

Received: Mar 16, 2025

Revised: Jun 13, 2025

Accepted: Jun 18, 2025

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดกรณีของซิกซ์ ซิกม่าสำหรับการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพระบบการวัดแขนหัวอ่าน

THE APPLICATION OF GAUGE R&R ANALYSIS IN A SIX SIGMA CASE OF IMPROVING AND OPTIMIZING AN ACTUATOR ARM MEASUREMENT SYSTEM

ธนพงศ์ วรรณพราหมณ์¹ โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง^{2*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี²ภาควิชาเทคโนโลยี วิทยาลัยพัฒนาชุมชนเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราชThanapong Wannapram¹ Kosinchai Pawthaisong^{2*}¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Pathunthani University²Department of Technology, Urban Community Development College, Navamindradhiraj University

Corresponding author: E-mail: kosinchai@nmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษากระบวนการวัดของผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพการวัดและลดต้นทุนข้อบกพร่องโดยการประยุกต์ใช้ตามหลักแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนของ DMAIC เริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define, D) ซึ่งพบว่าปัญหาหลักคือการส่งแขนหัวอ่านที่มีค่าพารามิเตอร์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดให้กับลูกค้า ซึ่งสาเหตุเกิดจากการวัดค่า (Measurement, M) พารามิเตอร์ของชิ้นงานไม่มีความสอดคล้องกันระหว่างแผนก IPQC และ OQA หลังจากนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ (Analyze, A) โดยใช้แผนภูมิแกงปลา พบว่าปัจจัยเกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัด CMM ของแต่ละแผนก ผู้ปฏิบัติงาน และวิธีการวัด สำหรับขั้นตอนของการปรับปรุงพัฒนา (Improve, I) ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการวัด โดยสอบเทียบเครื่องวัดพิกัท 3 มิติ CMM การอบรมผู้ปฏิบัติงาน และออกแบบอุปกรณ์จับชิ้นงาน สุดท้าย ขั้นตอนการควบคุม (Control, C) ได้ดำเนินการทดลองอย่างเข้มงวด ผลการศึกษาพบว่าจำนวนสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงจาก 121 เหลือ 6 ชิ้น/เดือน และต้นทุนค่าร้องเรียนจากลูกค้าลดลงจาก 24,308 เหลือ 1,200 บาท/เดือน

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ระบบการวัด, ซิกซ์ ซิกม่า, แขนหัวอ่าน

Abstract

The study of this research was the measurement system of electronic component manufacturers for purposes of improving the quality of measurement and reducing the cost of defects by applying the Six Sigma methodology. The study followed the DMAIC approach. In the Define phase, the key problem was identified as the delivery of actuator arms with parameter deviations from customer requirements. It was caused by the parameter measurements (Measurement, M) of the part being inconsistent between the IPQC and OQA departments. After that, the analysis (Analyze, A) was performed a cause-and-effect diagram. It was found by the factors related to the Coordinate-Measuring Machine (CMM) of each department,

operators and measurement method. For the improvement stage (Improve, I), the researcher designed and improved the measurement process by checking the time comparison of 3D CMM machines, training operators, and designing of workpiece holding devices. Finally, the control step (Control, C) was seriously experimented. The result showed that after an improved measurement method, the number of products that were not required was reduced from 121 to 6 pieces/month and the cost of customer complaints decreased from 24,308 baht to 1,200 baht/month.

Keywords: Measurement system analysis, Six-sigma, Actuator arm

บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์และชิ้นส่วน (Printer และ Hard Disk Drive) เป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ โดยมีมูลค่าการส่งออกมากที่สุดเป็นอันดับที่หนึ่งจากข้อมูลการส่งออกในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม 2567 มีมูลค่า 52,201.2 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ปรับตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.3 โดยเฉพาะการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive: HDD) และส่วนประกอบ ที่มีการแข่งขันอย่างรุนแรงจากต่างประเทศทั้งด้านคุณภาพและราคาสินค้า ดังนั้นการลดต้นทุนการผลิตและรักษาคุณภาพของสินค้าจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการดำเนินธุรกิจ (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2567)

บริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในคอมพิวเตอร์จำพวกตัวจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ จากการดำเนินงานช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา พบปัญหาการส่งมอบสินค้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจำนวน 364 ชิ้น (121 ชิ้น/เดือน) คิดเป็นมูลค่า 72,924 บาท (24,308 บาท/เดือน) ซึ่งเกิดจากขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานด้วยเครื่อง coordinate measuring machine (CMM) ระหว่างแผนกตรวจสอบก่อนส่งมอบชิ้นงานให้แก่ลูกค้า (Out-going Quality Assurance: OQA) กับแผนกตรวจสอบระหว่างกระบวนการผลิต (In Process Quality Checking: IPQC) โดยวัดค่าที่ได้ไม่มีความสอดคล้องกัน (รูปที่ 6a) ส่งผลให้ขาดความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบการวัดชิ้นงาน จากการเก็บข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการตรวจสอบมีสาเหตุเกิดจากเครื่องมือวัด อุปกรณ์จับชิ้นงาน คน เครื่องมือวัด และกระบวนการวัด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงคุณภาพการวัดของแผนก IPQC ให้มีความสอดคล้องกับแผนก OQA รวมทั้งการลดต้นทุนการส่งมอบชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องให้ลูกค้า โดยการประยุกต์ใช้ตามหลักแนวคิดของซิกซ์ ซิกมาประกอบด้วย 5 ขั้นตอนของ DMAIC ได้แก่ (1) การกำหนดปัญหา (2) วิธีการวัด (3) การวิเคราะห์ (4) การปรับปรุง และ (5) การควบคุม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อแก้ไขปัญหาการวัดจากเครื่องมือ CMM ที่มีความคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ชิ้นงานถูกจัดว่าไม่ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ (NG)
2. เพื่อปรับปรุงความสอดคล้องของผลการวัดชิ้นงานระหว่างหน่วยงาน IPQC และ OQA ให้มีความแม่นยำและเทียบเคียงกันได้

ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการวัดและวิเคราะห์ค่าการวัดของพนักงานจำนวน 3 คน โดยเน้นที่ความแตกต่างระหว่างบุคคล
2. ศึกษาผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น ด้วยเครื่องมือวัด 3 มิติ (CMM)
3. ดำเนินการทดลองการวัดตามหลักเกณฑ์ของ MSA โดยให้ผู้ตรวจสอบแต่ละคนวัดชิ้นงานซ้ำจำนวน 3 ครั้ง
4. บันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้โปรแกรม Excel และ Minitab เพื่อประเมินค่าความแปรปรวนของระบบการวัด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) เป็นวิธีการใช้เครื่องมือเพื่อลดความผันแปรและข้อบกพร่องสำหรับการส่งมอบผลิตภัณฑ์และบริการตามข้อกำหนดของลูกค้า (Greg Brue and Rod Howes, 2008) โดยแนวคิดหลักของการจัดการ Six Sigma กล่าวคือ ถ้าวัดความผันแปรและข้อบกพร่องในกระบวนการได้ จึงสามารถกำหนดวิธีการลดหรือกำจัดปัญหาเหล่านี้ได้อย่างเป็นระบบ เพื่อยกระดับคุณภาพที่มีข้อบกพร่องเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น Six Sigma มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดต้นทุนและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้ดีขึ้น

สำหรับแนวคิดของซิกซ์ ซิกมาประกอบด้วย 5 ขั้นตอนของ DMAIC ได้แก่ (1) การกำหนดปัญหา (Define) (2) วิธีการวัด (Measurement) (3) การวิเคราะห์ (Analyze) (4) การปรับปรุง (Improve) และ (5) ขั้นตอนการควบคุม (Control) โดยนักวิจัยได้นำหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ด้านการปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดหรือการปรับปรุงการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ (Uluskan, 2021: Tirelo et al., 2023: Phillip et al., 2022: Uluskan, 2021: Shirodkar, A., & Rane, S: กิตติภาพและคณะฯ, 2565)

วิธีดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้นำวิธีการ Six Sigma มาเป็นแนวทางการดำเนินงานสำหรับการวิจัยนี้ ตามกระบวนการ DMAIC ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับกระบวนการ DMAIC และเนื้อหาของงานวิจัย

ลำดับ	ชื่อขั้นตอน	วัตถุประสงค์	กิจกรรมหลัก
1	การกำหนด (Define)	กำหนดลักษณะการวิจัยทั้งหมดเพื่อกำหนดขอบเขตของการวิจัยและระบุวัตถุประสงค์การวิจัย	กำหนดปัญหาการวิจัย กำหนดภารกิจและวัตถุประสงค์การวิจัย กำหนดผลิตภัณฑ์ กำหนดระบบการวัด กำหนดกระบวนการวัด
2	การวัด (Measurement)	ทดลองวัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล	การเตรียมการทดลอง <ul style="list-style-type: none"> • การเตรียมสถานที่ทดลอง • การเตรียมวัสดุทดลอง • การเตรียมการทดลอง • ทำการทดลอง • รวบรวมข้อมูล
3	การวิเคราะห์ (Analyze)	ค้นหาสาเหตุแท้จริงของการวัดที่ผิดพลาด	การวิเคราะห์เชิงสถิติ การวิเคราะห์ด้วยกราฟ และ การวิเคราะห์สาเหตุหลัก
4	การปรับปรุง (Improve)	แก้ไขการวัดที่ผิดพลาดและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการวัด	การซ่อมแซมเกจ การตรวจสอบโพรบ การทดสอบเครื่องมือวัด และการบำรุงรักษา
5	การควบคุม (Control)	การควบคุมคุณภาพการวัดให้มีความสอดคล้องระหว่างแผนก IPQC และ OQA	การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระบบการวัดของแผนก IPQC และ OQA

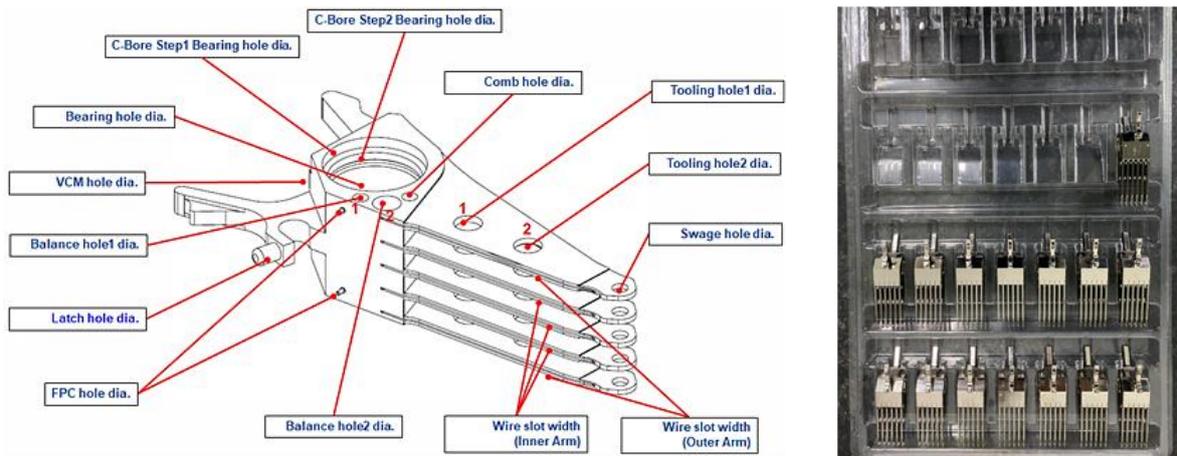
1. ขั้นตอนการกำหนด (Define, D)

1.1 การกำหนดปัญหา จากข้อร้องเรียนของทางบริษัทลูกค้าพบปัญหาคือลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์แชนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจำนวนมากจากบริษัท โดยสาเหตุเกิดจากระบบการวัดของแผนก IPQC กับแผนก OQA มีค่าที่ไม่สอดคล้องกัน ส่งผลทำให้ไม่มีความน่าเชื่อถือในการตรวจสอบการวัดชิ้นงาน

1.2 กำหนดพันธกิจและวัตถุประสงค์การวิจัย พันธกิจและวัตถุประสงค์งานวิจัยนี้มีพันธกิจ 2 อย่างดังนี้

- ค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาระบบการวัด เนื่องจากไม่สามารถวัดรูปร่างผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ
- แก้ไขปัญหาระบบการวัดที่ผิดพลาด เพื่อกำจัดข้อผิดพลาดของการวัดและหยุดการขนส่งผลิตภัณฑ์แขนหัวอ่านที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดให้กับลูกค้า

1.3 กำหนดผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาเรียกว่าแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Actuator Arm) ที่มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กยาวๆ ซึ่งรับคำสั่งจากวงจรให้เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ ไม่ว่าจะเป็นการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนแผ่นแม่เหล็ก โดยต้องทำงานร่วมกับหัวอ่าน สำหรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าวที่ส่งมอบให้กับลูกค้าแสดงดังรูปที่ 1 และมีข้อกำหนดต่าง ๆ (Specifications) ดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 แบบผลิตภัณฑ์และชิ้นงานที่ส่งให้กับลูกค้า

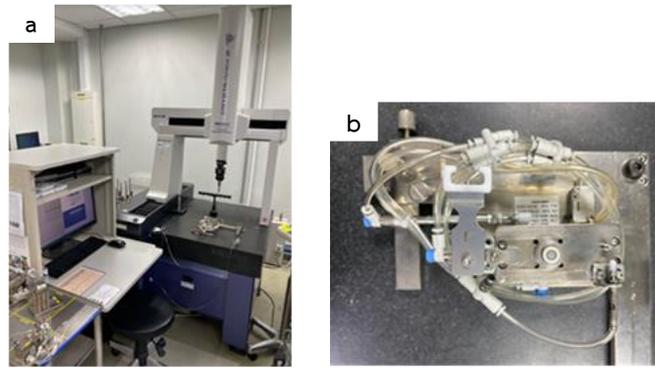
1.4 กำหนดระบบการวัด ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1.4.1 เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) เครื่องวัดชนิดนี้ มีความละเอียดสูงประมาณ 0.0001 mm (0.000004 in) สามารถวัดได้ 3 แกน คือ แกนระนาบ 2 แกน และแนวตั้ง 1 แกน โดยเครื่องวัดแสดงดังรูปที่ 2a ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยระบบแรงดันลมในการควบคุมการทรงตัวของโต๊ะ และช่วยลดแรงสั่นสะเทือนจากปัจจัยภายนอกได้ ซึ่งลมที่อัดเข้าจะมี ความชื้น จึงมีความเสี่ยงทำให้ระบบภายในอาจเป็นสนิมได้ เครื่องวัดแบบ 3 มิติทุกรุ่นจึงมีตัวกรอง ซึ่งช่วยในการกรองระบบ ภายในให้เป็นอากาศแห้ง โดยการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยระบบอัตโนมัติ สามารถวัดค่าและแสดงผลได้แบบ 3D แบบ Manual (ปรับค่าเอง) แบบ CNC (อัตโนมัติ) สามารถติดตั้งโปรแกรมเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล ค่าพารามิเตอร์จากการวัด การคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการเปลี่ยนใช้ฟังก์ชันต่างๆ โดยใช้ระบบสัมผัส (Touch probe) ที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง จึงทำให้เครื่อง CMM นำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมทุกประเภท

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของลูกค้า

Parameter Name	Control Specifications (INCH)	USL	LSL	Inspection Method
BEARING_HOLE_DIA	∅ 0.4172±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
BEARING_HOLE_DIA_OZ	∅ 0.4172±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
SWAGE HOLE DIAMETER_1	∅ 0.0738±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
TRUE POSITION SWAGE HOLE_1	0.0040	0.0040	0.0000	CMM
SWAGE HOLE DIAMETER_2	∅ 0.0738±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM

Parameter Name	Control Specifications (INCH)	USL	LSL	Inspection Method
TRUE POSITION SWAGE HOLE_2	0.0040	0.0040	0.0000	CMM
SAWAGE HOLE DIAMETER_3	∅ 0.0738±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
TRUE POSITION SWAGE HOLE_3	0.0040	0.0040	0.0000	CMM
SWAGE HOLE DIAMETER_4	∅ 0.0738±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
TRUE POSITION SWAGE HOLE_4	0.0040	0.0040	0.0000	CMM
SWAGE HOLE DIAMETER_5	∅ 0.0738±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
TRUE POSITION SWAGE HOLE_5	0.0040	0.0040	0.0000	CMM
SWAGE HOLE DIAMETER_6	∅ 0.0738±0.0004	0.0004	-0.0004	CMM
TRUE POSITION SWAGE HOLE_6	0.0040	0.0040	0.0000	CMM
CS PROFILE (LONG)#1	0.000±0.002	0.0020	-0.0020	CMM
CS PROFILE (BIAS)#2	0.000±0.002	0.0020	-0.0020	CMM



ภาพที่ 2 (a) เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) หรือเครื่องมือวัด 3 มิติ (b) อุปกรณ์จับชิ้นงาน (Jig Fixture)

1.4.2 อุปกรณ์จับชิ้นงาน (Jig Fixture) อุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์กำหนดตำแหน่ง (ภาพที่ 2b) คือการใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบเพื่อจับยึดชิ้นงาน หรือ ช่วยกำหนดตำแหน่งของชิ้นงานในการทำงานนั้น ๆ ให้มีความคงที่ เทียงตรง ทุกครั้งที่ทำงาน เป็นวิธีการที่ช่วยให้ทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และได้คุณภาพ อันจะนำมาสู่การประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการผลิต

1.5 กำหนดกระบวนการวัด ผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องตรวจสอบสภาพของเครื่องมือวัดสามมิติและอุปกรณ์จับชิ้นงานว่าอยู่ในสภาพใช้งานได้ ก่อนทำการตรวจวัด จากนั้นผู้ตรวจสอบจะประมวลผลการวัดตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

ตรวจสอบอุณหภูมิห้องปฏิบัติการให้อุณหภูมิอยู่ที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส

ตรวจสอบและทำความสะอาดชิ้นงานและอุปกรณ์จับชิ้นงาน

เข้าสู่โปรแกรมวัดชิ้นงานอัตโนมัติเพื่อเริ่มต้นวัดชิ้นงาน โดยซอฟต์แวร์จะส่งข้อมูลตัวเลขของชิ้นงานเป็นไฟล์ .txt

นำข้อมูลตัวเลขจากไฟล์ .txt นำเข้าซอฟต์แวร์ Excel เพื่ออ่านค่าข้อมูลตัวเลขชิ้นงาน

2. การวัด (Measurement, M)

การวัดนั้นใช้ชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 10 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง CMM ของแผนก IQPC เพื่อทำการทดลองการวัดซ้ำ (Replicates) 3 ครั้ง ผู้ตรวจวัด 3 คน ในการทำ Gauge R&R ตามคู่มือ MSA ที่อ้างอิงในการเตรียมการและประมวลผลการทดลอง สำหรับขั้นตอนการควบคุมความคลาดเคลื่อน (Errors) ของชิ้นงานระหว่างแผนก IQPC กับแผนก OQA ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองของแผนก IQPC และ OQA

2.1 การเตรียมการทดลอง มีการเตรียมการทดลองอย่างถูกต้องก่อนทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ

2.2 การเตรียมสถานที่ทดลอง การทดลองทั้งหมดดำเนินการในห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อให้มั่นใจในความสามารถที่เป็นมืออาชีพ ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของสภาพแวดล้อมการทดลอง

2.3 การเตรียมวัสดุทดลอง มีเครื่อง CMM จำนวน 2 เครื่อง ที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็นของแผนก IPQC 1 เครื่อง และแผนก OQA 1 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องจะมีอุปกรณ์จับชิ้นงาน และเครื่องวัด CMM ทั้งสองเครื่องจะต้องไม่มีความผิดปกติ ดังนั้นเครื่อง CMM ทั้งสองเครื่องจะต้องได้รับการสอบเทียบ (Calibration) จากผู้ตรวจสอบก่อนทำการทดลอง นอกจากนี้เพื่อป้องกันความสับสนจึงกำหนดตัวอักษรสำหรับเครื่อง CMM แต่ละแผนกดังนี้ แผนก IPQC คือ X และแผนก OQA คือ Y สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์แขนหัวอ่านที่จะวัดในการทดลองมีทั้งหมด 10 ตัวอย่าง โดยกำหนดหมายเลขตั้งแต่ 1 ถึง 10 ตัวอย่างเหล่านี้เป็นสินค้าที่ทราบสภาพและประกอบด้วยชิ้นงานที่ทั้งหมดที่ได้รับการตรวจสอบและส่งคืนจากลูกค้าแล้ว

2.4 การเตรียมลำดับการทดลอง ผู้ตรวจสอบ 3 คนที่ได้รับเลือกสำหรับการตรวจสอบวัดชิ้นงานจากช่วงการทำงานที่แตกต่างกัน กะเช้าและกะดึกรวมถึงช่างเทคนิคเพื่อเข้าร่วมในการทดลองแต่ละครั้ง ผู้ตรวจสอบได้รับมอบหมายให้ทำการทดลองโดยผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพของบริษัทกรณีศึกษา ผู้ตรวจสอบแต่ละคนได้รับการสุ่มเลือกจากผู้ตรวจสอบ 3 คนในแต่ละกะ ผู้ตรวจสอบได้รับการตั้งชื่อว่าเป็นผู้ตรวจสอบ A, B และ C ในระหว่างการทดลอง การทดลองแต่ละครั้งใช้เครื่อง CMM แผนก IPQC ที่มีอยู่เครื่องเดียว และการทดลองจะทำการวัดตัวอย่างผลิตภัณฑ์แขนหัวอ่าน 3 ครั้ง ก่อนการทดลองครั้งแรก ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์แขนหัวอ่านที่อยู่ในสภาพดีมีเพียงกลุ่มเดียวจะถูกทำเครื่องหมายตั้งแต่ 1 ถึง 10 ทำให้ไม่มีความแตกต่างที่จะส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของการทดลองหากตัวอย่างถูกจัดลำดับแบบสุ่ม

2.5 ขั้นตอนการทดลอง ปฏิบัติตามขั้นตอนของคู่มือ MSA (Measurement System Analysis) ผู้วิจัยได้ใช้วิธี GR&R (Gauge Repeat and Reproduce) เพื่อทำการทดลอง โดยขั้นตอนการทดลองละเอียดมีดังนี้

2.5.1 ผู้ตรวจสอบ A เป็นผู้ประเมินคนแรกที่ทำกรวัดชิ้นงาน โดยปฏิบัติตามขั้นตอนการวัดชิ้นงาน ผู้ตรวจสอบแต่ละคนจำเป็นต้องบันทึกผลการวัดอย่างชัดเจนทุกครั้งในไฟล์ข้อมูลหลังจากการตรวจวัดแต่ละครั้ง จากนั้นผู้ตรวจสอบ B และ C จะวัดชิ้นงานต่อตามลำดับ

2.5.2 ผู้ตรวจสอบแต่ละคนมีการทดลอง 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง และจำเป็นต้องวัดตัวอย่างทั้ง 10 ตัวอย่างในแต่ละการทดลอง เมื่อผู้ตรวจสอบ A เสร็จสิ้นการตรวจสอบครั้งแรก ผู้ตรวจสอบ B ก็เริ่มดำเนินการตรวจสอบครั้งแรก จากนั้นจึงให้ผู้ตรวจสอบ C ตามลำดับ

2.5.3 เมื่อผู้ตรวจสอบทั้งสามคนเสร็จสิ้นการตรวจสอบครั้งแรก ผู้ตรวจสอบ A ก็เริ่มการตรวจสอบครั้งที่สอง เมื่อผู้ตรวจสอบทั้งหมดเสร็จสิ้นการตรวจสอบครั้งที่สอง ผู้ตรวจสอบ A ก็เริ่มการตรวจสอบครั้งที่สาม เพื่อสะท้อนถึงความเป็นกลางของการทดลอง จึงได้นำเสนอตัวอย่างตามลำดับที่แตกต่างกันสำหรับการทดลองแต่ละครั้ง โดยพารามิเตอร์ที่วัดจากเครื่อง CMM ตามข้อกำหนดของลูกค้ามีทั้งหมด 16 จุด (ดังตารางที่ 2) ซึ่งมีข้อมูลเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกตำแหน่งการวัดตามข้อกำหนดของลูกค้าที่ต้องการความละเอียดสูงที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนระหว่างแผนก IPQC และ OQA คือตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางรูแบร์ริง Z (Bearing Hole Diameter Z) โดยผลการทดลองจากการวัดของเครื่อง CMM แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าจากการวัดค่าตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางรูแบร์ริง Z ของเครื่อง CMM แผนก IPQC ที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง	พนักงาน A			พนักงาน B			พนักงาน C		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.41713	0.41712	0.41714	0.41713	0.41712	0.41712	0.41714	0.41714	0.41712
2	0.41700	0.41700	0.41701	0.41701	0.41700	0.41699	0.41701	0.41700	0.41699
3	0.41702	0.41701	0.41703	0.41703	0.41701	0.41701	0.41702	0.41703	0.41701
4	0.41705	0.41704	0.41706	0.41706	0.41705	0.41705	0.41706	0.41706	0.41704
5	0.41704	0.41704	0.41704	0.41704	0.41703	0.41703	0.41705	0.41704	0.41704
6	0.41704	0.41703	0.41704	0.41705	0.41703	0.41703	0.41705	0.41705	0.41704
7	0.41701	0.41700	0.41702	0.41701	0.41701	0.41700	0.41701	0.41702	0.41700
8	0.41705	0.41705	0.41706	0.41706	0.41705	0.41705	0.41705	0.41705	0.41704
9	0.41701	0.41700	0.41702	0.41702	0.41700	0.41700	0.41701	0.41702	0.41700
10	0.41700	0.41789	0.41791	0.41791	0.41789	0.41790	0.41791	0.41791	0.41789

3. การวิเคราะห์ (Analyze, A)

3.1 การวิเคราะห์เชิงสถิติ วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์เชิงสถิติคือการประมาณค่าความผันแปร (Variation) และเปอร์เซ็นต์ความผันแปรของกระบวนการสำหรับระบบการวัดและชิ้นงาน โดยความสามารถของเครื่องมือวัดประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ (1) ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) หมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าจริง (True Value) ของระบบการวัด ที่สามารถวิเคราะห์จากการวัดชิ้นงานซ้ำ ๆ กัน โดยใช้ชิ้นงานเดียวกัน วัดด้วยอุปกรณ์เดียวกัน และ (2) ความสามารถในการประเมินซ้ำ (Reproducibility) คือความผันแปรที่แสดงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์เดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกัน แต่ใช้คนวัดคนละคนกัน สำหรับผลลัพธ์การวิเคราะห์เชิงสถิติของระบบการวัดแสดงดังภาพที่ 3

Two-Way ANOVA Table With Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0.0000061	0.0000007	23286.0	0.000
Operators	2	0.0000000	0.0000000	3.5	0.051
Parts * Operators	18	0.0000000	0.0000000	0.4	0.989
Repeatability	60	0.0000000	0.0000000		
Total	89	0.0000061			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	0.0000061	0.0000007	10103.4	0.000
Operators	2	0.0000000	0.0000000	1.5	0.222
Repeatability	78	0.0000000	0.0000000		
Total	89	0.0000061			

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000000	0.09
Repeatability	0.0000000	0.09
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operators	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0000001	99.91
Total Variation	0.0000001	100.00

Process tolerance = 0.0004

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000083	0.0000497	3.01	12.43
Repeatability	0.0000082	0.0000493	2.98	12.32
Reproducibility	0.0000011	0.0000066	0.40	1.64
Operators	0.0000011	0.0000066	0.40	1.64
Part-To-Part	0.0002751	0.0016508	99.95	412.69
Total Variation	0.0002753	0.0016515	100.00	412.88

Number of Distinct Categories = 46

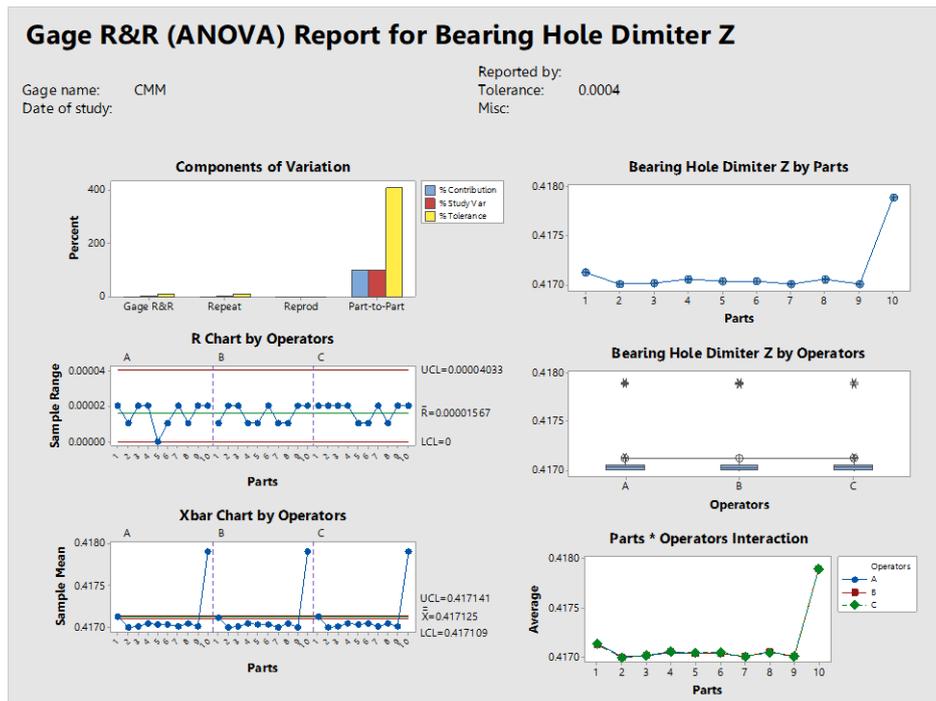
ภาพที่ 3 ผลลัพธ์จากการศึกษาระบบการวัดของเส้นผ่านศูนย์กลางรูแบริง Z (Bearing Hole Diameter Z)

ผลจากการวิเคราะห์ (ภาพที่ 3) พบว่าระบบการวัดมีค่า P-Value < α (เมื่อ $\alpha = 0.05$) แสดงว่า Part มีความแตกต่างถือว่าผ่าน และ P-Value ของ Operators และ P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่าง Operators * Parts มีค่า > 0.05 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างเกิดขึ้น

จาก Total Gage R&R = 0.09% เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของความผันแปรในระบบการวัดพบว่ามาจากความสามารถในการวัดซ้ำเป็นความผันแปรของอุปกรณ์ (Repeatability) เท่ากับ 0.09% และความสามารถในการประเมินซ้ำ ซึ่งเป็นความผันแปรของพนักงาน (Reproducibility) เท่ากับ 0.00%

เมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความสามารถของกระบวนการ พบว่ามีสัดส่วนความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่า Total Gage R&R เท่ากับ 0.09.% เมื่อเทียบกับค่าความเผื่อของกระบวนการ (Process tolerance) จากค่า P/TV เท่ากับ 12.43% อยู่ในเกณฑ์ความผันแปรที่อาจยอมรับได้ (อ้างอิง Measurement System Analysis 4th edition. Table II-D 1: GRRR Criteria, หน้า 78) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่า NDC (Number of Distinct) เท่ากับ 46 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลการวัดได้

3.2 การวิเคราะห์เชิงกราฟิก ผู้วิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์เชิงกราฟิกด้วยโปรแกรม MINITAB สำหรับกระบวนการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางรูแบริง Z ของแขนหัวอ่านเส้นด้วยเครื่องมือวัด CMM ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4



ภาพที่ 4 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เชิงกราฟฟิคด้วยโปรแกรม MINITAB

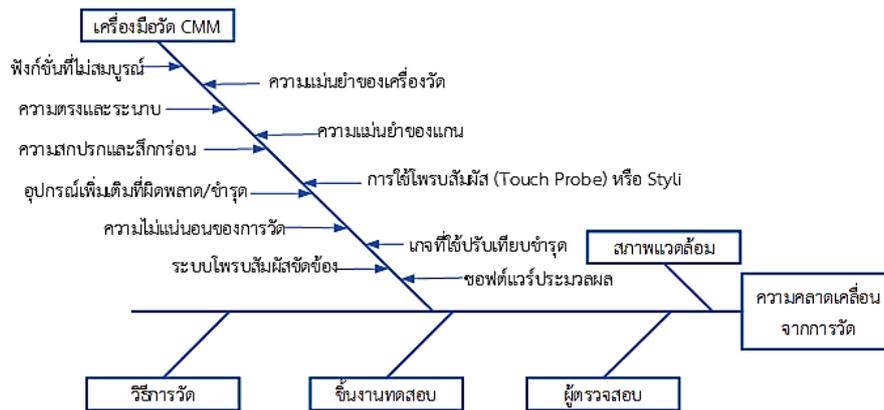
จากภาพที่ 4 พิจารณาแผนภูมิ Component of Variation เห็นว่าชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองมีความแตกต่างของค่าชิ้นงานของสิ่งตัวอย่างที่เพียงพอ

พิจารณาแผนภูมิ R Chart พบว่าทุกจุดอยู่ภายในพิกัดควบคุม แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ และระบบการวัดมีความสม่ำเสมอดี

พิจารณาแผนภูมิ X bar Chart พบว่า 90% ของข้อมูลอยู่ภายนอกพิกัดความควบคุม แสดงให้เห็นว่าความผันแปรจากสาเหตุของระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรจากสาเหตุของระบบการผลิต ดังนั้น ข้อมูลที่วัดได้สามารถนำไปใช้ประมาณความผันแปรของกระบวนการได้

จากผลการวิเคราะห์เชิงกราฟทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าระบบการวัดที่โรงงานใช้ในการวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรูแบร์ริง Z และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแขนหัวอ่านที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง CMM สามารถนำไปใช้ในการวัดแขนหัวอ่านสำหรับกระบวนการวัดได้ เนื่องจากระบบการวัดมีความผันแปรน้อยกว่าความผันแปรของกระบวนการ

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุหลัก จากผลการวิเคราะห์เชิงสถิติและกราฟฟิค พบว่า Gauge R&R อยู่ในเกณฑ์ที่อาจยอมรับได้และความผันแปรส่วนใหญ่เกิดจากเครื่องวัด CMM ดังนั้นผู้วิจัยมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ความผิดพลาดของเครื่องมือวัด CMM (Gör and Gerger, 2021: Arumun et al., 2024) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สาเหตุของความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด CMM

จากแผนผังสาเหตุในรูปที่ 5 พบว่าสาเหตุความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เกิดจากเครื่องมือวัด CMM ดังนั้น เพื่อวิเคราะห์ลำดับความเสี่ยงของสาเหตุความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ CMM จึงได้ทำการประเมินด้วยวิธี FMEA โดยพิจารณาค่าความสำคัญ (S), โอกาส (O), และการตรวจพบ (D) ของแต่ละสาเหตุ และคำนวณค่า RPN เพื่อลำดับความเสี่ยงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ FMEA ของเครื่องมือวัด CMM

No.	สาเหตุ	ความสำคัญ (Importance)	โอกาส (Occurrence)	การตรวจพบ (Detection)	RPN
1	โพรบสัมผัส (Touch Probe) หรือ Styli เสื่อมสภาพ	4	10	8	320
2	การชนของหัวโพรบ	6	10	8	480
3	การปรับเทียบเครื่อง CMM ไม่เหมาะสม	7	3	3	63
4	ความไม่แน่นอนของการวัด	8	3	3	72

จากตารางที่ 4 พบว่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดส่วนใหญ่เกิดจากการใช้โพรบสัมผัส (Touch Probe or Styli) ความไม่แน่นอนของการวัด และการสอบเทียบเครื่อง CMM ที่ไม่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ FMEA พบว่า ปัจจัยเสี่ยงหลักที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด CMM ได้แก่ การชนของหัวโพรบ และการเสื่อมสภาพของโพรบสัมผัส ซึ่งมีค่า RPN สูงสุด 480 และ 320 ตามลำดับ เนื่องจากทั้งสองปัจจัยมีแนวโน้มเกิดขึ้นบ่อยและตรวจจับได้ยาก จึงควรได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ พร้อมกำหนดแนวทางป้องกันหรือบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เพื่อยกระดับความแม่นยำของระบบการวัดให้สูงขึ้น

4. การปรับปรุง (Improve, I) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบการวัดด้วยเครื่อง CMM ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุง 3 แนวทางหลัก ดังนี้

4.1 การซ่อมแซมเกจสอบเทียบ (Calibration) โดยทางบริษัทการศึกษาได้เรียกบริษัทตัวแทนจำหน่ายเข้ามาดำเนินงานภายในบริษัท โดยซ่อมแซมเกจที่ใช้สอบเทียบและทำการสอบเทียบให้เครื่องวัด CMM ให้มีความถูกต้องและแม่นยำรวมทั้งตรวจสอบเครื่อง CMM ตามระยะเวลาที่กำหนด

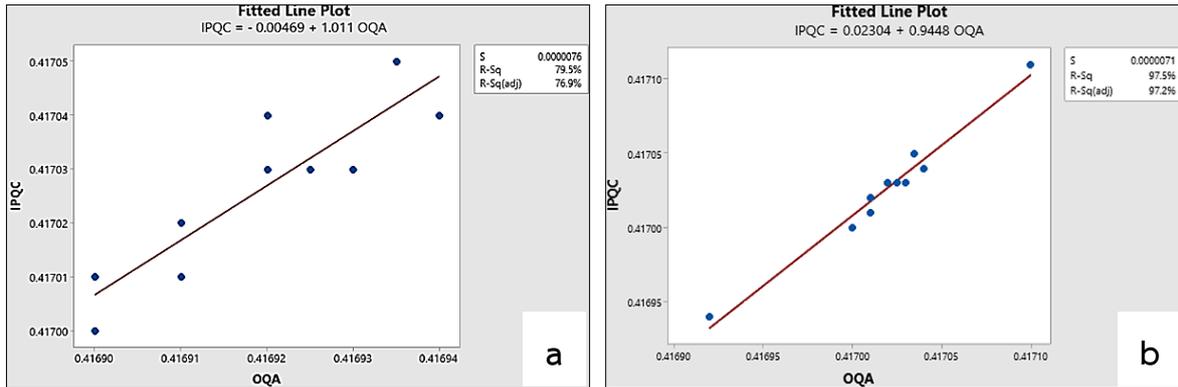
4.2 ตรวจสอบสภาพของโพรบสัมผัส สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ รวมทั้งการทำความสะอาดและตรวจสอบตามระยะเวลาที่กำหนด

4.3 การทดสอบโปรแกรมการวัด คือการทดสอบว่าโปรแกรมทำงานได้อย่างถูกต้องและให้ผลลัพธ์การวัดที่ต้องการ สิ่งสำคัญที่สุดที่ควรให้ความสนใจคือจะต้องแน่ใจว่าไม่มีการชนกันระหว่างแกนเครื่อง CMM และส่วนหนึ่งของอุปกรณ์จับชิ้นงาน

ในระหว่างกระบวนการวัดแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาความเร็วของการเคลื่อนที่ของแกนเครื่อง CMM ว่าความเร็วช้าเกินไปหรือเร็วเกินไป ซึ่งส่งผลต่อความเร็วในการวัดชิ้นงาน

5. การควบคุม (Control, C)

ผู้วิจัยดำเนินการควบคุมคุณภาพในระบบการวัดระหว่างแผนก IPQC และ OQA ให้มีความสอดคล้องกัน โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) อ้างอิงจากการศึกษาของ Song et al., (2014) โดยกำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของระบบการวัดดังนี้ แผนก IPQC (X) และแผนก OQA (Y) จากการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของเครื่องวัด CMM แสดงผลลัพธ์ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 (a) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแผนกก่อนปรับปรุง (b) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หลังปรับปรุง

จากภาพที่ 6 (a) ก่อนการปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแผนก IPQC และ OQA มีค่า $r = 0.891$ (R-Sq (adj) = 76.9%) อยู่ในเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันระดับสูง หลังจากการปรับปรุง (รูปที่ 6b) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแผนกมีค่า $r = 0.987$ (R-Sq (adj) = 97.2%) อยู่ในเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันระดับสูงมาก ดังนั้นการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือวัด CMM ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือระบบการวัดระหว่างแผนก IPQC และ OQA ได้

สรุปผล

จากการสำรวจข้อมูลประสิทธิภาพการวัดของเครื่อง CMM แผนกตรวจสอบคุณภาพ ตลอดระยะเวลาสามเดือนก่อนและหลังการปรับปรุงผลิตภัณฑ์แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่เกี่ยวข้องกับแ่งมุมต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลประสิทธิภาพการวัดของเครื่อง CMM ก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อนปรับปรุง (สามเดือน)	หลังปรับปรุง (สามเดือน)
จำนวนผลิตภัณฑ์ที่พบการวัดที่ใช้ไม่ได้ภายในแผนก	872 (291 ชิ้น/เดือน)	43 (15 ชิ้น/เดือน)
ปริมาณสินค้าชำรุดที่จัดส่งให้ลูกค้า (ตำหนิที่เกิดจากการตรวจวัดชิ้นงานผิดพลาด)	364 (121 ชิ้น/เดือน)	18 (6 ชิ้น/เดือน)
จำนวนการส่งกลับในแผนก	17	2
ค่าปรับสินค้าที่ใช้ไม่ได้ทั้งหมด (59 บาท/ชิ้น)	72,924 บาท (24,308 บาท/เดือน)	3,599 บาท (1,200 บาท/เดือน)

หลังการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบการวัดแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยการสอบเทียบเครื่องมือวัด CMM ช่วยลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่พบการวัดที่ใช้ไม่ได้ภายในแผนกจากเดิม 291 ชิ้น/เดือน ลดลงเหลือ 15 ชิ้น/เดือน (ลดลง 95%) ปริมาณสินค้าชำรุดที่จัดส่งให้ลูกค้าจากเดิม 121 ชิ้น/เดือน ลดลงเหลือ 6 ชิ้น/เดือน (95%) จำนวนการส่งกลับในแผนกจากเดิม 17

ขึ้น ลดลงเหลือ 2 ชิ้น (ลดลง 88%) นอกจากนี้ ยังลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจัดการข้อร้องเรียนของลูกค้ากับแผนก IQOC ในช่วงสามเดือนที่ผ่านมาจากเดิม 72,924 บาท (24,308 บาท/เดือน) ลดลงเหลือเพียง 3,599 บาท (1,200 บาท/เดือน) สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ถึง 69,325 บาท

อภิปรายผล

ความคลาดเคลื่อนจากการวัดมีหลายสาเหตุ จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิแกงปลา (Cause-and-Effect Diagram) ได้แก่ (1) เครื่องมือวัด CMM (2) สภาพแวดล้อม (3) วิธีการวัด (4) ชี้นำงานทดสอบ และ (5) ผู้ตรวจสอบ ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) โดยเข้าใจผิดว่าค่าพารามิเตอร์ของแขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์อยู่ในพิสัยควบคุม แต่โดยแท้จริงแล้วอยู่นอกพิสัยควบคุมของกระบวนการ ส่งผลให้บริษัทส่งสินค้าที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดให้กับลูกค้า ทำให้เสียค่าปรับจากสินค้าที่ใช้งานไม่ได้ ดังนั้น การทำ Gauge R&R ตามคู่มือ MSA พบว่าความคลาดเคลื่อนของกระบวนการวัดเกิดจากตัวเครื่องมือวัด CMM เป็นหลัก จากการวิเคราะห์สาเหตุหลักด้วยแผนภูมิแกงปลาของเครื่องมือวัด CMM จะประกอบด้วยปัญหาย่อย ๆ ที่สำคัญหลายอย่าง เมื่อนำปัญหาดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วย FMEA ทำให้ทราบสาเหตุความคลาดเคลื่อนและลำดับความสำคัญดังนี้ การชนของหัวโพรบ การเสื่อมสภาพของหัวโพรบ และความไม่แน่นอนของการวัด ดังนั้น การสอบเทียบเครื่อง CMM ตามวงรอบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ หากลดความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด CMM จะช่วยลดค่าปรับจากการส่งสินค้าที่ใช้งานไม่ได้ให้กับลูกค้าได้

ภายหลังจากการสอบเทียบเครื่องมือวัด CMM สามารถลดการส่งสินค้าชำรุดให้ลูกค้าลดลงจาก 121 ชิ้น/เดือน เหลือ 6 ชิ้น/เดือน โดยความสอดคล้องของค่าพารามิเตอร์จากการวัดของเครื่อง CMM พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแผนก IQOC และ OQA เพิ่มขึ้นจากค่า $r = 0.891$ เพิ่มขึ้นเป็น $r = 0.987$ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ทั้งสองข้อ

จากการศึกษาปัญหาต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิแกงปลาซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการวัดที่ได้การวิเคราะห์ด้วย Gauge R&R ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Arumun et al., 2024

เมื่อพิจารณาการวัดค่าพารามิเตอร์แขนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ใด ๆ ของเครื่อง CMM ระหว่างแผนก IQOC และ OQA มีค่าจากการวัดมีความสอดคล้องกันโดยมีแนวโน้มดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

สามารถใช้แนวคิดสำหรับการแก้ไขและการปรับปรุงกระบวนการวัดสำหรับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ใช้เครื่องมือวัด CMM ในการวัดชิ้นงานในมิติต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของกระบวนการและลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากข้อร้องเรียนของลูกค้า

เอกสารอ้างอิง

กิตติภาพ ปิ่นเทศ เพ็ญศิริพันธ์ สุขสมกิจ และชัชฌิมพร ทวีเดช. (2565). การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนโดยใช้เทคนิคซีกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษา โรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์แห่งหนึ่ง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 2565 ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 หน้า 110 -122.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2567). รายงานภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2567 และแนวโน้มปี 2568.

<https://km.fti.or.th/docs/km>

AIAG (Automotive Industrial Action Group). (2001). *Measurement System Analysis (MSA)*. 4th Edition (2001).

Arumun, J. Ekanem, V., & Ashigwuike, E. (2024). Review of Gauge Repeatability and Reproducibility for Dimensional Measurements. *Scholars Bulletin*, 10(7). 186-194.

Brue, G., & Rod Howes. (2008). *Six Sigma*. Tata: McGraw Hill Publications, 1st edition.

- Gör, O., & Gerger, A. (2021). Conducting a Gage R & R Study: An Application Example in Automotive Industry. *Journal of Economic and Social ResearchsEkonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8 (15).
- Phillip, M. Baaisi. Robert, O. Monageng, K. Mashaba, K. Kommula, V., & Jerekias, G. (2008). Application of Lean Six Sigma Methodology in Defect Reduction: A Case Study of Kalahari Ash Salt Bagging Plant. *the First Australian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Sydney, Australia, 2022, (pp. 1167-1177).
- Shirodkar, A., & Rane, S. (2021). *Evaluation of Coordinate measuring machine using Gage Repeatability & Reproducibility. International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 1. 84-90. doi: 10.1007/s13198-020-01050-2
- Song, F. Osmo, K., & Matti, M. (2014). Assessing Gauge Reliability and Reproducibility Using the Correlation between Two Measurement Systems. *International Journal for Quality Research*, 8(1), 39–46.
- Tirelo, O. Pekenene, Tuelomburu, S. Mphathiwa, Robert, O. Monageng, K. Mashaba, K. Jerekias, G., & Kommula, V. (2023). Application of Lean Six Sigma Methodology in Defect Reduction: A Case Study of Botswana Shade Net Manufacturing Plant. *the 6th European Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Lisbon, Portugal, 2023, 804-815.
- Uluskan, M. (2021). Six Sigma in Plastic Injection Modeling: Reuse Defective Parts in New Article Production as Raw Material Input or Not? *Journal of Industrial Engineering*, 32(2), 341-363.

Translated Thai References

- Pintes, K., Suksomkit, P., & Thaweedeche, T. (2522). *Waste Reduction In Plastic Thermoforming Process Through Six Sigma Techniques: Case Study A Packaging Factory The Building Energy. Journal of Science and Technology Thonburi University*, 6(1), 110-122.
- The Office of Industrial Economics. (2024). Industrial Economic Situation Report 2024 and Outlook for 2025. <https://km.fti.or.th/docs/km>