http://journal.rmutp.ac.th/

การปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ของระบบการกรองน้ำของโรงงานผลิตน้ำขนาดใหญ่ โดยใช้การบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม : กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำประปาแห่งหนึ่ง

ศิรวิทย์ ปุสวิโร* ศุภรัชชัย วรรัตน์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
110/1-4 ถนนประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

รับบทความ 30 ตุลาคม 2563 แก้ไขบทความ 18 สิงหาคม 2564 ตอบรับบทความ 16 กันยายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ ของโรงงานผลิตน้ำกรณีศึกษา ซึ่งมีกระบวนการผลิตน้ำแบ่งเป็น 4 สายการผลิตน้ำ โดยระบบการกรองน้ำมีหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ เป็นเครื่องจักรหลัก ที่เกิดปัญหาความเสียหายบ่อยครั้ง ทำให้ระบบการกรองน้ำเป็นกระบวนการคอขวดของกระบวนการผลิตน้ำ โดยการศึกษาวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการนำเสนอสมการและขั้นตอนในการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ โดยใช้ข้อมูลจากระบบการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ มาวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลทางด้านเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย, เวลาเฉลี่ยในการซ่อม และข้อมูลการผลิตน้ำ ขั้นตอนที่สอง เป็นการปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ โดยการวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นของหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ และใช้หลักการของการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วมในการปรับปรุง ผลการศึกษาวิจัย พบว่า ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 0.11, 0.68, 0.44 และ 2.44 ตามลำดับของแต่ละสายการผลิตน้ำ กำลังการผลิตน้ำที่เพิ่มขึ้น คิดเป็น 328,500 ลูกบาศก์เมตรต่อปี, 1,168,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี, 1,022,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 3,832,500 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับของแต่ละสายการผลิตน้ำ ในงานวิจัยนี้ เป็นการใช้เสาหลักการปรับปรุงเฉพาะจุด โดยการเพิ่มเติมระบบป้องกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องจักร เนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่พบว่าระบบป้องกันเกิดการทำงานผิดพลาด ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุดในสายการผลิตที่ 4 และปัจจัยความสำเร็จต้องอาศัยทรัพยากรบุคคลของทุกฝ่ายในการร่วมมือกัน ระดมสมอง วิเคราะห์ ถึงสาเหตุของความสูญเสียต่างๆ เพื่อกำจัดความสูญเสีย และใช้องค์ความรู้เชิงวิศวกรรมในการปรับปรุง

คำสำคัญ : ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร; ระบบการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์; เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย; เวลาเฉลี่ยในการซ่อม; การบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม

**** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +66 8451 5356, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: sirawit78956@gmail.com***

http://journal.rmutp.ac.th/

The Overall Equipment Effectiveness Improvement of the Water Filtration Systems in the Large Water Treatment Plant by Total Productive Maintenance Evaluation: A Case Study of the Water Treatment Plant

Sirawit Pussawiro* Suparatchai Vorarat

College of Innovation Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University
110/1-4 Prachachuen Road, Thung Song Hong, Lak Si, Bangkok 10210

Received 30 October 2020; Revised 18 August 2021; Accepted 16 September 2021

Abstract

This research objective is to improve the overall equipment effectiveness of the water filtration systems in the case study of the Water Treatment Plant, which divides the water production into 4 production lines. The water filtration system has an electric actuator and gear, is the main machine in the water filtration system. An electric actuator and gear have more machine breakdowns. That makes the water filtration system is the bottleneck of the water production process. This research study is divided into two steps: the first step is the presentation of the equation and the steps to measure the Overall Equipment Effectiveness of the water filtration system. The equation used data from the computer maintenance management system to analysis on mean time between failure data (MTBF), mean time to repair data (MTTR) and water production process data. The results can be improved the overall equipment effectiveness of the water filtration system increased to 0.11%, 0.68%, 0.44% and 2.44%, respectively in each production process line. And increased Quantity of Filtration Water increased to 328,500 m^3/year, 1,168,000 m^3/year, 1,022,000 m^3/year and 3,832,500 m^3/year, respectively in each production process line. In this research used the pillar of focus improvement. By adding a protection system to prevent machine breakdown, because of the most of the problems are found that the protection system malfunctions. This is the most problem in the 4^{th} And then used engineering knowledge to improve water production and the success factor are required a human resources of all parties to cooperate, brainstorm and analyze the causes of various losses in order to eliminate them.

Keywords : Overall Equipment Effectiveness; Computer Maintenance Management System; Mean Time Between Failure; Mean Time To Repair; Total Productive Maintenance

** Corresponding Author. Tel.: +66 8451 5356, E-mail Address: sirawit78956@gmail.com*

1. บทนำ

โรงงานผลิตน้ำกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตน้ำขนาดใหญ่ ที่มีกำลังการผลิตน้ำประปาสูงสุดวันละ 1,600,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีหน้าที่ในการจัดหาและผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพให้กับภาคอุตสาหกรรมและประชาชน ตามมาตรฐานองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) แต่ในปัจจุบันการผลิตน้ำประปา พบปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพ ของกระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากกระบวนการผลิตมีความหลากหลายของยี่ห้อของเครื่องจักร ซึ่งระบบการกรองน้ำ เป็นกระบวนการหลักหนึ่งในกระบวนการผลิตน้ำประปา ที่เกิดปัญหาความเสียหายของเครื่องจักรบ่อยครั้ง โดยเครื่องจักรหลักที่พบปัญหาความเสียหายที่ใช้ในระบบการกรองน้ำ คือ หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ โรงงานผลิตน้ำกรณีศึกษามุ่งเน้นที่จะปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ ซึ่งในการปรับปรุงจำเป็นต้องทราบถึงความสูญเสียของเครื่องจักร ที่ส่งผลทำให้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรลดลง ซึ่งนิยามความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ (Six Big Losses) ของเครื่องจักร ได้รับการยอมรับและนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อหาสาเหตุความสูญเสียและกำจัดความสูญเสียนั้น ๆ คำจำกัดความสูญเสีย 6 ประการ [1] ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

1. การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร (Failure/Breakdown Losses) เกิดจากเครื่องจักรเสียหาย โดยไม่ได้วางแผนล่วงหน้า

2. การสูญเสียเวลาการตั้งค่า หรือการปรับแต่ง (Set-up/Adjustment Time Losses) เกิดจากการหยุดทำงานเนื่องจากการผลิตของหนึ่งรายการสิ้นสุดลง และเครื่องจักรถูกปรับตั้งค่าเพื่อตอบสนองความต้องการการผลิตของรายการอื่น ๆ

3. การสูญเสียเวลาที่ไม่ทำงานและการสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อย (Idling and Minor Stop Losses) เกิดจากการผลิตถูกขัดจังหวะ จากสาเหตุของความผิดปกติชั่วคราว หรือเมื่อเครื่องหยุดทำงานเล็กน้อย

4. การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็ว (Reduced Speed Losses) เกิดจากความเร็วที่ใช้ในการผลิตจริง ต่ำกว่าความเร็วมาตรฐาน /ความเร็วที่กำหนด

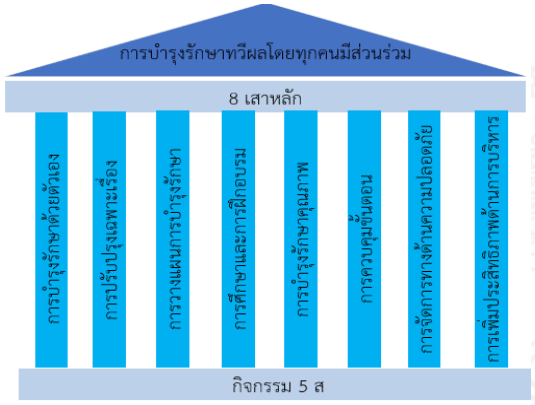
5. การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิต (Startup Losses) เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นผลิต ในช่วงเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ใหม่, ช่วงเริ่มต้นผลิตหลังจากหยุดกะ, ช่วงเริ่มต้นผลิตหลังจากหยุดซ่อมแซม

6. การสูญเสียเวลาจากการผลิตของเสีย และการแก้ไข (Defects and Rework Losses) เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ไม่สามารถแก้ไข / ซ่อมแซมได้ หรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แต่สามารถแก้ไข / ปรับแต่งเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามมาตรฐานได้ แต่ต้องเสียเวลาในการแก้ไข / ปรับแต่ง

การบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม มีต้นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น เป็นวิธีการปรับปรุงเครื่องจักรตลอดไปจนถึงการจัดการทรัพยากรในกระบวนการผลิตให้เกิดความน่าเชื่อถือ มีประสิทธิผลสูงสุด โดยการมีส่วนร่วมของพนักงานในบริษัท การประยุกต์ใช้งานการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม ปัจจัยที่สำคัญที่นำไปสู่ความสำเร็จนั้นต้องอาศัยความร่วมมือของพนักงานและการสนับสนุนของผู้บริหารระดับสูง [2] ซึ่งการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม ประกอบด้วยกลยุทธ์แปดเสาหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1 กลยุทธ์แปดเสาหลัก ได้รับการยอมรับในการนำมาใช้จัดการปัญหาที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรและอุปกรณ์ สามารถลดอัตราความเสียหาย, เวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, เวลาซ่อม และการสูญเสียน้ำ ในกระบวนการผลิตน้ำของโรงงานผลิตน้ำ [1]

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มาใช้งานกับกระบวนการผลิต และการบำรุงรักษาเครื่องจักรมากขึ้น เพื่อเก็บข้อมูลด้านต่าง ๆ และนำ

ข้อมูลนั้น ๆ มาวิเคราะห์ เพื่อใช้หาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ระบบการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับด้านงานบำรุงรักษาเครื่องจักร และช่วยสำหรับการตัดสินใจในการบำรุงรักษา โดยอาศัยข้อมูล เพื่อค้นหาความเสียหายที่เกิดขึ้นของเครื่องจักร และนำไปปรับปรุงต่อไป [3] ซึ่งจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ ที่เพียงพอ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงและตัดสินใจ [4]



รูปที่ 1 กลยุทธ์แปดเสาหลักของการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม [2]

การวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง และมีการประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ อุตสาหกรรม [5]-[8] ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ประกอบด้วย 3 ตัวแปร คือ 1.ความพร้อมในการใช้งาน, 2.อัตราสมรรถนะ และ 3.อัตราคุณภาพ [5]-[6] ดังสมการที่ (1) - (4)

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1)$$

โดยที่

OEE คือ ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (%)

A คือ ความพร้อมในการใช้งาน (%)

P คือ อัตราสมรรถนะ (%)

Q คือ อัตราคุณภาพ (%)

$$A = \frac{\text{เวลารับภาระงาน} - \text{เวลาสูญเปล่าเครื่องจักร}}{\text{เวลารับภาระงาน}} \quad (2)$$

$$P = \frac{\text{รอบเวลาทางทฤษฎี} \times \text{จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้}}{\text{เวลาเดินเครื่อง}} \quad (3)$$

$$Q = \frac{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้} - \text{ปริมาณของเสีย}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้}} \quad (4)$$

นอกจากนี้ ความพร้อมในการใช้งาน สามารถคำนวณจากเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย และเวลาเฉลี่ยในการซ่อม [5] ดังสมการที่ (5)

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} x100 \quad (5)$$

โดยที่

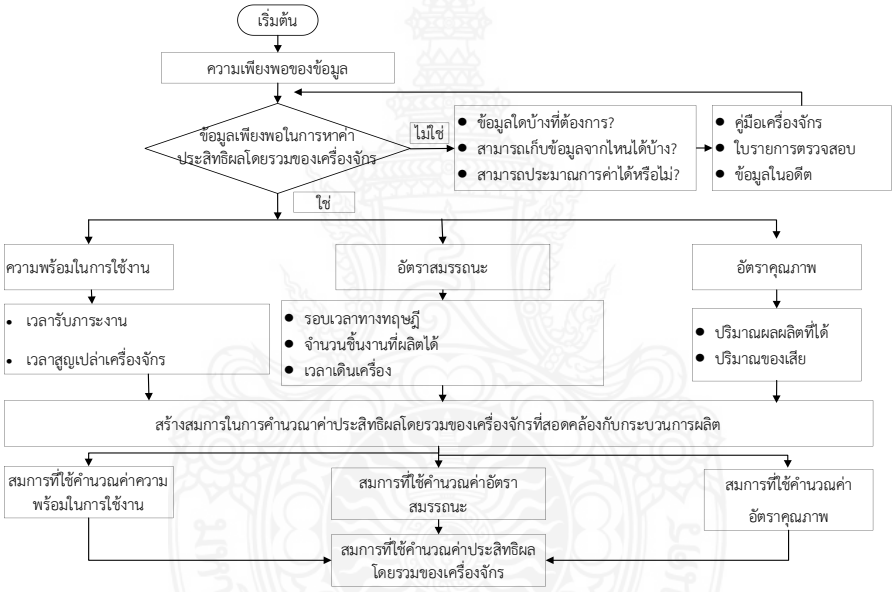
$MTBF$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายของเครื่องจักรแต่ละครั้ง (นาที)

$MTTR$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องจักรเสียหายจนใช้งานได้ในแต่ละครั้ง (นาที)

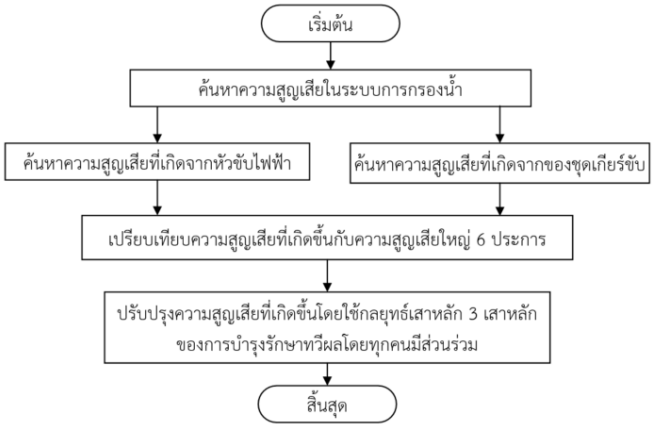
ในแต่ละภาคอุตสาหกรรม ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร จะมีค่าแตกต่างกันของแต่ละอุตสาหกรรม [1], [2], [5]-[9] ขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิตของแต่ละอุตสาหกรรม แต่พบว่า การวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร การคำนวณของตัวแปร ด้านอัตราสมรรถนะ และด้านอัตราคุณภาพ ยังไม่สะท้อนกับการผลิตจริง [9] ดังนั้นการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ต้องอาศัยข้อมูลที่สะท้อนความเป็นจริง จากการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ และการแยกแยะความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง เพื่อใช้ในการปรับปรุงของกระบวนการผลิต

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยเป็นการศึกษาในระบบการกรองน้ำ เนื่องจากเกิดปัญหาความเสียหายบ่อยครั้ง ทำให้ระบบการกรองน้ำเป็นกระบวนการคอขวดของกระบวนการผลิตน้ำ โดยระบบการกรองน้ำมีหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ เป็นเครื่องจักรหลัก การศึกษาวิจัยแบ่งเป็นขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการนำเสนอสมการและขั้นตอนในการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ โดยใช้ข้อมูลจากระบบการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ มาวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลทางด้านระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายของเครื่องจักรแต่ละครั้ง, ระยะเวลาเฉลี่ยตั้งแต่เครื่องจักรเสียหายจนใช้งานได้ในแต่ละครั้ง และข้อมูลการผลิตน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 ขั้นตอนที่สอง เป็นการปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในระบบการกรองน้ำ โดยการวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นของหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ และใช้หลักการของการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม มาใช้ในการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 3



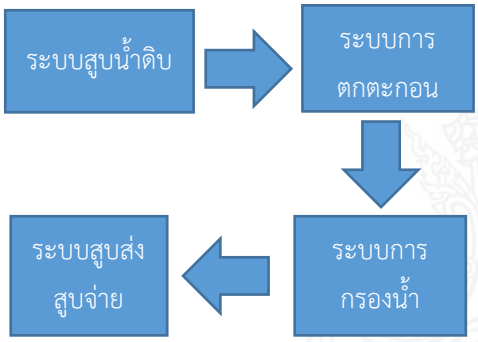
รูปที่ 2 กรอบแนวคิดการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร



รูปที่ 3 กรอบแนวคิดของการวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้น และการปรับปรุง

2.1 ขอบเขตในกรณีศึกษา

โรงงานผลิตน้ำกรณีศึกษา มีกระบวนการผลิตน้ำแบ่งเป็น 4 สายการผลิตน้ำ แต่ละสายการผลิตประกอบด้วย 4 ระบบหลัก คือ 1. ระบบสูบน้ำดิบ, 2. ระบบการตกตะกอน, 3. ระบบการกรองน้ำ, 4. ระบบสูบส่ง สูบจ่าย ดังแสดงในรูปที่ 4 ระบบการกรองน้ำเกิดปัญหาความเสียหายของเครื่องจักรบ่อยครั้ง ทำให้เป็นกระบวนการคอขวดของกระบวนการผลิตน้ำ โดยมีหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ เป็นเครื่องจักรหลักองค์ประกอบของบ่อกรองน้ำ และกำลังการผลิต ในแต่ละสายการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 4 กระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำกรณีศึกษา ของแต่ละสายการผลิต

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของบ่อกรองน้ำ และกำลังการผลิต ในแต่ละสายการผลิต

สายการผลิต	จำนวนบ่อกรอง (บ่อ)/ยี่ห้อเครื่องจักร	จำนวนหัวขับไฟฟ้า, ชุดเกียร์ขับ (ชุด)	กำลังการผลิตสูงสุด (ลบ.ม/วัน)
สายการผลิตน้ำที่ 1	8/(A)	40	400,000
สายการผลิตน้ำที่ 2	8/(B)	40	400,000
สายการผลิตน้ำที่ 3	14/(A)	70	400,000
สายการผลิตน้ำที่ 4	14//(C)	70	400,000

ในแต่ละบ่อกรองน้ำ ประกอบด้วยหัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับ 5 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 5 และหน้าที่การทำงานของหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ ดังแสดงในตารางที่ 2

รูปที่ 5 องค์ประกอบของหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับของแต่ละบ่อกรองน้ำ [10]

ตารางที่ 2 หน้าที่การทำงานของหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ

ชนิดหัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับ	หน้าที่
หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับของวาล์วน้ำเข้า	ใช้เป็นทางเข้าของน้ำที่ผ่านระบบตกตะกอนแล้ว เข้าสู่แต่ละบ่อกรองน้ำ
หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับของวาล์วกรองน้ำ	ใช้เป็นทางออกของน้ำที่ผ่านการกรองแล้วของแต่ละบ่อกรองน้ำ
หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับของวาล์วน้ำล้าง	ใช้เป็นทางเข้าของน้ำเพื่อล้างบ่อกรองน้ำ โดยใช้น้ำเป็นตัวล้างของแต่ละบ่อกรองน้ำ
หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับของวาล์วน้ำทิ้ง	เป็นทางออกของน้ำที่ล้างบ่อกรองน้ำ ของแต่ละบ่อกรองน้ำ
หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับของวาล์วลม	ใช้เป็นทางเข้าของลม เพื่อใช้ในการล้างบ่อกรอง โดยใช้ลมเป็นตัวล้าง ของแต่ละบ่อกรองน้ำ

2.2 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

จากสมการที่ (2) – (4) ในการคำนวณหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบกรองน้ำ สามารถสร้างตัวแปรของสมการ เพื่อคำนวณหาค่าความพร้อมในการใช้งาน, อัตราสมรรถนะ, อัตราคุณภาพ และแหล่งของข้อมูลที่ใช้ 2 แหล่งข้อมูล คือ 1. ระบบซ่อมบำรุง เป็นข้อมูลด้านการบำรุงรักษาจากระบบการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ และ 2. ระบบผลิต เป็นข้อมูลด้านการผลิตต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมการเพื่อคำนวณของค่าความพร้อมในการใช้งาน, อัตราสมรรถนะ, อัตราคุณภาพ และแหล่งของข้อมูล

ตัวแปรจากสมการ(2)-(4)	นิยามตัวแปรในการคำนวณ	ตัวแปรสมการ	แหล่งข้อมูล
	ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Rate: AR)		
เวลาสูญเปล่าเครื่องจักร	เวลาบำรุงรักษาตามแผน (Maintenance Planning Time)	t_{pmpt}	ระบบซ่อมบำรุง
	-เวลาบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM Time)	t_{pmt}	
	-เวลาการตั้งค่า (Setting Time)	t_{st}	
	เวลาเสียที่ไม่ได้วางแผน (Unplan Down Time) / เวลาเฉลี่ยในการซ่อม (Mean Time To Repair)	t_{udt} / $MTTR$	
	-เวลาเสียถึงการปิดเพื่อซ่อม (Lead Time to Repair Time)	t_{lrt}	
	-เวลาซ่อม (Repair Time)	t_{rt}	
	-เวลาการตั้งค่า (Setting Time)	t_{st}	
	เวลาใช้งานสุทธิ (Net Operating Time)/ เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย (Mean Time Between Failure)	t_{net} / $MTBF$	
	เวลาในการล้างบ่อกรองน้ำ (Operational Washing Time)	t_{opt}	ระบบผลิต
เวลารับภาระงาน	เวลาในการนำเครื่องจักรใช้งาน (Loading Time)	t_{lt}	ระบบซ่อมบำรุง + ระบบผลิต
	อัตราสมรรถนะ (Performance Rate: PR)		
รอบเวลาทางทฤษฎี	รอบการกรองน้ำตามที่ออกแบบ (Filtration Design Time)	F_{dt}	ระบบผลิต
	เวลาทั้งหมดที่ต้องการผลิตที่ออกแบบ (Filtration Design Total Time)	t_{fdt}	ระบบผลิต
	ปริมาณน้ำเข้าตามที่ออกแบบ (Quantity of Inlet Water Design)	Q_{dw}	ระบบผลิต
จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้	ปริมาณน้ำที่กรองได้ (Quantity of Filtration Water)	Q_{out}	ระบบผลิต
	ความเร็วของน้ำเข้าบ่อกรองน้ำ (Velocity of Inlet Water)	V_{pr}	
เวลาเดินเครื่อง	เวลาใช้งานสุทธิ (Net Operating Time)	t_{net}	ระบบซ่อมบำรุง
	อัตราคุณภาพ (Quality Rate: QR)		
ปริมาณของเสีย	ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (Defect Quantity of Production)	Q_{prls}	ระบบผลิต
ปริมาณผลผลิตที่ได้	ปริมาณน้ำที่กรองได้ (Quantity of Filtration Water)	Q_{out}	ระบบผลิต

จากตารางที่ 3 การนิยามตัวแปรการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ความพร้อมในการใช้งาน

จากสมการที่ (2) การวัดความพร้อมในการใช้งาน โดยพิจารณาจากความพร้อมของหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ เนื่องจากเป็นเครื่องจักรหลักในการควบคุมวาล์ว เพื่อควบคุมการทำงานบ่อกรองน้ำให้ทำงานตามฟังก์ชั่นของการกรองน้ำ สามารถแบ่งช่วงเวลาการใช้งานของบ่อกรองน้ำแต่ละบ่อ ในระบบการกรองน้ำ มีตัวแปร คือ 1. เวลาสูญเปล่าเครื่องจักร เป็นช่วงเวลาที่ไม่ได้ใช้งานในการกรองน้ำของบ่อกรองน้ำ ในระบบกรองน้ำ ประกอบด้วย เวลาบำรุงรักษาตามแผน เป็นช่วงเวลาหยุดบ่อกรองน้ำ ในระบบกรองน้ำ เพื่อทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) ประกอบด้วย เวลาบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ตามแผนงานที่กำหนดไว้ และช่วงเวลาการตั้งค่าของหัวขับไฟฟ้า เพื่อให้ตำแหน่งวาล์วตรงกับความเป็นจริง ก่อนการใช้งาน และเวลาในการล้างบ่อกรองน้ำ เป็นช่วงเวลาของการล้างบ่อกรองน้ำตามมาตรฐาน 2. เวลารับภาระงาน เป็นช่วงเวลาที่ใช้งานในการกรองน้ำของบ่อกรองน้ำ ในระบบกรองน้ำ โดยใช้หัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับ ทำหน้าที่ควบคุมวาล์วต่าง ๆ เพื่อให้บ่อกรองน้ำทำงานได้ตามฟังก์ชั่น ประกอบด้วย เวลาเสียที่ไม่ได้วางแผน/ เวลาเฉลี่ยในการซ่อม เป็นช่วงเวลาที่บ่อกรองน้ำ ในระบบกรองน้ำไม่สามารถกรองน้ำได้ เนื่องจากเครื่องจักรหลัก ซึ่งประกอบด้วยหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับเสียหาย ทำให้ไม่สามารถเปิด-ปิด วาล์ว เพื่อควบคุมการทำงานของบ่อกรองน้ำได้ ทำให้ต้องหยุดการผลิตของบ่อกรองน้ำนั้น ๆ ประกอบด้วย เวลาเสียถึงการปิดเพื่อซ่อม เป็นช่วงเวลาของเครื่องจักรหลัก ซึ่งประกอบด้วยหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ เสียจนถึงเวลาการปิดบ่อกรองน้ำเพื่อซ่อมบำรุง เวลาซ่อม เป็นช่วงเวลาของการซ่อมแซม และ ช่วงเวลาการตั้งค่าของหัวขับไฟฟ้า เพื่อให้ตำแหน่งวาล์วตรงกับความเป็นจริง และ เวลาใช้งานสุทธิ/ เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย เป็นช่วงเวลาที่ใช้งานหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ ในการเปิด-ปิด วาล์วต่าง ๆ เพื่อให้บ่อกรองน้ำ ในระบบการกรองน้ำทำงานตามฟังก์ชั่นการใช้งาน เพื่อกรองน้ำได้ตามปกติและมาตรฐาน

- อัตราสมรรถนะ

จากสมการที่ (3) เป็นการวัดอัตราสมรรถนะของแต่ละบ่อกรองน้ำ ของระบบการกรองน้ำ การวัดอัตราสมรรถนะ มีตัวแปร คือ 1. รอบทางทฤษฎี เป็นรอบเวลาของการออกแบบในการกรองน้ำ ซึ่งการกรองน้ำของแต่ละบ่อกรองน้ำ มีการควบคุมความเร็วของน้ำให้มีความสัมพันธ์กันของวาล์วต่าง ๆ ในบ่อกรองน้ำนั้น ๆ ซึ่งกำลังการผลิตสูงสุดตามที่ออกแบบไว้ ของแต่ละสายผลิต 400,000 ลบ.ม/วัน 2. จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ เป็นปริมาณน้ำที่กรองได้แต่ละบ่อกรองน้ำ ของระบบการกรองน้ำ แต่ละสายการผลิต ซึ่งปริมาณน้ำที่กรองได้มีความสัมพันธ์กับความเร็วของน้ำที่เข้าในแต่ละบ่อกรองน้ำ โดยใช้หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ เป็นตัวควบคุมวาล์ว ในการกำหนดความเร็วดังกล่าว และต้องอาศัยการทำงานที่สัมพันธ์ตามลำดับหน้าที่ของ หัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับทั้งหมด 3. เวลาเดินเครื่อง เป็นช่วงเวลาที่บ่อกรองน้ำใช้ในการกรองน้ำจริงได้ตามฟังก์ชั่นการทำงาน เป็น เวลาใช้งานสุทธิ/ เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย ในการกรองน้ำของแต่ละบ่อกรองน้ำ โดยใช้งานหัวขับไฟฟ้า และชุดเกียร์ขับ ในการเปิด-ปิดวาล์วต่าง ๆ

- อัตราคุณภาพ

จากสมการที่ (4) เป็นการวัดคุณภาพของน้ำแต่ละบ่อกรองน้ำ ของระบบการกรองน้ำ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น คือ ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองแล้วไม่ได้คุณภาพ ซึ่งอาจเกิดจากความเสียหายของหัวกรองน้ำ จากการทำงานผิดพลาดของระบบลมหรือระบบน้ำล้างของบ่อกรองน้ำ ซึ่งปัจจุบันจะไม่พบประเด็นดังกล่าว เนื่องจากมีระบบป้องกันการผิดพลาดของเครื่องจักร

2.2.1 ความพร้อมในการใช้งาน (AR)

จากตารางที่ 3 ความพร้อมในการใช้งาน ของแต่ละบ่อกรองน้ำ สามารถแบ่งช่วงเวลาหนึ่งปีของการใช้งานบ่อกรองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 6 สามารถสร้างสมการในการคำนวณ ดังแสดงในสมการ (6) - (11)

$$MTTR = \sum_{i=1}^{j} t_{lrt,i} + (t_{rt,i} + t_{st,i}) \quad (6)$$

$$t_{lt} = 525{,}600 - (t_{pmpt} + t_{opt}) \quad (7)$$

$$t_{pmpt} = \sum_{i=1}^{j} (t_{pmt,i} + t_{st,i}) \quad (8)$$

$$t_{opt} = \sum_{i=1}^{j} t_{opt,i} \quad (9)$$

$$MTBF = t_{lt} - MTTR \quad (10)$$

$$AR = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} x100 \quad (11)$$

โดยที่ i, j = บ่อกรองน้ำบ่อแรกถึงสุดท้าย ของแต่ละสายการผลิต

2.2.2 อัตราสมรรถนะ (PR)

จากตารางที่ 3 สามารถสร้างสมการในการคำนวณ ดังแสดงในสมการ (12) - (14)

$$F_{dt} = \frac{t_{fdt}}{Q_{dw}} \quad (12)$$

$$Q_{out} = \sum_{i=1}^{j} V_{pr,i} \; x \; t_{net,i} \quad (13)$$

$$PR = \frac{F_{dt} \, x \, Q_{out}}{t_{net}} x100 \quad (14)$$

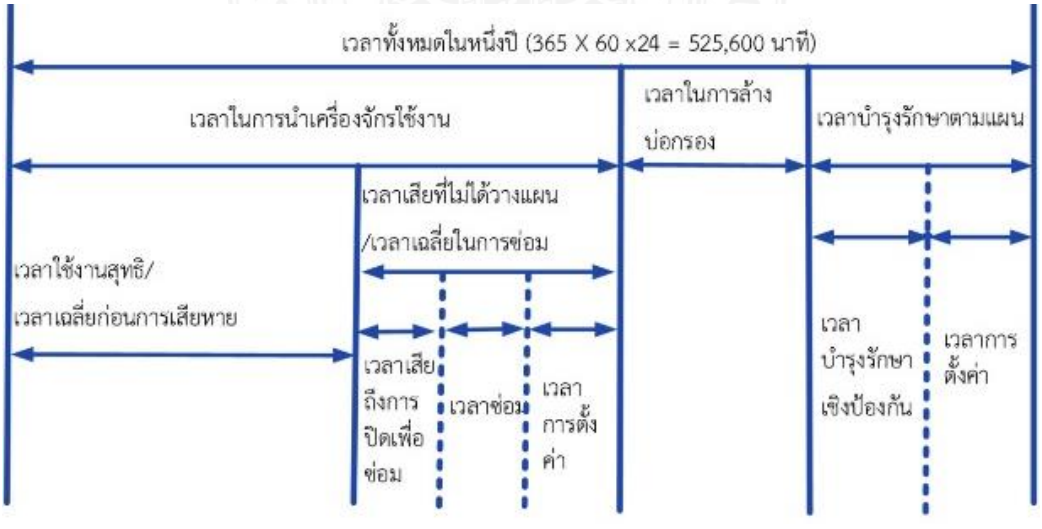
โดยที่ i, j = บ่อกรองน้ำบ่อแรกถึงสุดท้าย ของแต่ละสายการผลิต

2.2.3 อัตราคุณภาพ (QR)

จากตารางที่ 3 สามารถสร้างสมการในการคำนวณ ดังแสดงในสมการ (15)

$$QR = \sum_{i=1}^{j} \frac{Q_{out,i} - Q_{prls,i}}{Q_{out,i}} \text{x} 100 \quad (15)$$

โดยที่ i, j = บ่อกรองน้ำบ่อแรกถึงสุดท้าย ของแต่ละสายการผลิต



รูปที่ 6 ช่วงเวลาหนึ่งปีของการใช้งานบ่อกรองน้ำ

2.2.4 ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

จากสมการที่ (1) สามารถนำมาใช้ในการคำนวณค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ แต่ละสายการผลิต ดังแสดงในสมการ (16)

$$OEE = AR \; x \; PR \; x \; QR \qquad (16)$$

โดยที่

OEE คือ ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (%)

AR คือ ความพร้อมในการใช้งาน (%)

PR คือ อัตราสมรรถนะ (%)

QR คือ อัตราคุณภาพ (%)

2.2.5 กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น (Quantity of Increasing Filtration Water: Q_{inc})

จากตารางที่ 4 กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบกำลังการผลิตของบ่อกรองน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง ของแต่ละสายการผลิตน้ำ ดังแสดงในสมการ (17)

$$Q_{inc} = \sum_{i=1}^{j} Q_{out,i,after} - Q_{out,i,before} \qquad (17)$$

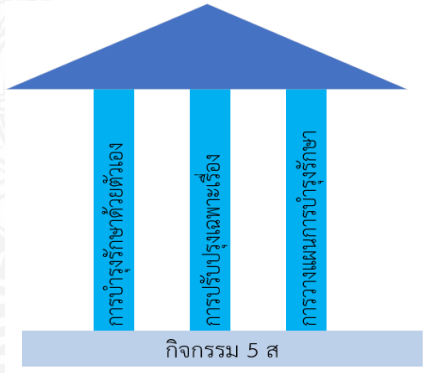
โดยที่

Q_{inc} คือ กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสายการผลิต (ลบ.ม./ปี)

i, j คือ บ่อกรองน้ำบ่อแรกถึงบ่อสุดท้ายของแต่ละสายการผลิต

2.3 การวิเคราะห์ความสูญเสีย และการปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบกรองน้ำ

ในการวิเคราะห์ความสูญเสีย โดยการนำข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบกับความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ และการปรับปรุง โดยการประยุกต์ใช้กลยุทธ์ของเสาหลักแปดประการของการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นใช้ 3 เสาหลัก คือ 1. เสาหลักการบำรุงรักษาด้วยตนเอง 2. เสาหลักการปรับปรุงเฉพาะเรื่อง และ 3. เสาหลักการวางแผนการบำรุงรักษา ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยรายละเอียดความสัมพันธ์ของความสูญเสียกับตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของการปรับปรุงกับความสูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 6



รูปที่ 7 เสาหลัก 3 เสาหลักในการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ

ตารางที่ 4 การสร้างสมการในการหากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น ของระบบการกรองน้ำ

ขั้นตอน	นิยามตัวแปรของสมการ	ตัวแปรสมการ	แหล่งข้อมูล	ช่วงเวลาเก็บข้อมูล
ก่อนการปรับปรุง	กำลังการผลิตของบ่อกรองน้ำ ก่อนการปรับปรุง (Quantity of Filtration Water Before Improvement)	$Q_{out,i,before}$	ระบบผลิต	1 ปี
หลังการปรับปรุง	กำลังการผลิตของบ่อกรองน้ำ หลังการปรับปรุง (Quantity of Filtration Water After Improvement)	$Q_{out,i,after}$	ระบบผลิต	1 ปี
สรุป	กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสายการผลิต (Quantity of Increasing Filtration Water)	Q_{inc}	ระบบผลิต	1 ปี

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของความสูญเสียกับตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

ความสูญเสียที่เกิดขึ้น	ความสัมพันธ์ตัวแปร	รายละเอียดคำอธิบาย
(1) การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร		
มอเตอร์ของหัวขับไฟฟ้าไหม้ หรือชุดเกียร์ขับแตกหัก	$t_{udt} \subset [AR]*$	ความเสียหายของเครื่องจักรเป็นช่วงเวลาเสียที่ไม่ได้วางแผนไว้ $[AR]$ ทำให้ไม่สามารถใช้งานบ่อกรองน้ำ ในระบบกรองน้ำได้ตามปกติ
(2) การสูญเสียเวลาการตั้งค่า หรือการปรับแต่ง		
เปอร์เซ็นต์ การทำงานของหัวขับไฟฟ้า ไม่สอดคล้องกับกระบวนการผลิตจริง	$t_{udt} \subset [AR]$ $V_{pr} \subset [PR]$	เปอร์เซ็นต์ที่ไม่สอดคล้องผิดพลาดเป็นช่วงเวลาเสียที่ไม่ได้วางแผนไว้ การควบคุมเปอร์เซ็นต์โดย Battery Back Up ซึ่งถ้าไฟฟ้าที่จ่ายไม่เสถียร ทำให้ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์เกิดการผิดพลาดที่ตัวอุปกรณ์ $[AR]$ และส่งผลต่อความเร็วของน้ำบ่อกรองน้ำบ่อนั้น ๆ $[PR]$
(3) การสูญเสียเวลาที่ไม่ทำงาน และการสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อย		
ระบบอัตโนมัติ ไม่ส่งคำสั่งไปยังหัวขับไฟฟ้าให้ทำงานตามกำลังการผลิตจริง	$t_{udt} \subset [AR]$ $V_{pr} \subset [PR]$	การทำงานของเครื่องจักร ในแต่ละบ่อกรองน้ำ จะเป็นการทำงานร่วมกันของ 5 หัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับ สถานะของแต่ละเครื่องจักร จะถูกส่งสัญญาณไปยังระบบอัตโนมัติ เมื่อเกิดการผิดพลาด ทำให้การทำงานไม่สอดคล้องกับกระบวนการผลิต $[AR]$ และส่งผลต่อความเร็วของน้ำบ่อกรองน้ำบ่อนั้น ๆ $[PR]$
(4) การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็ว		
เปอร์เซ็นต์ การทำงานของหัวขับไฟฟ้า น้อยกว่าความต้องการของกระบวนการผลิตจริง	$t_{udt} \subset [AR]$ $V_{pr} \subset [PR]$	เปอร์เซ็นต์ของหัวขับไฟฟ้าน้อยกว่ากระบวนการผลิตจริง เนื่องจากชุดฟันเฟืองบอกตำแหน่งเพื่อแสดงตำแหน่ง เกิดการทำงานผิดพลาด $[AR]$ ไม่สอดคล้องกับกระบวนการผลิตจริง และส่งผลต่อความเร็วของน้ำบ่อกรองน้ำบ่อนั้น ๆ $[PR]$
(5) การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิต		
ปริมาณน้ำที่ค้างในบ่อกรองน้ำ ที่เกิดการเสียหายของเครื่องจักร	$t_{udt} \subset [AR]$	กรณีที่มีปริมาณน้ำที่ค้างในบ่อกรองน้ำ ก่อนเริ่มต้นการผลิตต้องมีการล้างบ่อกรองน้ำก่อน ซึ่งเวลาดังกล่าวส่งผลให้ค่า MTBF มีค่าลดลง $[AR]$ เนื่องจากบ่อกรองน้ำไม่สามารถใช้งานในการกรองน้ำได้ทันที
(6) การสูญเสียเวลาจากการผลิตของเสียและการแก้ไข		
ปริมาณน้ำเสีย เนื่องจาก ไม่สามารถกรองน้ำตามมาตรฐาน	$Q_{prls} \subset [QR]$	เป็นปริมาณน้ำกรองไม่ได้คุณภาพจากการผลิต ซึ่งอาจเกิดจากการเสียหายของหัวกรองน้ำ จากการทำงานผิดพลาดของระบบลมหรือระบบน้ำล้าง และอาจเกิดจากการทรุดตัวของโครงสร้างบ่อกรองน้ำ ทำให้หัวกรองน้ำเกิดเสียหาย $[Q_{prls}]$ ซึ่งปริมาณน้ำที่กรองน้ำได้ไม่มีคุณภาพ และจำเป็นต้องกำจัดทิ้ง

$t_{udt} \subset [AR]*$ คือ ตัวแปร t_{udt} อยู่ในสมการ AR

ในปรับปรุง โดยใช้หลักการการบำรุงรักษาทวีผลโดยทุกคนมีส่วนร่วม จากรูปที่ 7 โดยอาศัยการระดมสมอง (Brain Storming) เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง โดยความร่วมมือตั้งแต่ระดับผู้บริหารที่ต้องให้การสนับสนุน จนถึงระดับพนักงานปฏิบัติการที่ต้องปฏิบัติงานตามแนวทางขั้นตอนที่กำหนด ของฝ่ายผลิต, ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาไฟฟ้า, ฝ่ายระบบอัตโนมัติ สามารถแบ่งปัญหาความสูญเสียของระบบการกรองน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) ปัญหาเล็กน้อย (Minor Problem) เป็นปัญหาของความสูญเสีย ที่สามารถแก้ไขปัญหาโดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงาน เช่น เปอร์เซ็นต์การทำงานของหัวขับไฟฟ้า ไม่สอดคล้องกับกำลังการผลิต, การหยุดการผลิตของบ่อกรองน้ำ เพื่อทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

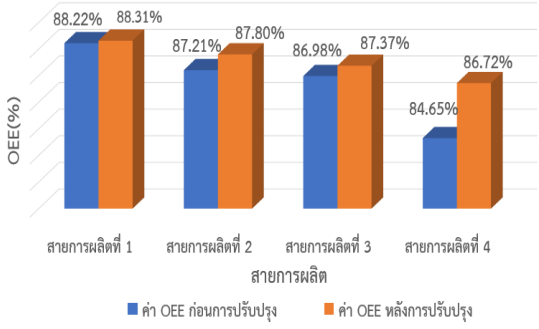
(2) ปัญหาหลัก (Major Problem) เป็นปัญหาของความสูญเสีย ที่ต้องอาศัยความรู้เฉพาะด้านเชิงวิศวกรรม ในการแก้ไข ซึ่งระบบการผลิตน้ำ ถูกเชื่อมโยงและควบคุมการผลิต โดยระบบอัตโนมัติ เช่น ปัญหามอเตอร์หัวขับไฟฟ้าไหม้หรือชุดเกียร์ขับแตก เนื่องจากเซ็นเซอร์แรงบิด (Torque Sensor) ของหัวขับไฟฟ้าทำงานผิดพลาด ทำให้ต้องหยุดการผลิตของบ่อกรองน้ำ

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ของการปรับปรุงกับความสูญเสีย และรูปแบบปัญหา

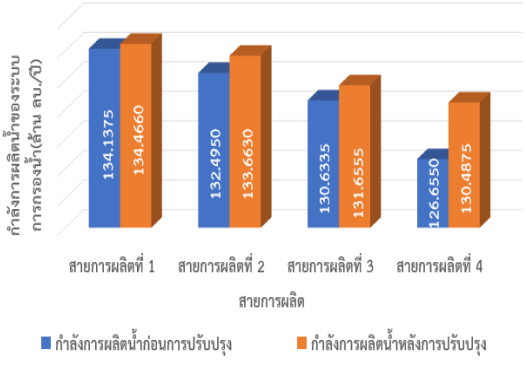
รายละเอียดการปรับปรุงเสาหลัก	ความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ	รูปแบบปัญหา และทีมงานที่มีส่วนร่วม
การบำรุงรักษาด้วยตัวเอง รูปแบบเดิม : เปอร์เซ็นต์การทำงานของหัวขับไฟฟ้า ไม่สอดคล้องกับกำลังการผลิตจริง การแก้ไข โดยการแจ้งซ่อมให้พนักงานบำรุงรักษาเข้าไปปรับตั้งค่า รูปแบบการปรับปรุง ใหม่ : พนักงานควบคุมการผลิตปรับตั้งค่าเปอร์เซ็นต์เอง	(2) การสูญเสียเวลาการตั้งค่าหรือการปรับแต่ง (4) การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็ว	- ปัญหาเล็กน้อย - ผู้บริหาร ฝ่ายผลิต, ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า -พนักงานฝ่ายผลิต, ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า
การปรับปรุงเฉพาะจุด รูปแบบเดิม : ค่าลิมิตของแรงบิดในหัวขับไฟฟ้าเป็นขั้นตอนแรกของการป้องกันความเสียหาย จะตัดการทำงาน เมื่อเกิดแรงบิดที่ผิดปกติเพื่อป้องกันความเสียหาย ซึ่งบางกรณีพบว่ามอเตอร์หัวขับไฟฟ้าไหม้หรือชุดเกียร์ขับแตก จากการทำงานผิดพลาด (Error) ของลิมิตของแรงบิด รูปแบบการปรับปรุง ใหม่ : เพิ่มเติมการป้องกันเป็น 2 ขั้นตอน (Double Protection) โดยใช้โปรแกรมในระบบควบคุมอัตโนมัติ ในการควบคุมเวลาทำงานของหัวขับไฟฟ้า เมื่อเวลาการทำงานที่นานผิดปกติ จะตัดการทำงาน เพื่อป้องกันความเสียหายในขั้นตอนที่สองต่อจากค่าลิมิตของแรงบิดในหัวขับไฟฟ้า	(1) การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร (6) การสูญเสียเวลาจากการผลิตของเสียและการแก้ไข	- ปัญหาหลัก - ผู้บริหาร ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า, ฝ่ายระบบอัตโนมัติ -พนักงาน ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า, ฝ่ายระบบอัตโนมัติ
การวางแผนการบำรุงรักษา รูปแบบเดิม : การบำรุงรักษาเชิงป้องกันของหัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับ ตามระยะเวลาที่กำหนดคงที่ รูปแบบการปรับปรุง ใหม่ : ปรับระยะเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้สอดคล้องกับระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายของหัวขับไฟฟ้า หรือชุดเกียร์ขับ ในแต่ละบ่อกรองน้ำ	(3) การสูญเสียเวลาที่ไม่ทำงานและการสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อย (5) การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิต	- ปัญหาเล็กน้อย - ผู้บริหาร ฝ่ายผลิต, ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า -พนักงานฝ่ายผลิต, ฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า

3. ขั้นตอนการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและผลลัพธ์

ขั้นตอนในการหาค่าความพร้อมในการใช้งาน, อัตราสมรรถนะ, อัตราคุณภาพ, ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ และกำลังการผลิตน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ ก่อนและหลังจากการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 8 และกำลังการผลิตน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรระบบการกรองน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง (%)



รูปที่ 9 กำลังการผลิตน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง (ล้าน ลบ.ม./ปี)

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอ สมการและขั้นตอน ในการวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ ในการปรับปรุงค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ ซึ่งความเชื่อถือได้ของเครื่องจักรในแต่ละสายการผลิตมีความแตกต่างกันจากแต่ละยี่ห้อของเครื่องจักรที่ใช้งาน โดยการวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งปัญหาของความสูญเสีย ในการปรับปรุงได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ปัญหาที่สามารถแก้ไขโดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงาน ใช้เสาหลักการบำรุงรักษาด้วยตนเอง กับ เสาหลักการวางแผนการบำรุงรักษา และปัญหาที่ต้องอาศัยความรู้เฉพาะด้านเชิงวิศวกรรม ใช้เสาหลักการปรับปรุงเฉพาะจุด ผลการวิจัยพบว่า ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 0.11%, 0.68%, 0.44% และ 2.44% ตามลำดับของแต่ละสายการผลิต และกำลังการผลิตน้ำที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 328,500 ลูกบาศก์เมตรต่อปี, 1,168,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี, 1,022,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 3,832,500 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับของแต่ละสายการผลิตน้ำ ในงานวิจัยนี้ เป็นการใช้เสาหลักการปรับปรุงเฉพาะจุด โดยการเพิ่มเติมระบบป้องกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องจักร เนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่พบว่าระบบป้องกันเกิดการทำงานผิดพลาด ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุดในสายการผลิตที่ 4 และต้องอาศัยทรัพยากรบุคคลของทุกฝ่ายในการร่วมมือกัน ระดมสมองวิเคราะห์ ถึงสาเหตุของความสูญเสียต่าง ๆ เพื่อกำจัดความสูญเสีย และใช้องค์ความรู้เชิงวิศวกรรมในการปรับปรุง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับทุกฝ่ายที่สนับสนุนให้การศึกษาวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ รวมถึงโรงงานผลิตน้ำกรณีศึกษา ที่สนับสนุนข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ 7 การหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ และกำลังการผลิตน้ำ

ลำดับ	สมการ	ก่อนและหลังการปรับปรุง (สายการผลิตน้ำ)			
	ค่าความพร้อมใช้งาน (Availability Rate: AR)				
1	$MTTR = \sum_{i=1}^{j} t_{lrt,i} + (t_{rt,i} + t_{st,i})$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		900	630	3,690	2,052
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(นาที)	1,380	399	7,200	1,944
2	$t_{lt} = 525{,}600 - (t_{pmpt} + t_{opt})$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		516,960	517,710	516,600	517,572
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(นาที)	510,720	512,319	508,680	511,584
3	$t_{pmpt} = \sum_{i=1}^{j} (t_{pmt,i} + t_{st,i})$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		1,440	720	1,440	720
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(นาที)	2,520	1,260	2,520	1,260
4	$t_{opt} = \sum_{i=1}^{j} t_{opt,i}$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		7,200	7,170	7,560	7,308
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(นาที)	12,360	12,021	14,400	12,756
5	$MTBF = t_{lt} - MTTR$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		516,060	517,080	512,910	515,520
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(นาที)	509,340	511,920	501,480	509,640
6	$AR = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} x100$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		99.83	99.88	99.29	99.60
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(%)	99.73	99.92	98.58	99.62
	อัตราสมรรถนะ (Performance Rate: PR)				
7	$F_{dt} = \frac{t_{fdt}}{Q_{dw}}$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		0.0034	0.0034	0.0034	0.0034
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(นาที/ลบ.ม)	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034
8	$Q_{out} = \sum_{i=1}^{j} V_{pr,i}\, x\, t_{net,i}$	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		134.1375	134.4660	132.4950	133.6630
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
	(ล้าน-ลบ.ม/ปี)	130.6335	131.6555	126.6550	130.4875

ตารางที่ 7 (ต่อ) การหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ และกำลังการผลิตน้ำ

ลำดับ.	สมการ	ก่อนและหลังการปรับปรุง (สายการผลิตน้ำ)			
9	$PR = \frac{F_{dt}\, x\, Q_{out}}{t_{net}} x100$ (%)	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		88.37	88.42	87.83	88.15
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
		87.22	87.44	85.87	87.05
อัตราคุณภาพ (Quality Rate: QR)					
10	$QR = \sum_{i=1}^{j} \frac{Q_{out,i} - Q_{prls,i}}{Q_{out,i}} \text{x}100$ (%)	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		100	100	100	100
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
		100	100	100	100
ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)					
11	$OEE = AR\ x\ PR\ x\ QR$ (%)	**ก่อน (1)**	**หลัง (1)**	**ก่อน (2)**	**หลัง (2)**
		88.22	88.31	87.21	87.80
		ก่อน (3)	**หลัง (3)**	**ก่อน (4)**	**หลัง (4)**
		86.98	87.37	84.65	86.72
กำลังการผลิตน้ำที่เพิ่มขึ้น (Quantity of Increasing Filtration Water)					
12	$Q_{inc} = \sum_{i=1}^{j} Q_{out,i,after} - Q_{out,i,before}$ (ลบ.ม/ปี)	**สายการผลิตน้ำ ที่ 1**		**สายการผลิตน้ำ ที่ 2**	
		328,500		1,168,000	
		สายการผลิตน้ำ ที่ 3		**สายการผลิตน้ำ ที่ 4**	
		1,022,000		3,832,500	

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Kigsirisin and P. Sirawit, “ Approach for Total Productive Maintenance Evaluation in Water Productivity: A Case Study at Mahasawat Water Treatment Plant,” in *Proceeding of 12th International Conference on Hydroinformatics*, South Korea, 2016, pp. 260-267.

[2] R. Singh, A. M. Gohil, D. B. Shah and S. Desai, “ Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop: A Case Study,” in *Proceeding of 3rd Nirma University International Conference on Engineering*, India, 2013, pp. 592-599

[3] M. Wienker, K. Henderson and J. Volkerts, “ The Computerized Maintenance Management System An essential Tool for World Class Maintenance,” in *Proceeding of 3rd International Symposium on Innovation and Technology in the Phosphate Industry*, Morocco, 2016, pp. 413-420.

[4] I. Lopes, P. Senra, S. Vilarinho, V. Sa, C. Teixeira, J. Lopes, A. Alves, J. A. Oliveira and M. Figueiredo, “Requirements specification of a computerized maintenance management system – a case

study," in *Proceeding of 6th Changeable, Agile*, Reconfigurable & Virtual Production, United Kingdom, 2016, pp. 268 – 273.

[5] A. Moreira, F. J. G. Silva, A. I. Correia, T. Pereira, L. P. Ferreira and F. De Almeidab, "Cost reduction and quality improvements in the printing industry," in *Proceeding of 28th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, USA, 2018, pp.623–630.

[6] B. G. Mwanza and C. Mbohwa, "Design of total productive maintenance model for effective implementation: Case study of chemical manufacturing company," in *Proceeding of Industrial Engineering and Service Science 2015*, Indonesia, 2015, pp. 461-470.

[7] R.singh, D. B. Shah, A. M. Gohil and M. H. Shah "Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation -Automation through Hardware & Software Development," in *Proceeding of 3rd Nirma University International Conference on Engineering*, India, 2013, pp. 579-584.

[8] A. S. Relkar, K. N. Nandurkar, "Optimizing and analyzing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE)," in *Proceeding of International Conference on Modeling, Optimization and Computing*, India, 2012, pp.2973-2980.

[9] R. Hedman, M. Subramaniyan and P. Almström, "Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE," in *Proceeding of 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, Germany, 2016, pp. 128 – 133.

[10] *Work Instruction Manuals in Process for Water Treatment Plant*, Mahasawat Water Treatment Plant, Nonthaburi, NC, 2018, pp. 3-5.