

การลดของเสียจากการทดสอบแรงกดในกระบวนการผลิตแกนพวงมาลัยรถยนต์ Waste Reduction of Press Load Testing in Steering Shaft Spline Production Process

ธารชуда พันธนิกุล^{1*} และ จุฑามาศ ดวงใจ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Thanchuda Phannikul^{1*} and Juthamas Daungjai¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

Corresponding Author Email : thanchuda.p@ubu.ac.th

Received 28 May 2025

Revised 10 September 2025

Accepted 16 September 2025

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานแต่ละชิ้นนับเป็นส่วนสำคัญที่สุดเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ บริษัทกรณีศึกษา ก็เป็นหนึ่งในโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันประสบกับปัญหาของเสียจากการทดสอบคุณภาพชิ้นงาน ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools) ต่าง ๆ เพื่อช่วยหาสาเหตุและนำไปสู่การแก้ปัญหา ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่การใช้แผนภูมิพาเรโตในการเปรียบเทียบข้อมูลของเสียจากการผลิตตลอดทั้งเดือน พบว่าของเสียจากการทดสอบแรงกด (Press Load) มีมูลค่าสูงที่สุด ซึ่งค่าทดสอบได้ค่าสูงเกินจากมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดที่ 30 kN จากนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิแก๊งปลา โดยใช้หลักการ 4M ซึ่งพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียจากการผลิต คือ เครื่องจักรไม่มีการปรับตั้ง และ Jig มีการสึกหรอ กลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น โดยการติดแผ่นชิม (Shim Plate) หรือตัวประกอบ เพิ่มทั้งสองด้านเข้ากับเครื่องจักร เมื่อทำการปรับปรุงแล้วใช้แผนภูมิการกระจายร่วมกับแผนภูมิควบคุมในการบันทึกข้อมูล พบว่าค่า Press Load หลังการแก้ไขมีค่าดีขึ้นและอยู่ในเกณฑ์ที่ลูกค้ากำหนด เมื่อคำนวณค่าสถิติดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Performance Index) ซึ่งได้แก่ค่า P_p และ P_{pk} หลังปรับปรุง ก็พบว่ามีความดีขึ้นด้วย เนื่องจากความผันแปรในการวัดค่าแรงกดน้อยลง โดยสรุปหลังการปรับปรุง ร้อยละของเสียเรื่องแรงกดเกินข้อกำหนดลดลงจากร้อยละ 0.67 เหลือเพียงเฉลี่ยร้อยละ 0.03 ต่อเดือน หรือลดลงได้ถึงร้อยละ 95.52 จากเดิม ต้นทุนของเสียลดลงจาก 7,635 บาทต่อเดือน ลดลงเหลือเพียง 123 บาทต่อเดือน ซึ่งในอนาคตควรมีการจัดทำแผนการบำรุงรักษา Jig และปรับตั้งค่าสอบเทียบเครื่องจักรอย่างเป็นระบบเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำ และพิจารณาแก้ปัญหาของเสียที่มีมูลค่าสูงในลำดับถัดไป

คำสำคัญ: การลดของเสีย, เครื่องมือควบคุมคุณภาพ, กระบวนการผลิต, แกนพวงมาลัยรถยนต์

Abstract

The automotive parts industry has continued to grow steadily over the past several years. Quality control of each component is of utmost importance, as it directly affects driver safety. The case study company, a manufacturer of steering column components, has recently faced quality-related defects during product testing. To address this issue, the research team applied various 7 QC Tools to identify root causes and develop corrective measures. The investigation began with the use of a Pareto chart to compare monthly production defect data, which revealed that the most defect was press load testing, where values frequently exceeded the customer-specified limit of 30 kN. A fishbone diagram (Ishikawa) based on the 4M principle was then used to analyze potential causes. The findings indicated that the main problems were the lack of machine adjustments and the wearing of the jig. As an initial corrective measure, the team installed shim plates (support fixtures) on both sides of the machine to stabilize the setup. Subsequent process monitoring using scatter diagrams and control charts showed that the press load values improved and remained within the customer's specified range. Additionally, calculations of the process performance indices (P_p and P_{pk}) after the improvement showed better values, indicating reduced variation in press load measurements. Overall, the improvement reduced the defect rate related to excessive press load from 0.67% to an average of just 0.03% per month, representing a 95.52% reduction. The associated defect cost dropped significantly, from 7,635 THB to just 123 THB per month. Going forward, it is recommended to establish a systematic jig maintenance and machine calibration plan to prevent the recurrence of similar issues and to address other high-cost defects in subsequent phases.

Keywords: Waste Reduction, 7 QC Tools, Production Process, Steering Shaft Spline

1. บทนำ

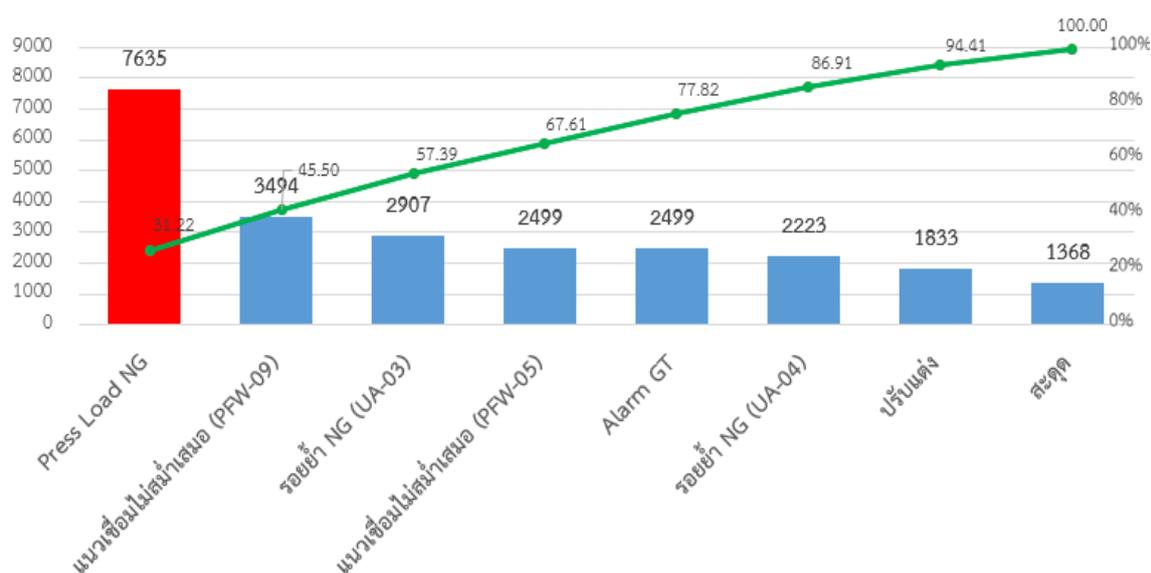
อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์นับเป็นหนึ่งในกลไกสำคัญที่ขับเคลื่อนเศรษฐกิจของหลายประเทศทั่วโลก เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมนี จีน และประเทศไทย อุตสาหกรรมนี้ไม่เพียงแต่มีบทบาทในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยานยนต์เท่านั้น แต่ยังมีผลโดยตรงต่อการจ้างงาน การส่งออก และผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Products; GDP) อีกด้วย ตามรายงานของ International Organization of Motor Vehicle Manufacturers [1] ระบุว่าอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนมีการจ้างงานรวมกว่า 50 ล้านตำแหน่งทั่วโลก อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีอัตราการเติบโตที่สอดคล้องกับอุปสงค์ของตลาดโลก โดยในประเทศไทยเองนั้น ปัจจุบันการผลิตมุ่งเน้นไปที่ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และยานยนต์อัจฉริยะ (Smart Vehicles) มากขึ้นกว่ารถยนต์สันดาปแบบเดิม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย [2] ซึ่งระบุว่าการผลิตรถยนต์ตลอดทั้งปี 2567 ที่ผ่านมามีภาพรวมลดลง แต่การผลิตรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ และรถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด กลับเติบโตอย่าง

ก้าวกระโดด ส่งผลให้ตลาดชิ้นส่วนยานยนต์ยังคงมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง

บริษัทกรณีสึกษา ทำการผลิตและจัดจำหน่ายชิ้นส่วนยานยนต์หลายประเภท ได้แก่ แบริ่งส์ เกียร์อัตโนมัติ คอพวงมาลัย ข้อต่อ และระบบแกนพวงมาลัย ซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับโลกและมีลูกค้าเป็นรถยนต์หลายยี่ห้อหลักในประเทศไทย ในส่วนที่ทำการศึกษาคือเป็นกระบวนการของไลน์ JA-2 ซึ่งเป็นไลน์ที่ผลิตแกนพวงมาลัยรถยนต์ ระบบ I-Shaft Lower ในปัจจุบัน ไลน์ JA-2 มีประสิทธิภาพในการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย และไม่สามารถผลิตงานได้ตามแผนการผลิตที่วางไว้ เนื่องจากเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตค่อนข้างบ่อย เช่น ปัญหาเครื่องจักร ปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้ต้องหยุดการผลิตเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ และเกิดของเสียขึ้นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเกิดเวลาสูญเสีย (Downtime) ในระหว่างการผลิตขึ้นอีกด้วย ส่งผลให้ไม่สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ทันตามกำหนด ทำให้เกิดผลกระทบต่อทางบริษัทโดยตรง

กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและรวบรวมปัญหาในกระบวนการผลิตที่ไลน์ JA-2 เป็นเวลา 1 เดือน ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2567 ดังแผนภูมิพารेटโตในรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ของเสียที่มีมูลค่าความสูญเสียมากเป็นอันดับที่ 1 คือ ปัญหา Press Load Hi หรือการทดสอบแรงกดได้ค่าเกินจากมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งมีมูลค่าสูงถึง 7,635 บาท คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 31.22 ของมูลค่าปัญหาทั้งหมดในเดือนนั้น และมีมูลค่าสูงกว่าปัญหาอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ด้วยความโดดเด่นของปัญหานี้ ประกอบกับระยะเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด กลุ่มผู้วิจัยจึงได้เลือกปรับปรุงปัญหานี้ในลำดับแรกก่อน ทั้งนี้เพื่อเร่งลดค่าใช้จ่ายจากของเสียให้เหลือน้อยลงให้เร็วที่สุด รวมไปถึงการลดโอกาสในการส่งสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานออกสู่ผู้บริโภคเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่มีผลกับความปลอดภัยในการขับขี่ ซึ่งต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษอีกด้วย

Scrap Cost - Line JA-2



รูปที่ 1 แผนภูมิพารेटโตแสดงมูลค่าปัญหาของเสียที่พบในไลน์ JA-2 ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567

2. ขอบเขตงานวิจัย

กลุ่มผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ แผนภูมิพารेटโต แผนภูมิแกงปลา แผนภูมิการกระจาย แผนภูมิควบคุม และค่าสถิติความสามารถของกระบวนการ (P_p , P_{pk}) ในการวิจัย โดยจะเก็บข้อมูลเฉพาะไลน์การผลิต JA-2 เฉพาะผลิตภัณฑ์แกนพวงมาลัยรถยนต์ I-Shaft Lower Model RG-01 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ เท่านั้น

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบแกนพวงมาลัยรถยนต์

ระบบแกนพวงมาลัยรถยนต์ คือ ชุดระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์ โดยใช้แรงบิดในการส่งถ่ายกำลัง เมื่อผู้ขับขี่หมุนพวงมาลัยจะทำให้แรง (torque) จากแกนกลางส่งกำลังไปยังเฟืองและเพลา รวมไปถึงข้อต่อต่าง ๆ ในชุดพวงมาลัย ทำให้สามารถเปลี่ยนทิศทางของรถจากการเคลื่อนที่ของล้อรถได้ [3]



รูปที่ 2 ระบบแกนพวงมาลัยสำหรับบังคับรถยนต์ [3]

ระบบพวงมาลัยเพาเวอร์ ในรถยนต์ปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่

1) ระบบ HPS (Hydraulic Power Steering)

ระบบนี้จะใช้ปั๊มไฮดรอลิกเป็นตัวสร้างแรงดันให้น้ำมัน ไฮดรอลิกส่งไปยังกระปุกพวงมาลัย หรือ แร็กพวงมาลัย เพื่อช่วยผ่อนแรงในการหักเลี้ยวรถหรือหมุนพวงมาลัย โดยที่ปั๊ม ไฮดรอลิกจะทำงานเมื่อเครื่องยนต์ทำงานและส่งกำลังผ่านสายพานมาขับเคลื่อนปั๊มไฮดรอลิก ข้อดีของระบบนี้คือ ช่วยผ่อนแรงได้ดี รู้สึกมั่นใจในยามเข้าโค้ง แต่ข้อเสียคือ เมื่อมีท่อชำรุดย่อมเกิดการรั่วซึมขึ้นได้

2) ระบบ EPS (Electric Power Steering)

ระบบนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวสร้างกำลัง ช่วยผ่อนแรงในการทำงานของระบบรถยนต์ เมื่อผู้ขับขี่หมุนพวงมาลัย เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่แกนหมุนของพวงมาลัยรถจะตรวจจับ และส่งค่าที่ได้ไปยังกล่องควบคุมเพื่อสั่งการให้มอเตอร์ทำงาน ช่วยในการผ่อนแรงในทิศทางซ้ายและขวา ข้อดีของระบบนี้ คือ การทำงานที่แม่นยำ เบาแรงเมื่อขับขี่ด้วยความเร็วต่ำ และจะรู้สึกได้ว่าพวงมาลัยหนักและแน่นขึ้นเมื่อความเร็วรถยนต์เพิ่มขึ้น เป็นการสร้างความมั่นใจในการควบคุมรถได้ดี และตัดปัญหาการรั่วซึมในระบบ เพราะไม่มีการใช้น้ำมันในระบบ

3.2 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools)

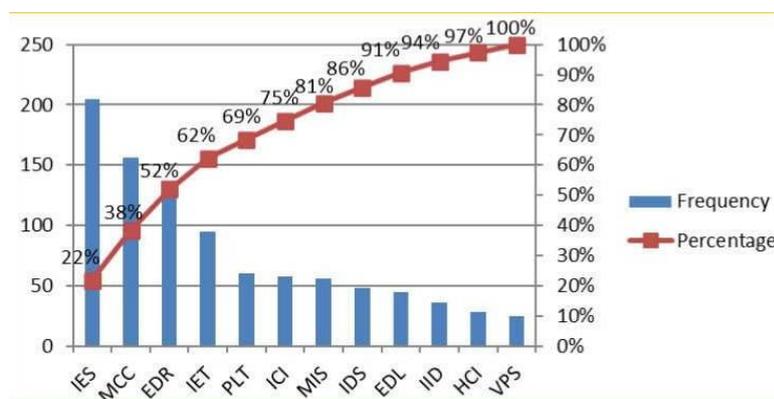
เครื่องมือในการควบคุมคุณภาพมีมากมายหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับแต่ละกิจการที่จะเลือกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับขนาดและประเภทของกิจการ โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการควบคุมคุณภาพ มี 7 อย่าง [4] ได้แก่

- 1) ใบรายการตรวจสอบ (Check Sheet)
- 2) กราฟ (Graphs)
- 3) ฮิสโตแกรม (Histograms)
- 4) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)
- 5) แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)
- 6) แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagrams)
- 7) แผนภูมิการควบคุม (Control Chart)

โดยในที่นี้จะขอนำเสนอเฉพาะเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งได้แก่ แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิแสดงเหตุและผล แผนภูมิการกระจาย และแผนภูมิการควบคุม

3.2.1. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

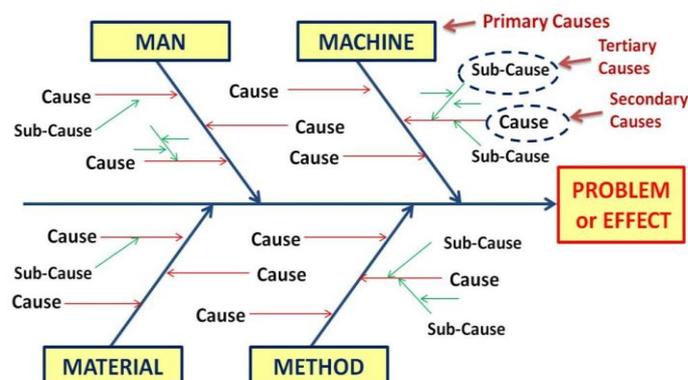
แผนภูมิพาเรโต เป็นการรวมกราฟพื้นฐาน 2 ชนิด มาไว้ด้วยกันคือ กราฟคอลัมน์และกราฟเส้นโดยการจัดเรียงลำดับความสูงของกราฟแท่งจากมากไปหาน้อย แกนนอนใช้เป็นตัวแทนของประเภทรายการข้อมูลที่กำลังพิจารณา ความสูงของคอลัมน์แต่ละแท่งแสดงสัดส่วนของขนาดของรายการแต่ละประเภท ส่วนที่เป็นกราฟเส้นมีไว้เพื่อแสดงมูลค่าสะสมของขนาดคอลัมน์ แผนภูมิพาเรโตช่วยจัดลำดับความสำคัญของปัญหา หรืองานที่ต้องทำ โดยส่วนใหญ่พบว่า 80% ของปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น เกิดจากวิธีการที่ผิดพลาดเพียง 20% เท่านั้น หรือกล่าวในอีกทางหนึ่งว่า หากเราแก้ปัญหาหลักเพียง 20% แรกได้แล้วนั้น ก็จะสามารถลดปัญหาได้ถึง 80% ของทั้งหมดแล้ว จึงถือเป็นหลักการ 80/20 ของพาเรโต อย่างไรก็ตาม หลักการ 80/20 นี้ เป็นเพียงการประมาณค่าเท่านั้น มีงานวิจัยอีกหลายชิ้นที่ชี้ว่าเราไม่จำเป็นต้องใช้หลักการ 80/20 เสมอไป [5] หากแต่เราควรเลือกแก้ปัญหาตามเวลาและทรัพยากรที่มีเป็นหลัก



รูปที่ 3 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams) [6]

3.2.2. แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

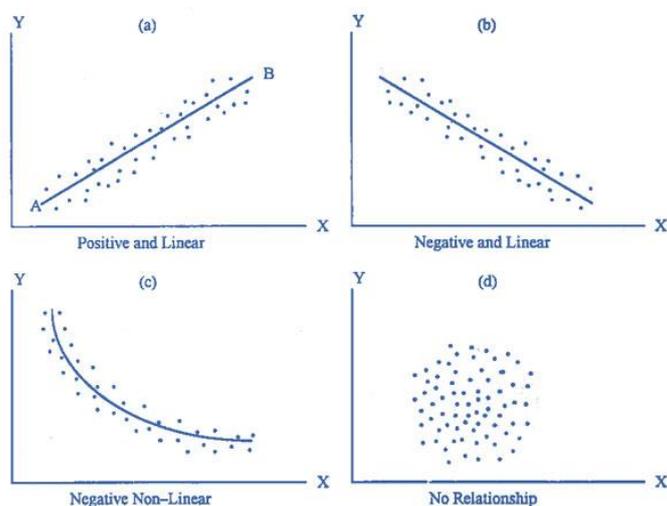
แผนภูมิแสดงเหตุและผล หรือ บางครั้งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แผนภูมิอิชิคาวา (Ishikawa Diagram) ตามชื่อของผู้พัฒนาแผนภูมินี้ คือ ศาสตราจารย์เคโอรุ อิชิคาวา แต่เนื่องจากแผนภูมินี้เมื่อสร้างเสร็จแล้วมีรูปร่างคล้ายปลา จึงมีผู้นิยมเรียกว่า "ผังก้างปลา" (Fishbone Diagram) แผนภูมิเหตุและผลจะแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ซึ่งมักแบ่งตามหลัก 4M (Man Machine Method Material) กับผลที่เกิด (Effect) ซึ่งจะเขียนไว้ที่บริเวณหัวปลา



รูปที่ 4 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [7]

3.2.3. แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagrams)

เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงว่าข้อมูล 2 ชุดหรือตัวแปร 2 ตัวมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันหรือไม่ และระดับความสัมพันธ์นั้นมีมากหรือน้อยเพียงใด โดยการพล็อตจุดลงไประหว่าง 2 แกน และดูการกระจายตัวของจุดข้อมูลต่าง ๆ เหล่านั้นว่ามีแนวโน้มเป็นลักษณะใด



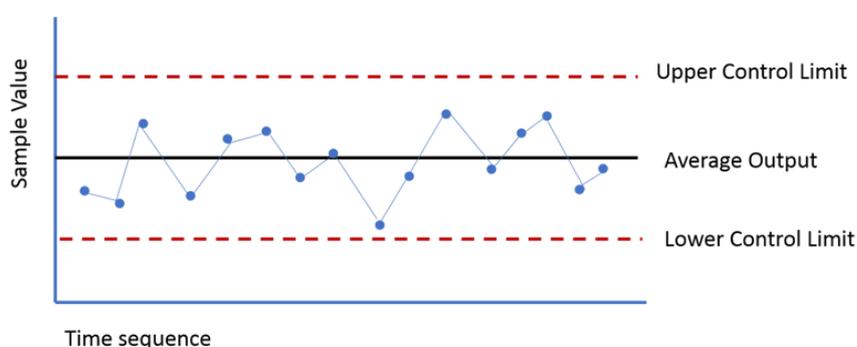
รูปที่ 5 ตัวอย่างแผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram) [8]

3.2.4. แผนภูมิการควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิที่ใช้สำหรับเฝ้าติดตาม (Monitoring) ค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุม คุณภาพว่า เกิดความผันแปรเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้หรือไม่ และความผันแปรนั้นมีแนวโน้มอย่างไร ลักษณะที่สำคัญของแผนภูมิควบคุม มีลักษณะคล้ายกราฟเส้น แต่เนื่องจากมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเฝ้าติดตามดูความผันแปรของค่าของข้อมูล จึงมีองค์ประกอบเพิ่มเติม ได้แก่

- เส้นพิกัดด้านบน (Upper Control Limit: UCL)
- เส้นพิกัดด้านล่าง (Lower Control Limit: LCL)
- เส้นกลางหรือค่าเฉลี่ย (Center Line: CL)

โดยถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติ ข้อมูลจะมีพฤติกรรมแบบสุ่มอยู่รอบ ๆ เส้นกลาง และมีขนาดของความผันแปรอยู่ภายในเส้นพิกัดด้านบนและเส้นพิกัดด้านล่าง แต่หากมีข้อมูลเกินออกจากพิกัด จะถือว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ



รูปที่ 6 ตัวอย่างแผนภูมิการควบคุม (Control Chart) [9]

3.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process Performance Index)

ดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในการผลิตชิ้นงานให้อยู่ในช่วงของข้อกำหนด (Specification Limits) โดยมีดัชนีหลักที่ใช้กันทั่วไปคือ C_p , C_{pk} , P_p , และ P_{pk} . ซึ่งค่า C_p และ C_{pk} นั้นจะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากกลุ่มตัวอย่าง (Short-term Sigma) ในขณะที่ค่า P_p และ P_{pk} จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากข้อมูลทั้งหมด (Long-term Sigma) ซึ่ง Montgomery [10] แนะนำให้ใช้ค่า C_p และ C_{pk} เมื่อกระบวนการอยู่ในสภาวะควบคุม และใช้ ค่า P_p และ P_{pk} เมื่อกระบวนการยังไม่อยู่ในสภาวะควบคุมเชิงสถิติ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า P_p และ P_{pk} เนื่องจากเป็นการเก็บข้อมูลจากทุกค่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ยังไม่อยู่ในสภาวะควบคุม โดยทั้งสองค่านี้ใช้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการเทียบกับข้อกำหนดของลูกค้า ค่า P_p จะวัดการกระจายตัวโดยรวมของข้อมูลเทียบกับความกว้างของข้อกำหนด ส่วน P_{pk} จะพิจารณาถึงการที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเบี่ยงเบนไปจากจุดกึ่งกลางของข้อกำหนดด้วย โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$Pp = [USL - LSL] / 6S \quad (1)$$

$$Ppk = \min[(USL - \bar{x}) / 3S, (\bar{x} - LSL) / 3S] \quad (2)$$

โดยที่ USL คือ Upper Specification Limit (ค่าสูงสุดของข้อกำหนดของลูกค้า)
 LSL คือ Lower Specification Limit (ค่าต่ำสุดของข้อกำหนดของลูกค้า)
 S คือ Standard Deviation (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั้งหมด)
 \bar{x} คือ Average (ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด)

โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมมักกำหนดเกณฑ์ P_{pk} ขั้นต่ำไว้ที่ 1.67 สำหรับคุณลักษณะที่สำคัญด้านความปลอดภัย และ 1.33 สำหรับคุณลักษณะทั่วไป [11]

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

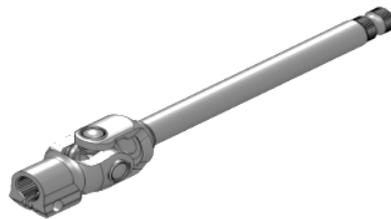
มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้นำเอาเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพ มาปรับปรุงการทำงาน เช่น อธิลักษณ์และคณะ [12] ได้นำแผนผังแสดงเหตุและผล แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย มาใช้ในการแก้ไขปัญหาการขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ (Plastic Vacuum Forming) หลังปรับปรุงโดยเปลี่ยนตัวทำความร้อนและติดตั้งตัวควบคุมใหม่พบว่า ของเสียในกระบวนการผลิตขึ้นรูปลดลง 66.92 % เช่นเดียวกับ จักรีและศุภรัชชัย [13] ได้ประยุกต์ใช้ 7 QC Tools เข้ากับ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) รวมไปถึงกิจกรรมกลุ่ม Quality Control Cycle (QCC) ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเบตเตอร์รถยนต์ จนสามารถลดของเสียลงได้ต่ำกว่าที่กำหนด และช่วยลดต้นทุนของเสียลงได้เกือบสี่แสนบาทต่อปี จิตาภา [14] ก็ได้ทำการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบป้อนโดยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) โดยใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผลเข้ามาช่วย ในการวิเคราะห์ปัญหา ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต คือ เวลาในกระบวนการเชื่อม และกระแสไฟในการเชื่อม เมื่อนำระดับปัจจัยมาปรับตั้งในกระบวนการผลิตทำให้สามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องลงได้ถึง 59.14%

จะเห็นได้ว่า เครื่องมือในการควบคุมคุณภาพมักจะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ปัญหา และสามารถนำมาใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ ในการแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดี บริษัทที่จะนำ 7 QC Tools มาใช้ต้องพิจารณา

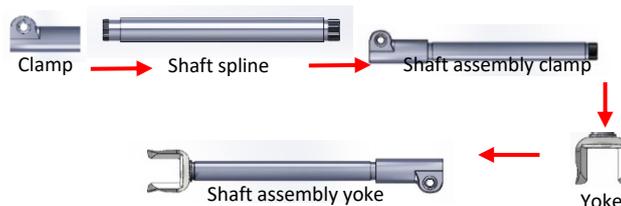
ให้เหมาะสมกับการทำงานภายในองค์กร และต้องมั่นใจว่าเป็นเครื่องมือที่สามารถสะท้อนปัญหาและช่วยเก็บข้อมูลเพื่อนำมาพัฒนาการได้

4. กระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง

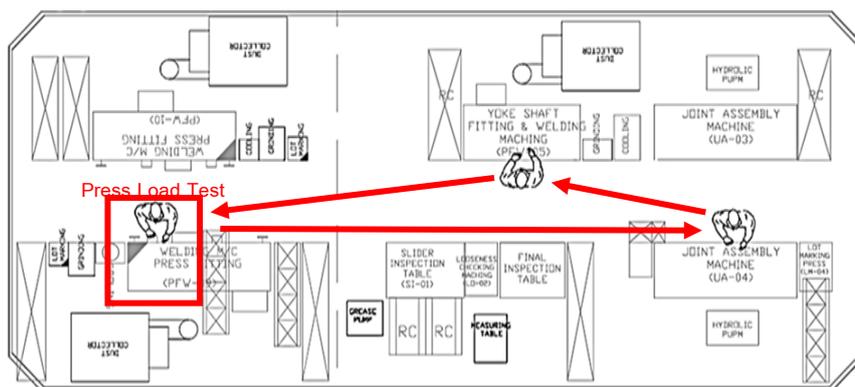
ส่วนที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นกระบวนการผลิตของไลน์ JA-2 ซึ่งเป็นไลน์ที่ผลิตแกนพวงมาลัยรถยนต์ I-Shaft Lower Model RG-01 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ หน้าทีของผลิตภัณฑ์นี้ คือ ใช้สำหรับการรองรับการหมุน ช่วยให้เพลาหมุนได้อย่างราบรื่น และช่วยดูดซับแรงจากการสั่นสะเทือน โดยมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 7 มีขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 8 และมีแผนผังการไหลของกระบวนการดังรูปที่ 9 โดยกระบวนการที่พบของเสียมากที่สุดคือกระบวนการทดสอบแรงกด (Press Load Test)



รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ I-Shaft Lower Model RG-01



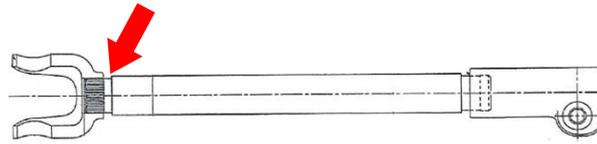
รูปที่ 8 ขั้นตอนและส่วนประกอบในการผลิต I-Shaft Lower



รูปที่ 9 แผนผังการผลิต I-Shaft Lower ในไลน์ JA-2

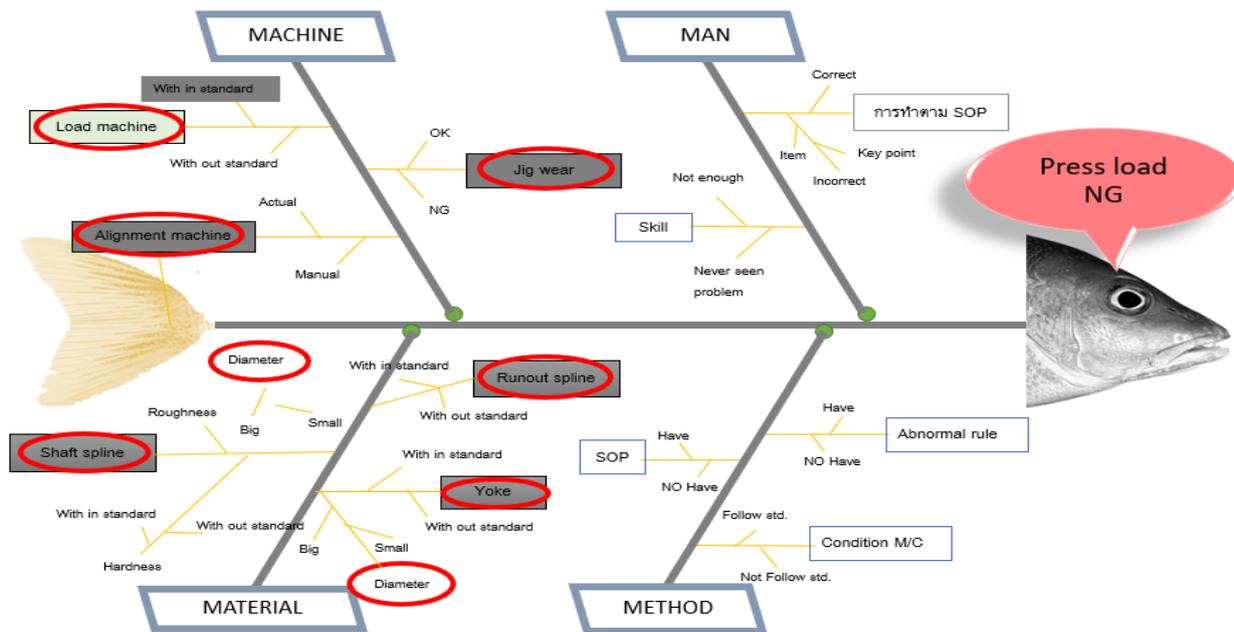
Press Load Test คือ การทดสอบความต้านทานแรงกดของวัสดุ หลังการประกอบชิ้นส่วน Shaft Assembly Clamp เข้ากับ Shaft Assembly Yoke โดยมีจุดวัดตามรูปที่ 10 การทดสอบจะเริ่มจากการนำผลิตภัณฑ์ที่จะทดสอบวางที่ Jig จับชิ้นงาน โดยสวม Yoke ในเครื่อง Press PWF-09 ไว้กับชุด Drive และจะกดเข้ากันกับ Clamp จากนั้น

กด Start เครื่องจักร โดยเครื่องจักรจะวัดค่า Press Load เริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0° แล้วหมุนไปเรื่อย ๆ แล้วแสดงค่าต่างๆ ที่จอแสดงผล โดยมีมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดไว้ที่ 4.5-30 kN. ซึ่งถ้าหากค่าจากการทดสอบได้มากกว่า 30 kN. จะเรียกว่าของเสีย Press Load Hi หรือหากได้ค่าน้อยกว่า 4.5 kN จะเรียกว่าเป็นของเสีย Press Load Low



รูปที่ 10 จุดที่ทำการวัดค่า Press Load

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลของเสียจากไลน์ JA-2 เป็นเวลา 1 เดือน ในเดือนสิงหาคม พ.ศ.2567 ดังแผนภูมิ Pareto ในรูปที่ 1 จะพบว่า ของเสียที่มีมูลค่าความสูญเสียเป็นอันดับที่ 1 ได้แก่ ของเสีย Press load Hi ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังกล่าวโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (แผนผังก้างปลา) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา Press Load Hi

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา Press Load Hi จากปัจจัย 4M จากแผนผังก้างปลาสามารถสรุปได้ดังนี้

M1. พนักงาน (Man)

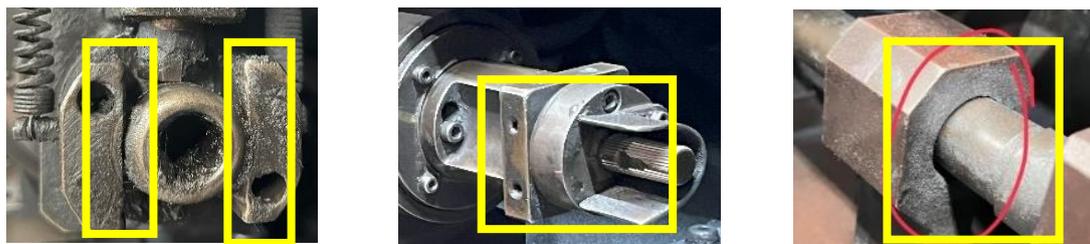
จากการตรวจสอบการปฏิบัติงานของพนักงาน ไม่พบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับค่า Press load Hi เนื่องจากพนักงานทำตามขั้นตอนที่กำหนด และมีความชำนาญในหน้าที่เป็นอย่างดี ดังนั้นพนักงานจึงไม่ใช่สาเหตุของปัญหานี้

M2. วิธีการทำงาน (Method)

จากการตรวจสอบวิธีการทำงาน ก็ไม่พบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับค่า Press Load เช่นเดียวกับพนักงาน เนื่องจากเป็นการทำงานตามวิธีที่กำหนดไว้อย่างถูกต้องแล้ว

M3. เครื่องจักร (Machine)

จากการตรวจสอบ Machine Setting ได้ตั้งค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่พบว่า Jig มีการสึกหรอ 3 จุด ดังรูปที่ 12 และจากการตรวจสอบการ Judgement ของเครื่องจักรเปรียบเทียบผล Actual กับ Manual พบว่าเครื่องอ่านค่า Press Load ได้ไม่เท่ากับวิธีการวัดตามมาตรฐานที่กำหนด มีทั้งได้ค่ามากกว่าและน้อยกว่าที่ควร ดังตารางที่ 1



รูปที่ 12 Jig ในการทดสอบ ซึ่งพบการสึกหรอ 3 จุด

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่า Judgement แบบ Actual กับ Manual

| ค่า Actual (kN) | ค่า Manual (kN) |
|-----------------|-----------------|
| 15.47 | 16.01 |
| 17.69 | 18.07 |
| 13.85 | 12.98 |
| 24.29 | 23.76 |
| 21.05 | 20.36 |

M4. ชิ้นงาน (Material)

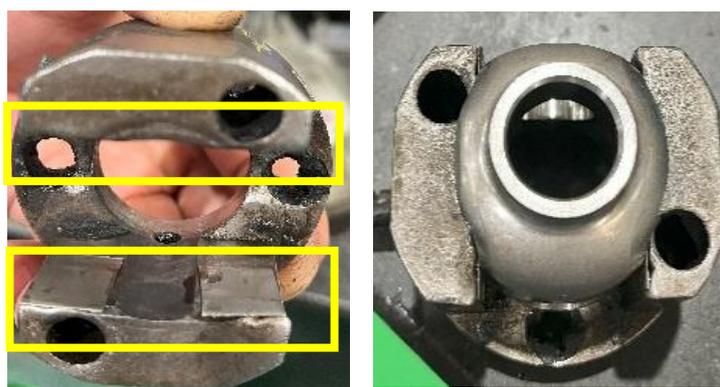
มีการตรวจสอบโดยการทดลองเพิ่มและลด Diameter ของ Shaft Spline พบว่าการทดลองมีของเสียเกิดขึ้น เมื่อตรวจสอบค่าความแข็ง (Hardness) ของ Yoke พบว่าค่าความแข็งอยู่ในค่ามาตรฐาน และเมื่อตรวจสอบกับทาง Supplier และ Designer พบว่า Material Spec ถูกต้องตามมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ปัจจัยทั้งสี่ด้านดังกล่าว พบว่าสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา Press Load Hi ที่ส่งผลให้เกิดของเสีย คือ เครื่องจักรไม่ได้ทำการปรับตั้ง (Alignment) ส่งผลให้เกิดค่า Runout เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ และ Jig มีการสึกหรอทำให้เกิดระยะ Gap ในการกดชิ้นงานเข้าด้วยกัน ทำให้ชิ้นงานเอียงขณะทดสอบ และปัญหาจาก Diameter ของ Spline

5. การปรับปรุงกระบวนการผลิต

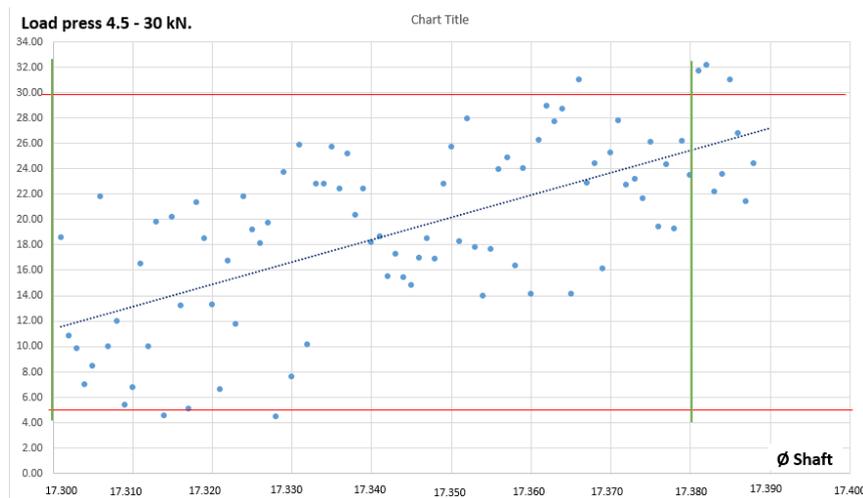
เมื่อทราบสาเหตุของปัญหาของเสีย Press Load Hi มากกว่า 30 kN ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด จากการวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่าเกิดจากค่า Diameter ของ Shaft Spline การสึกหรอของ Jig ระยะที่ชิ้นงานจะกดเข้าด้วยกันมีช่องว่าง (Gap) อยู่มาก ทำให้ชิ้นงานเอียง และเครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงานไม่ได้ทำการปรับตั้ง ประกอบกับไม่มี

บุช (Bush) เพื่อประคองแรงในตอนที่ทดสอบ กลุ่มผู้วิจัยจึงค้นหาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้ง jig และเครื่องวัดเพิ่มเติม เช่น งานวิจัยของ Fathil และคณะ [15] ได้ออกแบบ Jig โดยใช้ 3D CAD ซึ่งพบว่าช่วยลดความเสียหายที่เกิดกับกระบวนการทำงานได้ ทำให้กระบวนการมีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pandit [16] ซึ่งได้แนะนำเทคโนโลยีการผลิต jig สมัยใหม่ เช่น การใช้ Additive Manufacturing, CAD, และเครื่องมือจำลอง (Simulation) ที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำ ลดเวลาออกแบบ และการปรับแต่ง Jig ให้เหมาะสมตามกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามการปรับตั้ง Jig ใหม่หรือการสั่งทำ Jig ใหม่จะใช้เวลาทางผู้วิจัยจึงมองหาทางเลือกที่รวดเร็วกว่าในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเพื่อประคองการวัดชิ้นงานและลดช่องว่างของ Jig ที่สึกหรอ ซึ่งพบว่ามีวิธีการเสริมแผ่นชิม (Shim Plate) หรือแผ่นรองเพื่อช่วยให้การจับยึดมั่นคงขึ้นได้ ดังเช่นงานวิจัยของ Cheng และคณะ [17] นำแผ่น Shim สำหรับชดเชยช่องว่างใน Bolted Joints โดยวิเคราะห์การตอบสนองภายใต้แรงดึงและแรงเฉือนผ่านการทดลองและพบว่า Shim ช่วยลดความเครียดและเพิ่มความแข็งแรงได้ Schmid และคณะ[18] ก็ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติของ Shim ที่ใช้ในระบบเบรกเพื่อควบคุมเสียงสั่นสะเทือน พบว่า Shim สามารถลดการสั่นสะเทือนและเสียงเบรกได้อย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยดังกล่าว จะพบว่า Shim Plate สามารถลดช่องว่างและเสริมความมั่นคงในการจับชิ้นงานได้ ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ไขเบื้องต้นระหว่างการรอสั่งซื้อ Jig ตัวใหม่มาใช้ โดยใช้ แผ่นชิม (Shim Plate) เพื่อลดระยะ Gap ในการทดสอบแรงกด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การเสริมแผ่นชิมทั้งสองด้านเพื่อลดระยะการเกิด Gap ระหว่างการทดสอบแรงกดของชิ้นงาน

จากนั้นทดลองนำชิ้นงานไปทดสอบ Press Load อีกครั้งหลังการเสริมแผ่นชิม ผลการทดลองพบว่าค่า Press Load เป็นไปตามมาตรฐาน จากรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่า การกระจายของข้อมูลหลังการแก้ไขปัญหาค่า Press Load อยู่ในเขตควบคุม (Control Limit) เกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มว่าผลการทดสอบจะได้ค่าแรงกดสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะเวลาที่ผ่านมา ซึ่งอาจบ่งชี้ว่า Jig รับแรงกระแทกหลายครั้งและยังคงหลวมมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของการวัด ทำให้ความนิ่งของระบบในการวัดลดลง ความแข็ง (Rigidity) น้อยลง การ Settling ของ Jig และแผ่น Shim อาจส่งผลให้แรงที่วัดได้เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ ดังที่พบในงานวิจัย [19] ว่า Jig หรือ Bolt ยึดชุดทดสอบ เมื่อเจอแรงสั่นหลายครั้ง จะส่งผลให้ค่าความแข็งของระบบ (System Stiffness) ลดลง จึงทำให้แรงวัดสูงขึ้นเมื่อทดสอบซ้ำหลายรอบ เช่นเดียวกับบทความ [20] ที่กล่าวถึงความคลาดเคลื่อนจากการวัด (Measurement Drift) ว่า สามารถเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่น เวลา แรงสั่นสะเทือน สิ่งแวดล้อม การใช้งานที่ผิดพลาด หรือการสึกหรอ เป็นต้น ดังนั้น การเสริมแผ่น Shim นี้จึงอาจเป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้เท่านั้น เนื่องจากยังคงมีแนวโน้มการวัดค่า Press Load ได้สูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงควรดำเนินการแก้ปัญหาในระยะยาวด้วยวิธีอื่นต่อไป



รูปที่ 14 แผนภูมิควบคุมการกระจายของค่า Press Load หลังการปรับปรุง

ในด้านสถิติและความเบี่ยงเบนของข้อมูล เมื่อทำการคำนวณค่า P_p และ P_{pk} ของค่า Press Load ก่อนและหลังการแก้ไข ตามสมการ (1) และ (2) โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 2 จะพบว่า ก่อนการแก้ไขค่า Press Load P_p เท่ากับ 0.98 และ P_{pk} เท่ากับ 0.46 หลังการแก้ไข จะได้ค่า P_p เท่ากับ 1.27 และ P_{pk} เท่ากับ 0.94 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าหลังการปรับปรุงแล้ว ค่า P_p และ P_{pk} มีค่าดีขึ้น เนื่องจากคำนวณได้ค่ามากขึ้น สืบเนื่องมาจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ากระบวนการมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพดีขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการแก้ปัญหาเบื้องต้นนี้ได้ผลดีและควรดำเนินการแก้ปัญหาในระยะยาวต่อไปเพื่อให้กระบวนการมีความน่าเชื่อถือสูงขึ้น

ตารางที่ 2 ข้อมูลสำหรับการคำนวณค่า P_p และ P_{pk} ก่อนและหลังปรับปรุง

| รายการ | ก่อนปรับปรุง | หลังปรับปรุง |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| | Aug 2024 | Sep 2024 |
| ค่าเฉลี่ยข้อมูล (\bar{X}) | 17.25 | 13.92 |
| ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) | 4.34 | 3.35 |
| ค่ากำหนดของลูกค้า (LSL - USL) | 4.5 - 30 | 4.5 - 30 |
| ค่า P_p | 0.98 | 1.27 |
| ค่า P_{pk} | 0.46 | 0.94 |

การแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้สามารถลดจำนวนของเสียลงได้ ดังตารางที่ 3 จากตารางพบว่าจำนวนของเสียจาก Press Load Hi ลดลงจาก 64 ชิ้นต่อเดือน หรือร้อยละ 0.67 เหลือเพียง 8 ชิ้นในเดือนกันยายน และเหลือเพียง 1 ชิ้น

ในเดือนตุลาคม คิดเป็นของเสียร้อยละ 0.06 และ 0.01 ตามลำดับ หรือเฉลี่ยของเสีย Press Load Hi สองเดือนหลังการปรับปรุงคือ ร้อยละ 0.03 และค่าใช้จ่ายในการทิ้งของเสีย ลดลงจาก 7,635 บาท เหลือเพียง 123 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 3 ผลการดำเนินงานก่อนและหลังปรับปรุง

| รายการ | ก่อนปรับปรุง | | หลังปรับปรุง |
|---------------------------------------|--------------|----------|--------------|
| | Aug 2024 | Sep 2024 | Oct 2024 |
| ยอดการผลิต (Production Volume) | 9,604 | 12,998 | 16,582 |
| ยอดงานเสีย (NG - Pcs) | 64 | 8 | 1 |
| ร้อยละของเสีย (%NG) | 0.67 | 0.06 | 0.01 |
| มูลค่าของเสียทิ้ง (Scrap Cost - Baht) | 7,635 | 986 | 123 |

6. สรุปผลการวิจัย

ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา ในการผลิตแกนพวงมาลัยรถยนต์ โលน์ JA-2 พบว่า ปัญหาที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงที่สุดคือ ปัญหาการทดสอบแรงกดของชิ้นงานได้ค่าเกินจากมาตรฐานที่กำหนดที่ 30 kN หรือ ปัญหา Press Load Hi ซึ่งจากการวิเคราะห์สาเหตุในด้านต่าง ๆ แล้ว พบว่าปัญหาเกิดจากเครื่องจักรที่ใช้ในการทดสอบ ไม่มีการปรับตั้งค่า Alignment และปัญหา Jig สึกหรือทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานเอียงในระหว่างการทดสอบและทำให้อ่านค่าผิดพลาด การแก้ปัญหาแบบถาวรคือการสั่งทำ Jig ใหม่ ซึ่งใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายสูง การแก้ปัญหาเบื้องต้นระหว่างการรอส่งผลิต Jig ใหม่ คือการติดแผ่นชิม (Shim Plate) เข้ากับ Jig เพื่อช่วยลดช่องว่าง และช่วยประคองชิ้นงานระหว่างทดสอบ การใช้แผ่นชิมเป็นการแก้ปัญหาระยะสั้นที่มีข้อดีคือ ต้นทุนต่ำและสามารถดำเนินการได้ทันที ส่งผลให้สามารถลดของเสียและต้นทุนความสูญเสียได้อย่างรวดเร็ว แต่ในระยะยาวอาจมีปัญหาด้านความทนทานและอาจต้องมีการปรับตั้งบ่อยครั้ง ในขณะที่การแก้ปัญหาระยะยาวโดยการสั่งทำ Jig ใหม่ แม้จะมีต้นทุนสูงและต้องใช้ระยะเวลาในการรอ แต่จะให้คุณภาพและความเสถียรของกระบวนการที่สูงกว่า ซึ่งจะช่วยลดความผันแปรในระยะยาวและลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ได้อย่างยั่งยืนมากกว่า

หลังจากปรับปรุงแล้ว พบว่าชิ้นงานที่ทดสอบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดเกือบทั้งหมด ส่งผลให้มีจำนวนของเสียลดลงเป็นอย่างมาก จากร้อยละ 0.67 เหลือเพียงเฉลี่ยร้อยละ 0.03 ต่อเดือน หรือสามารถลดลงได้มากถึงร้อยละ 95.52 จากเดิม และสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้เป็นจำนวนมากอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถลดเวลาในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับไลน์การผลิตได้โดยตรง เนื่องจากไลน์ไม่ต้องหยุดรอชิ้นงานเสียจากกระบวนการนี้ สามารถผลิตงานได้ตามแผนการผลิตที่วางไว้และส่งมอบให้ลูกค้าได้ทันตามกำหนด

อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการแก้ปัญหาเพียงเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากกลุ่มผู้วิจัยมีระยะเวลาในการดำเนินการเก็บข้อมูลและทดสอบผลลัพธ์ที่โรงงานกรณีศึกษาในเวลาเพียงสั้นๆ เท่านั้น หากต้องการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนและมีความน่าเชื่อถือทางสถิติมากขึ้น ควรมีการดำเนินงานโดยมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เช่น เครื่องจักรที่ใช้ พนักงานผู้ดำเนินการวัด ช่วงเวลาการวัด อุณหภูมิในการวัด เป็นต้น และควรมีการเก็บข้อมูลทางสถิติเพิ่มเติมด้วยการสร้าง Control Charts และ Capability Index และเพื่อเป็นการยืนยันวิธีการใช้ Shim Plate ที่ถูกต้อง หรือแม้กระทั่งหลังจากสั่งทำ Jig ใหม่แล้ว ควรนำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) มาช่วยออกแบบการทดลองด้วย เช่น การเปรียบเทียบสภาพของ Jig เก่าและใหม่ ความหนาของ Shim Plate การตั้งค่า Alignment และความเร็วในการทดสอบ เป็นต้น หลังจากนั้นควรมีการพัฒนา Action Plans เพื่อแก้ปัญหาในระยะยาวต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 โรงงานกรณีศึกษาอาจนำหลักการและเครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools) ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาของเสียที่มีมูลค่าความสูญเสียในลำดับถัดไป ตามที่แสดงในแผนภูมิพาเรโต เพื่อลดต้นทุนโดยรวมของโรงงานอย่างต่อเนื่อง

7.2 ควรมีการจัดทำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันจาก Jig สึกหรือและเครื่องจักรไม่ได้ปรับตั้งค่า ทางบริษัทควรทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องจักรทดสอบตามวาระที่ชัดเจน เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำในอนาคต

7.3 เนื่องจากพบความคลาดเคลื่อนระหว่างการวัดแบบอัตโนมัติและแบบ Manual จึงควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) เพื่อทวนสอบความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือและกระบวนการวัดค่า Press Load ให้มั่นใจว่าสามารถแยกแยะชิ้นงานดีและเสียได้อย่างถูกต้อง

7.4 ในอนาคตควรมีการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เช่น Artificial Intelligence (AI) Machine Learning หรือ Internet of Things (IoT) มาช่วยในการตรวจจับความผิดพลาดจากการวัดแบบทันที

8. กิตติกรรมประกาศ

ทางกลุ่มผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาให้กลุ่มผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Business Fortune INC, “What impact is the automobile industry having on the global economy?” Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://bizfortune.com/2024/7/the-economic-engine-how-the-automobile-industry-powers-global-markets>
- [2] สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, “สถิติส่งออกกลุ่มยานยนต์และชิ้นส่วนไทย ปี 2567.” สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. เข้าถึงเมื่อ: 4 ก.ค. 2568. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://www.fti.or.th/News/details?id=565>
- [3] ปุญญวิทย์ สุขสุสร, ณพนัญฐ์ ออองทรัพย์, นิติพรหม ทิมศรี, และ ภิเชก ฝั้นวงศ์, “ระบบบังคับเลี้ยว.” Blogspot. เข้าถึงเมื่อ: 8 มิ.ย. 2567. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <http://me322nitiprom.blogspot.com/2017/09/steering-systems.html>
- [4] ธนภัทร ไชยเรืองศิริกุล, “7 QC Tool.” Productive Engineer. เข้าถึงเมื่อ: 29 มิ.ย. 2567. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://productiveeng.com/2022/11/15/qc7tools>
- [5] Acadamania, “Limitations & absurd misapplications of Pareto analysis.” Acadamania. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://acadamania.wordpress.com/2018/05/22/limitations-absurd-misapplications-of-pareto-analysis/>
- [6] iZenbridge Consultancy Private Limited, “Pareto chart – an effective graphical tool to resolve problems.” iZenbridge. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.izenbridge.com/blog/pareto-analysis-as-a-component-of-seven-basic-quality-tool/>
- [7] Tech Quality Pedia, “7 QC Tools.” Tech Quality Pedia. Accessed: Feb. 12, 2025. [Online]. Available: <https://techqualitypedia.com/fishbone-diagram-ishikawa-diagram/>
- [8] E Math Zone Co., Ltd, “The Scatter Diagram.” E Math Zone. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.emathzone.com/tutorials/basic-statistics/scatter-diagram.html>

- [9] Kainexus Company, "An introduction to Process Behavior Charts." Kainexus. Accessed: Feb. 15, 2025. [Online]. Available: <https://blog.kainexus.com/improvement-disciplines/lean/control-charts/an-introduction-to-process-control-charts>
- [10] D. C. Montgomery, *Introduction to statistical quality control (8th ed.)*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2019, pp. 127–129.
- [11] S. Steiner, B. Abraham, and J. MacKay, "Understanding process capability indices." University of Waterloo. Accessed: Jul. 10, 2025 [Online]. Available: <https://www.math.uwaterloo.ca/~shsteine/papers/cap.pdf>
- [12] อธิลักษณ์ เตียววดี, บุญชัย แซ่ลิว และ ศุภชัย วรรัตน์, "การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง: กรณีศึกษาการผลิตชิ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ", ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2557 (IE NETWORK 2014)*, จังหวัดสมุทรปราการ, ประเทศไทย, 30–31 ตุลาคม 2557, หน้า 1-6.
- [13] จักรี อุดมดี และ ศุภชัย วรรัตน์, "การลดของเสียในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์" *รวมเล่มวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์, ฉบับที่ 3, เล่มที่ 2*, หน้า 605–614, ธ.ค. 2557 – มี.ค., 2558. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <https://surl.li/fshgme>
- [14] จิตาภา เข้าบัวเงิน, "การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบปั๊มโดยวิธีการออกแบบการ ทดลอง กรณีโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง" วท.ม., สาขาการจัดการงานวิศวกรรม, ภาควิชาอุตสาหกรรมและการจัดการ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ, 2563. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้: <http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3416/1/620920038.pdf>
- [15] M. Fathil, C. Ibrahim, N. Ngah, N. Shari, and N. Azine Said, "Design and fabrication jig and fixture for pin component in vehicle component parts," *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET)*, vol. 3, no. 10, pp. 269–273, Oct. 2016. [Online]. Available: https://ijset.com/vol3/v3s10/IJSET_V3_I10_34.pdf
- [16] H. C. Pandit and K. R. Pandit, "Advances in jig manufacturing: A comprehensive review of techniques, technologies, and applications," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 13, no. 7, pp. 1–10, Jul. 2023. [Online]. Available: <https://www.ijera.com/papers/vol13no7/A13070110.pdf>
- [17] L. Cheng, Q. Wang, and Y. Ke, "Experimental and numerical analyses of the shimming effect on bolted joints with nonuniform gaps," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 233, no. 11, pp. 3964–3975, Oct. 2018, doi: 10.1177/0954406218809139.
- [18] D. Schmid, N. Gräbner, and U. von Wagner, "Experimental investigations of brake pad shim properties," *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, vol. 17, no. 1, pp. 41–44, Dec. 2017, doi: 10.1002/pamm.201710012.

- [19] G. Yang *et al.*, “Bolt-loosening evaluation method based on normalized screw root equivalent stress and loosening life curve,” *Scientific Reports*, vol. 15, no. 1, Jul. 2025, Art. no. 20815, doi: 10.1038/s41598-025-02936-6.
- [20] J. McCalister, “What is measurement drift?” System Scale. Accessed: Aug. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.system-scale.com/what-is-measurement-drift>