



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนาระบบการบำรุงรักษาด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์คอนกรีต

Development of maintenance systems by Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) techniques: a case study of concrete products industry

รัฐวุฒิ วงษ์วิทย์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120

Rattawut Vongvit ^{1*}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University Nakhonnayok 26120

* Corresponding author.

E-mail: rattawut@g.swu.ac.th; Telephone: 081 390 9919

วันที่รับบทความ 7 มิถุนายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 30 กรกฎาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีอุตสาหกรรมหลักที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์คอนกรีตและมีแนวโน้มที่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันไทยยังต้องอาศัยการนำเข้าเครื่องจักรอัตโนมัติจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าสูงเป็นหลักและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศนั้นส่งผลให้ผู้ใช้งานขาดความรู้ ความเข้าใจในการใช้งานอย่างถูกต้อง ส่งผลให้เครื่องจักรอัตโนมัติอุตสาหกรรมชำรุดหรือเสียหายก่อนกำหนดอันเนื่องมาจากขาดการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี โดยจากการศึกษาพบว่าเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติและเครื่องอัดคอนกรีตอัตโนมัติมีการหยุดชะงักอยู่บ่อยครั้งซึ่งส่งผลกระทบต่อผลผลิต จากปัญหาและสถานการณ์ข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ เพื่อพัฒนาระบบการบำรุงรักษาโดยจะแบ่งออกเป็นสามส่วนประกอบย่อย อันได้แก่ ด้านโครงสร้าง ด้านอุปกรณ์การส่งกำลัง อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและส่วนควบคุม และอุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ การวางระบบการบำรุงรักษานั้นจะพิจารณาจากค่าความเสี่ยงที่ได้คำนวณไว้โดยกำหนดกลยุทธ์ในการวางระบบบำรุงรักษาออกเป็น 3 ส่วน คือค่าความเสี่ยงสูง ค่าความเสี่ยงปานกลางและค่าความเสี่ยงต่ำ ซึ่งการวางกลยุทธ์จะประกอบไปด้วยการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance : AM), การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance ; PM) และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) โดยผลการดำเนินงานพบว่า 1) จำนวนครั้งในการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนชุดเชื่อม ลดลงคิดเป็น 75% 2) จำนวนครั้งของการหยุดชะงักของเครื่องจักรที่ต้องใช้เวลาในการซ่อมมากกว่า 1 วันลดลงคิดเป็น 85% 3) ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure: MTBF) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 27% และ 4) ค่าเวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักร (Mean Time To Repair: MTTR) ลดลงคิดเป็น 45%

คำสำคัญ

ระบบการบำรุงรักษา การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Abstract

Nowadays, in industrial factories, automatic machines are increasingly used in the production process. With the main industry using automatic machinery such as the automotive industry, electronics industry Including, and the concrete products industry and is likely to be used in other industries, from the past to the present, Thailand still relies on imports

of automatic machinery from foreign countries, which has a high value and is likely to increase. Continuously Which, the import of technology from abroad causes users to lack knowledge and understanding of correct use resulting in industrial automation machinery being damaged or prematurely damaged due to lack of proper maintenance. According to the study, there were frequent breakdowns in the automatic steel framing welding and automatic concrete compactors, which affected production. From the above problems and situations, this research aims to establish a maintenance system for automatic steel frame welding machines in a sample factory using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) analysis. To develop a maintenance system that will be divided into structural sub-components Power, transmission equipment, Electrical equipment, and controls and support equipment. The maintenance of the system will be considered from the calculated risk by defining the strategy for the maintenance of the system into three parts: high risk, medium risk, and low risk. Strategic planning consists of autonomous maintenance, preventative maintenance, and corrective maintenance. The results showed that 1) the number of stoppages of machinery for changing the welding set decreased to 75%. 2) The number of disruption of machinery that requires more than one day of repair is reduced to 85% 3) Mean Time Between Failure (MTBF) increased to 27%, and 4) Mean Time To Repair (MTTR) reduced to 45%

Keywords

maintenance systems, failure modes and effects analysis (FMEA), preventative maintenance

1. บทนำ

ในปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีอุตสาหกรรมหลักที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์คอนกรีตและมีแนวโน้มที่จะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันไทยยังต้องอาศัยการนำเข้าเครื่องจักรอัตโนมัติจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าสูงเป็นหลักและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศนั้นส่งผลให้ผู้ใช้งานขาดความรู้ ความเข้าใจในการใช้งานอย่างถูกต้อง ส่งผลให้เครื่องจักรอัตโนมัติอุตสาหกรรมชำรุดหรือเสียหาย ก่อนกำหนดอันเนื่องมาจากขาดการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี

โรงงานตัวอย่างที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นโรงงานผลิตท่ออัดแรงดัน ดังแสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในรูปที่ 1 โดยมีการใช้เครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตและมีแผนการนำเข้าอย่างต่อเนื่อง จากการที่ได้เข้าไปศึกษาโรงงานตัวอย่าง พบปัญหาว่าโรงงานดังกล่าวจะมีการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติก็ต่อเมื่อเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติเกิดการหยุดชะงัก ไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการผลิตเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมค่อนข้างสูงและบางครั้งต้องใช้เวลาในการซ่อมหรือจัดหาอะไหล่เป็นเวลานานอันเนื่องจากโรงงานยังไม่มี

ระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติที่เหมาะสม เนื่องจากเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง อีกทั้งพนักงานยังขาดทักษะในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายและวิธีการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอนกรีต

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามิงานวิจัยในเรื่องของการบำรุงรักษาอยู่หลากหลายรูปแบบ มีใช้เครื่องมือ FMEA เพื่อทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับงานบำรุงรักษาโดยวิเคราะห์ความเสี่ยงและจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องเพื่อทำการวางกลยุทธ์ในการบำรุงรักษาของศูนย์กระจายไฟฟ้า ซึ่งจากการวิจัยพบว่าสามารถลดต้นทุนงานบำรุงรักษาลงได้[1] การนำเครื่องมือ FMEA เพื่อจัดทำระบบในด้านวิศวกรรมความปลอดภัยในอุปกรณ์การทำงานของอุตสาหกรรมการบิน [2] ใช้

FMEA เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการออกแบบและพัฒนาของอุตสาหกรรมในการอุตสาหกรรม 4.0 [3] การใช้เครื่องมือ FMEA เพื่อบริหารความเสี่ยง โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องมือ Best-Worst Method (BWM) ซึ่งพบว่า เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการบริหารความเสี่ยงและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในการพัฒนาสินค้าและบริการได้อีกด้วย [4] อุตสาหกรรมรถไฟได้นำเครื่องมือ FMEA เพื่อปรับปรุงคุณภาพและความปลอดภัย [5] Fuzzy TOPSIS and FMEA ในการลดต้นทุนงานบำรุงรักษาในอุตสาหกรรมการผลิต โดยใช้ข้อมูลกำลังการผลิต ข้อมูลเทคโนโลยีในปัจจุบัน ความยั่งยืน และตัวแปรที่ให้เกิดผลกำไร มาใช้ในการวิเคราะห์นี้ ซึ่งช่วยให้การออกแบบระบบบำรุงรักษาสามารถตรวจสอบและจัดลำดับความสำคัญได้ดีขึ้น [6] โดยมีงานวิจัยพบว่าการพยากรณ์ความเสียหายของเครื่องจักรมีความแม่นยำถึง 95% จากการใช้เครื่องมือ FMEA ร่วมกับ deep learning models ของข้อมูลเดิมและข้อมูลการดำเนินการ [7] การลดงานที่ไม่เกิดมูลค่าของกิจกรรมในงานบำรุงรักษาโดยการใช้ FMEA ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญของกิจกรรมในงานบำรุงรักษาจะช่วยลดความสูญเสียของการทำงานได้ [8] ในการบำรุงรักษาเครื่องมือทางการทหารก็ได้มีการใช้ MP-FMEA ด้วยเช่นกัน [9] และมีนำเสนอวิธีการ PAFMEA ซึ่งออกแบบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในงานบำรุงรักษา โดยวิธีการนี้จะเป็นการประยุกต์ AHP และ FMEA เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจ โดยวิธีดังกล่าวมีการนำไปทดลองใช้ในกรณีศึกษาเครื่องซีลเลอร์และได้ผลวิจัยที่เป็นประโยชน์กับงานบำรุงรักษา [10]

วิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาการขัดข้องและผลกระทบเพื่อพัฒนาระบบการบำรุงรักษาโดยจะแบ่งออกเป็นสามส่วนประกอบย่อย อันได้แก่ ด้านโครงสร้าง ด้านอุปกรณ์การส่งกำลัง อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและส่วนควบคุม และอุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆ การวางระบบการบำรุงรักษานั้นจะพิจารณาจากค่าความเสี่ยงที่ได้คำนวณไว้โดยกำหนดกลยุทธ์ในการวางระบบบำรุงรักษาออกเป็น 3 ส่วน คือค่าความเสี่ยงสูง ค่าความเสี่ยงปานกลาง และค่าความเสี่ยงต่ำ ซึ่งการวางกลยุทธ์จะประกอบไปด้วยการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance : AM), การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance ; PM)

และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance)

2. วิธีการและวิธีการวิจัย

2.1 วิธีการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การบำรุงรักษาวิวัฒนาการแบบทุกคนมีส่วนร่วม

เป็นวิธีการที่ให้นักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ เครื่องจักรของตนเองเพื่อบรรลุเป้าหมายโดยรวมขององค์กร พร้อมกับเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เพื่อการผลิตที่สมบูรณ์แบบ อันได้แก่ ไม่มีการหยุดเครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผน ไม่มีการหยุดเล็กๆน้อย หรือเครื่องจักรทำงานช้าลง ไม่มีของเสียส่งถึงมือลูกค้า และไม่มีอุบัติเหตุที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของพนักงาน

ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure: MTBF) เป็นการวัดสมรรถนะความเชื่อถือได้ (Reliability Performance) เป็นสัดส่วนของเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามปกติกับจำนวนครั้งที่หยุดซ่อม โดยการคำนวณค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (MTBF) = เวลาที่เดินเครื่อง/จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม

ค่าเวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักร (Mean Time To Repair: MTTR) เป็นการวัดค่าสมรรถนะการบำรุงรักษาได้ (Maintainability Performance) ซึ่งสมรรถนะการบำรุงรักษาสมรรถนะการบำรุงรักษาได้วัดจากค่าเฉลี่ยของเวลาในการซ่อมแซมเครื่องจักร เป็นสัดส่วนของเวลาเครื่องหยุดกับจำนวนครั้งที่เครื่องหยุด โดยการคำนวณค่าเวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักร (MTTR) = เวลาเครื่องหยุด/จำนวนครั้งที่เครื่องหยุด

2.2.2 การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

เป็นวิธีการป้องกันที่ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิต เพื่อที่มั่นใจได้ว่าจะสามารถออกแบบและผลิตสินค้าได้ตามความต้องการของลูกค้าโดยการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง และผลกระทบของข้อบกพร่องของการออกแบบและกระบวนการ การปฏิบัติการและการ

วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และ ผลกระทบค่า RPN (Risk Priority Number) หรือดัชนีความเสี่ยง เป็นค่าที่ใช้กำหนดความสำคัญของ Failure Mode ที่เกิดจากผลคูณของตัวเลขสามค่า คือ $RPN = S \times O \times D$ โดยมีค่า S คือ ค่าความ ร้ายแรงของข้อบกพร่อง (Severity) มีค่า O คือค่าของความถี่ในการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence) และค่า D เป็นค่าความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่องก่อนส่งถึงมือลูกค้า (Detection) โดยพิจารณาค่า RPN ที่มีค่าความเสี่ยงสูงเพื่อนำเนินการปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเลือกเครื่องจักร

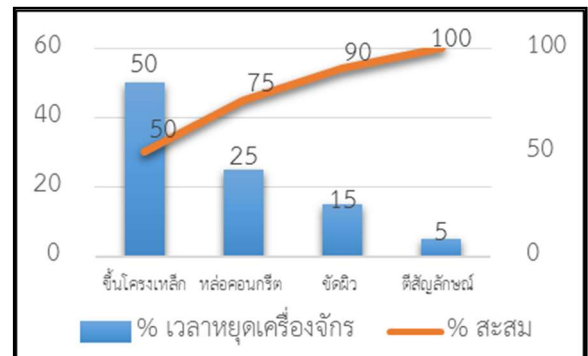
ขั้นตอนการดำเนินงานจะเริ่มจากการพิจารณาเครื่องจักรที่เกิดการเสียหายบ่อยครั้ง ซึ่งส่งผลให้การผลิตหยุดชะงักโดยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วง มิถุนายน - ธันวาคม 2564 โดยมีการพิจารณาดังต่อไปนี้

ในกระบวนการผลิตท่อคอนกรีตอัดแรงต้นจะมีขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้ 1) ขึ้นโครงเหล็ก 2) หล่อคอนกรีต 3) ชัดผิว 4) ตีสัญลักษณ์ 5) ตรวจสอบคุณภาพ จากการศึกษาพบว่าในขั้นตอนที่ 1 และที่ 2 เป็นขั้นตอนที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อใช้ในการผลิตอันได้แก่ เครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติและเครื่องอัดคอนกรีตอัตโนมัติ ซึ่งหากเกิดความเสียหายของเครื่องจักรจะทำให้ไม่สามารถผลิตท่อคอนกรีตอัดแรงต้น โดยอัตราการหยุดชะงักในขั้นตอนขึ้นโครงเหล็ก คิดเป็น 50% ของอัตราการเสียหายของเครื่องจักรทั้งหมด ดังแสดงในแผนภูมิพาเรโต รูปที่ 2 อีกทั้งทางโรงงานยังไม่มีระบบการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติที่เหมาะสม เนื่องมาจากเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง นอกจากพนักงานยังขาดทักษะในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายและวิธีการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี งานวิจัยนี้จึงได้ทำการเลือกเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติสำหรับสร้างระบบบำรุงรักษาในโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง

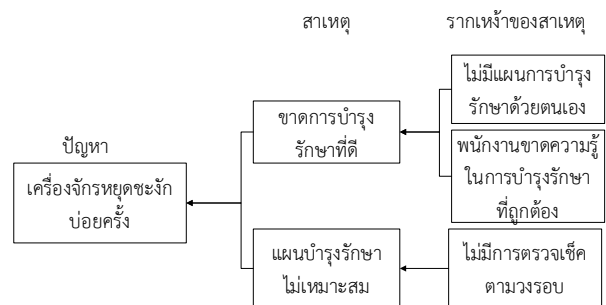
2.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหา

จากการศึกษาสภาพการบำรุงรักษาในปัจจุบันซึ่งพบว่าเกิดปัญหาเครื่องจักรเสียหายอยู่บ่อยครั้ง ทีมงานจึงได้ร่วมวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้เครื่องมือ Why-Why analysis เพื่อวางแผนทางการปรับปรุงแก้ไข โดยพบว่าการเสียหายของ

เครื่องจักรเกิดจากสาเหตุ 1) ไม่มีแผนการบำรุงรักษาด้วยตัวเอง 2) พนักงานไม่ทราบวิธีการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง 3) ไม่มีการตรวจเช็คตามวงจรการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงอัตราการหยุดชะงักของเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอนการผลิต



รูปที่ 3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วย Why-why analysis

โดยในแต่ละสาเหตุของการขัดข้องจะทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบเพื่อให้ได้มาซึ่งระบบการบำรุงรักษา การกำหนดมาตรการป้องกัน การบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance : AM), การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance ; PM) และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance)

2.4 การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

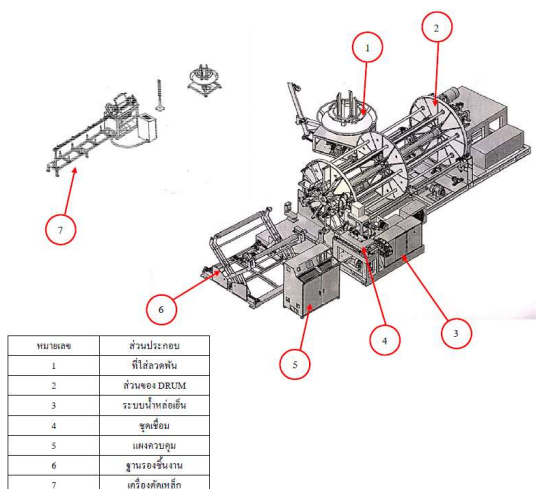
ในการวางแผนเพื่อจัดทำระบบงานบำรุงรักษาจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) โดยจะแยกวิเคราะห์เครื่องจักรออกเป็นระบบย่อย จากนั้นทำการคาดการณ์การเกิดข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยจะพิจารณาใน

เรื่องของความรุนแรงของความเสียหาย โอกาสในการเกิดและความสามารถในการตรวจจับแปลงเป็นค่าความเสี่ยงเพื่อลำดับความสำคัญและวางแผนเพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายของเครื่องจักร โดยขั้นตอนการการวิเคราะห์หาค่าการขัดข้องและผลกระทบมีดังต่อไปนี้

- 1) วิเคราะห์ระบบย่อย และชิ้นส่วนของเครื่องจักร
- 2) รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์รูปแบบการเสียของเครื่องจักรที่อาจเกิดขึ้น ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้นของแต่ละหน่วยย่อยในเครื่องจักร
- 3) สร้างเกณฑ์และให้คะแนนของระดับความรุนแรงของปัญหา (S: Severity)
- 4) สร้างเกณฑ์และให้คะแนนของปัจจัยโอกาสในการเกิดของสาเหตุ (O: Occurrence)
- 5) สร้างเกณฑ์และให้คะแนนของปัจจัยความสามารถในการตรวจจับ (D : Detection)
- 6) ทำการคำนวณค่าความเสี่ยง (RPN : Risk Priority Number) และเรียงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

2.4.1 การวิเคราะห์ระบบย่อยและชิ้นส่วนของเครื่องจักร

เครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติ สามารถแบ่งออกเป็นระบบย่อยได้ทั้งสิ้น 7 ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยแต่ละระบบย่อยจะมีรูปแบบการเกิดปัญหา สาเหตุของการเกิดปัญหาและความรุนแรงของผลกระทบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4 ระบบย่อยของเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติ

2.4.2 การวิเคราะห์รูปแบบการเสียของเครื่องจักร

ขั้นตอนนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลการเสียหายในอดีตรวมถึงการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเสียของเครื่องจักรที่อาจเกิดขึ้น ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้นของแต่ละหน่วยย่อยในเครื่องจักรโดยทีมงานที่เกี่ยวข้อง โดยตัวอย่างของการวิเคราะห์รูปแบบการเสียของเครื่องจักรที่อาจเกิดขึ้นและผลกระทบที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างรูปแบบการเสียของเครื่องจักรในส่วนของระบบเชื่อมและผลกระทบที่เกิดขึ้น

ระบบย่อย	รูปแบบปัญหา	สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
ชุดเชื่อม	ลูกตั้งสีก	หมดอายุการใช้งาน	เชื่อมลวดไม่ติด
	เฟืองบินแตก	ขาดการอัดจารบี	ชุดเฟืองเชื่อมแตกหัก เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้

2.4.3 สร้างเกณฑ์และให้คะแนนของระดับความรุนแรงของปัญหา (S: Severity) โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O: Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับ (D: Detection)

การสร้างเกณฑ์ของระดับความรุนแรงของปัญหา (S: Severity) จะมีการระดมสมองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของการเสียย้อนหลังเพื่อสร้างระดับความรุนแรงและผลกระทบของการเสียที่เกิดขึ้น โดยแบ่งระดับความรุนแรงของปัญหาได้ ในส่วนของการสร้างเกณฑ์ของปัจจัยโอกาสในการเกิดของสาเหตุ (O: Occurrence) จะใช้ข้อมูลความถี่ของการเกิดเหตุในอดีตในแต่ละสาเหตุเพื่อนำมากำหนดระดับของโอกาสในการเกิดสาเหตุของปัญหานั้น ๆ โดยสามารถแบ่งระดับของปัจจัยโอกาสในการเกิดสาเหตุ และการสร้างเกณฑ์ปัจจัยความสามารถในการตรวจจับ (D : Detection) จะอ้างอิงโดยใช้เกณฑ์ให้คะแนนตามระบบการตรวจจับของอุตสาหกรรมยานยนต์ (Automotive Industry Action Group : AIAG) ซึ่งมีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยสามารถแบ่งระดับของปัจจัยความสามารถในการตรวจจับ โดยเกณฑ์ให้คะแนนความเสี่ยงแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์ของระดับความรุนแรงของปัญหา (S: Severity) โอกาสในการของเกิดสาเหตุ (O: Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับ (D: Detection)

ระดับ คะแนน	ระดับความ รุนแรงของ ปัญหา (S: Severity)	โอกาสในการเกิด สาเหตุ (O: Occurrence)	ความสามารถ ในการ ตรวจจับ (D : Detection)
10	เครื่องจักรหยุด มากกว่า 1 สัปดาห์	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/วัน	ไม่มีการควบคุม
9	เครื่องจักรหยุด 5-6 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/ 3วัน	ตรวจสอบแบบ สุ่ม
8	เครื่องจักรหยุด 3-4 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/ 7วัน	ตรวจพบด้วย สายตา
7	เครื่องจักรหยุด 1-2 วัน	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/15วัน	สามารถตรวจ พบได้หลังการ เสียเกิดขึ้น ด้วย สายตาสองครั้ง การสัมผัส หรือ เสียงเท่านั้น
6	เครื่องจักรหยุด มากกว่า12 ชม.	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/เดือน	สามารถตรวจ พบได้หลังการ เสียเกิดขึ้น ด้วย การใช้เครื่องมือ
5	เครื่องจักรหยุด มากกว่า 6 ชม.	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/3เดือน	สามารถตรวจ พบการเสียของ เครื่องจักรได้ ระหว่างการ ปฏิบัติงาน ด้วย การใช้เครื่องมือ
4	เครื่องจักรหยุด มากกว่า 1 ชม.	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/6เดือน	สามารถตรวจ พบการเสียของ เครื่องจักรได้ ก่อนการเสีย ด้วย การใช้ เครื่องมือ

ตารางที่ 2 (ต่อ) เกณฑ์ของระดับความรุนแรงของปัญหา (S: Severity) โอกาสในการของเกิดสาเหตุ (O: Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับ (D: Detection)

ระดับ คะแนน	ระดับความ รุนแรงของ ปัญหา (S: Severity)	โอกาสในการเกิด สาเหตุ (O: Occurrence)	ความสามารถ ในการ ตรวจจับ (D : Detection)
3	เครื่องจักร หยุด มากกว่า30 นาที	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/1ปี	มีระบบอัตโนมัติ ในการตรวจจับ การเสียระหว่าง ดำเนินการผลิต
2	เครื่องจักร หยุด มากกว่า 5 นาที	เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/3ปี	มีระบบอัตโนมัติ ในการตรวจจับ และหยุดการเสีย ระหว่าง ดำเนินการผลิต
1	ไม่กระทบ ต่อการผลิต	แทบจะไม่เคย เกิดขึ้น	มีระบบอัตโนมัติ ในการแจ้งเตือน ก่อนเกิดการเสีย

2.4.4 การคำนวณค่าความเสี่ยง (RPN : Risk Priority Number) และเรียงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง

การคำนวณค่าความเสี่ยงสามารถทำได้โดย $RPN = \text{ระดับความรุนแรงของปัญหา} \times \text{ระดับโอกาสในการเกิดสาเหตุ} \times \text{ระดับความสามารถในการตรวจจับ}$ โดยระดับค่าความเสี่ยงสูงสุดจะอยู่ที่ 1,000 คะแนน และระดับค่าความเสี่ยงต่ำสุดจะอยู่ที่ 1 คะแนน

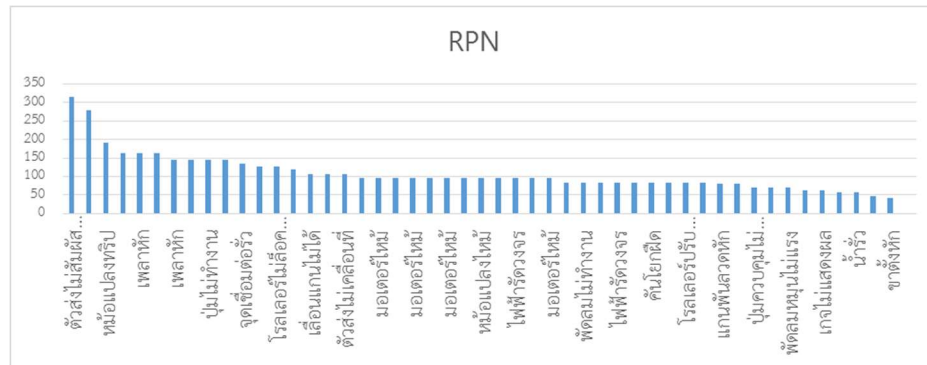
ตัวอย่างการคำนวณค่าความเสี่ยง เช่น ปัญหาตัวส่งไม่สัมผัสหน้าเชื่อม ส่งผลให้เครื่องจักรหยุด 5-6 วัน ระดับความรุนแรงของปัญหา (S) จึงอยู่ที่ระดับ 9 คะแนน เกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้ง/3เดือน (O) จึงอยู่ที่ระดับ 5 คะแนน และปัจจุบันสามารถตรวจพบได้หลังการเสียเกิดขึ้นด้วยสายตา (D) จึงอยู่ที่ระดับ 7 คะแนน ดังนั้น $RPN = 9 \times 5 \times 7 = 315$ คะแนน

การวิเคราะห์รูปแบบการเสียของเครื่องจักร โดยเครื่องจักรแบ่งออกเป็น 7 ระบบ โดยมีส่วนประกอบย่อย 27 ส่วน โดยจากการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสิ้น 49 สาเหตุ โดยสามารถหาค่าความเสี่ยงของแต่ละสาเหตุเรียงตามลำดับความสำคัญได้ดังรูปที่ 5

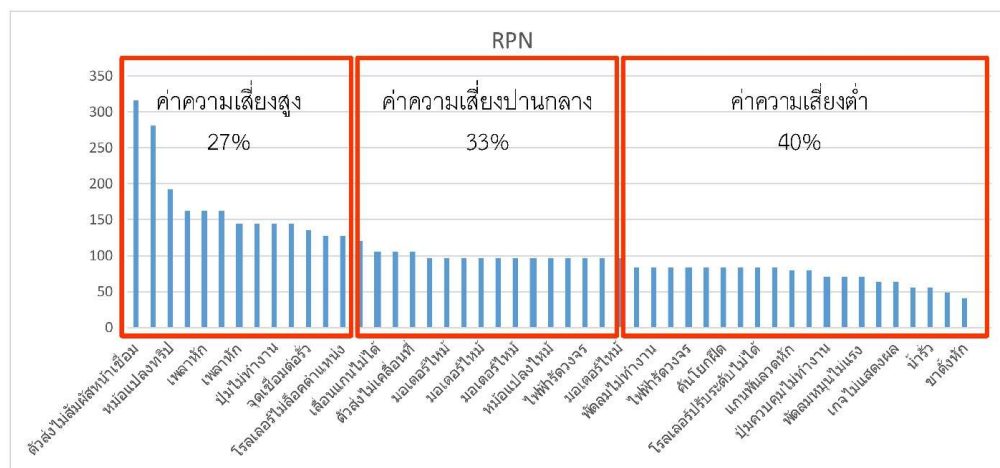
2.5 การวางระบบบำรุงรักษา

การวางระบบการบำรุงรักษานั้นจะพิจารณาจากค่าความเสี่ยงที่ได้คำนวณไว้โดยกำหนดกลยุทธ์ในการวางระบบ

บำรุงรักษาออกเป็น 3 ส่วน โดยทีมงานได้ร่วมระดมสมองและใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อพิจารณาและกำหนดช่วงของระดับความเข้มงวดของแผนบำรุงรักษาดัง รูปที่ 6



รูปที่ 5 การเรียงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง



รูปที่ 6 การกำหนดกลยุทธ์ในการวางระบบบำรุงรักษาด้วยค่าความเสี่ยง

โดยแต่ละระดับความเสี่ยงจะมีกลยุทธ์ในการวางระบบบำรุงรักษา ดังตารางที่ 3 คือ

1) ค่าความเสี่ยงสูง มีคะแนนค่าความเสี่ยงอยู่ที่ 128 – 315 คะแนน มีจำนวน 13 รูปแบบของสาเหตุของปัญหา คิดเป็น 27 % ของรูปแบบของสาเหตุของปัญหาทั้งหมด จะมีการวางแผนการบำรุงรักษาแบบเข้มงวด ประกอบไปด้วย การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

2) ค่าความเสี่ยงปานกลาง มีคะแนนค่าความเสี่ยงอยู่ที่ 96 – 127 คะแนน มีจำนวน 16 รูปแบบของสาเหตุของ

ปัญหา คิดเป็น 33 % ของรูปแบบของสาเหตุของปัญหาทั้งหมด จะมีการวางแผนการบำรุงรักษาแบบตามแผน ประกอบไปด้วย การบำรุงรักษาเชิงป้องกันและการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

3) ค่าความเสี่ยงต่ำ มีคะแนนค่าความเสี่ยงอยู่ที่ 1 – 95 คะแนน มีจำนวนทั้งสิ้น 20 รูปแบบของสาเหตุของปัญหา คิดเป็น 40 % ของรูปแบบของสาเหตุของปัญหาทั้งหมด จะมีการวางแผนการบำรุงรักษาแบบเฝ้าระวัง เป็นการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

ตารางที่ 3 การวางกลยุทธ์ในการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง

ระดับความเสี่ยง	กลยุทธ์ในการบำรุงรักษา		
	บำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง	บำรุงรักษาเชิงป้องกัน	บำรุงรักษาด้วยตนเอง
สูง	☑	☑	☑
กลาง	-	☑	☑
ต่ำ	-	-	☑

2.5.1 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขจะดำเนินการเฉพาะในส่วนของกลุ่มค่าความเสี่ยงสูง โดยจะทำการแก้ไขจุดที่เป็นสาเหตุของปัญหาของเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพในการผลิตให้ดีขึ้น และยังช่วยลดความเสี่ยงของการเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพอันเป็นต้นตอของความเสียหาย

ตัวอย่างการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงในส่วนของชิ้นส่วนชุดเชื่อมที่เกิดการสึกหรออยู่บ่อยครั้ง ส่งผลให้การเชื่อมไม่ติดสมบูรณ์ต้องมีการหยุดเครื่องและทำการเปลี่ยนชุดเชื่อมใหม่ซึ่งใช้เวลานาน จากการวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่าชุดเชื่อมผลิตจากวัสดุทองเหลืองทำให้เมื่อเกิดการสัมผัสกับแผ่นเชื่อมทำให้เกิดการสึกหรอได้ง่าย จึงได้วางแผนบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงในส่วนของชิ้นส่วนโดยเปลี่ยนจากวัสดุ

ทองเหลืองเป็นทองแดง ผลการทดลองพบว่าชุดเชื่อมอายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอีกทั้งทำให้เกิดจากเชื่อมที่ติดมากขึ้นอีกด้วย

2.5.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะดำเนินการเฉพาะในส่วนของกลุ่มค่าความเสี่ยงสูงและความเสี่ยงปานกลาง โดยดำเนินการวางแผนการตรวจเช็ค ซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนอะไหล่ตามกำหนดเวลาก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดชำรุดเสียหาย โดยฝ่ายบำรุงรักษาจะเข้าดำเนินการตามวงรอบที่กำหนด ตัวอย่างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยจะแสดงภาพจุดที่ต้องดำเนินการและวิธีปฏิบัติในแผนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 8

2.5.3 การบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance)

การบำรุงรักษาด้วยตนเองจะดำเนินการเฉพาะในส่วนของกลุ่มค่าความเสี่ยงสูง ปานกลางและต่ำ โดยพนักงานหน้าเครื่องจะทำการตรวจสอบประจำวัน เช่น ทำความสะอาดหล่อลื่น ชั่งกวดจุดยึดต่างๆ และสังเกตความผิดปกติของเครื่อง โดยจะมีการจัดทำตารางตรวจเช็ค ดังรูปที่ 9 และบทเรียนหนึ่งประเด็น (One Point Lesson : OPL) ดังตัวอย่างในรูปที่ 10 เพื่อให้พนักงานสามารถตรวจสอบและดำเนินการได้อย่างถูกต้องและเป็นมาตรฐานเดียวกัน



ประเภท	รายการ	วิธีปฏิบัติ	อ้างอิง	มาตรฐาน	หน่วยวัด	เดือน											
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
หล่อลื่น	1.หล่อลื่น face plate	อัดจาระบี		จาระบีเริ่มแห้ง หรือล้นออกมาด้านนอก	✓/✗												
ทางกล	2.รักษาแรงดัน กันการกระแทกแรงเกินไป	เติมน้ำมันไฮดรอลิก		ระดับแรงดันไฮดรอลิกมากกว่า 50%	kPa												
ทางกล	3.เปลี่ยนหัวเชื่อมเมื่อร่องสึกเกินไป	หมุนเปลี่ยนร่องหรือใส่หัวเชื่อมใหม่ ทดแทนเมื่อเกิดการสึกหรอทั้งสามร่อง		ร่องร่องสึกเกินไปจนไม่สามารถอาร์คเชื่อมได้	✓/✗												
ทางกล	4.เปลี่ยนหัวเชื่อม	แทนที่หัวเชื่อมเก่าด้วยหัวเชื่อมใหม่		เกิดการสึกหรอ	✓/✗												

รูปที่ 8 ตัวอย่างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ประเภท	รายการ	วิธีปฏิบัติ	อ้างอิง	มาตรฐาน	หน่วยวัด	วันที่														
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ทางกล	การทำความสะอาดหม้อแปลง	เป่าฝุ่นหม้อแปลง	M101	หม้อแปลงไม่มีฝุ่นเกาะ	(✓/✗)															
ทางกล	การทำความสะอาดบริเวณหัวลูกคัง	เป่าฝุ่นหัวลูกคัง	M102	หัวลูกคังไม่มีฝุ่นและเศษเหล็กที่เกิดจากการเชื่อมเกาะอยู่	(✓/✗)															
ทางกล	การตรวจสอบแท่นทองแดง	เปลี่ยนแท่นทองแดงที่สึกหรอ	M201	แท่นทองแดงไม่ทะลุ	(✓/✗)															
ทางกล	การตรวจสอบหัวลูกคังทองเหลือง	เปลี่ยนหัวลูกคังทองเหลืองที่สึกหรอ	M202	หัวลูกคังมีปริมาณทองเหลืองที่เพียงพอต่อการใช้งาน	(✓/✗)															

รูปที่ 9 แผนการตรวจเช็ครายวัน

การแบ่งปันความรู้ด้วยบทเรียนหนึ่งประเด็น				
หัวข้อเรื่อง	การทำความสะอาดบริเวณหัวลูกคัง	เลขที่เอกสารวันที่จัดทำ	M102	
ประเภท	☐ ข้อมูลทั่วไป ☐ การใช้งาน ☒ การบำรุงรักษา	ผู้จัดทำ	หัวหน้ากลุ่ม	ผู้อนุมัติ

1. เปิดเครื่องเป่าลมและลากสายเป่าลมไปที่ Front Drum



2. เป่าฝุ่นและเศษของเหลือง/ทองแดงที่หัวลูกคัง



รูปที่ 10 บทเรียนหนึ่งประเด็นเรื่องการทำความสะอาดบริเวณหัวลูกคัง

3. ผลการดำเนินงาน

ผลจากการดำเนินงานระบบบำรุงรักษาโดยแบ่งกลยุทธ์การวางแผนบำรุงรักษาตามค่าความเสี่ยงเพื่อใช้ในการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) จำนวนครั้งในการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนชุดเชื่อม จากเดิม 4 ครั้ง/ปี เมื่อดำเนินการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข ปรับปรุงโดยการเปลี่ยนเป็นชุดเชื่อมวัสดุทองแดง จำนวนครั้งในการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนชุดเชื่อม ลดลงเหลือ 1 ครั้ง/ปี หรือลดลงคิดเป็น 75%

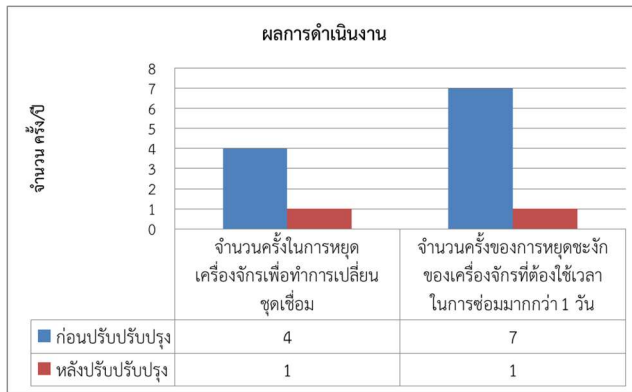
2) จำนวนครั้งของการหยุดชะงักของเครื่องจักรที่ต้องใช้เวลาในการซ่อมมากกว่า 1 วันลดลง จาก 7 ครั้ง/ปี เหลือ 1 ครั้งต่อปี หรือลดลงคิดเป็น 85% ดังแสดงในรูปที่ 11

3) ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure: MTBF) เพิ่มขึ้นจากเดิม 80 ชั่วโมง/ครั้ง เป็น 102 ชั่วโมง/ครั้ง หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็น 27% ดังแสดงในรูปที่ 12

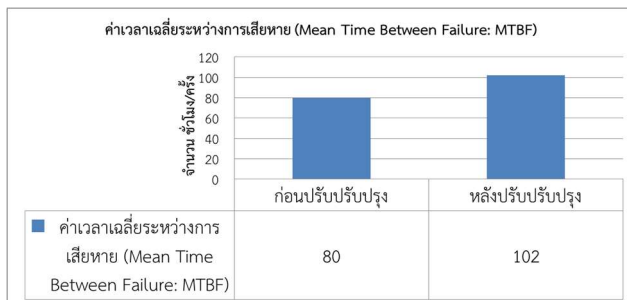
โดยการคำนวณค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (MTBF)

$$MTBF = \text{เวลาที่เดินเครื่อง} / \text{จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม}$$

4) ค่าเวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักร (Mean Time To Repair: MTTR) ลดลงจาก 58 นาที/ครั้ง เหลือ 32 นาที/ครั้ง หรือลดลงคิดเป็น 45% ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 11 ผลจากการดำเนินงานระบบบำรุงรักษาเพื่อลดการหยุดชะงักของเครื่องจักร



รูปที่ 12 ผลจากการดำเนินงานของค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure: MTBF) ก่อนและปรับปรุง



รูปที่ 13 ค่าเวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักร (Mean Time To Repair: MTTR) ก่อนและปรับปรุง

นอกจากนี้ยังพบว่าพนักงานมีส่วนร่วมในการบำรุงรักษาและมีทักษะในการแก้ไขปัญหาได้ดียิ่งขึ้นจากการประเมินโดยหัวหน้างาน ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องจักรลดลงกว่าเดิม และมีแผนที่จะดำเนินงานในส่วน of เครื่องจักรอื่นๆต่อไป

4. อภิปรายผลและสรุป

โรงงานตัวอย่างที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นโรงงานผลิตท่ออัดแรงดัน โดยมีการใช้เครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติเพื่อใช้ในระบบการผลิตและมีแผนการนำเข้าอย่างต่อเนื่องเนื่องจากเครื่องเชื่อมโครงเหล็กอัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง อีกทั้งพนักงานยังขาดทักษะในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายและวิธีการบำรุงรักษาอย่างถูกวิธี งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคการวิเคราะห์หาการขัดข้องและผลกระทบ เพื่อพัฒนาระบบการบำรุงรักษา การวางระบบการบำรุงรักษานั้นจะพิจารณาจากค่าความเสี่ยงที่ได้คำนวณไว้โดยกำหนดกลยุทธ์ในการวางระบบบำรุงรักษาออกเป็น 3 ส่วน คือค่าความเสี่ยงสูง ค่าความเสี่ยงปานกลางและค่าความเสี่ยงต่ำ ซึ่งการวางกลยุทธ์จะประกอบไปด้วยการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance : AM), การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance ; PM) และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) โดยผลการดำเนินงานพบว่า 1) จำนวนครั้งในการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการเปลี่ยนชุดเชื่อม ลดลงคิดเป็น 75% 2) จำนวนครั้งของการหยุดชะงักของเครื่องจักรที่ต้องใช้เวลาในการซ่อมมากกว่า 1 วันลดลงคิดเป็น 85% 3) ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure: MTBF) เพิ่มขึ้น คิดเป็น 27% และ 4) ค่าเวลาเฉลี่ยของการซ่อมเครื่องจักร (Mean Time To Repair: MTTR) ลดลงคิดเป็น 45% โดยเทคนิควิจัยที่นำเสนอนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆที่คล้ายคลึงกันได้อีกด้วย

จากการวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยดำเนินการกำหนดมาตรการป้องกันแก้ไขโดยลดระดับโอกาสในการเกิดปัญหาให้น้อยลงซึ่งหากมีการนำค่าระดับความรุนแรงของปัญหามาพิจารณาช่วยกัน จะช่วยให้ลดผลกระทบความรุนแรงของปัญหาในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น นอกการการตัดสินใจเลือกกลยุทธ์ในการวางระบบบำรุงรักษานั้นควรพิจารณาถึงลักษณะการทำงานและความเหมาะสมของแต่ละโรงงานร่วมด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณโรงงานตัวอย่างที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งโครงการวิจัยนี้ได้รับ
ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี
2562 สัญญาเลขที่ 542/2562

เอกสารอ้างอิง

- [1] Enjavimadar M, Rastegar M. Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems. *Electric Power Systems Research*. 2022; 203:107647.
- [2] Baklouti A, Nguyen N, Mhenni F, Choley JY, Mlika A. Improved safety analysis integration in a systems engineering approach. *Applied Sciences*. 2019;9(6).
- [3] Andrade JM, Leite A, Canciglieri M, Szejka A, Loures RE, Junior CO. A multi-criteria decision tool for FMEA in the context of product development and industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2022;35(1):36-49.
- [4] Lo H-W, Liou JJH. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment. *Applied Soft Computing*. 2018;73: 684-696.
- [5] Nedeliaková E, Hranický MP, Valla M. Risk identification methodology regarding the safety and quality of railway services. *Production Engineering Archives*. 2022;28(1):21-29.
- [6] Selim H, Yunusoglu MG, Balaman SY. A Dynamic maintenance planning framework based on fuzzy TOPSIS and FMEA: application in an international food company. *Quality and Reliability Engineering International*. 2016; 32: 795 - 804.
- [7] Filz MA, Langner JEB, Herrmann C, Thiede S. Data-driven failure mode and effect analysis (FMEA) to enhance maintenance planning. *Computers in Industry*. 2021; 129:103451.
- [8] Sutrisno A, Gunawan I, Tangkuman S. Modified failure mode and effect analysis (FMEA) model for accessing the risk of maintenance waste. *Procedia Manufacturing*. 2015; 4:23-9.
- [9] Li Y, Kang R, Ma L, Li L, editors. Application and improvement study on FMEA in the process of military equipment maintenance. *The Proceedings of 2011 9th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety*; 2011 12-15 June 2011.
- [10] Filho BJC, Piechnicki F, Loures EFR, Santos EAP. Process-aware FMEA framework for failure analysis in maintenance. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2017;28(6):822-48.