

โครงการที่ 830/2563 (วศบ.อุตสาหกรรม)



การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจสอบแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์

นายภัทรพงษ์ ขุนทิพย์มาก รหัสนักศึกษา 600612112

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ปีการศึกษา 2563

หัวข้อโครงการ	การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจสอบแผนหัวอ่าน-เขียน ฮาร์ดดิสก์
โดย	นายภัทรพงษ์ ขุนทิพย์มาก รหัสนักศึกษา 600612112
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์
ปีการศึกษา	2563

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับ
โครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงการ



ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์)



กรรมการ

(รศ.ดร.วิมลีน เหล่าศิริถาวร)



กรรมการ

(อ.ดร.ชวิศ บุญมี)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งเป็นผู้มอบความรู้ คำแนะนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้ขวัญกำลังใจ ตลอดจนให้ความกรุณาตรวจทานแก้ไขโครงการนี้ ขอขอบคุณพี่ๆทีมงาน ในบริษัท พูจิคุระ อิเล็กทรอนิกส์(ประเทศไทย) จำกัด ทุกคนที่ได้สละเวลามาให้ความรู้ คำแนะนำแนวทางในการศึกษาวิจัยจนทำให้โครงการวิจัยนี้ประสบความสำเร็จสมบูรณ์ ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์จากการเรียน และการใช้ชีวิตแก่ผู้จัดทำวิจัย ตลอดจนบุคลากร เจ้าหน้าที่ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ เสนอแนวทาง และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ในด้านการศึกษา ด้านการเงินและคอยให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิตตลอดมา

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ความรู้จากโครงการวิจัยเล่มนี้จะสามารถเป็นประโยชน์ต่อบริษัท พูจิคุระ อิเล็กทรอนิกส์(ประเทศไทย) จำกัด และผู้ที่ได้ทำการศึกษา หากมีส่วนใดบกพร่องหรือมีความผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดทำต้องขออภัยมาเป็นอย่างสูง และขอน้อมรับคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ทุกประการ

นายภัทรพงษ์ ขุนทิพย์มาก

หัวข้อโครงการ	การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจสอบแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์		
โดย	นายภัทรพงษ์ ขุนทิพย์มาก	รหัสนักศึกษา 600612090	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์		
ปีการศึกษา	2563		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจสอบแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ ซึ่งมีปริมาณการผลิตที่มากในแต่ละวัน และพบของเสียมาก จากการที่ลูกค่านำแขนหัวอ่าน-เขียนไปประกอบแต่ฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยผู้ศึกษาได้พบสาเหตุของปัญหาจากกระบวนการตรวจสอบที่มาจาก 2 ประเด็นหลักได้ดังนี้ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกวัดเรโซแนนซ์ 2.ขั้นตอนไม่มีระบบแสดงผลวัดค่าเป็นตัวเลข

จากการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของปัญหาที่ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกวัดเรโซแนนซ์ พบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหัวกวัดเรโซแนนซ์ที่ออกแบบใหม่มีค่าความผันแปรจากระบบการวัด Total Gage R&R มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ความแปรปรวนของระบบการวัดอยู่ในระดับที่ดีมาก ค่า P/T Ratio หลังปรับปรุงอยู่ในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้แสดงว่าระบบมีการวัดมีสมรรถภาพที่ดี และค่า NDC มีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบมีความไวในการแยกแยะของดีเสีย และในส่วนของปัญหาที่ 2.ขั้นตอนที่ไม่มีระบบแสดงผลวัดค่าเป็นตัวเลข ผู้วิจัยได้ทำการสร้างเครื่องวัดใหม่นั้นผลที่ได้จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($r > 0.9$) ทุกตำแหน่งเทียบกับเครื่องวัดสามมิติ (CMM) และมีความสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P > 0.05$ จึงสรุปได้ว่าการตรวจชิ้นงานด้วยเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์แบบใหม่ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Project Title	Inspection Efficiency Improvement of Actuator Arms	
Name	Phattharaphong Khuntipmak	Code 600612112
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University	
Project Advisor	Associate Professor Wichai Chattinnawat, PH.D.	
Academic Year	2020	

ABSTRACT

This project aims to optimize the process of inspecting the read/write heads in hard disk. Which has a large production volume each day and found a lot of waste as the customer uses a read-write head arm to assemble, but the hard disk can't work at full capacity. The researcher found the cause of the problem from the audit process that came from 2 main points as follows. 1. Problems from the resonant indenter 2. The procedure does not have a display system to measure the value as a number.

From the improvement of the problem at 1. Problems from the resonant indenter It was found that the variance analysis results of the newly designed resonance indenter experiment showed the variation from the total gage R&R measuring system was less than 10 percent. The variance of the measuring system was excellent. The P/T Ratio after improvement was in the range of 10-30%, which is an acceptable value indicating that the system had good performance and an NDC value greater than 5 indicates that the system was sensitive to goods separation. And in the part of the problem 2. The step without a numerical display system. The analyzer rebuilt the meter, the results of the correlation coefficient test ($r > 0.9$) at all positions relative to the three-dimensional measuring machine (CMM) and statistically significant at the $P > 0.05$ level. Can be that the inspection of the work piece with the new read/write head arm measurement machine There was a linear relationship with statistical significance.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการวิจัย	
3.1 ศึกษากระบวนการผลิตและเก็บข้อมูลเบื้องต้น	16
3.2 วิเคราะห์สภาพการทำงานในปัจจุบัน	17
3.3 กำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไข	18
3.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข	19
3.5 ติดตามและเปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง	25
3.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการวิจัย	
4.1 ศึกษากระบวนการผลิตและเก็บข้อมูลเบื้องต้น	27
4.2 วิเคราะห์สภาพการทำงานในปัจจุบัน	30
4.3 กำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไข	39
4.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข	41
4.5 ติดตามและเปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	56
5.2 อุปสรรคที่พบระหว่างทำการศึกษา	57
5.3 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบ Drawing หัวกดวัดเรโซแนนซ์ (Delrin clamp)	59
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างและติดตั้งอุปกรณ์	61
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการใช้งานเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-แขนฮาร์ดดิสก์ (New Vision Inspection Machine)	64
ภาคผนวก ง การทดสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	70
ประวัติผู้เขียน	85

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
4.1	รายละเอียดการปฏิบัติงานของสายการผลิตตัวอย่าง	30
4.2	รายละเอียดแผนปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบต่อ 1 สายกระบวนการ	30
4.3	การตรวจเช็คขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ ก่อนปรับปรุง	33
4.4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง	35
4.5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหัวกดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง	36
4.6	การตรวจเช็คขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ หลังปรับปรุง	43
4.7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหัวกดวัดเรโซแนนซ์หลังปรับปรุง	52
4.8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการก่อนและหลังปรับปรุง	54
4.9	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	55

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 ผังการไหลของกระบวนการผลิตของสายการผลิตกรณีตัวอย่าง	2
2.1 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรมโซลิดเวิก (Solid Works)	7
2.2 โปรแกรมเอ็นไอ วิชั่น บิลเดอร์ (NI Vision Builder)	8
2.3 การตรวจสอบความคล้าย	8
2.4 การ Calibration	8
2.5 ฟังก์ชันในการวัดค่าต่าง ๆ	8
2.6 การตรวจหาขอบ และการสร้างจุดอ้างอิง (X, Y, Angle)	9
2.7 การตรวจจับขอบชิ้นงาน	9
2.8 การประมวลผลรูปร่าง	10
2.9 การระบุครีปและรอยบิ่น	10
2.10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์	11
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	15
3.2 แขนห้วอ่าน-เขียนในฮาร์ดดิสก์	16
3.3 ส่วนประกอบของแขนห้วอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (ก) คอมป์ (ข) แคมเปอร์ (ค) สตีฟฟินเนอร์ (ง) เทล และ (จ) คอยล์	16
3.4 แผนผังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why-why Analysis	18
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา	18
3.6 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด ด้านฮ็อฟซี	19
3.7 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด ด้านดาตัมซี	19
3.8 หัวกดวัดเรโซแนนซ์ (Delrin Clamp)	20
3.9 ฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน 1 ชิ้นส่วน	21
3.10 เมนู Sketch สำหรับเริ่มการสร้างชิ้นงาน	21
3.11 มุมมองต่าง ๆ ในการ Sketch ชิ้นงาน	22
3.12 การวาดชิ้นงานและกำหนดขนาดสัดส่วน	22
3.13 คำสั่งต่าง ๆ ในการประกอบชิ้นงาน	23
3.14 คำสั่ง Mate สำหรับประกอบชิ้นส่วนที่ออกแบบ	23
3.15 การปิด Mode View	24

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.16 การนำไฟล์ชิ้นงานเข้ามาวางแบบ Standard 3 View	24
4.1 การตรวจวัดชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) และหน้าจอแสดงผล	27
4.2 เครื่องตรวจวัดค่าความถี่การสั่นไหว (Resonance) และหน้าจอแสดงผล	28
4.3 การตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) และหน้าจอแสดงผล	28
4.4 แผนผังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why Why Analysis	30
4.5 ลักษณะของหัวกดวัดเรโซแนนซ์แบบเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้ว	31
4.6 เครื่องวัดขนาดด้วยการประมวลผลภาพ IM-6000	31
4.7 ผลการทดสอบขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ทั้ง 3 ตำแหน่ง ด้วยการทำแผนภาพกล่อง	33
4.8 กราฟวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหัวกดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง	36
4.9 วางชิ้นงานบนฐาน	37
4.10 โปรแกรมคำนวณและแสดงผล	37
4.11 การเซตค่ากล้องให้ตรงกับตัวมาสเตอร์	38
4.12 การตรวจวัดชิ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) และหน้าจอแสดงผล	38
4.13 แบบตรออิงของหัวกดวัดเรโซแนนซ์	39
4.14 การประกอบ (Mate) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน	40
4.15 แบบโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อติดตั้งเลนส์และกล้องทั้ง 2 ตัว	40
4.16 แบบของฐานรองใส่ชิ้นงานในการวัด	41
4.17 แบบจำลองเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (New Vision Inspection Machine)	41
4.18 หัวกดวัดเรโซแนนซ์ที่ทำการออกแบบใหม่	42
4.19 ผลการทดสอบขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ทั้ง 3 ตำแหน่ง ด้วยการทำแผนภาพกล่อง	43
4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด ที่การวัดของตำแหน่งที่ 1	44
4.21 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด ที่การวัดของตำแหน่งที่ 2	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.22 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด ที่การวัดของตำแหน่งที่ 3	45
4.23 เครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (New Vision Inspection Machine)	46
4.24 ตัวอย่างโปรแกรมเอ็นไอ วิชั่น บิลเดอร์ (NI Vision Builder)	46
4.25 การเพิ่ม Devices Input/Output	47
4.26 อุปกรณ์ที่ใช้และทำการเชื่อมต่อ Devices Ni USB-6501	47
4.27 การเพิ่มและการเลือกชนิดของ Input/Output	48
4.28 การกำหนด Port/Line และกำหนดชื่อของ Input/Output	48
4.29 หน้าต่างของโปรแกรม NI Vision Builder	49
4.30 การกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม	49
4.31 การคำนวณจุดที่กำหนดกับเส้นอ้างอิงและคำนวณ	50
4.32 จอแสดงผลค่าสเปคขึ้นงานทั้ง 2 ด้าน	50
4.33 กราฟวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองห้วงวัดเรโซแนนซ์หลังปรับปรุง	52
4.34 แนวทางในการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบก่อนและหลังปรับปรุง	55

บทที่ 1

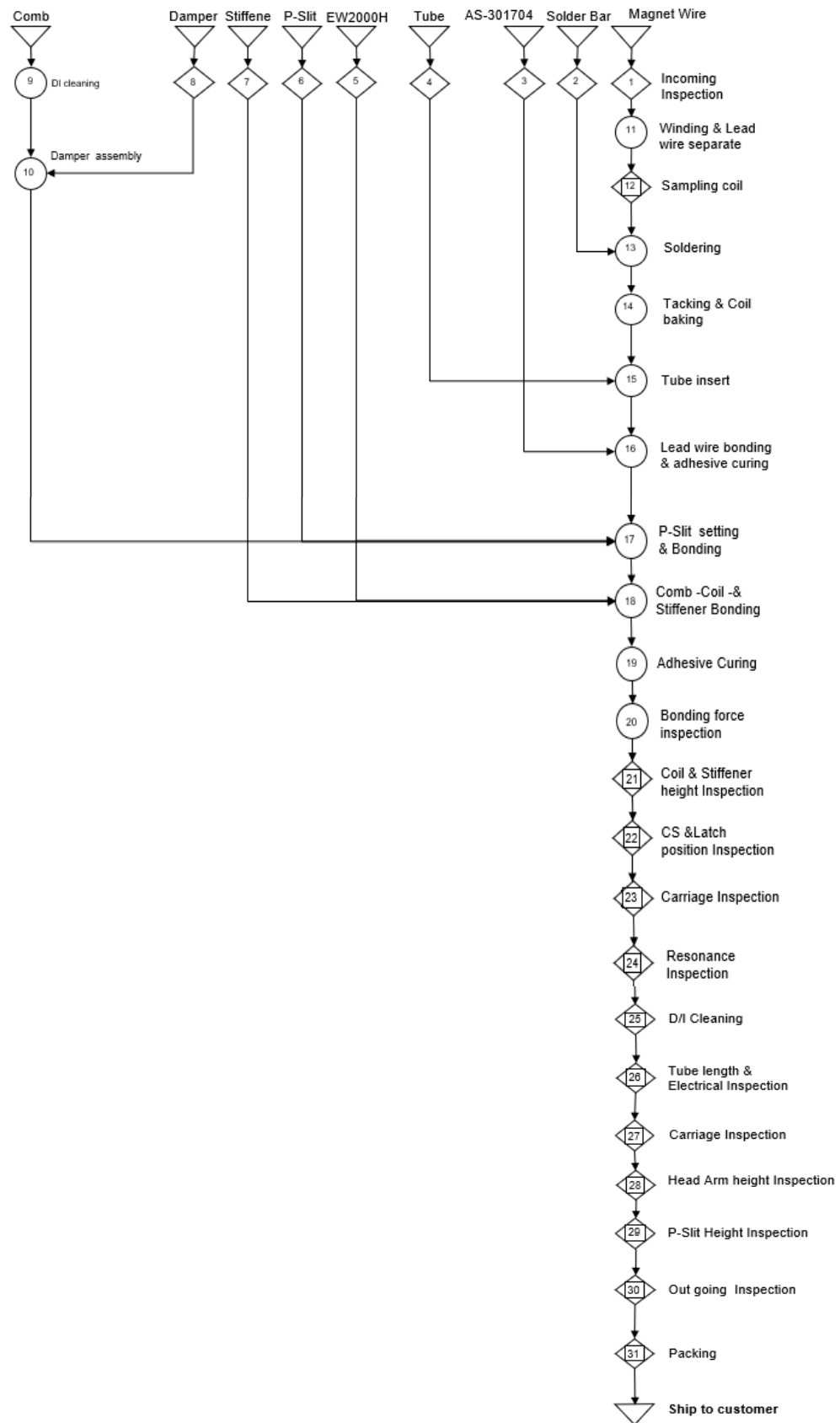
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศไทย มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องจำนวนมากในแต่ละปี และในปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจใอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างสูง ซึ่งการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่รวดเร็วจะสามารถช่วยให้เกิดความได้เปรียบทางการค้า จึงทำให้โรงงานอุตสาหกรรมหรือการขนส่งต่าง ๆ ต้องการที่จะลดค่าใช้จ่ายด้วยการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาแทนที่คนงานในงานอุตสาหกรรมมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปและเพิ่มผลผลิตให้ได้ผลผลิตมากขึ้นและใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บริษัท พูจิกระ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นหนึ่งในบริษัทที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดได้แก่ 1. Actuator Assemblies for HDD 2. Membrane Switches 3. Thermal Solution Assemblies เป็นต้น ผู้ศึกษาได้มีโอกาสเข้าไปศึกษาและเรียนรู้ที่บริษัทในส่วนของการผลิตผลิตภัณฑ์ Actuator arms หรือ Carriage ซึ่งเป็นการผลิตแขนหัวอ่าน-เขียนที่เป็นส่วนประกอบในฮาร์ดดิสก์ จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นผลิตนี้มีการผลิตในปริมาณมากในแต่ละวัน และพบของเสียในปริมาณมากอีกทั้งยังต้องทำการผลิตให้ทันตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งทางบริษัทมีความต้องการค่าที่ได้จากการวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ที่แม่นยำและตรวจสอบได้รวดเร็วเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้มากขึ้นและต้องการลดจำนวนพนักงานในสายการผลิตลง

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ในแต่ละกระบวนการของการตรวจสอบชิ้นงาน เนื่องจากในแต่ละกระบวนการใช้วิธีตรวจสอบชิ้นงานที่แตกต่างกันจึงทำให้ต้องมีการเก็บข้อมูลแยกกันในแต่ละกระบวนการ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางในการแก้ไข โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้ โดยมีขั้นตอนกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ตามผังการไหล แสดงดังภาพ 1.1



ภาพ 1.1 ฟังการไหลของกระบวนการผลิตของสายการผลิตตัวอย่าง

เนื่องจากปัจจุบัน บริษัท ฟุจิคุระ อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด แผนก Hard Disk Drive (HDD) พบว่ามีปัญหาร้องเรียนมาจากการที่ลูกค้านำแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไปประกอบแล้วฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยหนึ่งในสาเหตุหลักมาจากขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานวัดค่าได้ไม่แม่นยำทำให้ชิ้นงานที่เป็นของเสียหลุดผ่านไปกับชิ้นงานดี โดยปัญหาที่มาจากขั้นตอนการตรวจสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลักคือ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกวดวัดเรโซแนนซ์ 2.ขั้นตอนที่ 3 ไม่มีระบบแสดงผลวัดเป็นค่าตัวเลข

ซึ่งจากที่ได้รับโอกาสเข้าฝึกงานที่บริษัทผู้จัดทำได้เรียนรู้และศึกษาเกี่ยวกับปัญหาด้านอุตสาหกรรมในโรงงาน ผู้จัดทำได้รับมอบหมายในส่วนของการปรับปรุงขั้นตอนในกระบวนการตรวจสอบ โดยทำการออกแบบหัวกวดวัดเรโซแนนซ์ใหม่เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการวัดกับหัวกวดวัดเรโซแนนซ์แบบเก่าที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบัน และสร้างเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์แบบใหม่ โดยรวม 2 ขั้นตอนเข้าด้วยกัน เพื่อลดต้นทุนค่าเครื่องจักร อุปกรณ์ และเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่ลูกค้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนของแผนกไดเมนชันให้สูงขึ้น
- 1.2.2 เพื่อทดสอบและหาประสิทธิภาพการวัดของหัวกวดเรโซแนนซ์แบบใหม่กับแบบเก่า
- 1.2.3 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดขนาดของแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ใหม่

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สถานที่ศึกษา บริษัท ฟุจิคุระ อิเล็กทรอนิกส์(ประเทศไทย) จำกัด โรงงานลำพูน 1 เลขที่ 68/1 หมู่ที่ 4 ถนน ซุปเปอร์ไฮเวย์ ตำบล บ้านกลาง อำเภอ เมืองลำพูน จังหวัด ลำพูน 51000

1.3.2 ศึกษาขั้นตอนการตรวจสอบของแผนก Dimension เริ่มจากขั้นตอนการตรวจชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) เครื่องวัดค่าความถี่การสั่นไหว (Resonance) และตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) รวมถึงการซ่อมบำรุงและเตรียมเครื่อง

1.3.3 การศึกษาร่วมกับทีมงานในบริษัทเกี่ยวกับการออกแบบการปรับปรุงกระบวนการและปรับเปลี่ยนรูปแบบให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้แนวทางในการนำเสนอการปรับปรุงให้กับโรงงาน
- 1.4.2 อัตราการผลิตของกระบวนการเพิ่มขึ้นกับทรัพยากรแรงงานที่ลดลง
- 1.4.3 ได้แนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น ที่กระบวนการคล้ายคลึงกันได้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้จัดทำโครงงานจำเป็นต้องใช้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ โปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) ในการออกแบบหัวกดชิ้นงาน (Indenter Design) เพื่อทดสอบผลของขนาดหัวกดชิ้นงานด้วยเครื่องมือวัด (Measurement test) และใช้ทฤษฎีเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ผล (Analysis) ผู้ศึกษาได้ศึกษากรอบแนวความคิดทางทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องโดยแยกออกเป็นประเด็นดังนี้

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

ณัฐยา (2554) กล่าวว่า 7 เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิดนี้ ตั้งชื่อตามนักรบในตำนานของญี่ปุ่นที่ชื่อ "เบงเค" (Ben-ke) ผู้ซึ่งมีอาวุธอันร้ายกาจแตกต่างกัน 7 ชนิด พกอยู่ที่หลัง และสามารถเลือกดึงมาใช้สยบคู่ต่อสู้ที่มีฝีมือร้ายกาจคนแล้วคนเล่า

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงาน ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุแห่งปัญหา ที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้องตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิดสามารถแจกแจงได้ดังนี้

1. ใบตรวจสอบ (Check Sheet) ใช้ในการบันทึก และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่ามีอาการของเสีย จำนวนของเสีย จุดบกพร่องมากน้อยแค่ไหน ซึ่งในการออกแบบใบตรวจสอบที่ดีนั้นจะต้องสามารถบันทึกข้อมูลได้ง่ายและครบถ้วน เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการขัดเกลาข้อมูล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และหาแนวทางในการแก้ปัญหา

2. แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) ใช้ในการวิเคราะห์ว่าอะไรคือสาเหตุหลักหรือปัญหาหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสียหรือจุดบกพร่อง โดยมากแล้วแผนภูมินี้จะถูกนำมาใช้ในการแสดงให้เห็นขนาดของปัญหาและเพื่อจัดลำดับความสำคัญ หลักการของพาเรโตนั้นใช้หลัก 20/80 – ส่วนน้อยร้อยละ 20 จะเป็นส่วนสำคัญ และอีกร้อยละ 80 จะเป็นส่วนที่ไม่สำคัญ เช่น มีปัญหาอยู่เพียงร้อยละ 20 เท่านั้นที่สร้างความเสียหายส่วนใหญ่ให้กับกิจการ จึงต้องทำการแก้ไขปัญหานี้ก่อน ซึ่งอาจจะพิจารณาจากจำนวน หรือ มูลค่าก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม

3. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือที่เราเรียกกันบ่อยๆ ใหม่ว่าแผนภูมิกระดูกปลา (Fishbone Diagram) หรือแผนผังอิชิกาวา (Ishigawa Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้สำหรับพิสูจน์หาสาเหตุของสาเหตุหลักหรือปัญหาหลัก ที่ได้จากการสร้างแผนภาพพาเรโต โดยเราจะนำสาเหตุหลักหรือปัญหาหลักไว้ที่หัวปลา และจะหาสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหาหลักนี้ไว้ที่บริเวณก้าง โดยใช้หลักการ Why Why Analysis เป็นการถามเพื่อหาสาเหตุของปัญหาหลัก และวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาช่วยกันหาสาเหตุ และกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหา รวมถึงผู้รับผิดชอบ

4. กราฟ (Graph) คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้ เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เพื่อให้เข้าใจและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ โดยสามารถแบ่งประเภทของกราฟได้ดังนี้

ก. กราฟแท่ง ใช้เมื่อมีข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ข้อมูล โดยใช้การเปรียบเทียบที่พื้นที่ของกราฟ แต่ไม่เหมาะสมที่จะใช้ดูแนวโน้มในระยะยาว แต่เหมาะสมสำหรับข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา

ข. กราฟเส้น ใช้สำหรับดูแนวโน้ม การพยากรณ์ในอนาคต ทำนายผลจากข้อมูลในอดีตได้ หรือใช้ในการควบคุมแผนงานให้ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ค. กราฟวงกลม พื้นที่ของกราฟแต่ละส่วนที่แบ่งออกมาจะแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนในแต่ละส่วนประกอบของข้อมูลว่าเป็นกี่ส่วนขององค์ประกอบทั้งหมด

ง. กราฟใยแมงมุม เป็นกราฟรูปหลายเหลี่ยม ซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความมากน้อยของแต่ละส่วน โดยกำหนดตำแหน่งจุดลงในแต่ละเส้นแกนของกราฟ และใช้เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง หรือเปรียบเทียบเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

จ. แผนภาพกระจาย (Scatter Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้หาความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุและผลกันของปัญหาที่เกิดขึ้น ว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยให้แกนนอนเป็นสาเหตุและแกนตั้งเป็นผล ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ว่ามีลักษณะแบบใด

ฉ. ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภาพการกระจายข้อมูล ซึ่งจะแสดงค่ากลางของปัญหาและค่าความแปรปรวนของข้อมูล ฮิสโตแกรมจะแสดงอยู่ในรูปแบบกราฟแท่งแบบ

เฉพาะ โดยแกนตั้งจะเป็นตัวเลขแสดงความถี่ และมีแกนนอนเป็นข้อมูลของคุณสมบัติของสิ่งที่เราสนใจ โดยจะเรียงลำดับจากความถี่มากไปหาความถี่น้อย

ข. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิที่เราใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต โดยเราจะวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีความแปรปรวนผิดปกติ หรือสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งประเภทของแผนภูมิควบคุมเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ แผนภูมิที่ชนิดของข้อมูลเป็นข้อมูลแบบต่อเนื่องหรือค่าวัด (Variable Control Chart) และแผนภูมิที่ชนิดของข้อมูลเป็นข้อมูลแบบช่วงหรือค่านับ (Attribute Control Chart)

2.2.2 ทฤษฎีโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks)

SolidWorks ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1991 และก่อตั้งเป็นบริษัท SolidWorks Corporation ในปี 1993 โดย Jon Hirschtick ผู้สำเร็จการศึกษาจาก MIT เขาฟอร์มทีม Developer และมีจุดมุ่งหมายว่าจะพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบสามมิติที่ง่ายต่อการใช้งาน ราคาพอเหมาะ และสามารถใช้งานบน Window Desktop ได้ โดยได้ปล่อยผลิตภัณฑ์ตัวแรกคือ SolidWorks 95 ในปี 1995 ต่อมาบริษัท Dassault Systems ได้เข้ามาถือหุ้น SolidWorks ในปี 1997 ซึ่งได้ควบคุมดูแลเกี่ยวกับ SolidWorks จนเวอร์ชันปัจจุบัน SolidWorks เป็นซอฟต์แวร์สำหรับการออกแบบ 3 มิติที่ได้รับความนิยมสูงสุด โดยได้รับความไว้วางใจจากวิศวกรและนักออกแบบกว่า 2,500,000 ราย จาก 200,000 องค์กรทั่วโลกและมีการอัปเดตและปรับปรุงเวอร์ชันใหม่ๆอยู่เรื่อย ๆ ตามกระแสตอบรับจากผู้ใช้งาน จึงทำให้ SolidWorks เป็นซอฟต์แวร์ที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด SolidWorks เวอร์ชันปัจจุบัน คือ Solid works 2020 ในประเทศไทย SolidWorks S มี Authorized Reseller คือ Metro Systems โดย SolidWorks ประกอบไปด้วยโปรแกรมพื้นฐาน คือ SolidWorks 3D CAD ได้แก่

SolidWorks Standard เพิ่มความเร็วในการออกแบบ และปลดล็อกคุณประโยชน์ในด้านการออกแบบ 3D สำหรับการแก้ไขปัญหาในด้านการสร้างชิ้นส่วนที่รวดเร็ว, ส่วนประกอบและการ Drawing 2D ด้วยเครื่องมือเฉพาะตัวอย่างเช่น แผ่นโลหะ, งานเชื่อม, พื้นผิวและเครื่องมือเกี่ยวกับแม่พิมพ์ ด้วยสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยให้ท่านสามารถที่จะส่งมอบการออกแบบที่ดีที่สุดให้แก่ลูกค้าได้

SolidWorks Professional สร้างโดยอยู่บนพื้นฐานความสามารถของ SolidWorks Standard โดยมีการเพิ่มความสามารถทางด้านการออกแบบ, การจัดการเกี่ยวกับเอกสาร, การแสดงผลเสมือนจริง, การออกแบบโดยอัตโนมัติ, การตรวจสอบการวาด Drawing, ส่วนประกอบย่อยที่ซับซ้อนและชิ้นส่วน

SolidWorks Premium เป็นการแก้ไขปัญหาด้านการออกแบบ 3D ซึ่งมีการเพิ่มความสามารถในการจำลองที่มีประสิทธิภาพและความสามารถในการตรวจสอบการออกแบบไปจนกระทั่งถึงความสามารถของ SolidWorks Professional รวมทั้งการทำงานร่วมกัน ECAD/ MCAD การทำ

วิศวกรรมย้อนกลับ ความสามารถในการทำงานเกี่ยวกับลวดชั้นสูงและฟังก์ชันการกำหนดเส้นทางท่อ นอกจากนี้ยังมี Multi-Product ที่เป็นส่วนเสริมในการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่

SolidWorks Simulation คือ โปรแกรมการจำลองวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการสร้างชิ้นงานจริง

SolidWorks Electrical คือ โปรแกรมออกแบบเขียนแบบทางด้านงานระบบ ไฟฟ้า

SolidWorks PDM คือ ซอฟต์แวร์ ที่ช่วยในการจัดการจัดเก็บ ข้อมูลให้เป็นระบบ

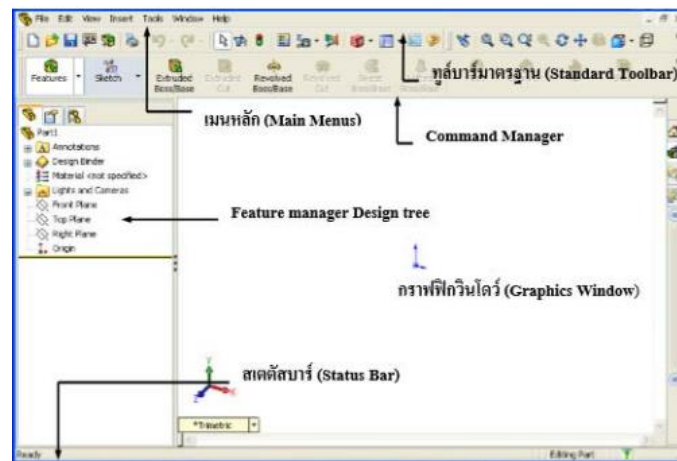
SolidWorks Composer คือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสร้าง เอกสาร ในรูปแบบภาพ

Exalted Part คือ โปรแกรมที่ยกระดับความสามารถจากการวิเคราะห์ เพื่อลดความซ้ำซ้อน

SolidWorks MBD (Model Based Definition) คือ เครื่องมืออ่านชิ้นงานแบบเป็น 3 มิติ

SolidWorks Visualize คือ โปรแกรมสร้างกราฟิกที่มีคุณภาพสูง

ตัวอย่างหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม SolidWorks ดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 หน้าต่างการใช้งานโปรแกรม SolidWorks

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/basicsolidworks/>

2.2.3 ทฤษฎีโปรแกรมเอ็นไอ วิชั่น บิลเดอร์ (NI Vision Builder)

ซอฟต์แวร์วิชั่นสำเร็จรูปที่สามารถพัฒนางานวิชั่นได้โดยการเขียนโปรแกรมในลักษณะ Flow Chart และการเซตติง ดังภาพ 2.2 แทนการเขียนโปรแกรมแบบ Text Based แบบเก่าๆ ซึ่งยากและใช้เวลาในการเรียนรู้

สามารถใช้งานกับกล้อง และการด์ได้มากกว่า 1,000 ชนิด

สามารถสร้างงานวิชั่นได้อย่างรวดเร็วโดยการเขียนโปรแกรมแบบ Flow Chart

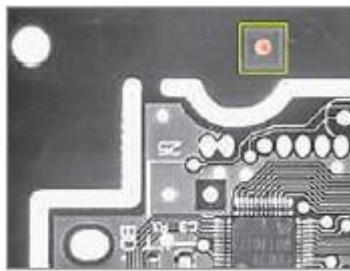
มาพร้อมกับอัลกอริทึมวิชั่นส์



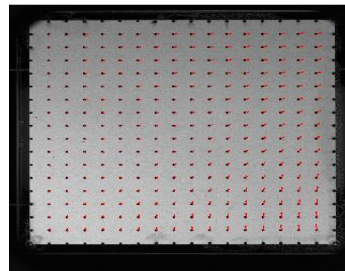
ภาพ 2.2 โปรแกรมเอ็นไอ วิชั่น บิลเดอร์ (NI Vision Builder)

ที่มา : [http://www.thaisdk.co.th/product/vision-builder-run-time
-license/](http://www.thaisdk.co.th/product/vision-builder-run-time-license/)

ฟังก์ชันในการตรวจสอบความคล้าย Pattern and Geometric Matching เทียบกับภาพ
ต้นแบบ ดังภาพ 2.3 และฟังก์ชันการ Spatial Calibration ดังภาพ 2.4



ภาพ 2.3 การตรวจสอบความคล้าย



ภาพ 2.4 การ Calibration

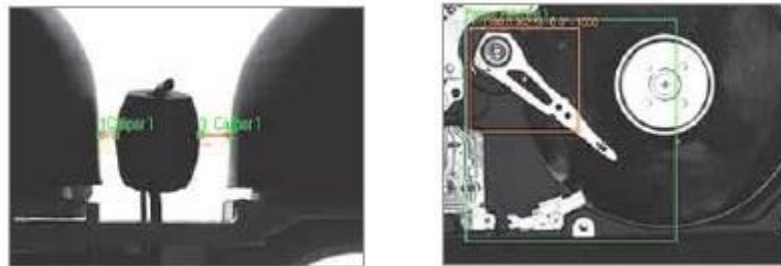
ฟังก์ชัน Gauging ในการวัดค่าต่างๆ เช่น รัศมี, ระยะห่างระหว่างจุด, องศา เป็นต้น ใน
รูปแบบของ พิกเซล หรือค่าหน่วยจริง เช่น มิลลิเมตร (แต่ต้องทำการ Calibration ก่อน) ดังภาพ
2.5



ภาพ 2.5 ฟังก์ชันในการวัดค่าต่าง ๆ

ที่มา : <https://www.opto.de/en/software/>

ฟังก์ชัน Edge Detection ในการตรวจหาขอบ และฟังก์ชัน Coordinate Systems ในการสร้างจุดอ้างอิง (X, Y, Angle) ดังภาพ 2.6



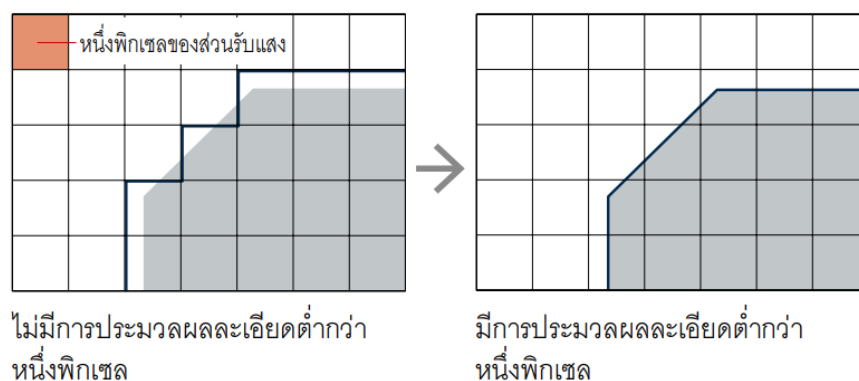
ภาพ 2.6 การตรวจหาขอบ และการสร้างจุดอ้างอิง (X, Y Angle)

ที่มา : <https://www.opto.de/en/software/3rd-party-software/>

2.2.3 ทฤษฎีระบบเครื่องมือวัดขนาดด้วยการประมวลผลภาพ (IM-6000 Series)

เป็นระบบเครื่องมือวัดที่มีฟังก์ชันการวัดโดยอัตโนมัติ ทำการวัดได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนโปรแกรม โดยที่วัดขนาดได้สูงสุดถึง 99 รายการภายในเวลาไม่กี่วินาที บันทึกข้อมูลการวัดและสร้างรายงานการตรวจสอบโดยอัตโนมัติ เพื่อลดความผิดพลาดจากผู้ปฏิบัติงาน เช่น ข้อผิดพลาดในการวางตำแหน่ง ข้อผิดพลาดในการโฟกัส ข้อผิดพลาดจากระดับทักษะ เป็นต้น โดยโปรแกรมมีการตรวจจับภาพได้อัตโนมัติ โดยแสดงดังหัวข้อถัดไป

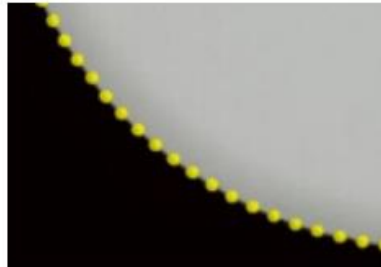
2.2.3.1 การประมวลผลละเอียดต่ำกว่าหนึ่งพิกเซล คือ สามารถให้มุมมองภาพกว้างในขณะที่ยังคงรักษาความสามารถในการวัดค่าที่มีความแม่นยำสูงได้ด้วยการแยกแยะแต่ละพิกเซลเป็น 100 พิกเซลย่อยหรือมากกว่านั้น ดังภาพ 2.7



ภาพ 2.7 การตรวจจับขอบชิ้นงาน

ที่มา : <http://mechacity.blogspot.com/2013>

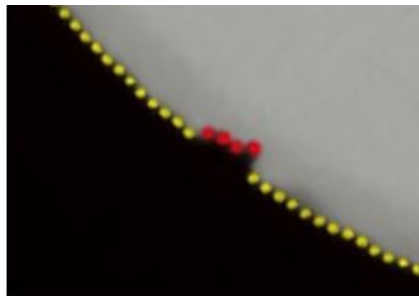
2.2.3.2 การประมวลผลรูปร่าง เส้นและวงกลมจะถูกตรวจจับโดยใช้พีทตั้งยกกำลังสองน้อยที่สุด (least squares fitting) 100 จุด หรือมากกว่านั้น ขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงาน ดังภาพ 2.8



ภาพ 2.8 การประมวลผลรูปร่าง

ที่มา : <https://www.keyence.co.th/products/measure-sys/image-measure/im/>

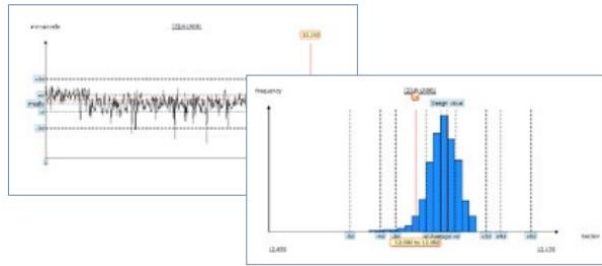
2.2.3.3 การระบุครีบริบและรอยบินอัตโนมัติ คือ ครีบริบและรอยบินที่พบในพื้นที่การตรวจจะถูกจำแนกโดยอัตโนมัติและจะถูกตัดออกจากกระบวนการประกอบเนื่องจากเป็นพื้นที่ผิดปกติ อีกทั้งยังสามารถตั้งค่าระบบเพื่อหยุดการวัดชั่วคราวเมื่อพบครีบริบหรือรอยบินที่มีขนาดเกินกว่าเกณฑ์ได้ ดังภาพ 2.9



ภาพ 2.9 การระบุครีบริบและรอยบิน

ที่มา : <https://www.keyence.co.th/products/measure-sys/image-measure/im/>

2.2.3.4 รับข้อมูลของแนวโน้มและค่าความแปรผันได้ คือ กราฟแนวโน้มในตัวและฟังก์ชันฮิสโตแกรมช่วยในการตรวจสอบแนวโน้มและความแปรผันของชิ้นงานที่ถูกวัดดังเช่นรายละเอียดด้านล่างโดยใช้กราฟ ดังภาพ 2.10



ภาพ 2.10 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์

ที่มา : <https://www.keyence.co.th/>

2.2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัด หรือ MSA คือ การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของการวัดเพื่อแยกแหล่งของความแปรผัน เช่น จากคน เครื่องมือ วิธีการ สภาพแวดล้อม เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงลดความแปรผัน ทำให้การวัดมีความน่าเชื่อถือ อุดมศักดิ์ จิตสงบ (2554)

การศึกษาทางสถิติถูกจัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากผลการวัดของระบบการตรวจสอบ และทดสอบแต่ละชนิด ข้อกำหนดนี้ประยุกต์ใช้กับระบบการวัดที่อ้างถึงในแผนควบคุมระบบการวิเคราะห์ และเกณฑ์การยอมรับที่ใช้ต้องสอดคล้องกับคู่มือของระบบวิเคราะห์การวัด วิธีวิเคราะห์ และเกณฑ์การวิเคราะห์อื่น อาจนำมาใช้ได้เมื่อได้รับการยอมรับจากลูกค้า ความผันแปรของระบบการวัด สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ข้อหัวหลักๆ คือ 1. ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation) และ 2. ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) หรือ คุณสมบัติด้านความแม่นยำ (Gage Repeatability and Reproducibility, GR&R) Gage R&R เป็นตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการวัด โดยผู้ควบคุมต้องทำให้ค่า Gage R&R จากระบบการวัดนั้น ๆ ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ หากค่า Gage R&R ยิ่งสูงจะแสดงว่าระบบการวัดด้อยประสิทธิภาพส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการวัดไม่น่าเชื่อถือ และจะส่งผลโดยตรงกับการตัดสินใจควบคุมกระบวนการผลิต Gage R&R เรียกสั้นๆว่า GR&R ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ 1. Repeatability และ 2. Reproducibility

1. Repeatability เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการอ่านซ้ำของเครื่องมือวัด โดยจะต้องใช้คนทำการวัดคนเดียว งานตัวเดียว บนสภาวะแวดล้อมเดียวกัน วัดซ้ำบนเครื่องมือวัดนั้นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อดูว่าค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งนั้นใกล้เคียงกันหรือไม่เป็นการตรวจเช็คประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด

2. Reproducibility เพื่อที่จะดูว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน เครื่องมือวัดเครื่องเดียวกัน และชิ้นงานเดียวกันแต่ทำการเปลี่ยนคนวัด ค่าที่วัดออกมาจะยังคงเชื่อถือได้หรือไม่เป็นการตรวจเช็คประสิทธิภาพของคนวัด

เมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรด้าน Repeatability และ Reproducibility แล้ว จะต้องมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจจะเป็นความคลาดเคลื่อนอนุโลมของ ข้อกำหนดเฉพาะ (Precision-to-Tolerance Ratio หรือ P/T) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อ แยะแยะผลิตภัณฑ์ดีเสีย หรืออาจเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการ (Precision-to-Total Variation หรือ P/TV) สำหรับกระบวนการวัดที่ใช้ตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ โดยทั่วไป แล้วจะกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่า โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดเกณฑ์การยอมรับได้ของ Repeatability และ Reproducibility (GR&R) และเกณฑ์การประเมินไว้ดังนี้

GR&R หรือ P/T หรือ P/TV < 10%	ระบบการวัดสามารถยอมรับได้
10% ≤ GR&R หรือ P/T หรือ P/TV ≤ 30%	ระบบการวัดนั้นอาจจะยอมรับได้ ขึ้นกับความสำคัญในการใช้งานราคาเครื่องมือ และอื่นๆ
GR&R หรือ P/T หรือ P/TV ≥ 30%	ระบบการวัดไม่สามารถยอมรับได้ ต้องมีการแก้ไข

ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข คือการระบุจำนวนประเภทข้อมูลที่แตกต่างกันที่สามารถจำแนก ได้อย่างน่าเชื่อถือด้วยระบบการวัด ซึ่งเป็นจำนวนของช่วงความเชื่อมั่น 97% ที่ไม่เหลื่อมกันที่ ครอบคลุมความผันแปรของผลิต

ค่า $ndc \geq 5$ หรือความสัมพันธ์ภายในประมาณ 0.97 หรือความเชื่อมั่น 97% ใน การศึกษาทางวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อพิจารณาว่าพนักงานและ ชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้สามารถแยกความผันแปรจาก สาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานออกจากค่า Repeatability ได้

2.2.5 การทดสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปหรือ ข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุและ ความดันโลหิต ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูงกับน้ำหนัก เป็นต้น ในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใดนั้น จะใช้ค่าประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เป็นค่าที่วัด ความสัมพันธ์ ซึ่งมีวิธีการทางสถิติอยู่หลายวิธี การใช้สถิติตัวใดจะขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปร หรือ ระดับของการวัดในตัวแปรนั้นๆ สำหรับการแปลผลจะมองในแง่ของความสอดคล้อง การแปรผัน ร่วมกัน แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรหนึ่งเป็นเหตุ และอีกตัวแปรเป็นผล ไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปร

ไหนเป็นตัวแปรต้นหรือตัวแปรตาม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะใช้สัญลักษณ์ r แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่ม

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อย หรือไม่มีเลย สามารถพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยทั่วไปอาจใช้เกณฑ์ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $0.90 - 1.00$ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์สูงมาก
2. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $0.70 - 0.90$ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์สูง
3. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $0.50 - 0.70$ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์ปานกลาง
4. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $0.30 - 0.50$ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์ต่ำ
5. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ระหว่าง $0.00 - 0.30$ หมายถึง ระดับความสัมพันธ์ต่ำมาก

เครื่องหมายบวกลบ หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ โดยที่หาก เครื่องหมายบวก หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน หรือ ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย และเครื่องหมายลบ หมายถึงการมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะใช้ได้อย่างเหมาะสมกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเท่านั้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอราวิล ถาวร (2560) ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับป้องกันความผิดพลาดการตรวจชิ้นงาน โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) เพื่อระบุความผันแปรที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดของระบบการวัด โดยเลือกศึกษาการปฏิบัติกิจการพื้นฐานกลึงโลหะและวิเคราะห์ระบบการวัดตามคุณสมบัติ คือ 1) ความเอนเอียง 2) เสถียรภาพ 3) เชิงเส้น และ 4) ความเที่ยง ผลการวิเคราะห์พบว่า คุณสมบัติด้านความเที่ยงไม่สามารถยอมรับได้ ($P/T \text{ Ratio} > 30\%$) จากนั้นจึงค้นหาสาเหตุโดยใช้แผนผังเหตุและผลและกำหนดมาตรการแก้ไขปรับปรุง ผลการปรับปรุงพบว่า สามารถยอมรับคุณสมบัติด้านความเที่ยงได้ เนื่องจากค่า $P/T \text{ Ratio}$ ลดลงเหลือร้อยละ 7.16 จาก ร้อยละ 179.29 ส่งผลให้ลดความผันแปรของระบบการวัดและนำไปสู่การสร้างขั้นตอนมาตรฐานการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อนำไปประยุกต์เป็นวิธีการป้องกันความผิดพลาดการตรวจชิ้นงานในการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

บุญเกียรติ บันเทิงใจ (2556) ได้จัดทำแนวทางการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการเชื่อมคานกัน กระแทกรถยนต์ เป็นการปฏิบัติงานซึ่งใช้คนกับแขนกลเชื่อมปฏิบัติงานร่วมกันโดยปัจจุบันมีความ

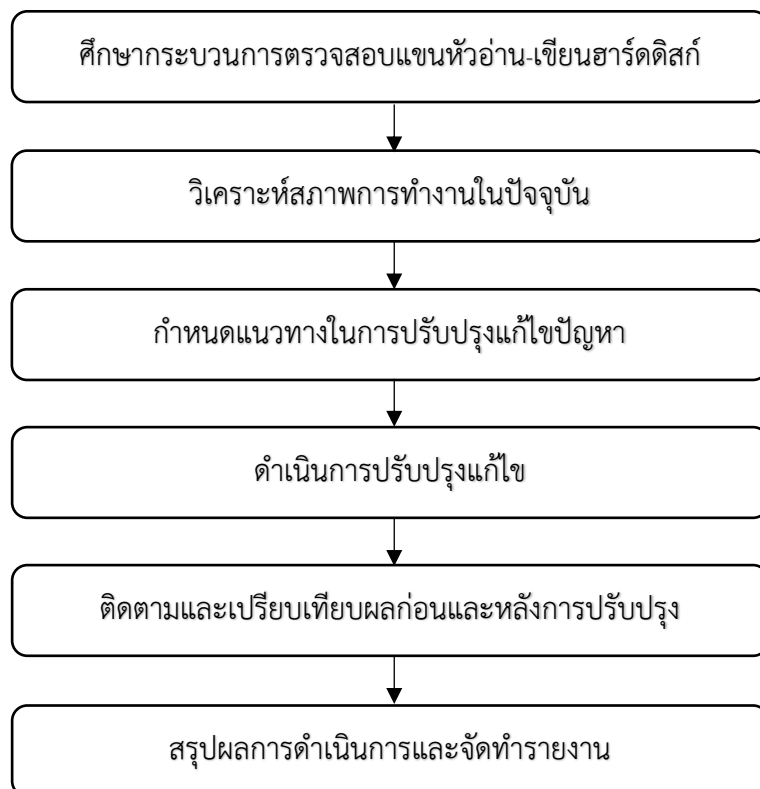
ต้องการของลูกค้าที่ 500 ขึ้นต่อวัน แต่กำลังการผลิตสามารถผลิตสูงสุดเพียง 311 ขึ้นต่อวัน บริษัทตัวอย่างจึงมีความจำเป็นต้องขยายเวลาการปฏิบัติงานเพิ่ม โดยมีเป้าหมายเพื่อผลิตชิ้นงานให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าและเพื่อเป็นการรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดไว้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับสายการผลิตตัวอย่าง โดยจะพยายามลดรอบเวลาการผลิตในขั้นตอนที่มีค่าเกน จังหวะความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้บริษัทต้องเพิ่มเวลาจาก 1 กระเป็น 2 กระการปฏิบัติ เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย หลักการลดความสูญเสียเปล่า 7 ประการ เครื่องมือคุณภาพแบบใหม่ 7 ชนิด ซึ่งใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ปัญหา และกำหนดแนวทางการแก้ไข จากนั้นจึงปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานเพื่อลดรอบเวลาให้มีค่าใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากันแต่ไม่เกินจังหวะความต้องการของลูกค้าด้วยเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึด ผลการดำเนินการวิจัย พบว่า สามารถควบคุมรอบเวลาการผลิตไม่ให้เกิดจังหวะความต้องการของลูกค้าที่ 52.8 วินาทีต่อชิ้น ได้ทุกขั้นตอนการปฏิบัติงาน ลดรอบเวลาการผลิตรวมลงได้ 35 วินาที คิดเป็นร้อยละ 41.2 ลดชั่วโมงการปฏิบัติงานได้ 4 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 33.3 ผลิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.0 และสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 500 ขึ้นต่อวันภายใน 1 กระการทำงาน

พัธุนิสา เสนิกัญจน์ (2561) ศึกษาประสิทธิภาพและความสามารถของกระบวนการวัดของโรงงานชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง โดยทำการวิเคราะห์กระบวนการผลิต และส่งผลให้ลูกค้าร้องเรียนจึงเป็นที่มาของการศึกษานี้โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA) ผลการศึกษาพบว่าค่าความเอนเอียง ความเป็นเชิงเส้น และความเสถียรภาพอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แต่ความสามารถด้านความแม่นยำของสภาพปัจจุบันไม่ผ่านเกณฑ์ จาก GR&R เท่ากับ 49.13 เปอร์เซ็นต์ P/TV เท่ากับ 53.85 เปอร์เซ็นต์ และ ndc เท่ากับ 1 จึงใช้แผนผังเหตุและผลวิเคราะห์สาเหตุทำการยืนยันด้วยหลักการ 3 GEN พบว่า 1) พนักงานวัดแต่ละคนวัดงานในตำแหน่งที่ต่างกัน 2) ขาดทักษะ ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับความสำคัญของการวัด 3) เครื่องมือวัดที่ใช้ไม่ละเอียดพอ จึงได้ทำการปรับปรุงโดยเปลี่ยนเครื่องมือวัดที่ละเอียดมากกว่าเดิมจากเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ เป็น VNM ทำให้ค่า GR&R, R/TV ลดลง เท่ากับ 8.62 เปอร์เซ็นต์ และ 10.09 เปอร์เซ็นต์ และค่า ndc เพิ่มขึ้นเท่ากับ 4 ผ่านเกณฑ์ ส่วนสาเหตุความผันแปรของข้อมูลนับมาจากพนักงานที่ไม่เข้าใจเกณฑ์การตัดสินใจ จึงได้แก้ปัญหาด้วยการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานเกณฑ์การยอมรับลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานให้มีความชัดเจน จัดอบรมพนักงาน หลังการปรับปรุงทำให้เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพผลความสามารถในการวัดซ้ำดีขึ้น 53.33 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้น 80 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการวิจัย

การทำโครงการแต่ละอย่างนั้นต้องอาศัยทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งต้องมีขั้นตอนการสร้างโครงการ เพื่อให้วิธีการทำโครงการนั้นมีความถูกต้องและเป็นแบบแผน ทำให้ผู้จัดทำโครงการเกิดความรู้และทักษะการทำโครงการ ซึ่งในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการนำทฤษฎีมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบโดยการนำเสนอแนวทางในการลดขั้นตอนในสายการผลิตด้วยการรวมขั้นตอนเข้าด้วยกัน (Combine) โดยการทำเครื่องวัดแบบใหม่ (New Vision Inspection Machine) การออกแบบหัวกดวัดเรโซแนนซ์ใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ (Indenter Design) และวิเคราะห์ผลด้วยเครื่องมือทางสถิติ การจัดทำโครงการนั้นจะต้องมีขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งสามารถจำแนกขั้นตอนการดำเนินการได้ดังภาพ 3.1

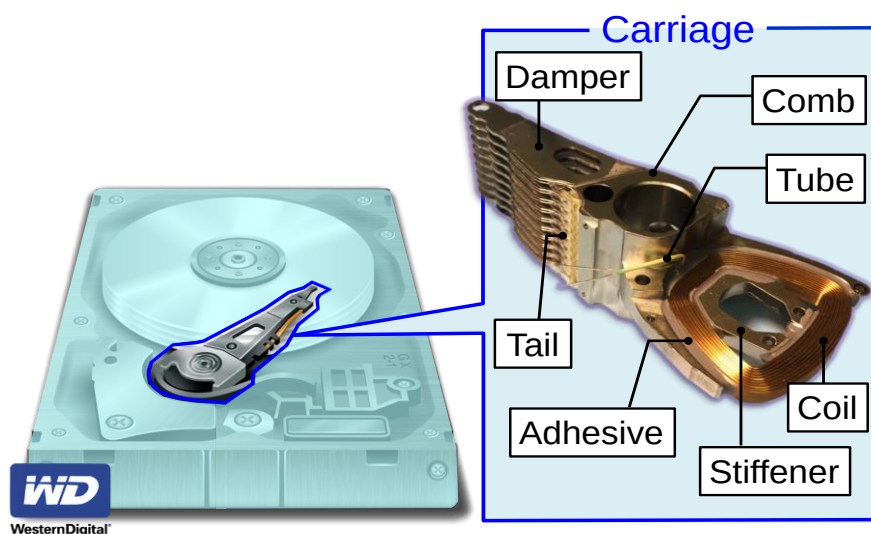


ภาพ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.1 ศึกษากระบวนการตรวจสอบแขนหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์

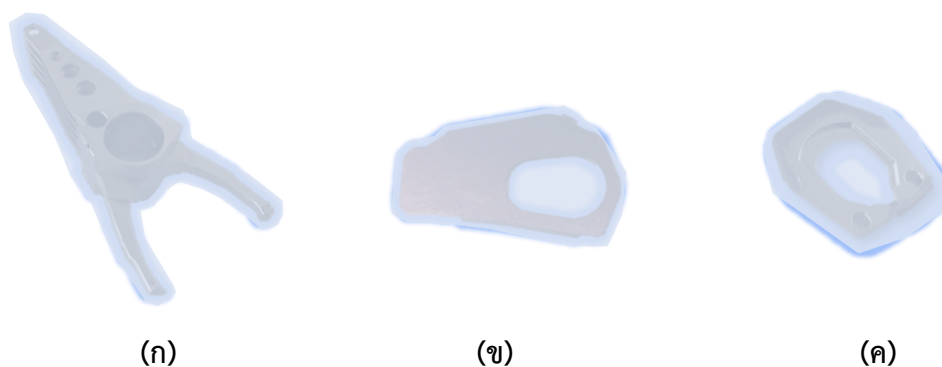
3.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนของกระบวนการตรวจสอบชิ้นงานกรณีศึกษาเป็นชิ้นส่วนประกอบในฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) คือ แขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (Actuator arms) หรือที่เรียกกันในโรงงานกรณีตัวอย่าง คือ Carriage ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดในตัวฮาร์ดดิสก์ และเป็นตัวบ่งบอกถึงความเร็วในการทำงานของตัวไดรฟ์และจำนวนบิตที่สามารถบรรจุไว้บนตัวแผ่นแพลลิตเตอร์ (Platter) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา รุ่น Paris – C ดังภาพ 3.2

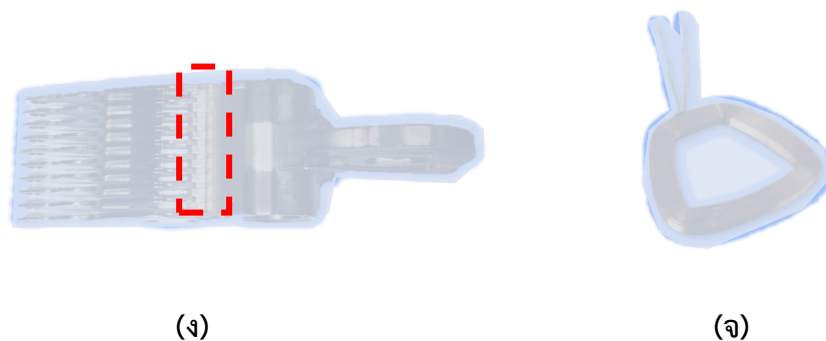


ภาพ 3.2 แขนหัวอ่าน-เขียนในฮาร์ดดิสก์

จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์แขนหัวอ่าน-แขนข้างต้น มีส่วนประกอบทั้งหมด 5 ชิ้นส่วน ซึ่งสามารถแสดงได้ ดังภาพ 3.3



ภาพ 3.3 ส่วนประกอบของแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (ก) คอมป์ (ข) แดมเปอร์ (ค) สตีฟฟินเนอร์ (ง) เทล และ (จ) คอยล์

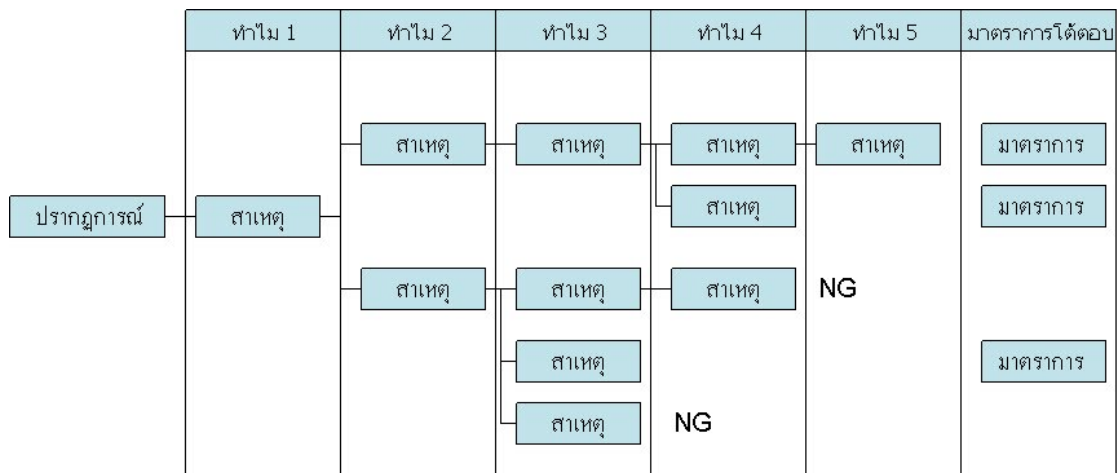


ภาพ 3.3 ส่วนประกอบของแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (ก) คอมป์ (ข) แดมเปอร์ (ค) สตีฟฟิเนอร์ (ง) เทล และ (จ) คอยล์ (ต่อ)

จากภาพ 3.3 ชิ้นส่วน (ก) คอมป์ (Comb) เป็นส่วนโครงของแขนหัวอ่าน-เขียน ซึ่งแต่ละรุ่นจะมีจำนวนแขนที่แตกต่างกัน ชิ้นส่วน (ข) แดมเปอร์ (Damper) เป็นชิ้นส่วนที่มีไว้เสริมความแข็งแรงของแขนหัวอ่าน-เขียนของแต่ละแขน ชิ้นส่วน (ค) สตีฟฟิเนอร์ (Stiffener) เป็นส่วนที่ไว้ยึดและดันคอยล์ไว้ ชิ้นส่วน (ง) เทล (Tail) เป็นช่องเดินแนวของสายไฟในวงจรโดยจะมีร่องไว้สำหรับใส่สายไฟ และชิ้นส่วน (จ) คอยล์ (Coil) เป็นขดลวดแม่เหล็กมีหน้าที่เป็นระบบขับเคลื่อนบังคับให้แขนกลเคลื่อนที่ไปมาอย่างละเอียด

3.2 วิเคราะห์สภาพการทำงานในปัจจุบัน

เมื่อทำการศึกษากระบวนการและเก็บข้อมูลเบื้องต้นแล้ว จึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์เพื่อสำรวจสภาพการทำงานในปัจจุบัน เพื่อกำหนดขอบเขตขั้นตอนและนำไปปรับปรุงแก้ไข จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของโครงการนี้ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนในการปรับปรุงไปที่ละส่วนจากการปรึกษาผู้ดูแลแผนกในโรงงานแล้วสามารถสรุปรายการปัญหาที่จะนำมาทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ได้ทำการวิเคราะห์ โดยผู้ศึกษาได้นำเทคนิค Why Why Analysis เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและพบต้นตอของปัญหาที่มาจากหัวกวดวีดิโอแนซ ดังภาพ 3.4

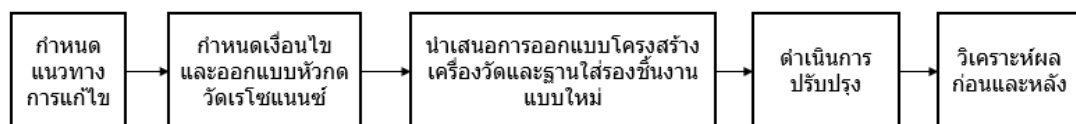


ภาพ 3.4 แผนผังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why Why Analysis

ที่มา : <http://leanmanufacturing-tawatchai.blogspot.com/2009/12/why-why-analysis-5-gen.html>

3.3 กำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

หลังจากค้นพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาในกระบวนการผลิตแล้ว ผู้จัดทำจึงดำเนินการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยประยุกต์ใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) มาช่วยในการหาแนวทางปรับปรุงแก้ไข โดยแนวทางการในการแก้ไขปัญหานั้นสามารถแสดงเป็นลำดับขั้นตอน ดังภาพ 3.5

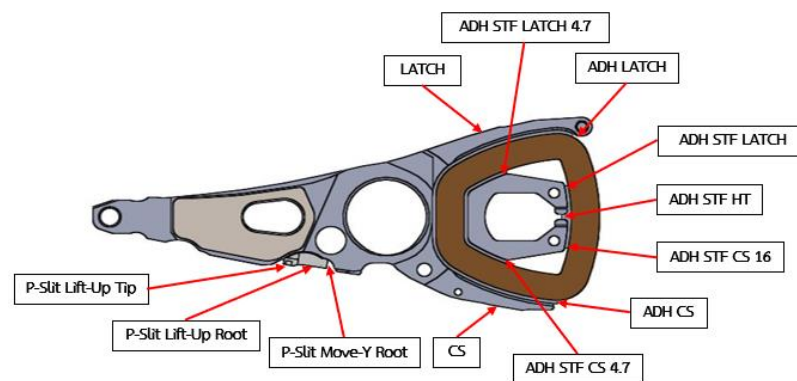


ภาพ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

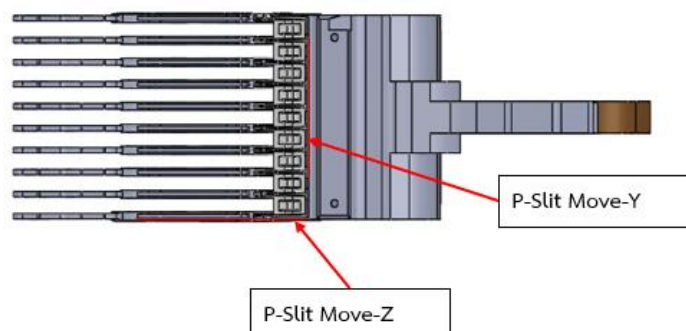
3.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

3.4.1 ตำแหน่งการวัดขนาดของแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาดำเนินการวัดขนาดของแขนหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ โดยวิเคราะห์จากชิ้นงานที่เป็นของเสียในตำแหน่งต่าง ๆ โดยมีจุดวัดที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงาน 12 ตำแหน่งที่ตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) ดังภาพ 3.6 และอีก 2 ตำแหน่งที่ตรวจสอบด้วยกล้อง (CCD Camera) ดังภาพ 3.7 ซึ่งแต่ละตำแหน่งมีความละเอียดมาก



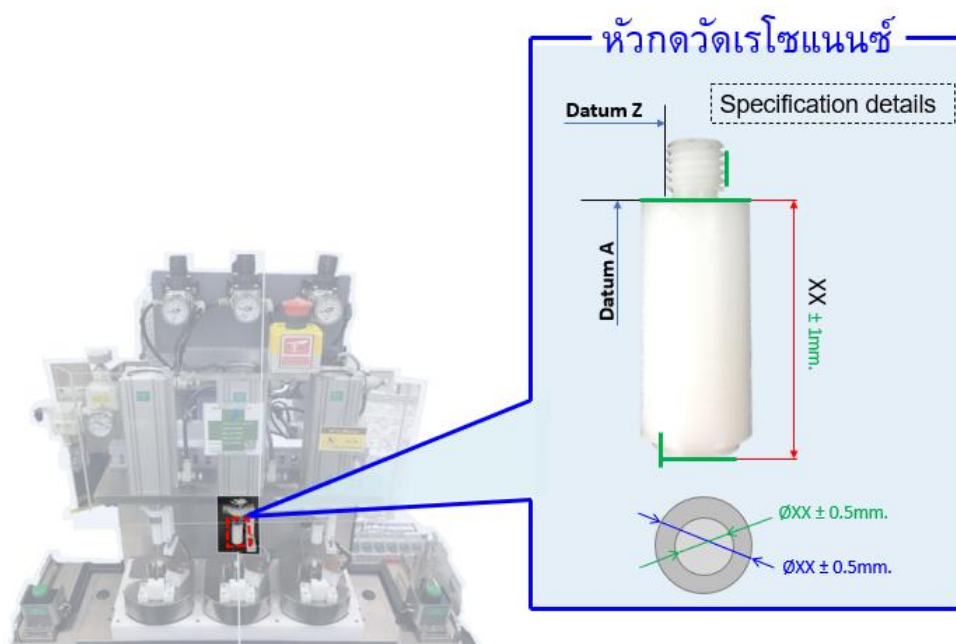
ภาพ 3.6 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด ด้านฮ็อฟซี



ภาพ 3.7 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัด ด้านดาต้าัมซี

3.4.2 กำหนดเงื่อนไขและปรับปรุงหัวกดวัดเรโซแนนซ์

จากการที่ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการวัดชิ้นงาน ซึ่งปัญหาที่พบเกิดจากหัวกดวัดเรโซแนนซ์นั้นมีอายุการใช้งานที่สั้น และมีปัญหาบ่อยครั้งศึกษาจึงได้วิเคราะห์หาสาเหตุต้นตอของปัญหาและได้ข้อสรุปในการกำหนดและปรับปรุงหัวกดด้วยการออกแบบหัวกดวัดเรโซแนนซ์ใหม่และกำหนดขนาดสัดส่วนเข้าไป โดยทำการออกแบบและกำหนดเงื่อนไขด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) และทำการทดสอบชนิดของหัวกดชิ้นงานด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ จึงทำการวิเคราะห์และเลือกเงื่อนไขที่ดีและเหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดเรโซแนนซ์ ตัวอย่างหัวกดวัดเรโซแนนซ์ของเครื่องวัดค่าความถี่การสั่นไหว (Resonance Machine) ดังภาพ 3.8

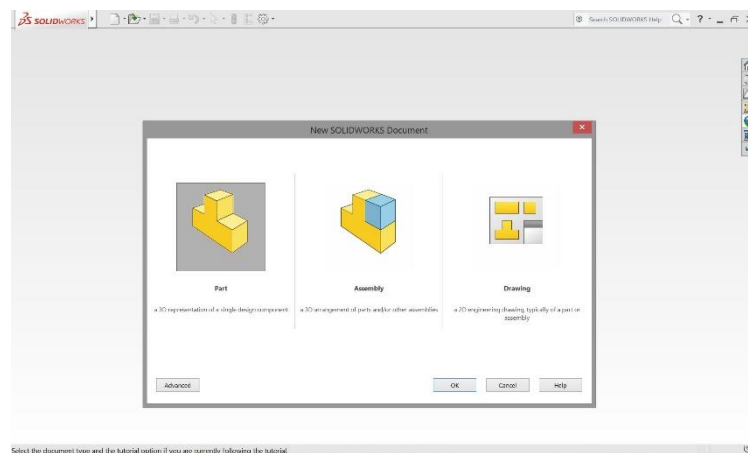


ภาพ 3.8 หัวกดวัดเรโซแนนซ์ (Delrin Clamp)

3.4.3 การออกแบบเครื่องวัดชิ้นงานและหัวกดวัดเรโซแนนซ์ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค

การศึกษการใช้โปรแกรมที่ช่วยในการเขียนแบบขั้นพื้นฐานการออกแบบและกำหนดขนาดเงื่อนไขหัวกดชิ้นงาน ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) ในปัจจุบันนี้มีความก้าวหน้าไปมากโดยการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ไปใช้ในการเขียนแบบซึ่งช่วยให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แม่นยำและสะดวกรวดเร็วในการเขียนแบบและแก้ไขแบบได้ โดยประหยัดเวลาและกำลังงานได้มาก ในการเขียนแบบสามารถทำการเขียนแบบได้ทั้ง 2D และ 3D โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

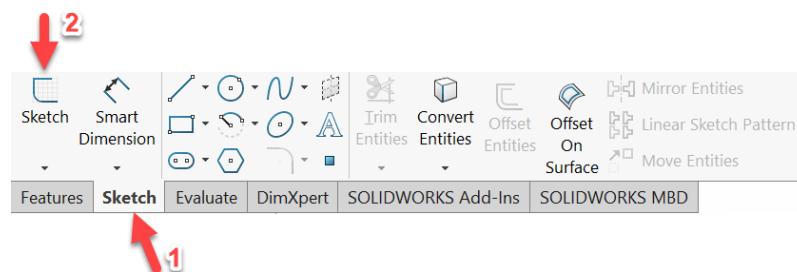
1. การออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ (Part Design) ของชิ้นงานที่เราจะทำการออกแบบ โดยการสร้าง Part คือการสร้างชิ้นงาน 1 ชิ้น กดที่ File > New จะมีเมนูขึ้นมามีรูปเลือก Part ดังภาพ 3.9



ภาพ 3.9 ฟังก์ชันที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน 1 ชิ้นส่วน

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/basicsolidworks/>

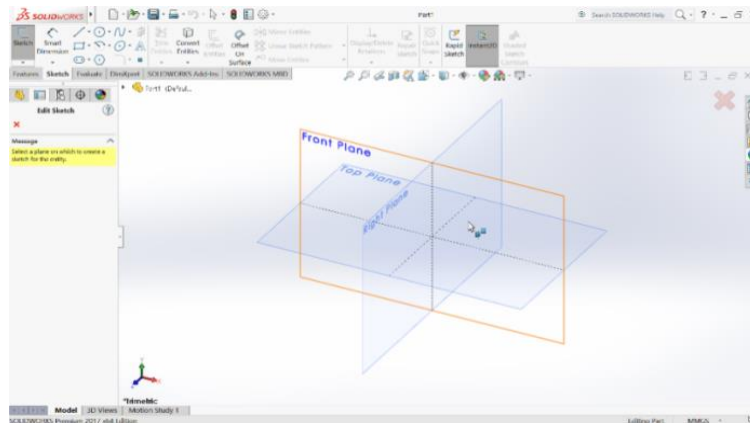
จากนั้นเลือกที่เมนู Sketch เพื่อเริ่มสร้างชิ้นงาน โดยเลือกการออกแบบตามมุมมองต่าง ๆ ดังภาพ 3.10



ภาพ 3.10 เมนู Sketch สำหรับการสร้างชิ้นงาน

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/basicsolidworks/>

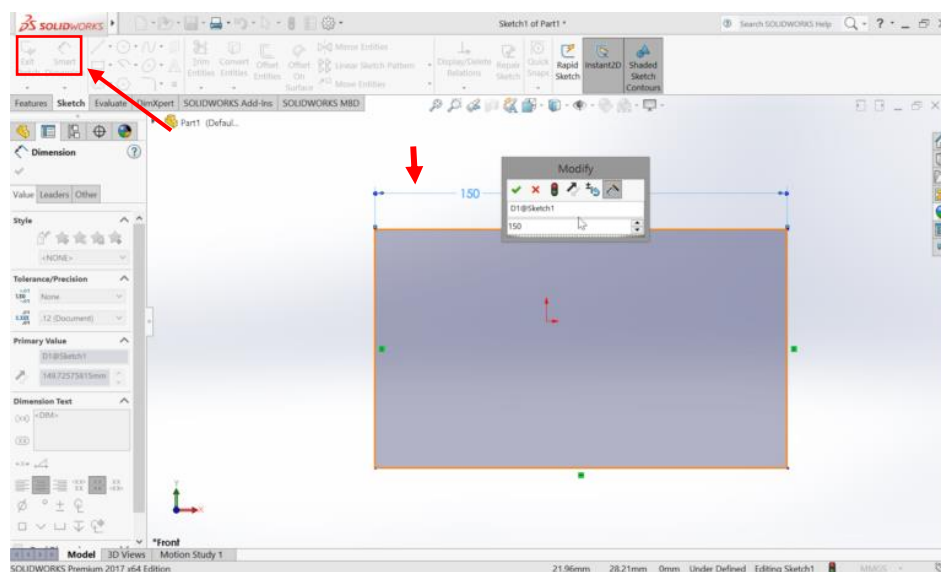
ซึ่งการ Sketch จากมุม Front จะเป็นด้านหน้า ส่วน Right จะเป็นมุมมองจากด้านข้างและ Top จะเป็นมุมมองจากด้านบน ดังภาพ 3.11



ภาพ 3.11 มุมมองต่าง ๆ ในการ Sketch ขึ้นงาน

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/basicsolidworks>

คลิกพื้นที่ว่างจากนั้นลากไปตามขนาดที่ต้องการเพื่อสร้างสี่เหลี่ยมขึ้นมา จากนั้นใช้เครื่องมือ Smart Dimension เพื่อกำหนดขนาดของรูป โดยคลิกที่เส้นที่ต้องการจะปรับขนาด จะสามารถกำหนดค่าได้ตามต้องการ ดังภาพ 3.12



ภาพ 3.12 การวาดชิ้นงานและกำหนดขนาดสัดส่วน

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/Basicsolidworks/>

2. การประกอบชิ้นงาน (Assembly) คือ การนำไฟล์ชิ้นงานที่สร้าง เข้ามาจัดวางตำแหน่งต่างๆ ในหน้าต่างของ Assembly เพื่อทำการประกอบชิ้นงานเป็นโมเดลในรูปของการออกแบบทางวิศวกรรม โดยการจับยึดชิ้นงานตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป การกำหนดความสัมพันธ์ในการจับคู่ (Assembly Mating Relation) การประกอบต้องกำหนดชิ้นงาน 2 ชิ้นให้มีค่าความสัมพันธ์กัน เพื่อทำการประกอบชิ้นงาน จำลองการทำงานให้เหมือนจริงโดยความสัมพันธ์ที่มักพบอยู่เป็นประจำ ดังภาพ 3.13

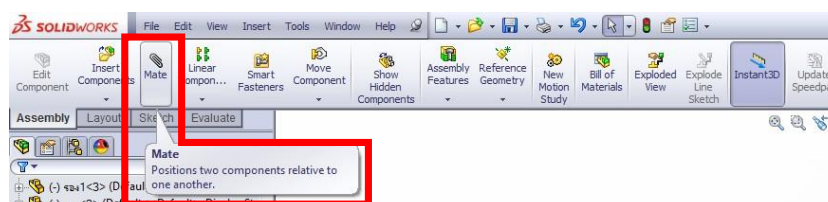
ความสัมพันธ์	คำสั่ง	ลักษณะความสัมพันธ์
	Coincident	ร่วมแนวเดียวกัน
	Concentric	ร่วมศูนย์กลาง
	Parallel	ขนานกัน
	Tangent	สัมผัสกัน

ภาพ 3.13 คำสั่งต่าง ๆ ในการประกอบชิ้นงาน

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/BasicSolidworks/>

การใช้คำสั่งในการประกอบชิ้นงาน (Mate) แต่ละชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบเข้าด้วยกัน ดังภาพ

3.14

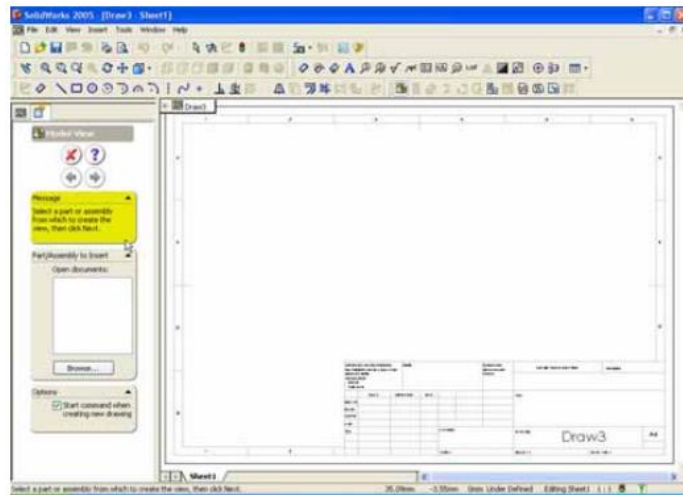


ภาพ 3.14 คำสั่ง Mate สำหรับประกอบชิ้นส่วนที่ออกแบบ

ที่มา : <https://www.glurgeek.com/education/basicSolidworks>

3. การสร้าง Sheet drawing สามารถกำหนดรายละเอียดต่างๆ ให้กับชิ้นงานที่สร้าง ขึ้นมาได้อย่างรวดเร็วด้วยแถบเครื่องมือ Drawing Commands และ Annotation Commands โดยโปรแกรมจะมีเป็นไฟล์มาตรฐานอยู่ในโปรแกรม แบ่งเป็น 2 แบบ คือ Template และ Tutorial ให้เลือกแบบ Template

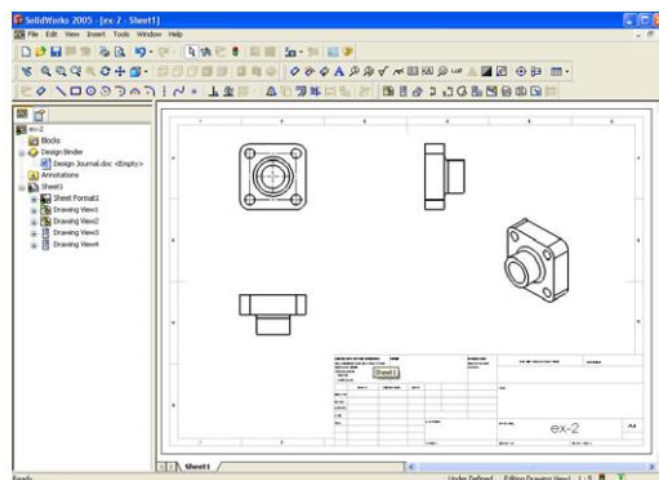
การสร้างรูปแบบของ Sheet Drawing โดยเปิดงานใหม่ เลือก Template ขนาดกระดาษ A4-Landscape ปิด Model View ดังภาพ 3.15



ภาพ 3.15 การปิด Model View

ที่มา : <http://home.dsd.go.th/kamphaengphet/km>

การนำชิ้นงานเข้ามาสร้าง Drawing ชิ้นงานที่นำเข้ามาจากไฟล์ Part เพื่อนำมาบอกรายละเอียดต่างๆ เช่นบอกขนาดชิ้นงาน การสร้างภาพฉาย 3 ด้าน ดังภาพ 3.16



ภาพ 3.16 การนำไฟล์ชิ้นงานเข้ามาวางแบบ Standard 3 View

ที่มา : <http://home.dsd.go.th/kamphaengphet/km>

หลังจากทำการออกแบบและกำหนดขนาดหัวกดวัดเรโซแนนซ์แล้ว จะดำเนินการในส่วนของการนำหัวกดวัดเรโซแนนซ์ไปวัดขนาดด้วยเครื่องประมวลผลด้วยภาพ (IM-6000) เพื่อตรวจสอบขนาดของหัวกดว่าอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ จากนั้นจะทำการทดสอบโดยใช้วัดชิ้นงาน เพื่อทดสอบค่าความแม่นยำในการตรวจวัดของหัวกดที่ได้ทำการออกแบบใหม่เทียบกับหัวกดแบบเก่า นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และสรุปผล

3.4.4 หลังจากออกแบบการทดลองแล้ว ผู้ศึกษาได้ดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองตามที่ได้วางไว้ เพื่อเก็บข้อมูลของระบบการวัดแล้วทำการวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่ได้มานำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไขระบบการวัดต่อไป โดยมีขั้นตอนการดำเนินการทดลองดังนี้

1. เริ่มจากสอบเทียบเครื่องมือวัด โดยช่างผู้ดูแลรับผิดชอบของแผนก และทำการสุ่มชิ้นงานจากสายการผลิตมา 1 ล็อต จำนวน 15 ชิ้น

2. จากนั้นให้พนักงานจำนวน 2 คน ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลชิ้นงานคนละ 15 ชิ้น และวัดซ้ำขึ้นละ 3 ครั้ง

3. สร้างแบบทดลองตามที่เราก่อแบบไว้ด้วยโปรแกรม Minitab 18 โดยการใช้คำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage R&R study > Create Gage R&R study Worksheet และทำการออกแบบตามข้อ 1 และ 2 โดยใช้ชิ้นงาน 15 ชิ้น พนักงาน 2 คน และทำการวัดซ้ำขึ้นงานละ 3 ครั้ง

4. ดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ และคำนวณหาความผันแปรของระบบการวัด (Gage R&R) โดยใช้คำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage R&R study > Gage R&R study (Crossed)

5. กำหนดค่าเผื่อ (Tolerance) โดยใช้คำสั่ง Option กำหนดค่าเผื่อที่ Upper spec – Lower spec: ที่ 2000

6. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเปรียบเทียบผลก่อนและหลังทำการปรับปรุง

3.5 ติดตามและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหามาตรการไปใช้จริงในกระบวนการผลิต ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ผลหลังการปรับปรุง โดยจัดทำเปรียบเทียบผลที่ได้จากหัวกดวัดเรโซแนนซ์แบบเก่ากับหัวกดวัดที่ออกแบบใหม่เทียบผลที่ได้หลังการปรับปรุงและก่อนการปรับปรุง และผลของการดำเนินการสร้างเครื่องวัดใหม่ที่จัดทำเป็นแนวทางนำเสนอให้กับโรงงาน (New Vision Inspection Machine) โดยแสดงผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) เทียบกับเครื่องวัดขนาดชิ้นงานแบบสามมิติ (Coordinate Measuring Machine: CMM)

3.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน

สรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดโดยการเปรียบเทียบก่อน-หลังทำการปรับปรุงและรวบรวมเอกสารข้อมูลที่เกี่ยวข้องตลอดการดำเนินงานโครงการ โดยหัวข้อที่สรุปผลจะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ เพื่อทำการสรุปผล และจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการวิจัย

เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของผลการดำเนินงานต่าง ๆ ที่ผู้ศึกษาได้ศึกษาวิธีการดำเนินการศึกษาจากบทที่ 3 ซึ่งการจัดทำโครงการการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการตรวจสอบแผนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ เพื่อเพิ่มความสามารถในการวัดให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยดำเนินการดังนี้

4.1 ศึกษากระบวนการผลิตและเก็บข้อมูลเบื้องต้น

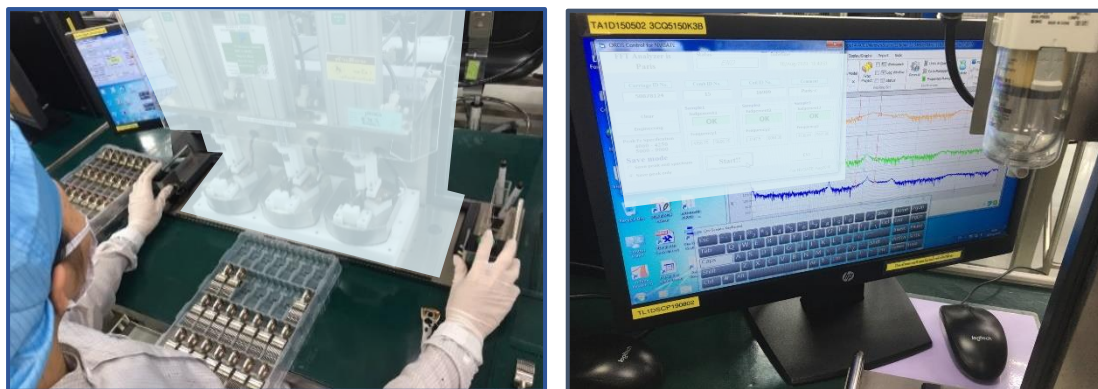
ผู้จัดทำโครงการได้เข้าไปศึกษากระบวนการตรวจสอบแผนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์และเก็บข้อมูลในกระบวนการ เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงขั้นตอนกระบวนการที่ถูกต้อง ซึ่งจากการที่ผู้จัดทำโครงการเข้าไปศึกษากระบวนการแล้วพบว่ากระบวนการตรวจสอบนั้นมี 3 ขั้นตอน ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนของการตรวจสอบได้ดังนี้

1. การตรวจสอบชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) พนักงานนำชิ้นงานจากถาดมาหยิบใส่แท่นวัดของเครื่องวัด เป็นขั้นตอนการวัดค่าตำแหน่งและค่าการวางของชิ้นงานบนด้านออฟซี จากนั้นเครื่องจะทำการตรวจสอบและแสดงค่าสเปคของชิ้นงานว่าผ่าน หรือไม่ ดังภาพ 4.1



ภาพ 4.1 การตรวจวัดชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) และหน้าจอแสดงผล

2. การตรวจชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจวัดค่าความถี่การสั่นไหว (Resonance) โดยที่พนักงานจะนำชิ้นงานมาแยกเส้นลวด (Wire) เพื่อนำชิ้นงานใส่บนช่องวัดตามช่องของเครื่อง จากนั้นกดปุ่มสตาร์ท (Start) ค้างไว้ทั้งสองข้างจนหัวกดแนบกับชิ้นงานไว้ไม่ให้ชิ้นงานขยับ เครื่องจะทำการแปลงการสั่นไหวเป็นค่าคลื่นความถี่ เพื่อคำนวณและแสดงผลว่าค่าอยู่ในช่วง หรือไม่ ดังภาพ 4.2



ภาพ 4.2 เครื่องตรวจวัดค่าความถี่การสั่นไหว (Resonance) และหน้าจอแสดงผล

3. การตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) โดยที่พนักงานจะหยิบชิ้นงานใส่แท่น แล้วล็อกชิ้นงานไว้ เพื่อเช็คตำแหน่งชิ้นงานที่ด้านดาดัมซี ซึ่งเป็นการดูผลด้วยตาเปล่าบนหน้าจอว่าเกินขอบเขตที่กำหนด หรือไม่ ดังภาพ 4.3



ภาพ 4.3 การตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) และหน้าจอแสดงผล

หลังจากผ่านขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานแล้ว ชิ้นงานทั้งหมดที่ผ่านการตรวจสอบจะนำไปตรวจสอบแบบร้อยเปอร์เซ็นต์ (Appearance 100%) ที่แผนก OQA หลังจากตรวจสอบเสร็จชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบจะถูกนำไปล้างทำความสะอาดชิ้นงานและเตรียมบรรจุภัณฑ์จัดส่งสินค้า ปัจจุบันกระบวนการปฏิบัติงานของแผนกกรณีตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 กะ ดังรายละเอียดในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 รายละเอียดการปฏิบัติงานของสายการผลิตตัวอย่าง

รายการ	กะเช้า (8.00-17.00)	โอที (17.30-20.00)	กะดึก (20.00-5.00)	โอที (5.30-8.00)	รวม
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	7.5	2.5	7.5	2.5	20
จำนวนพนักงาน	3		3		6

จากตาราง 4.1 จะแสดงถึงช่วงเวลาและจำนวนชั่วโมงในการทำงานของแผนกกรณีตัวอย่าง ตัวอย่างจะใช้เวลาในการทำงานจริง 7.5 ชั่วโมง ทำงานล่วงเวลาอีก 2.5 ชั่วโมง ใน 1 วัน มีพนักงานทำงานในสายการผลิตกะละ 3 คน ต่อ 1 สายการผลิต ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 รายละเอียดพนักงานปฏิบัติงานในกระบวนการตรวจสอบต่อ 1 สายกระบวนการ

ลำดับที่	ขั้นตอน	จำนวนพนักงาน
1	ตรวจสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง Vision	1
2	ตรวจวัดค่าการสั่นไหวด้วยเครื่อง Resonance	1
3	ตรวจสอบชิ้นงานด้วยกล้อง CCD	1
รวม		3

จากตาราง 4.2 จะแสดงถึงจำนวนพนักงานในแต่ละขั้นตอนต่อ 1 กระบวนการในขั้นตอนการตรวจสอบใช้พนักงานในการทำงานกะละ 3 คน ต่อ 1 ไหล่ โดยขั้นตอนตรวจตำแหน่งและค่ากาวจำนวน 1 คน ขั้นตอนการตรวจคลื่นความถี่ จำนวน 1 คน และขั้นตอนการเช็คตำแหน่งงานด้วยกล้องจำนวน 1 คน ซึ่งปัจจุบันแผนกกรณีตัวอย่างมีไลน์กระบวนการตรวจสอบจำนวน 13 ไหล่ เฉพาะในส่วนที่ผู้ศึกษาได้เข้าไปสำรวจและเก็บข้อมูล

4.2 วิเคราะห์สภาพการทำงานในปัจจุบัน

จากการศึกษากระบวนการตรวจสอบและทำการเก็บข้อมูล พบปัญหาเนื่องจากมีลูกค้าร้องเรียนกับทางโรงงานเข้ามาเกี่ยวกับการที่ลูกค้านำแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ไปประกอบแล้วฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยผู้ศึกษาได้ทำการคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่มีผลกระทบต่อกระบวนการตรวจสอบ เมื่อทำการวิเคราะห์และปรึกษากับทีมงานแล้วผู้ศึกษาได้ทำการเลือกหัวข้อของปัญหาที่เกิดขึ้นมาทำการปรับปรุงแก้ไข โดยปัญหาที่มาจากขั้นตอนการตรวจสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลักได้ดังนี้ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกดวัดเรโซแนนซ์ 2.ขั้นตอนที่ 3 ไม่มีระบบแสดงผลวัดค่าเป็นตัวเลข

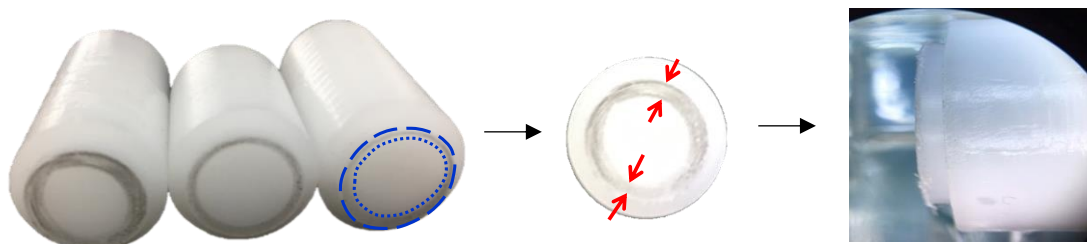
จากปัญหาในประเด็นที่ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกดวัดเรโซแนนซ์ ซึ่งปัญหาที่พบบนนั้นมาจากหัวกดที่ใช้ในปัจจุบันไม่สมมาตรทำให้หัวกดกดไม่แนบสนิทกับชิ้นงาน จึงส่งผลทำให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความคลาดเคลื่อน ผู้จัดทำจึงได้นำเทคนิค Why-why Analysis มาช่วยในการแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากโดยวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้พบต้นตอ และที่สำคัญคือนำไปสู่การแก้ไข และป้องกันการเกิดซ้ำต่อไป ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 แผนผังการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why Why Analysis

จากการที่ผู้ศึกษาได้นำเทคนิค Why-why Analysis เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปัญหาที่เกิดจากหัวกดวัดเรโซแนนซ์ ซึ่งปัญหาที่พบคือ หัวกดวัดเรโซแนนซ์ไม่ผ่านเงื่อนไขการใช้งาน โดยมีสัดส่วนขนาดที่ไม่อยู่ในเงื่อนไข เนื่องจากไม่มีการตรวจสอบเงื่อนไขก่อนนำไปใช้งานหรือติดตามผลอายุการใช้งานของหัวกด อีกปัญหาคือ หัวกดสกปรกและชำรุด ซึ่งเกิดจากการใช้งานเป็นเวลานาน โดยไม่มีการเช็คทำความสะอาดหรือตรวจสอบหลังหยุดการใช้งาน

จากการตรวจดูลักษณะหัวกดที่เสียนั้น พบว่าสาเหตุมาจากการที่หัวกดมีขนาดสัดส่วนที่ไม่สมมาตรจึงทำให้เมื่อเวลาใช้งานมีการกดชิ้นงานมากขึ้นยังทำให้หัวกดนั้นเสียสมดุล และทำให้หัวกดวัดไม่สามารถแนบทับชิ้นงานได้สนิท และนำหัวกดไปส่องกล้องดูลักษณะการเสียของหัวกด ซึ่งลักษณะการเสียจะมีการบิ่นและเป็นเศษเสี้ยนตรงบริเวณขอบที่หัวกดกดทับชิ้นงาน ดังภาพ 4.5



ภาพ 4.5 ลักษณะของหัวกดวัดเรโซแนนซ์แบบเก่าที่ผ่านการใช้งานแล้ว

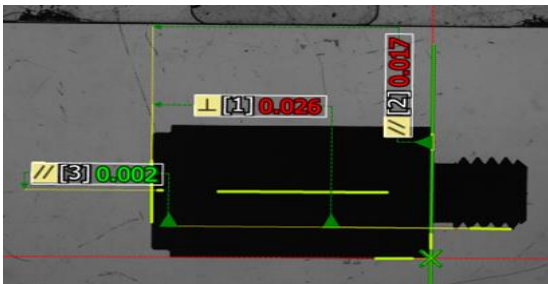
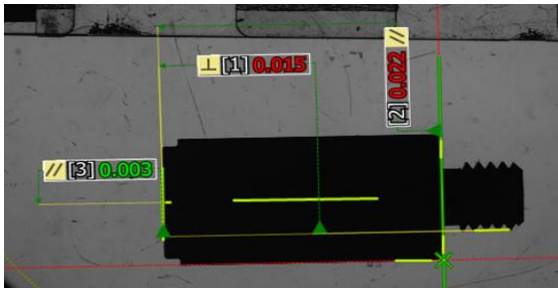
4.2.1 ทำการทดสอบขนาดสัดส่วนของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ ผู้จัดทำโครงการได้ใช้เครื่องวัดขนาดด้วยการประมวลผลภาพ (IM-6000 Series Machine) เข้ามาช่วยในการวัดทดสอบขนาดของหัวกดที่โรงงานใช้ในปัจจุบัน ซึ่งยังไม่มีกำหนดขนาดสัดส่วนของหัวกดที่ชัดเจนและเป็นมาตรฐานไว้ แสดงดังภาพ 4.6 และแสดงผลภาพหัวกดวัดเรโซแนนซ์หลังทดสอบ ดังตาราง 4.3



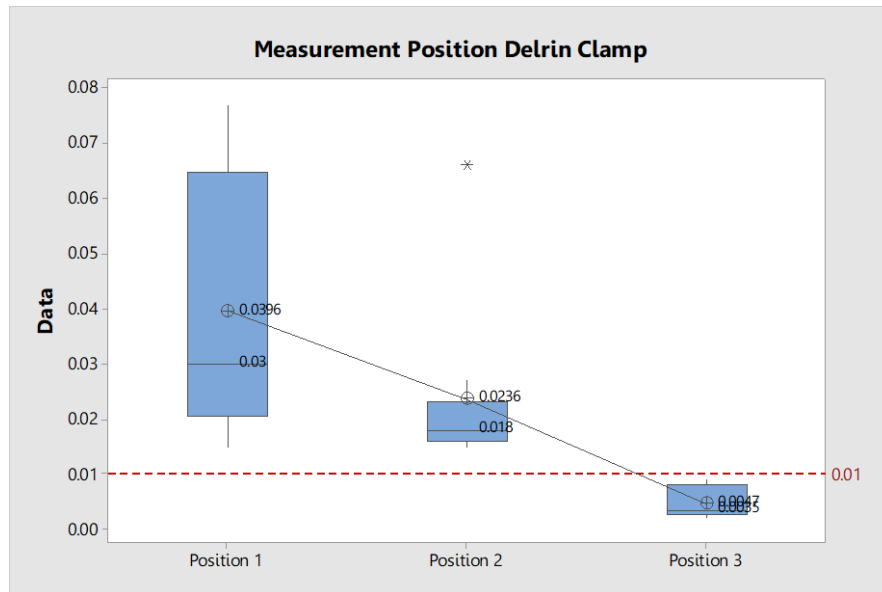
ภาพ 4.6 เครื่องวัดขนาดด้วยการประมวลผลภาพ IM-6000

ที่มา : https://www.keyence.co.th/ss/products/measure-sys/im-6000/?search_sl=1#Tab01

ตาราง 4.3 การตรวจเช็คขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง

ชั้น	การวัดขนาดสัดส่วนหัวกดวัดเรโซแนนซ์
1	
2	
3	

จากตาราง 4.3 ที่ได้นำหัวกดวัดเรโซแนนซ์แบบเก่ามาทำการทดสอบด้วยเครื่องประมวลผลด้วยภาพ ผลที่ได้จากการวัดคือ ไม่ผ่านเงื่อนไข เนื่องจากตำแหน่งจุดวัดที่กำหนดมีค่าเกินเงื่อนไขที่กำหนดไว้ที่ค่าต้อง ≤ 0.01 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลการวัดที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยการทำแผนภาพกล่อง (Box Plot) ใช้แสดงสาระสำคัญของข้อมูลคือ ค่ากลาง ค่าการกระจาย สัดส่วนข้อมูลที่มากหรือน้อยกว่าค่ากลาง รวมทั้งข้อมูลที่อยู่ห่างจากกลุ่มมาก ๆ (Outlier) ผลของการทำแผนภาพกล่อง (Box Plot) แสดงดังภาพ 4.7



ภาพ 4.7 ผลการทดสอบขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ทั้ง 3 ตำแหน่งด้วยการทำแผนภาพกล่อง

ผลสรุปที่ได้จากการทำแผนภาพกล่อง (Box Plot) จากภาพ 4.7 ที่แสดงค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของข้อมูลในการวัดตำแหน่งหัวกดวัดเรโซแนนซ์ สามารถอธิบายได้ว่า ตำแหน่งที่ 1 มีค่าเฉลี่ยสูงและมีความแปรปรวนหรือการกระจายตัวที่สูงกว่าตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 ในขณะที่ตำแหน่งที่ 2 นั้นมีความแปรปรวนหรือการกระจายตัวที่ต่ำแต่ค่าที่ได้มีค่าเกินข้อกำหนด จึงสรุปได้ว่า หัวกดวัดเรโซแนนซ์แบบเก่ามีขนาดสัดส่วนที่เกินกว่าข้อกำหนดที่ตั้งไว้

4.2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดก่อนปรับปรุง โดยการดำเนินการทดลองการศึกษาแบบทั่วไป (Crossed GR&R) ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ในบทที่ 3 โดยผู้ศึกษาได้วิเคราะห์ความผันแปรของค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) และ ค่าความสามารถในการวัดเหมือน (Reproducibility) จากการเก็บข้อมูลและประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยผู้ศึกษาได้เลือกวิเคราะห์คุณสมบัติความเที่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงผลดังภาพ 4.8 และตาราง 4.4 และ 4.5

ตาราง 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง

Gage R&R Study – ANOVA Method					
Two – Way ANOVA Table with Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	14	236226.00	16873.32	3.1496	0.020*
Operators	1	8482.85	8482.85	1.5834	0.213
Operators*Parts	14	75003.05	5357.36	17.9080	0.000*
Repeatability	60	17949.64	299.16		
Total	89	337661.98			
Alpha to remove interaction term = 0.05					

* P-Value <0.05

จากตารางผลวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ชิ้นงาน (Part) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value เท่ากับ 0.001 ($P < 0.05$) แสดงว่าชิ้นงานที่สุ่มเลือกมีความแตกต่างกัน สำหรับผู้วัด (Operators) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value เท่ากับ 0.213 ($P > 0.05$) แสดงว่าผู้วัดมีการวัดชิ้นงานที่ไม่แตกต่างกัน และอิทธิพลรวมกันระหว่างชิ้นงานกับผู้วัด (Operators*Parts) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value เท่ากับ 0.000 ($P < 0.05$) แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนผู้วัดหรือชิ้นงานค่าที่ได้ก็จะเปลี่ยนไป และผลของการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของการทดลองหัวกดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง แสดงดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหาคัดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง

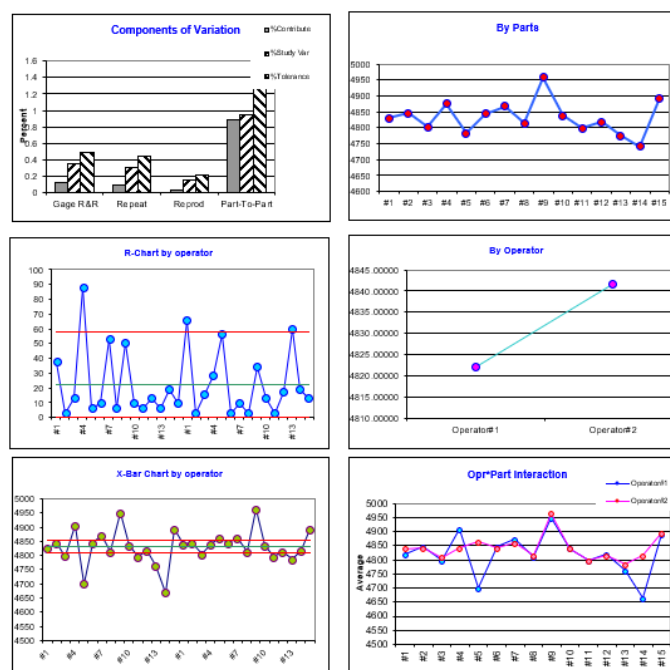
Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of Var Comp)
Total Gage R&R	368.62	11.77
Repeatability	299.16	9.55
Reproducibility	69.46	2.22
Operator	69.46	2.22
Operator*Part	1686.07	53.85
Part-To-Part	2762.36	88.23
Total Variation	3130.98	100.00

จากตาราง 4.5 ผลของค่าความแปรปรวนเนื่องจากการวัด (Total Gage R&R) ประเมินจาก %Contribution of Variance มีค่าเท่ากับ 11.77% เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของความแปรปรวนในระบบการวัดพบว่ามาจากความสามารถในการวัดซ้ำเป็นความผันแปรของอุปกรณ์ (Repeatability) เท่ากับ 9.55% และความสามารถในการประเมินซ้ำซึ่งเป็นความผันแปรของพนักงาน (Reproducibility) เท่ากับ 2.22% นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความสามารถในการประเมินซ้ำ ซึ่งมาจากพนักงาน (Operator) เท่ากับ 2.22% และมาจากอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานกับชิ้นงาน (Operator*Part) เท่ากับ 53.85% และค่าความแปรปรวนเนื่องจากระบบการผลิต (Part-to-Part) มีค่าเท่ากับ 88.23%

จากการศึกษาความแปรปรวนของระบบการวัด พบว่าระบบการวัดที่ทำการทดสอบมานั้นยังมีความสามารถที่เพียงพอเนื่องจากผลที่ได้มีค่าความแปรปรวน (Total Gage R&R) เท่ากับ 11.77% (อยู่ในช่วงระหว่าง 10%-30%) ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่เมื่อทำการประเมินด้านความแปรปรวนของระบบการวัดแล้วจะต้องมีการประเมินผลเทียบความผันแปรของระบบการวัดกับค่าความคลาดเคลื่อนที่อนุโลมได้ (Precision-to-Tolerance Ratio หรือ P/T) ของสเปค สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการเพื่อแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีเสีย แสดงผลดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหาคัดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง
(ต่อ)

Gage Evaluation				
Source	StdDev (SD)	Study Var (6*SD)	Study Var (%SV)	Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	19.20	98.88	34.34	49.44
Repeatability	17.30	89.08	30.91	44.54
Reproducibility	8.33	42.92	14.89	21.46
Operators	8.33	42.92	14.89	21.46
Part-to-Part	52.56	270.67	93.93	135.34
Total Variation	55.96	288.17	1000.00	144.08
Number of Distinct Categories = 4				



ภาพ 4.8 กราฟแสดงผลค่าความแปรปรวนของการทดลองหาคัดวัดเรโซแนนซ์ก่อนปรับปรุง

จากตาราง 4.5 สำหรับค่าความแปรปรวนของรีพีเทบิลิตี (Repeatability) มีค่าเท่ากับ 17.30 และรีโพรดูซิบิลิตี (Reproducibility) มีค่าเท่ากับ 8.33 ทำให้ความแปรปรวนจากการวัด (GR&R) เท่ากับ 98.88 ส่งผลให้ค่า %P/T เท่ากับ 49.44 แสดงว่าระบบการวัดไม่สามารถแยกแยะ

ผลิตภัณฑ์ที่เสียได้ และมีค่า NDC เท่ากับ 4 แสดงว่าระบบการวัดมีความไวในการแยกแยะความต่างของชิ้นงานอยู่ในระดับปานกลาง

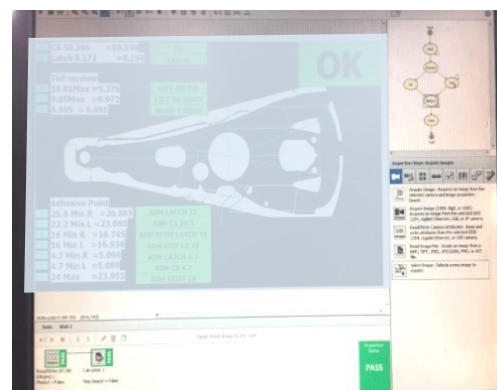
จากภาพ 4.8 กราฟ Components of variation บอกถึงความแปรปรวนส่วนมากเกิดจากกระบวนการผลิต (Part-to-Part) โดยมีสาเหตุมาจากความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) แผนภูมิควบคุมพิสัย บอกถึงค่าพิสัยในการวัดส่วนใหญ่อยู่ในพิกัดควบคุมมีเพียง 3 จุดเท่านั้นที่อยู่นอกพิกัดควบคุมซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดของพนักงานหรือจากความแตกต่างกันของชิ้นงานก็ได้ กราฟแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนจากการวัดมีค่ามากกว่าจากกระบวนการผลิต และแผนภาพแบบกล่อง พบว่าผู้วัดทั้งสองคนมีค่าวัดที่แตกต่างกันสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานและผู้วัดมีเส้นที่ไม่ซ้อนทับกัน แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานวัดใหม่ ผู้วัดทั้งสองจะไม่สามารถวัดชิ้นงานได้เท่ากัน

4.2.3 ผู้จัดทำโครงการได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาในขั้นตอนการตรวจสอบในปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine) และปัจจัยด้านวิธีการ (Method) ที่ไม่มีระบบแสดงค่าสเปค ใช้ตาเปล่าในการตรวจสอบชิ้นงาน และวัดค่าได้แค่ด้านบน (Top View) ซึ่งมาจากขั้นตอนการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) กับการตรวจสอบด้วยกล้อง (CCD Camera) ซึ่งขั้นตอนการใช้เครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision Inspection Machine) มีวิธีการดังนี้

1. หยิบและวางชิ้นงานลงบนฐานของเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision)
2. โปรแกรม (Ni Builder) จะทำการจัดตำแหน่งแกน X-Y ตามสเปคดรออิง
3. ค้นหาตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ
4. คำนวณค่าตามข้อกำหนด
5. แสดงผลลัพธ์



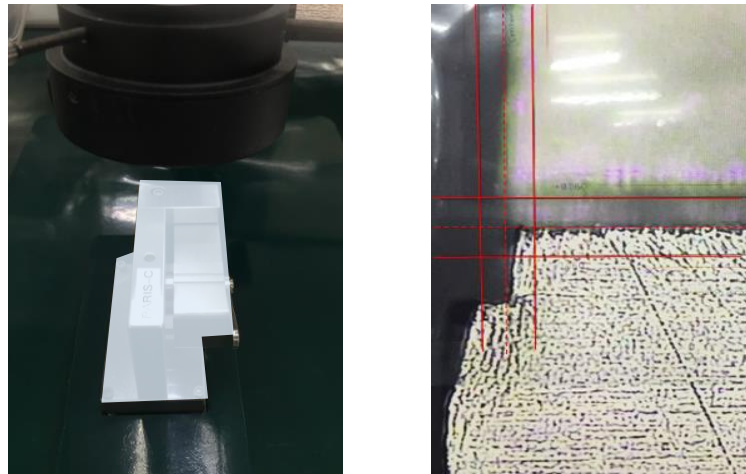
ภาพ 4.9 วางชิ้นงานบนฐาน



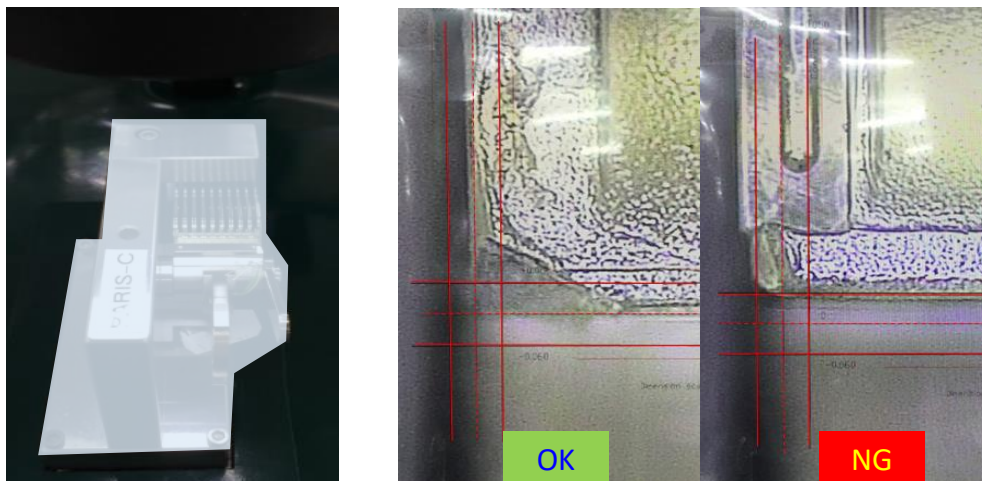
ภาพ 4.10 โปรแกรมคำนวณและแสดงผล

และขั้นตอนการตรวจสอบด้วยกล้อง (CCD Camera) มีวิธีการดังนี้

1. ใส่ชิ้นงานที่เป็นมาสเตอร์ในบล็อกแล้วล็อก
2. ตั้งค่ากล้องให้ตรงแกน X-Y
3. ใส่ชิ้นงานและล็อก
4. ตรวจสอบตำแหน่งจากเส้นสเปคบนจอ (OK, NG)



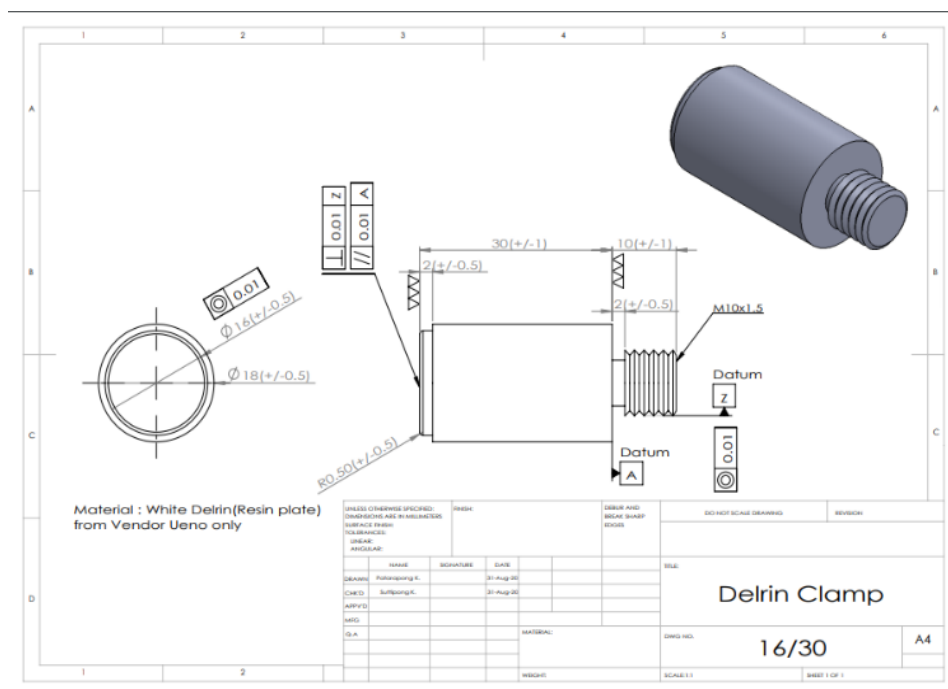
ภาพ 4.11 การเซตค่ากล้องให้ตรงกับตัวมาสเตอร์



ภาพ 4.12 การตรวจวัดชิ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) และหน้าจอแสดงผล

4.3 กำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

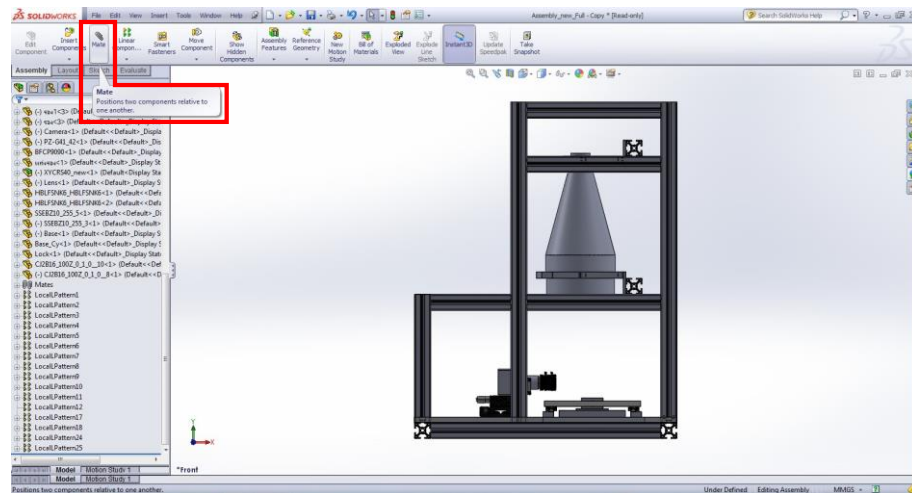
4.3.1 ทำการออกแบบและกำหนดเงื่อนไขสเปกขนาดหัวกดวัดเรโซแนนซ์ โดยออกแบบให้มีความแข็งแรงและมีขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมกับชิ้นงาน เพื่อยืดระยะเวลาในการใช้งานให้นานขึ้น หลังจากออกแบบและกำหนดเงื่อนไขโดยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) แล้วด้วยเงื่อนไขที่กำหนดเพื่อที่จะได้นำไปทำการทดสอบชนิดของหัวกดชิ้นงานด้วยเงื่อนไขที่ได้กำหนด และทำการวิเคราะห์เพื่อเลือกเงื่อนไขที่ดีและเหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดเรโซแนนซ์ ดังภาพ 4.13



ภาพ 4.13 แบบดรออิงของหัวกดวัดเรโซแนนซ์

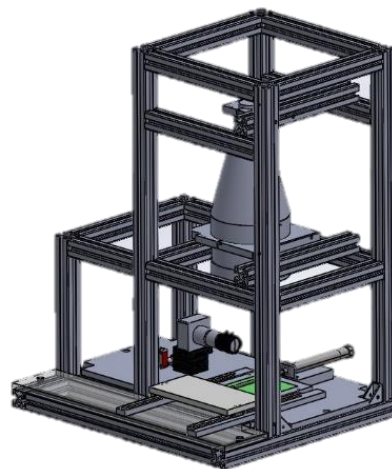
4.2.2 ออกแบบเครื่องวัดขนาดของแกนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์แบบใหม่ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดให้มีโครงสร้างแข็งแรงโดยใช้อลูมิเนียมโปรไฟล์ หรืออลูมิเนียมเฟรมเป็นตัวโครงสร้างและใช้ในการยึดเลนส์เทเลเซนทริก (Telecentric) โดยระยะห่างจากเลนส์ถึงตัวชิ้นงานอยู่ที่ 20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะที่สามารถจับภาพชิ้นงานได้พอดี

ออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดขนาดของแกนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ โดยออกแบบให้มีความแข็งแรงและให้มีขนาดพอดี เพื่อไม่ให้ใช้พื้นที่ในการใช้งานมากเกินไป ดังภาพ 4.14



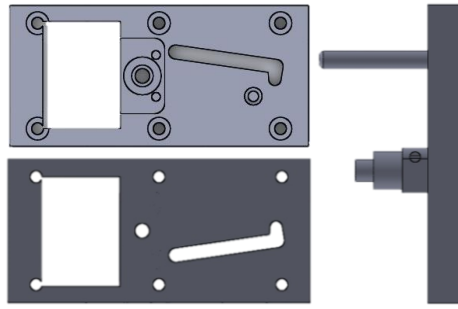
ภาพ 4.14 การประกอบ (Mate) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน

ออกแบบโครงสร้างให้พอดีสำหรับตำแหน่งในการติดตั้งกล้องทั้ง 2 ตัว และระยะการจับภาพที่เหมาะสมของกล้องกับชิ้นงาน ดังภาพ 4.15



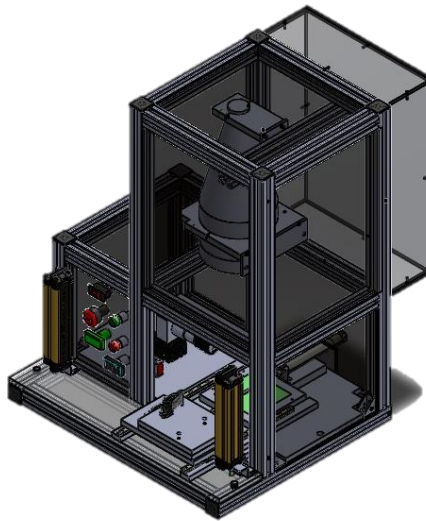
ภาพ 4.15 แบบโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อติดตั้งเลนส์และกล้องทั้ง 2 ตัว

ออกแบบฐานรองชิ้นงาน (Base Design) สำหรับวางชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจวัดชิ้นงานโดยออกแบบให้มีขนาดแกนที่พอดีกับชิ้นงานสามารถวางชิ้นงานได้พอดีไม่บังแสงขณะกล้องตรวจจับภาพชิ้นงาน ดังภาพ 4.16



ภาพ 4.16 แบบของฐานรองใส่ชิ้นงานในการวัด

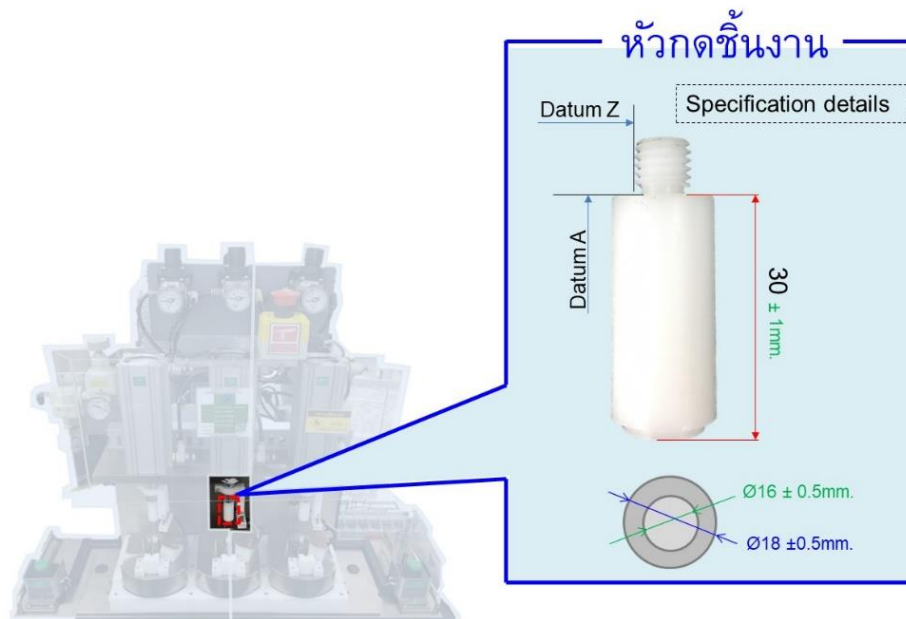
แบบจำลองโครงสร้างเครื่องวัดขนาดของแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (New Vision Inspection Machine) เสร็จสมบูรณ์ ดังภาพ 4.17



ภาพ 4.17 แบบจำลองเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ (New Vision Inspection Machine)

4.4 ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

4.4.1 ผู้ศึกษาได้ทำการออกแบบหัววัดวัดเรโซแนนซ์ไปและสั่งทำหลังจากที่ได้หัววัดที่ออกแบบใหม่ ดังภาพ 4.18 มาแล้วนั้นผู้ศึกษาได้นำไปทดสอบขนาดสัดส่วนและได้ใช้เครื่องวัดขนาดด้วยการประมวลภาพ (IM-6000 Series Machine) มาทำการวัดทดสอบขนาดของหัววัด เพื่อทดสอบว่าค่าที่ได้นั้นอยู่ในเงื่อนไขหรือไม่ ดังตาราง 4.6

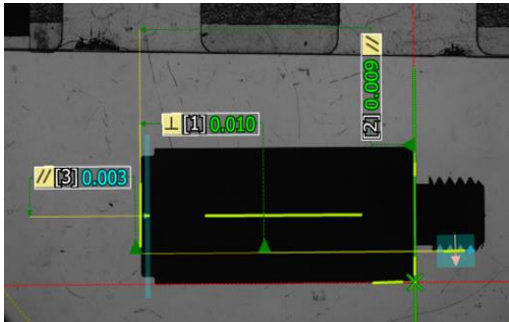


ภาพ 4.18 หัวกดวัดเรโซแนนซ์ที่ทำการออกแบบใหม่

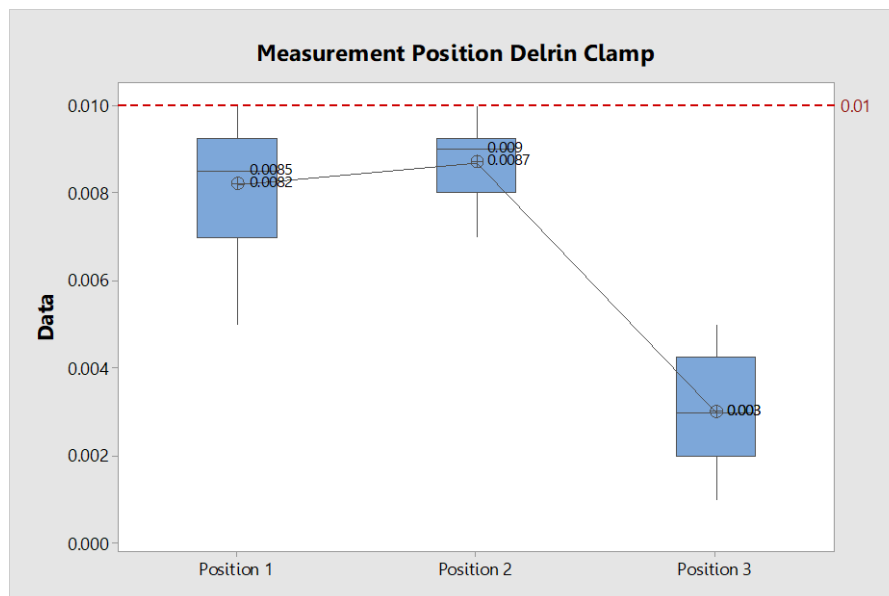
ตาราง 4.6 การตรวจเช็คขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ หลังปรับปรุง

ชั้น	การวัดขนาดสัดส่วนหัวกดวัดเรโซแนนซ์
1	
2	

ตาราง 4.6 การตรวจเช็คขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ หลังปรับปรุง (ต่อ)

ชั้น	การวัดขนาดสัดส่วนหัวกดวัดเรโซแนนซ์
3	

จากตาราง 4.6 ที่ได้นำหัวกดวัดเรโซแนนซ์ที่ได้ออกแบบใหม่มาทำการทดสอบด้วยเครื่องประมวลผลด้วยภาพ ผลที่ได้จากการวัดคือ ผ่านเงื่อนไข เนื่องจากตำแหน่งจุดวัดที่กำหนดมีค่าอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดไว้ที่ค่าต้อง ≤ 0.01 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลการวัดที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยการทำแผนภาพกล่อง (Box Plot) ใช้แสดงสาระสำคัญของข้อมูลคือ ค่ากลาง ค่าการกระจาย สัดส่วนข้อมูลที่มากหรือน้อยกว่าค่ากลาง รวมทั้งข้อมูลที่อยู่ห่างจากกลุ่มมาก ๆ (Outlier) ผลของการทำแผนภาพกล่อง (Box Plot) แสดงดังภาพ 4.19



ภาพ 4.19 ผลการทดสอบขนาดของหัวกดวัดเรโซแนนซ์ทั้ง 3 ตำแหน่งด้วยการทำแผนภาพกล่อง

ผลสรุปที่ได้จากการทำแผนภาพกล่อง (Box Plot) จากภาพ 4.19 ที่แสดงค่าเฉลี่ยและการกระจายตัวของข้อมูลในการวัดตำแหน่งหัวกดวัดเรโซแนนซ์ สามารถอธิบายได้ว่า ตำแหน่งที่ 1 และ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงแต่มีความแปรปรวนหรือการกระจายตัวที่ต่ำกว่าตำแหน่งที่ 3 ในขณะที่ตำแหน่งที่ 3 นั้นมีความแปรปรวนหรือการกระจายตัวที่สูงกว่าแต่ค่าที่ได้มีค่าไม่เกินข้อกำหนด จึงสรุปได้ว่าหัวกดวันเรโซแนนซ์แบบใหม่มีขนาดสัดส่วนที่อยู่ในข้อกำหนดที่ตั้งไว้

จากนั้นจึงทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง ได้ทำการตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบว่าค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของแต่ละตำแหน่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 หรือไม่ ของการวัดทั้ง 3 ตำแหน่ง สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

สมมติฐานหลัก Null Hypothesis (H_0)

H_0 : ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร

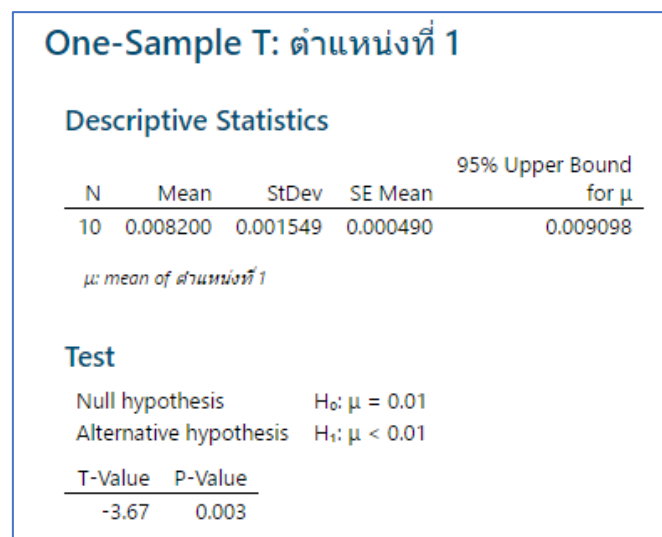
สมมติฐานรอง Alternative Hypothesis (H_1)

H_1 : ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของแต่ละตำแหน่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร

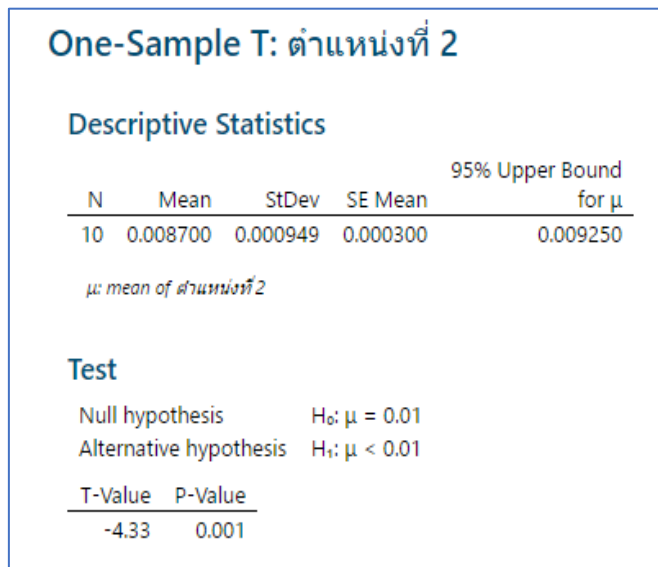
ถ้าค่า P-Value < 0.05 จะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 : ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของแต่ละตำแหน่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร

ถ้าค่า P-Value > 0.05 จะยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_1 : ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร

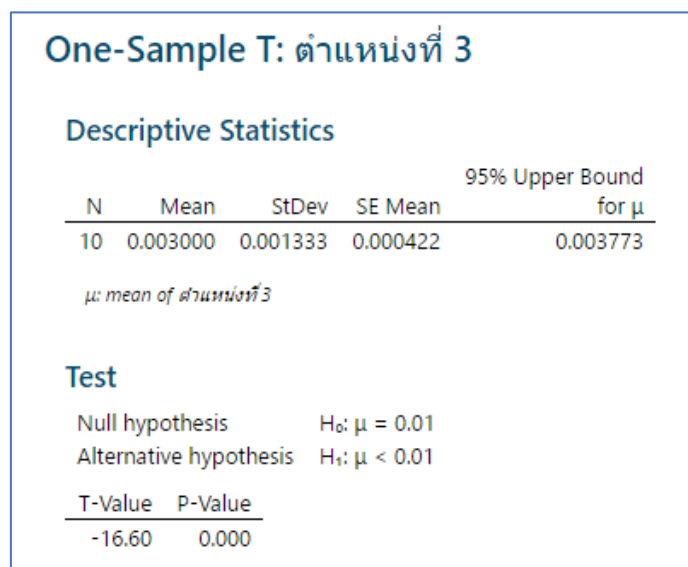
จากการทดสอบทางสถิติค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรม Minitab ได้ผล ดังภาพ 4.20, 4.21 และ 4.22



ภาพ 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของตำแหน่งที่ 1



ภาพ 4.21 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของตำแหน่งที่ 2



ภาพ 4.22 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแบบหนึ่งกลุ่มตัวอย่าง จากค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดของตำแหน่งที่ 3

สรุปผล ค่าตำแหน่งจุดวัดหัวกระโหลกโดยเฉลี่ย ของตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 มีค่า P-value < 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่การวัดทั้งสามตำแหน่งมีค่าน้อยกว่า 0.01 มิลลิเมตร

4.4.2 ดำเนินการประกอบโครงสร้างเครื่องวัดหลังจากทำการออกแบบ โดยการสร้างและประกอบเครื่องนั้นทำร่วมกับทีมงานและผู้เชี่ยวชาญหลังจากประกอบโครงสร้างเสร็จจะทำการติดตั้งอุปกรณ์และแผงวงจรไฟฟ้าโดยผู้เชี่ยวชาญ ตัวอย่างเครื่องวัดดังภาพ 4.23



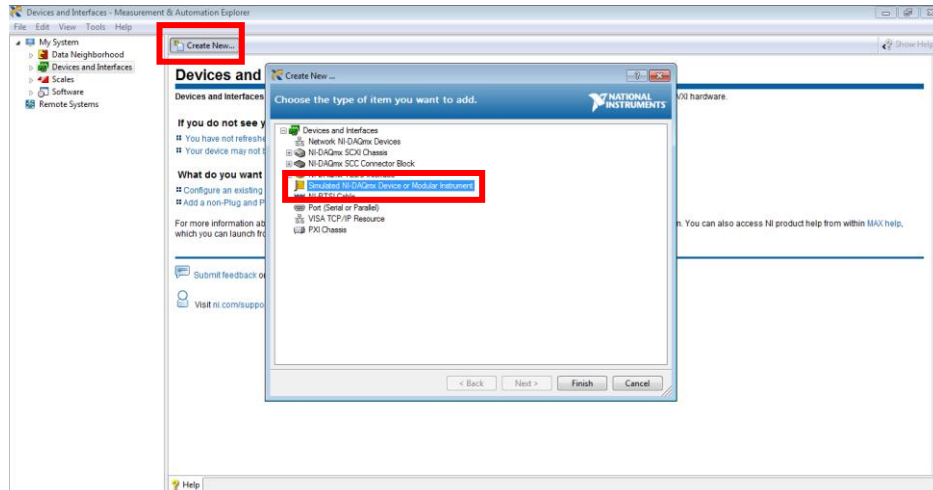
ภาพ 4.23 เครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ New Vision Inspection Machine

จากนั้นผู้ศึกษาจึงได้ทำการปรับปรุงโปรแกรมเอ็นไอ วิชั่น บิลเดอร์ (NI Vision Builder) ที่ใช้ในการออกแบบการตรวจสอบชิ้นงานซึ่งผู้ศึกษาร่วมกันกับผู้เชี่ยวชาญในการปรับปรุงโปรแกรมให้สามารถจับภาพชิ้นงานได้ 2 ด้าน โดยสามารถจับได้ทั้งด้านออฟซี และด้านดาตัมซี ตัวอย่างโปรแกรมดังภาพ 4.24



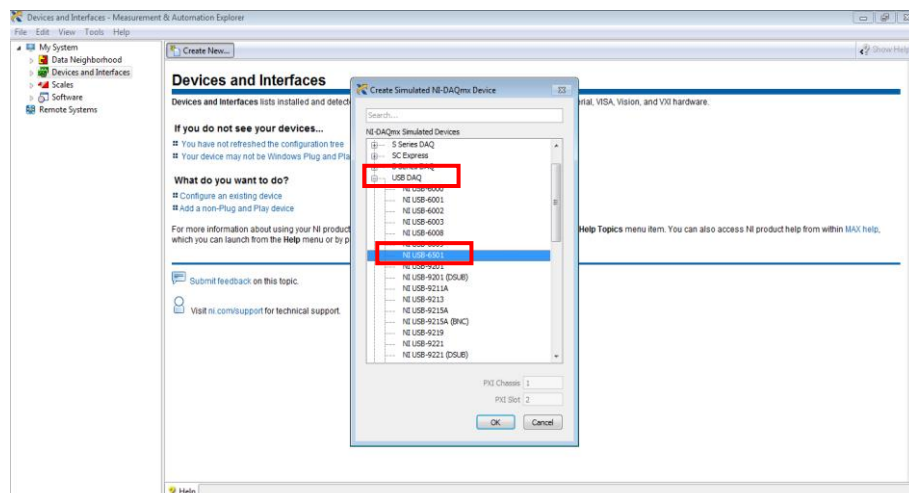
ภาพ 4.24 ตัวอย่างโปรแกรมเอ็นไอ วิชั่น บิลเดอร์ (NI Vision Builder)

เลือก Devices and Interfaces และเลือก Create New เพื่อเพิ่ม Devices Input/Output และเพิ่มกล่องที่ใช้ในการจับภาพชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน เลือก Simulated NI-DAQmx Device or Modular Instrument ดังภาพ 4.25



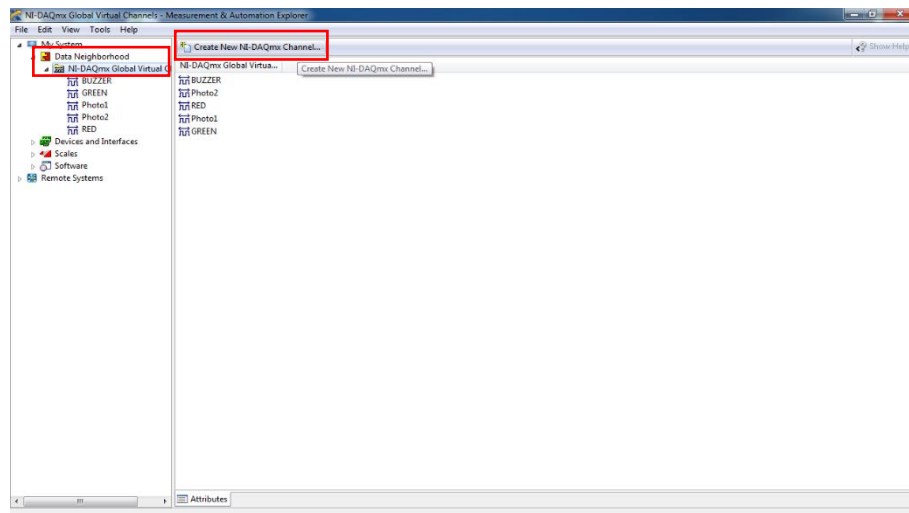
ภาพ 4.25 การเพิ่ม Devices Input/Output

เลือก USB DAQ รุ่น NI USB-6501 และเพิ่ม Device NI USB-6501 เสร็จเรียบร้อย ดังภาพ 4.26



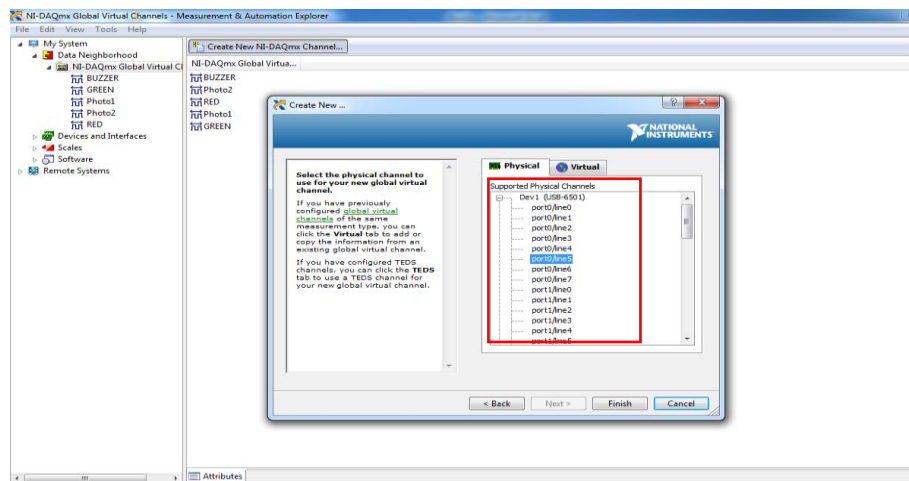
ภาพ 4.26 อุปกรณ์ที่ใช้และทำการเชื่อมต่อ Device NI USB-6501

เลือกรุ่นของ I/O Device และเลือก Create New เพื่อ Add Input/Output และเลือกชนิดของ Input/Output ดังภาพ 4.27



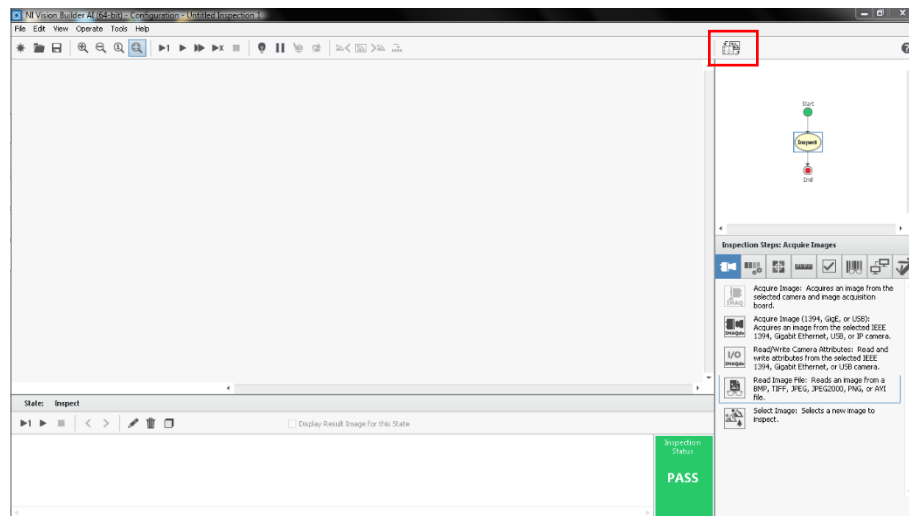
ภาพ 4.27 การเพิ่มและการเลือกชนิดของ Input/Output

กำหนด Port/Line ของ Input/Output โดยกำหนดให้ตรงกับวงจร และกำหนดชื่อของ Input/Output และกด Finish ดังภาพ 4.28



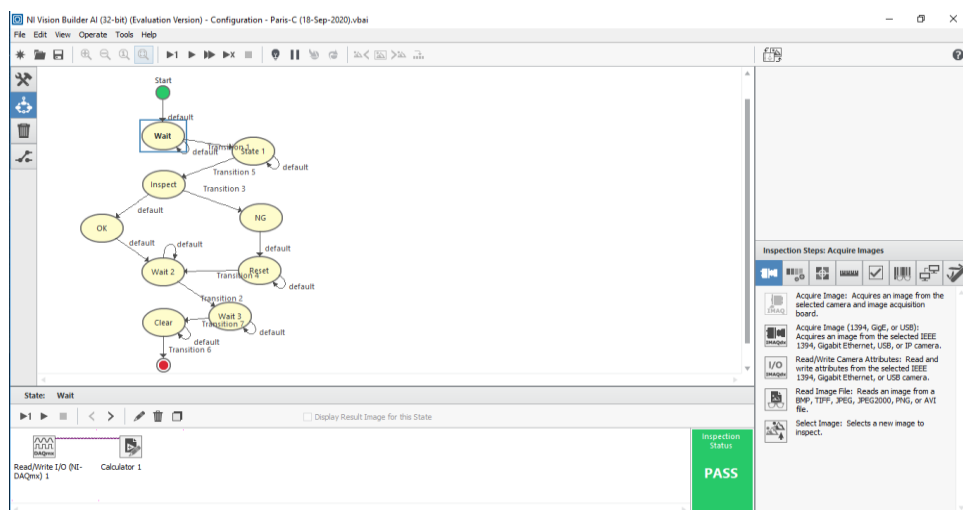
ภาพ 4.28 การกำหนด Port/Line และกำหนดชื่อของ Input/Output

ใช้โปรแกรม NI Vision Builder ในการเขียนโปรแกรมการควบคุมการทำงาน โดยสลับหน้าต่างเพื่อเปลี่ยนหน้าจอไปยังหน้าจอที่เขียนโปรแกรม ดังภาพ 4.29



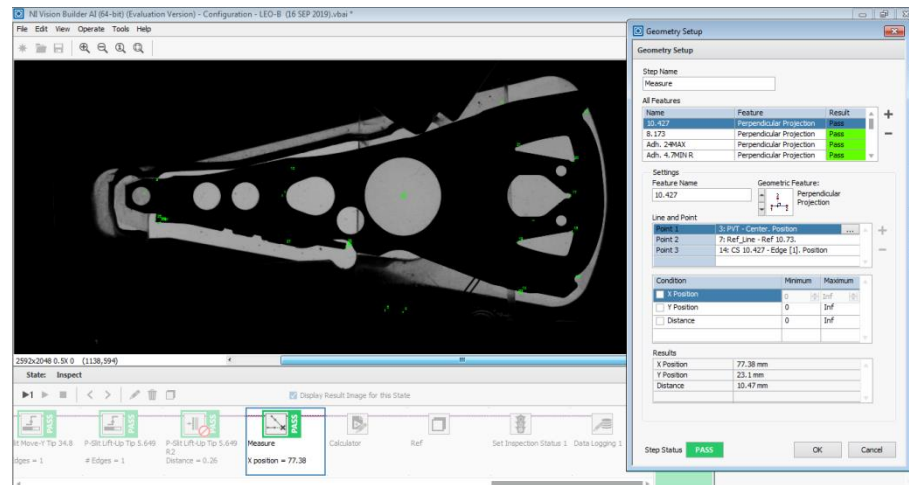
ภาพ 4.29 หน้าต่างของโปรแกรม NI Vision Builder

กำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมในลักษณะการไหลแบบ Flow Chart ซึ่งง่ายต่อการเขียนโปรแกรมและไม่ซับซ้อน ดังภาพ 4.30



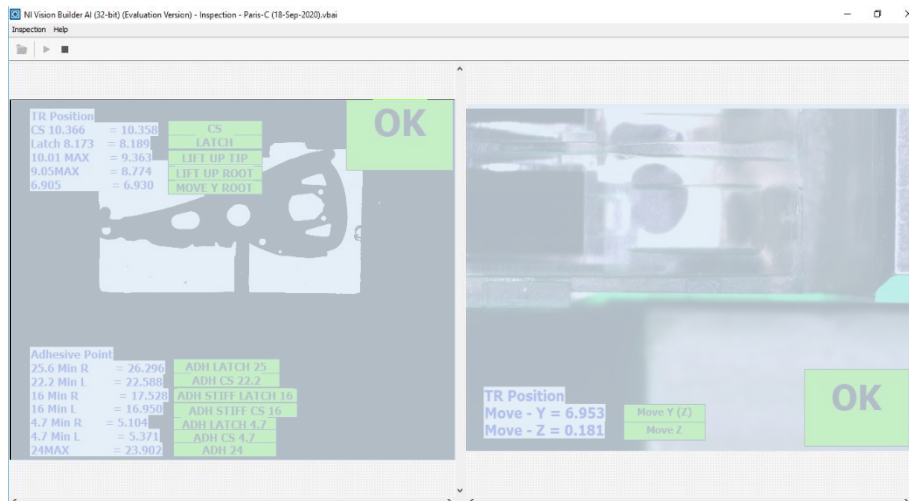
ภาพ 4.30 กำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม

ปรับแต่งภาพให้มีความคมชัด และสร้างเส้นอ้างอิงจากภาพชิ้นงานกำหนดจุดวัดที่ต้องการ เพื่อสร้างเส้นวัดขนาดของเส้นอ้างอิงกับชิ้นงานและคำนวณ ดังภาพ 4.31



ภาพ 4.31 การคำนวณจุดที่กำหนดกับเส้นอ้างอิงและคำนวณ

การเซตค่าเพื่อคำนวณ Calculator Setup เพื่อกำหนดจุดวัดที่ต้องการ Set status เพื่อแสดงผลการวัดขนาดของชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน ดังภาพ 4.32



ภาพ 4.32 จอแสดงผลค่าสเปคชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน

4.5 ติดตามและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง

4.5.1 การศึกษาระบบการวัด (GR&R) ครั้งนี้ได้ทำการทดลองหลังจากได้มีการปรับปรุงหัวกดวัดเรโซแนนซ์ ตามหัวข้อที่ผ่านมาจากตารางผลวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ชิ้นงาน (Part) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แสดงว่าชิ้นงานที่สุ่มเลือกมีความแตกต่างกันสำหรับผู้วัด (Operators) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แสดงว่าผู้วัดมีการวัดชิ้นงานที่ไม่แตกต่างกัน และผลของค่าความแปรปรวนเนื่องจากการวัด (Total Gage R&R) ประเมินจาก %Contribution of Variance มีค่าเท่ากับ 0.86% และค่าความแปรปรวนเนื่องจากระบบการผลิต (Part-to-Part) มีค่าเท่ากับ 99.14% ซึ่งความแปรปรวนจากการวัด (GR&R) มีสาเหตุมาจากความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ดังตาราง 4.7

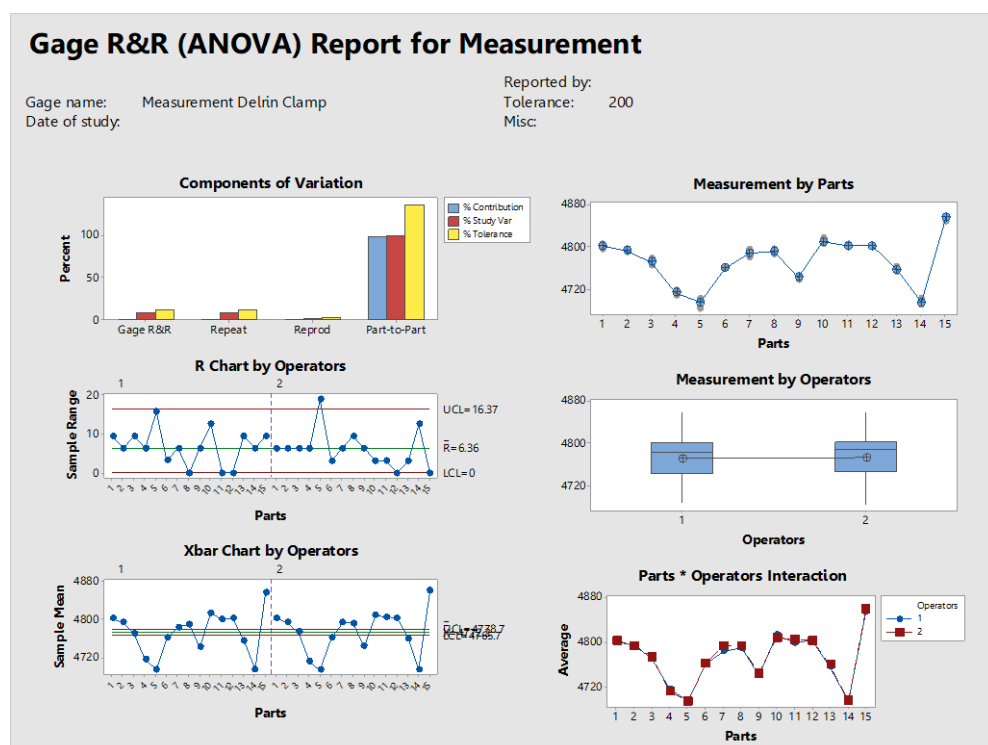
ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหัวกดวัดเรโซแนนซ์หลังปรับปรุง

Gage R&R Study – ANOVA Method					
Two – Way ANOVA Table with Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	14	173274	12376.7	613.615	0.000*
Operators	1	48	47.9	2.377	0.145
Operators*Parts	14	282	20.2	1.214	0.289
Repeatability	60	997	16.6		
Total	89	174600			
Alpha to remove interaction term = 0.05					
GR&R					
Source	VarComp		%Contribution (of VarComp)		
Total Gage R&R	17.96		0.86		
Repeatability	17.28		0.83		
Reproducibility	0.68		0.03		
Operator	0.68		0.03		
Part-To-Part	2059.90		99.14		
Total Variation	2077.86		100.00		

* P-Value <0.05

ตาราง 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหาคัดวัดเรโซแนนซ์หลังปรับปรุง
(ต่อ)

Gage Evaluation				
Total Gage R&R	StdDev (SD)	Study Var (6*SD)	Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	4.2385	25.431	9.30	12.72
Repeatability	4.1574	24.944	9.12	12.47
Reproducibility	0.8255	4.953	1.81	2.48
Operators	0.8255	4.953	1.81	2.48
Part-to-Part	45.3861	272.317	99.57	136.16
Total Variation	45.5836	273.502	100.00	136.75
Number of Distinct Categories = 15				



ภาพ 4.33 กราฟวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหาคัดวัดเรโซแนนซ์หลังปรับปรุง

จากตาราง 4.7 สำหรับค่าความแปรปรวนของรีพีทะบิลิตี้ (Repeatability) มีค่าเท่ากับ 4.1574 มิลลิเมตร และรีโพรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) มีค่าเท่ากับ 0.8255 ทำให้ค่าความแปรปรวนจากการวัด (GR&R) เท่ากับ 25.431 ส่งผลให้ค่า %P/T เท่ากับ 12.72 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีเสียได้ และมีค่า NDC เท่ากับ 15 ระบบการวัดมีความไวในการแยกแยะความต่างของชิ้น

จากภาพ 4.33 กราฟ Components of variation บอกถึงความแปรปรวนส่วนมากเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต (Part-to-Part) แผนภูมิควบคุมพิสัย บอกถึงค่าพิสัยในการวัดอยู่ในพิกัดควบคุม แสดงว่าผู้ปฏิบัติงานวัดอย่างสม่ำเสมอจะอยู่ภายในขีดจำกัดการควบคุม กราฟแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนจากการวัดมีค่าน้อยกว่าจากกระบวนการผลิต และแผนภาพแบบกล่อง พบว่าผู้วัดทั้งสองคนมีค่าวัดที่ไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างชิ้นงานและผู้วัดที่เส้นซ้อนทับกันพอดี แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานวัดใหม่ ผู้วัดทั้งสองก็สามารถวัดชิ้นงานได้เท่ากัน

ตาราง 4.8 ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดก่อนและหลังปรับปรุง

หัวกดวัด	%GR&R	%P/T	NDC
แบบเก่า	10.08	36.53	4
แบบเก่า	10.91	27.15	4
แบบเก่า	11.77	49.44	4
แบบใหม่	0.70	10.91	16
แบบใหม่	0.86	12.72	15
แบบใหม่	0.86	12.66	14

จากตาราง 4.8 การทดลองนำหัวกดวัดเรโซแนนซ์ที่ออกแบบใหม่ไปทดลองวัดชิ้นงานโดยการทำ Gage R&R และทำการวิเคราะห์ระบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งผลที่ได้มีค่าความผันแปรจากการวัด (%GR&R) น้อยกว่า 10% แสดงว่าความแปรปรวนของระบบการวัดอยู่ในระดับที่ดีมาก และค่าความสามารถในการแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีเสีย (%P/T) มีค่าอยู่ในช่วง 10%-30% ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีเสียได้ และ NDC มีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบการวัดมีความไวในการแยกแยะความต่างของชิ้นที่

4.5.2 เปรียบเทียบข้อมูลแต่ละตำแหน่งกับเครื่องวัดสามมิติ (Coordination Measuring Machine : CMM)

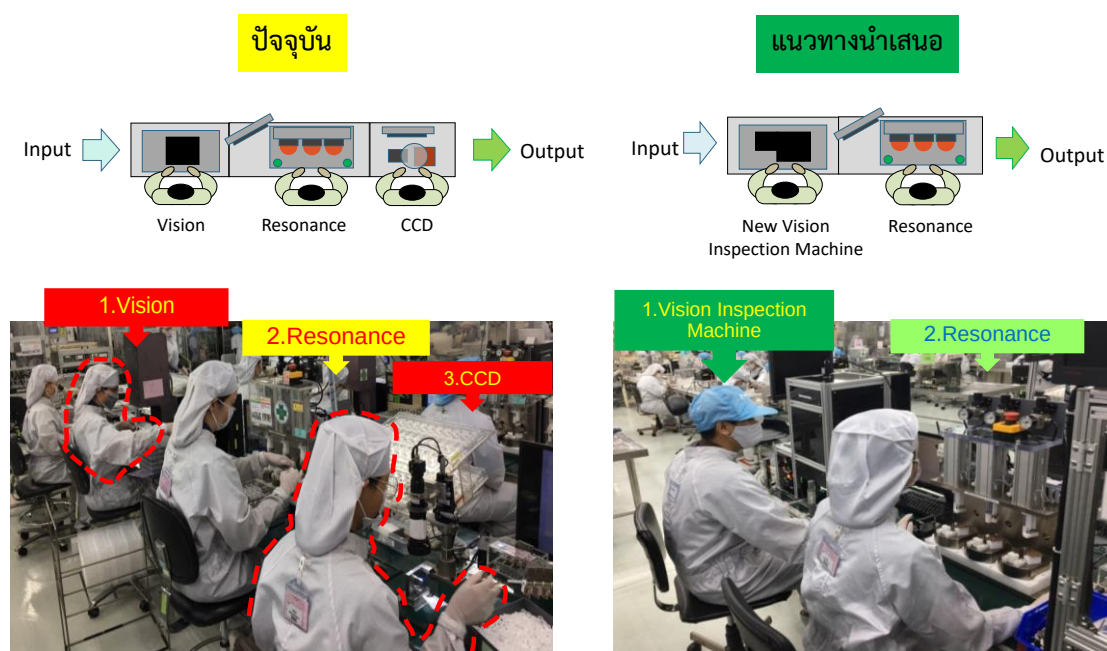
ผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบขนาดค่าตามจุดวัดขนาดต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดโดยข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) กำหนดให้ในแต่ละตำแหน่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดสามมิติ มีความแตกต่าง (Different) อยู่ที่ ± 0.050 มิลลิเมตร $r^2 > 0.9$ โดยมีตำแหน่งที่ทำการวัดทั้งหมด 14 ตำแหน่ง คือ 1) TR Move-Z 2) TR Move-Y(Z) 3) TR Move-Y Root 4) TR Lift-Up Root 5) TR Lift-Up Tip 6) CS 7) LATCH 8) ADH STF CS 16 9) ADH STF LATCH 16 10) ADH STF HT 11) ADH CS 12) ADH LATCH 13) ADH STF CS 4.7 14) ADH STF LATCH 4.7 โดยค่าที่ได้จากการวัด ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

No.	Dimension	r	r ²	P-Value
1	TR Move-Z	0.9731	0.9469	0.07158
2	TR Move-Y(Z)	0.9692	0.9393	0.07598
3	TR Move-Y Root	0.9586	0.9190	0.09031
4	TR Lift Up Root	0.9646	0.9305	0.16429
5	TR Lift Up Tip	0.9689	0.9389	0.07478
6	CS	0.9551	0.9123	0.12042
7	LATCH	0.9720	0.9449	0.49244
8	ADH STF CS 16	0.9964	0.9928	0.30630
9	ADH LATCH 16	0.9961	0.9923	0.63093
10	ADH STF HT	0.9962	0.9924	0.67942
11	ADH CS	0.9904	0.9809	0.06135
12	ADH LATCH	0.9908	0.9816	0.16411
13	ADH STF CS 4.7	0.9904	0.9810	0.78724
14	ADH STF LATCH 4.7	0.9712	0.9432	0.15290

ค่าที่ได้จากการทดสอบโดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งมีผล ($r > 0.9$) ทุกตำแหน่ง และมีความนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P > 0.05$ จึงสรุปได้ว่าการตรวจวัดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์แบบใหม่ (New Vision Inspection Machine) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ง

นำเสนอแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการตรวจสอบ โดยผู้ศึกษาได้นำหลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) มาปรับใช้ในส่วนของการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) ด้วยการออกแบบเครื่องมือวัดใหม่ที่สร้างขึ้นให้มีระบบแสดงค่าสเปคขึ้นงานและระบบกึ่งอัตโนมัติทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบ ซึ่งสามารถลดความผิดพลาดค่าความคลาดเคลื่อนการวัดขึ้นงานของผู้ตรวจสอบได้ และการรวมขั้นตอนวิธีการทำงาน (Combine) ของขั้นตอนที่ 1 การตรวจสอบขึ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบตำแหน่ง (Vision) กับการตรวจสอบขึ้นงานด้วยกล้อง (CCD Camera) ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางในการลดขั้นตอนในกระบวนการลงได้ แสดงแนวทางตัวอย่างดังภาพ 4.34



ภาพ 4.34 แนวทางในการพัฒนาปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการตรวจสอบก่อนและหลังปรับปรุง

จากภาพ 4.34 ที่ผู้ศึกษาได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดจำนวนขั้นตอนในกระบวนการ และได้มีการสอบถามกับทางโรงงานเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ถ้าโรงงานสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้จะประหยัดค่าใช้จ่ายไปประมาณ 33,800 บาทต่อคน ปัจจุบันในแผนกกรณีศึกษาที่มีไลน์กระบวนการตรวจสอบอยู่ 13 ไลน์ ถ้าสามารถนำแนวทางที่กล่าวมาข้างต้นนำไปพัฒนาและปรับใช้ได้จะสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ 1 คนต่อ 1 ไลน์ และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงงานลงได้ 33,800 บาทต่อเดือน หรือ 405,600 บาทต่อปี โดยประมาณ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีปริมาณการผลิตที่มากในแต่ละวัน และพบของเสียมาก ซึ่งจากที่ลูกค้านำแขนหัวอ่าน-เขียนไปประกอบฮาร์ดดิสก์แล้วฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยผู้ศึกษาได้ทำการคัดเลือกสาเหตุของปัญหาที่มีผลกระทบต่อกระบวนการตรวจสอบเมื่อทำการวิเคราะห์และปรึกษากับทีมงานแล้วผู้ศึกษาได้ทำการเลือกหัวข้อของปัญหาที่เกิดขึ้นมาทำการปรับปรุงแก้ไข โดยปัญหาที่มาจากขั้นตอนการตรวจสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลักได้ดังนี้ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกดวัดเรโซแนนซ์ 2.ขั้นตอนที่ 3 ไม่มีระบบแสดงผลวัดค่าเป็นตัวเลข

ผลหลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการแก้ปัญหาหลักทั้ง 2 ปัญหาแสดงต่อไปนี้

ปัญหาที่ 1.ปัญหาที่มาจากหัวกดวัดเรโซแนนซ์ ซึ่งการตรวจสอบขนาดสัดส่วนของหัวกดด้วยเครื่องประมวลด้วยภาพ IM-6000 และผลของหัวกดแบบเก่ามีค่าเกินข้อกำหนด (>0.01 มิลลิเมตร) ในตำแหน่งที่ 1 กับ 2 และในส่วนผลของหัวกดแบบใหม่นั้น มีค่าอยู่ในข้อกำหนด (≤ 0.01 มิลลิเมตร) ทั้ง 3 ตำแหน่ง และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหัวกดวัดเรโซแนนซ์ที่ออกแบบใหม่ของหัวที่ 1, 2 และ 3 พบว่าค่าความผันแปรจากระบบการวัด Total Gage R&R (ประเมินจาก %Contribution of variance) มีค่าเท่ากับ 0.7, 0.86, 0.86 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความแปรปรวนของระบบการวัดอยู่ในระดับที่ดีมาก ค่า P/T Ratio เท่ากับ 10.91, 12.72, 12.66 มีค่าอยู่ในช่วง 10-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้แสดงว่าระบบมีการวัดที่มีสมรรถภาพที่ดี และค่า NDC เท่ากับ 16, 15, 14 ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 แสดงว่าระบบมีความไวในการแยกแยะของดีเสีย

ปัญหาที่ 2.ขั้นตอนที่ 3 ไม่มีระบบแสดงผลวัดค่าเป็นตัวเลข ซึ่งการสร้างเครื่องวัดใหม่นั้นผลที่ได้จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ($r>0.9$) ทุกตำแหน่ง เทียบการวัดตำแหน่งกับเครื่องวัดสามมิติ (CMM) และมีค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P>0.05$ จึงสรุปได้ว่าการตรวจชิ้นงานด้วยเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์แบบใหม่ (New Vision Inspection Machine) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบระหว่างทำการศึกษา

5.2.1 ระยะเวลาในการสั่งทำหัวกดวัดเรโซแนนซ์ที่ออกแบบใหม่ใช้เวลานาน เพราะต้องมีการส่งเรื่องขอเบิกวัสดุภายในโรงงานแล้วส่งไปที่ฝ่ายจัดทำ จึงต้องสั่งทำจากร้านข้างนอกทำให้ใช้ระยะเวลานานในการสั่งและรอของนาน

5.2.2 ชิ้นงานที่ได้มานั้นจะมีเศษเสี้ยนตรงเกลียว ซึ่งทำให้ยากต่อการวัดทดสอบขนาดด้วยการจับภาพ

5.2.4 ระยะเวลาในการทดสอบและปรับปรุงเครื่องวัดขนาด (New Vision Inspection Machine) มีระยะเวลาในการทดสอบน้อย เนื่องจากหลายสาเหตุและสาเหตุด้านเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

5.3.1 เช็คสภาพหัวกดวัดเรโซแนนซ์ทุกครั้งก่อนและหลังใช้งาน

5.3.2 มีการสอนงานให้พนักงานที่ดูแลเครื่องในขั้นตอนการซ่อมบำรุง ตอนเปลี่ยนหัวหรือถอดมาทำความสะอาดให้ทำการหมุนซ้ำ ๆ เพื่อไม่ให้เกลียวหัวกดเกิดการบิ่นหรือเบี้ยว

5.3.3 จัดทำการตรวจสอบหัวกดชิ้นงานก่อนนำไปใช้จริง ว่าขนาดอยู่ในข้อกำหนดหรือไม่

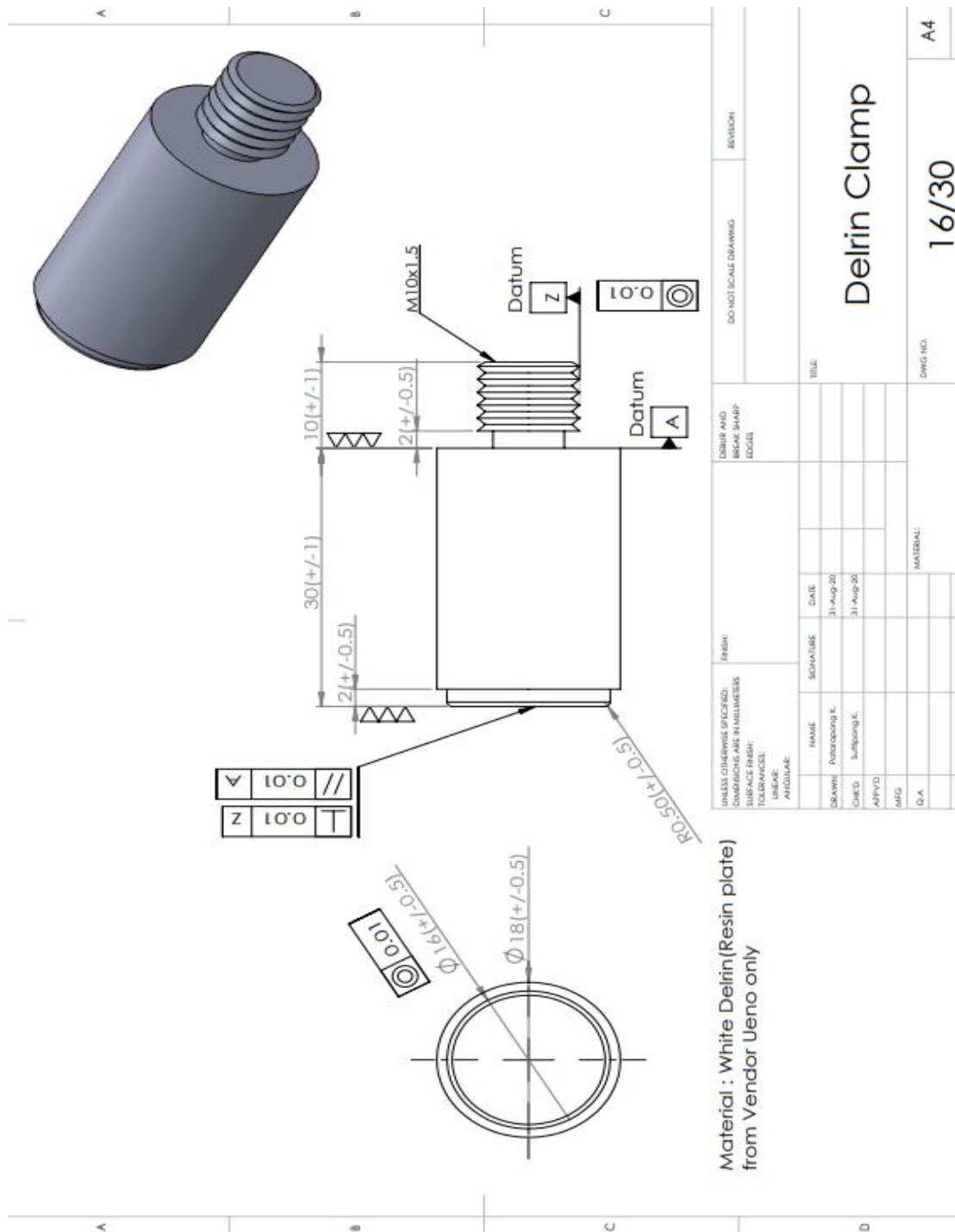
5.3.4 พัฒนาและปรับปรุงเครื่องวัดขนาด (New Vision Inspection Machine) ให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

บรรณานุกรม

- ณัฐยศ สมชำนาญ. (2555). การลดกระบวนการรอคอยงานในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ. วิศวกรรม
มหابัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- บุญเกียรติ บันเทิงใจ. (2556). แนวทางการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการเชื่อมคานกันกระแทกรถยนต์.
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- พัชรนิสา เสนีกาญจน์. (2561). การศึกษาสาเหตุความผิดพลาดในการวัดขนาดของงานพลาสติกด้วย
หลักการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) กรณีศึกษา โรงงานชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์.
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. “คู่มือการใช้โปรแกรม SolideWork ขั้นพื้นฐาน” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<https://www.gooshared.com/d/NTMwLTE=\> (5 กรกฎาคม 2563)
- บริษัท เทคสแควร์ จำกัด. “โปรแกรม NI Vision Builder” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [https://
www.techsquare.co.th/solimacautomation](https://www.techsquare.co.th/solimacautomation). (4 ตุลาคม 2563)
- อุดมศักดิ์ จิตสงบ. “การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://bigqtrai
ning.net/ckfinder/data-](http://bigqtrai) (27 กรกฎาคม 2563)
- อนันท์ คัมภีรานนท์. “เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://lms.rmutsb.ac.th/elearning/claroline/index.php>. (27 กรกฎาคม 256)
- เอราวิล ถาวร. (2560). การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับป้องกันความผิดพลาดการตรวจชิ้นงานวิชา
ปฏิบัติการทางวิศวกรรม. ค้นจาก [https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/
/86665-Article%20Text-237123-1-10-20170804%20](https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kbej/article/86665-Article%20Text-237123-1-10-20170804%20). (6 กันยายน 2563)
- LTD.KEYENCE (THAILAND) CO. “การใช้งานงานเครื่องมือวัดขนาดด้วยประมวลผลภาพเบื้องต้น”
[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [https://www.keyence.co.th/AS_105820_ IM-6000_C_
633B86_2010-2](https://www.keyence.co.th/AS_105820_IM-6000_C_633B86_2010-2). (9 สิงหาคม 2563)

ภาคผนวก ก

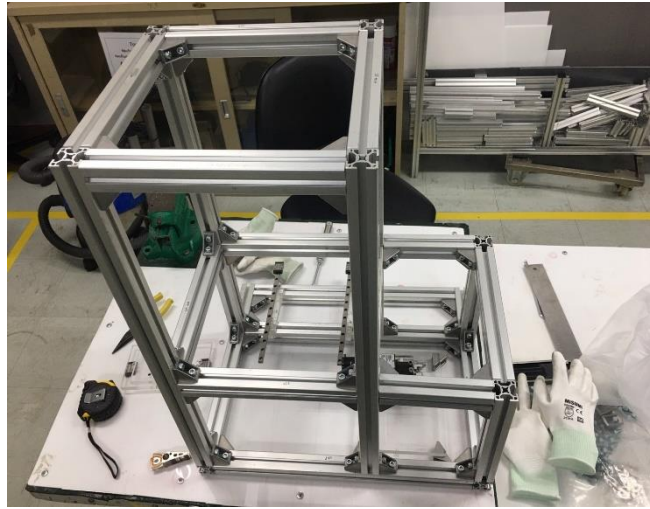
แบบ Drawing หัวกดวัดเรโซแนนซ์ (Delrin Clamp)



ภาพ ก-1 แบบ Drawing หัวกดวัดเรโซแนนซ์

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างและติดตั้งอุปกรณ์



ภาพ ข-1 ประกอบโครงสร้าง



ภาพ ข-2 ติดตั้งอุปกรณ์และแผงวงจร



ภาพ ข-3 จัดระบบรางเลื่อนและตำแหน่งจับภาพชิ้นงาน



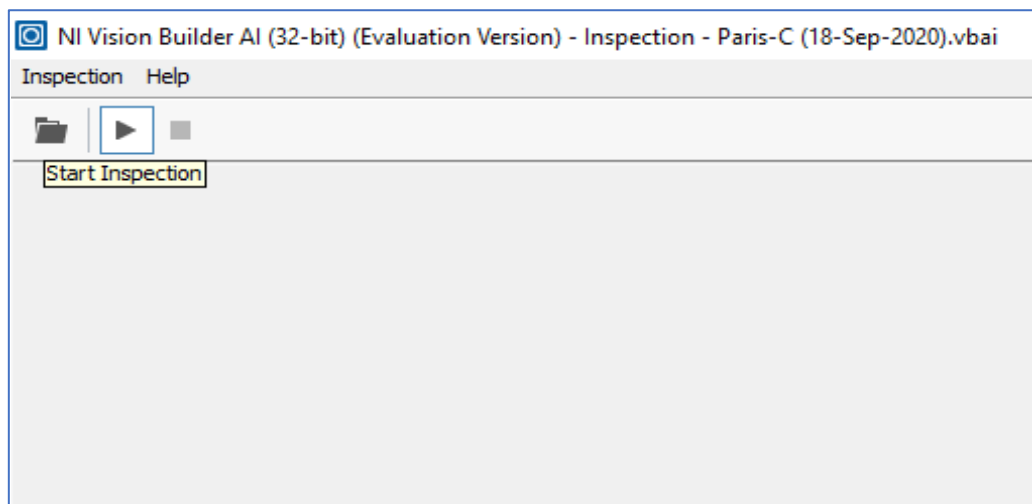
ภาพ ข-4 ประกอบโครงสร้างเสร็จ

ภาคผนวก ค

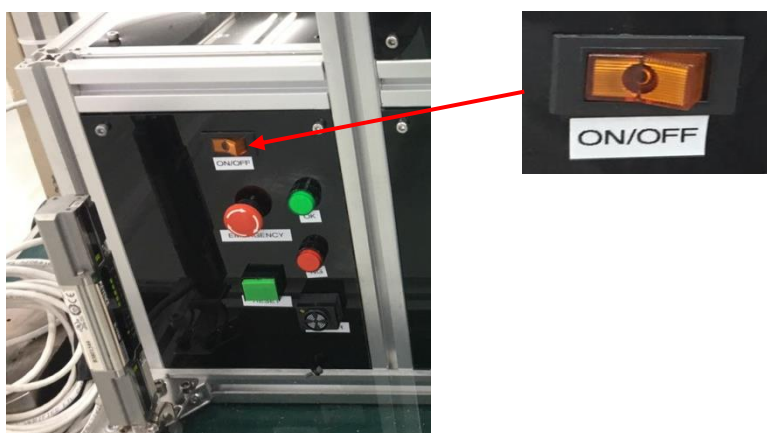
ขั้นตอนการใช้งานเครื่องวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์
(New Vision Inspection Machine)



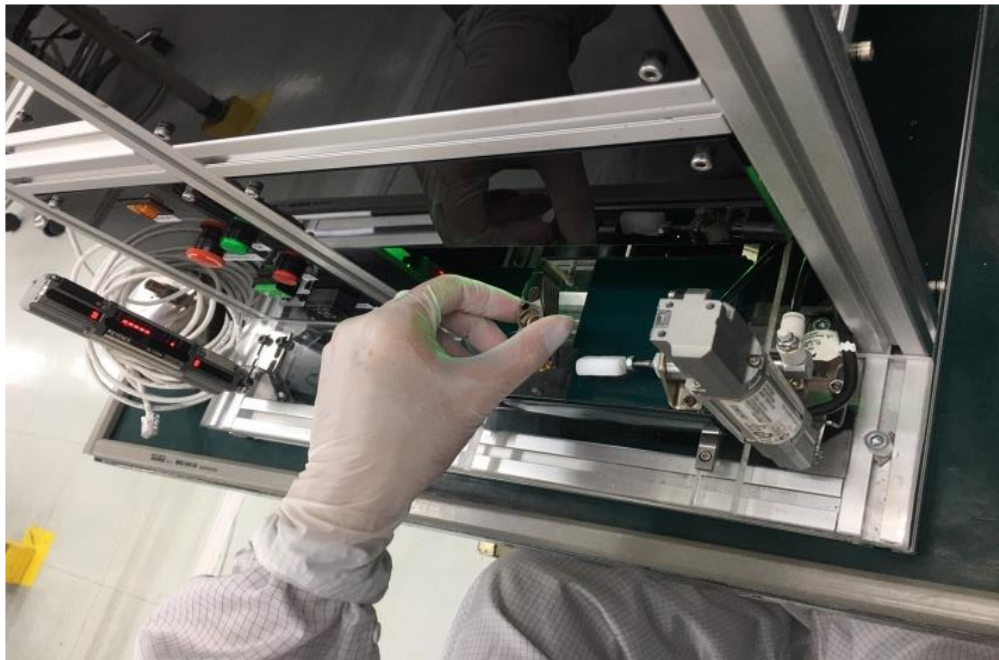
ภาพ ค-1 เปิดคอมพิวเตอร์ และเข้าโปรแกรม NI Vision Builder



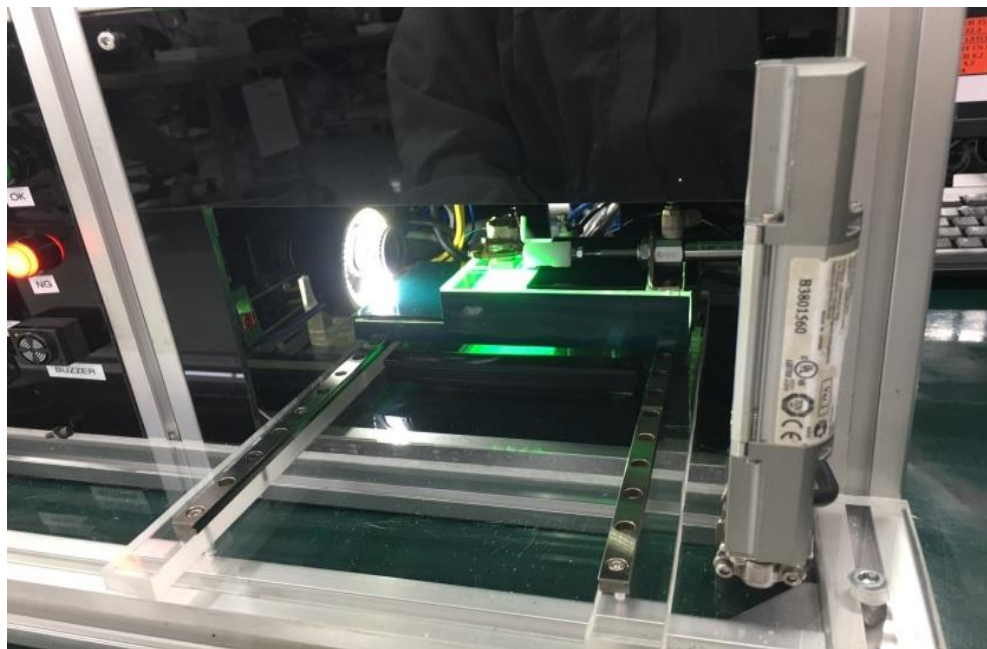
ภาพ ค-2 กดรันโปรแกรมเพื่อวัดชิ้นงาน



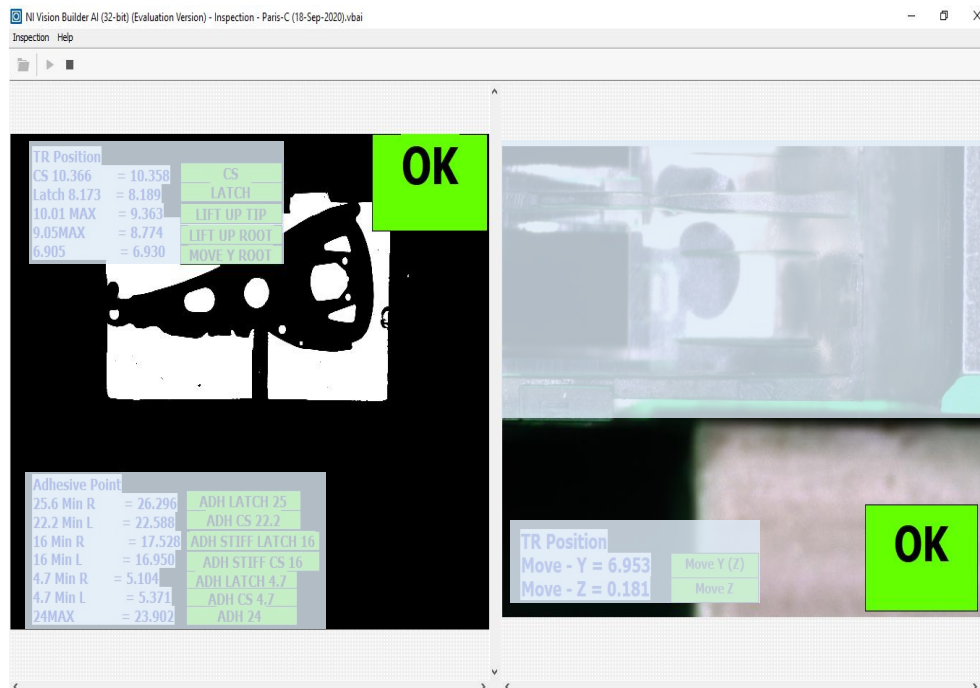
ภาพ ค-3 Control panel ของเครื่อง กดสวิตช์ไปที่ ON เพื่อเปิดเครื่อง



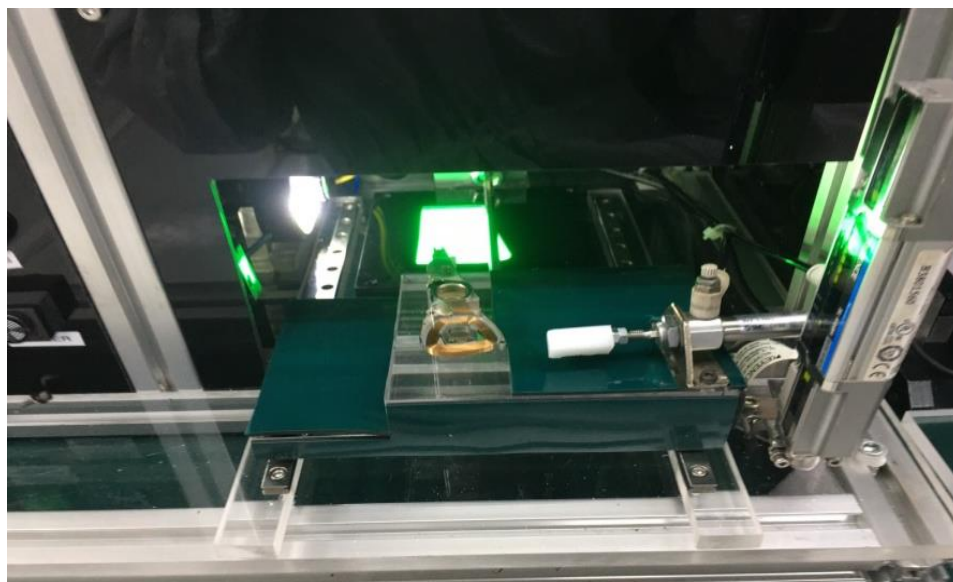
ภาพ ค-4 หยิบชิ้นงานวางบนฐานรองงาน



ภาพ ค-5 ฐานจะเลื่อนชิ้นงานไปตรงตำแหน่งจุดวัดเพื่อทำการคำนวณและแสดงผล



ภาพ ค-6 หน้าจอแสดงผลการตรวจสอบเมื่อชิ้นงานผ่านเงื่อนไข



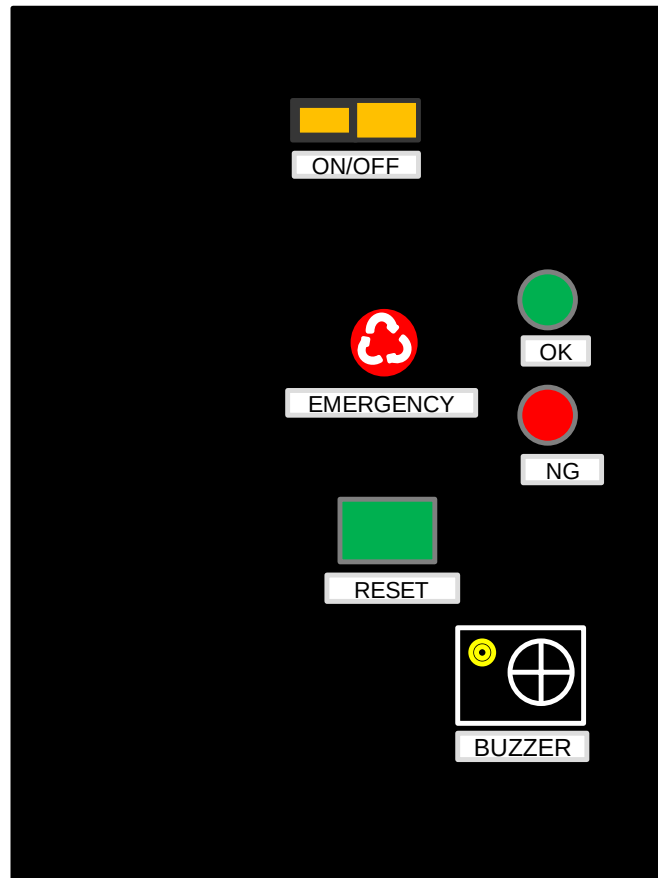
ภาพ ค-7 เครื่องจะเลื่อนฐานกลับออกมาตำแหน่งเดิมถ้าชิ้นงานผ่านเงื่อนไข



ภาพ ค-8 หน้าจอแสดงผลตรวจสอบเมื่อชิ้นงานไม่ผ่านเงื่อนไข



ภาพ ค-9 ถ้าชิ้นงานไม่ผ่านเงื่อนไขต้องกดปุ่ม Reset เพื่อให้เครื่องเลื่อนชิ้นงานออกมา



1. Light Switch = สวิตช์ไฟเปิด-ปิดเครื่อง
2. Emergency = ปุ่มหยุดฉุกเฉิน
3. OK = ไฟสีเขียวแสดงว่างานผ่านเงื่อนไข
4. NG = ไฟสีแดงแสดงว่างานไม่ผ่านเงื่อนไข
5. Reset = ปุ่มปิดเสียง Buzzer และรีเซ็ตการทำงานของเครื่อง
6. Buzzer = เสียงเตือนความผิดปกติของเครื่อง

ภาพ ค-10 คำอธิบายการใช้งานปุ่มกดของเครื่อง

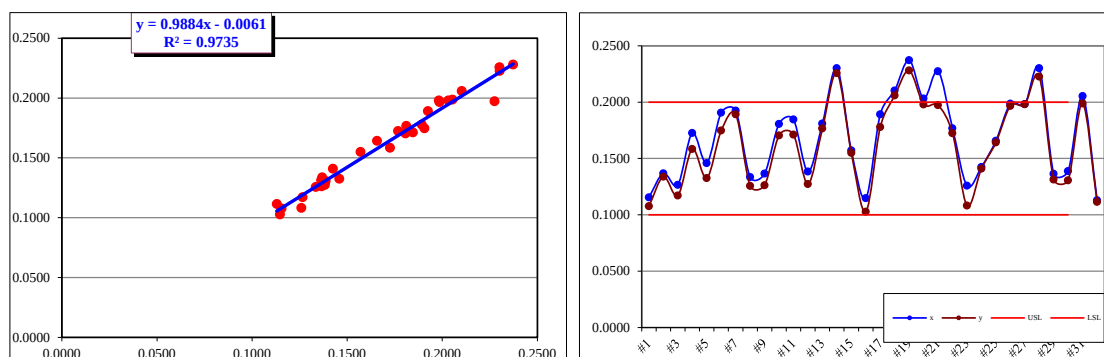
ภาคผนวก ง

การทดสอบด้วยค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ตาราง ง-1 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง TR Move-Z

No.	TR Move-Z		
	CMM	New MC.	Different
1	0.11556	0.10764	0.00792
2	0.13683	0.13385	0.00298
3	0.12660	0.11710	0.00950
4	0.17258	0.15850	0.01408
5	0.14584	0.13256	0.01328
6	0.19064	0.17480	0.01584
7	0.19245	0.18913	0.00332
8	0.13346	0.12567	0.00779
9	0.13651	0.12627	0.01024
10	0.18071	0.17047	0.01024
11	0.18459	0.17125	0.01334
12	0.13833	0.12738	0.01095
13	0.18104	0.17671	0.00433
14	0.23005	0.22585	0.00420
15	0.15707	0.15504	0.00203
16	0.11468	0.10275	0.01193
17	0.18919	0.17783	0.01136
18	0.21030	0.20584	0.00446
19	0.23726	0.22805	0.00921
20	0.20317	0.19800	0.00517
21	0.22748	0.19736	0.03012
22	0.17676	0.17243	0.00433
23	0.12587	0.10816	0.01771
24	0.14248	0.14097	0.00151
25	0.16572	0.16421	0.00151
26	0.19856	0.19667	0.00189
27	0.19822	0.19804	0.00018
28	0.23015	0.22275	0.00740
29	0.13637	0.13141	0.00496
30	0.13870	0.13066	0.00804
31	0.20537	0.19878	0.00659
32	0.11302	0.11156	0.00146
Mean difference			0.00806

จากตาราง ง-1 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด TR Move-Z เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน +/-0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-1

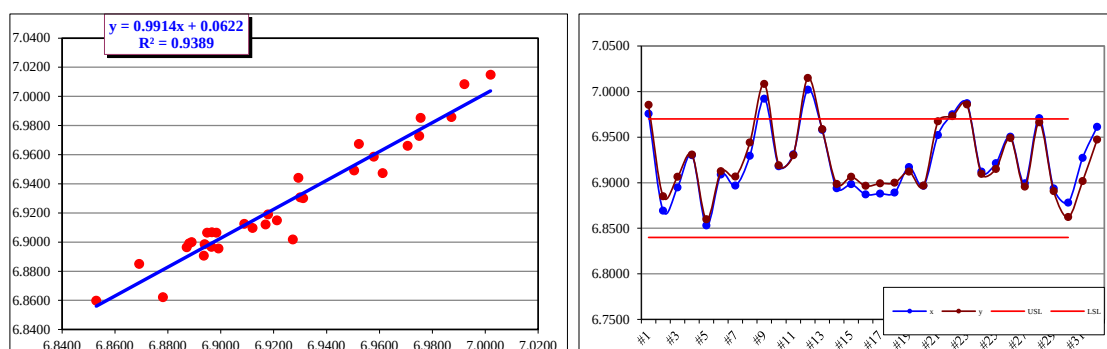


ภาพ ง-1 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด TR Move-Z

ตาราง ง-2 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง TR Move-Y (Z)

No.	TR Move-Y (Z)		
	CMM	New MC.	Different
1	6.97557	6.98530	-0.00973
2	6.86918	6.88505	-0.01587
3	6.89482	6.90639	-0.01157
4	6.93004	6.93072	-0.00068
5	6.85295	6.85980	-0.00685
6	6.90889	6.91245	-0.00356
7	6.89666	6.90672	-0.01006
8	6.92937	6.94411	-0.01474
9	6.99214	7.00838	-0.01624
10	6.91784	6.91903	-0.00119
11	6.93110	6.93006	0.00104
12	7.00200	7.01480	-0.01280
13	6.95784	6.95864	-0.00080
14	6.89388	6.89860	-0.00472
15	6.89836	6.90649	-0.00813
16	6.88710	6.89647	-0.00937
17	6.88808	6.89916	-0.01108
18	6.88900	6.89991	-0.01091
19	6.91694	6.91201	0.00493
20	6.89648	6.89666	-0.00018
21	6.95223	6.96729	-0.01506
22	6.97501	6.97284	0.00217
23	6.98715	6.98576	0.00139
24	6.91198	6.90963	0.00235
25	6.92122	6.91493	0.00629
26	6.95038	6.94915	0.00123
27	6.89915	6.89552	0.00363
28	6.97062	6.96607	0.00455
29	6.89362	6.89071	0.00291
30	6.87816	6.86220	0.01596
31	6.92726	6.90176	0.02550
32	6.96116	6.94728	0.01388
Mean difference			-0.00243

จากตาราง ง-2 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด TR Move-Y (Z) เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-2

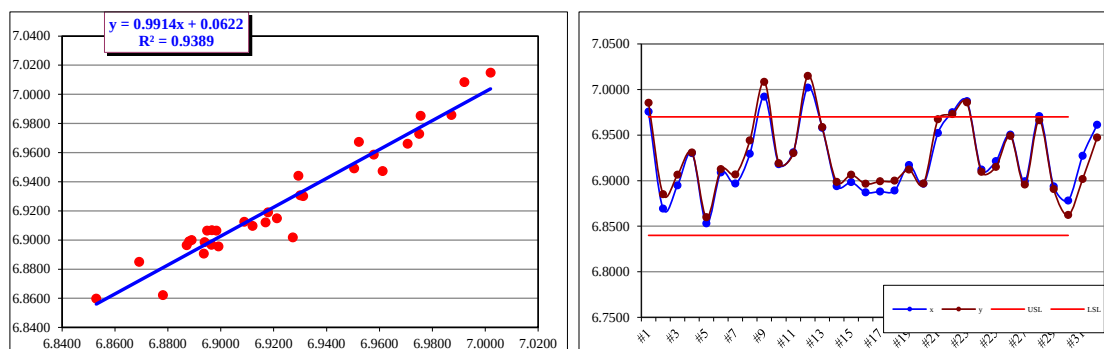


ภาพ ง-2 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด TR Move-Y (Z)

ตาราง ง-3 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง TR Move-Y (OZ)

No.	TR Move-Y (OZ)		
	CMM	New MC.	Different
1	6.99400	6.90382	0.09018
2	7.09337	7.09523	-0.00186
3	7.03706	7.00404	0.03302
4	6.91758	6.90910	0.00848
5	7.07364	7.06373	0.00991
6	7.00298	7.00828	-0.00530
7	7.09811	7.08063	0.01748
8	6.91123	6.91332	-0.00209
9	6.92739	6.92655	0.00084
10	6.98467	6.98198	0.00269
11	7.00758	7.01294	-0.00536
12	6.95311	6.95758	-0.00447
13	6.92210	6.91707	0.00503
14	6.98179	6.97465	0.00714
15	6.91563	6.92144	-0.00581
16	6.89287	6.89510	-0.00223
17	7.02985	7.03382	-0.00397
18	7.07065	7.07352	-0.00287
19	6.96726	6.97213	-0.00487
20	7.09232	7.09722	-0.00490
21	6.97014	6.97085	-0.00071
22	6.92039	6.92642	-0.00603
23	6.94731	6.95337	-0.00606
24	6.90651	6.90934	-0.00283
25	6.97132	6.97433	-0.00301
26	6.90927	6.90025	0.00902
27	7.00003	6.99573	0.00430
28	6.97891	6.97685	0.00206
29	6.88867	6.87791	0.01076
30	6.92832	6.90335	0.02497
31	6.93768	6.92120	0.01648
32	6.92914	6.92991	-0.00077
Mean difference			0.00560

จากตาราง ง-3 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด TR Move-Y (OZ) เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-3

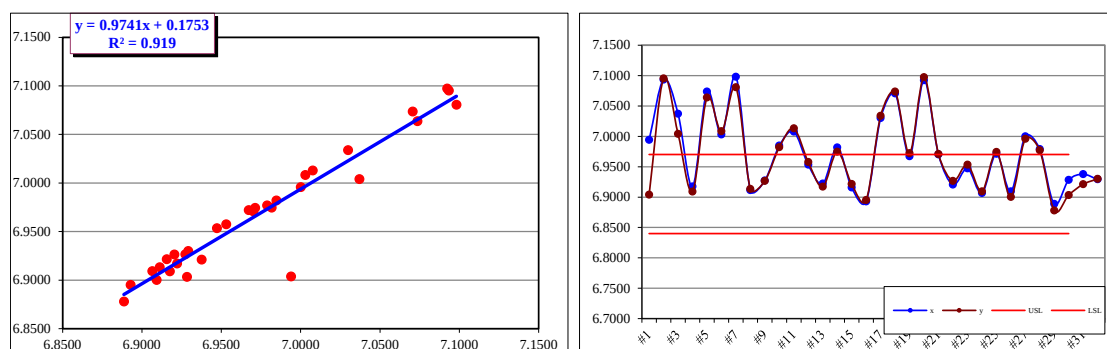


ภาพ ง-3 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด TR Move-Y (OZ)

ตาราง ง-4 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง TR Lift-Up Root

No.	TR Move-Y Root		
	CMM	New MC.	Different
1	6.99400	6.90382	0.09018
2	7.09337	7.09523	-0.00186
3	7.03706	7.00404	0.03302
4	6.91758	6.90910	0.00848
5	7.07364	7.06373	0.00991
6	7.00298	7.00828	-0.00530
7	7.09811	7.08063	0.01748
8	6.91123	6.91332	-0.00209
9	6.92739	6.92655	0.00084
10	6.98467	6.98198	0.00269
11	7.00758	7.01294	-0.00536
12	6.95311	6.95758	-0.00447
13	6.92210	6.91707	0.00503
14	6.98179	6.97465	0.00714
15	6.91563	6.92144	-0.00581
16	6.89287	6.89510	-0.00223
17	7.02985	7.03382	-0.00397
18	7.07065	7.07352	-0.00287
19	6.96726	6.97213	-0.00487
20	7.09232	7.09722	-0.00490
21	6.97014	6.97085	-0.00071
22	6.92039	6.92642	-0.00603
23	6.94731	6.95337	-0.00606
24	6.90651	6.90934	-0.00283
25	6.97132	6.97433	-0.00301
26	6.90927	6.90025	0.00902
27	7.00003	6.99573	0.00430
28	6.97891	6.97685	0.00206
29	6.88867	6.87791	0.01076
30	6.92832	6.90335	0.02497
31	6.93768	6.92120	0.01648
32	6.92914	6.92991	-0.00077
Mean difference			0.00560

จากตาราง ง-4 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด TR Lift Up Root เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-4

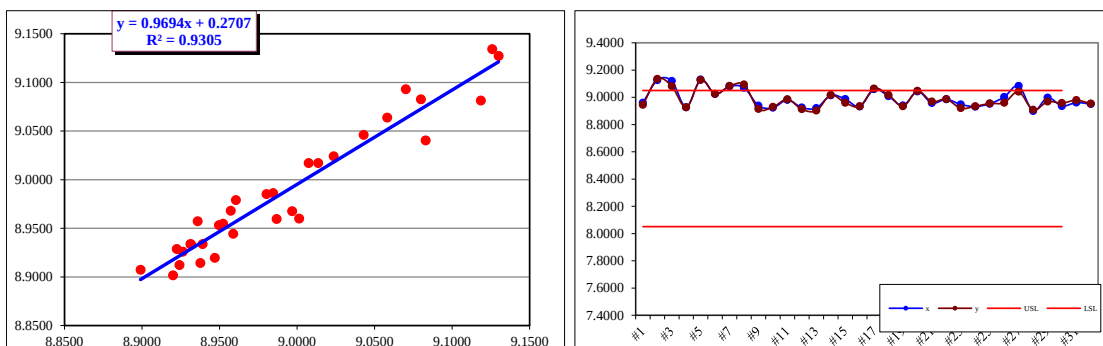


ภาพ ง-4 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด TR Lift Up Root

ตาราง ง-5 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง TR Lift-Up Tip

No.	TR Lift Up Root		
	CMM	New MC.	Different
1	8.95882	8.94428	0.01454
2	9.12579	9.13419	-0.00840
3	9.11856	9.08135	0.03721
4	8.92623	8.92598	0.00025
5	9.12994	9.12723	0.00271
6	9.02356	9.02399	-0.00043
7	9.07984	9.08250	-0.00266
8	9.07007	9.09298	-0.02291
9	8.93755	8.91418	0.02337
10	8.92234	8.92857	-0.00623
11	8.98017	8.98504	-0.00487
12	8.92406	8.91223	0.01183
13	8.91995	8.90151	0.01844
14	9.01362	9.01700	-0.00338
15	8.98675	8.95948	0.02727
16	8.93154	8.93359	-0.00205
17	9.05814	9.06385	-0.00571
18	9.00744	9.01709	-0.00965
19	8.93898	8.93368	0.00530
20	9.04287	9.04606	-0.00319
21	8.95722	8.96791	-0.01069
22	8.98447	8.98623	-0.00176
23	8.94696	8.91956	0.02740
24	8.93110	8.93380	-0.00270
25	8.95225	8.95460	-0.00235
26	9.00131	8.95997	0.04134
27	9.08295	9.04041	0.04254
28	8.89902	8.90729	-0.00827
29	8.99676	8.96758	0.02918
30	8.93582	8.95725	-0.02143
31	8.96049	8.97895	-0.01846
32	8.94956	8.95315	-0.00359
Mean difference			0.00446

จากตาราง ง-5 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด TR Lift-Up Tip เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-5

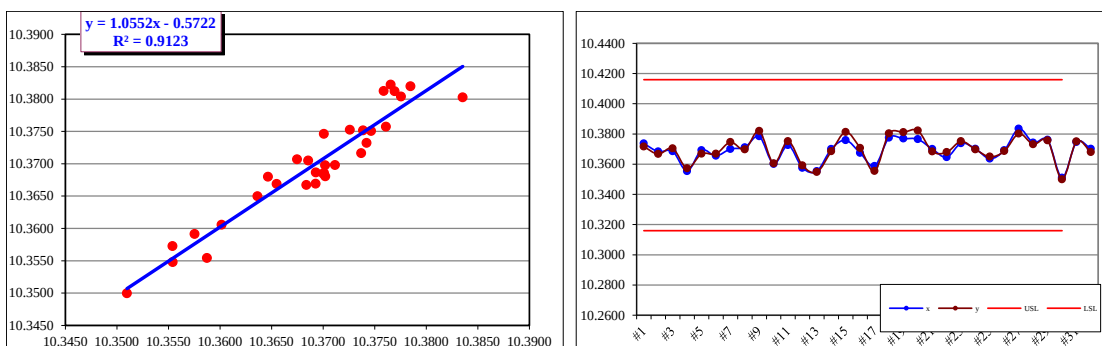


ภาพ ง-5 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด TR Lift-Up Tip

ตาราง ง-6 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง CS

No.	CS		
	CMM	New MC.	Different
1	10.37368	10.37164	0.00204
2	10.36836	10.36674	0.00162
3	10.36855	10.37051	-0.00196
4	10.35538	10.35727	-0.00189
5	10.36927	10.36691	0.00236
6	10.36549	10.36687	-0.00138
7	10.37007	10.37464	-0.00457
8	10.37115	10.36979	0.00136
9	10.37846	10.38197	-0.00351
10	10.36015	10.36056	-0.00041
11	10.37258	10.37526	-0.00268
12	10.35753	10.35916	-0.00163
13	10.35541	10.35480	0.00061
14	10.37009	10.36858	0.00151
15	10.37587	10.38126	-0.00539
16	10.36746	10.37069	-0.00323
17	10.35873	10.35545	0.00328
18	10.37755	10.38041	-0.00286
19	10.37692	10.38121	-0.00429
20	10.37654	10.38224	-0.00570
21	10.37000	10.36847	0.00153
22	10.36464	10.36798	-0.00334
23	10.37387	10.37516	-0.00129
24	10.37018	10.36976	0.00042
25	10.36363	10.36497	-0.00134
26	10.36929	10.36866	0.00063
27	10.38353	10.38027	0.00326
28	10.37420	10.37322	0.00098
29	10.37609	10.37573	0.00036
30	10.35097	10.34997	0.00100
31	10.37464	10.37507	-0.00043
32	10.37020	10.36806	0.00214
Mean difference			-0.00071

จากตาราง ง-6 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด CS เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-6

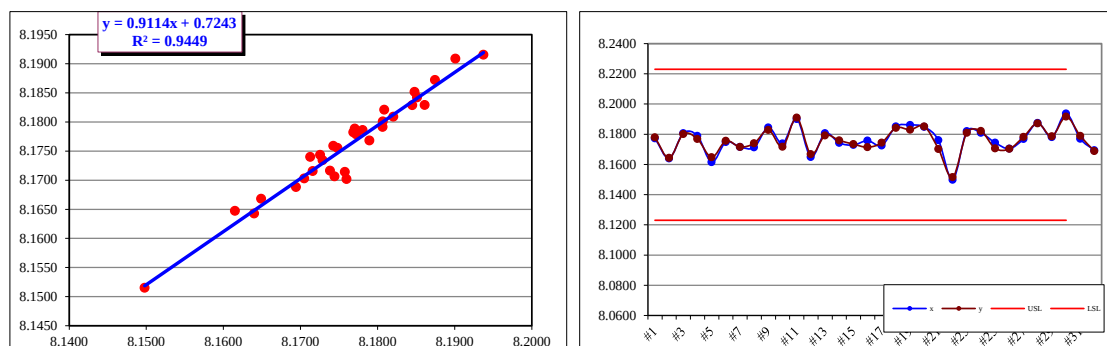


ภาพ ง-6 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด CS

ตาราง ง-7 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง LATCH

No.	LATCH		
	CMM	New MC.	Different
1	8.17721	8.17789	-0.00068
2	8.16398	8.16427	-0.00029
3	8.18067	8.1801	0.00057
4	8.17893	8.17681	0.00212
5	8.16149	8.16472	-0.00323
6	8.17478	8.17554	-0.00076
7	8.17158	8.17157	1E-05
8	8.17125	8.174	-0.00275
9	8.18449	8.18287	0.00162
10	8.17382	8.17166	0.00216
11	8.19006	8.1909	-0.00084
12	8.16488	8.1668	-0.00192
13	8.18064	8.17915	0.00149
14	8.17424	8.17591	-0.00167
15	8.17285	8.17345	-0.0006
16	8.17575	8.17144	0.00431
17	8.17254	8.17437	-0.00183
18	8.18509	8.18421	0.00088
19	8.1861	8.18293	0.00317
20	8.18478	8.18517	-0.00039
21	8.17596	8.1702	0.00576
22	8.14978	8.15151	-0.00173
23	8.18203	8.1809	0.00113
24	8.18085	8.18211	-0.00126
25	8.17439	8.17064	0.00375
26	8.17046	8.17029	0.00017
27	8.17683	8.17823	-0.0014
28	8.18743	8.18722	0.00021
29	8.17803	8.17863	-0.0006
30	8.19371	8.19157	0.00214
31	8.17701	8.17888	-0.00187
32	8.16939	8.16884	0.00055
Mean difference			0.0002569

จากตาราง ง-7 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด LATCH เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน +/-0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-7

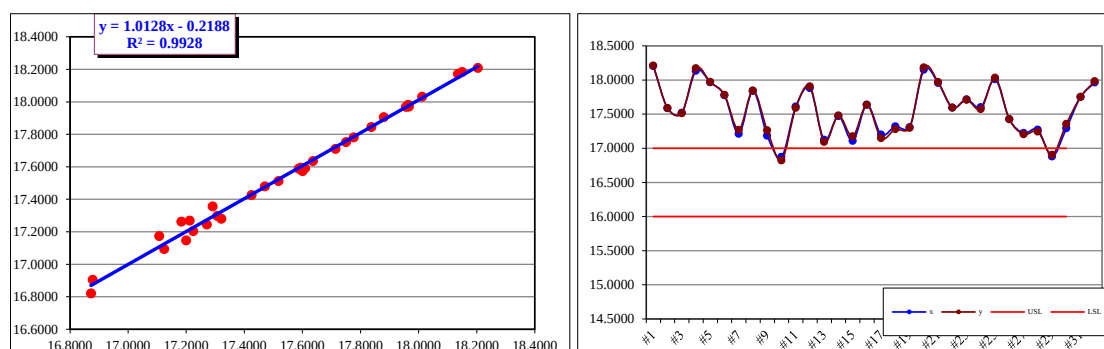


ภาพ ง-7 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด LATCH

ตาราง ง-8 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH STF CS 16

No.	ADH STF CS 16		
	CMM	New MC.	Different
1	18.20394	18.20906	-0.00512
2	17.58670	17.58893	-0.00223
3	17.51808	17.51280	0.00528
4	18.13556	18.17160	-0.03604
5	17.96628	17.97031	-0.00403
6	17.77679	17.78092	-0.00413
7	17.21188	17.26921	-0.05733
8	17.83754	17.84518	-0.00764
9	17.18300	17.26235	-0.07935
10	16.87217	16.82131	0.05086
11	17.60882	17.59111	0.01771
12	17.87992	17.90544	-0.02552
13	17.12386	17.09365	0.03021
14	17.47061	17.47870	-0.00809
15	17.10694	17.17321	-0.06627
16	17.63596	17.63558	0.00038
17	17.19948	17.14723	0.05225
18	17.32064	17.27958	0.04106
19	17.30670	17.29782	0.00888
20	18.14931	18.18301	-0.03370
21	17.95603	17.96958	-0.01355
22	17.59428	17.59529	-0.00101
23	17.71397	17.70964	0.00433
24	17.60032	17.57344	0.02688
25	18.01158	18.03096	-0.01938
26	17.42534	17.42562	-0.00028
27	17.22403	17.20381	0.02022
28	17.27112	17.24435	0.02677
29	16.87790	16.90451	-0.02661
30	17.29103	17.35587	-0.06484
31	17.75007	17.75170	-0.00163
32	17.96385	17.98131	-0.01746
Mean difference			-0.00592

จากตาราง ง-8 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH STF CS 16 เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-8

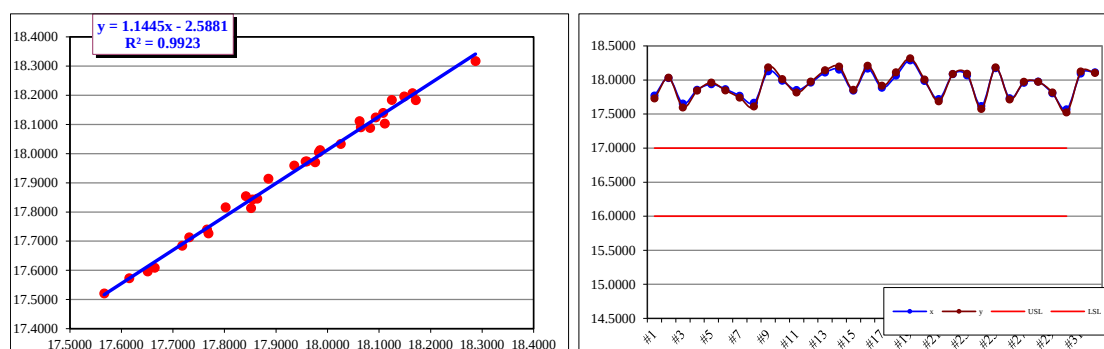


ภาพ ง-8 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH STF CS 16

ตาราง ง-9 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH STF LATCH 16

No.	ADH STF LATCH 16		
	CMM	New MC.	Different
1	17.76904	17.72616	0.04288
2	18.02578	18.03274	-0.00696
3	17.65092	17.59562	0.05530
4	17.85447	17.84271	0.01176
5	17.93560	17.95886	-0.02326
6	17.86381	17.84567	0.01814
7	17.76606	17.74005	0.02601
8	17.66479	17.60852	0.05627
9	18.12471	18.18368	-0.05897
10	17.98549	18.01148	-0.02599
11	17.85163	17.81338	0.03825
12	17.95997	17.97328	-0.01331
13	18.10796	18.13939	-0.03143
14	18.14881	18.19549	-0.04668
15	17.84163	17.85395	-0.01232
16	18.16483	18.20736	-0.04253
17	17.88540	17.91381	-0.02841
18	18.06231	18.11127	-0.04896
19	18.28701	18.31728	-0.03027
20	17.98296	18.00459	-0.02163
21	17.71805	17.68421	0.03384
22	18.08253	18.08758	-0.00505
23	18.06458	18.09014	-0.02556
24	17.61525	17.57259	0.04266
25	18.17123	18.18318	-0.01195
26	17.73169	17.71325	0.01844
27	17.95744	17.97314	-0.01570
28	17.97591	17.97026	0.00565
29	17.80236	17.81593	-0.01357
30	17.56665	17.52076	0.04589
31	18.09334	18.12357	-0.03023
32	18.11105	18.10256	0.00849
Mean difference			-0.00279

จากตาราง ง-9 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH STF LATCH 16 เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน +/-0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-9

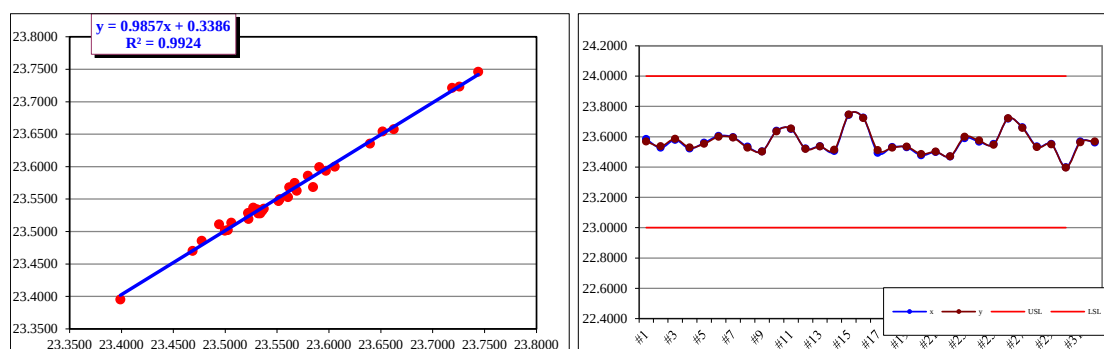


ภาพ ง-9 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH STF LATCH 16

ตาราง ง-10 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH STF HT

No.	ADH STF HT		
	CMM	New MC.	Different
1	23.58458	23.56844	0.01614
2	23.52688	23.53669	-0.00981
3	23.57954	23.58611	-0.00657
4	23.52199	23.52873	-0.00674
5	23.56054	23.55314	0.00740
6	23.60548	23.59982	0.00566
7	23.59700	23.59353	0.00347
8	23.53377	23.52797	0.00580
9	23.50250	23.50222	0.00028
10	23.63945	23.63551	0.00394
11	23.65170	23.65425	-0.00255
12	23.52244	23.51952	0.00292
13	23.53720	23.53527	0.00193
14	23.50591	23.51377	-0.00786
15	23.74389	23.74616	-0.00227
16	23.72574	23.72342	0.00232
17	23.49411	23.51113	-0.01702
18	23.53181	23.52780	0.00401
19	23.53046	23.53442	-0.00396
20	23.47731	23.48582	-0.00851
21	23.49969	23.50119	-0.00150
22	23.46847	23.47018	-0.00171
23	23.59056	23.59924	-0.00868
24	23.56685	23.57473	-0.00788
25	23.55138	23.54708	0.00430
26	23.71874	23.72149	-0.00275
27	23.66236	23.65771	0.00465
28	23.53545	23.53182	0.00363
29	23.55257	23.54991	0.00266
30	23.39890	23.39537	0.00353
31	23.56886	23.56268	0.00618
32	23.56159	23.56833	-0.00674
Mean difference			-0.00049

จากตาราง ง-10 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH STF HT เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-10

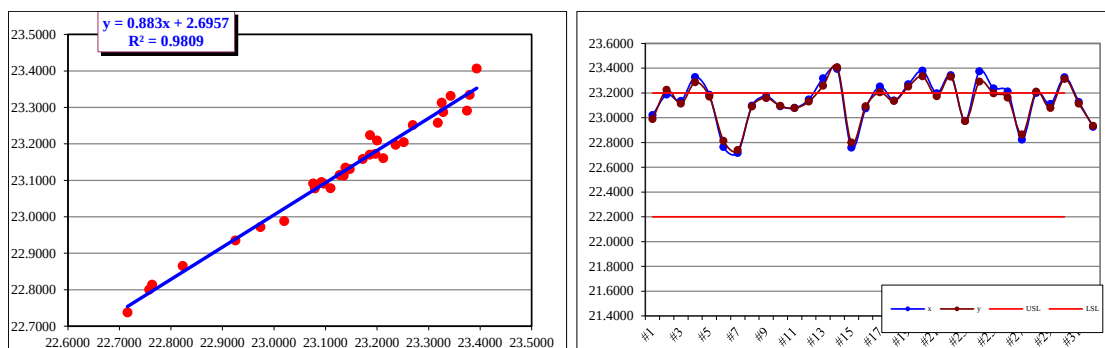


ภาพ ง-10 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH STF HT

ตาราง ง-11 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH CS

No.	ADH CS		
	CMM	New MC.	Different
1	23.01977	22.98829	0.03148
2	23.18638	23.22394	-0.03756
3	23.13512	23.11297	0.02215
4	23.32819	23.28693	0.04126
5	23.18566	23.17028	0.01538
6	22.76359	22.81366	-0.05007
7	22.71558	22.73792	-0.02234
8	23.09696	23.09076	0.00620
9	23.17232	23.15837	0.01395
10	23.09206	23.09526	-0.00320
11	23.07908	23.07797	0.00111
12	23.14677	23.13091	0.01586
13	23.31793	23.25752	0.06041
14	23.39334	23.40661	-0.01327
15	22.75795	22.80038	-0.04243
16	23.07581	23.09116	-0.01535
17	23.25141	23.20486	0.04655
18	23.13836	23.13482	0.00354
19	23.26908	23.25164	0.01744
20	23.37940	23.33428	0.04512
21	23.19647	23.17259	0.02388
22	23.34277	23.33155	0.01122
23	22.97366	22.97166	0.00200
24	23.37427	23.29074	0.08353
25	23.23595	23.19719	0.03876
26	23.21206	23.16089	0.05117
27	22.82285	22.86497	-0.04212
28	23.19996	23.20932	-0.00936
29	23.10945	23.07843	0.03102
30	23.32558	23.31313	0.01245
31	23.12744	23.11421	0.01323
32	22.92521	22.93500	-0.00979
Mean difference			0.01069

จากตาราง ง-11 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH CS เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน +/-0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-11

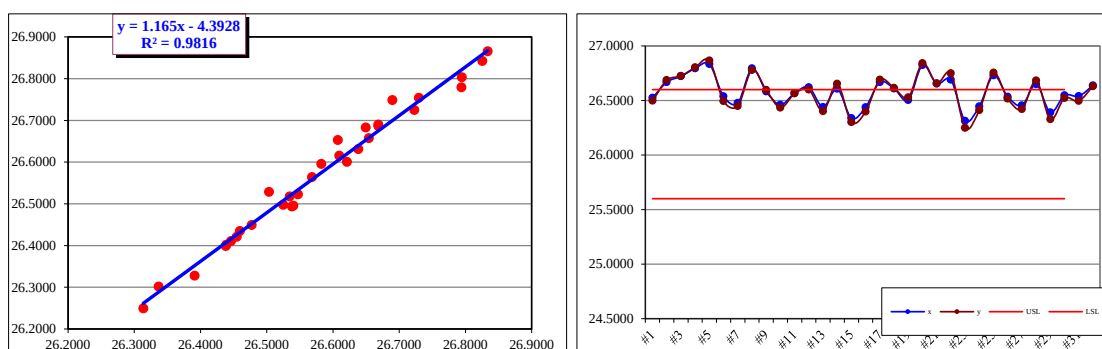


ภาพ ง-11 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH CS

ตาราง ง-12 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH LATCH

No.	ADH LATCH		
	CMM	New MC.	Different
1	26.52507	26.49744	0.02763
2	26.66851	26.68635	-0.01784
3	26.72257	26.72514	-0.00257
4	26.79449	26.80345	-0.00896
5	26.83349	26.86569	-0.03220
6	26.53798	26.49354	0.04444
7	26.47707	26.44919	0.02788
8	26.79383	26.77942	0.01441
9	26.58241	26.59575	-0.01334
10	26.45956	26.43474	0.02482
11	26.56843	26.56430	0.00413
12	26.62111	26.60058	0.02053
13	26.43896	26.40175	0.03721
14	26.60728	26.65293	-0.04565
15	26.33691	26.30188	0.03503
16	26.43810	26.39898	0.03912
17	26.66839	26.68998	-0.02159
18	26.60934	26.61558	-0.00624
19	26.50332	26.52857	-0.02525
20	26.82541	26.84239	-0.01698
21	26.65417	26.65727	-0.00310
22	26.68965	26.74879	-0.05914
23	26.31363	26.24942	0.06421
24	26.44596	26.41085	0.03511
25	26.72947	26.75386	-0.02439
26	26.53448	26.51759	0.01689
27	26.45476	26.42106	0.03370
28	26.64941	26.68289	-0.03348
29	26.39106	26.32762	0.06344
30	26.54703	26.52269	0.02434
31	26.54015	26.49567	0.04448
32	26.63808	26.63107	0.00701
Mean difference			0.00793

จากตาราง ง-12 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH LATCH เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน ± 0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-12

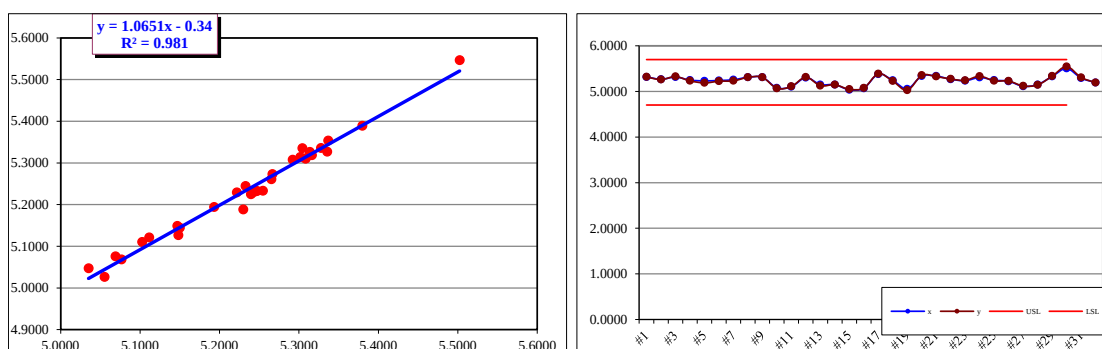


ภาพ ง-12 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH LATCH

ตาราง ง-13 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH STF CS 4.7

No.	ADH STF CS 4.7		
	CMM	New MC.	Different
1	5.31629	5.31861	-0.00232
2	5.26518	5.26101	0.00417
3	5.31376	5.32633	-0.01257
4	5.24720	5.23280	0.01440
5	5.22985	5.18848	0.04137
6	5.23951	5.22459	0.01492
7	5.25469	5.23302	0.02167
8	5.30833	5.30994	-0.00161
9	5.30872	5.31103	-0.00231
10	5.07672	5.06842	0.00830
11	5.10262	5.11055	-0.00793
12	5.30166	5.31403	-0.01237
13	5.14825	5.12648	0.02177
14	5.14677	5.14869	-0.00192
15	5.03524	5.04740	-0.01216
16	5.06915	5.07595	-0.00680
17	5.37978	5.38928	-0.00950
18	5.24098	5.22797	0.01301
19	5.05528	5.02652	0.02876
20	5.33686	5.35361	-0.01675
21	5.33558	5.32710	0.00848
22	5.26663	5.27311	-0.00648
23	5.23268	5.24459	-0.01191
24	5.30426	5.33510	-0.03084
25	5.24546	5.23175	0.01371
26	5.22172	5.22933	-0.00761
27	5.11143	5.12112	-0.00969
28	5.14996	5.14418	0.00578
29	5.32764	5.33604	-0.00840
30	5.50227	5.54663	-0.04436
31	5.29205	5.30788	-0.01583
32	5.19325	5.19443	-0.00118
Mean difference			-0.00082

จากตาราง ง-13 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH STF CS 4.7 เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน +/-0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-13

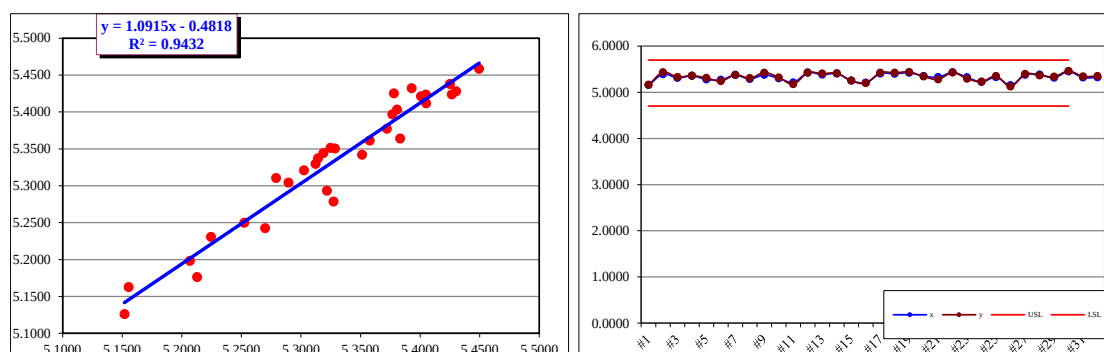


ภาพ ง-13 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH STF CS 4.7

ตาราง ง-14 ผลการทดสอบวัดขนาดแขนหัวอ่าน-เขียนฮาร์ดดิสก์ตำแหน่ง ADH STF LT 4.7

No.	ADH STF LATCH 4.7		
	CMM	New MC.	Different
1	5.15542	5.16254	-0.00712
2	5.39288	5.43219	-0.03931
3	5.31219	5.32957	-0.01738
4	5.35773	5.36122	-0.00349
5	5.27902	5.31052	-0.03150
6	5.26994	5.24242	0.02752
7	5.37205	5.37731	-0.00526
8	5.28948	5.30420	-0.01472
9	5.37807	5.42523	-0.04716
10	5.30258	5.32093	-0.01835
11	5.21279	5.17633	0.03646
12	5.42663	5.42362	0.00301
13	5.38060	5.40317	-0.02257
14	5.40499	5.41150	-0.00651
15	5.25241	5.24973	0.00268
16	5.20675	5.19827	0.00848
17	5.40494	5.42346	-0.01852
18	5.40068	5.42122	-0.02054
19	5.42492	5.43798	-0.01306
20	5.35121	5.34186	0.00935
21	5.32738	5.27850	0.04888
22	5.43014	5.42810	0.00204
23	5.32178	5.29332	0.02846
24	5.22452	5.23061	-0.00609
25	5.32863	5.35041	-0.02178
26	5.15194	5.12606	0.02588
27	5.37655	5.39657	-0.02002
28	5.38322	5.36406	0.01916
29	5.31440	5.33733	-0.02293
30	5.44950	5.45846	-0.00896
31	5.31885	5.34421	-0.02536
32	5.32478	5.35138	-0.02660
Mean difference			-0.00579

จากตาราง ง-14 ผลทดสอบการวัดขนาดของตำแหน่งวัด ADH STF LATCH 4.7 เปรียบเทียบกับข้อมูลจากเครื่องวัดสามมิติ (CMM) มีค่าที่ต่างกันไม่เกิน +/-0.050 มิลลิเมตร และค่า $r^2 > 0.9$ ดังภาพ ง-14



ภาพ ง-14 แผนภูมิผลการทดสอบวัดขนาดในตำแหน่งวัด ADH STF LATCH 4.7

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

นายภัทรพงษ์ ขุนทิพย์มาก

วันเดือนปีเกิด

5 ธันวาคม พ.ศ. 2541

ภูมิลำเนา

79/34 ถ.ประชาอุทิศ ต.ช้างเผือก

อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

อีเมล

patarapong1@hotmail.com



ประวัติการศึกษา

มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนเทพดินทร์วิทยาเชียงใหม่

ปัจจุบัน

กำลังศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่