะทำให้เกิดผลกระทบขึ้นจำนวนหนึ่งและมากกว่า หนึ่งได้

การลงคะแนนความรุนแรง (Severity Score : SEV ) เป็นการประเมินความรุนแรงที่ เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละ Potential cause ที่มีต่อส่วนระบบ,กระบวนการถัดไปซึ่งอาจจะมา จากการประเมินผลจากข้อมูลที่มีอยู่ หากเป็นผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ที่ต้องอาศัยความรู้ และความเข้าใจทางวิศวกรรมช่วยเสริมในการวิเคราะห์ การประเมินให้คะแนนของความรุนแรง มัก อยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 ซึ่งขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ในแต่ละลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษาคะแนน ที่มีค่ามาก จะบ่งบอกถึงลักษณะของผลกระทบที่มีความรุนแรงของผลกระทบสามารถทำได้โดยแก้ไข การออกแบบที่ใช้จริงในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลงคะแนนความถี่ในการเกิดของสาเหตุ (Occurrence Score : OCC) การพิจารณาตามความเป็นจริงปัจจุบันสาเหตุเกิดขึ้นบ่อยหรือไม่ของแต่ละสาเหตุ ของปัญหาโดยจะมาจากข้อมูลความเป็นจริงจากอดีต ของกระบวนการผลิตแต่หาก PFMEA สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่จะต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมมาประกอบคาดคะเนอาจอ้างอิงจากผลของการออกแบบการทดลองแต่ไม่ว่าจะใช้วิธีการใดในการพิจารณาก็ตามเป็นช่วงคะแนนความถี่ จะเป็นช่วงของตัวเลขที่เหมือนกับการสร้างช่วงคะแนนของความรุนแรง พิจารณาระบบการตรวจจับในปัจจุบันเป็นการอธิบายการควบคุมที่สามารถจะป้องกันไม่ให้ Potential cause เกิดขึ้นเพื่อที่จะพิจารณาเพื่อกำจัดสาเหตุลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของ เพื่อที่จะพิจารณาหรือกำจัดสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของเพื่อที่จะพิจารณาเพื่อกำจัดสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากกระบวนการผลิตไปสู่ลูกค้า ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีอยู่หลายชนิด

การลงคะแนนการตรวจจับได้ (Detection Score : DET) เป็นการประเมินคะแนนของความสามารถของการหลุดรอดจากการตรวจจับ Cause ของระบบการควบคุมที่ได้ระบุไว้ คะแนนนี้จะทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันในการตรวจจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากกระบวนการผลิตตัวอย่างการกำหนดช่วงคะแนนการตรวจจับแสดง

การรวบรวม RPN (Risk Priority Number) ในแต่ละแถวของตาราง PFMEA ซึ่งระหว่างคะแนน SEV, OCC และ DET จากแต่ละสาเหตุของปัญหา

$$RPN = SEV \times OCC \times DET \quad (2.1)$$

เมื่อได้คะแนน RPN ในแต่ละสาเหตุแล้วให้ทำการรวมคะแนนทั้งหมดเป็นคะแนน RPN รวมซึ่งจะนำไปใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนการถัดไปทำการจัดเรียงลำดับ Potential cause โดยคะแนน RPN ที่ได้รับการคำนวณออกมาเป็นค่าที่จะบ่งบอกถึง Potential cause ที่มีความวิกฤตอย่างมาก ต่อปัญหาเนื่องมาจาก RPN เป็นการวัดค่าความวิกฤตรวมของขั้นตอนการกระบวนการผลิตขึ้นส่วนผลิตภัณฑ์สรุปได้ว่าถ้าสาเหตุนั้นมีคะแนน RPN ค่าสูงหมายถึงมีความสำคัญมากที่ต้องแก้ไขสาเหตุปัญหานั้นก่อนต่อจากนั้นนำ Potential cause ของ RPN จะถูกนำไปสร้างแผนภูมิพาเรโตเพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญต่อไปกำหนดกิจกรรมการแก้ไขเพื่อทำการลดระดับ SEV, OCC และ DET ของ Potential cause เริ่มจากค่า RPN สูงสุดจากแผนภูมิพาเรโตซึ่งจากหลักการพาเรโต คือจะเลือกจำนวน Potential cause ที่มีลำดับคะแนน RPN เป็นร้อยละ 80 เมื่อเทียบกับคะแนน RPN รวมของทั้งหมดตัวอย่าง เช่น การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Potential cause สามารถนำผลไปทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อที่จะลดผลกระทบ หรือโอกาสในการเกิด Potential cause เหล่านั้นได้ดังนั้นกลุ่มสมาชิกจึงควรที่จะพิจารณาเลือกกิจกรรมที่จะนำไปสู่การป้องกันข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (หรือลดคะแนน OCC) มากกว่าที่จะปรับปรุงระบบการควบคุมเพื่อตรวจจับข้อบกพร่อง (หรือลดคะแนน DET) หลังจากที่ได้กำหนดกิจกรรมในการลดค่าคะแนนทั้งสามแล้วให้จัดทำเอกสารสำหรับกิจกรรมเหล่านี้ในรูปแบบของ PFMEA และ พิจารณาแผนในการนำกิจกรรมเหล่านี้ไปใช้รวมทั้งคำนวณค่าจำนวนของคะแนน RPN เดิมและคะแนน RPN ตามแผนการแก้ไขที่วางไว้ นอกจากนี้ยังรวมถึงการกำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรม รวมถึงระยะเวลาในการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงด้วย

### 2.5.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง โดยทั่วไปจะทดสอบความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธีการที่เรียกว่าเกจรีพีทาทะบิลิตี้และเกจรีโพรดิวซิบิลิตี้ (Gage Repeatability and Reproducibility : GR&R ) โดยพิจารณาความผันแปรใน 2 ลักษณะคือ

- รีพีทาทะบิลิตี้ (Repeatability) หมายถึงความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยเป็นความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียว
- รีโพรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึงความแตกต่างของกระบวนการวัดภายใต้เงื่อนไขที่ต่างกันโดยเป็นค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการวัดกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันแต่ต่างพนักงานกัน ขั้นตอนในการวางแผนเพื่อศึกษา GR&R ของระบบการวัด มีประเด็นในการพิจารณาก่อนการศึกษาดังนี้คือ
- ปกติต้องมีกรสอบเทียบเครื่องมือวัดก่อนการศึกษา GR&R ของระบบการวัดที่ทำการศึกษา และในระหว่างการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีทาทะบิลิตี้ของการศึกษา
- การเลือกจำนวนพนักงานวัดที่จะใช้ในการศึกษา GR&R จะต้องพิจารณาการใช้งานปกตินี้ ระบบการวัดที่ต้องการศึกษามีพนักงานอยู่กี่คนหากมีพนักงานคนหรือไม่มีการใช้งานพนักงานเลย แสดงว่าความผันแปรในระบบการวัด ที่ไม่ได้มาจากสาเหตุเข้ามาปะปนในระบบการวัดส่วนในกรณีระบบการวัดมีพนักงานหลายคน จะต้องทำการสุ่มตัวแทนอย่างน้อย 2 คนนำมาทำการศึกษา GR&R โดยพนักงานที่ได้เลือกมานี้จะต้องเป็นพนักงานที่มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการวัดเป็นอย่างดีและปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์ที่ศึกษาสำหรับงานประจำ
- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR&R โดยทั่วไปจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่างหากไม่สามารถปฏิบัติได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง)  $\times$  (จำนวนของพนักงานวัด) มากกว่า 15 และสิ่งที่ซีกตัวอย่างที่เลือกที่มานี้ จะต้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และควรที่จะแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม
- การกำหนดจำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับซีกตัวอย่างแต่ละชิ้นโดยปกติให้ทำการวัดซ้ำ จำนวน 2 ถึง 3 ครั้งต่อชิ้นงานในแต่ละชิ้นงาน
- การวิเคราะห์ผลของการศึกษา GR&R จะมีวิธีการในการวิเคราะห์แบ่งเป็น 3 วิธีการ คือ วิธีการใช้ค่าพิสัย (Range) วิธีการพิจารณาค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย (X-bar & Range) และวิธีการวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis of variance : ANOVA) ในการวิจัยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ความผันแปรในการศึกษา GR&R เนื่องจากจะให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำกว่าอีก 2 วิธีที่ได้กล่าวมาโดยการวิเคราะห์จะแบ่งความผันแปรตามสาเหตุออกเป็น 3 องค์ประกอบ
  - ความผันแปรจากสาเหตุจากตัวอย่างของงาน
  - ความผันแปรจากสาเหตุด้านพนักงานวัด หรือ รีโพรดิวซิบิลิตี้ ซึ่งจะรวมระหว่างความผันแปรที่เกิดจากพนักงานวัด และ สาเหตุร่วมของพนักงานวัดกับตัวอย่างงาน
  - ความผันแปรจากสาเหตุของตัวอุปกรณ์วัดเอง หรือ รีพีทาทะบิลิตี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป การกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการวัด ต้องมีการที่จะประเมินความผันแปรของระบบการวัดนี้เทียบกับความผันแปรของกระบวนการผลิต (Precision-to-Total Variance : P/TV ) หรือ เทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของมาตรฐานกำหนด (Precision-to-Tolerance Ratio : P/T)

$$\text{Precision to Total variance} = \frac{\text{GR\&R}}{\sigma^2} * 100\% \quad (2.2)$$

$$\text{Precision to Tolerance ratio} = \frac{\text{GR\&R}}{(\text{USL-LSL})} * 100\% \quad (2.3)$$

กำหนดให้มีการยอมรับความสามารถของระบบการวัดถ้าหากค่า P/TV และ P/TV มีค่าน้อยกว่า 10% และจะปฏิเสธการยอมรับ มากกว่า หรือ เท่ากับ 30% แต่หากมีค่าอยู่ระหว่าง 10% กับ 30% ให้มีการยอมรับแบบมีเงื่อนไข เช่นต้องมีแผนในการปรับปรุงในอนาคตเพื่อปรับปรุงเครื่องวัด

การวิเคราะห์ GR&R ของระบบการวัดด้วยวิธี ANOVA เป็นการทดสอบแบบ Balance design โดยมีพนักงานที่ทำการวัดเป็นปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษา และตัวชิ้นงานเป็นบล็อกทำการทดสอบอย่างสุ่มจนครบทุกชิ้นงานและมีผลการบันทึกลงในตาราง และทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบและนำผลการทดสอบมาลงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตาราง ANOVA สำหรับวิเคราะห์ระบบการวัด

Source variance	Sum of Square	Degree of freedom	Mean square
พนักงานวัด	$\sum_{i=1}^n \frac{Y_i^2}{nr} - \frac{Y^2}{nkr}$	k-1	$MS_0 = SS_0 / (k-1)$
ชิ้นงาน	$\sum_{i=1}^n \frac{Y_i^2}{kr} - \frac{Y^2}{nkr}$	n-1	$MS_p = SS_p / (n-1)$
พนักงานวัด x ชิ้นงาน	$\sum_i \sum_j \frac{Y_{ij}^2}{nr} - \frac{Y^2}{nkr} - SS_p - SS_0$	(n-1)(k-1)	$MS_{OP} = SS_{OP} / (n-1)(k-1)$
รีพีทหะบิลิตี้	$SS_T - SS_p - SS_0 - SS_{OP}$	nk(r-1)	$MS_E = SS_E / nk(r-1)$
ผลรวม	$\sum_i \sum_j \sum_m \frac{Y_{ijm}^2}{nr} - \frac{Y^2}{nkr}$	nk(r-1)	

## 2.6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase)

ในขั้นตอนการนี้เป็นขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาผลปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ ที่ได้เรียบเรียงจากการระดมความคิดโดยใช้แผนผังเหตุและผลและ PFMEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เพื่อเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวปัจจัยนำเข้ากับคุณลักษณะทางคุณภาพที่เป็นเป้าหมายของการวิจัย ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของความแปรปรวนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและสมารถที่จะปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ทำการศึกษาค่าต่อไปซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามเป้าหมายที่วางไว้ ความรู้และเครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนนี้การทดสอบสมมติฐานการวิเคราะห์ความผันแปร

### 2.6.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

วิธีในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่สามารถทดสอบในระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่นำมาพิจารณา ตัวสถิติที่ทำการเปรียบเทียบสามารถเป็นได้ทั้งค่าเฉลี่ย ของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่นำมาพิจารณา ค่าความผันแปรของกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มเทียบกับ ค่าความผันแปรที่กำหนด และค่าความผันแปรของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มนอกจากนี้ยังมีการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนของเสียอีกด้วยซึ่งในแต่ละการทดสอบใช้สถิติสำหรับการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบนั้นในการตัดสินใจด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานนี้ดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังนี้คือ

- ตั้งสมมติฐานหลักตามสิ่งที่ต้องการจะทดสอบ (Null Hypothesis :  $H_0$ ) ซึ่งอาจจะเป็นสมมติฐานแบบสองด้านหรือเป็นสมมติฐานด้านเดียว
- ตั้งสมมติฐานรองหรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis :  $H_a$ )
- กำหนดค่าความเสี่ยง  $\alpha$  (โดยทั่วไปจะกำหนดที่ค่า 0.05)
- กำหนดวิธีการตัดสินใจด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบ (Test Statistic)

ตัวพารามิเตอร์แล้วพิจารณาถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวสถิติดังกล่าวด้วยทฤษฎีของการแจกแจงสิ่งตัวอย่างซึ่งอธิบายถึงขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ในระหว่างเงื่อนไขของการทดสอบหรือ Reproducibility จากนั้นให้กำหนดช่วงแห่งการปฏิเสธและช่วงแห่งการยอมรับของตัวสถิติภายใต้ค่าความเสี่ยง  $\alpha=0.05$

- ดำเนินการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ได้ออกแบบไว้
- ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนดกล่าวคือถ้าหากตัวสถิติสำหรับการทดสอบที่ได้จากการคำนวณอยู่ในบริเวณแห่งการยอมรับสมมติฐานหลัก หรือ สรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐานหลักเนื่องจากข้อมูลอยู่ในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุด้าน Reproducibility ของการทดลองแต่ถ้าหากตัวสถิติสำหรับการทดสอบอยู่ในบริเวณแห่งการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject  $H_0$ )

### 2.6.2 Two-Sample t-test และ Confidence Interval

การทดสอบสมมติฐาน และช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรสองชุดเมื่อไม่ทราบ ค่าความผันแปรของประชากร โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบด้วย

ทดสอบสองด้าน

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta_0$$

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta_0$$

ทดสอบด้านเดียว

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 \geq \delta_0 \text{ or } H_0: \mu_1 - \mu_2 \leq \delta_0$$

$$H_a: \mu_1 - \mu_2 < \delta_0 \text{ or } H_0: \mu_1 - \mu_2 > \delta_0$$

ตัวสถิติสำหรับการทดสอบเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t = \frac{((\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - \delta_0)}{S} \quad (2.4)$$

ตัวแจกแจงทางสถิติคือ

สำหรับการทดสอบแบบสองด้าน  $t_{\alpha/2, v}$

สำหรับการทดสอบแบบด้านเดียว  $t_{\alpha, v}$

ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย

ทดสอบสองด้าน  $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha/2}$  ถึง  $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha/2} * s$

ทดสอบด้านเดียว  $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha}$  ถึง  $(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - t_{\alpha} * s$

### 2.6.3 Test for Equal Variance

การทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่างค่าความผันแปรของประชากรสองชุด โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

กรณีทดสอบแบบสองด้าน

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_a: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

กรณีทดสอบแบบด้านเดียว

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_a: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

ตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

(2.5)

ตัวแจกแจงทางสถิติคือ

การทดสอบแบบสองด้าน  $F_{\alpha/2, n_1-1, n_2-1}$

การทดสอบแบบด้านเดียว  $F_{\alpha, n_1-1, n_2-1}$

### 2.6.4 การวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis of Variance: ANOVA)

ในหัวข้อที่แล้วการทดสอบสมมติฐานของประชากรหนึ่งกลุ่มกับค่าคงที่ที่กำหนดหรือระหว่างประชากร 2 กลุ่มเท่านั้นหากต้องการทดสอบความแตกต่างของกลุ่มประชากรที่มีมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไปในค่าตัวแปรตอบสนองที่สนใจจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความผันแปรหรือ “ANOVA” เพื่อทำการทดสอบโดยหลักการและวิธีการวิเคราะห์ผลมีแนวทางเช่นเดียวกับการทดสอบสมมติฐานในหัวข้อที่ 2.6.1 หลักการของ ANOVA คือเป็นการหาความผันแปรโดยรวมแล้วทำการพิจารณาแยกความแปรปรวนดังกล่าวนี้ออกเป็นสาเหตุย่อย เนื่องจากระดับของปัจจัยที่ควบคุมได้ หรือ “ทรีทเมนต์” และความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้แล้วทำการเปรียบเทียบความผันแปรจากแหล่งทั้งสองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5 One-Way Analysis of Variance

การวิเคราะห์ความผันแปรทางเดียวกล่าวคือมีปัจจัยที่ต้องการศึกษามีเพียงตัวเดียว แสดงได้ด้วยแบบสถิติเชิงเส้นตรง (Linear Statistical Model)

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad (2.6)$$

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}; \quad i=1,2,3\dots a \quad j=1,2,3\dots n \quad (2.7)$$

โดยที่

$Y_{ij}$  = ผลจากการทดลองที่รีทเมนต์  $i$  ในการทำซ้ำครั้งที่  $j$

$\mu$  = พารามิเตอร์ร่วมสำหรับทุกรีทเมนต์ หรือค่าเฉลี่ยทั้งหมด

$\tau_i$  = ผลจากรีทเมนต์  $i$

$\varepsilon_{ij}$  = ความคลาดเคลื่อน

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_a = \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อยหนึ่งค่า } (i, j) \text{ ที่ } i \neq j$$

สมการในการคำนวณ

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n Y_{ij} \text{ และ } \frac{Y_{..}}{an} = \bar{Y}_{..} \quad (2.8)$$

$$Y_{.j} = \sum_{i=1}^a Y_{ij} \text{ และ } \frac{Y_{.j}}{a} = \bar{Y}_{.j} \quad (2.9)$$

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \text{ และ } \frac{Y_{i.}}{n} = \bar{Y}_{i.} \quad (2.10)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 \quad (2.11)$$

$$SS_{\text{Treatment}} = n \sum_{i=1}^a (\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..})^2 \quad (2.12)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Tr}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{i.})^2 \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$\frac{MS_{Tr}}{MS_E} > F_{\alpha, \alpha-1, a(n-1)} \quad (2.14)$$

สามารถสรุปเป็นตารางวิเคราะห์ความผันแปรได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตาราง One-way ANOVA

Source of Variation	Sum of Square	Degree of freedom	Mean of Square	$F_0$
Treatment	$SS_{Treatment}$	$a-1$	$\frac{SS_{Tr}}{a-1}$	$\frac{MS_{Tr}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	$N-a$	$\frac{SS_E}{N-a}$	
Total	$SS_T$	$N-1$		

## 2.7 การปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อลักษณะทางคุณภาพของลูกค้านี้ที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนระบบการวัดมาทำการศึกษาศักยภาพของกระบวนการของตัวแปรเหล่านี้ซึ่งสามารถที่จะทำการกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถที่จะผลิตงานที่มีคุณลักษณะทางคุณภาพได้ตรงตามเป้าหมายที่ลูกค้ากำหนดมีความเบี่ยงเบนที่น้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ของขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับความรู้ในเรื่องของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DoE ) ด้วยการออกแบบการทดลองเป็นการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงไปตามที่ได้กำหนดไว้ (Treatment Combination) ขั้นตอนในการดำเนินการทดลองดังนี้

### 2.7.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)



รูปที่ 2.7 แผนภาพกระบวนการออกแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### เป้าหมายการผลิต

- เพื่อได้ค่า Y ที่ดีที่สุด (Optimal)
- Y คือ คุณสมบัติสินค้าที่ต้องการควบคุม
  - a. ปริมาณของเสีย
  - b. ปริมาตร
  - c. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน
  - d. เวลาการทำปฏิกิริยา
  - e. น้ำหนัก
  - f. ความยาว
  - g. ความหนา

### ลักษณะของคุณสมบัติผลิตภัณฑ์(Y)

- ลักษณะที่วัดค่าได้ (Measurable Characteristics) ค่าความผันแปร(Variable value)  
เช่น ความยาว ความหนา เวลา
- ลักษณะแอดทริบิวท์ (Attribute Characteristics)
  - a. Classified attribute : ดีมาก, ดี, พอใช้ : เกรด A, B, C
  - b. Go / No go : ดี/เสีย : ใช้ได้/ใช้ไม่ได้

### ค่า Y ที่ดีที่สุด

- ยิ่งมากยิ่งดี (Large-the-better) เช่น ความทนแรงดึง อายุการใช้งาน
- ยิ่งน้อยยิ่งดี (Small-the-better) เช่น เวลาการทำปฏิกิริยา จำนวนของเสีย
- ให้เท่ากับค่าที่ต้องการมากที่สุด (Nominal-the-best) เช่น ปริมาตร ความหนา

### 2.7.2 วัตถุประสงค์ของDoE

- วิเคราะห์หาว่าปัจจัยนำ หรือ Factor ใดที่มีผลต่อ Y มากที่สุด
- วิเคราะห์หาปัจจัย X แต่ละตัวมีค่าเท่าใด จึงจะทำให้ Y มีค่าดีที่สุด
- วิเคราะห์หาว่าควรกำหนดให้ปัจจัย X แต่ละตัวมีค่าเท่าใดจึงจะทำให้ Y มีความผันแปรน้อยที่สุด
- วิเคราะห์หาว่าควรกำหนดให้ปัจจัย X แต่ละตัวมีค่าเท่าใด จึงจะทำให้ผลกระทบของปัจจัย  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_m$  มีค่าน้อยที่สุด

### 2.7.3 ประโยชน์ DoE ในการพัฒนากระบวนการผลิต

- ช่วยลดต้นทุนการผลิต
- ช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- ช่วยลดเวลาในการพัฒนากระบวนการผลิต
- ช่วยลดความผันแปร ทำให้ผลลัพธ์ได้ตามค่าที่ต้องการและช่วยเพิ่มผลผลิต

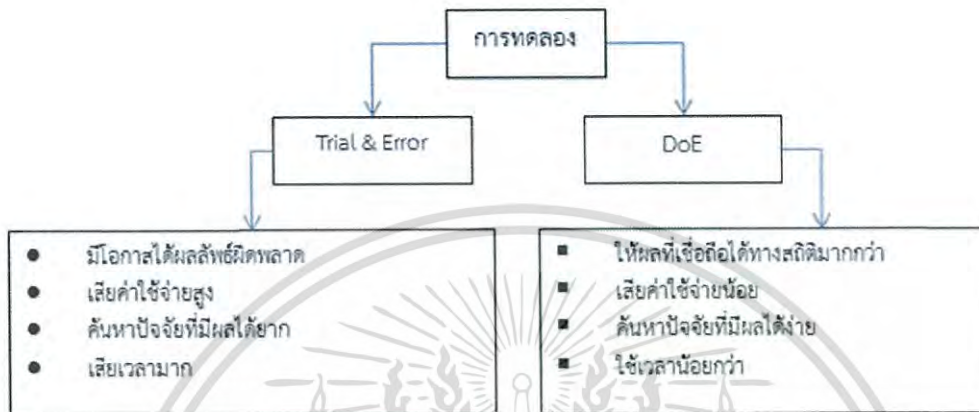
### 2.7.4 ประโยชน์ในการพัฒนาในการออกแบบเชิงวิศวกรรม

- ช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ทำงานได้ดีที่สุด
- ช่วยการเลือกพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี
- ช่วยการวิเคราะห์เลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมและรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.5 สาเหตุที่ต้องทำ DoE

เมื่อต้องการหาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าและกระบวนการผลิตที่เราทำการสนใจที่จะทำการทดลองเพื่อหาผลที่ดีที่สุดตอบสนองต่อคุณภาพมากที่สุดเพียงใดเรามีสองทางเลือกในการพิสูจน์และข้อดี-ข้อเสียดังนี้



### 2.7.6 วิธีการของ DoE

ตารางที่ 2.4 วิวัฒนาการของ วิธีการ DoE

รูปแบบของ DoE	ผู้พัฒนา	บทสรุปโดยสังเขป
Classical DoE (Factorial DoE)	 Sir Ronald Fisher	<ul style="list-style-type: none"> <li>- พัฒนาโดย Sir Ronald Fisher (นักวิจัยชาวอังกฤษ)</li> <li>- คิดค้นตั้งแต่ ปี 1920</li> <li>- เริ่มใช้กับการวิจัยด้านการเกษตรและเคมีภัณฑ์เกษตร</li> <li>- เป็นต้นแบบการทดลอง DoE ของงานอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน</li> </ul>
Taguchi DoE	 Dr. Genichi Taguchi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- พัฒนาโดย Dr. Genichi Taguchi (วิศวกรชาวญี่ปุ่น)</li> <li>- ดัดแปลง จาก Classical DoE เพื่อลดความซับซ้อนและจำนวนครั้งของการทดลองและวิเคราะห์ผล</li> <li>- สร้างตารางการทดลองที่เรียกว่า Orthogonal Arrays (O.A) และ Linear Graph</li> <li>- ได้รับการยอมรับในวงการอุตสาหกรรมการผลิต</li> <li>- ประยุกต์ใช้ใน AT&amp;T , Ford , Xerox และ ITT ฯลฯ</li> </ul>
Shainin DoE	 Dorian Shainin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- พัฒนาโดย Dorian Shainin (วิศวกรชาวอเมริกัน)</li> <li>- พยายามลดความซับซ้อนและจำนวนครั้งของการทดลองโดยใช้หลักการ “Rule of Thumb”</li> <li>- ประกอบด้วยเครื่องมือพื้นฐาน 13 อย่าง</li> <li>- ได้รับการยอมรับมพอสมควรในอุตสาหกรรมการผลิต</li> <li>- ประยุกต์ใช้ใน Motorola , GM , Ford ฯลฯ</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบคุณลักษณะของวิธีการ DoE

คุณลักษณะสำคัญ	Classical	Taguchi	Shainin
1.ความยอมรับในเชิงวิชาการ	สูง	ปานกลาง	น้อย
2.ความเชื่อมั่นในทางสถิติ	สูง	ปานกลาง	น้อย
3.จำนวนครั้งในการทดลอง	มาก	ปานกลาง	น้อย
4.ต้นทุนในการทดลอง	สูง	ปานกลาง	น้อย
5.ความยุ่งยากในการวิเคราะห์ทางสถิติ	มาก	ปานกลาง	น้อย
6.เครื่องมือในการวิเคราะห์	ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์	คำนวณมือ หรือซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์	คำนวณมือเพียงพอ
7.สมมติฐานในการวิเคราะห์	จำกัด Interaction ระหว่างตัวแปรไม่ได้	สามารถกำหนด Interaction ระหว่างตัวแปรได้เอง	การวิเคราะห์ขั้นต้นไม่ต้องคำนึงถึง Interaction ระหว่างตัวแปร
8.วิธีการทดลอง	ต้องมีห้องปฏิบัติการหรือต้องหยุดสายการผลิต	ต้องมีห้องปฏิบัติการหรือต้องหยุดสายการผลิต	ไม่ต้องมีห้องปฏิบัติการและทดลองได้แม้ขณะทำการผลิตอยู่
9.จำนวนตัวแปรที่ใช้ได้กับการทดลอง	น้อย	ปานกลาง	มาก
10.สรุปผลจากการทดลอง	ต้องอาศัยวิธีการทางสถิติ	อาศัยหลักการเหตุและผลที่สรุปจากวิธีการทางสถิติ	อาศัยหลักการและผล (Rule of Thumb) เป็นหลัก
11.ข้อดี	-ให้ผลสรุปที่มีความเชื่อมั่นทางสถิติสูง -ได้รับการยอมรับทางวิชาการ	-เป็นวิธีที่มีต้นแบบจาก Classical DoE -ได้รับการยอมรับทางวิชาการพอสมควร	-อาศัยหลักและเหตุผลทำให้ง่ายต่อการอธิบายและการทดลองไม่ต้องทำมาก
12.ข้อเสีย	-เสียเวลาในการทดลอง -อธิบายทางสถิติให้ผู้ปฏิบัติงานยาก	-มีความไม่ยอมรับทางวิชาการอยู่พอสมควร	-ขาดเหตุผลสรุปทางสถิติ -ไม่เป็นที่ยอมรับของนักวิชาการทางสถิติ

### 2.7.7 การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทาгуชิ

(Design of Experiment for Quality improvement by Taguchi method)

#### 2.7.7.1 วางแผนการทดลอง (Planning Experiment)

- จัดตั้งทีมงานในการวางแผนทดลอง
- กำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ (Problem identification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบุลักษณะคุณภาพที่ต้องการศึกษา (Response variable)
- ระดมสมองเพื่อกำหนดตัวแปรอิสระหรือปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณลักษณะ (Factor or Independent variables)

#### 2.7.7.2 ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)

- กำหนดจำนวนระดับและค่าของระดับสำหรับแต่ละปัจจัย
- พิจารณากำหนดปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน
- เลือกแบบแผนการทดลองตามรูปแบบของ Taguchi's DoE (โดยใช้โปรแกรม Minitab)
- จัดทำแผนการทดลอง

#### 2.7.7.3 ดำเนินการทดลอง (Conducting Experiment)

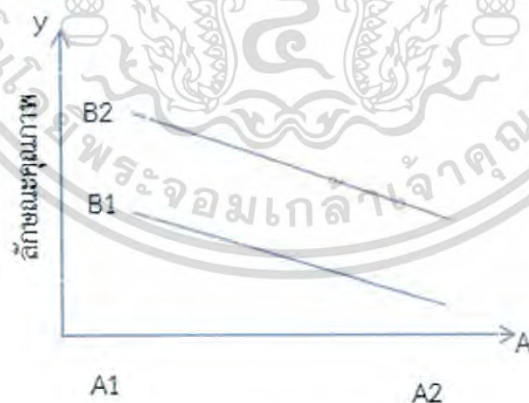
- เตรียมการและประสานงาน
- ทำการทดลอง
- วัดค่าและตรวจสอบผล

#### 2.7.7.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง (Analyzing Experiment)

- วิเคราะห์ด้วยวิธีกราฟ หรือตาราง
- ระบุปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือ มีผลต่อลักษณะคุณภาพ แล้วกำหนดค่าของปัจจัยที่จะทำได้ลักษณะคุณภาพดีที่สุด
- วิเคราะห์สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะคุณภาพกับปัจจัย
- ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล

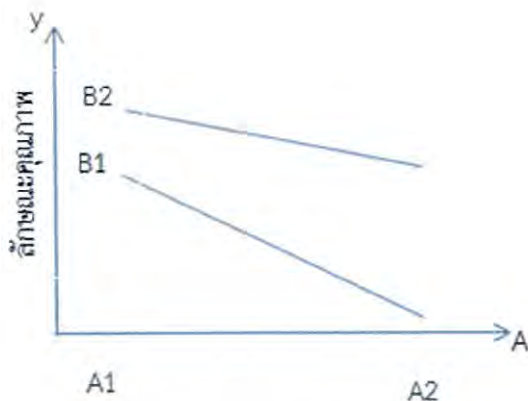
#### 2.7.7.5 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน

พิจารณาจากสภาพตามธรรมชาติของกระบวนการ

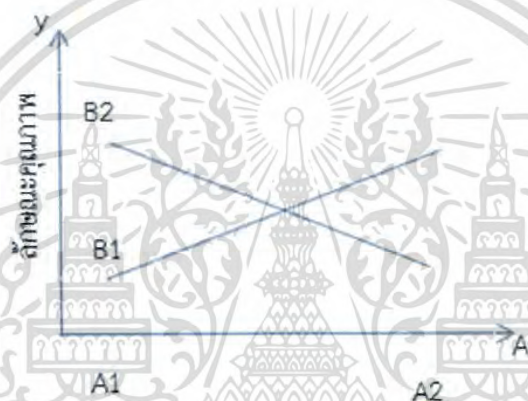


รูปที่ 2.8 แผนภาพปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แผนภาพปัจจัยที่มีความสัมพันธ์น้อย



รูปที่ 2.10 แผนภาพปัจจัยที่มีความสัมพันธ์มาก

2.7.7.6 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

- ให้พิจารณาตามหลักเหตุและผล
- ปัจจัยคู่ใดที่ไม่มีความสัมพันธ์กันตามสภาพธรรมชาติเหตุผลให้ตัดออก
- ปัจจัยคู่ใดที่มีความสัมพันธ์กันให้ใส่ หรือกำหนดความสัมพันธ์ไว้
- ปัจจัยคู่ใดที่ไม่แน่ใจว่ามีความสัมพันธ์หรือไม่ควรกำหนดให้มีความสัมพันธ์ไว้
- ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย :  $A \times B$  ,  $A \times C$  ,  $C \times D$

2.7.7.7 เลือกรูปแบบการทดลอง

- ระดับของปัจจัยที่จะทำการทดลองตามวิธีการ Taguchi's DoE สามารถเลือกกำหนดระดับได้ ตั้งแต่ 2 ถึง 8 ระดับ
- แต่ละปัจจัยอาจมีจำนวนระดับไม่เท่ากัน(แบบผสม)
- การกำหนดและเลือกแบบแผนการทดลองให้พิจารณาจากเงื่อนไขและข้อจำกัดของการทดลอง เช่น เวลาที่มี จำนวนการทดลองที่สามารถทำได้ ตลอดจนค่าใช้จ่ายต้นทุนของการทดลอง
- แบบแผนการทดลองของ Taguchi's DoE กำหนดด้วยตาราง OA (Orthogonal Array)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.7.7.8 ความหมายและความสำคัญของ Orthogonal Array (OA)

- ดร.ทาคุชิ ได้พัฒนาแผนการทดลองอาศัยการสร้างตารางที่เรียกว่า OA
- ตาราง OA ประกอบด้วยแถวและคอลัมน์แต่ละแถวแทนแผนการทดลอง 1 แผน
- ส่วนคอลัมน์จะใช้แทนค่าระดับที่กำหนดให้แต่ละตัวแปรหรือปัจจัย
- ตาราง OA เป็นตารางที่กำหนดให้แต่ละปัจจัยมีการกำหนดค่าที่สมดุล (Balanced)
- ตาราง OA ทั้งหมดของ ดร.ทาคุชิ จะมีอยู่ในโปรแกรม Minitab

#### 2.7.7.9 สัญลักษณ์ของตาราง OA

- $L_8(2^7)$  หมายถึง OA สำหรับการทดลอง 8 ครั้งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยได้สูงสุด 7 ปัจจัย
- $L_9(3^4)$  หมายถึง OA สำหรับการทดลอง 9 ครั้งแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยได้สูงสุด 4 ปัจจัย
- $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  หมายถึง OA สำหรับการทดลอง 18 ครั้งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ 1 ปัจจัยและปัจจัย 3 ระดับกับการทดลองที่มีปัจจัยได้สูงสุด 7 ปัจจัย

#### 2.7.7.10 Linear Graph

- Linear Graph เป็นกราฟพัฒนาโดยดร.ทาคุชิเพื่อใช้คู่กับ OA
- กำหนดให้ปัจจัยว่าจะให้อยู่ในคอลัมน์ใดในตาราง OA ต้องใช้ Linear Graph ประกอบ
- Linear Graph ของดร.ทาคุชิจะช่วยให้ผู้ทำการทดลองมีความยืดหยุ่นหรือคล่องตัวในการกำหนดแผนการทดลอง
- อย่างไรก็ตามโปรแกรม Minitab จะสร้างแผนการทดลองให้ผู้ทดลองไม่จำเป็นต้องเข้าใจเรื่อง Linear Graph โดยทั่วไปจะสร้างให้ 1 แผนการทดลอง โดยไม่มีแผนทางเลือกให้ความหมายใน Linear Graph
- หมายเลขที่กำกับจุดหรือเส้นคือหมายเลขคอลัมน์ใน OA ที่สอดคล้อง
- แต่ละหมายใช้ปัจจัยความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย
- OA หนึ่งๆ มีรูปแบบของ Linear Graph หลายโครงสร้าง
- โครงสร้างของ Linear Graph มีหลายแบบแผน

#### 2.7.7.11 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยตาราง OA

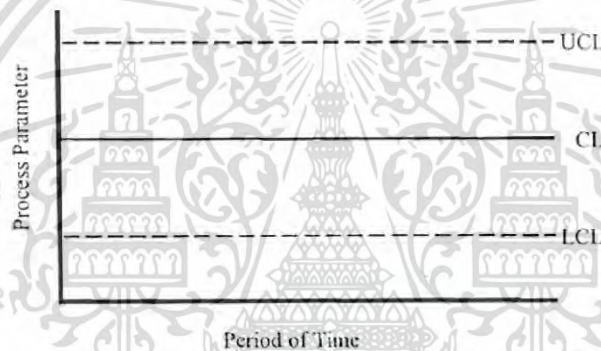
- Main effect หมายถึงผลปัจจัยแต่ละปัจจัย
- Interaction effect เช่น  $A \times B$  หมายถึง ผลของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน
- Main effect ของ  $A=5$  หมายถึง ถ้าปัจจัย A เปลี่ยนจาก  $A_1$  เป็น  $A_2$  จะทำให้  $y$  เปลี่ยนไป 5 หน่วย
- Interaction effort ของ  $A \times B=1$  หมายถึง ถ้าปัจจัย A มีค่าที่ระดับ 2 ค่าผลต่างของ  $y$  ที่ค่า  $B_1$  และ  $B_2$  จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ 1 หน่วย เมื่อเทียบกับ ปัจจัย A มีค่าระดับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 การควบคุมกระบวนการผลิต (Control phase)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายวิธีการซิกส์ซิกมาเพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้วและได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้วโดยการนำความรู้และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control) มาประยุกต์ใช้ประเภทของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) มีรายละเอียดดังนี้คือ

แผนภูมิควบคุมการใช้ในการตรวจสอบกระบวนการสร้างโดยการนำข้อมูลตามเวลาที่เก็บซึ่งของข้อมูลโดยทั่วไปจะใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างจำนวน 5 ข้อมูลต่อกลุ่มย่อย (Subgroup) ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของแผนภูมิควบคุมที่นำมาประยุกต์ใช้และลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้องจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเส้นกลาง (Center line) เส้นควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) และเส้นควบคุมบน (Upper control limit : UCL) โครงสร้างโดยทั่วไปของแผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 2.11 และจำนวนข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณเส้นควบคุมจะต้องไม่ต่ำกว่า 20 จุด



รูปที่ 2.11 แบบทั่วไปของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม  $\bar{X} - R$  Chart และ  $\bar{X} - S$  Chart เป็นแผนภูมิควบคุมของข้อมูลเชิงผันแปร โดยแยกออกเป็นแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลซึ่งจะแสดงความผันแปรระหว่างกลุ่ม และแผนภูมิที่แสดงค่าพิสัยของข้อมูลซึ่งจะแสดงความผันแปรภายในกลุ่ม โดยเส้นควบคุมต่าง ๆ สามารถที่จะคำนวณได้ดังสมการ

$$\bar{X} \quad : \quad \begin{aligned} CL &= \bar{\bar{X}}, UCL = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}, LCL = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \\ & , UCL = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}, LCL = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$R \quad : \quad CL = \bar{R}, UCL = D_4\bar{R}, LCL = D_3\bar{R} \quad (2.16)$$

$$S \quad : \quad CL = \bar{S}, UCL = B_4\bar{S}, LCL = B_3\bar{S} \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การใช้ซิกส์ซิกมากับการเพิ่มผลผลิตกระบวนการประกอบโรเตอร์ ของสปินเตลมอเตอร์

### 3.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงการวิธีการซิกส์ซิกมาใน 5 ขั้นตอน DMAIC มาทำการวิเคราะห์เพื่อกรองพิจารณาข้อมูลนำมาใช้และส่งต่อกันไปในแต่ละขั้นตอน เพื่อตรวจสอบปัจจัยนำเข้าที่มีต่อปัญหาปิกฮับหมุนแกว่ง ที่ทำให้เกิดของเสียโดยขั้นตอนกำหนดค่า Yield เป้าหมายและการวัดทำการวัดระบบของปัญหาตั้งแต่ปัจจัยนำเข้าจากกระบวนการผลิตย่อยจนถึงกระบวนการผลิตหลักนำมาวางเป็นภาพให้เห็นความสัมพันธ์อย่างเป็นเหตุและผลด้วยแผนผังเหตุและผลจากทั้งทีม จากนั้นส่งไปให้คะแนนความเสี่ยงปัจจัยนำเข้าโดยวิธีการ PFMEA เป็นตัวคัดกรองจนเหลือปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากทั้งทีมและนำไปสู่การวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสมมติฐานปัจจัยนำเข้าจากนั้นไปต่อขั้นตอนการปรับปรุงงานวิจัยนี้สนใจทำเป็นวิธีการทากูชิ DoE เพราะต้องการลดความผันแปรของปัญหาจนได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมแล้วนำไปทดลองกับเครื่องประกอบต้นแบบคุณภาพประสิทธิภาพ Yield เปรียบเทียบกับสภาพปัจจุบันผลลัพธ์เป็นไปตามเป้าหมายได้ดีได้ดำเนินการปรับตั้งต่อกับเครื่องประกอบที่เหลือ และสรุปผลสามารถเพิ่ม Yield ตามเป้าหมายที่วางไว้ ขั้นตอนการควบคุมด้านสุดท้ายที่ต้องรักษาไม่ให้ Yield ตกต่ำลงมาอีกโดยใช้การตรวจสอบ SPC chart งานวิจัยนี้เลือกที่ X-bar chart และ S chart ตรวจสอบที่เครื่องวัดโรเตอร์ต้องควบคุม

### 3.2 การกำหนดตัวปัญหา (Define phase)

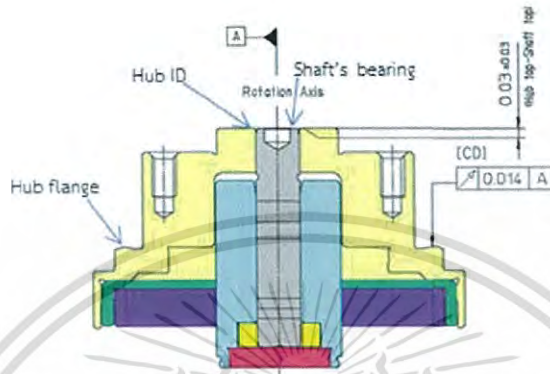
#### 3.2.1 กรณีศึกษากระบวนการประกอบโรเตอร์

จากกรณีศึกษาโรงงานผลิตมอเตอร์สปินเตล (Motor Base Assembly) ในประเทศไทยรายหนึ่งเป็นมอเตอร์สปินเตลฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 3.5 นิ้วจำนวนแผ่นแข็ง 1 ดิสก์ (SP-type) ความเร็วรอบ 7,200 rpm ต้องปฏิบัติตามแนวทางนโยบายของบริษัทแม่จากประเทศญี่ปุ่นโดยให้ทำการผลิตงานให้เป็นไปตามแผนการของส่งมอบสินค้าตามเวลาทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงให้กับลูกค้า โดยตอบสนองต่อความพึงพอใจต่อลูกค้ามากที่สุด การลดข้อร้องเรียนจากงานบกพร่องหลุดไปหาลูกค้า เป็นที่มาที่ต้องลดของเสียเป็นศูนย์การผลิตสปินเตลมอเตอร์ ด้วยวิธีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องทั้งด้านคุณภาพรวมถึงพิจารณาค้นหาวិธีการลดต้นทุนและทำการปรับปรุงให้เหมาะสมต่อสถานะการณ์ในตลาดผู้ผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงเป็นที่มาของการปรับปรุงโดยวิธีซิกส์ซิกมาโดยการเข้าถึงขั้นตอน DMAIC

#### 3.2.2 กลไกของการเกิดปัญหา

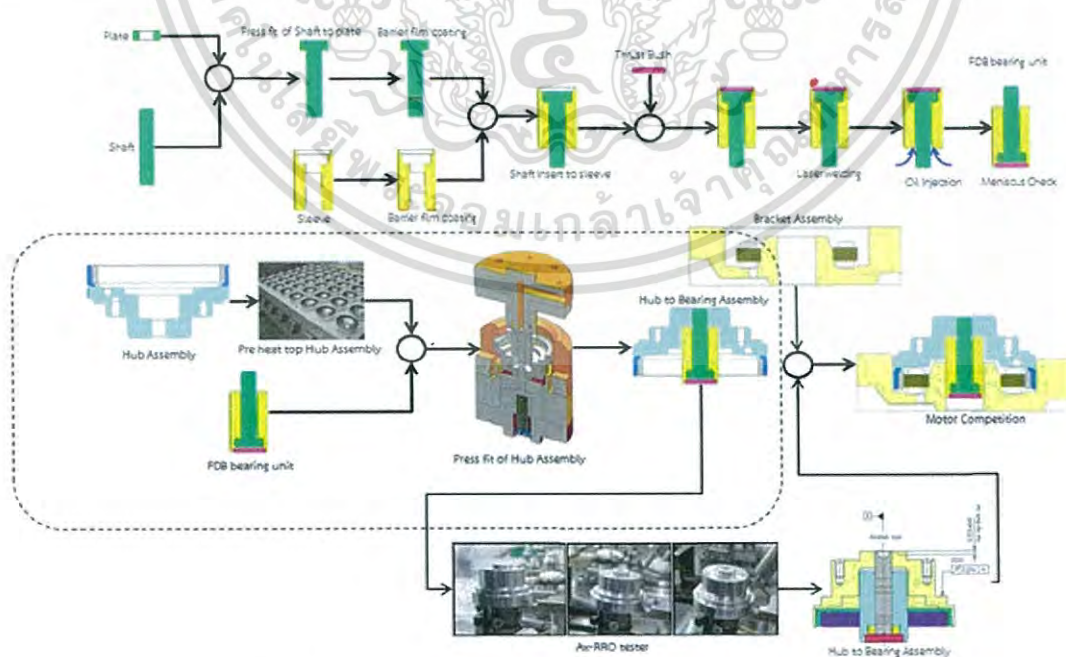
กรณีศึกษากระบวนการประกอบชุดฮับและแบร์ริงโดยใช้เครื่องสวมอัด (press fit machine) ประกอบเป็นโรเตอร์ของสปินเตลมอเตอร์ จากนั้นนำไปตรวจสอบด้วยเครื่องทดสอบปิกฮับหมุนแกว่ง (Axial Run-Out tester) ด้วยโรเตอร์จะหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วที่ 7,200 rpm เป็นการเริ่มหมุนของสปินเตลมอเตอร์ครั้งแรก จับการหมุนของปิกฮับหมุนแกว่งเกิดโดยมีแกนหมุนอ้างอิง (A) คือแกนเพลลาของแบร์ริงและจุดที่ทำการวัดค่าของคุณลักษณะคุณภาพที่สนใจคือที่ปิกฮับเอกสตรีนเป็นเอกสารที่ส่งมอบสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นบริเวณที่ต้องวางแผนฮาร์ดดิสก์โดยกำหนดเป็นค่าการหมุนหนีศูนย์ (Run out) เทียบกับแกนอ้างอิง A และพบว่าเกิดของเสียคือปีกฮับหมุนแกว่งค่าเกินค่ามาตรฐานโรเตอร์ ของสปินเดิลมอเตอร์ สำหรับทำเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์กำหนดต้องไม่เกิน 0.014mm และค่าความสูงของแกนเพลลาที่ประกอบฮับแล้ว 0.03+/-0.03mm [10]



รูปที่ 3.1 การประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์และมาตรฐานควบคุม

วงรอบเส้นประแสดงให้เห็นการประกอบโรเตอร์โดยฮับจะถูกนำมาวางที่เครื่องอุ่นรูฮับ (Pre-heat top bub) ก่อนประกอบจากนั้นนำไปวางที่ Lower fixture ส่วนแบร์ริงยูนิทวางเข้าไปที่ ด้าน Upper fixture ซึ่งจะมีลมดูดแวกคัมตัวแบร์ริง และส่วน upper กับ lower นี้เองก็มีการควบคุมความเร็วในการกดที่ 2 และ 3 เพื่อปรับตั้งของเครื่องประกอบโรเตอร์ และการตรวจสอบผลการประกอบด้วยเครื่องมือวัดโรเตอร์

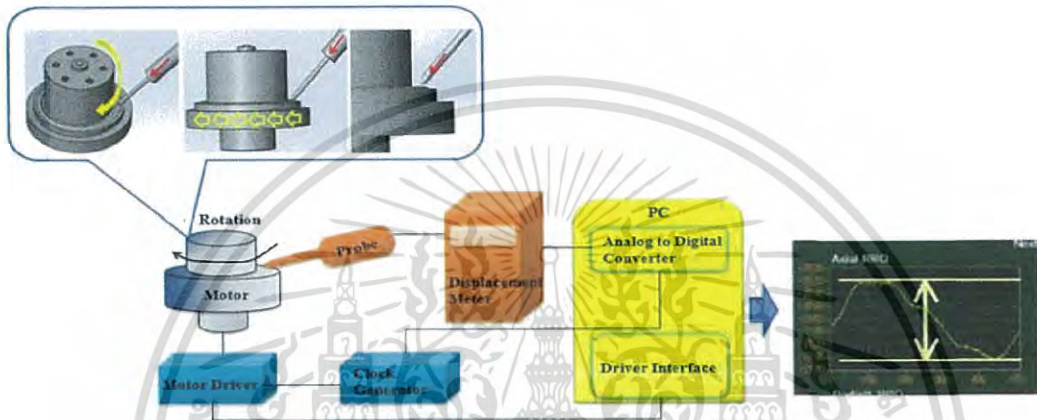


รูปที่ 3.2 แผนภาพกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ของรุ่น SP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การตรวจสอบผลการประกอบด้วยเครื่องมือวัดโรเตอร์ [10]

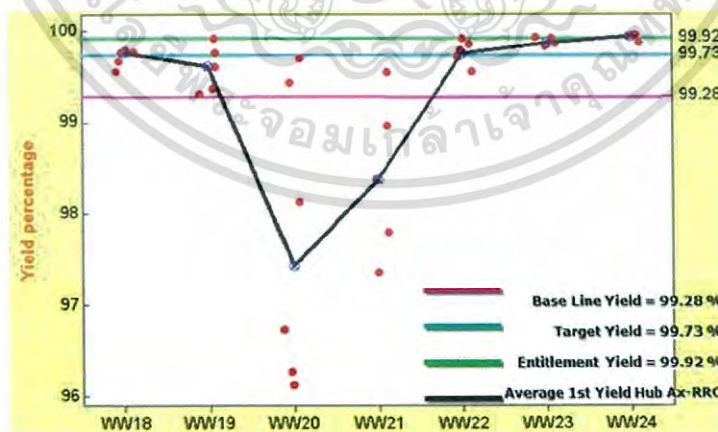
ชิ้นงานที่ประกอบเป็นโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์หลังจากทดสอบด้วยเครื่องมือวัดโรเตอร์ (Axial RRO tester) ที่หมุนด้วยความเร็วรอบ 7,200 rpm พบว่าปีกฮับหมุนแกว่งเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดเราควบคุมค่ารันเอาท์ เป็นค่า critical dimension กำหนดเป็นค่ามาตรฐาน โดยมีแกนอ้างอิงคือ แกนเพลลาของแบร์ริงและ จุดวัดปีกฮับ (Hub Flange) เกิดการแกว่งไกวและห่างจาก หัวโพรบหรือกิมมิติแบบคาปาซิแตนซ์ผลลัพท์ค่าปีกฮับแกว่งถูกแสดงให้เห็นค่ายอดถึงยอดเป็นขนาดการแกว่ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การตรวจสอบผลการประกอบโดยเครื่องมือวัดโรเตอร์

### 3.2.4 พิจารณาประวัติข้อมูลการผลิตโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์ [10]

เริ่มเก็บข้อมูลผลผลิต Yield จาก WW#18(May)- WW#24(Jun) ที่กระบวนการประกอบโรเตอร์ มีงานเสียปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง จากโรงงานผลิตแห่งหนึ่งในประเทศไทย



รูปที่ 3.4 Ax RRO yield ระยะเวลา WW#18-24 จาก 7 สัปดาห์

สามารถนำมาพิจารณาจากพื้นฐานความสามารถกระบวนการประกอบตามแนว ซิกส์ซิกมา จุดสีแดง พล็อตจุดค่าเฉลี่ย Yield รายวัน (จาก 3 เครื่องสวมอัด)

เส้นสีดำ พล็อตเส้นค่าเฉลี่ย Yield แนวโน้มรายสัปดาห์ (Average yield) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นสีชมพู พล็อตเส้นค่าเฉลี่ย Yield ค่าเฉลี่ย WW#18-24 (Base line yield)

เส้นสีเขียว พล็อตเส้น Yield ที่ดีที่สุดที่เคยผลิตได้จริง (Entitlement yield)

เส้นสีฟ้า ที่พล็อตเส้น Yield โดยซิกส์ซิกมาจะปรับปรุงขึ้นเพิ่มอีก70% (New target yield)

### 3.2.5 กำหนดเป้าหมายที่ใช้ในการปรับปรุงประกอบโรเตอร์

จากรูปที่ 3.4 เป็นข้อมูลผลผลิตกระบวนการผลิตปัจจุบันที่ได้มาจากการกำหนดการปรับปรุงแบบพลิกโฉมแบบซิกส์ซิกมากับ Yield เป้าหมายใหม่และต้นทุนการผลิตที่ทำการลดลงได้ตามตาราง 3.1

#### 3.2.5.1 เป้าหมายหลัก (Hard Saving)

1. ถ้าทำตามเป้าหมายได้จาก New Target yield : 99.73% จะสามารถลดของเสีย 4,500 DPPM และประหยัดเป็นเงินต้นทุนการผลิต 1.1 ล้านบาทต่อปี
2. ทำการปรับปรุงลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Axial RRO พารามิเตอร์
3. เพิ่มระดับคุณภาพของ Sigma level ของค่า Axial RRO พารามิเตอร์
4. เพิ่มความสามารถของกระบวนการประกอบ Ppk
5. หาค่าปรับตั้งตัวแปรนำเข้าที่กระทบต่อปัญหาให้เหมาะสมที่สุด (Optimal condition setting)

#### 3.2.5.2 เป้าหมายรอง (Soft Saving)

1. เพิ่มความพึงพอใจให้ลูกค้า Quarter business report (QBR)
2. เพิ่มความเชื่อมั่นต่อลูกค้าถึงการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง
3. ลดข้อร้องเรียนงานเสียหลุดไปเจอที่จากลูกค้า (Zero defect)
4. เพิ่มความรู้ในการพัฒนาปรับปรุงสปีนเดิลมอเตอร์ที่ต่างรุ่น
5. เพิ่มความรู้ในการนำซิกส์ซิกมาในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในองค์กร

ตารางที่ 3.1 ตารางกำหนดเป้าหมายการปรับปรุงการประกอบโรเตอร์ในทางซิกส์ซิกมา

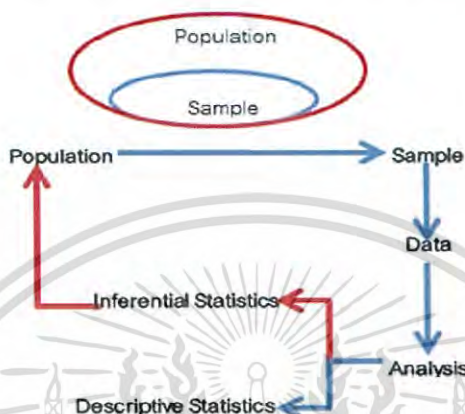
รายการ	ปัจจุบัน	กำหนดเป้าหมาย (Enhance yield 70%)	เป้าหมายใหม่
1)แผนการปรับปรุงผลผลิต (Ax RRO improve yield plan)	Yield Base line 99.28%	New target yield% = Base line+( Entitle - Base line )*0.70 )  99.728% $\cong$ 99.28%+(99.92%-99.28%)*0.70)	Breakthrough new target Yield  99.73%
2)แผนการปรับปรุงลดของเสีย(Defect reduce plan)	7,200 DPPM	Current DPPM – New DPPM=Delta DPPM เป็นผลดีที่ลดต้นทุนได้  Delta DPPM =7,200 – 2,700 = 4,500 DPPM DPPM's Build : 4,500*4.89 = 22,005 DPPM Impact save : 22,005*50 =1,100,250 บาท หมายเหตุ : ข้อมูลการผลิตจากโรงงานผลิต แผนผลิตรายปี : 4.89 million units/year โรเตอร์ราคาต่อยูนิต 50 บาท ต่อยูนิต	2,700 DPPM  1,100,250.- บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนระบบการวัดปัญหา (Measure phase)

วิเคราะห์จากการวัดผลและตัดสินใจบนสถิติขั้นพื้นฐานการปรับปรุงคุณภาพของปัจจัยนำเข้า (KPIVs) แบ่งเป็นในการพิจารณากระบวนการวัดดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 การวิเคราะห์ความสามารถการประกอบโรเตอร์ (Process capability analysis)



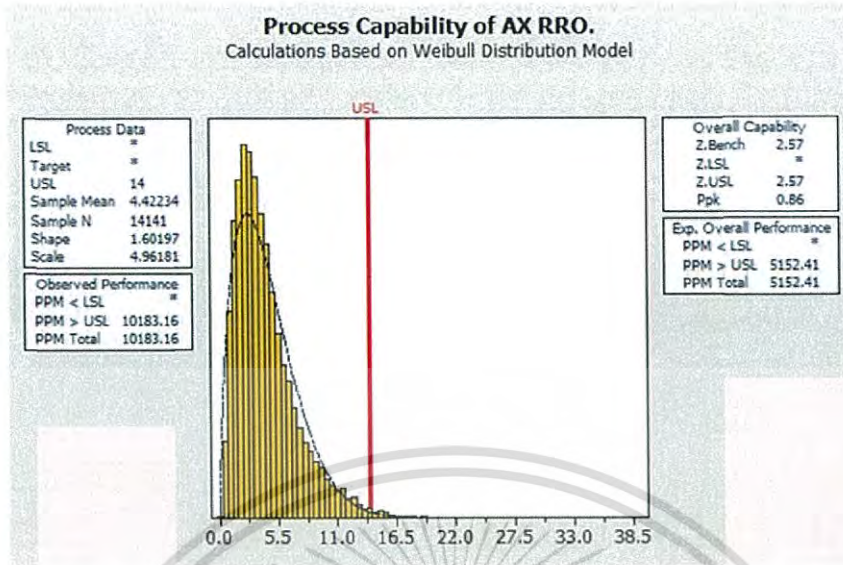
รูปที่ 3.5 แนวคิดสถิติขั้นพื้นฐานในการปรับปรุงกระบวนการกรณีศึกษา [9]

แนวคิดสถิติขั้นพื้นฐาน (Fundamental concept of statistics) ตัวแทนประชากร (Population) : Ax RRO ข้อมูลทั้งหมดการสุ่มตัวอย่าง (Sample) : เก็บข้อมูลบางส่วนจาก Ax RRO ข้อมูลทั้งหมด เส้นทางกรณีศึกษาทางงานวิจัยจะทำการวิเคราะห์ได้ตามสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เท่านั้นไม่สามารถนำข้อมูลทั้งหมดของประชากรมาทำการวิเคราะห์เพื่อบ่งชี้ข้อผิดพลาดและวิเคราะห์สภาพของคุณลักษณะที่เราต้องการได้ซึ่งถ้าตัวแทนประชากรจะพิจารณารูปแบบเส้นทางสถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics)

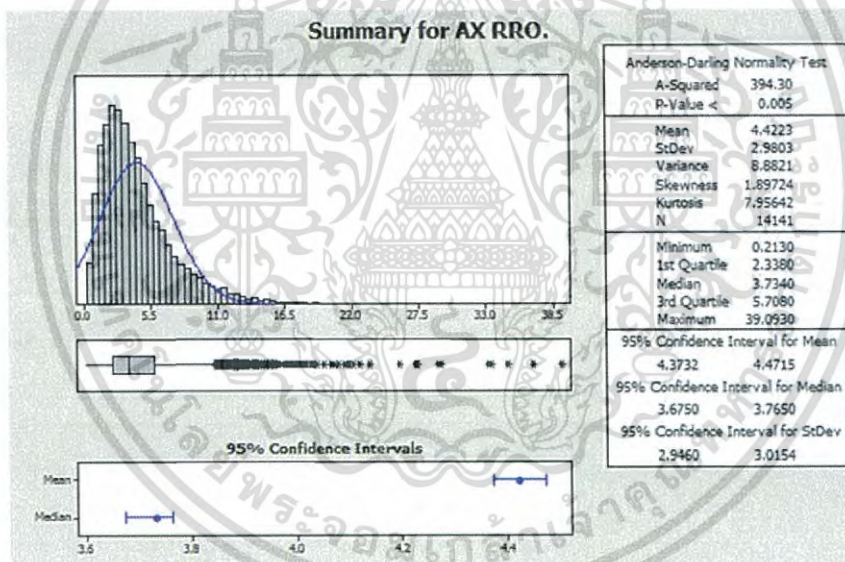
ตารางที่ 3.2 ตารางพารามิเตอร์พื้นฐานสถิติระหว่างตัวแทนประชากร กับ การสุ่มตัวอย่าง

Population parameters	Sample statistics
Population mean( $\mu$ ) $\mu = \frac{\sum x_i}{N}$	Sample mean( $X\text{-bar}$ ) $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$
Population variance( $\sigma^2$ ) $\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}$	Estimate for variance( $s^2$ ) $s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$
Population Std deviation( $\sigma$ ) $\sigma = \sqrt{(\sigma^2)}$	Estimate for Std deviation( $S$ ) $s = \sqrt{(s^2)}$

วิเคราะห์ความสามารถของปีกฮับหมุนแกว่งพิจารณาจากการสุ่มตัวอย่างจริงมาทั้งหมดทั้ง 3 เครื่อง สวมอัดที่ใช้ในการประกอบโรเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ความสามารถของกระบวนการค่าปีกยับหมุนแกว่งก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 3.7 ความสามารถของปีกยับหมุนแกว่งที่แสดงการทดสอบความเป็น Normality

### 3.3.2 คุณลักษณะความสามารถในปัจจุบันของกระบวนการประกอบโรเตอร์ [3]

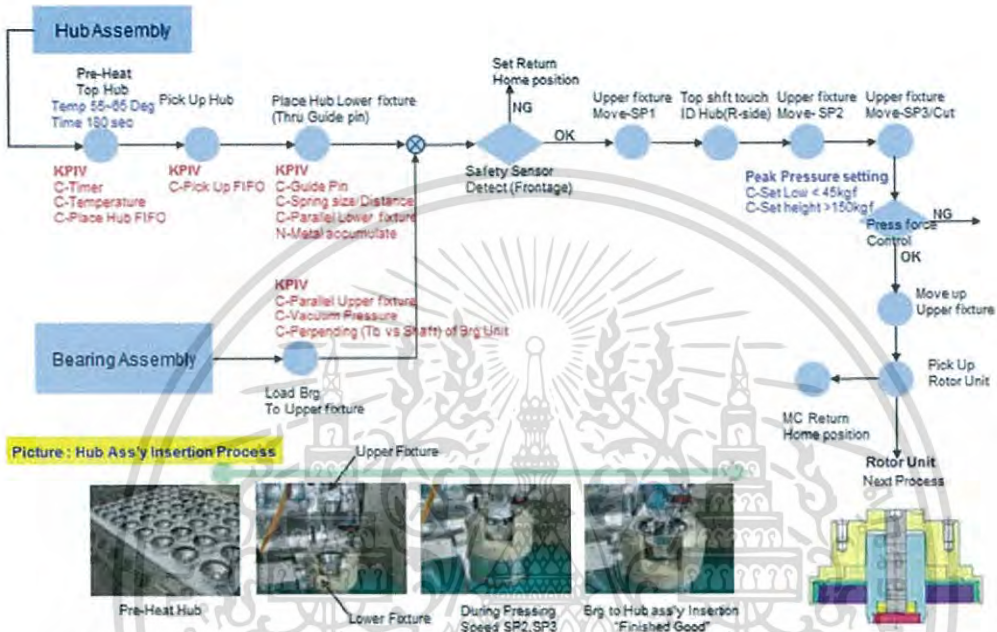
1. จากฮิสโตแกรมของระยะการแกว่งปีกยับมีคุณลักษณะแบบเบ้ขวา (ฐานนิยม < ค่าเฉลี่ย)
2. การกระจายตัว ไม่เป็นแบบ normality คือ  $\alpha < 0.05$  และการควบคุมเพียงทางเดียว คือควบคุมมาตรฐานด้านเดียวไม่ให้เกิดค่าทางด้านมาตรฐานด้านสูง (Upper Spec Limit: USL)
3. เกิดของเสียในกระบวนการที่เกิน USL ที่อยู่ที่ DPPM 10,183
4. ระดับคุณภาพ (Quality Sigma level)  $Z_{bench}=2.57$  และ  $s = 2.9803$
5. Ppk = 0.87 ความสามารถของกระบวนการประกอบอยู่ในเกณฑ์ต่ำต้องทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 แผนผังกระบวนการผลิต (Process Mapping) [17]

3.3.3.1 แผนผังกระบวนการประกอบโรเตอร์ (Hub assembly insert process mapping)

จุดสนใจไปกับภาพรวมใหญ่ (Macro) จากสายการผลิตของกรณีศึกษาในกระบวนการของโรงงานประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลแห่งหนึ่ง



รูปที่ 3.8 แผนผังกระบวนการประกอบโรเตอร์ (Hub to bearing assembly) แบบ Macro

หมายเหตุ : S คือเป็นมาตรฐานถูกควบคุมตามเอกสารปฏิบัติงาน (WI)

C คือเป็นการควบคุมโดยวิธีการทำงานที่ถูกกำหนดจากผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

N คือเป็นการสิ่งรบกวนที่ควบคุมไม่ได้

KPIVs คือปัจจัยนำเข้ากระบวนการนั้น ๆ

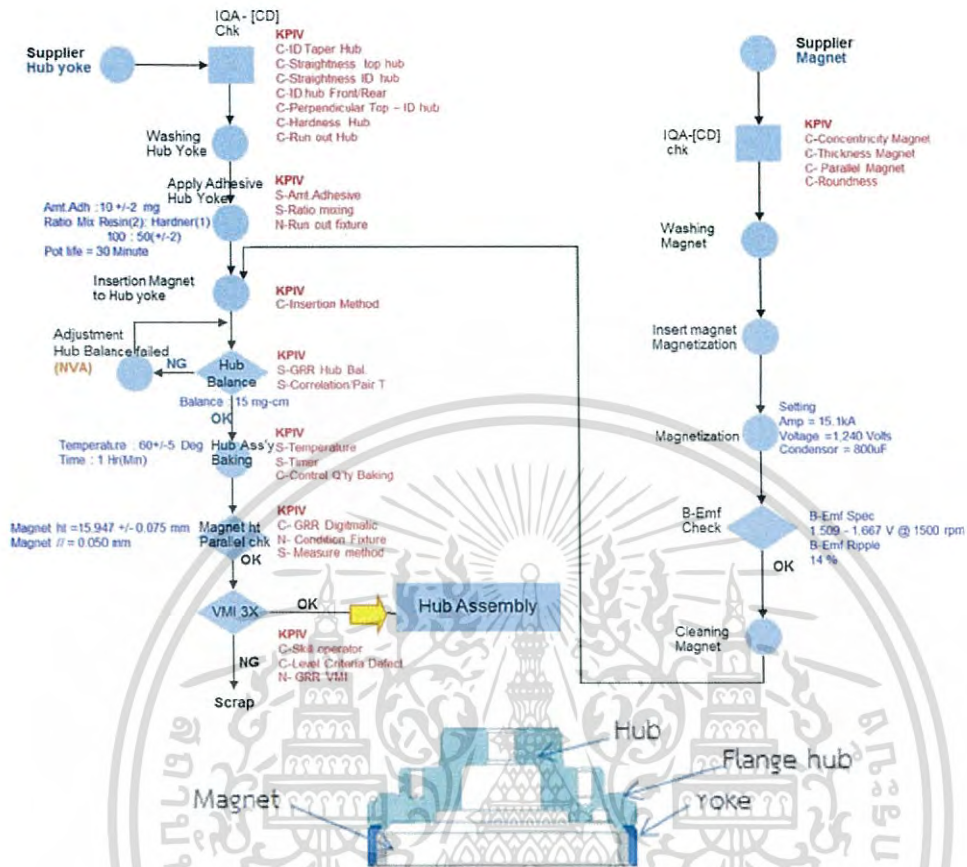
3.3.3.2 แผนผังกระบวนการผลิตชุดฮับ (Hub assembly process mapping)

ในกระบวนการผลิตฮับแอสซึนิต ของกรณีศึกษาเราพิจารณาที่อยู่ในกระบวนการประกอบย่อย (Sub assembly) ของโรงงานผลิตสปินเดิลซึ่งวัตถุประสงค์ในกระบวนการนี้ นำฮับแฟรงค์ (Hub flange) จากนั้นนำแม่เหล็กดิบมาทำให้เป็นแม่เหล็กถาวร (Magnetization) และตัวฮับยูนิตเมื่อนำไปทำเป็น สปินเดิลมอเตอร์ชิ้นงานตัวนี้จะเป็นตัวที่รองรับงานแผ่นแข็งโดยตรง

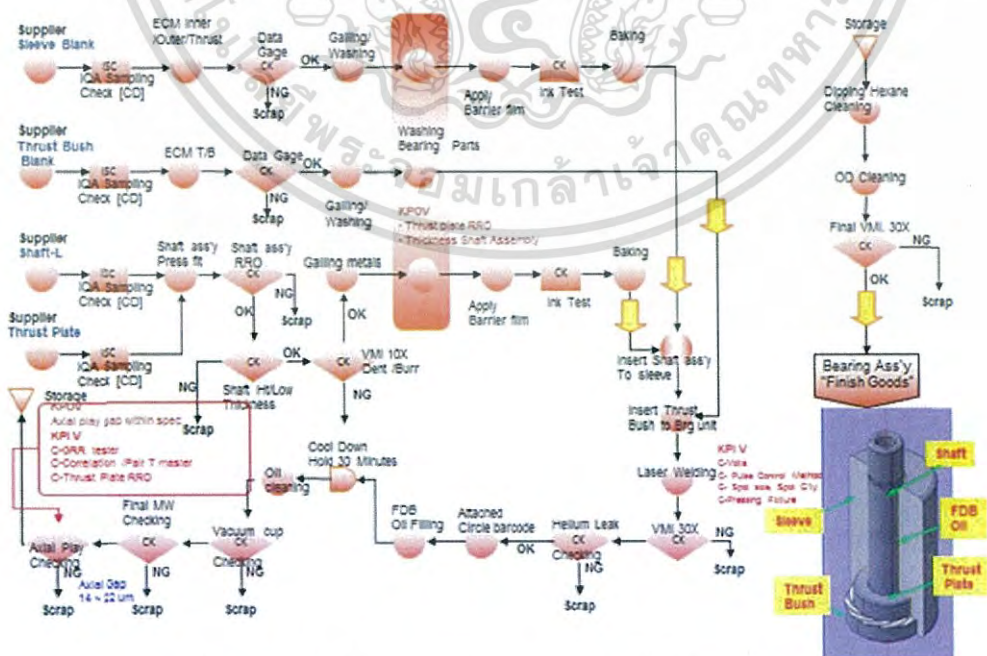
3.3.3.3 แผนผังกระบวนการผลิตประกอบแบร์ริงยูนิต

(Fluid Dynamic Bearing unit process mapping)

ขั้นตอนการประกอบแบร์ริง ยูนิต แบบ micro ตั้งแต่ขั้นตอนที่รับจากผู้ผลิตที่ส่งเพลลา ,ทรัสเพลท นำมาประกอบ เป็นแกนเพลลายูนิตต่อจากนั้นทำการนำไปประกอบกับสลีฟพร้อมกับการประกอบกับทรัสบูชน่าไปทำการเลเซอร์เวลดึงต่อจากนั้นใช้ครอยร้วโดยใช้ฮีเลียมตรงรอยเชื่อม ต่อจากนั้นทำการเติมน้ำมันในตัวแบร์ริงและขั้นตอนสุดท้ายตรวจสอบระยะยกตัวของชุดแบร์ริง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แผนผังกระบวนการประกอบผลิตฮับแอสซึบลีแบบ Micro



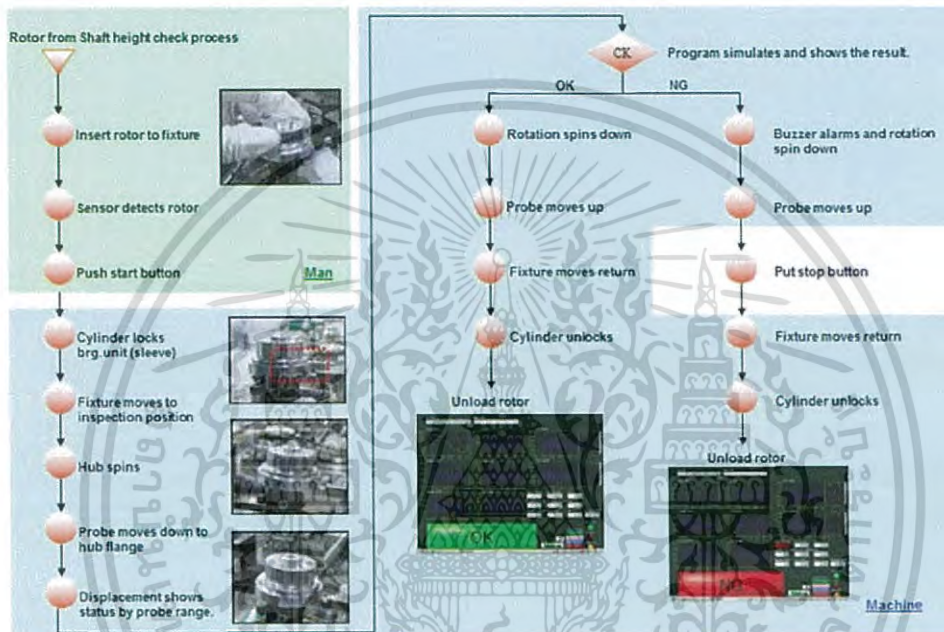
รูปที่ 3.10 แผนผังกระบวนการประกอบแบร์ริงยูนิต แบบ micro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.4 แผนผังกระบวนการทดสอบโรเตอร์

#### (Hub Axial RRO tester process mapping)

เครื่องมือวัดโรเตอร์ชุดตัวฟิกเจอร์ที่สวมโรเตอร์เข้าไปนั้นเป็นสเตเตอร์แบบ DC brushless motor เพื่อมาควบคุมจerkกับชุดฮับที่แม่เหล็กถาวรตัวโรเตอร์จะหมุนบินเสมือนเป็นสปินเดิลมอเตอร์ ณ กระบวนการนี้และเป็นเครื่องมือวัดที่ต้องการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำสูงโดย ระยะพิกัดเผื่อของสเปค 0.014mm จำเป็นต้องดูผลอย่างถูกต้องและต้องผ่านระบบ MSA ก่อนนำมาทดสอบการประกอบโรเตอร์ด้วย



รูปที่ 3.11 แผนผังกระบวนการทดสอบ Hub Axial RRO tester แบบ micro

### 3.3.4 พิจารณาปัจจัยนำเข้าของกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์

ปัจจัยจากกระบวนการประกอบโรเตอร์ ระหว่างประกอบอับกับแบร์ริงที่ไม่ตั้งฉากกัน ซึ่งก็มีหลายปัจจัยที่น่าสนใจในการประกอบที่กระบวนการดังนี้

#### 1. เครื่องสวมอัด

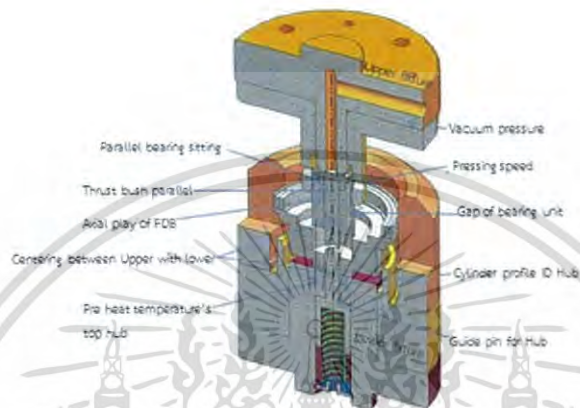
- a. ฟิกเจอร์ด้านบน ใส่ชุดแบร์ริง
  - i. แรงลมดูดของฟิกเจอร์ด้านบนต่อชุดแบร์ริง
  - ii. ความเร็วแรงกดเครื่องสวมอัด
  - iii. ความขนานพื้นผิวที่แบร์ริงนั่งสัมผัส
  - iv. ระยะช่องว่างของระยะห่างของแบร์ริง
- b. ฟิกเจอร์ด้านล่างใส่ชุดฮับ
  - i. ไกด์พินเพื่อนำทางชุดฮับ
- c. การปรับตั้งร่วมศูนย์ระหว่างฟิกเจอร์ด้านบน-ด้านล่าง (Alignment lower/upper fixture)

#### 2. ความร้อนที่ใช้อุ่นที่ชุดฮับ (Pre- top hub temperature)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความขนานของกันตัวแบริ่ง (Thrust bush parallel)
4. ความเอียงของรูฮับเป็นโปรไฟล์ที่ไม่เหมาะสม (Id taper of hub)
5. ระยะยกตัวลอยของแนวแกนเพลลาของแบริ่ง

โดยพิจารณาจากจุดสนใจที่จะนำมาทำการปรับปรุงนี้ ด้วยการใช้สถิติขับเคลื่อนในการตัดสินใจและแก้ไขปัญหาปิกฮับหมุนแกว่ง



รูปที่ 3.12 องค์ประกอบของปัจจัยนำเข้าที่กระบวนการประกอบ

ซึ่งทั้งหลายรายการปัจจัยที่นำเข้ามารวมกัน (Combination) ต้องค้นหาความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องซึ่งกันและกัน (Interaction) ที่มีผลกระทบโดยตรงกับปิกฮับหมุนแกว่งโดยวิธีการซิกส์ซิกมา จะทำการคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญและตัดสินใจแก้ไขบนพื้นฐานความรู้วิศวกรรมให้ผู้ควบคุมกระบวนการที่รับผิดชอบนั้นทำการแก้ไขปัญหาได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

### 3.3.5 ระบบการวัดเครื่องวัดปิกฮับหมุนแกว่ง (MSA of tester) [2]

ระบบการวัดของกระบวนการ (Measure phase) ทำการพิจารณาถึงความถูกต้องและแม่นยำในการวัดปิกฮับหมุนแกว่งจากผลของ Gage Repeatability & Reproduction (GR&R)

ตารางที่ 3.3 ตารางตัวชี้วัดความสามารถของระบบการวัดก่อนเริ่มใช้ในกระบวนการประกอบโรเตอร์

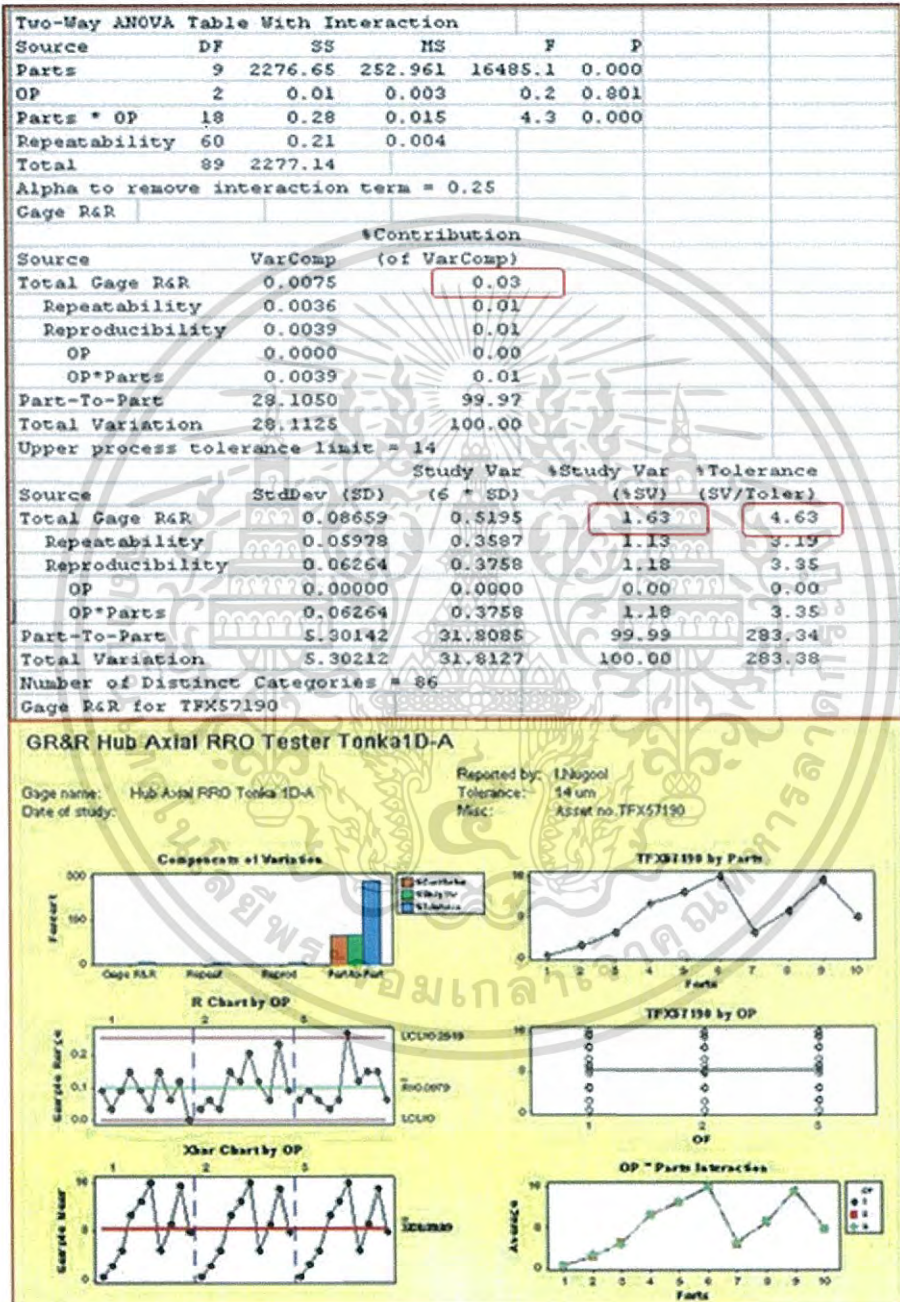
Quality of gauge	%Contribution	P/TV, %Study variance	P/T, Precision to Tolerance ratio	No. of Distinct categories
Best gauge (ระดับดีมาก)	<1%	<10%	<10%	>10
Acceptable gauge (ระดับยอมรับ)	1%<%cont.<9%	10%<%P/TV <30%	10%<%P/T<30%	5< Ndc.<10
Poor gauge (ห้ามใช้เครื่องมือวัดนี้)	%cont.>9%	%P/TV >30%	%P/T>30%	<5
Equation	$\%R\&R = \frac{6 \cdot \sigma_{Mea.}^2}{6 \cdot \sigma_{Total}^2}$	$P/TV = \frac{6 \cdot \sigma_{Mea.}}{6 \cdot \sigma_{Total}}$	$P/T = \frac{6 \cdot \sigma_{Mea.}}{6 \cdot \sigma_{Total}}$	$Ndc = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Part}^2}{\sigma_{Meas.}^2}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5.1 ผลลัพธ์ของ Gauge R&R เครื่องวัดปีกฮับหมุนแกว่ง [2]

โปรแกรม Minitab ตรวจสอบผลของเครื่องมือวัด สามารถใช้งานวัด KPOV ได้เป็นอย่างดี และมีความแม่นยำสูง ตามผล P/T, P/TV และ %R&R ผ่านในระดับดีมาก

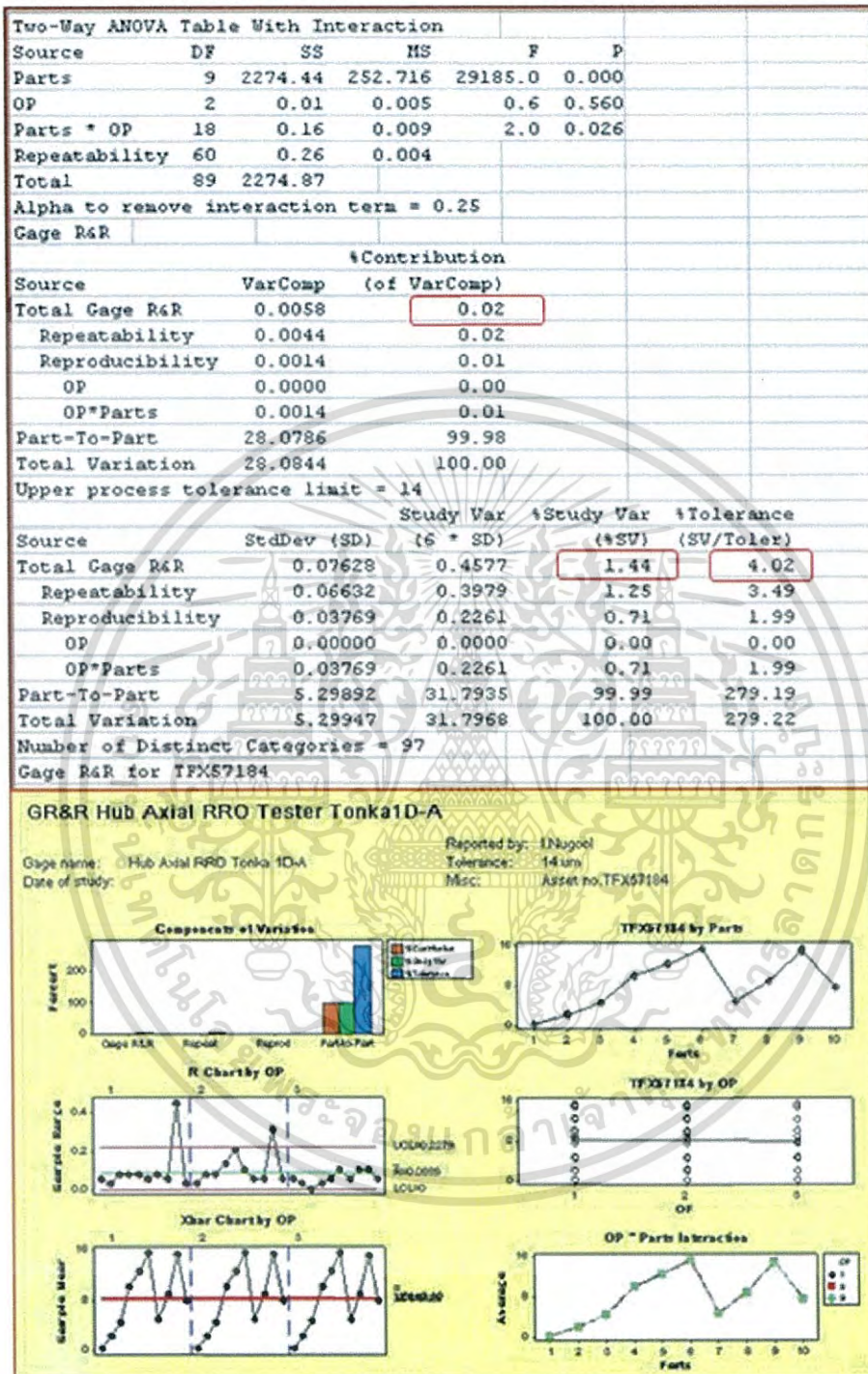
เครื่องวัดที่ 1 : Serial no. TFX57190



รูปที่ 3.13 ผลลัพธ์ผ่าน Gauge R&R เครื่องวัด TFX57190 โดยโปรแกรม Minitab

โปรแกรม Minitab ตรวจสอบผลของเครื่องมือวัดสามารถใช้งานวัด KPOV ได้เป็นอย่างดี และมีความแม่นยำสูง ตามผล P/T, P/TV และ %R&R ผ่านในระดับดีมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดที่ 2 : Serial no. TFX57184

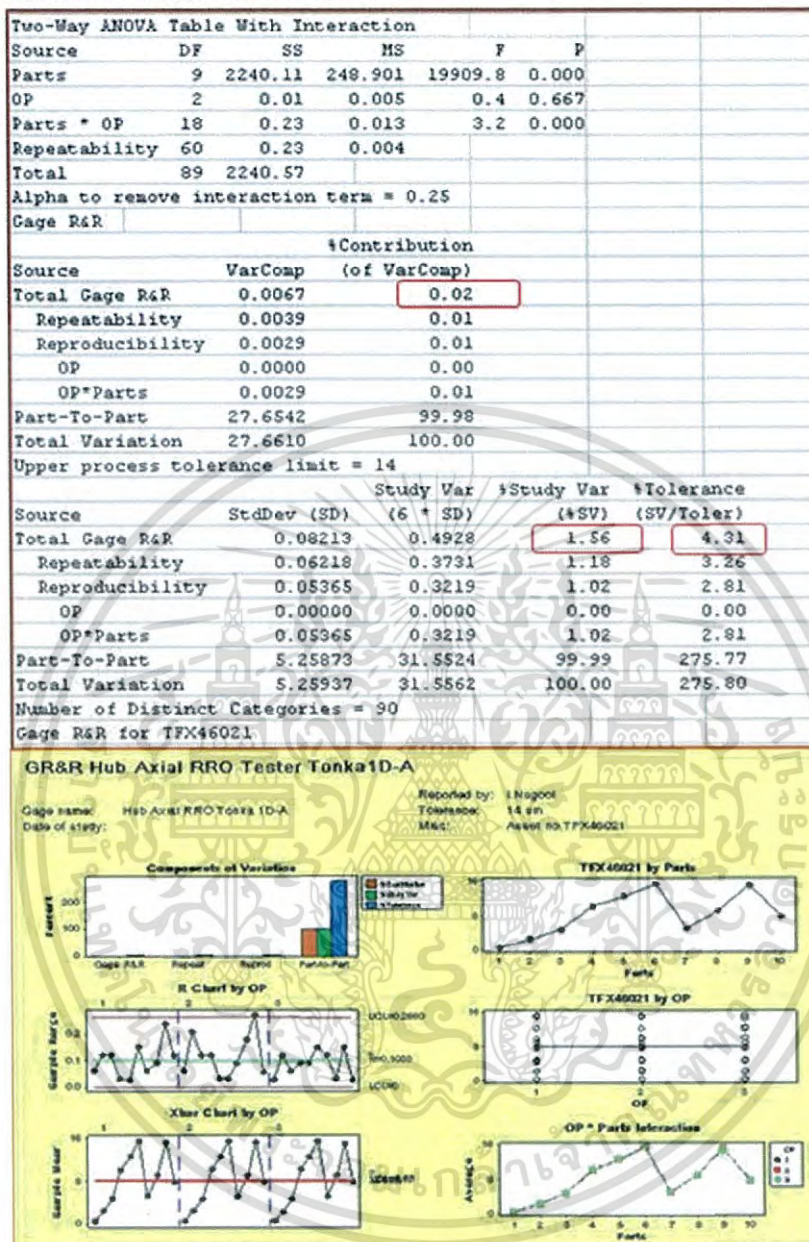


รูปที่ 3.14 ผลลัพธ์ผ่าน Gauge R&R เครื่องวัด TFX57184 โดยโปรแกรม Minitab

โปรแกรม Minitab ตรวจสอบผลของเครื่องมือวัดสามารถใช้งานวัด KPOV ได้เป็นอย่างดี และมีความแม่นยำสูง ตามผล P/T , P/TV และ %R&R ผ่านเงื่อนไขในระดับดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดที่ 3 : Serial no. TFX46021



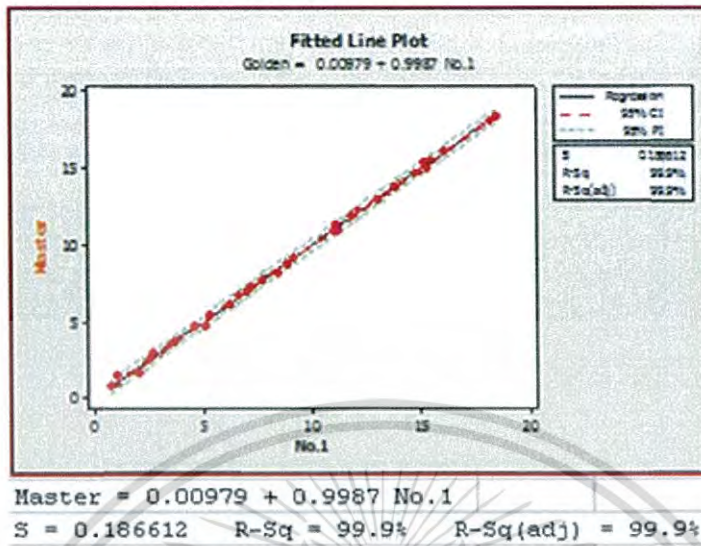
รูปที่ 3.15 ผลลัพธ์ผ่าน Gauge R&R เครื่องวัด TFX46021 โดยโปรแกรม Minitab

### 3.3.5.2 ความสัมพันธ์ของตัวเครื่องวัด (Correlation of tester) [2]

กระบวนการวัดคุณลักษณะมักมีความต้องการใช้เครื่องมือวัดหลายๆ เครื่อง ปัญหา ก็คือความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องมือวัด เราต้องปรับแต่งให้เครื่องมือวัดแต่ละตัว อ่านค่าได้ เหมือนกันและเหมือนกันตลอดทุกย่านของการวัด โดยทำให้บ่อยครั้งเท่าที่จะทำได้ ในบางครั้ง เครื่องมือวัดจะมี bias ตลอดทุกย่านของการวัดเท่ากัน แต่มีหลายกรณีที่ค่า bias ไม่เท่ากันตลอดทุก ย่านการวัด (non-linearity) ถ้าการผลิตของคุณต้องใช้เครื่องมือวัดหลายเครื่อง ให้ทำการศึกษา ความสัมพันธ์ของตัวเครื่องวัด เพื่อตรวจสอบปริมาณความผันแปรระหว่างเครื่องมือวัดกับตัวมาตรฐาน และปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องตามความจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

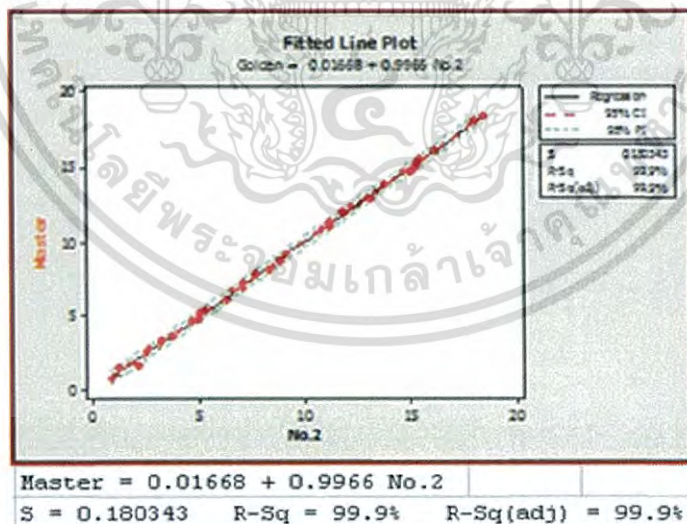
เครื่องวัดที่ 1 : Serial no. TFX57190



รูปที่ 3.16 ผลลัพธ์เครื่องวัด (Serial no.TFX57190) Correlation เทียบกับ Master

ผลลัพธ์จากการทำความสัมพันธ์ของตัวเครื่องวัด ดูผลเทียบกับค่า Master เราสามารถยอมรับได้เพราะค่า R-Square อยู่ที่ 99.9% และค่าความผันแปรของ เครื่องวัดที่อยู่รอบสมการเส้นตรงอยู่ที่  $0.1866 \text{ um}$  จากแนวโน้มของ correlation ระหว่างพบว่าจุดตัดแกน Y มีเพียง  $0.00979 \text{ um}$

เครื่องวัดที่ 2 : Serial no. TFX57184

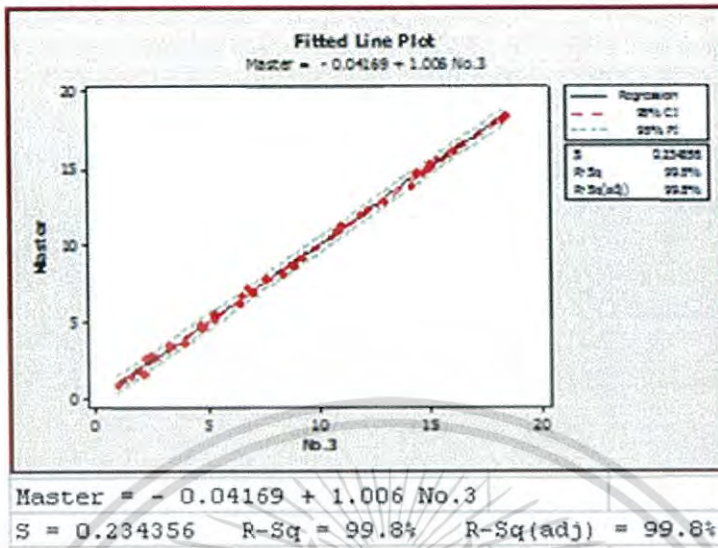


รูปที่ 3.17 ผลลัพธ์เครื่องวัด (Serial no. TFX57184) Correlation เทียบกับ Master

ผลลัพธ์จากการทำความสัมพันธ์ของตัวเครื่องวัด ดูผลเทียบกับค่า Master เราสามารถยอมรับได้เพราะค่า R-Square อยู่ที่ 99.9% และค่าความผันแปรของ เครื่องวัดที่อยู่รอบสมการเส้นตรงอยู่ที่  $0.180343 \text{ um}$  จากแนวโน้มของ correlation ระหว่างพบว่าจุดตัดแกน Y มีเพียง  $0.01668 \text{ um}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดที่3 : Serial no. TFX46021

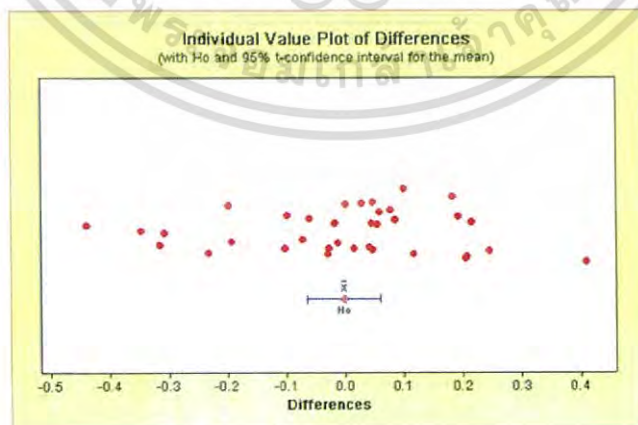


รูปที่ 3.18 ผลลัพธ์เครื่องวัด (Serial no. TFX46021) Correlation เทียบกับ Master

ผลลัพธ์จากการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวเครื่องวัด ดูผลเทียบกับค่า Master เราสามารถยอมรับได้เพราะค่า R-Square อยู่ที่ 99.8% และค่าความผันแปรของ เครื่องวัดที่อยู่รอบสมการเส้นตรงอยู่ที่ 0.234356 um จากแนวโน้มของ correlation ระหว่างพบว่าจุดตัดแกน Y มีเพียง 0.01668 um

### 3.3.5.3 Pair-T-test เครื่องวัดปีกยับหมุนแกว่ง [2]

ผลการทดสอบสมมติฐานในเรื่อง Pair-t-test เป็นส่วนหนึ่งการทดสอบค่าเฉลี่ยในการสมมติฐาน (Means hypothesis test) เครื่องวัดที่1 : Serial no. TFX57190, ผลลัพธ์ความถูกต้องต่อค่ามาตรฐานอย่างถูกต้องและมีนัยสำคัญกับ  $H_0$  อยู่ในย่านที่มีการกำหนดที่ความเชื่อมั่นที่ C.I 95%

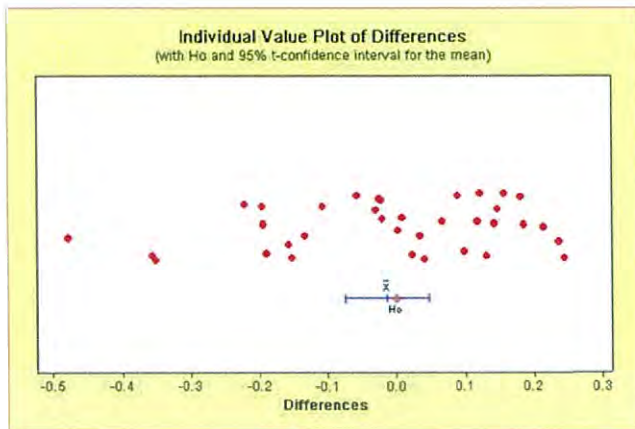


รูปที่ 3.19 ผลลัพธ์เครื่องวัด (Serial no.TFX57190) Pair-t-test เทียบกับ Master

เครื่องวัดที่2 : Serial no. TFX57184, ผลลัพธ์ความถูกต้องต่อค่ามาตรฐานอย่าง

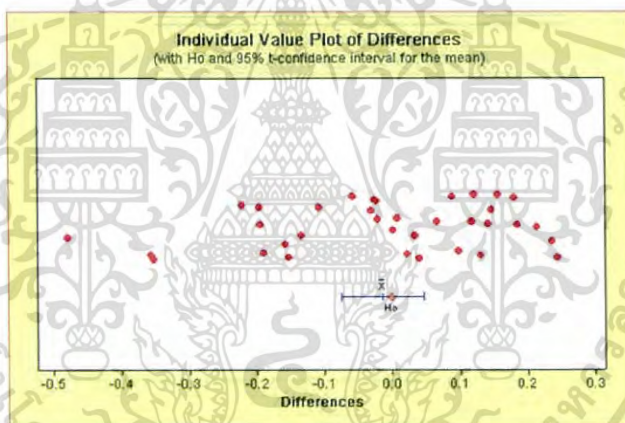
ถูกต้องและมีนัยสำคัญกับ  $H_0$  อยู่ในย่านที่มีการกำหนดที่ความเชื่อมั่นที่ C.I 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ผลลัพธ์เครื่องวัด (Serial no. TFX57184) Pair-t-test เทียบกับ Master

เครื่องวัดที่3 : Serial no. TFX46021, ผลลัพธ์ความถูกต้องต่อค่ามาตรฐานอย่างถูกต้องและมีนัยสำคัญกับ Ho อยู่ในย่านที่มีการกำหนดที่ความเชื่อมั่นที่ C.I. 95%



รูปที่ 3.21 ผลลัพธ์เครื่องวัด (Serial no. TFX46021) Pair-t-test เทียบกับ Master

### 3.3.6 แผนผังเหตุและผล (Cause & Effect diagram) [1]

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง KPIVs กับ KPOV แผนผังเหตุและผลหรืออีกชื่อหนึ่งแผนภูมิแก๊งปลา ทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง อินพุท กับ เอาท์พุทที่เป็นปัญหาของกระบวนการผลิต สำหรับการปรับปรุงโดยวิธีการซิกส์ซิกมา ใช้แผนผังแก๊งปลาเพื่อประมวลรายการสาเหตุปัจจัยและไปทำการวิเคราะห์ PFMEA ต่อไป

### 3.3.7 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ (PFMEA) [17]

กระบวนการผลิตของโรเตอร์เพื่อนำมาทำสปินเดิลมอเตอร์โดยสนใจปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาปึกยับหมุนแกว่ง เป็นเครื่องมือที่ใช้การระดมสมองทุกแผนกที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิต ฝ่ายคุณภาพ และแผนกบริการลูกค้า เพื่อมาทำการระบุสาเหตุที่มีผลต่อปัญหาอย่างมีระบบ

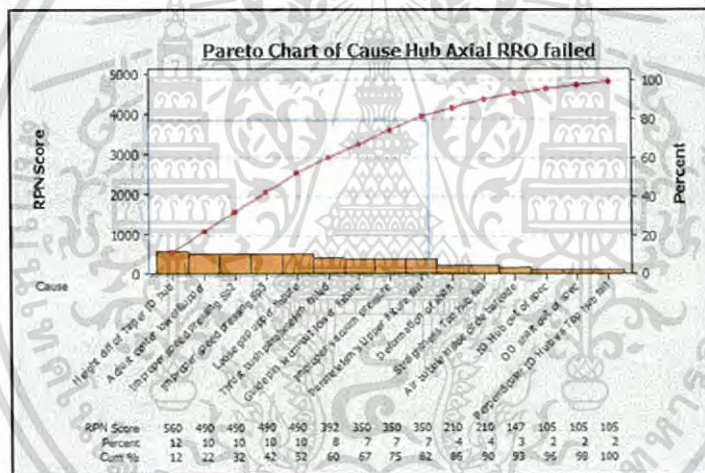
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เราจะได้ลำดับคะแนนจากคอลัมน์ช่องที่ RPN (Risk Priority number) ได้จากช่องของ  $RPN = Severe * Occurrence * Detectability$  ซึ่งเป็นผลจากการ ควบคุมกระบวนการผลิตที่มีต่อตัว ปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง พิจารณาคะแนนความสำคัญที่เครื่องมือแผนภาพพาเรโตต่อไป

### 3.3.8 แผนภาพพาเรโตจัดความสำคัญปัจจัยกระทบปัญหาหนักสุด (Pareto KPIVs Hub Axial RRO failed chart) [1]

แผนภาพพาเรโตเป็นชุดกราฟแท่งความสูงคะแนน RPN ที่เป็นผลกระทบจากสาเหตุ ปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ต่อตัวปัญหา (KPOV) ที่มีง่ทำการแก้ไข กราฟแท่งในแผนภาพถูกเรียง ตามลำดับความสูงจากซ้ายไปขวาโดยแท่งทางซ้ายมีจะแสดงสาเหตุที่ส่งผลกระทบมากกว่าเมื่อเทียบกับแท่งทางซ้ายเพราะมาจากหลักการของนาย Vilfredo Pareto (1848-1923) นักเศรษฐศาสตร์และ คณิตศาสตร์ชาวอิตาลีที่มีความสนใจในวิชาสถิติและดัดแปลงวิชาสถิติมาใช้ประโยชน์ พาเรโตได้ กล่าวว่ “80% ของความยุ่งยากมักจะมาจากสาเหตุแค่ 20%” หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ามีสาเหตุหลัก ไม่กี่สาเหตุ (Vital few) จากจำนวนสาเหตุมากมาย (Trivial many) ที่เป็นเหตุแห่งความยุ่งยาก

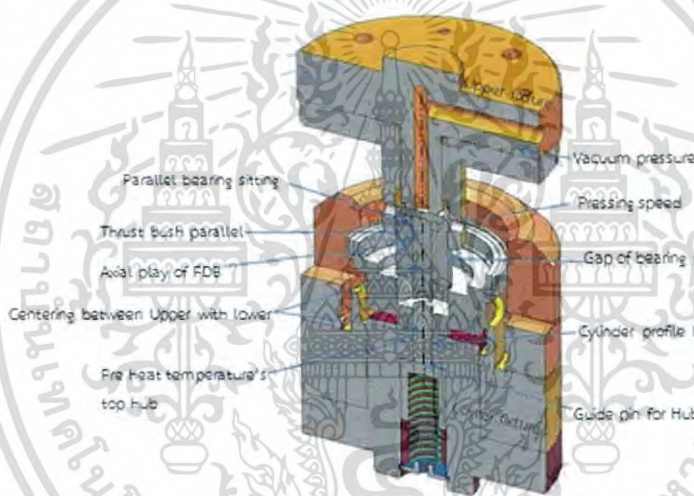


รูปที่ 3.23 แผนภาพพาเรโตจัดลำดับสำคัญปัจจัย (KPIVs) กระทบปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง

ขั้นตอนนี้สามารถกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง 9 อันดับ ตามรูปที่ 3.24 และสามารถพิจารณาจากตารางที่ 3.5 เป็นการจัดอันดับความสำคัญทั้ง 9 ปัจจัยจากขั้นตอน การวิเคราะห์ปัญหาตามเทคนิคซิกซ์ซิกม่าจะส่งต่อสาเหตุนี้ไปสู่การวิเคราะห์กระบวนการ (Analyze phase) ต่อไป

ตารางที่ 3.5 ตารางผลRPNของคะแนนสูงสุดทั้ง 9 ปัจจัยที่กระทบต่อปัญหา

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้ ปีกฮับหมุนแกว่งหลุดสเปค	RPN คะแนน	ลำดับความ รุนแรง	คิดเปอร์เซ็นต์ ความรุนแรง	คิดเปอร์เซ็นต์ สะสม
1	Height diff of Taper ID hub	560	1	12%	12%
2	Adjust center lower & upper	490	2	10%	22%
3	Improper speed pressing Sp2	490	3	10%	32%
4	Improper speed pressing Sp3	490	4	10%	42%
5	Loose gap upper fixture	392	5	10%	52%
6	Thrust bush parallelism failed	350	6	8%	60%
7	Guide pin worn out lower fixture	350	7	7%	67%
8	Improper vacuum pressure	350	8	7%	74%
9	Parallelism of Upper fixture fail	350	9	7%	81%



รูปที่ 3.24 องค์ประกอบของปัจจัยนำเข้าทำให้เกิดปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง

### 3.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase) [2]

การวิเคราะห์สาเหตุจากกระบวนการที่ส่งต่อมาจาก Measure phase ตามวงล้อของ ซิกส์ ซิกมาข้อมูลที่ใช้ขับเคลื่อนเพื่อการปรับปรุงต่อการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis test) กับ 9 สาเหตุ และอภิปรายผลด้วย โปรแกรม Minitab เพื่อการวิเคราะห์ทีละปัจจัย (One factor at a time : OFAT) ทดสอบค่าเฉลี่ย (ANOVA test) และค่าแปรผัน (Variance test) ตัวแปรที่พบว่ามีนัยสำคัญ เราสามารถนำไปทำการแก้ไขได้ก่อนเป็นผลจากการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อเพิ่ม Yield และทำการลด ความผันแปรในกระบวนการผลิต

#### 3.4.1 การหาจำนวน Sample size ของผลการทดสอบสมมติฐาน

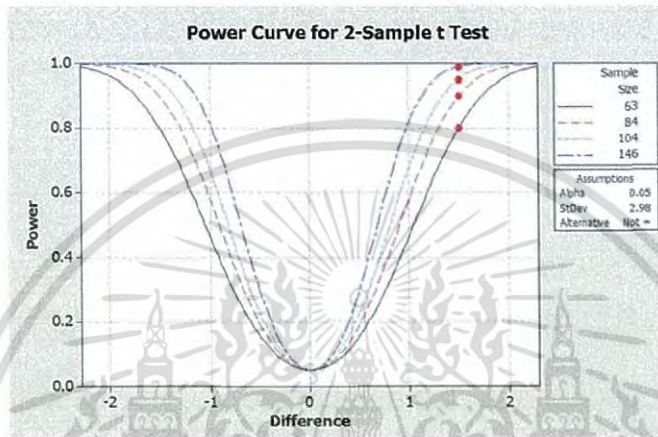
พิจารณาโดยกำหนด  $\sigma = 2.98$ , ความแตกต่างที่ค่าปีกฮับหมุนแกว่งที่ ( $\delta_0$ ) 1.5um และค่าของ Power(1- $\beta$ ) ที่ 90, ใช้คำสั่งMinitab: 2 sample Test,  $\alpha = 0.05\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Power and Sample Size**  
2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)  
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference  
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 2.98

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
1.5	63	0.80	0.800434
1.5	84	0.90	0.900293
1.5	104	0.95	0.950815
1.5	146	0.99	0.990002



รูปที่ 3.25 กราฟ Sample size ของ Hypothesis mean test

3.4.2 การทดสอบ Hypothesis ANOVA ( $\bar{x}$ ) & ( $s^2$ )

3.4.2.1 KPIV1 รูปแบบความเอียงด้านในรูฮับ (Height diff Taper ID hub)

- ค่ากลาง ความเอียงของด้านในรูฮับ (Center of Id taper)
- ค่าทางบวกความเอียงของด้านในรูฮับ (Positive of Id taper)
- ค่าทางลบความเอียงของด้านในรูฮับ (Negative of Id taper)

Type Id Hub	Center Taper	Positive Taper	Negative Taper
Front Id Hub	Front side =Rear side	Front side > Rear side	Front side <Rear side
Rear Id Hub	Front side =Rear side	Rear side < Front side	Rear side > Front side

รูปที่ 3.26 แบบความเอียงของด้านในรูฮับ (Id taper hub height difference)

ANOVA test

กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), ไม่มีกลุ่ม Taper กลุ่มไหนแตกต่างกันเลย

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), มีกลุ่ม Taper อย่างน้อยหนึ่งกลุ่มแตกต่าง

$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

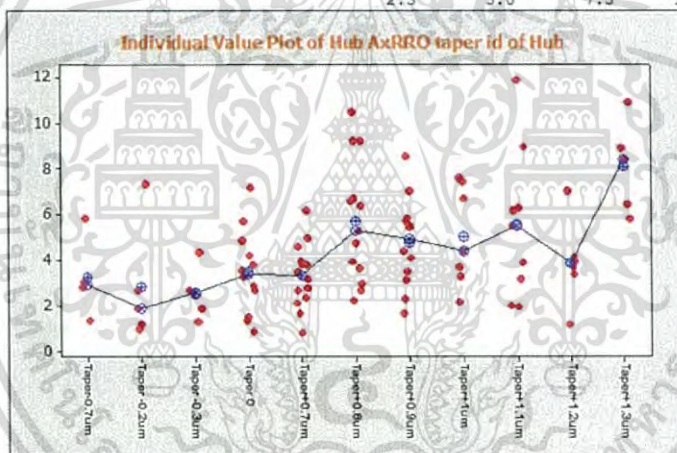
One-way ANOVA: Hub Id taper

Source	DF	SS	MS	F	P
Taper	10	169.03	16.90	3.54	0.001
Error	81	386.58	4.77		
Total	91	555.61			

S = 2.185 R-Sq = 30.42% R-Sq(adj) = 21.83%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
Taper 0	12	3.511	1.850	(---*---)
Taper -0.2um	5	2.827	2.610	(-----*-----)
Taper -0.3um	5	2.566	1.158	(-----*-----)
Taper -0.7um	4	3.270	1.865	(-----*-----)
Taper +0.7um	14	3.341	1.410	(---*---)
Taper +0.8um	13	5.720	2.703	(-----*-----)
Taper +0.9um	12	4.789	1.982	(---*---)
Taper +1um	7	5.061	2.194	(-----*-----)
Taper +1.1um	9	5.560	3.288	(---*---)
Taper +1.2um	6	3.926	1.861	(-----*-----)
Taper +1.3um	5	8.112	2.030	(-----*-----)



รูปที่ 3.27 ตีอพล็อตความเอียงด้านในรูฮับกับ  $\bar{x}$  ของ Hub Ax RRO

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.27 ค่าเฉลี่ย  $\bar{x}$  ผลลัพธ์ระบุว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.001$ ,  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ *Id taper*

**Variance test**

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), ไม่มีกลุ่ม Taper กลุ่มไหนแตกต่างกัน  
 $H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), มีกลุ่ม Taper อย่างน้อยหนึ่งกลุ่มแตกต่าง  
 $H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า  $p$ -value มากกว่า  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$   
 $H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า  $p$ -value น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$   
 Minitab แสดงผลลัพธ์

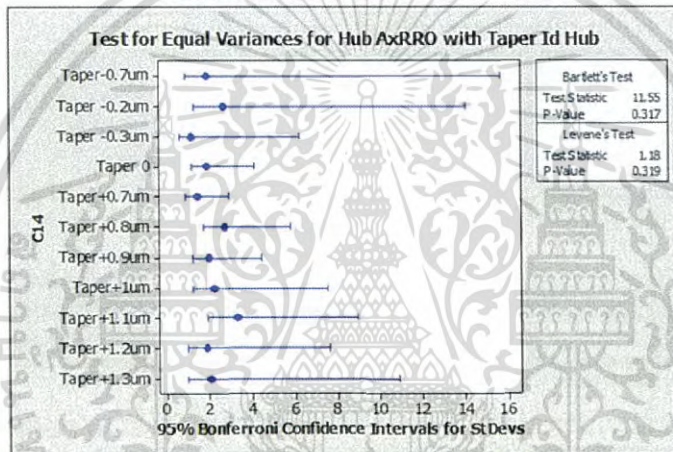
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test for Equal Variances: Hub AxRRO with Taper Id Hub

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Variable	N	Lower	StDev	Upper
Taper-0.7um	4	0.84742	1.86454	15.7300
Taper -0.2um	5	1.27958	2.60965	14.0515
Taper -0.3um	5	0.56774	1.15789	6.2346
Taper 0	12	1.13950	1.85009	4.1499
Taper+0.7um	14	0.89635	1.40987	2.9082
Taper+0.8um	13	1.69318	2.70344	5.7969
Taper+0.9um	12	1.22067	1.98187	4.4455
Taper+ium	7	1.18753	2.19404	7.5329
Taper+1.1um	9	1.89719	3.28752	8.9675
Taper+1.2um	6	0.96471	1.86110	7.6558
Taper+1.3um	5	0.99525	2.02977	10.9292

Bartlett's Test (normal distribution)  
Test statistic = 11.55, p-value = 0.317



รูปที่ 3.28 รูปช่วงความเอียงของด้านในรูฮับ กับ  $s^2$  ของ Hub Ax RRO

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.28 ค่าความผันแปร,  $s^2$  ผลลัพธ์ระบุ ว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.317$ ,  $p$ -value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีนี้ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.4.2.2 KPIV2 การปรับตั้งร่วมศูนย์ของฟิกส์เจอร์ด้านล่างกับบน (Adjust center lower & upper)



รูปที่ 3.29 การปรับตั้งร่วมศูนย์ของฟิกส์เจอร์ด้านล่างกับด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ANOVA test

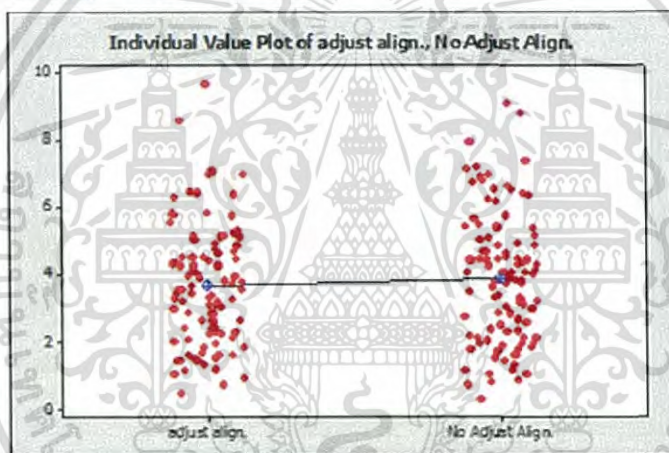
กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), ไม่ต้องปรับตั้งร่วมศูนย์

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), ใช้วิธีการปรับตั้งร่วมศูนย์

$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

```
Two-sample T for adjust align. vs No Adjust Align.
          N   Mean   StDev   SE Mean
Ball adjust align.    100  3.67    1.76    0.18
No Ball alignment.   103  3.90    1.92    0.19
Difference = mu (adjust align.) - mu (No Adjust Align.)
Estimate for difference:  -0.225936
95% CI for difference:  (-0.735930, 0.284059)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.87
P-Value = 0.383  DF = 200
```



รูปที่ 3.30 คือทพล็อตของการปรับตั้ง กับไม่ปรับตั้ง,  $\bar{x}$  ของ Hub Ax RRO

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.30 ค่าเฉลี่ย  $\bar{x}$  ผลลัพธ์ระบุว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.383$ , p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### Variance test

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), ไม่ต้องปรับตั้งร่วมศูนย์

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), ใช้วิธีการปรับตั้งร่วมศูนย์

$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

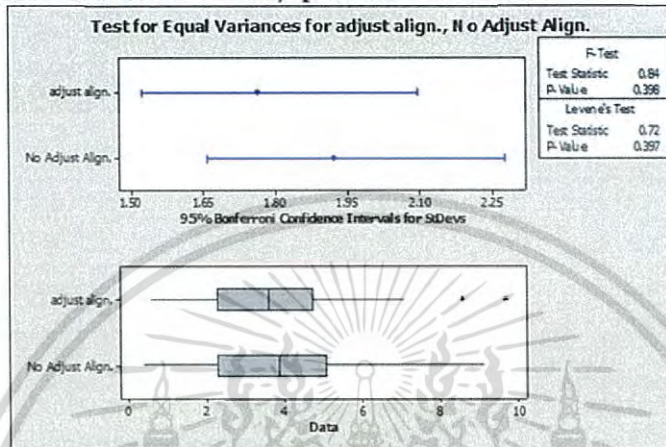
Minitab แสดงผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test for Equal Variances: adjust align., No Adjust Align.  
 95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Variable	N	Lower	StDev	Upper
adjust align.	100	1.52067	1.76376	2.09495
No Adjust Align.	103	1.65856	1.91977	2.27398

F-Test (normal distribution)  
 Test statistic = 0.84, p-value = 0.398



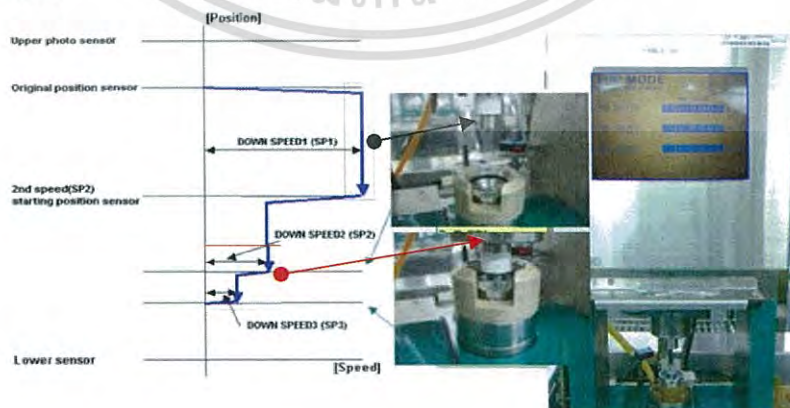
รูปที่ 3.31 การเปรียบเทียบกับไม่ต้องปรับกับ ปรับตั้ง  $s^2$  ของ Hub Axial RRO

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.31 ค่าความผันแปร  $s^2$  ผลลัพธ์ระบุ ว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.398$ ,  $p$ -value มากกว่า  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีนี้ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.4.2.3 KPIV3 ความเร็วการกดเครื่องสวมอัดที่ระดับ 2 ไม่เหมาะสม (Improper pressing speed 2<sup>nd</sup>)

พิจารณาไฟล์ความเร็วการกดของเครื่องสวมอัด (Press fit speed down flow)

#### Flow



รูปที่ 3.32 วิเคราะห์ ความเร็วในการกด 2<sup>nd</sup> & 3<sup>rd</sup> ของเครื่องสวมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ANOVA test

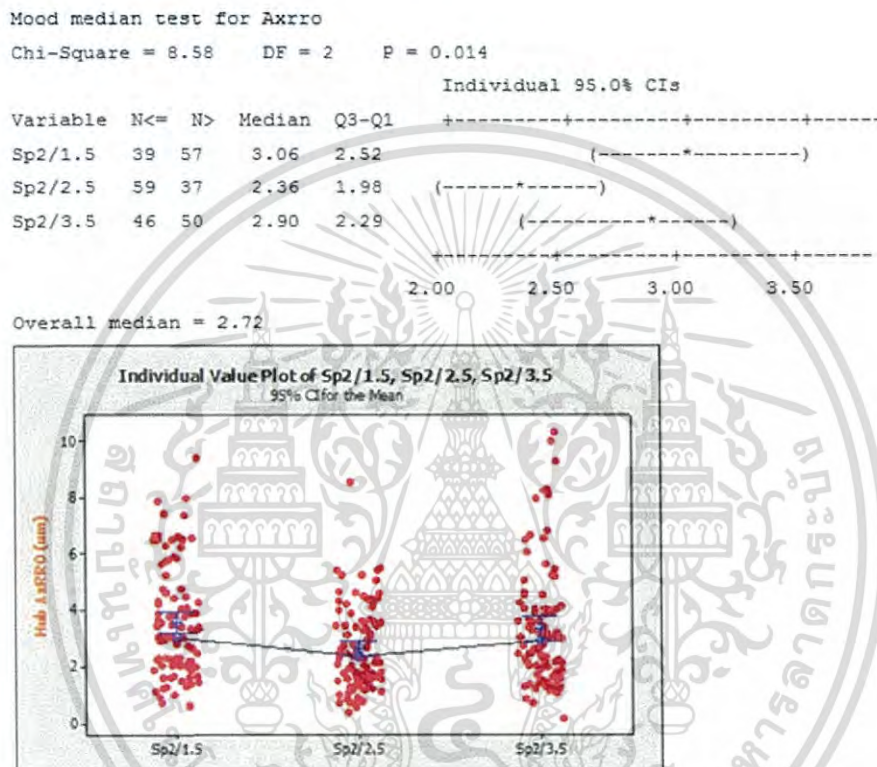
กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_\alpha$  (สมมติฐานหลัก), ความเร็ว2 การกด ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_\alpha$  (สมมติฐานรอง), ความเร็ว2 การกด ส่งผลแตกต่าง

$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์



รูปที่ 3.33 ความเร็วการกดเฉลี่ย  $\bar{x}$  ของเครื่องสวมอัดที่ Speed2

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.33 ค่าเฉลี่ย,  $\bar{x}$  ผลลัพธ์ระบุว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.014$ , p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ speed2

### Variance test

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_\alpha^2$  (สมมติฐานหลัก), ความเร็ว2 การกด ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \sigma^2 > \sigma_\alpha^2$  (สมมติฐานรอง), ความเร็ว2 การกด ส่งผลแตกต่าง

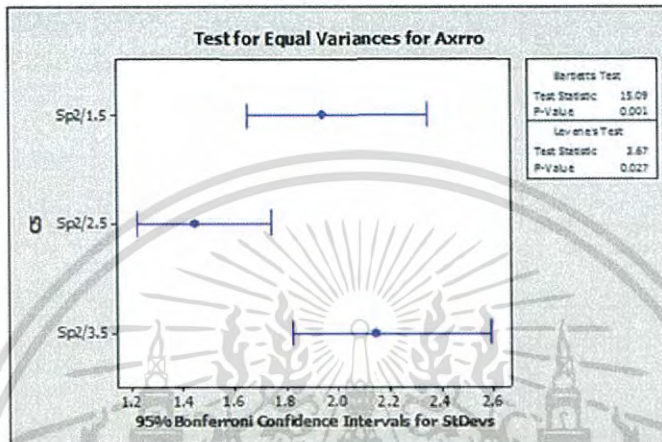
$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test for Equal Variances: Axrro  
 95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations  
 Variable N Lower StDev Upper  
 Sp2/1.5 96 1.65475 1.94406 2.34714  
 Sp2/2.5 96 1.22712 1.44166 1.74057  
 Sp2/3.5 96 1.82726 2.14673 2.59183  
 Levene's Test (any continuous distribution)  
 Test statistic = 3.67, p-value = 0.027



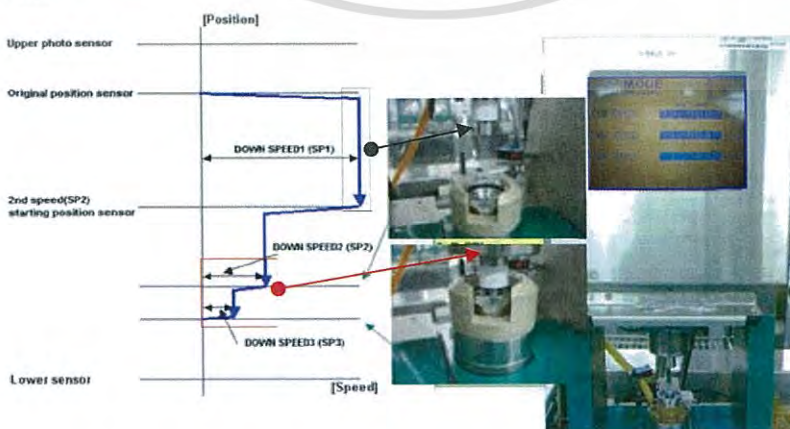
รูปที่ 3.34 ความผันแปร  $s^2$  ความเร็วการกดของเครื่องสวมอัดที่ 2

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.34 ค่าความผันแปร  $s^2$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.027$ ,  $p$ -value น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีนี้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ความเร็วกดที่ 2

3.3.2.4 KPIV4 ความเร็วการกดเครื่องสวมอัดที่ระดับ3ไม่เหมาะสม (Improper pressing speed 3<sup>rd</sup>)

พิจารณาทางเดินความเร็วของการกดของเครื่องสวมอัด

Flow



รูปที่ 3.35 วิเคราะห์ ความเร็วในการกด 2<sup>nd</sup> & 3<sup>rd</sup> ของเครื่องสวมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ANOVA test

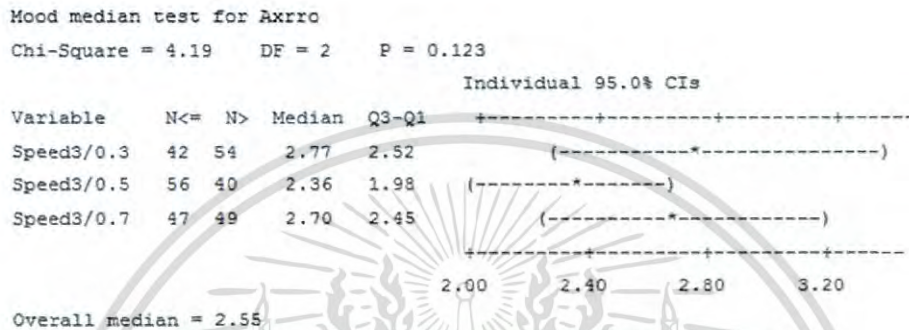
กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), ความเร็ว3 การกวด ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), ความเร็ว3 การกวด ส่งผลแตกต่าง

$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์



รูปที่ 3.36  $\bar{x}$  ความเร็วเฉลี่ยการกวดของเครื่องสวมอัดที่ Speed3

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.36 ค่าเฉลี่ย,  $\bar{x}$  ผลลัพธ์ระบุว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.123$ , p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ speed3

### Variance test

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), ความเร็ว3 การกวด ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), ความเร็ว3 การกวด ส่งผลแตกต่าง

$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

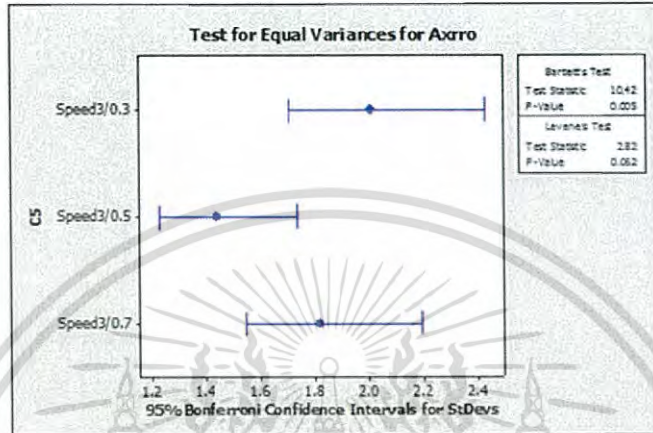
Minitab แสดงผลลัพธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test for Equal Variances: Axrro  
 95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Variable	N	Lower	StDev	Upper
Speed3/0.3	96	1.71037	2.00940	2.42603
Speed3/0.5	96	1.22712	1.44166	1.74057
Speed3/0.7	96	1.54604	1.81634	2.19293

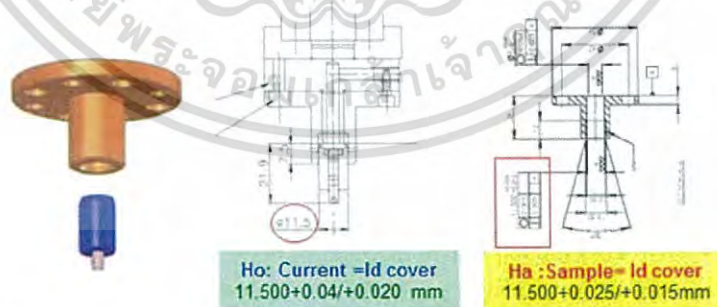
Levene's Test (any continuous distribution)  
 Test statistic = 2.82, p-value = 0.062



รูปที่ 3.37 ความผันแปร  $s^2$  การปรับความเร็วการกดของเครื่องสวมอัดที่ 3

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.37 ค่าความผันแปร,  $s^2$  ผลลัพธ์ระบุ ว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.062$  (ใกล้หลุดขอบเขต),  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ speed3

3.4.2.5 KPIV5 ความเผื่อระหว่างแบริงกับฟิกเจอร์ด้านบน (Loose gap of upper fixture)



รูปที่ 3.38 ศึกษาพิกัดความเผื่อระหว่างแบริงกับฟิกเจอร์ด้านบน

ANOVA test

กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), ฟิกเจอร์ด้านบนระยะเพื่อเดิมไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), ฟิกเจอร์ด้านบนระยะเพื่อใหม่ ส่งผลแตกต่าง

$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกัน  $p$ -value มากกว่า,  $= 0.05$ , Accept  $H_0$

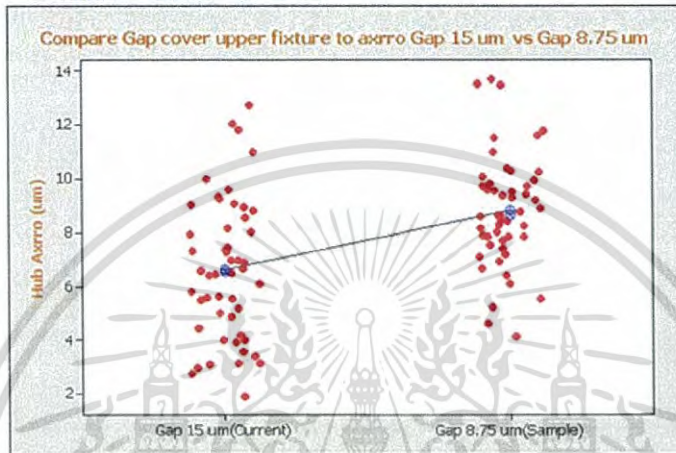
$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-sample T for Gap 15um(Current) vs Gap 8.75(Sample)

	N	Mean	StDev	SE Mean
Gap 15um(Current)	50	6.63	2.61	0.37
Gap 8.75um(Sample)	50	8.81	2.08	0.29

Difference = mu (Gap15um) - mu (Gap 8.75um)  
 Estimate for difference: -2.18046  
 95% CI for difference: (-3.11752, -1.24340)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -4.62  
 P-Value = 0.000 DF = 93



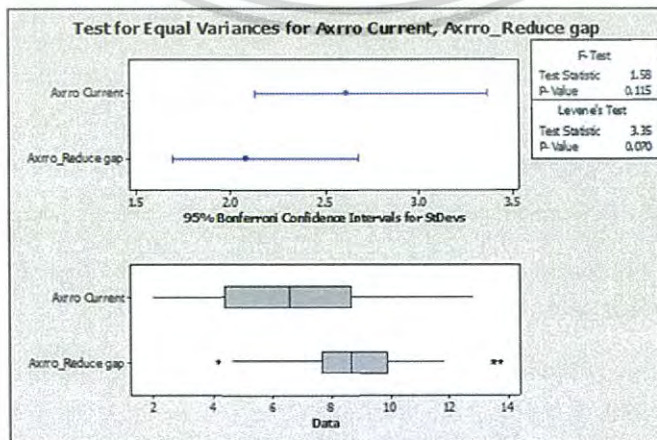
รูปที่ 3.39  $\bar{x}$  ความเผื่อระหว่างแบริ่งกับฟิกเจอร์ด้านบน ระหว่างเดิมกับใหม่

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.39 ค่าเฉลี่ย,  $\bar{x}$  ผลลัพธ์ระบุว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.000$ ,  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

Test for Equal Variances: Axrro Current, Axrro\_Reduce gap  
 95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
Axrro Current	50	2.12621	2.60960	3.36140
Axrro_Reduce gap	50	1.69412	2.07928	2.67829

F-Test (normal distribution)  
 Test statistic = 1.58, p-value = 0.115



รูปที่ 3.40 ความผันแปร  $s^2$  ความเผื่อระหว่างแบริ่งกับฟิกเจอร์ด้านบน ระหว่างเดิมกับใหม่  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Variance test

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), พิกเจอร์ด้านบนระยะเพื่อเดิมไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), พิกเจอร์ด้านบนระยะเพื่อใหม่ส่งผลแตกต่าง

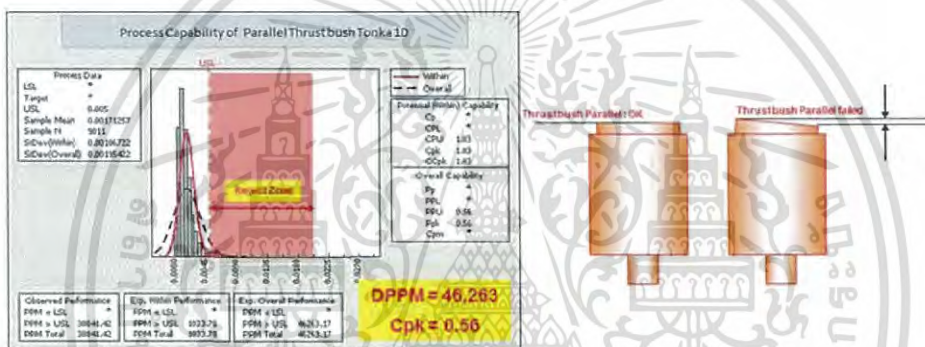
$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.40 ค่าความผันแปร  $s^2$  ผลลัพธ์ระบุได้ว่า Accept  $H_0$  เพราะ p=0.115, p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.4.2.6 KPIV6 ความขนานของกันแบริง (Thrust bush parallel)



รูปที่ 3.41 ศึกษาคุณลักษณะความสามารถกระบวนการของความขนานกันแบริง

กระบวนการประกอบแบริงไม่มี การควบคุมความขนานกันแบริง และถูกส่งไปประกอบโรเตอร์ทั้งหมด จึงเป็นสาเหตุของเสียในรูปโรเตอร์ การวิเคราะห์จากผลในช่วงที่มีค่าความขนานมากกว่า 0.005mm มาทำการไปประกอบเป็นโรเตอร์ ผลกระทบที่เข้ามามีอิทธิพลต่อปัญหาการเกิดปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง โดยวิธี Hypothesis test เกิดเกณฑ์มาตรฐานด้านสูงควบคุม ความขนานกันแบริง (USL) ได้มาจากการทดสอบสมมติฐาน

### ANOVA test

กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), ค่าความขนานกันแบริงไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), ค่าความขนานกันแบริงไม่ส่งผลแตกต่าง

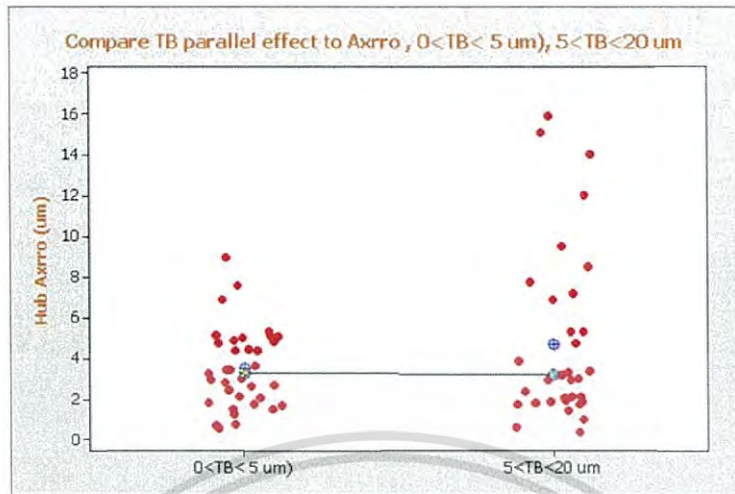
$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.42 ค่าเฉลี่ย,  $\bar{x}$  Hub Axial RRO ระบุว่า Accept  $H_0$  เพราะ p=0.6053, p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าหางของกลุ่มที่ความขนานกันแบริง ในช่วง  $5 < // TB < 20$  เกิดความไวต่อการเกิด

ปีกฮับหมุนแกว่งอย่างมากเมื่อเทียบกับ อีกรุ่นอย่างชัดเจน ต้องนำไปทดสอบ Variance ต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42  $\bar{x}$  ความขนานกันแบร็ง  $H_0$  ( $0 < TB < 5$ ) กับ  $H_a$  ( $5 < TB < 20$ )

**Variance test**

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), ค่าความขนานกันแบร็งไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), ค่าความขนานกันแบร็งไม่ส่งผลแตกต่าง

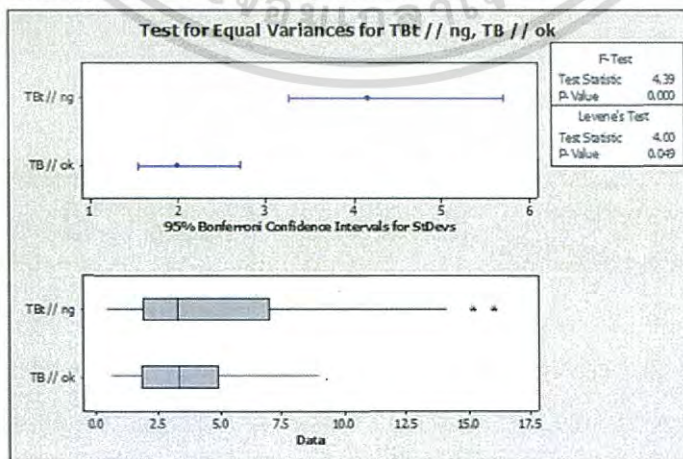
$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

```

Test for Equal Variances: Axrro-hi Tb//, Axrro
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations
variable  N    Lower    StDev    Upper
Tb// ng   35    3.27323  4.16666  5.68821
Tb // ok  35    1.56260  1.98912  2.71548
Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 4.00, p-value = 0.049
    
```



รูปที่ 3.43 ความผันแปร  $s^2$  ความขนานกันแบร็ง  $H_0$  ( $0 < TB < 5$ ) กับ  $H_a$  ( $5 < TB < 20$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.43 ค่าความผันแปร  $s^2$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.049$ (ใกล้หลุดขอบเขต),  $p$ -value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.4.3.7 KPIV7 ไกด์พินของฟิกเจอร์ด้านล่าง (Guide pin alignment condition)

ต้องการเปรียบเทียบคุณลักษณะของการทดสอบสมมติฐานของไกด์พินที่ทำหน้าที่ประคองรูในชุดฮับ ให้ได้ตั้งฉากกับแกนเพลลา ก่อนที่ทำการสวมอัดในการประกอบโรเตอร์



รูปที่ 3.44 สภาพของไกด์พิน ที่เป็น  $H_0$  แบบเดิม Taper pin กับ  $H_a$  แบบเรียบ Flat pin

#### ANOVA test

กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), แบบเดิม Taper pin ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), แบบเรียบ Flat pin ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_0$  :  $\bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า  $p$ -value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  ; Accept  $H_0$

$H_a$  :  $\bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

Mann-Whitney Test and CI: Taper pin, Flat guide pin

Variable	N	Median
Taper pin	84	4.045
Flat guide pin	84	5.084

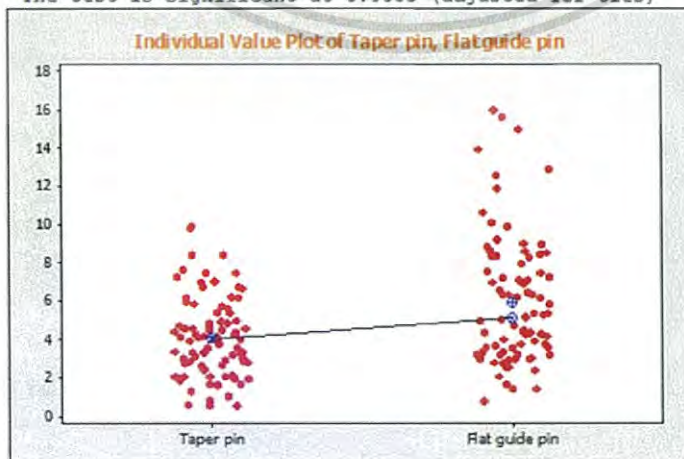
Point estimate for ETA1-ETA2 is -1.402

95.0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-2.253, -0.627)

W = 5965.0

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.0003

The test is significant at 0.0003 (adjusted for ties)



รูปที่ 3.45  $\bar{x}$  ไกด์พินฟิกเจอร์ด้านล่าง  $H_0$  แบบเดิม Taper pin กับ  $H_a$  แบบเรียบ Flat pin เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.45 ค่าเฉลี่ย  $\bar{X}$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.0003$ ,  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่เป็นการทดสอบที่ได้ผลลัพธ์ที่แบบ Taper pin มีผลต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่งที่ดีกว่าในรูปของ Median ดีกว่า

### Variance test

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), แบบเดิม Taper pin ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), แบบเรียบ Flat pin ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า  $p$ -value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

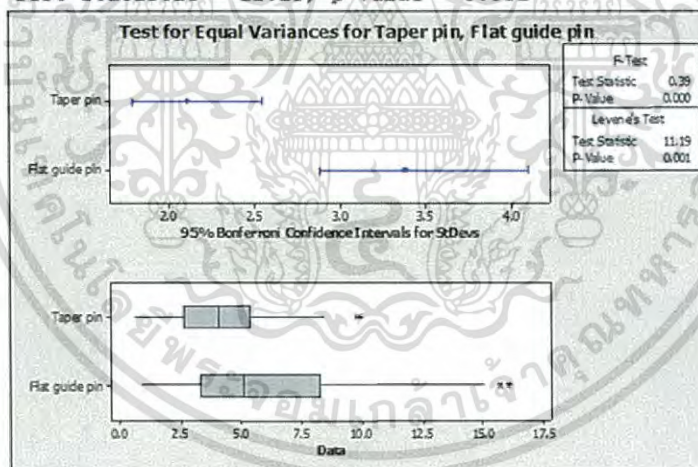
$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

```

Test for Equal Variances: Taper pin, Flat guide pin
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations
Variable      N      Lower      StDev      Upper
Taper pin     84     1.79337    2.10653    2.54563
Flat guide pin 84     2.87941    3.38221    4.08721
Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 11.19, p-value = 0.001

```



รูปที่ 3.46 ความผันแปร  $s^2$  โกด์พินฟิกเจอร์ด้านล่าง  $H_0$  แบบเดิม Taper pin กับ  $H_a$  แบบเรียบ Flat pin

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.46 ค่าความผันแปร  $s^2$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.001$ ,  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีนี้ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่เป็นการทดสอบที่ได้ผลลัพธ์ที่แบบ Taper pin มีผลต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่งที่ดีกว่าในรูปของ  $s^2$  ดีกว่า

### 3.4.2.8 KPIV8ค่าลมดูดในฟิกเจอร์ด้านบน

(Improper vacuum pressure upper fixture)

พิจารณาลมดูดของฟิกเจอร์ด้านบนที่จะนำมาทดสอบสมมติฐาน ดูผลกระทบที่ปีกฮับหมุนแกว่ง เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมตัวแปรนำเข้ากระบวนการประกอบโรเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.47 แรงลมดูดของฟิกเจอร์ด้านบน (Vacuum pressure of Upper fixture)

#### ANOVA test

กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), แรงลมดูดแบบเดิม กับค่าใหม่ ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), แรงลมดูดแบบเดิม กับค่าใหม่ ส่งผลแตกต่าง

$H_0$  :  $\bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

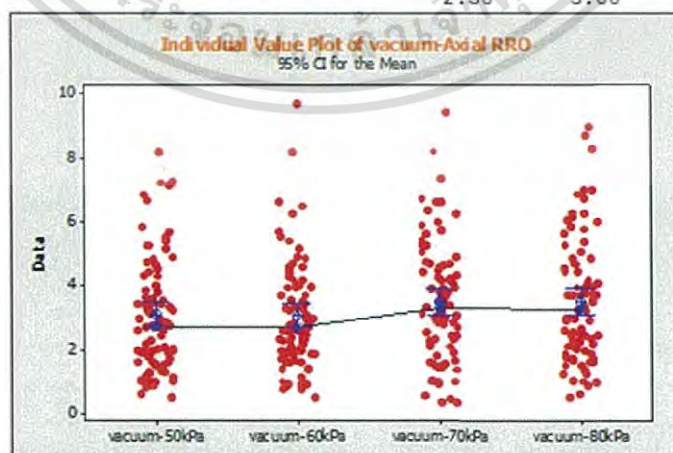
$H_a$  :  $\bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

Mood median test for Vacc-Axrro

Chi-Square = 6.57 DF = 3 P = 0.087

Variable	N<=	N>	Median	Q3-Q1	Individual 95.0% CIs
vacuum-50kPa	46	38	2.74	2.67	(-----)
vacuum-60kPa	49	35	2.70	2.00	(-----)
vacuum-70kPa	34	50	3.32	2.51	(-----)
vacuum-80kPa	39	45	3.22	2.66	(-----)



รูปที่ 3.48  $\bar{x}$  แรงลมดูดแรงลมดูด  $H_0$  ค่าเดิม-ค่าใหม่ไม่แตกต่าง กับ  $H_a$  ตั้งค่าเดิม-ค่าใหม่ แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.48 ค่าเฉลี่ย,  $\bar{x}$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.087$ ,  $p$ -value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การทดสอบได้ผลลัพธ์แรงลมดูดไม่แตกต่างกัน (-50kPa, -60kPa, -70kPa & -80kPa) และมีผลต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่งไม่มีคุณลักษณะผู้วิจัยสนใจการทดสอบ  $s^2$  และสนใจนำไปหาผลเกี่ยวเนื่องต่อใน DoE ที่ ขั้นตอนการปรับปรุง

### Variance test

กำหนด  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), แรงลมดูดแบบเดิม กับค่าใหม่ ไม่ส่งผลแตกต่างกัน

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), แรงลมดูดแบบเดิมกับค่าใหม่ ส่งผลแตกต่างกัน

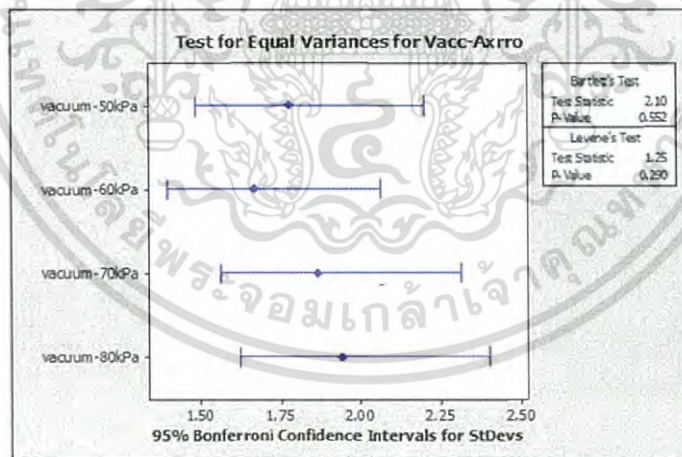
$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า  $p$ -value มากกว่า, = 0.05 , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

```

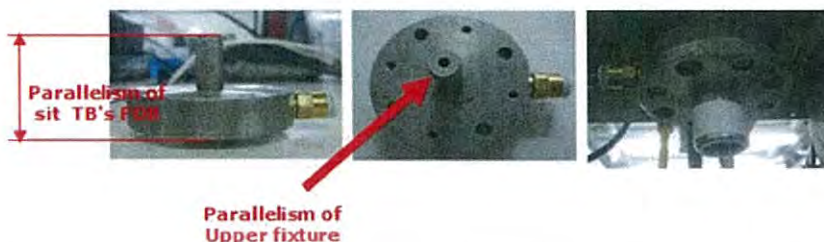
Test for Equal Variances: Vacc-Axrro
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations
variable      N      Lower      StDev      Upper
vacuum-50kPa  84     1.49049    1.78206    2.20286
vacuum-60kPa  84     1.39770    1.67111    2.06572
vacuum-70kPa  84     1.56448    1.87052    2.31221
vacuum-80kPa  84     1.62685    1.94509    2.40438
Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 1.25, p-value = 0.290
  
```



รูปที่ 3.49 ความผันแปร  $s^2$  แรงลมดูด  $H_0$  ค่าเดิม-ค่าใหม่ไม่แตกต่างกันกับ  $H_a$  ตั้งค่าเดิม-ค่าใหม่แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.49 ค่าความผันแปร  $s^2$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Accept  $H_0$  เพราะ  $p=0.290$ ,  $p$ -value มากกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีนี้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เป็นการทดสอบที่ได้ผลลัพธ์ที่แรงลมดูดไม่แตกต่างกัน (-50kPa, -60kPa, -70kPa, -80kPa) ไม่กระทบต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่ง เพิ่มหรือ ลด ในค่าความผันแปร แต่เป็นสิ่งที่น่าสนใจการนำไปหาผลเกี่ยวเนื่องกับ ปัจจัย ตัวอื่นอีก ต่อใน DoE ที่ขั้นตอนการปรับปรุง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.9 KPIV9ค่าความขนานของพื้นผิวหนึ่งของแปรงฟิกเจอร์ด้านบน  
(Parallelism of upper fixture)



รูปที่ 3.50 ค่าความขนานผิวของพื้นผิวของแปรงฝึกร้างในระหว่างการประกอบโรเตอร์

ANOVA test

กำหนดให้  $H_0 : \mu = \mu_a$  (สมมติฐานหลัก), ค่าความขนาน 1.8 กับ 15 ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \mu > \mu_a$  (สมมติฐานรอง), ค่าความขนาน 1.8 กับ 15 ส่งผลแตกต่าง

$H_0 : \bar{x}$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า p-value มากกว่า, = 0.05 , Accept  $H_0$

$H_a : \bar{x}$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า p-value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

Mann-Whitney Test and CI:

Para1.8 um:Good, Para 15 um:failed parallel

	N	Median
Para1.8 um(Good)	100	3.592
Para 15 um(Fail)	100	4.860

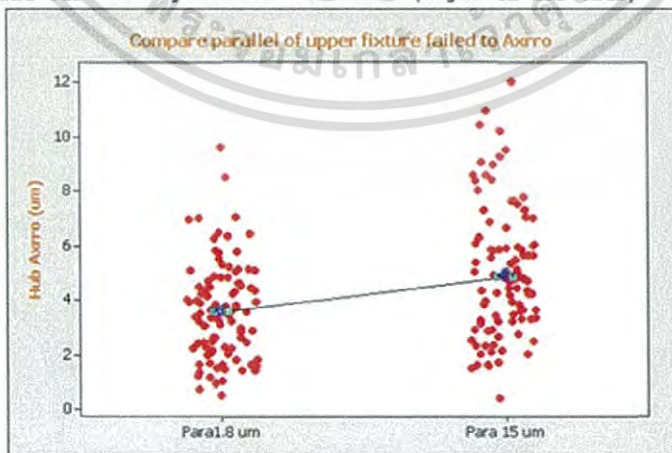
Point estimate for ETA1-ETA2 is -1.238

95.0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-1.841, -0.694)

N = 8313.5

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.0000

The test is significant at 0.0000 (adjusted for ties)



รูปที่ 3.51  $\bar{x}$  ความขนาน  $H_0$  ค่า 1.8-15 ไม่แตกต่าง กับ  $H_a$ ค่า1.8-15 แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบ Hypothesis ANOVA ดังรูปที่ 3.51 ค่าเฉลี่ย,  $\bar{x}$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.000$ ,  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เป็นการทดสอบที่ได้ผลลัพธ์ที่ค่าความขนาน 15  $\mu\text{m}$  มีผลต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่งเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ

### Variance test

กำหนดให้  $H_0 : \sigma^2 = \sigma_a^2$  (สมมติฐานหลัก), ค่าความขนาน 1.8 กับ 15 ไม่ส่งผลแตกต่าง

$H_a : \sigma^2 > \sigma_a^2$  (สมมติฐานรอง), ค่าความขนาน 1.8 กับ 15 ส่งผลแตกต่าง

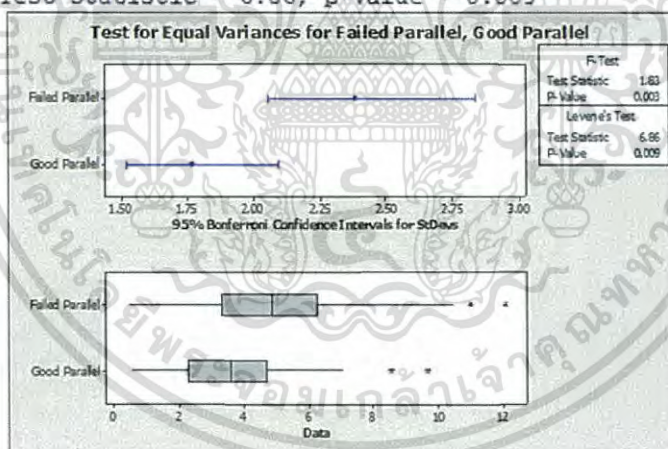
$H_0 : s^2$  Hub Axial RRO ไม่แตกต่างกันถ้า  $p$ -value มากกว่า  $\alpha = 0.05$ , Accept  $H_0$

$H_a : s^2$  Hub Axial RRO แตกต่างกันถ้า  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$ , Reject  $H_0$

Minitab แสดงผลลัพธ์

```

Test for Equal Variances: Failed(15um), Good (1.8um)
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations
variable      N      Lower      StDev      Upper
Failed(15um)  100    2.05578    2.38442    2.83214
Good(1.8um)   100    1.52067    1.76376    2.09495
Levene's Test (any continuous distribution)
Test statistic = 6.86, p-value = 0.009
  
```

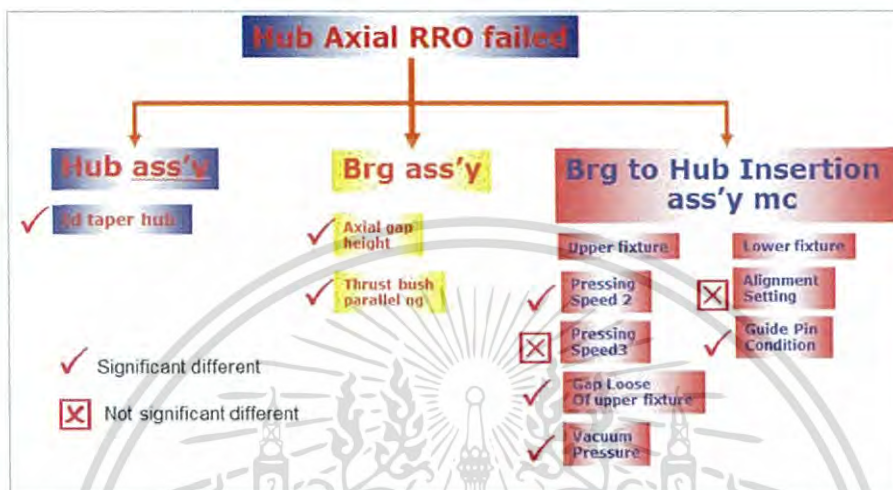


รูปที่ 3.52 ความผันแปร  $s^2$   $H_0$  ความขนาน 1.8  $\mu\text{m}$  กับ 15  $\mu\text{m}$  ไม่แตกต่างกับ  $H_a$  ความขนาน 1.8  $\mu\text{m}$  กับ 15  $\mu\text{m}$  แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบ Hypothesis Variance ดังรูปที่ 3.52 ค่าความผันแปร  $s^2$  Hub Axial RRO ระบุได้ว่า Reject  $H_0$  เพราะ  $p=0.009$ ,  $p$ -value น้อยกว่า,  $\alpha = 0.05$  เป็นกรณีนี้ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเป็นการทดสอบที่ได้ผลลัพธ์  $s^2$  กระทบต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่งเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.4.3 ผลสรุปการทดสอบ Hypothesis จาก KPIVs ที่ส่งผลกระทบต่อ KPOV

แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่แยกออกเป็นกลุ่มตามขั้นตอนการการผลิตย่อยที่เกี่ยวข้องกับการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์พร้อมทั้งผลความแตกต่างและไม่แตกต่างในการทดสอบปัจจัยทั้ง 9 ตัวของปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง



รูปที่ 3.53 แผนภูมิความสัมพันธ์จาก KPIVs จากการวิเคราะห์ส่งผลกระทบต่อ KPOV

ตารางที่ 3.6 สรุปการวิเคราะห์ Hypothesis test โดย ปัจจัยที่กระทบต่อปีกฮับหมุนแกว่ง

ปัจจัยนำเข้าKPIV	P-Value	ผลสมมติฐาน	แผนการแก้ไข	การแก้ไขต่อไป
1)Id taper hub height difference	0.001	แตกต่าง	ปรับให้เหมาะสม	ออกแบบการทดลอง DoE(Improve)
2)Adjust centering lower/upper fixture	0.383	ไม่แตกต่าง	กำหนดวิธีปรับตั้งให้เป็นมาตรฐาน	กำหนดเป็นขั้นตอนปฏิบัติงานให้Tech
3)Improper pressing speed2nd	0.014	แตกต่าง	ปรับให้เหมาะสม	ออกแบบการทดลอง DoE(Improve)
4)Improper pressing speed3rd	0.123	ไม่แตกต่าง	ปรับให้เหมาะสม	ออกแบบการทดลอง DoE(Improve)
5)Loose gap of upper fixture	0.000	แตกต่าง	ปัจจุบันดีแล้ว	ปรับให้เป็นปัจจุบัน
6)Thrust bush parallel of bearing (FBD)	0.605	ไม่แตกต่าง	ตั้งขอบเขตสเปคและวัด100%	ตั้งสเปคให้ควบคุม (0.005mm Max.)
7)Guide pin condition	0.000	แตกต่าง	ปัจจุบันดีแล้ว	ปรับให้เป็นปัจจุบัน
8)Improper vacuum pressure/ upper fixture	0.087	ไม่แตกต่าง	ปรับให้เหมาะสม	ออกแบบการทดลอง DoE(Improve)
9)Parallelism of upper fixture failed	0.000	แตกต่าง	กำหนดมาตรฐาน Parallel<0.002mm.	กำหนดเป็นPM ตรวจสอบตามเวลา

จากทิศทางของข้อมูล สรุปผลตารางที่ 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผู้วิจัยกำหนดทิศทางให้ไปขั้นตอนการปรับปรุงโดย Taguchi method โดยตามเทคนิคซิกซ์ซิกมาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

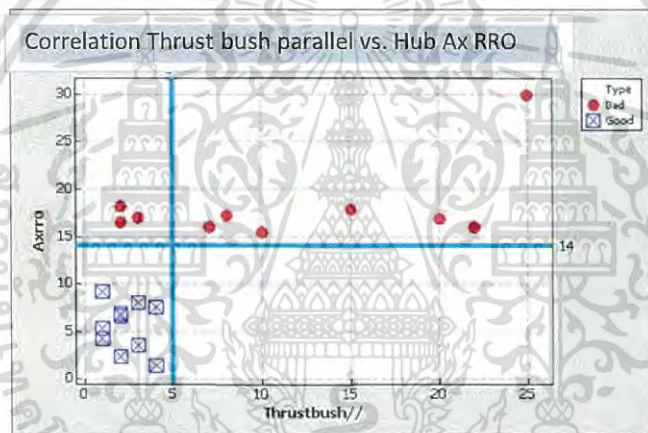
### 3.5 การปรับปรุงกระบวนการผลิต (Improve phase)

#### 3.5.1 การปรับปรุงกับปัจจัยนำเข้าจากการวิเคราะห์ที่นำไปแก้ไขก่อน

ผลจากการที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าจากตารางที่ 3.6 เราทราบแล้วว่าทั้ง 3 ปัจจัยนำเข้าสามารถทำการแก้ไขในกระบวนการประกอบก่อนเพื่อตอบสนองต่อการเพิ่มผลผลิตของสายการผลิตของการประกอบโรเตอร์ของ สปินเดิลมอเตอร์

##### 3.5.1.1 ความขนานของกันแบริง (Thrust bush parallel of FDB)

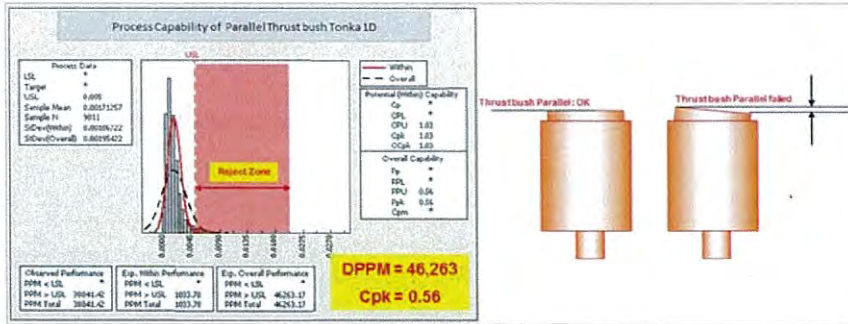
ที่มาของการทดสอบสมมติฐานในการทำกับปัจจัยนี้เราทำการทดสอบโดยทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อบกพร่อง (Failure Analysis) ระหว่างค่าปีกฮับหมุนแกว่งกับค่าความขนานของกันแบริงจากกราฟด้านล่างเราทำการนำงาน Good และ Bad ของค่าปีกฮับหมุนแกว่งซึ่งเป็นตัวตอบสนองที่จะทำการแก้ไขปัญหาทำการตรวจสอบย้อนกลับว่า ค่าความขนานที่เท่าไรทำให้เกิดปัญหาเราพบว่าสามารถตัดค่าความขนานน้อยกว่า 0.005 mm ทำให้ค่าปีกฮับหมุนแกว่งอยู่ในกลุ่ม Good ได้เป็นอย่างดี



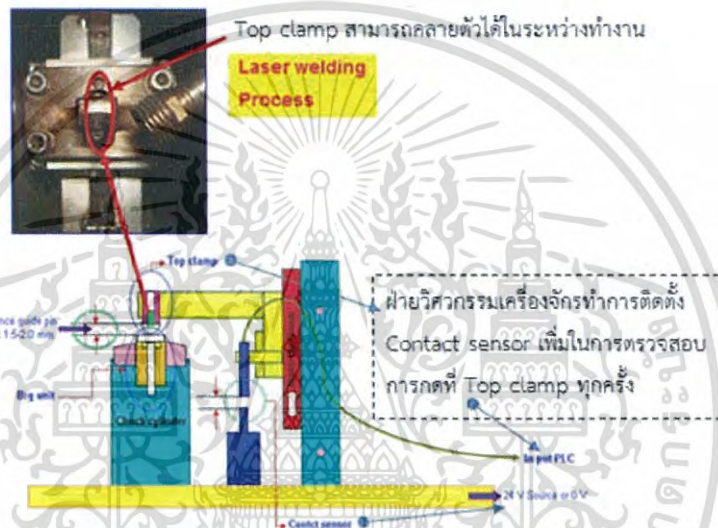
รูปที่ 3.54 ความสัมพันธ์ระหว่างความขนานกันแบริง กับค่าปีกฮับหมุนแกว่ง

ในทีมงานของการแก้ไขของซิกซ์ซิกมาเรามีกลุ่มงานที่ทำการแก้ไขในหลายกลุ่มที่รองรับการมอบหมาย การแก้ไขปัญหาส่วนที่เราพบในเรื่องค่าความขนานของกันแบริงที่มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดของเสียนี้เราทำการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการเชื่อมที่กันของแบริงโดยเลเซอร์เวลดิ่งเราจะได้กราฟการกระจายจากรูปที่ 3.54 ศึกษาคุณลักษณะความสามารถกระบวนการของความขนานกันแบริงพบว่าเกิดของเสียในกระบวนการนี้อยู่ที่ 46,263 DPPM เป็นลักษณะปัญหาย่อยที่เป็นสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่งโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญ

ผู้วิจัยและทีมงานเริ่มหาสาเหตุของการของความบกพร่องที่กระบวนการเชื่อมที่กันของแบริง โดยเลเซอร์ เวลดิ่ง เพื่อหวังที่จะทำการควบคุมไม่ให้ปัจจัยนี้กระจายออกไปรบกวนปัจจัยที่เราจะควบคุมเพื่อการเพิ่มผลผลิตในการประกอบโรเตอร์พบว่าทุกครั้งที่ในการเลเซอร์เวลดิ่งจะมีฟิกเจอร์มากดด้านบน (Top clamp) ที่กึ่งกลางที่บริเวณกัน (Thrust bush) แบริง แต่ถ้าตัวกดไม่ทำการกดเป็นอย่างดีทุกครั้งที่เราเริ่มเลเซอร์ เราจะพบปัญหาความขนานแบริงเกิดขึ้นตามมาทุกครั้ง

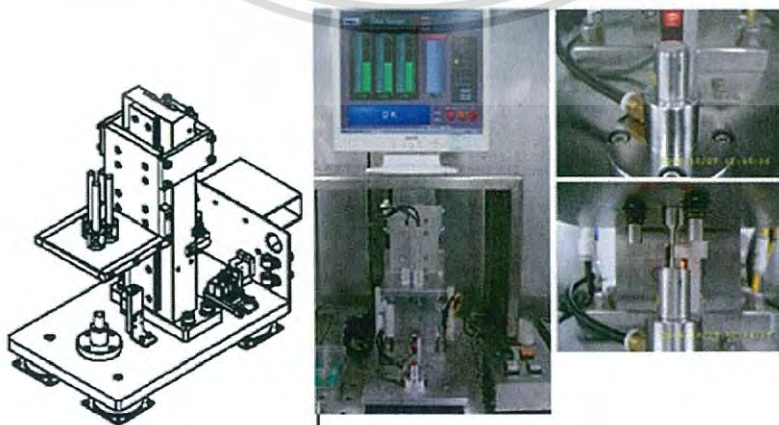


รูปที่ 3.55 ความสามารถกระบวนการของความขนานกันแปรงและลักษณะงานดี,งานเสีย



รูปที่ 3.56 การเพิ่มเซ็นเซอร์ในการป้องกันการทำงานผิดพลาด Top clamp ที่เลเซอร์เวลดึง

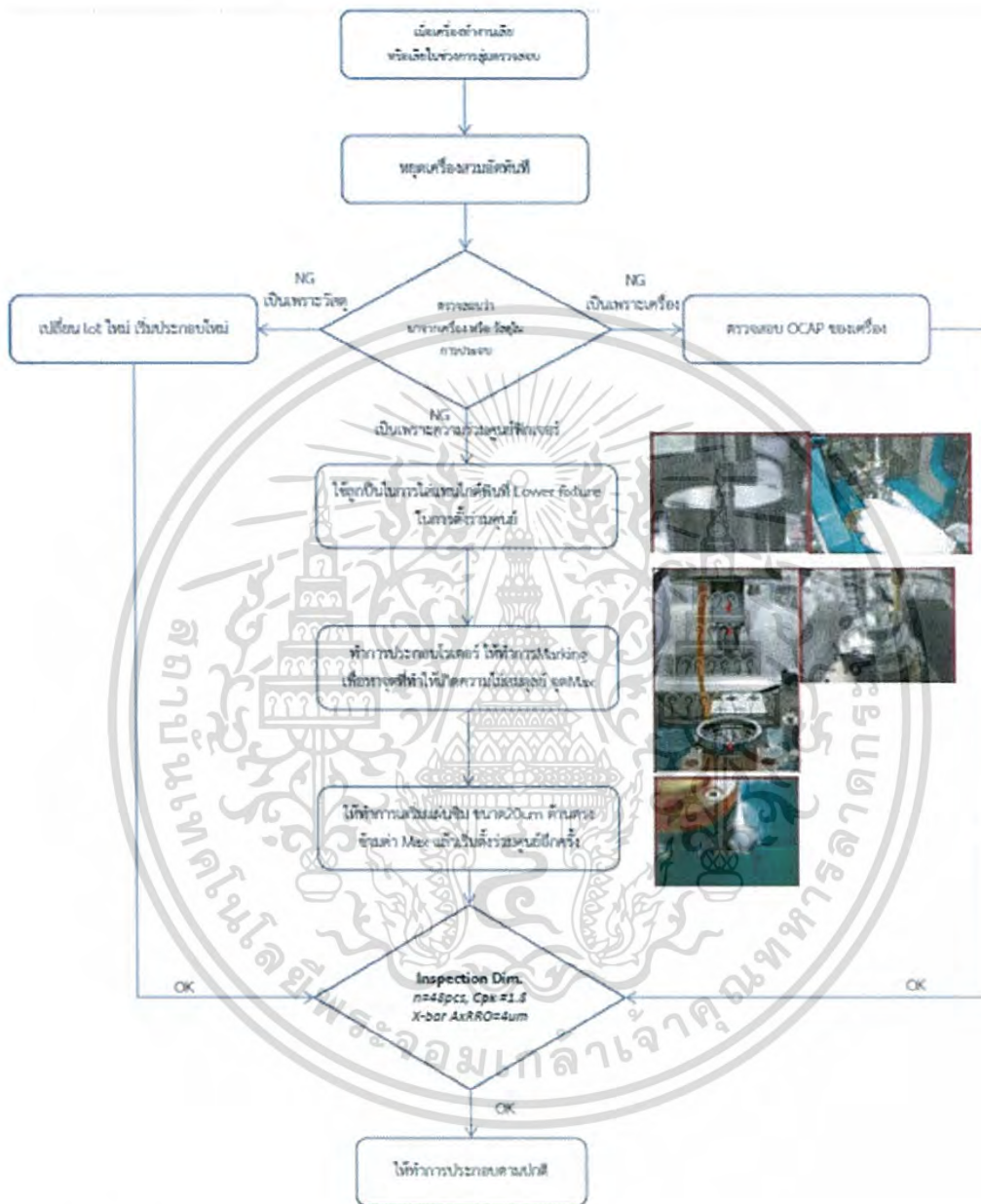
นอกจากการแก้ไขที่ปัญหาที่ Top clamp แล้วในกระบวนการได้มอบหมายให้เกิดพัฒนากระบวนการตรวจสอบความขนานแปรงโดยทำการเพิ่มเครื่องมือวัดตรวจสอบ 100% ต่อจากกระบวนการเลเซอร์ โดยเริ่มนำมาใช้ใน ช่วง WW#39(Oct),



รูปที่ 3.57 เครื่องมือการวัดความขนานกันแปรงอัตโนมัติ (USL : 0.005 mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องโดยเพิ่มเครื่องวัดป้องกันงานไม่ให้หลุดรอดออกไปจากการทำงานที่บกพร่องที่กระบวนการนี้



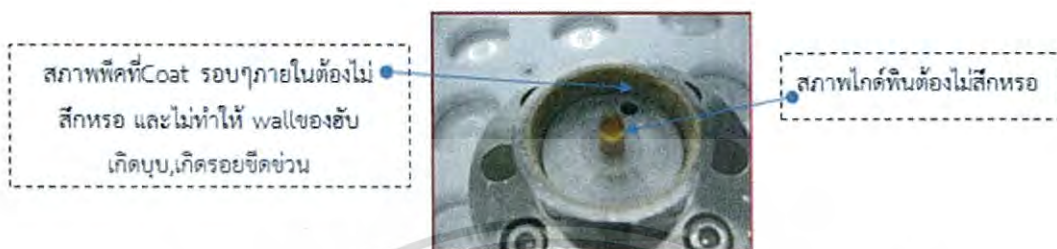
รูปที่ 3.58 กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติงานการปรับตั้งร่วมศูนย์ฟิกเจอร์ด้านบน-ล่าง

3.5.1.2 การปรับตั้งร่วมศูนย์ของฟิกซ์เจอร์ด้านล่างกับบน (Adjust center lower and upper fixture)

จากรูปที่ 3.58 แสดงการปรับตั้งเครื่องสวมอัดทางฝ่ายวิศวกรรมเครื่องจักรเป็นหน่วยงานที่ดูแล และ ควบคุมเครื่องสวมอัดให้ทำการกำหนดวิธีการการปรับตั้งเป็นวิธีการที่ใช้ปฏิบัติกับ Technician ทุกคนและให้เริ่มดำเนินการกับเครื่องสวมอัดในการผลิตสปีดเดลมอเตอร์รุ่นอื่นด้วย ซึ่งเป็นประเภทเครื่องสวมอัดชนิดเดียวกันเริ่มนำมาใช้ใน ช่วง WW#38(Sep) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.1.3 การควบคุมฟิกเจอร์ด้านล่าง (Lower fixture condition)

ผลจากการวิเคราะห์พบว่าสภาพของโค้ดพื้นที่เหมาะสมกับการประกอบโรเตอร์ที่ทำให้สามารถทำการเพิ่มผลผลิตได้โดยกำหนดให้เป็น “รูปแบบเดิม” ของมาตรฐานโค้ดพื้นของฟิกเจอร์ด้านล่างในเครื่องสวมอัดเริ่มนำมาใช้ใน ช่วง WW#38(Sep)



รูปที่ 3.59 สภาพฟิกเจอร์ ด้านล่างที่ถูกควบคุม โค้ดพื้น และ พลาสติกที่เคลือบรอบ ๆ สัมผัสผนังฮับ

### 3.5.1.4 การควบคุมฟิกเจอร์ด้านบน (Upper fixture condition)

พิจารณาความเผื่อระหว่างแปรงกับฟิกเจอร์ด้านบน ผลจากการวิเคราะห์ โดยทดสอบสมมติฐาน พิสูจน์พบว่า ค่าความเผื่อระหว่างแปรงกับฟิกเจอร์ด้านบนที่ส่งผลต่อ KPOV ใน “ค่าพิกัดความเผื่อที่ 0.015 mm” ซึ่งก็เป็นสภาพเดิมในการใช้งานที่กระบวนการประกอบโรเตอร์ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงโดย Technician ใช้เป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานปรับตั้งและทำการดูแลเชิงป้องกันปัญหา (Preventive Maintenance. เริ่มนำมาใช้ใน ช่วง WW#38 (Sep)



รูปที่ 3.60 สภาพฟิกเจอร์ด้านบนและพิกัดความเผื่อ +0.040/+0.020 mm.

ค่าความขนานของพื้นผิวของแปรงฟิกเจอร์ด้านบน (Parallelism of upper fixture)



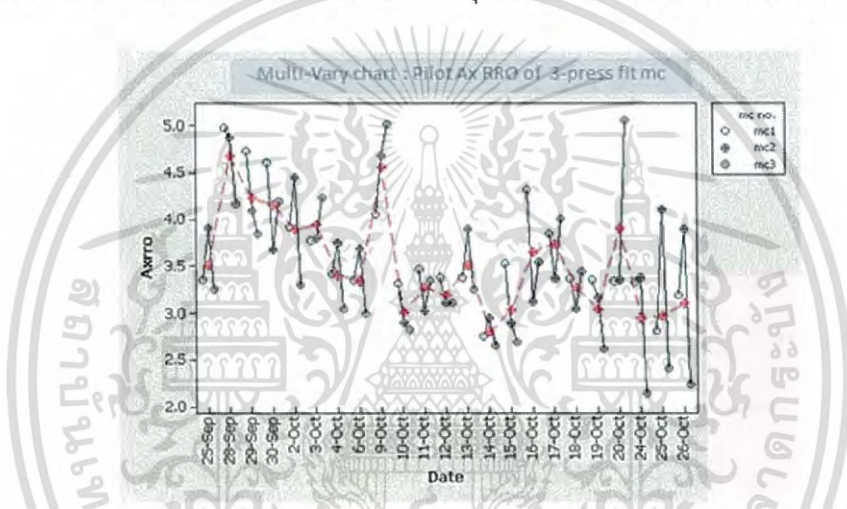
รูปที่ 3.61 กำหนดฟิกเจอร์ด้านบนควบคุมค่าความขนาน 0.002 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวิเคราะห์ โดยทดสอบสมมติฐาน พิสูจน์พบว่า ค่าความขนานของพื้นผิวผนังของเบริงฟีกเจอร์ด้านบน ที่ส่งผลดีต่อ KPOV “แบบความขนาน 0.0018 mm” เป็นผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานที่กระบวนการประกอบโรเตอร์ผู้วิจัยได้ทำการปรับให้เป็น Technician ใช้เป็นมาตรฐานของการควบคุมความขนานที่ 0.002 mm ในการปฏิบัติงานปรับตั้งและทำการดูแลเชิงป้องกันปัญหา (Preventive Maintenance) เริ่มนำมาใช้ใน ช่วง WW#38 (Sep)

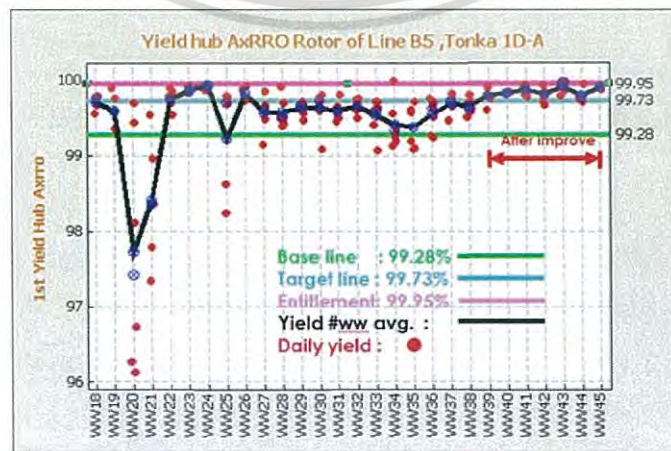
**3.5.1.5 การสุ่มนำร่องเครื่องสวมอัดการประกอบโรเตอร์ (Pilot Ax RRO sampling check)**

หลังจากนำทั้ง 3 ปัจจัยเริ่มดำเนินการแก้ไขกระบวนการประกอบย่อย ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง (Ax RRO dimension) พบว่าเทรนด์มัลติแวกเรียซาท (Multi Vary chart) ของค่าเฉลี่ยได้ทำการทดสอบ 150 โรเตอร์ ต่อ วัน หนึ่งจุดเท่ากับ 50 โรเตอร์ ต่อเครื่องสวมอัด



รูปที่ 3.62 การสุ่มนำร่องค่า Ax RRO เฉลี่ยไม่เกิน 0.005 mm แก่ไขกับ 3 ปัจจัยก่อน

พิจารณาข้อมูลผลผลิตจากการเริ่มนำ 3 ปัจจัยที่ได้ทำการวิเคราะห์นำมาแก้ไขและปรับปรุง ในกระบวนการประกอบโรเตอร์ที่เครื่องสวมอัดทั้ง 3 machine ของ Line B5 โดยดูผลผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เริ่มจาก WW#39 จนถึง WW#45



รูปที่ 3.63 ผลผลิตการประกอบโรเตอร์ในช่วง WW#39-WW#45 เริ่มแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 การออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการประกอบโรเตอร์

ผู้วิจัยเริ่มทำการดำเนินการทำการออกแบบและทดลองการทดลองใน WW#44 เพราะกระบวนการประกอบอยู่ในสภาพที่เรามีการควบคุมปัจจัยในหลายด้านทั้งเครื่องจักร-การควบคุมฟีกเจอร์ด้านบน-ด้านล่าง วิธีการปรับตั้ง วัสดุที่มีการแก้ไขจากแบร์ริงยูนิต เริ่มแผนการออกการทดลองดำเนินการโดย

#### 3.5.2.1 ชนิดของการออกแบบการทดลอง แบบทากูชิ L18

(Mixed 2-3 Level design)

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$  หมายถึง สำหรับการทดลอง 18 ครั้งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ 1 ปัจจัย และปัจจัย 3 ระดับ ใช้กับการทดลองที่ปัจจัยได้สูงสุด 7 ปัจจัย เป็นการจำลองปัจจัยนำเข้าเพื่อมาประกอบปืนโรเตอร์

ตารางที่ 3.7 ออกแบบการทดลอง  $L_{18}(2^1 \times 3^5)$  2 ระดับกับ 1 ปัจจัยและ 3 ระดับกับ 5 ปัจจัย ประกอบโรเตอร์

ปัจจัยนำเข้า ตัวย่อ	ปัจจัยนำเข้า(KPIVs) รายละเอียด	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง	หน่วย
Axial play	Axial gap height of bearing	0.014-0.015	-	0.018-0.020	mm.
Speed 2 <sup>nd</sup>	Speed press fit, SP2	1.5	2.75	4.0	mm/sec
Speed 3 <sup>rd</sup>	Speed press fit, SP3	0.3	0.65	1.0	mm/sec
Vacuum	Vacuum at upper fixture	-50	-65	-80	kPa
Pre- heat	Pre heat temp top surface hub	50	57	65	°C
Id Taper	ID taper hub	-0.003	+0.002	+0.003	mm

ปัจจัยที่ควบคุมก่อนทำการทดลอง 1 เครื่องสวมอัด เครื่องต้นแบบที่จะทำการทดลอง

- 1) กำหนดพนักงานประกอบเป็นคนเดียวกันทุกสภาพการทดลองทั้ง 18 Runs
- 2) ความขนาน ของกันแบร์ริง น้อยกว่า 0.005 mm
- 3) การปรับตั้งฟีกเจอร์ ด้านบน และด้านล่างร่วมศูนย์กลางกัน
- 4) ฟีกเจอร์ด้านบนควบคุม ค่าความขนานที่สัมผัสแบร์ริง < 0.002 mm.
- 5) ฟีกเจอร์ด้านล่างโกด์พินสวมนำรูในของฮับเป็น แบบรูนปัจจุบัน (Flat type pin)
- 6) ค่าแรงกดที่เครื่องสวมอัด ซึ่งควบคุมมาตรฐานให้อยู่ในช่วง 40-150 kgf
- 7) ความเร็วที่ 1st การกดของเครื่องสวมอัดที่ควบคุมที่ 70 mm /sec
- 8) ค่าของแกนเพลลาสูง ใช้เครื่องวัด Height Gauge ซีโรที่ท้อฮับ-วัดที่แกนเพลลา มาตรฐาน อยู่ที่ช่วง 0.000 ~ -0.060mm.

ปัจจัยที่สนใจเก็บข้อมูล

- 1) ค่าเฉลี่ย และ ค่า มาตรฐานเบี่ยงเบน (S.D) Hub Axial RRO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

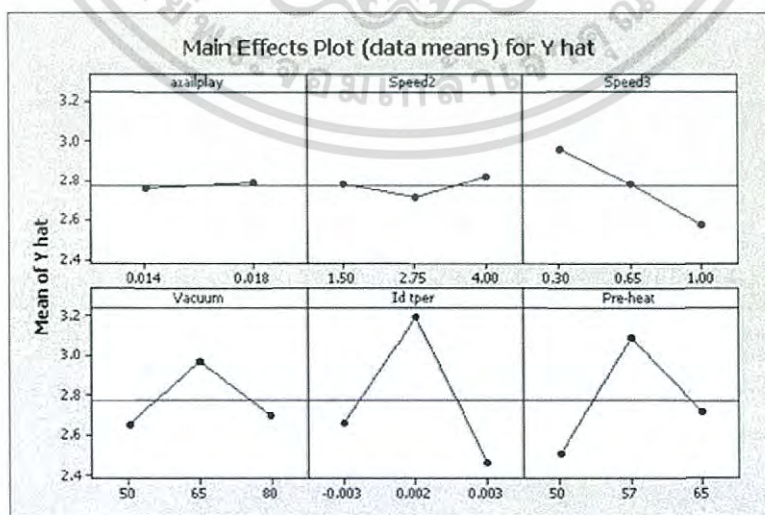
Minitab แสดงผลการทดลองทั้ง 18 การทดลอง

Run	Axialplay	Speed2	Speed3	VacuumP	Id hub	Preheat
1	0.014	1.50	0.30	-50	-0.003	50
2	0.014	1.50	0.65	-65	0.002	57
3	0.014	1.50	1.00	-80	0.003	65
4	0.014	2.75	0.30	-50	0.002	57
5	0.014	2.75	0.65	-65	0.003	65
6	0.014	2.75	1.00	-80	-0.003	50
7	0.014	4.00	0.30	-65	-0.003	65
8	0.014	4.00	0.65	-80	0.002	50
9	0.014	4.00	1.00	-50	0.003	57
10	0.018	1.50	0.30	-80	0.003	57
11	0.018	1.50	0.65	-50	-0.003	65
12	0.018	1.50	1.00	-65	0.002	50
13	0.018	2.75	0.30	-65	0.003	50
14	0.018	2.75	0.65	-80	-0.003	57
15	0.018	2.75	1.00	-50	0.002	65
16	0.018	4.00	0.30	-80	0.002	65
17	0.018	4.00	0.65	-50	0.003	50
18	0.018	4.00	1.00	-65	-0.003	57

รูปที่ 3.64 แบบ DoE Taguchi L18 กับปัจจัยทั้ง 6 มาทำการปรับเครื่องสวมอัด

### 3.5.2.2 ผลของการทดลองของ Main Effect ของ Y-hat

พบว่าเฉพาะปัจจัยเดี่ยว ๆ ที่พบว่ามีความไว (Sensitivity) ต่อผลตอบสนอง (Ax-RRO) มีที่แสดงให้เห็นเป็นรูปแบบ Quadratics คือ Id Taper hub Vacuum pressure และ Pre-heat hub พารามิเตอร์ผลที่แสดงให้เห็นอีกรูปแบบ linear คือความเร็วการกดที่ระดับ 3 พบว่า R-Square อยู่ที่ 20.9% ที่ Y-hat ของ Ax RRO ไม่มีความพิດพอเพียงกับสมการที่ได้หลังจากที่ทำการคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีความสำคัญออกไปแล้ว



รูปที่ 3.65 กราฟผลลัพธ์ Main Effect ของปัจจัยจาก Y-hat(Ax RRO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minitab แสดงผลลัพธ์

```

Response Surface Regression: Y hat
The analysis was done using coded units.
Estimated Regression Coefficients for Y hat

```

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.21464	0.2199	14.616	0.000
Speed2	0.04169	0.1372	0.304	0.762
Speed3	0.06848	0.1492	0.459	0.647
Id tper	0.19217	0.1328	1.447	0.152
Pre-heat	0.09785	0.1370	0.714	0.477
Speed3*Speed3	-0.72385	0.2872	-2.520	0.014
Speed2*Pre-heat	0.96949	0.2203	4.401	0.000

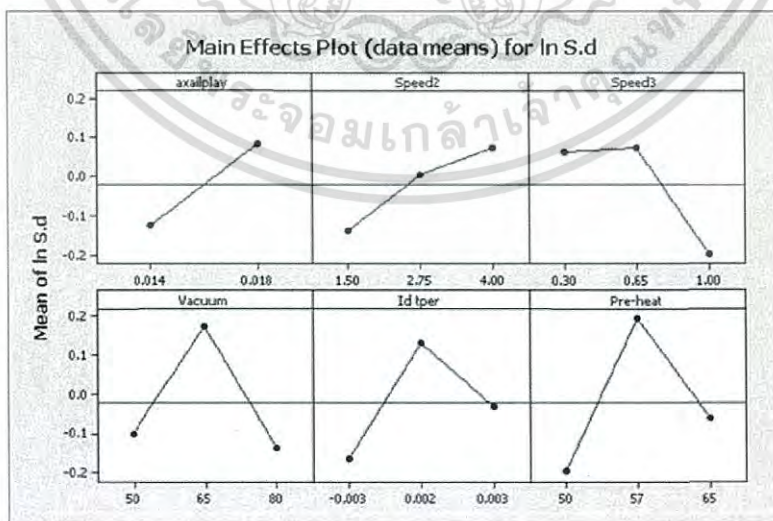
S = 1.062 R-Sq = 20.9% R-Sq(adj) = 15.2%

จากผลลัพธ์ Minitab เราสามารถได้สมการที่มีผลกระทบปีกฮับหมุนแกว่งค่าเฉลี่ยดังสมการที่ 3.1

$$Y\text{-hat} = 0.96949 * \text{Speed2} * \text{Pre-heat} - 0.72385 * \text{Speed3}^2 + 0.09785 * \text{Pre-heat} + 0.19217 * \text{Id tper} + 0.06848 * \text{Speed3} + 0.04169 * \text{Speed2} + 3.21464 \quad (3.1)$$

3.5.2.3 ผลของการทดลองของ Main Effect ของค่า ln S.d

พบว่าเฉพาะปัจจัยเดียวที่พบว่ามีความไว (Sensitivity) ต่อผลตอบสนอง (Ax-RRO) มีที่แสดงให้เห็นเป็นรูปแบบ Quadratics คือ Id Taper hub Vacuum pressure และ Pre-heat hub พารามิเตอร์ที่แสดงให้เห็นอีกรูปแบบ linear คือ ความเร็วการกดที่ระดับ 3 พบว่า R-Square อยู่ที่ 89.8%, ที่ ln S.d ของ Ax RRO พัดกับสมการที่ได้หลังจากที่ทำการคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกไป



รูปที่ 3.66 กราฟผลลัพธ์ Main Effect ของปัจจัยจาก ln S.d (Ax RRO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

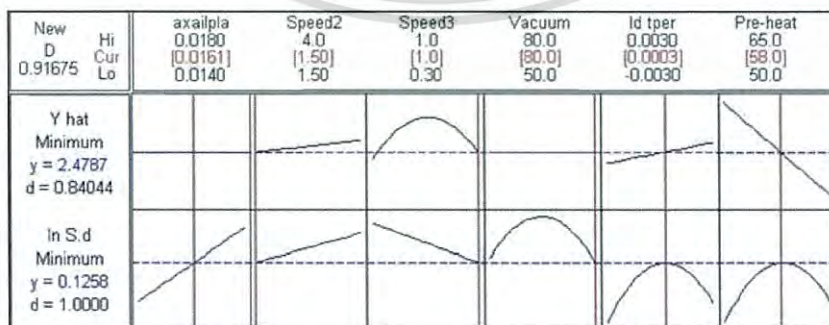
Response Surface Regression: ln S.d					
Estimated Regression Coefficients for ln S.d					
Term	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	0.65648	0.16974	3.868	0.006	
axailplay	0.10362	0.04132	2.508	0.041	
Speed2	0.10597	0.05061	2.094	0.075	
Speed3	-0.13196	0.05061	-2.607	0.035	
Vacuum	-0.01775	0.05061	-0.351	0.736	
Id tper	0.06738	0.05061	1.331	0.225	
Pre-heat	0.06809	0.05061	1.345	0.220	
Vacuum*Vacuum	-0.29388	0.08766	-3.353	0.012	
Id tper*Id tper	-0.33676	0.16907	-1.992	0.087	
Pre-heat*Pre-heat	-0.32903	0.08811	-3.734	0.007	
axailplay*Speed2	-0.14583	0.05061	-2.882	0.024	
S = 0.1753 R-Sq = 89.8% R-Sq(adj) = 75.1%					

จากผลลัพธ์ Minitab เราสามารถได้สมการที่มีผลกระทบปิกซ์หมุนแกว่งค่ามาตรฐาน เบียงเบนดังสมการที่ 3.2

$$\ln(S.d) = -0.14583*Axial\ play*speed2 - 0.32903*Pre\ heat^2 - 0.33676*Id\ tper^2 - 0.29388*Vacuum^2 + 0.06809*Pre\ heat + 0.06738*Id\ tper - 0.01775*Vacuum - 0.13196*Speed3 + 0.10597*Speed2 + 0.10362*axial\ play + 0.65648 \quad (3.2)$$

#### 3.5.2.4 ผลของการออกแบบทดลองของ Optimal ทั้ง 6 ปัจจัย

ผลการทำ Optimize ในการเลือกค่า D เพื่อให้ได้การตอบสนองมากที่สุดพิจารณา ปัจจัยที่ข้อจำกัดก่อน คือ Axial Play โดยเลือกค่าเฉลี่ยจากกระบวนการผลิตแปรจึงเป็นหลักก่อนและ อีกพารามิเตอร์คือ Id taper hub เป็นสเปคที่ค่อนข้างปรับเข้าหาผู้ผลิตทำได้ยากจึงเลือกจากค่าเฉลี่ย จากกระบวนการผลิตขึ้นเช่นเดียวกัน จากนั้นก็ทำการเลือกที่ ln S.d ที่ d=1.0000 , ซึ่งเป็นการ Optimal มากที่สุดและ Y-hat ที่ d=0.84044 อยู่ในค่าที่สูงและค่า D New = 0.91675 เป็นค่าที่ ยอมรับได้ สรุปผลการออกแบบการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดได้จะแสดงในแถวของ Cur , Axial play=0.016, Speed2=1.5, Speed3=1.0, Vacuum=80, Id taper=0.0003 & Pre-heat =58



รูปที่ 3.67 กราฟผลลัพธ์ Optimal จาก DoE ของเครื่องสวมอัดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

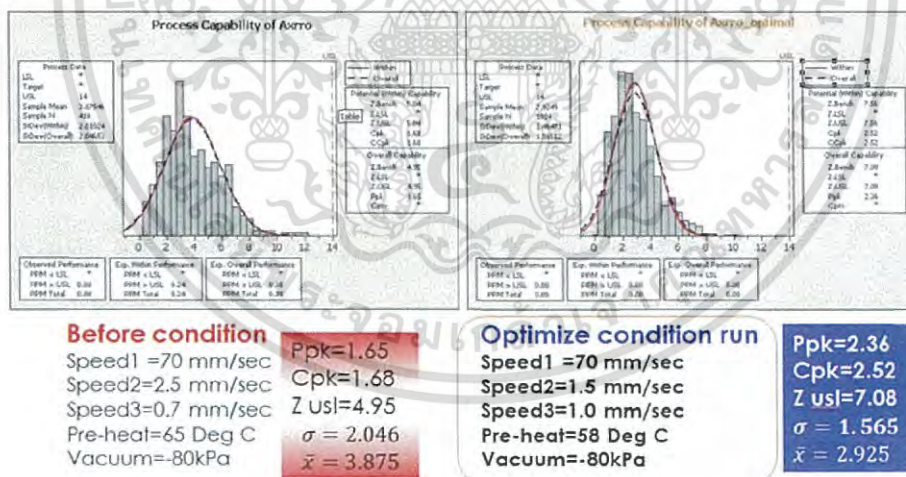
### 3.5.2.5 การเปรียบเทียบปัจจัยของการออกแบบทดลองของ optimal กับ ปัจจุบัน

ตารางที่ 3.8 ตารางการเปรียบเทียบ ปัจจัยที่จะนำไปทดสอบกับเครื่องสวมอัด

ปัจจัยนำเข้า ตัวย่อ	ปัจจัยนำเข้า(KPIVs) รายละเอียดชื่อเต็ม	ปัจจุบันในการ ปรับตั้ง	ได้จากDoE Optimal	หน่วย
Axial play	Axial gap height of bearing	0.014-0.015	0.0161	mm.
Speed 2 <sup>nd</sup>	Speed press fit, SP2	1.5	1.5	mm/sec
Speed 3 <sup>rd</sup>	Speed press fit, SP3	0.3	1.0	mm/sec
Vacuum	Vacuum at upper fixture	-50	-80	kPa
Pre- heat	Pre heat temp top surface hub	50	58	°C
Id Taper	ID taper hub	-0.003	+0.0003	mm

### 3.5.2.6 ผลลัพธ์เปรียบเทียบพารามิเตอร์ DoE ทดลอง

เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์จากการประกอบโรเตอร์ระยะสั้น การทดสอบค่า Optimal พารามิเตอร์ที่นำไปปรับตั้งกับเครื่องประกอบโรเตอร์โดยใช้พิจารณาจากความสามารถกระบวนการ กราฟฮิสโตแกรมเปรียบเทียบ ระหว่าง Before condition คือสภาพปัจจุบัน กับ Optimize condition run คือใช้พารามิเตอร์ปรับตั้งผลลัพธ์จากการปรับปรุงเป็นที่น่าพอใจดีกว่าทุกตัวชี้วัด คุณภาพ



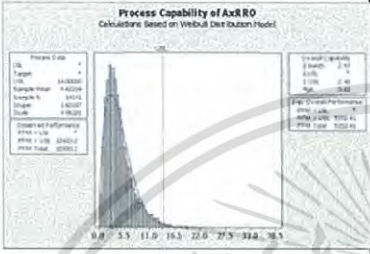
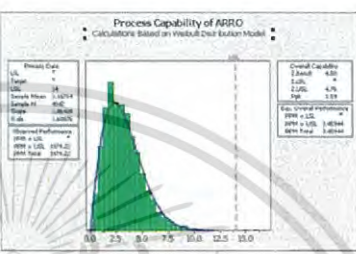
รูปที่ 3.68 กราฟผลลัพธ์การประกอบโรเตอร์เปรียบเทียบ Optimize-ด้านขวา กับ การปรับตั้งปัจจุบัน-ด้านซ้าย

ผลการลองปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องสวมอัด ต้นแบบที่ได้จาก DoE: Optimize พบว่า ได้ผลดีจากการทดสอบการประกอบโรเตอร์ n=1,004 ตัวค่าเฉลี่ยลดลงจาก 3.875 เป็น 2.925 um ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบนก็ลดลงเป็นอย่างดีจาก 2.046 เป็น 1.565 และผลดีส่งผลตามมาอีกให้เห็นที่ความสามารถกระบวนการประกอบโรเตอร์สูงขึ้นในเกณฑ์ดี Ppk จาก 1.65 เป็น 2.36 และสุดท้ายค่า Sigma Quality level เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก 4.95 เป็น 7.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2.7 เปลี่ยนพารามิเตอร์ตามผลDoE ที่เครื่องสวมอัดและอุณหภูมิตัวอุ่นฮับ เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์จากการประกอบโรเตอร์ (ระยะยาว)

ตารางที่ 3.9 ตารางการเปรียบเทียบผลลัพธ์ความสามารถเครื่องสวมอัดระหว่าง ปัจจุบัน กับ แบบ DoE ที่นำไปปรับตั้ง

จุดสนใจ	ผลลัพธ์จากการปรับตั้งมาตรฐานปัจจุบัน	ผลลัพธ์จากการนำDoEไปปรับตั้งเครื่องสวมอัด	สรุปผล
กราฟฮีستแกรม			ฮิสโตแกรมหลังใช้DoEค่าเฉลี่ยทางจากPSLไม่เสี่ยงที่จะเกิดขึ้นของเสียจำนวนมาก
ผลผลิต (Yield)	99.28%	99.78%	DoEดีกว่า
ของเสีย (Defect)	10,183 DPPM	1,979 DPPM	DoEดีกว่า
$\bar{X}$ (mean)	4.422 um	3.187 um	DoEดีกว่า
$\sigma$ (s.d)	2.98	1.81	DoEดีกว่า
Ppk	0.89	1.59	DoEดีกว่า
Sigma Quality level	2.57	4.50	DoEดีกว่า

## 3.6 การควบคุม (Control phase)

### 3.6.1 การควบคุมปัจจัยนำเข้าหลังจากการปรับปรุง

เราพบว่าค่าพารามิเตอร์ของ KPIVs ที่เหมาะสมที่ได้มาต้องถูกนำไปทำการควบคุมปรับตั้งทั้งเครื่องจักร การรับทราบของผู้ปฏิบัติงานกับในสายการผลิตเครื่องสวมอัด เครื่องอุ่นผิวที่บริเวณรูฮับ รูปแบบความเอียงด้านในรูฮับที่เหมาะสมในการตรวจสอบกับ ฝ่ายคุณภาพแรกเข้า (IQA : Incoming Quality Assurance Department)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 การเปรียบเทียบรายการ KPIVs ระหว่าง DoE ค่าที่เหมาะสมกับค่าปัจจุบัน

ลำดับ	รายละเอียดของKPIVs	ค่าพารามิเตอร์ แบบปัจจุบัน	DoE Taguchi-L18 ค่าที่เหมาะสม	หน่วย
1	Axial gap height of bearing	0.014-0.018	0.0161	mm.
2	Speed press fit, SP2	2.50	1.5	mm/sec
3	Speed press fit, SP3	0.70	1.0	mm/sec
4	Improper vacuum at upper fixture	-80	-80	kPa
5	Pre heat temp top surface hub	65	58	°C
6	ID taper hub height difference	+0.003	0.0003	mm

### 3.6.2 การควบคุมค่าระยะ Gap ยกตัวแนวตั้งของแบร์ริงยูนิต

ระยะของค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทำ DoE คือ Axial play ระยะการยกตัวในแนวตั้งที่ 0.0161mm. เป็นค่ากึ่งกลางของค่ามาตรฐานที่โรงงานผลิตได้กำหนดไว้อยู่แล้ว ณ กระบวนการแบร์ริงยูนิต เพราะเราเลือกที่จะกำหนดเป็นตัวแปร คงที่ถ้าเปลี่ยนไปอย่างสุดซึ้งเป็นค่า Optimize ขึ้นมา กระบวนการที่ลูกค้าจะเกิดค่าเฉลี่ยย้ายกลุ่ม (Mean shift) จากค่ากึ่งกลางอย่างแน่นอนและเสถียรภาพของสปินเดิลมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงเพราะลูกค้าก็ได้ทำการ Optimize ค่าระยะการยกตัวแนวตั้งของโรงงานผลิตตั้งแต่การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตั้งแต่วันแรกที่เริ่มผลิตเป็นจำนวนมาก (1<sup>st</sup> Day Mass manufacturing)

### 3.6.3 การควบคุมความเร็วการกดเครื่องสวมอัดที่ระดับ 2 และ 3 ไม่เหมาะสม

ค่าพารามิเตอร์ตัวนี้ได้รับประโยชน์จากการออกแบบการทดลองเพราะว่า ค่าที่เป็น Optimal แล้ว ที่เราจะได้จากการวิเคราะห์ใน โปรแกรม Minitab จะได้มาจาก หลายปัจจัยที่มีผลเกี่ยวเนื่องกันมาทำการวิเคราะห์และสอดคล้องกับผลตอบสนองของเราคือ ค่าปิกฮับหมุนแกว่ง

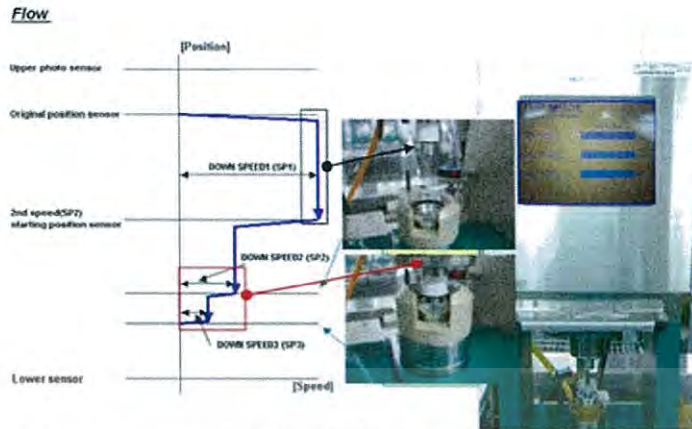
ความเร็วการกดเครื่องสวมอัดระดับที่ 2

- ปัจจุบัน คือ 2.5 mm/sec
- ใหม่ คือ 1.5 mm/sec

ความเร็วการกดเครื่องสวมอัดระดับที่ 3

- ปัจจุบัน คือ 0.7 mm/sec
- ใหม่ คือ 1.0 mm/sec

ค่ามาตรฐานตัวใหม่จะถูกทบทวนและกำหนดใหม่ในขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work instruction) กับเครื่องสวมอัดรวมถึงตารางการตรวจสอบรายวันของเครื่องจักร(Autonomous check sheet)



รูปที่ 3.69 Pressing speed 2<sup>nd</sup> & 3<sup>rd</sup> press fit with Hub insertion mc

### 3.6.4 การควบคุมอุณหภูมิการอุ่นผิวยอดของฮับ (Pre heat temperature top surface)



รูปที่ 3.70 เครื่องอุ่นผิวของรูฮับ (Pre heat temperature top surface mc)

ค่าพารามิเตอร์ตัวนี้ได้รับประโยชน์จากการออกแบบการทดลอง (DoE) เพราะว่า ค่าที่เป็น Optimal แล้วที่เราจะได้จากการวิเคราะห์โปรแกรม Minitab จะได้มาจาก หลายปัจจัยที่มีผลเกี่ยวเนื่องกันมาทำการวิเคราะห์และสอดคล้องกับผลตอบสนองของเรา คือ ค่าปีกฮับหมุนแกว่ง

อุณหภูมิการอุ่นผิวของรูฮับ

- ปัจจุบันคือ 65 องศาเซลเซียส ที่เวลาไม่น้อยกว่า 180 วินาที
- ใหม่คือ 58 องศาเซลเซียส เวลาไม่น้อยกว่า 180 วินาที

ค่ามาตรฐานตัวใหม่จะถูกทบทวน และ กำหนดใหม่ในขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work instruction) กับเครื่องสวมอัตรรวมถึงตารางการตรวจสอบรายวันของเครื่องจักร (Machine check sheet)

### 3.6.5 การควบคุมความเอียงด้านในรูฮับของ IQA.

ข้อจำกัดปัจจัยที่พิจารณาดำเนินการแก้ไขค่ามาตรฐานตามการ Optimal คือ ความเอียงด้านหน้า เทียบกับด้านหลังเป็นค่ากลาง (Center taper) จะดูจากความสามารถของกระบวนการก่อนเพราะ ถ้าค่ามาตรฐานถูกเปลี่ยนไปเลยโดยไม่ทบทวน เราจะจ่ายเงินซื้อฮับในราคาที่แพงขึ้น ถ้าเราเปลี่ยนค่ามาตรฐาน กับซัพพลายเออร์และเราจะมาหาทางออกโดยอ้อมอย่างเช่น เปลี่ยนจำนวนการสูบลมในค่าพารามิเตอร์ตัวนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัจจุบันสุ่มจำนวน 10 ชิ้น ต่อเครื่องผลิตฮับ (CNC) ต่อหนึ่งรอบการส่งมา (Shipment) วัดโดย Air micro gauge ด้านหลังอย่างเดียว
- ปรับปรุงเพิ่มการสุ่มจำนวน 32 ชิ้น ต่อเครื่องผลิตฮับ (CNC) ต่อหนึ่งรอบการส่งมา (Shipment), วัดโดย Air micro gauge เพิ่มด้านหน้า และ ด้านหลัง
  - เพิ่มถ้าพบงานผิดมาตรฐานอย่างน้อยหนึ่งชิ้น (C=0) กำหนดให้ซัพพลายเออร์ทำการตรวจสอบให้เราใหม่ 100% หรือเปลี่ยนงานล็อตใหม่ที่ไม่พบปัญหา
  - จะถูกแก้ไขในเอกสาร ขั้นตอนการปฏิบัติงานของฝ่ายคุณภาพแรกเข้าเพื่อนำไปปฏิบัติเป็นในทิศทางที่ผู้วิจัยได้ใช้หลักการซิกส์ซิกมาพิสูจน์ทราบให้เห็นทั้งใน Analyze และ Improve phase เพื่อให้มองจุดการแก้ไขปรับปรุงปัญหาปิกฮับหมุนแกว่งเป้าหมายเดียวกันในสายการผลิต

### 3.6.6 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ (PFMEA)

หลังทำการปรับปรุงต้องนำให้ทันสมัยต่อการควบคุม

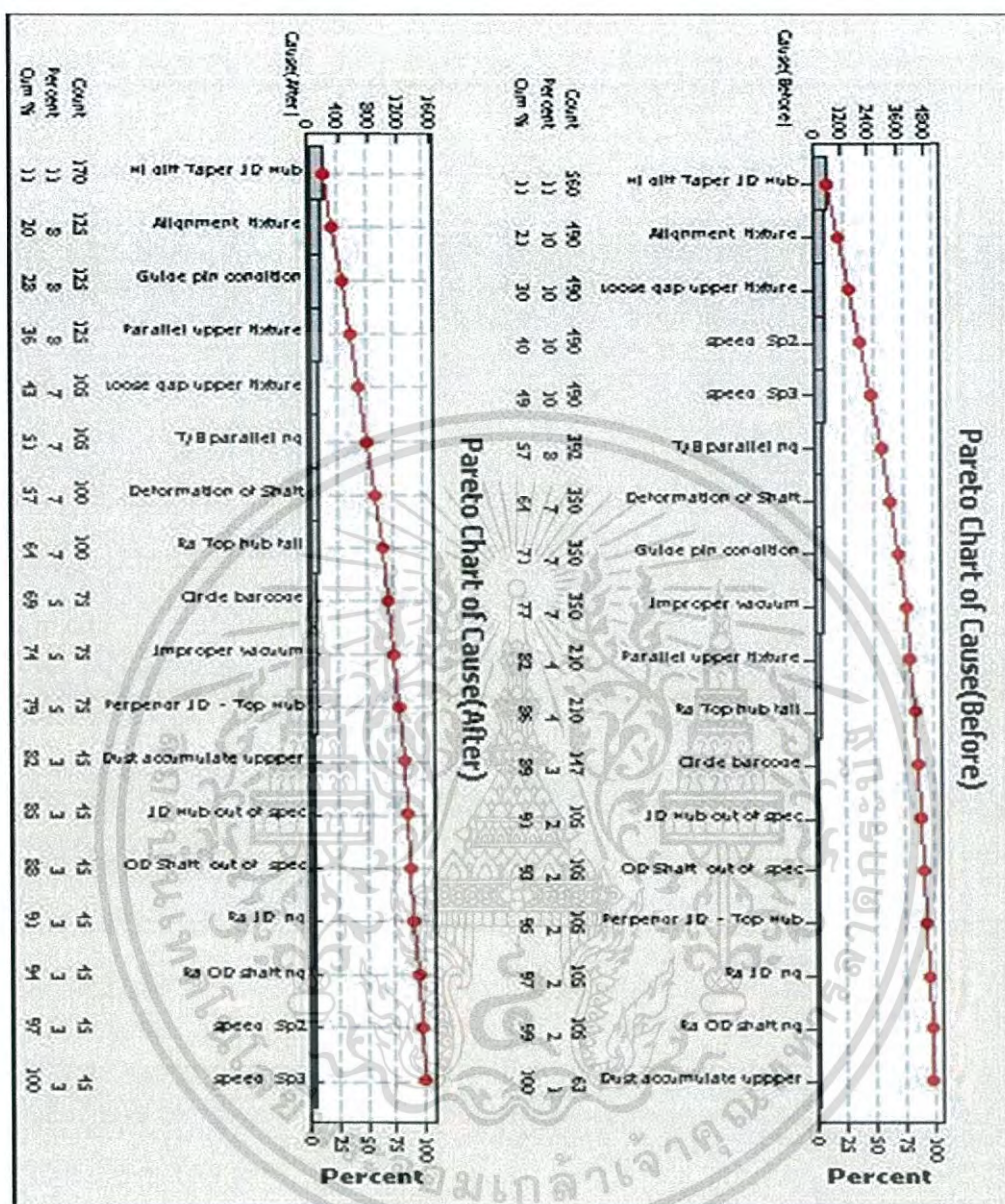
ทำการแก้ไขกับกระบวนการผลิตของโรเตอร์ซึ่งต้องทำการประชุมแจ้งให้ทุกส่วนรับทราบถึงการเปลี่ยนแปลงให้ทันสมัยกับปัจจุบันและเหตุที่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นกับทุกแผนกที่เกี่ยวข้อง ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิต ฝ่ายคุณภาพ และ แผนกบริการลูกค้า

ตารางที่ 3.11 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องการประกอบโรเตอร์หลังการปรับปรุงในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาปิกฮับหมุนแกว่ง

#### Failure Mode & Effect Analysis

Process Step	Failure Mode or Defect	Effect of Failure	SEV	Cause	OCU	Control Measure	Detectability	Risk Priority
Brg to Hub Assembly (Hub ass'y insertion)	Press force height/flow fail	Yield drop	5	OD Shaft out of spec	3	IGA set SPC monitoring	3	45
			3	ID Hub out of spec	3	IGA set SPC monitoring	3	45
			2	Deformation of Shaft	none		10	100
			5	Higher different of Taper ID Hub	3	IGA set SPC monitoring	5	125
			3	Straightness OD shaft fail	3	IGA set SPC monitoring	3	45
			3	Straightness ID hub fail	3	IGA set SPC monitoring	3	45
			5	Perpendicular ID Hub vs Top Hub fail	3	IGA 10 postLot	5	75
			2	Straightness Top hub fail	none		10	100
			3	Higher different of Taper ID Hub	3	IGA set SPC monitoring	3	45
	3	Improper speed pressing Sp2	3	Set spec 15 mm/sec	3	45		
	3	Improper speed pressing Sp3	3	Set spec 10 mm/sec	3	45		
	5	Purallism of Upper fixture fail	5	Set spec < 2um (MAX)	5	125		
	5	Improper vacuum pressure	5	Set spec < -50 kPa	3	75		
	5	Guide pin condition	5	control set up	5	125		
	7	Loose gap between ID 's upper fixture with OD 's sleeve	7	Autonomous check sheet	3	105		
	5	Adjusting centering lower & upper side out alignment	5	Set Standard operation procedure	5	125		
	3	Metals/Dust accumulate in upper Lower fixture	3	SOP every 1hrs	3	45		
	3	Air bubble inside circle barcode	3	none	5	75		
	7	Thrust bush parallelism fail (Laser welding)	7	Set thrust bush parallel tester sampling checking	3	105		

เราจะได้ลำดับคะแนนจากคอลัมน์ช่องที่ RPN (Risk Priority number) โดยจะได้จากช่องของ  $RPN = Severe * Occurrence * Detectability$  ซึ่งเป็นผลจากการควบคุมกระบวนการผลิตที่เป็นปัจจุบันมากที่สุดและรายงานต่อลูกค้าใน สาเหตุการเปลี่ยนแปลงเอกสาร PFMEA มาจากการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องของการลดของเสียของปิกฮับหมุนแกว่งด้วยวิธีของซิกส์ซิกมา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

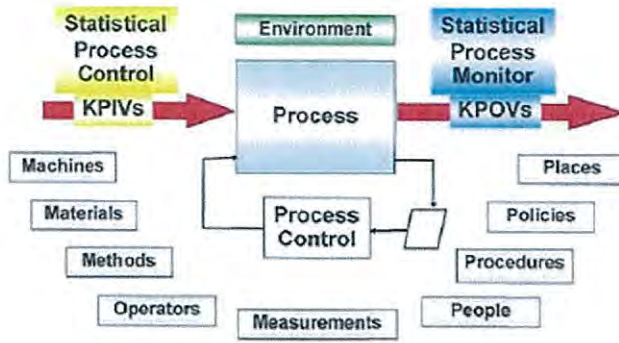


รูปที่ 3.71 ผล PFMEA ของRPNคะแนนความรุนแรงหลังจากการปรับปรุงแล้ว RPN ≤ 170คะแนน

### 3.6.7 การใช้ระบบ Real time SPC (Statistical Process Control)

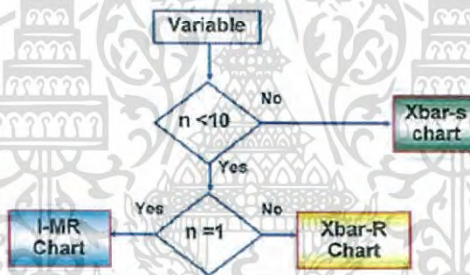
จากกระบวนการผลิตโรเตอร์ที่มีความสามารถกระบวนการผลิตอยู่ในระดับ 3 Sigma Quality level ทำให้ได้ ค่าผลผลิต (Yield) อยู่ที่ 99.73% UCL และ LCL เส้นควบคุมที่  $\pm 3\sigma$  SPC เป็นเครื่องมือในการตรวจติดตามผลลัพธ์ของกระบวนการที่ต้องเฝ้าตรวจติดตามเพราะถ้า KPIVs เกิดมีการผันแปรตัวที่ใช้เป็นเครื่องมือ Alarm และแก้ไขให้กลับมาให้ปกติเหมือนเดิมคือ SPC chart control ในที่นี้เราจะใช้ติดตามสมรรถนะของความสามารถของ Rotor ที่ Hub Axial RRO Tester เป็นพารามิเตอร์ที่จะช่วยบอกเราว่ามี แหล่งความผันแปรเกิดขึ้น [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.72 แหล่งความผันแปรทางด้านขาเข้า (KPIVs) 5M+1E และทางด้านขาออก (KPOV) เป็น 4P โดยขาเข้าเป็น SPC กับขาออกเป็น SPM

ชาร์ทควบคุมสามารถคู่ได้จากกฎพื้นฐานในการเลือกชาร์ทให้เหมาะกับงานที่จะเลือกใช้ ข้อมูลเป็นแบบ Variable , Ax-RRO เป็นแบบ X-bar , S-chart เพราะ  $n > 10$  ตัว โดยกำหนดให้ที่ 1 จุด ใช้ข้อมูลทั้งหมด 25 ชิ้น และรอบการสุ่มทุก 2 ชม.

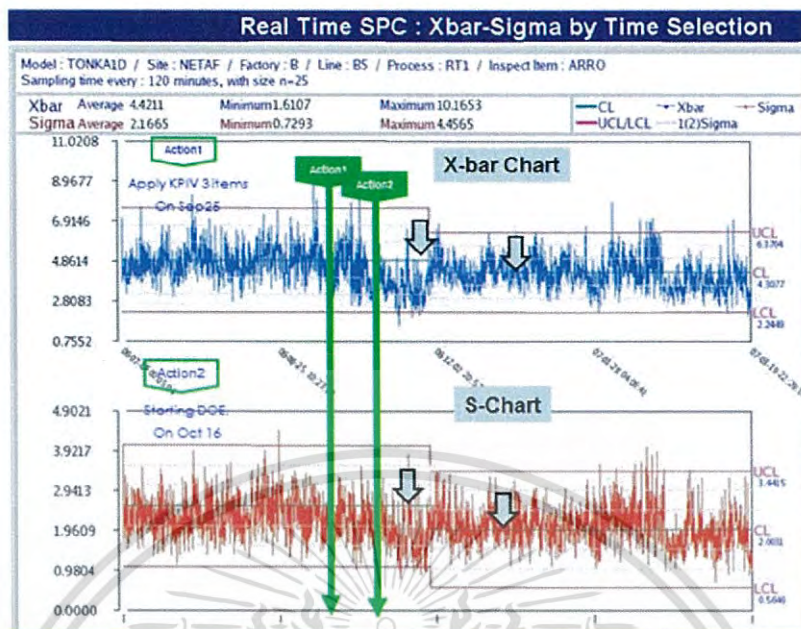


รูปที่ 3.73 รูปเส้นทางการเลือกชาร์ทของตัวแปรแบบ Variable

### 3.6.8 การใช้งานระบบ Real time SPC ตรวจสอบ Ax RRO tester

โรงงานกรณีศึกษาทำการดำเนินการใช้งานกระบวนการโดย SPC ของพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ และ AX RRO เป็นพารามิเตอร์หนึ่งเมื่อเกิดมีข้อมูลเกิน จากเส้นควบคุมและกฎที่ดำเนินการต้องมีการตรวจสอบหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงนั้น รวมทั้งสามารถ Alarm system ไปตามอีเมล โดยตรงกับผู้รับผิดชอบแก้ไข เพราะมีการอัปเดตข้อมูลทุกจุดคือ 120 นาที เป็นหนึ่งจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.74 กราฟ Real time X-bar , S-Chart ของเครื่อง Ax RRO tester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

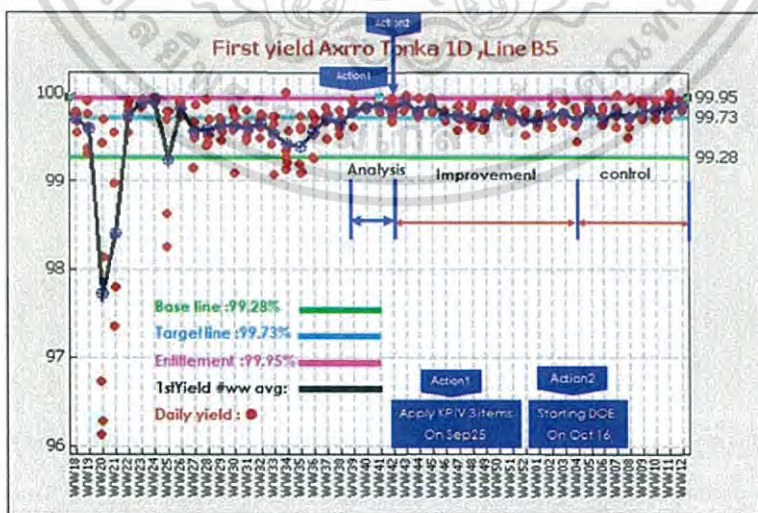
# สรุปผลการทดสอบซิกส์ซิกมากับกระบวนการ ประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์

### 4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอนการใช้ซิกส์ซิกมาแต่ละขั้นตอน DMAIC โดยขั้นตอนการกำหนดที่ได้เป็นไปตามเป้าหมายอยู่ที่ Yield ตามเป้าหมายใหม่ในเวลาที่จะเร็วกว่า 6 เดือนจากที่กำหนดไว้ ได้จากการขั้นตอนการวิเคราะห์ของปัญหา 9 ปัจจัยที่มีความเสี่ยงสูงสุดส่วนขั้นตอนการวิเคราะห์ผลทดสอบสมมติฐานที่มีค่าเฉลี่ยและความผันแปรของปัญหาและเริ่มการแก้ไขกับปัจจัยที่มีนัยสำคัญมาก ๆ ก่อนในสายการผลิตที่เครื่องสวมอัดและกระบวนการผลิตแบบเรียง WW#39 ผลลัพธ์ Yield ได้ขึ้นมาแตะที่เป้าหมายใหม่ได้เป็นอย่างดีและขั้นตอนการปรับปรุงทำการปรับอย่างละเอียดที่ปัจจัยนำเข้าที่ได้ผลลัพธ์จากวิธีทากูชิ DoE ผลการทดลองสมการ Regression ที่สัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาพุต R-Square ค่าความผันแปรมากกว่าค่าเฉลี่ยของปัญหาส่งผลให้เราทราบว่าถ้าปรับตั้งตาม ln S.d จะทำให้ เราค่าความผันแปรของปัญหาลดลงจากการการ Optimize โดย DoE. เริ่มใน WW#42 และเริ่มใช้การควบคุมเครื่องประกอบโรเตอร์โดย Real time SPC : X-bar chart และ S-chart และการควบคุมแหล่งความผันแปรจาก 5M+1E

### 4.2 สรุปผลการกรณีศึกษา

ทางผู้วิจัยและทีมงานในการทำการ Yield โดยดำเนินการแก้ไขไป 2 ครั้งกับปัจจัยที่ทำการพิสูจน์ด้วยวิธีของซิกส์ซิกมาทำให้ Yield ผลลัพธ์เป็นที่น่าพึงพอใจได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการวิเคราะห์จนถึงขั้นตอนการควบคุม



รูปที่ 4.1 ผลสรุปกรณีศึกษาการประกอบโรเตอร์ตามเป้าหมายโดยทั้ง 5 ขั้นตอนซิกส์ซิกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลลัพธ์ขั้นตอนวัตเครื่องโรเตอร์

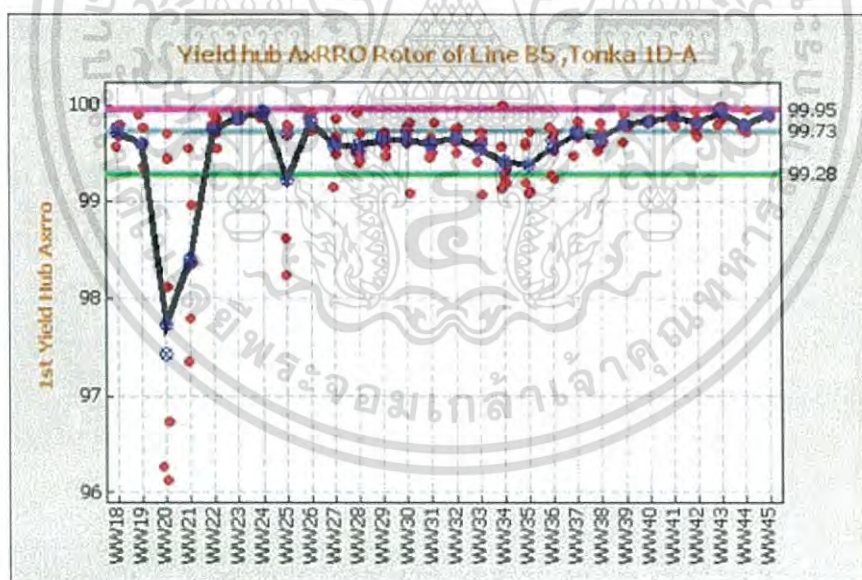
ผลจากการศึกษาระบบเครื่องมือวัตเครื่องโรเตอร์พบว่าเป็นเกจที่มีความสามารถในความเชื่อมั่นในการวัด เมื่อเทียบกับมาสเตอร์และการอ่านที่ถูกต้องและแม่นยำกับลูกค้ำเมื่อเราวัดที่โรงงานแล้วส่งไปประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไม่มีปัญหาอย่างแน่นอนโดยดูจากมาตรฐาน MSA ที่ ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบระบบการวัดเครื่องวัตโรเตอร์

Ax RRO Tester	%Contribution	%Study Variance	%Tolerance	Number. DC	R-square	Pair-T-Test
TFX46021	0.02%	1.56%	4.31%	90	99.9%	P = 0.956
TFX57184	0.02%	1.44%	4.02%	97	99.9%	P = 0.644
TFX57190	0.03%	1.63%	4.63%	86	99.8%	P = 0.828

#### 4.3.1 ผลลัพธ์ขั้นตอนวิเคราะห์โดยเริ่มนำปัจจัยนำเข้าแก้ไขก่อน

การแก้ไขจากการกรองโดย PFMEA เราได้ 3 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของปัญหา เราเริ่มแก้ไขใน WW#39 เทรนด์ Yield เริ่มมีการปรับตัวสูงขึ้นการกระจายตัวในแต่ละของ Yield รายวัน จุดแดงเป็นเฉลี่ยส่งผลดีเป็นกลุ่มและ Yield สูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ 99.73%



รูปที่ 4.2 ผลเริ่มแก้ไขจากขั้นตอนการวิเคราะห์ กับ 3 ปัจจัยนำเข้าของการประกอบโรเตอร์

ปัจจัยนำเข้าที่แก้ไขก่อน

- 1) การปรับตั้งร่วมศูนย์ของเครื่องสวมอัด
- 2) การใช้เกจวัดค่าความขนานของแบร็งก์ก่อนนำมาประกอบโรเตอร์
- 3) ใช้ฟิกเจอร์ที่แบร็งก์ด้วยค่าความขนานควบคุมที่ 0.002 mm.

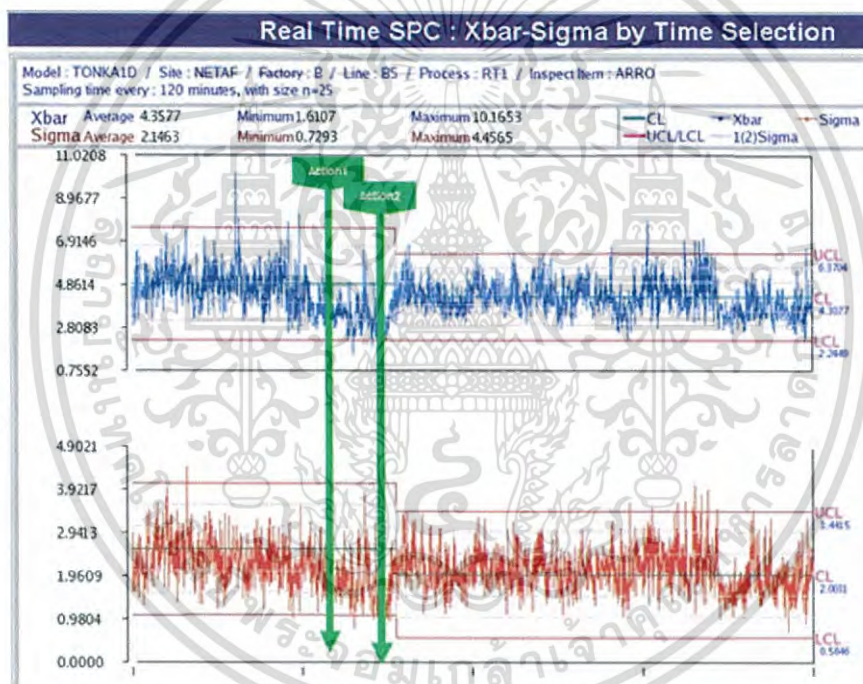
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลลัพธ์ขั้นตอนปรับปรุงเริ่มปัจจัยนำเข้าที่ได้ Optimize DoE ลงไปแก้ไข

จากรูปที่ 4.2 เป็นการแก้ไขอย่างต่อเนื่องโดยได้ทำออกแบบการทดลองและทำการทดสอบกับเครื่องประกอบต้นแบบได้ผล Yield เป็นไปตามเป้าหมายได้ทำการนำไปในเครื่องประกอบที่เหลือในเวลาต่อมา WW#42 ดำเนินการปรับจนครบ 3 เครื่องสวมอัตรา Yield คงตัวอยู่เหนือ Yield เป้าหมายเป็นที่น่าพึงพอใจสูงกว่าเป้าหมาย

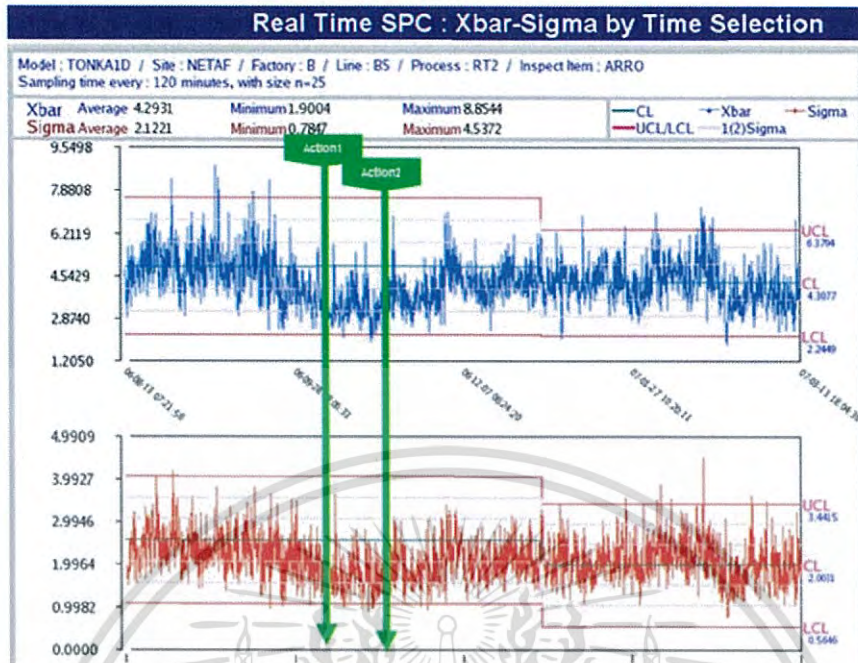
#### 4.3.3 ผลลัพธ์ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการหลังจากปรับปรุง

ตรวจสอบด้วยการใช้วิธีการควบคุมทางสถิติ (SPC) พิจารณาที่ตัวปัญหาที่เป็นค่าปีกฮับหมุนแกว่งของเครื่องวัดโรเตอร์ของทั้ง 3 เครื่องเพื่อใช้ในการ Alarm กับถึงกระบวนการที่ทำการประกอบโรเตอร์มีปัจจัยใดที่เปลี่ยนแปลงไป จากปกติเครื่องวัดโรเตอร์จะจับคู่กับเครื่องประกอบอยู่แล้วเพื่อรักษาสภาพเงื่อนไขที่เหมาะสมของการสวมอัตราไว้ให้นานที่สุด

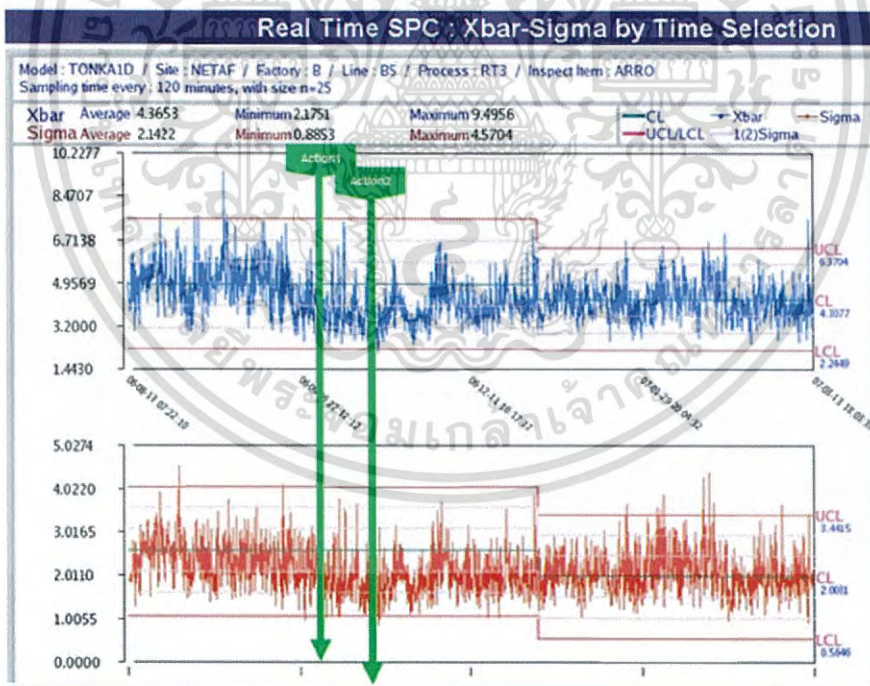


รูปที่ 4.3 Real time SPC : X-bar และ S-Chart ของเครื่องวัดโรเตอร์ RT1

พบว่าตรวจสอบระยะยาวเทรนด์ของเส้น CL จะลดลงต่อเนื่องลงไปที่ X-bar และ S-chart ที่สอดคล้องแคบลงไปทำให้มีความไวต่อการจับความผิดปกติทางปัจจัยนำเข้าที่มีเพียงการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย สามารถแสดงทราบถึงการเปลี่ยนแปลงพร้อมก็มี Auto alarm เมื่อออกเกินเส้น UCL เป็นเส้นคอนโทรลทางด้านสูงแต่ไม่ใช่สเปคจริงของโรเตอร์โดยเมล์ไปหาให้ Technician ทำการหยุดเครื่องแก้ไขเครื่องประกอบโรเตอร์ไม่ให้ทำของเสียออกมาจากสายการผลิต



รูปที่ 4.4 Real time SPC : X-bar และ S-Chart ของเครื่องวัดโรเตอร์ RT2



รูปที่ 4.5 Real time SPC : X-bar และ S-Chart ของเครื่องวัดโรเตอร์ RT3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกรณีศึกษาการนำเสนอวิธีการดำเนินงานซิกส์ซิกมา DMAIC เพื่อการแก้ไขปรับปรุงผลผลิตกระบวนการประกอบโรเตอร์ของสปินเดิลมอเตอร์การประกอบที่เครื่องสวมอัดของโรเตอร์และ ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อปัญหาปิกฮับหมุนแกว่งจากการค้นหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องระหว่าง KPIVs และ KPOV การกลั่นกรองในแต่ละขั้นตอน Define-Measure-Analyze-Improve-Control

ขั้นตอนการกำหนดตัวปัญหา (Define phase) เริ่มต้นได้กำหนดค้นหาสาเหตุการเกิดปัญหาทางกายภาพ จากนั้นพิจารณากำหนดเป้าหมายที่จะทำการเพิ่มผลผลิตอีก 70% ของผลผลิตเฉลี่ย อย่างพลิกโฉมตามแนวทางซิกส์ซิกมา ซึ่งพิจารณาพื้นฐานความสามารถที่ทำได้สูงสุดจริง (Entitlement) ของกระบวนการสวมอัดโรเตอร์เป็นการกำหนดแผนการในการตอบสนองต่อเป้าหมายหลัก (Hard saving) เพิ่มจาก Yield 99.28% เป็น 99.73% ส่งผลดีต่อการลดต้นทุนทางตรงเป็นจำนวนเงิน หนึ่งล้านหนึ่งแสนต่อปีและเป้าหมายรอง (Soft saving) ได้ความพึงพอใจลูกค้า, ไม่มีงานเสียหลุดออกไปหาลูกค้าได้องค์ความรู้ในการพัฒนาสปินเดิลรุ่นที่ต่างออกไป หลีกเลี่ยงเกิดของเสียจำนวนมาก พร้อมทั้งกรอบระยะเวลาการบรรลุขอบเขตแต่ละขั้นตอนที่ชัดเจน และตั้งบทบาทของผู้ร่วมทีมเป็นงานปรับปรุง

#### ขั้นตอนระบบการวัดของกระบวนการ (Measure phase)

การใช้เครื่องมือสถิติวิศวกรรมวัดตัวปัญหาให้ได้เสียก่อนว่ามีคุณลักษณะเป็นอย่างไร พร้อมทั้งวัดสาเหตุที่คาดการณ์ว่าจะมีความสัมพันธ์ต่อปัญหา เริ่มต้น MSA ของเครื่องวัดโรเตอร์ มีความถูกต้อง และ แม่นยำไม่มีปัญหาค่าไบแอสเครื่องมือวัด มารบกวนบนยานพิกัดสเปคที่ใช้ตัดสินต่อกระบวนการประกอบโรเตอร์ พร้อมทั้งต้องมีความแม่นยำสัมพันธ์ในการอ่านค่าเครื่องมือวัดตรงกับลูกค้าที่นำสปินเดิลมอเตอร์เราไปใช้ซึ่งสามารถพิสูจน์ด้วย Correlation test : R-square สูงถึง 99% และ Pair-t-test และในระดับดีมาก จาก  $\alpha > 0.05$  กับฮิสโตแกรมหรือความสามารถกระบวนการเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงสมรรถนะการประกอบโรเตอร์ คุณลักษณะของกราฟไม่เป็น Normal เบ้ด้านขวา (Right skew) กอปรกับการควบคุมค่ามาตรฐานอยู่ด้านบนสูง ห่างเดียวทางขวาฝั่งเดียวกันกับ USL ดัชนีงานเสียจะแสดงออกมาที่ 10,183 DPPM ต้องดึงให้ กราฟฮิสโตแกรมที่เบ้อออกไปเกิน USL เข้าใกล้ช่วงบริเวณของ ค่าฐานนิยม (Median) ของกระบวนการซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดปัจจุบันที่อยู่แล้ว ทำให้เราได้ข้อมูลจากการเริ่มในขั้นตอนนี้ ต้องดึงค่าเฉลี่ย (Mean) เข้ามาใกล้ค่าฐานนิยม อีกแนวทางคือลดค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน ( $\sigma$ ) ให้แคบลง เพื่อไม่ให้เกิดค่าปิกฮับหมุนแกว่งพุ่งออกเกินสเปค USL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนผังกระบวนการผลิต (Process mapping) ถูกนำมาเป็นตะแกรงร่อน ตรวจสอบสาเหตุปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมากต่อปัญหาปีกฮับหมุนแกว่ง พิจารณาสิ่งที่ส่วนประกอบ แบริ่ง ฮับแฟรงค์ และ แหล่งจ่ายความแปรปรวน จากเครื่องสวมอัด ต่อจากนั้นส่งมารวบรวมที่เครื่องมือสถิติตัวที่ระบุปัจจัยสัมพันธ์อย่างไรกับตัวปัญหา กำหนดบนพื้นฐาน แหล่งความแปรปรวน 5M+1E อย่างภาพเสมือนเกี่ยวโยงกัน (Visualize interaction) ด้วยแผนผังเหตุและผล (Cause & Effect diagram) เมื่อได้สาเหตุทั้งหลัก และ รองมาทำการวิเคราะห์กันแบบระดมความคิดทุกหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกัน พยายามใส่สาเหตุที่ซ่อนจากการควบคุมพร้อมกับปัจจัยที่เป็นสภาพรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ลงไปด้วยเป็นอย่างน้อย ถ้าแก้ไขทางตรงไม่ได้ ให้ทำการหลีกเลี่ยงไม่ไปร่วมกับสภาพแวดล้อมนั้นให้มากที่สุด หรือหยุดให้ทำ Preventive maintenance ตั้งระบบใหม่

ขั้นตอนต่อไปให้ทำการนำปัจจัย ไปทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องในกระบวนการ (PFMEA) ด้วยการระดมความคิดทุกหน่วยงานเหมือนกับทำกับ C&E diagram ให้ทำการให้น้ำหนักความรุนแรง (Severe : S), การเกิดขึ้นของสิ่งนี้ (Occur : O), การตรวจพบว่าเกิดขึ้น (Detection : D) ของปัจจัยนี้อย่างเป็นระบบเพราะมีเงื่อนไข การให้น้ำหนักคะแนนกันเป็นทีมทุกขั้นตอนพิจารณาโดยสุดท้ายเราจะได้คะแนนความเสี่ยง (Risk priority Number [S x O x D]) มา พิจารณาวิเคราะห์ปัจจัย ต่อด้วยการนำมาจัดเข้า แผนภูมิพาเรโต เพื่อจัดลำดับความสำคัญของ RPN เราได้ปัจจัยมาทั้งหมด 9 ปัจจัย คิดเป็นร้อยละ 80% ของ RPN คะแนนสูงสุด จากนั้นตะแกรงกรองของการวัดระบบปัญหา จบขั้นตอนและทำการส่งต่อไปขั้นตอนการวิเคราะห์

#### ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

ปัจจัยนำเข้า (KPIVs) พิจารณาทำการทดสอบสมมติฐาน(Hypothesis test) พบว่าทุกปัจจัยเป็นข้อมูลแบบ Variable ทั้งหมดทำให้การทดสอบต้องหาอำนาจความเชื่อมั่น (B) ในการทดสอบต้องหาค่า Sample size ก่อนที่ตอบสนองต่อขนาดค่า Ax RRO อย่างน้อยแตกต่างกัน 1.5 um เป็นบทพิสูจน์ต่อตัวปัญหาสามารถรับความไวของแต่ละปัจจัย ในการทดสอบสมมติฐานอย่างไร เริ่มกับค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และค่าความผันแปร ( $s^2$ ) พบว่าการพิสูจน์จนครบทุกปัจจัย ค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ 3 ปัจจัยที่นำไปแก้ไขปรับปรุงในกระบวนการได้ก่อนเพื่อดูสมรรถนะกระบวนการที่ตอบสนองต่อการสวมอัดเป็นโรเตอร์ ตรวจสอบผลผลิตเป็นสิ่งแรกพบว่าได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากในเวลา WW#18-38(ก่อน)= 99.45% ปรับปรุง WW#39-45(หลัง)=99.84%ได้ผลดี ลดของเสียไปจำนวน 0.39% หรือ 3,900 DPPM จากนั้นทำการส่งต่อปัจจัยที่เหลือคือ 6ปัจจัย หักออกไปเพิ่มอีก 2 ปัจจัย เพราะว่าเป็นมาตรฐานการปรับตั้งปัจจุบันที่ส่งผลดีอยู่แล้ว ส่งต่อไปทำการปรับปรุง ส่วนเครื่องมือออกแบบการทดลอง 4 ปัจจัย เพิ่มอีก 2 ปัจจัยที่คาดว่าน่าจะทำให้ได้ความสัมพันธ์ (Interaction) จากอุณหภูมิอุณหภูมิต่ำกับ ระยะ Fly height ของแบริ่ง

### ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Improve phase)

โพกซ์ที่การออกแบบการทดลองเลือกของทากูชิ L-18, มี 1 ปัจจัยกับ 2 ระดับ อีก 5 ปัจจัยกับ 3 ระดับวิเคราะห์หาว่าควรกำหนดให้ปัจจัย X แต่ละตัวมีค่าเท่าใด จึงจะทำให้ Y มีค่าที่ดีที่สุดแบบ Quadratics ผลลัพธ์จาก โปรแกรม Minitab แสดงผลค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับปัญหาที่มีความเชื่อถือน้อย R-Square อยู่ที่ 20% ส่วนค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน ( $\sigma$ ) มีผลที่ดี R-Square อยู่ที่ 89% อยู่ในเกณฑ์ที่มีความไวสัมพันธ์ต่อกันเลือกพิจารณาค่าของพารามิเตอร์หลักในการปรับ Optimal ใน Minitab ต่อจากนั้นนำ Optimal ของแต่ละปัจจัยไปทำการทดสอบจริงในเครื่องสวมอัดต้นแบบ และทำการตรวจสอบผล ระหว่าง setting ปัจจุบัน กับ Optimal ด้วย DoE พบว่าผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจสามารถลด ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน ( $\sigma$ ) แคบลงด้วย เริ่มทำการประกอบโรเตอร์ในปริมาณมากขึ้น และผลลัพธ์ก็เป็นเหมือนเครื่องต้นแบบ ต่อจากนั้นเริ่มทำการขยายผลไปสู่เครื่องสวมอัดที่เหลือนจนครบสายการผลิต

### ขั้นตอนการควบคุมการผลิต (Control phase)

การควบคุมทำการออกมาตรฐานในการปฏิบัติงานพารามิเตอร์ Setting เครื่องจักร การเพิ่ม การตรวจสอบฮับจาก Supplier ปัจจัยที่มีผลดีต่อค่าปีกฮับหมุนแกว่ง และ ทำการเฝ้าตรวจสอบสมรรถนะเครื่องสวมอัดด้วย SPC chart กำหนดเป็น X-bar และ S-chart พิจารณาผลผลิตที่ต้องรักษาควไว้ที่ 99.73% คือ Sigma Quality level คือเท่ากับ  $3\sigma$  ซึ่งยังไม่ถึงระดับ  $6\sigma$  กำหนดแบบการสุ่มออกมาทุก 2 ชม.หรือ ทุก120 นาที (Turnaround time) แต่ละจุดข้อมูลมาจากการ 25 โรเตอร์ และทำการ Alarm บอกต่อผู้รับผิดชอบโดยตรงผ่านมาทาง อีเมล เพื่อทำการเฝ้าดูความต่อเนื่องของค่าปีกฮับหมุนแกว่ง ต้องไม่สูงเกินกว่าเส้นควบคุมกระบวนการทางด้านสูง (UCL) เพราะเราต้องตั้งขอบเขตป้องกัน (Guard band) ก่อนที่จะไปแตะเส้นสเปคที่แท้จริง USL

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นเพียงกรณีศึกษาใช้งานซิกส์ซิกมา DMAIC ขั้นตอนการปรับปรุงทำให้เราออกแบบ ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัญหาเป็นอย่างดี ผู้วิจัยมองว่าการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์นั้น ไม่สามารถบอกถึงคุณลักษณะที่แท้จริงของประชากรทั้งหมด และบ่อยครั้งทำให้ตีความก่อนข้อมูลที่สุ่มมาไม่ถูกต้อง และในการใช้เครื่องมือในกลุ่ม ซิกส์ซิกมาค่อนข้างใช้เวลาในการทดสอบและพิสูจน์ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งใช้ยาก ที่ผู้ปฏิบัติอยู่หน้างานไม่เข้าใจ อย่างช่างเทคนิค ทำให้มีการต่อต้านต่อการปรับตั้งเครื่องจักรเพราะถนัดแต่ Trial and error ขั้นตอนการควบคุม ระบบ SPC ช่วยเตือนช่างหน้าเครื่องเพื่อทำการหยุดไม่ให้งานเสียไหลออกมาได้อีกทางเลือก การรักษาไว้ระดับ Six Sigma Quality level จะทำได้ยากในทางปฏิบัติ เพราะการ

ปรับปรุงทุกอย่างต้องใช้เวลาในการตรวจสอบค้นหาแท้จริงของปัญหาถ้าแหล่งความแปรปรวนซ่อนมาในรูปที่ซับซ้อน ไม่สามารถแก้ไขได้อาจต้องใช้เวลาอันหยุดเครื่องจักร

การดูแลเครื่องสวมอัดเพื่อรักษาทำการปรับที่เหมาะสมที่สุด (Optimize) ให้ยาวนานที่สุด ถ้าพบว่าการผลิตโอเวอร์จนเลยไม่เว้นช่วงเวลาให้ทำการดูแลรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) เป็นสิ่งที่ผิดต้องทำการ PM ตามรอบตารางการดูแลเครื่องจักร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ทรงเกียรติ วิสุทธิพิทักษ์กุล. การใช้สถิติเพื่อการปรับปรุงกระบวนการ.กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2545.
- [2] ดร.จรัล ทรัพย์เสรี .เอกสารการเรียน หลักสูตร Six Sigma Black .กรุงเทพมหานคร: Trecon Co. Ltd., 2549.
- [3] รศ.กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ.การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น) . 2551.
- [4] รศ.ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์. การออกแบบการทดลอง DOE.กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี. (ไทยญี่ปุ่น) 2553.
- [5] รศ.ดร.พิชิต สุขเจริญพงษ์. Improvement Phase : Taguchi DOE.กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี. (ไทยญี่ปุ่น) 2555.
- [6] รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.กรุงเทพมหานคร: Top publishing. 2552.
- [7] สวทช.ร่วมพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ.ต้นวิจัยไบเศรษฐกิจผลิตผลสังคม.ปทุมธานี: สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2558.
- [8] Hiroyuki Kojima.สถิติเบื้องต้นเรียนพื้นฐานได้ง่าย ๆ ด้วยตัวเอง.กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น) . 2559.
- [9] Douglas C. Montgomery. “Applied Statistics and Probability for Engineers, 2<sup>nd</sup> edition”. John Wiley & Sons, Inc. ,1999
- [10] Intharachot Seetal, Teerawat Thepmanee and Pittaya pannil “ Yield Enhancement with Six Sigma Methodology in Spindle Motor Hub Assembly for Hard Disk Drive Production ” ICIC Express Letters, Part B: Applications. Vol.8 No.1. pp.57-63 , January 2017.
- [11] N. Kuptasthien and T. Boonsompong, Reduction of tombstone capacitor problem by six sigma technique: a case study of printed circuit cable assembly line, Proc. of IEEE International Conference on Quality and Reliability, pp.546-550, 2011.
- [12] G. T. Placido, C.Olalia and R. Alolod, Six sigma: systematic approach in probe damage reduction, Proc. of International Electronic Manufacturing Technology Conference, pp.1-6, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] C. T. Su, Y. H. Hsiang and Y. L. Liu, Enhancing the fracture resistance of medium/small-sized TFT-LCDs using the six sigma methodology, IEEE Trans. on Component, Packaging and Manufacturing Technology, vol.2, no.1, pp.149-164, 2012.
- [14] J. Fan, C. Qian, K. C. Yung, X. Fan, G Zhang and M. Pecht, Optimal design of life testing for high brightness white LEDs using the Six Sigma DMAIC approach. IEEE Trans. Device and Materials Reliability, vol.15, no.4, pp.576-583, 2015.
- [15] K. Asawarungsaengkul and S. Sukamta, Process yield improvement on the gram load adjusting process of a suspension manufacturer, Proc. of IEEE International Conference on Quality and Reliability, pp.317-321, 2011.
- [16] K. Huailuk and N. Rojanarowan, Reduction of bending defects in hard disk drive suspensions, IOSR Journal of Engineering, vol.4, no.12, pp.11-17, 2014.
- [17] Steven R. Schmidt, Mark J. Kiemele, and Ronald J. Berdine “Knowledge Base Management”. Air Academy Press & Associates. 1999.
- [18] Peter S. Pande, Robert P. Neuman, and Roland R. Cavanagh. “The way sigma Way Team Field book”. McGraw-Hill. 2002.
- [19] Karen D. Riding, Ph.D. and Dirk-Alexander Bruedern , Six Sigma in Semiconductor company. IEEE [Advanced Semiconductor Manufacturing Conference \(ASMC\), 2014 .25th Annual SEMI.](#)
- [20] What is Six Sigma? <https://goleansixsigma.com/what-is-lean-six-sigma/searching> Jul 1’2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] Intharachot Seetal, Teerawat Thepmanee and Pittaya pannil “Yield Enhancement with Six Sigma Methodology in Spindle Motor Hub Assembly for Hard Disk Drive Production” ICIC Express Letters, Part B: Applications. Vol.8 No.1 pp.57-63 January 2017.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volume 8, Number 1, January 2017

ISSN 2185-2766

ICIC  
International

## ICIC Express Letters, Part B: Applications

*An International Journal of Research and Surveys*

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Japan

Ramesh Agarwal, Washington University, USA

Indexed by *Ei Compendex (Elsevier)*  
*Scopus (Elsevier)*  
*INSPEC (IET)*

Published by ICIC International

<http://www.ijicic.org/icicelb.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICIC EXPRESS LETTERS, Part B: Applications

Volume 8, Number 1, January 2017

## CONTENTS

Physical Activity Recognition Based on Time Window Selection and Online Sequential ELM <i>Zhigang Liu, Yanan Song, Jinkuan Wang and Keyu Li</i>	1
Clustering-Based Discriminative Sparsity Preserving Projections for Unsupervised Face Recognition <i>Yongxin Wang and Huaxiang Zhang</i>	11
Hierarchy Evaluation Method for Power Transformer Condition Based on Fuzzy and Grey Clustering Analysis <i>Renjie Song, Ruiying Liu and Dongmei Ma</i>	19
Adaptive Control for an Omnidirectional Rehabilitative Training Walker with Center of Gravity Shifts and Unknown Visual Servo Parameters <i>Hongbin Chang, Shuoyu Wang, Ping Sun and Bo Shen</i>	27
Low Sensitivity Control for Minimum-Phase Systems Using Double Feedback Control <i>Xiang Yu, Jinghui Li, Daisuke Koyama, Sachie Shiomi, Takaaki Suzuki and Kou Yamada</i>	35
A Log Handling Application Framework for Process Mining of Steel Industry <i>Jong Ik Jang, Keun Hee Kim, Nayeon Kim, Gyusung Cho and Minsoo Kim</i>	43
Energy Saving Improvement of Automatic Inspection System for Coated Steel Coils <i>Chien-Yuan Liu, Chun-Fu Yang, Zhong-Ting Yang, Shinn-Horng Chen and Cheng-Yi Chen</i>	51
Yield Enhancement with Six Sigma Methodology in Spindle Motor Hub Assembly for Hard Disk Drive Production <i>Intharachot Seetal, Teerawat Thepmanee and Pittaya Pannil</i>	57
An Intelligent Portable ECG Detecting Instrument with Rhythm Analysis Function <i>Longmei Tang, Zhenghua Gan and Jing Zhang</i>	65
Simulation Experiments for Information Needed for Proper Assignment of Call Servers <i>Hyunsoo Kim, Kiwoong Park and Jun-Gyu Kang</i>	73
The Study of an Exoskeleton Gait Detection System Applied to Lower Limb Paralysis <i>Yi-Yu Lu and Zheng-Ying Li</i>	79
Research and Development of Scientific and Technical Information Sharing and Service Platform for Mass Innovation <i>Jing Zhao, Yonghong Cheng and Yi Huang</i>	85
Application of AHP in Assessing the Development of International Hot Spring Tourist Hotels on Indigenous Lands <i>Wei-Ling Hsu, Huan-Siang Luo, Shr-Wei Luo and Yee-Chaur Lee</i>	93

(Continued)

## YIELD ENHANCEMENT WITH SIX SIGMA METHODOLOGY IN SPINDLE MOTOR HUB ASSEMBLY FOR HARD DISK DRIVE PRODUCTION

INTHARACHOT SEETAL, TEERAWAT THEPMANEE AND PITTAYA PANNIL

Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang  
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
indhachod73@gmail.com; {teerawat.th; pittaya.pa}@kmitl.ac.th

Received June 2016; accepted September 2016

**ABSTRACT.** *This paper presents a systematic improvement using Six Sigma methodology for increasing process yield in a spindle motor hub assembly for hard disk drive (HDD) production. A data-driven DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) approach is utilized to improve the existing process for press fitting a hub assembly into a bearing assembly. A Six Sigma defect is defined as any hub/bearing assembly that fails the axial run-out testing for high rotational speed of 7,200 rpm. Optimization of process parameters for defect reduction to enhance process yield is based on the use of Minitab software with Taguchi method. Statistically significant results confirm that the manufacturing yield can be increased from 99.28% up to 99.78%.*

**Keywords:** Six Sigma, Yield enhancement, Production defect, DMAIC, Taguchi method

1. **Introduction.** Six Sigma is an improvement methodology for providing a framework to make an organization more competitive by focusing on variation reduction and waste reduction that lead to less defect rate and increase efficiency. One of the major tools in Six Sigma approach is the use of the five-step cycle known as DMAIC, which represents Define, Measure, Analyze, Improve, and Control, for reducing defects in production processes to enhance yield outputs [1,2], for solving problems to improve quality performance [3], and for analyzing restrictions to improve testing process capability [4]. Moreover, the Six Sigma DMAIC approach is also applied to identifying defects and variations in production processes and to determining how to reduce them for increasing process yield in hard disk drive (HDD) manufactures [5,6]. However, we develop this idea in different aspects to yield improvement for press fitting a hub assembly unit and a bearing assembly unit together during the production of spindle motor hub assembly for an HDD manufacturer when considering the concept of 'zero defects' for maximization of profitability and improvement in quality.

This paper aims to propose an implementation of step-by-step DMAIC procedures to solve the underlying problem of defect elimination for enhancing process yield. In Define phase, the rolled throughput yield was used to assess the true yield of the interesting process, and the project goal was set. In Measure phase, validating measurement systems using measurement system analysis (MSA) and gathering root causes such as fishbone diagram analysis and failure mode effects and analysis (FMEA) were focused. In Analyze phase, key process input variables (KPIVs) were identified and reduced by using the variable screening method based on hypothesis testing. In Improve phase, the design of experiment (DoE) with Taguchi's method was utilized for testing the significance of the selected KPIVs and for determining optimal levels of the significant factors. In Control phase, a control plan was set up to assist in tracking and correcting the performance of the KPIVs and key process output variable (KPOV).

The remainder of this article is organized as follows. Section 2 describes a case study for enhancing the manufacturing process yield, and Section 3 discusses the research results that illustrate the application of the Six Sigma DMAIC approach in the case study. Finally, Section 4 concludes the paper.

**2. Case Study.** This case study was executed in the HDD base plate and spindle motor manufacturer in Thailand. It deals with the reduction of significant defect in the production process of spindle motor hub assembly, sometimes called motor base assembly (MBA) as shown in Figure 1, which consists of bearing assembly unit, spindle hub assembly unit (rotor), and bracket assembly unit (stator). The MBA is assembled by two major processes. The first process is press fitting of the spindle hub assembly unit to the bearing assembly unit. The hub/bearing assembly unit is crucial to the HDD performance in terms of precision and reliability. It demands a high center run-out precision of 0.014 mm at the outside periphery of the rotor yolk. The axial run-out measurement and judgment are then performed on the production line for quality control. In the next process, the hub/bearing assembly passing the run-out testing is combined with the bracket assembly unit.

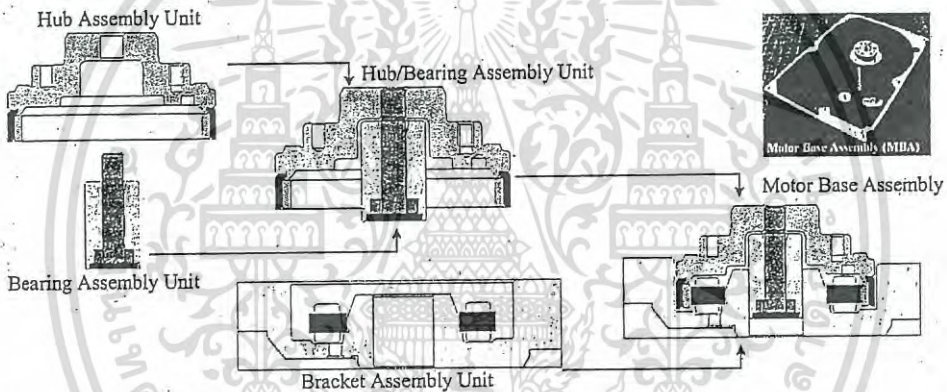


FIGURE 1. Schematic view of spindle motor hub assembly (or motor base assembly)

**3. Results.** Since the rejection level of the hub/bearing assembly unit after axial run-out testing for high rotation speed was high, and the function of this component in the finished product was highly critical, it was required to do 100% inspection. The Six Sigma DMAIC methodology was recommended for solving the interesting problem to discover the root causes.

**3.1. Define phase.** In the Define phase, the rolled throughput yield was used for true assessment of the process effectiveness. It was a large number of defects in hub/bearing assembly units from the process of press fitting the spindle hub assembly unit and the bearing assembly unit together at yield baseline of 99.28%. This defect rate amounts to 1.1 million THB/year in losses. The hub/bearing assembly that fails the axial run-out testing for high rotational speed of 7,200 rpm (see Figure 2) is defined as the defect. Thus, yield enhancement was set as the project goal.

**3.2. Measure phase.** In this phase, the MSA of defects was performed in order to assess the validity of the measurement systems. The team decided to carry out the gauge repeatability and reproducibility (GR&R) study, one of the tools in the MSA, to assess the precision errors. Results of the GR&R study and correlation with master tester are summarized in Table 1, where the acceptable criteria levels are %Contribution  $\leq 1\%$ , %Study Variance  $\leq 10\%$ , %Tolerance  $\leq 10\%$ , and Number of Distinct Category (DC)  $\geq$

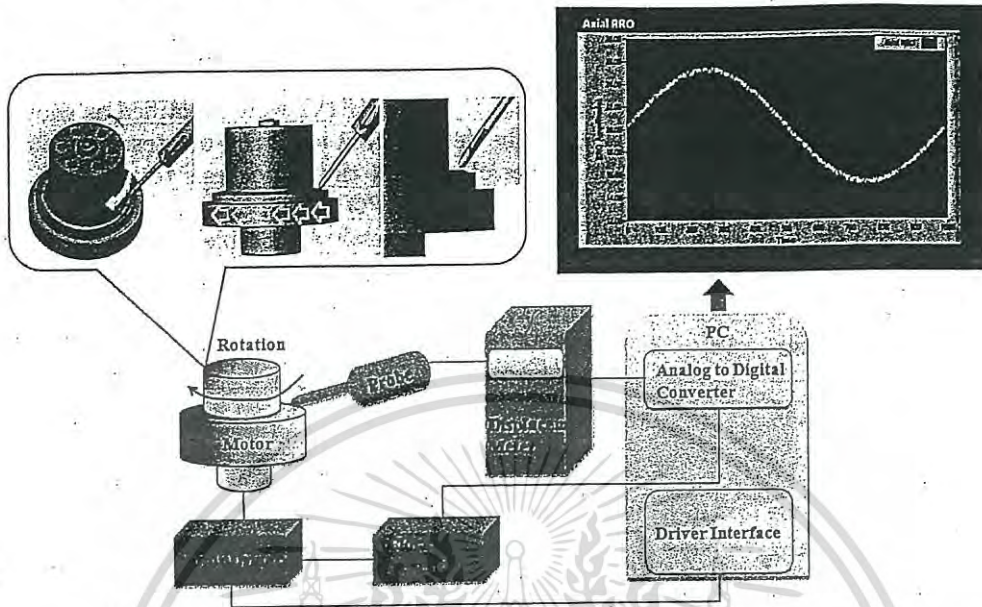


FIGURE 2. Axial run-out testing

TABLE 1. Results of the GR&R study and correlation with master tester

AxRRO Tester	%Contribution	%Study Variance	%Tolerance	No. DC	R-square	Pair-T-Test
TFX46021	0.02%	1.56%	4.31%	90	99.9%	P = 0.956
TFX57184	0.02%	1.44%	4.02%	97	99.9%	P = 0.644
TFX57190	0.03%	1.63%	4.63%	86	99.8%	P = 0.828

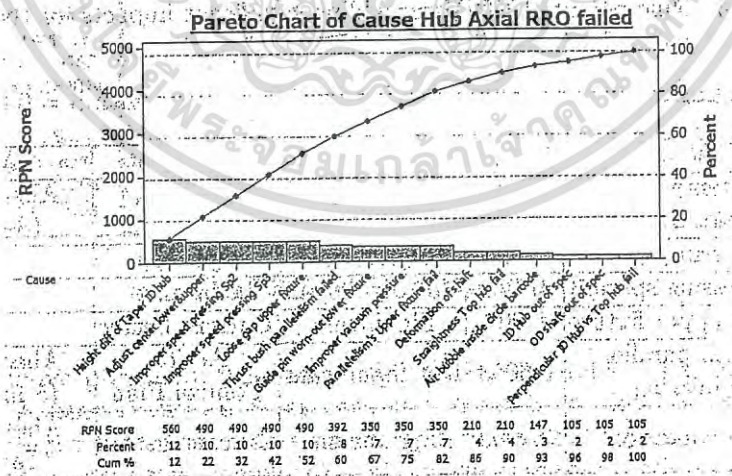


FIGURE 3. Pareto chart to display the potential causes of the defects

4. In order to identify the true root cause of the problem, the cause and effect diagram (or fishbone diagram) for team brainstorming possible causes was utilized to focus on the possibilities grouped into five categories: tester, bearing assembly, part, hub/bearing assembly, and hub assembly. Moreover, the FMEA was used as a tool to concentrate on

assessing the effects and process controls for the root causes related to the given failure modes. Figure 3 shows the Pareto chart to display the potential causes of the defects.

**3.3. Analyze phase.** In the Analyze phase, the nine KPIVs were identified as shown in Figure 4 providing significant impacts for the defects from axial run-out testing. In order to narrow down and verify the root causes of defects, the hypothesis testing was done for validating the relationships between KPIV and KPOV. The axial repeatable runout (RRO) rotor was defined as the KPOV. The sample size was 84 pieces for testing each KPIV (power of test > 90%). Table 2 gives the hypothesis testing results for KPIVs with  $\alpha = 0.05$ .

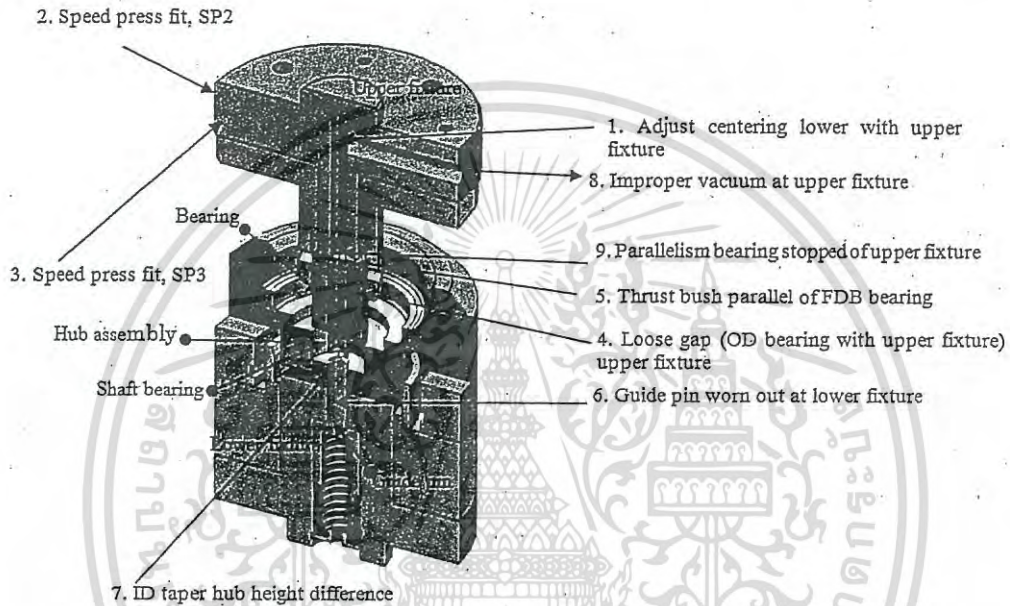


FIGURE 4. Nine potential KPIVs providing significant impacts for the defects

TABLE 2. Results of hypothesis testing for KPIVs with  $\alpha = 0.05$

KPIV	P value	Result	Comment	Action
Adjust centering lower/upper fixture	0.383	Not Significant	Set SOP	Ahead action (Set SOP)
Improper pressing speed 2	0.014	Significant	Optimize	DoE
Improper pressing speed 3	0.123	Not Significant	Optimize	DoE
Loose gap of upper fixture	0.000	Significant	Current better	N/A
Thrust bush parallel of FDB bearing	0.6053	Not Significant	Action Control Plan	Ahead action (5 $\mu\text{m}$ Max.)
Guide pin condition	0.0003	Significant	Current better	Ahead action (Taper pin)
ID taper hub height difference	0.001	Significant	Optimize	DoE
Improper vacuum pressure/upper fixture	0.087	Not Significant	Optimize	DoE
Parallelism of upper fixture failed	0.000	Significant	Set new spec.	Ahead action (0.002 mm Max.)

TABLE 3. Factors and levels of factors

Code of Factor	Description	High Level	Current Level	Low Level	Unit
Axial play	Axial gap height of bearing	0.014-0.015	N/A	0.018-0.020	mm
Speed 2	Speed press fit, SP2	1.5	2.75	4.0	mm/sec
Speed 3	Speed press fit, SP3	0.3	0.65	1.0	mm/sec
Vacuum	Improper vacuum at upper fixture	-50	-65	-80	kPa
Pre-heat	Pre-heat temp top surface hub	50	57	60	Deg C
Id Taper	ID taper hub height difference	-0.003	+0.002	+0.003	mm

TABLE 4. Current setting and DoE optimal values of six selected KPIVs

Code of Factor	Description	Current Value	DoE Optimal Value	Unit
Axial play	Axial gap height of bearing	0.014-0.018	0.0161	mm
Speed 2	Speed press fit, SP2	2.50	1.5	mm/sec
Speed 3	Speed press fit, SP3	0.70	1.0	mm/sec
Vacuum	Improper vacuum at upper fixture	-80	-80	kPa
Pre-heat	Pre-heat temp top surface hub	65	58	Deg C
ID Taper	ID taper hub height difference	+0.003	0.0003	mm

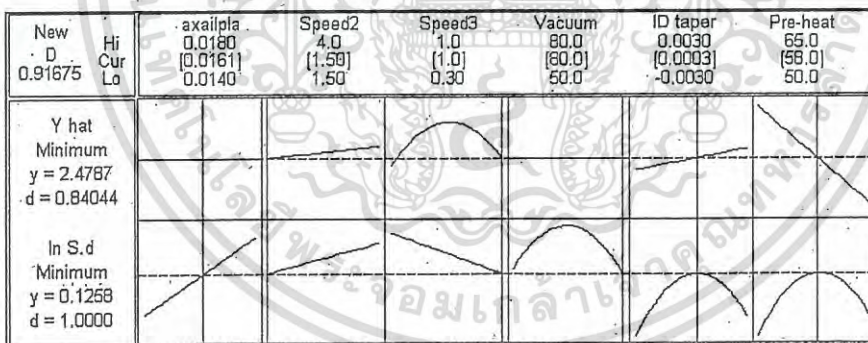


FIGURE 5. Optimal process parameters

3.4. Improve phase. In this phase, using the factors and levels as summarized in Table 3, the DoE using Taguchi L18 approach was chosen for testing the significance of the six KPIVs selected as well as for determining optimal levels of the significant factors. Table 4 displays the current setting and DoE optimal values of the six selected KPIVs (see Figure 5). The optimal parameters were used as the new setting values in the process of press fitting the spindle hub assembly unit for yield enhancement. In order to confirm that the optimal parameters can improve the production yield, the experiment was performed. From the hypothesis testing results with  $\alpha = 0.05$  as shown in Figure 6, it is evident that the process yield is increased from 99.28% to 99.78%. Figure 7 shows the yield trends of the case study in the analysis phase, improvement phase, and control phase. It is seen that improvement of the yields can be obtained by using Six Sigma DMAIC approach.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1 (POR)	14039	14141	0.992787
2 (DOE)	4033	4042	0.997773

Difference = p (1) - p (2)  
 Estimate for difference: -0.00498645  
 95% CI for difference: (-0.00700059, -0.00297231)  
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -4.85 P-Value = 0.000

FIGURE 6. Hypothesis two proportion testing results for yield enhancement

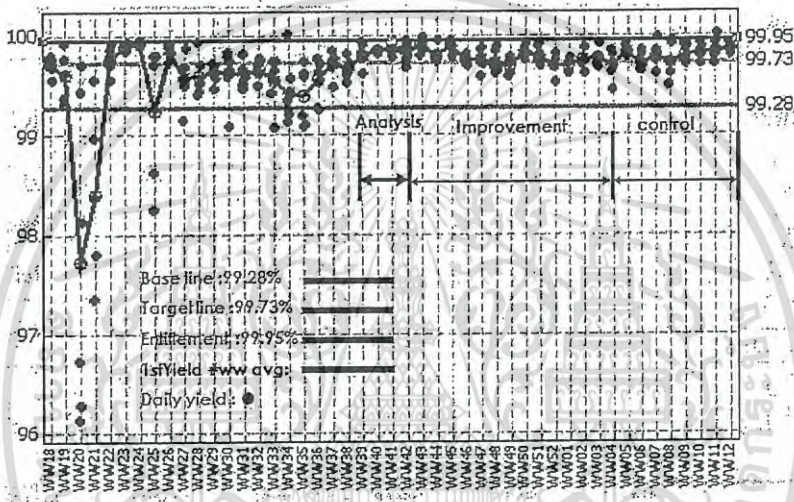


FIGURE 7. Yield trends of the case study

TABLE 5. Control plan

KPIVs and KPOV Control	Status
Machine: Setting process parameters by using DoE optimal values	Machine: Done
Material: Monitoring ID of Hub (IQA)	Material: Set optimal control of 0.0003 mm.
Method: Set standard alignment upper/lower fixture	Method: Establish standard of procedure for training
Measurement: Set up thrush bush parallel tester	Measurement: 100.% screening by tester (0.005 mm. Max.)
Monitoring: - KPOV: SPC control (X-bar and S-Chart) - KPIV: Pilot run beginning of shift build	Monitoring: - KPOV: Email notification to production personnel - KPIV: Pilot sample verification before running
FMEA: Hub assembly failed axial run-out testing	Reduce the risk priority number (RPN) by using optimal conditions The higher the RPN, the higher potential causes

3.5. Control phase. In the Control phase, the control plan was created to assist in tracking and correcting the performance of the KPIVs and KPOV as shown in Table 5.

4. Conclusions. Implementing step-by-step Six Sigma DMAIC procedures as the roadmap to solve the underlying problem of defect elimination for process yield enhancement has been presented in this paper. A case study of improving the process yield of spindle motor hub assembly production has been discussed. Experimental results verify that the process yield can be increased by the proposed improvement. In the future, a new adjustment of the KPIV values can be made as a result of the completion of the first cycle for continuously improving the production process and decreasing the variances.

#### REFERENCES

- [1] N. Kuptasthien and T. Boonsompong, Reduction of tombstone capacitor problem by Six Sigma technique: A case study of printed circuit cable assembly line, *Proc. of IEEE International Conference on Quality and Reliability*, pp.546-550, 2011.
- [2] G. T. Placido, C. Olalia and R. Alolod, Six Sigma: Systematic approach in probe damage reduction, *Proc. of International Electronic Manufacturing Technology Conference*, pp.1-6, 2014.
- [3] C. T. Su, Y. H. Hsiang and Y. L. Liu, Enhancing the fracture resistance of medium/small-sized TFT-LCDs using the Six Sigma methodology, *IEEE Trans. Component, Packaging and Manufacturing Technology*, vol.2, no.1, pp.149-164, 2012.
- [4] J. Fan, C. Qian, K. C. Yung, X. Fan, G. Zhang and M. Pecht, Optimal design of life testing for high-brightness white LEDs using the Six Sigma DMAIC approach, *IEEE Trans. Device and Materials Reliability*, vol.15, no.4, pp.576-585, 2015.
- [5] K. Asawarungsaengkul and S. Sukamta, Process yield improvement on the gram load adjusting process of a suspension manufacturer, *Proc. of IEEE International Conference on Quality and Reliability*, pp.317-321, 2011.
- [6] K. Huailuk and N. Rojanarowan, Reduction of bending defects in hard disk drive suspensions, *IOSR Journal of Engineering*, vol.4, no.12, pp.11-17, 2014.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอินทรโชติ สีताल
วัน เดือน ปีเกิด	18 ธันวาคม 2516
สถานที่เกิด	เทศบาลเมืองสระบุรี จังหวัดสระบุรี
ที่อยู่	124 ถ.พหลโยธิน ต.ปากเพรียว อ.เมือง จ.สระบุรี 18000
Email	indharachod73@gmail.com
โทรศัพท์	035387381
โทรศัพท์มือถือ	0868029693
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2540
ความชำนาญเฉพาะด้าน	Certified Six Sigma Black belt
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติ	Intharachot Seetal, Teerawat Thepmanee and Pittaya pannil “Yield Enhancement with Six Sigma Methodology in Spindle Motor Hub Assembly for Hard Disk Drive Production” ICIC Express Letters, Part B: Applications. Vol.8 No.1 pp.57-63 January 2017.
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2540-2541	วิศวกรภาคสนาม Edu system Inc.
พ.ศ.2542-2544	วิศวกรการผลิต บ. ฮิตาชิ เมททอล ปทท. จำกัด
พ.ศ.2545-2546	วิศวกรโครงการ บ.เฟลิกซ์ทรอนิกส์ ปทท. จำกัด
พ.ศ.2546-2550	วิศวกรการผลิตอาวุโส บ.นิเด็ค อิเล็กทรอนิกส์ ปทท. จำกัด
พ.ศ.2551-2556	ผจก.วิศวกรรมการผลิต บ.เบลตัน เทคโนโลยี ปทท. จำกัด.
พ.ศ.2557-2558	ผจก.การผลิต บ.ไฮลเทรลเลอร์ จำกัด.
พ.ศ.2558-ปัจจุบัน	ผจก. วิศวกรรมการผลิต บ.แมคเนคอมพิวเตอร์ พีริซัน เทคโนโลยี มหาชน จำกัด.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้