



การเพิ่มความพร้อมการใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำ ในกระบวนการผลิตน้ำประปา : กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

The increasing Machine Availability of the Water Filtration Process in the Water Production Process: A Case Study of Mahasawat Water Treatment Plant

ศิริวิทย์ ปุสสิโร¹ ศุภรัชชัย วรรัตน์^{1*}

¹วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

110/1-4 ถนน ประชาชื่น แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

Sirawit Pussawiro¹, Suparatchai Vorarat^{1*}

College of Innovation Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University

110/1-4 Prachachuen Road, Thung Song Hong, Lak Si, Bangkok, Thailand, 10210

*ผู้รับผิดชอบบทความ: vorarat@dpu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-1304-2425

Received: 11 April 2023, Revised: 26 January 2024, Accepted: 26 January 2024

บทคัดย่อ

โครงข่ายของการผลิตน้ำเพื่อจ่ายให้พื้นที่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ วันละ 6,300,000 ลูกบาศก์เมตร พบปัญหาเชิงคุณภาพน้ำดิบ จากปัญหาน้ำเค็มรุกล้ำ น้ำด้อยคุณภาพ และสาหร่ายอุดตัน ทำให้โรงงานผลิตน้ำที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาคุณภาพน้ำดิบไม่สามารถผลิตน้ำเต็มประสิทธิภาพตามที่ได้วางแผนไว้ โดยมีโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ที่ไม่พบปัญหาด้านคุณภาพน้ำดิบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องรักษาเสถียรภาพของกระบวนการผลิตน้ำประปา แต่ปัจจุบันพบปัญหาความเสียหายของเครื่องจักรสูงขึ้น ทำให้ความพร้อมใช้งานของกระบวนการผลิตน้ำประปาลดลง ซึ่งงานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการเพิ่มความพร้อมการใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยพิจารณารูปแบบการทำงานแต่ละระบบของกระบวนการกรองน้ำ เพื่อหาสาเหตุของความเสียหายของเครื่องจักรและความสัมพันธ์ความเสียหายของเครื่องจักรกับความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ นำเสนอสมการในการหาค่าความพร้อมใช้งาน และแนวทางวิธีการปรับปรุง ผลการศึกษา พบว่าความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำ เพิ่มขึ้น 0.30% 1.29% 1.97% และ 4.95% และกำลังการผลิตน้ำ เพิ่มขึ้น 9,401.55 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน 12,675.18 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน 15,041.94 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และ 23,290.99 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

คำสำคัญ ความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ กระบวนการผลิตน้ำ กระบวนการกรองน้ำ

Abstract

The network of water production to supply Bangkok, Nonthaburi, and Samutprakarn; with 6,300,000 cubic meters per day; found raw water quality problems from saltwater encroachment, poor-quality water, and clogged algae. problems affected the water plants cannot produce water with total planned. The Mahasawat water treatment plant has no problems with raw water quality—that is necessary to maintain the stability of the water supply process. Recently, there is a growing issue of machinery damage that diminishes capacity of the water production process. This research demonstrated the improvement—of machinery availability for water filtration in the water production process. This research was investigated the cause of machine damage, the relationship between machine damage and the six big losses in each system of the water filtration and

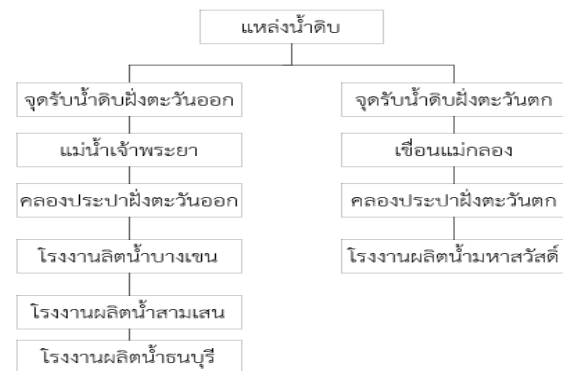


determined; the equation for the capacity and improved approach. The results showed that the machinery capacity of the water filtration process increased by 0.30%, 1.29%, 1.97%, and 4.95%, and the water production capacity increased by 9,401.55 cubic meters/day, 12,675.18 cubic meters/day, 15,041.94 cubic meters/day, and 23,290.99 cubic meters/day.

Keywords: Six Big Losses, The Water Production Process, Water filtration process

1. บทนำ

การผลิตน้ำประปาเพื่อใช้อุปโภค ตามแผนน้ำประปาปลอดภัย (Water Safety Plans : WSP) ตามแนวทางขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) และเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) เป้าหมายที่ 6 ของการบริหารจัดการน้ำสะอาดและสุขอนามัยอย่างยั่งยืน [1]-[2] ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยโครงข่ายกำลังการผลิตน้ำประปารวม 6,300,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อรองรับปริมาณการใช้น้ำประปาของประชากรกว่า 12 ล้านคน [3] โครงข่ายของการผลิตน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำจาก 4 แห่ง คือ 1.โรงงานลิตน้ำบางเขน 2.โรงงานผลิตน้ำสามเสน 3.โรงงานผลิตน้ำธนบุรี รับน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาลำเลียงผ่านคลองประปาระยะทาง 37 กิโลเมตร และ 4. โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ รับน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลอง ลำเลียงผ่านคลองประปา ระยะทาง 107 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ปัจจุบันพบปัญหาเชิงคุณภาพของน้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยา [3]-[5] จากปัญหาน้ำเค็มรุกคืบ น้ำด้อยคุณภาพ และสาหร่ายอุดตันของบ่อกรองสูง ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตน้ำประปาของโรงงานลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำธนบุรี ไม่สามารถผลิตน้ำประปาน้ำได้เต็มประสิทธิภาพตามที่ได้วางแผนไว้ จากปัญหาคอนเดนน้ำดิบจำเป็นต้องอาศัยกำลังการผลิตน้ำประปาจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ เป็นโรงงานผลิตน้ำประปาที่ไม่ได้รับผลกระทบจากปัญหาเชิงคุณภาพของน้ำดิบเพื่อให้การผลิตน้ำประปาให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำประปาที่ต้องการ ดังนั้น โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ จึงมีความสำคัญ และจำเป็นต้องรักษาเสถียรภาพของกระบวนการผลิตน้ำประปาแต่ในปัจจุบัน โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ซึ่งมีกำลังการผลิตน้ำประปาสูงสุดวันละ 1,680,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของกระบวนการผลิตน้ำประปาเนื่องจากความเสียหายของเครื่องจักรสูงขึ้น [6] ทำให้ความพร้อมใช้งาน



รูปที่ 1 แหล่งน้ำดิบของโครงข่ายกำลังการผลิตน้ำประปา

เครื่องจักรของกระบวนการผลิตน้ำลดลง ซึ่งในทุก ๆ 1% ของความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการผลิตน้ำที่ลดลง ทำให้เกิดความสูญเสียของกำลังการผลิต 16,800 ลูกบาศก์เมตร หรือมูลค่าความสูญเสีย 201,600 บาท โดยโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ พบความเสียหายเครื่องจักรบ่อยครั้ง ในกระบวนการกรองน้ำ ทำให้เป็นกระบวนการคอขวดของกระบวนการผลิตน้ำประปา

งานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการเพิ่มความพร้อมการใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยพิจารณารูปแบบการทำงานแต่ละระบบของกระบวนการกรองน้ำ เพื่อหาสาเหตุของความเสียหายของเครื่องจักรและความสัมพันธ์ความเสียหายของเครื่องจักรกับความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ (Six Big Losses) นำเสนอสมการในการหาค่าความพร้อมใช้งาน และแนวทางวิธีการปรับปรุง

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ความพร้อมใช้งาน (Availability : A)

ความพร้อมใช้งาน เป็นหนึ่งในหลักการของการวัดค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness : OEE) หลักการในการวัดความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร เกี่ยวข้องกับเวลารับภาระงาน และเวลาสูญเสีย



เปล่าเครื่องจักร [7] สามารถคำนวณความพร้อมใช้งาน ดังแสดงในสมการที่ (1)

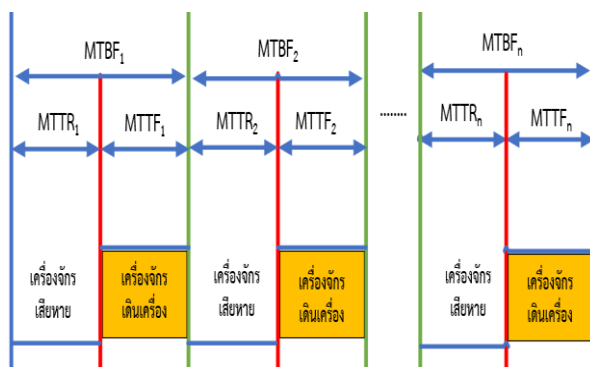
$$A = \frac{t_{it} - t_{mlt}}{t_{it}} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ความพร้อมใช้งาน

t_{it} คือ เวลาให้บริการงาน (Loading Time)

t_{mlt} คือ เวลาสูญเสียเปล่าของเครื่องจักร (Machine Losses Time)

ความพร้อมใช้งาน มีความสัมพันธ์กับตัวแปร 3 ตัวแปรในเชิงเวลา [8] คือ 1.เวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure : MTBF) เป็นเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหายของเครื่องจักรในแต่ละรอบของการทำงาน 2.เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย (Mean Time To Failure : MTTF) เป็นเวลาเฉลี่ยในการเดินเครื่องจักรตามหน้าที่ หลังจากการซ่อมบำรุง จนถึงเกิดการเสียหายของเครื่องจักรรอบใหม่ ในแต่ละรอบของการทำงาน และ 3.เวลาเฉลี่ยในการซ่อม (Mean Time To Repair : MTTR) เป็นเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุง เพื่อให้เครื่องจักรสามารถกลับมาใช้งานได้ตามหน้าที่ดั้งเดิม ในแต่ละรอบของการทำงาน ความสัมพันธ์ MTBF MTTF และ MTTR ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ MTBF MTTF และ MTTR [8]

2.2 ความพร้อมใช้งานของระบบ (System Availability : A_s)

ความพร้อมใช้งานของระบบ เป็นการพิจารณาความพร้อมใช้งานของระบบ โดยระบบที่ประกอบด้วยหลาย ๆ ระบบที่เป็นการทำงานร่วมกันแบบอนุกรม ผลรวมของความพร้อมใช้งานของระบบสามารถคำนวณจากผลคูณของทุก ๆ ระบบ [9]-[10] สามารถหาความพร้อมใช้งานของระบบอนุกรม ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$A_s = \prod_{x=1}^n A_x \quad (2)$$

เมื่อ A_s คือ ความพร้อมใช้งานรวมของทุกระบบ

A_x คือ ความพร้อมใช้งานของแต่ละระบบ

s คือ สัญลักษณ์ตัวแปรของระบบ

x คือ สัญลักษณ์ตัวแปรจาก 1 ถึง n

n คือ สัญลักษณ์ตัวแปรของจำนวนระบบทั้งหมด

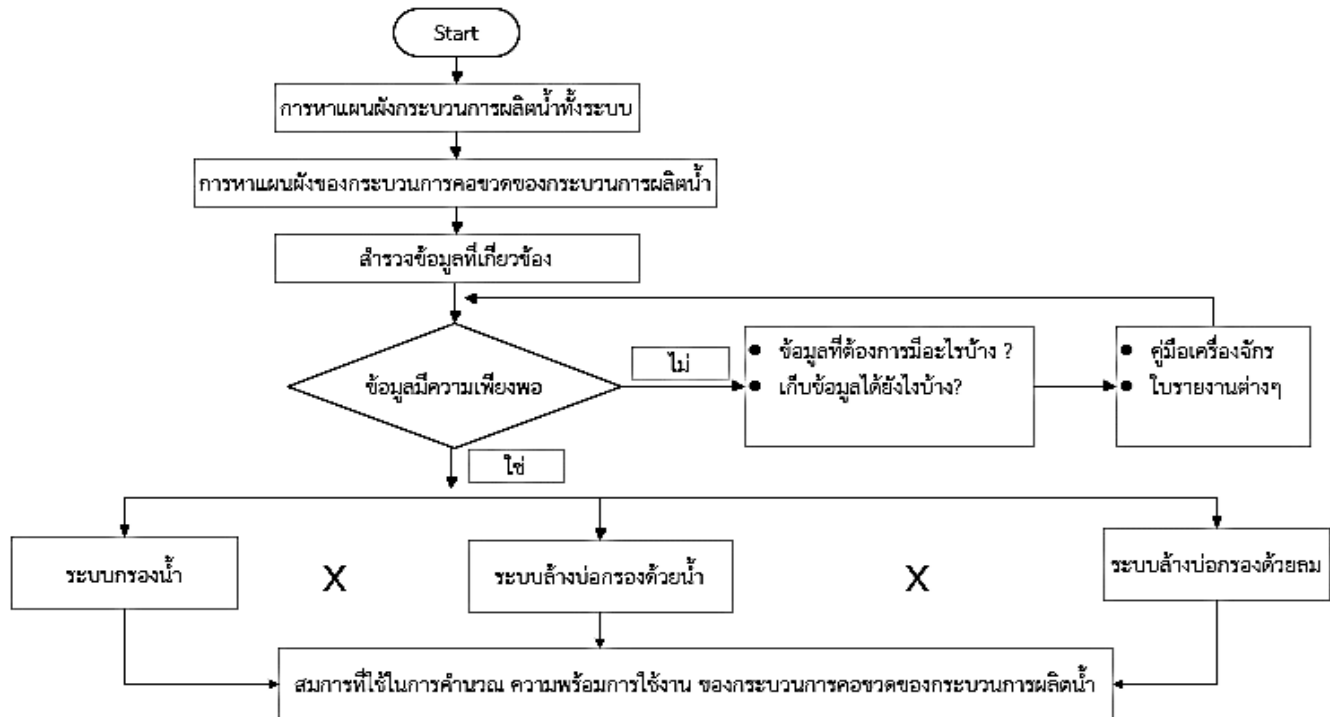
2.3 ความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ

คำจำกัดความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ [6] ที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม คือ 1.การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร (Failure/Breakdown Losses) 2.การสูญเสียเวลาตั้งค่า หรือการปรับแต่ง (Set-up/Adjustment Time Losses) 3.การสูญเสียเวลาที่ไมทำงาน และสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อย (Tdling and Minor Stop Losses) 4.การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็ว (Reduced Speed Losses) 5.การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิต (Startup Losses) 6.การสูญเสียเวลาจากการผลิตของเสีย และการแก้ไข (Defects and Rework Losses)

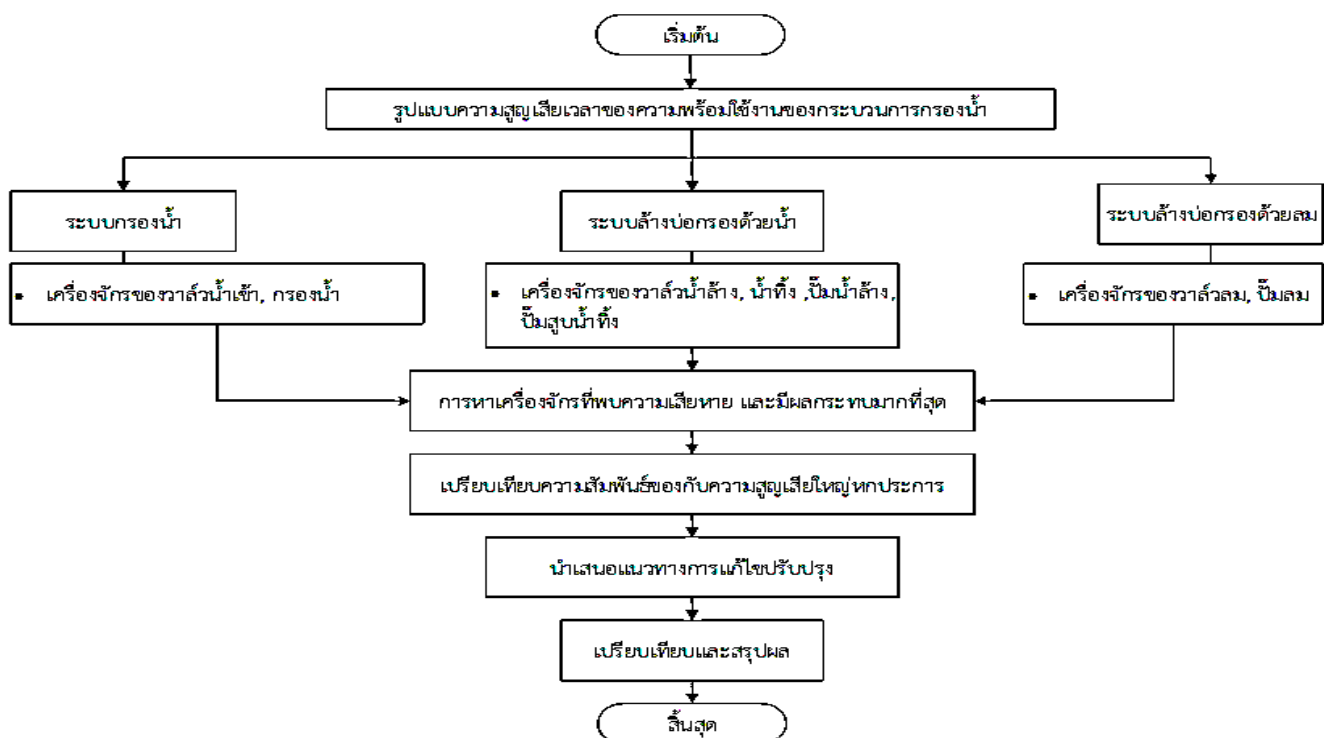
ในแต่ละภาคอุตสาหกรรม ค่าความพร้อมใช้งานจะมีค่าแตกต่างกันของแต่ละอุตสาหกรรม [11]-[14] ดังนั้นการวัดค่าความพร้อมใช้งานของกระบวนการ ต้องอาศัยข้อมูลต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตและข้อมูลเกี่ยวกับความเสียหายของเครื่องจักร มาคำนวณค่าความพร้อมใช้งาน เพื่อที่สะท้อนค่าที่เป็นจริง จากการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ และการแยกแยะความสูญเสียที่เกิดขึ้นจริง เพื่อนำไปประยุกต์หาแนวทางในการปรับปรุงของกระบวนการผลิตของในแต่ละอุตสาหกรรม

2.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ เพื่อเพิ่มความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำ ทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตน้ำประปาได้มากขึ้น ของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการนำเสนอขั้นตอนในการสร้างแผนผังของกระบวนการผลิตน้ำ การสำรวจข้อมูลและสมการในการหาความพร้อมใช้งานของระบบที่ใช้ในงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 3 ขั้นตอนที่สอง เป็นการนำเสนอขั้นตอนการหารูปแบบความสูญเสียเวลาของความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำ สาเหตุ การปรับปรุงและเปรียบเทียบสรุปผลการศึกษาวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ขั้นตอนการสร้างแผนผังของกระบวนการผลิตน้ำประปา และสมการในการหาความพร้อมการใช้งาน



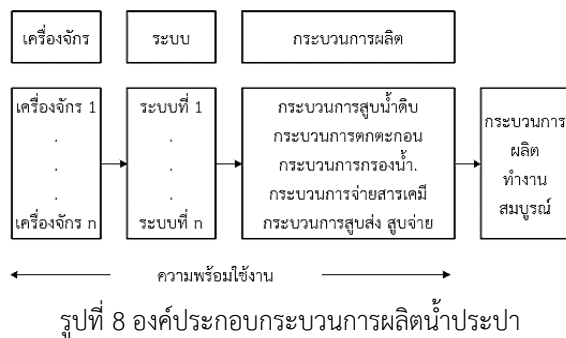
รูปที่ 4 ขั้นตอนการหารูปแบบความสูญเสีย การปรับปรุง และเปรียบเทียบสรุปผลการศึกษาวิจัย



2.5 โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

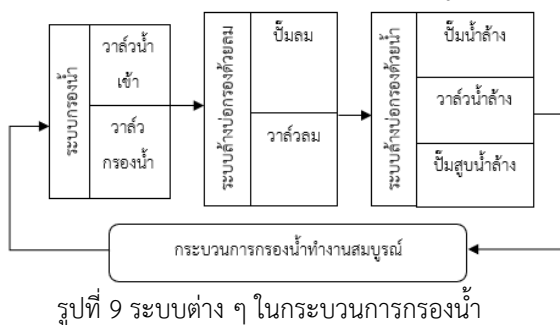
2.5.1 ระบบต่าง ๆ ของกระบวนการกรองน้ำ

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ แบ่งสายการผลิตน้ำประปา เป็น 4 สายการผลิตน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยประกอบด้วย กระบวนการหลัก 5 กระบวนการ คือ 1. กระบวนการสูบน้ำดิบ 2. กระบวนการตกตะกอน 3. กระบวนการกรองน้ำ 4. กระบวนการจ่ายสารเคมี และ 5. กระบวนการสูบน้ำส่ง สูบจ่าย สามารถเขียนแผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปา ดังแสดงในรูปที่ 6 และจำนวนระบบที่ต้องการในแต่ละ กระบวนการผลิตน้ำประปา ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งแต่ละ กระบวนการผลิตน้ำประปามีองค์ประกอบของเครื่องจักร และ ระบบต่าง ๆ เพื่อให้การทำงานสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 8



2.5.2 กระบวนการผลิตน้ำประปา และการนิยามเครื่องจักร ของกระบวนการกรองน้ำ

กระบวนการกรองน้ำ เป็นกระบวนการคอกวดของ กระบวนการผลิตน้ำประปา เนื่องจากมีปัญหาจากความเสียหายของเครื่องจักรบ่อยครั้ง ทำให้ความพร้อมการใช้งาน เครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำลดลง โดยกระบวนการ กรองน้ำ มีระบบที่เกี่ยวข้อง 3 ระบบ คือ ระบบกรองน้ำ ระบบล้างบ่อกรองด้วยลม และระบบล้างบ่อกรองด้วยน้ำ วงรอบการทำงานประมาณ 48 ชั่วโมง สามารถเขียนแผนผัง ระบบต่าง ๆ ของกระบวนการกรองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 9

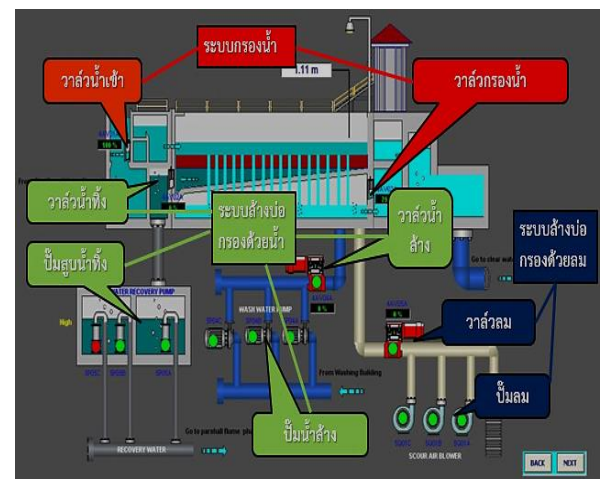


โดยกระบวนการกรองน้ำของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ แต่ละสายการผลิตน้ำมีจำนวนกระบวนการกรองน้ำ และ กำลังการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการกรองน้ำ ในแต่ละสายการผลิต

สายการผลิต	จำนวนกระบวนการกรองน้ำ (บ่อ)	การผลิตสูงสุด (ลบ.ม/วัน)
1	8	420,000
2	8	420,000
3	14	420,000
4	14	420,000

การทำงานสมบูรณ์ของแต่ละกระบวนการกรองน้ำ แต่ละบ่อกรอง ประกอบด้วยเครื่องจักรหลัก ดังแสดงในรูปที่ 10 และฟังก์ชันการทำงาน และค่าต่างๆ ในการควบคุม ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยมีงานที่เกี่ยวข้อง 4 ด้าน คือ งานด้านเครื่องวัด ไฟฟ้า เครื่องกล และระบบอัตโนมัติ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกันในการทำงานให้สมบูรณ์



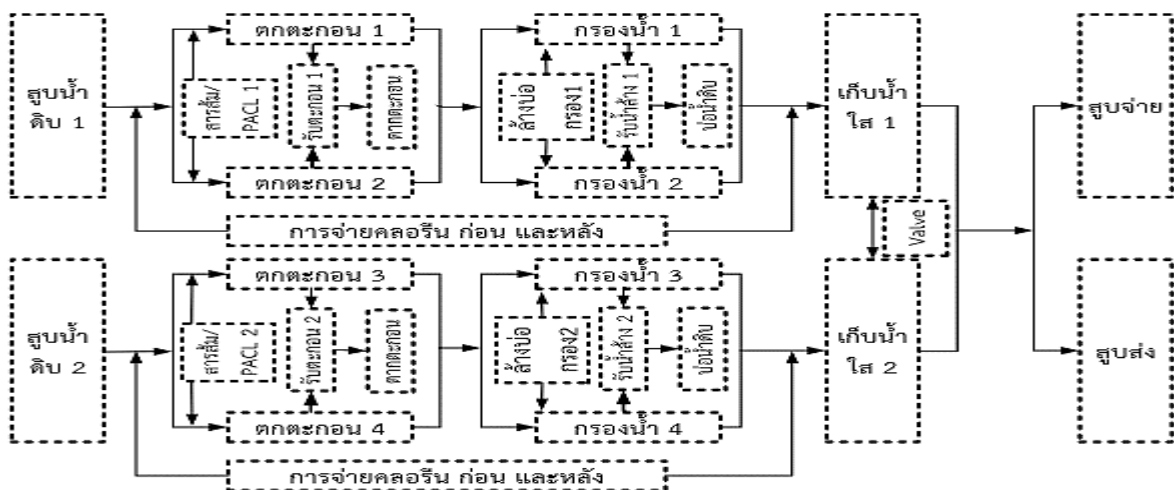
รูปที่ 10 เครื่องจักรหลักกระบวนการกรองน้ำ [15]



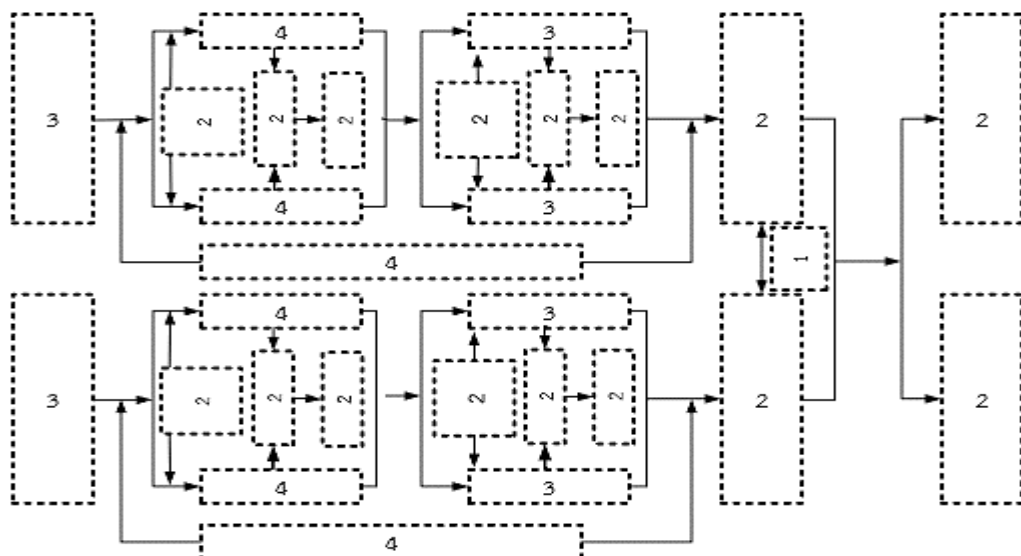
รูปที่ 11 ฟังก์ชันการทำงาน ในการควบคุมทำงานของ กระบวนการกรองน้ำ [15]



รูปที่ 5 กระบวนการผลิตน้ำประปา ของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ [15]



รูปที่ 6 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำประปา ของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์



รูปที่ 7 แผนผังจำนวนระบบที่ต้องการในแต่ละกระบวนการผลิตน้ำประปา



การนิยามเครื่องจักรแต่ละระบบของกระบวนการกรองน้ำ ประกอบด้วยเครื่องจักรหลักและอุปกรณ์สนับสนุนควบคุมต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 12-14 จำนวนเครื่องจักรในแต่ละระบบของกระบวนการกรองน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2 และหน้าที่การทำงานของเครื่องจักรแต่ละระบบของกระบวนการกรองน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3



(ก)



(ข)

รูปที่ 12 ตัวอย่างเครื่องจักรระบบล้างบ่อกรองด้วยน้ำ

(ก) เครื่องจักรหลัก (ข) อุปกรณ์สนับสนุนควบคุมต่าง ๆ [16]



(ก)



(ข)

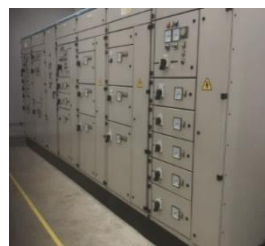


(ค)

รูปที่ 13 ตัวอย่างเครื่องจักรระบบกรองน้ำ (ก) เครื่องจักรหลัก (ข), (ค) อุปกรณ์สนับสนุนควบคุมต่าง ๆ [16]



(ก)



(ข)

รูปที่ 14 ตัวอย่างเครื่องจักรระบบล้างบ่อกรองด้วยลม

(ก) เครื่องจักรหลัก (ข) อุปกรณ์สนับสนุนควบคุมต่าง ๆ [16]

ตารางที่ 2 จำนวนเครื่องจักรทั้งหมด ของแต่ละระบบของกระบวนการกรองน้ำ ในแต่ละสายการผลิตน้ำ

สายการผลิต	กระบวนการกรองน้ำ (บ่อ)	ระบบกรองน้ำ (ชุด)	ระบบล้างบ่อด้วยน้ำ (ชุด)	ระบบล้างบ่อด้วยลม (ชุด)
1	8	108	57	60
2	8	108	57	60
3	14	162	87	78
4	14	162	87	78

ตารางที่ 3 หน้าที่การทำงานของเครื่องจักรในแต่ละระบบ

ประเภทของระบบ	หน้าที่
ระบบกรองน้ำ	เป็นระบบที่ใช้ในกรองน้ำ โดยมีเครื่องจักรหลัก และอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ คือ หัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับของวาล์วน้ำเข้า-ออก และชุดควบคุมฟังก์ชันการใช้งาน
ระบบล้างบ่อกรองด้วยลม	เป็นระบบที่ใช้ในล้างบ่อกรองด้วยลม โดยมีเครื่องจักรหลัก และอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ คือ หัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับของวาล์วลม บั๊มลม และชุดควบคุมฟังก์ชันการใช้งาน
ระบบล้างบ่อกรองด้วยน้ำ	เป็นระบบที่ใช้ในล้างบ่อกรองด้วยน้ำ โดยมีเครื่องจักรหลัก และอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ คือ หัวขับไฟฟ้าและชุดเกียร์ขับของวาล์วน้ำล้าง บั๊มสูบน้ำล้าง และชุดควบคุมฟังก์ชันการใช้งาน

2.6 การเปรียบเทียบผลการศึกษา และความพร้อมใช้งาน

การเปรียบเทียบผลการศึกษา และความพร้อมใช้งานของกระบวนการกรองน้ำ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.6.1 กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น

กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น โดยเปรียบเทียบกำลังการผลิตของบ่อกรองน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง ของแต่ละสายการผลิตน้ำ ดังแสดงในสมการ (3)

$$Q_{inc} = \sum_{i=1}^n Q_{out,i,after} - Q_{out,i,before} \quad (3)$$

เมื่อ Q_{inc} คือ กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น (ลบ.ม./วัน)

Q_{out} คือ กำลังการผลิต (ลบ.ม./วัน)

i คือ จำนวนบ่อกรองน้ำ ในแต่ละสาย

การผลิต โดยที่ i=1-8 [สายการผลิต 1,2]

i = 1-14 [สายการผลิต 3,4]



2.6.2 ความพร้อมใช้งานของระบบในกระบวนการกรองน้ำ

กระบวนการกรองน้ำ สามารถแบ่งช่วงเวลานึ่งปีของการใช้งานของแต่ละระบบได้ ดังแสดงรูปที่ 15 จากสมการที่ (1) ความพร้อมใช้งานของแต่ละระบบ สามารถนิยามดังสมการที่ (4) - (10)

$$MTTR_x = T_{re,x} \quad (4)$$

$$T_{pm,x} = \sum_{i=1}^n (t_{pmpt,i,x} + t_{st,i,x}) \quad (5)$$

$$T_{re,x} = \sum_{i=1}^n (t_{rt,i,x} + t_{st,i,x}) \quad (6)$$

$$MTBF_x = T_{lt,x} - T_{pm,x} \quad (7)$$

$$MTTF_x = MTBF_x - MTTR_x \quad (8)$$

$$A_x = \frac{MTBF_x - MTTR_x}{MTBF_x} \times 100 \quad (9)$$

$$A_s = \prod_{x=1}^3 A_x \quad (10)$$

เมื่อ MTTR คือ เวลาเฉลี่ยในการซ่อม (นาท)

T_{pm} คือ เวลาเฉลี่ยบำรุงรักษาตามแผนของแต่ละระบบ (นาท)

t_{pmpt} คือ เวลาบำรุงรักษาเชิงป้องกันเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์ (นาท)

t_{st} คือ เวลาตั้งค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์ (นาท)

T_{re} คือ เวลาเฉลี่ยซ่อมฉุกเฉินแต่ละระบบ (นาท)

t_{rt} คือ เวลาเฉลี่ยซ่อมของแต่ละอุปกรณ์ (นาท)

T_{lt} คือ เวลาเฉลี่ยนำระบบใช้งาน (นาท)

MTBF คือ เวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (นาท)

MTTF คือ เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย (นาท)

A_x คือ ความพร้อมใช้งานของแต่ละระบบ (%)

A_s คือ ความพร้อมใช้งานของกระบวนการกรองน้ำในแต่ละสายการผลิต (%)

i, n คือ จำนวนเครื่องจักรในแต่ละระบบ แต่ละสายการผลิต ตามแสดงในตารางที่ 2

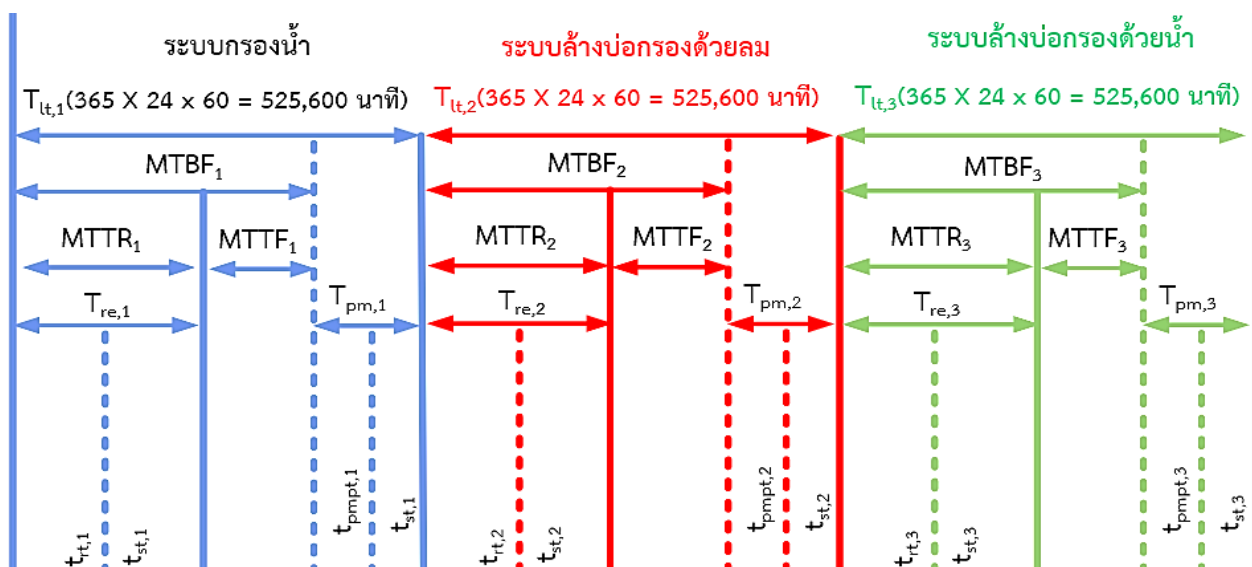
x คือ ระบบต่าง ๆ ในแต่ละกระบวนการกรองน้ำ โดยที่ $x = 1$ [ระบบกรองน้ำ]

2 [ระบบล้างบ่อกรองด้วยลม] และ

3 [ระบบล้างบ่อกรองด้วยน้ำ]

2.7 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลของเครื่องจักรต่าง ๆ ตามตารางที่ 2 โดยแบ่งข้อมูล คือ 1. เวลาบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) 2. เวลาซ่อมฉุกเฉิน (Emergency repair) ประกอบด้วย 2.1 เวลาในการซ่อมฉุกเฉินของการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance: CM) 2.2 เวลาในการซ่อมฉุกเฉินของการบำรุงรักษาเชิงชำรุด (Breakdown Maintenance : BM) ข้อมูลที่ 1 จากแผนการบำรุงรักษา ข้อมูลที่ 2 จากระบบการจัดการงานบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Maintenance Management System : CMMS) ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 1 ปีย้อนหลัง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่าง ๆ และเก็บข้อมูล 1 ปี หลังจากการปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง



รูปที่ 15 ช่วงเวลาหนึ่งปีของการใช้งานของแต่ละระบบ ในกระบวนการกรองน้ำ



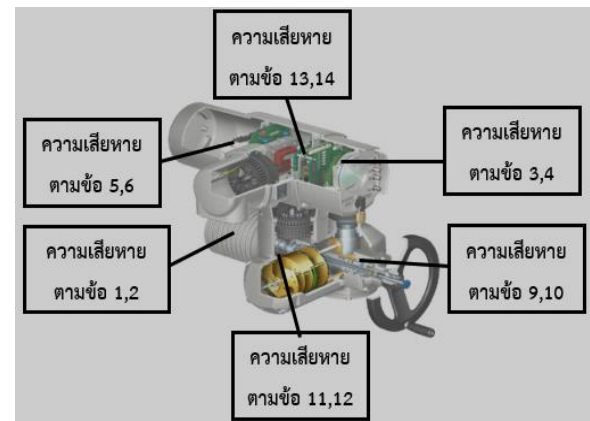
3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากศึกษาสามารถสรุปสาเหตุของการสูญเสียเวลาของเครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4 เครื่องจักรที่พบความเสียหายมากที่สุด คือ หัวขับไฟฟ้า ซึ่งมีจำนวน 226 ชุด และเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในทุกระบบของกระบวนการกรองน้ำ

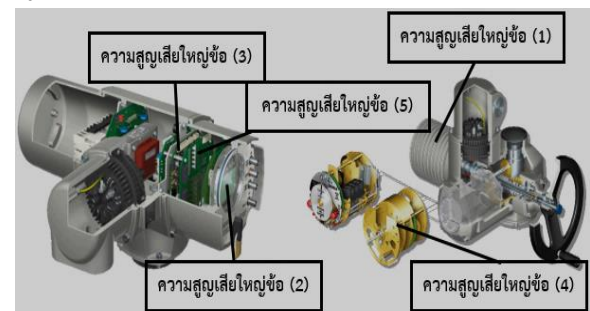
ตารางที่ 4 สาเหตุของการสูญเสียเวลาเนื่องจากความเสียหายของเครื่องจักร

ข้อ	รายละเอียด	งานด้าน
1	ชุดควบคุมมอเตอร์เสื่อมสภาพ	ไฟฟ้า
2	ชุดควบคุมมอเตอร์เสียหาย	
3	ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เสื่อมสภาพ	
4	ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เสียหาย	
5	ชุดอุปกรณ์ช่วยระบบไฟฟ้าเสื่อมสภาพ	
6	ชุดอุปกรณ์ช่วยระบบไฟฟ้าเสียหาย	
7	ชุดอุปกรณ์หลักระบบไฟฟ้าเสื่อมสภาพ	ไฟฟ้า + อัตโนมัติ + เครื่องวัด
8	ชุดอุปกรณ์หลักระบบไฟฟ้าเสียหาย	
9	ชุดอุปกรณ์หลักขับเคลื่อนทางกลเสื่อมสภาพ	เครื่องกล
10	ชุดอุปกรณ์หลักขับเคลื่อนทางกลเสียหาย	
11	สารหล่อลื่น ซิล เสื่อมสภาพ	ไฟฟ้า + เครื่องกล
12	สารหล่อลื่น ซิล เสียหาย	
13	ระบบอัตโนมัติเสื่อมสภาพ	อัตโนมัติ
14	ระบบอัตโนมัติเสียหาย	

จากตารางที่ 4 สามารถสรุปความเสียหายของหัวขับไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 16 ความสูญเสียใหญ่ 6 ประการที่มีความสัมพันธ์กับหัวขับไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 17 และความสัมพันธ์ของการปรับปรุงกับความสูญเสีย ดังแสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 16 ตัวอย่างความเสียหายของหัวขับไฟฟ้า [17]



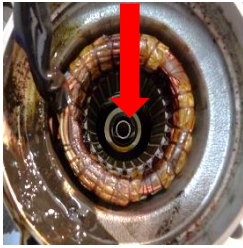
รูปที่ 17 ตัวอย่างของความสูญเสียใหญ่ 6 ประการที่มีความสัมพันธ์กับหัวขับไฟฟ้า [17]

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ของการปรับปรุงกับความสูญเสีย รูปแบบปัญหา และแนวทางการปรับปรุง

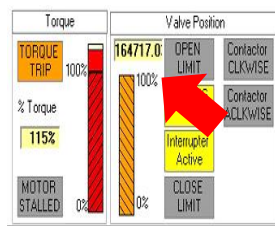
ความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ	สาเหตุที่พบ	รูปแบบของ การแก้ไข	แนวทางการปรับปรุง
(1) การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร	มอเตอร์ของหัวขับไฟฟ้าไหม้เนื่องจากซิล น้ำมันรั่ว เข้าไปห้องมอเตอร์	BM	ปรับแผนงาน กำหนดเวลาเปลี่ยนอุปกรณ์ ซิล ของมอเตอร์ของหัวขับไฟฟ้า
(2) การสูญเสียเวลาการตั้งค่า หรือ การปรับแต่ง	การตั้งค่าตำแหน่งของหัวขับไฟฟ้าหลังจากบำรุงรักษา	PM, CM,	จัดทำ เอกสารอธิบายรายละเอียดวิธีดำเนินงาน (Work Instruction)
(3) การสูญเสียเวลาที่ไม่ทำงาน และการสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อย	ฟังก์ชันการทำงานของหัวขับไฟฟ้าเกิดผิดพลาด ทำให้ระบบอัตโนมัติ สั่งหยุดการทำงานของระบบ	PM, CM, BM	ปรับแผนงาน การตรวจสอบ ฟังก์ชันการทำงานของหัวขับไฟฟ้า และจัดทำ เอกสารอธิบายรายละเอียดวิธีดำเนินงาน (Work Instruction)
(4) การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็ว	% ของวาล์ว ไม่ตรงกับความเป็นจริงของกระบวนการผลิต	PM, CM	ปรับตั้งฟังก์ชันควบคุม % ของวาล์วของชุดหัวขับไฟฟ้า ให้ตรงตามความเป็นจริง
(5) การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิต	การผิดของชุดอุปกรณ์เครื่องกล ช่วงเริ่มต้นในแต่ละระบบ	PM, CM	ปรับแผนงาน กำหนดเวลาเปลี่ยนสารหล่อลื่น และการปรับตั้งตำแหน่ง
(6) การสูญเสียเวลาจากการผลิตของเสีย และการแก้ไข	ไม่มี เนื่องจากการผลิตน้ำ ไม่มีการเรียกคืนผลิตภัณฑ์	-	-



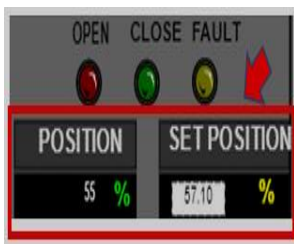
ผลการศึกษาของความสูญเสียใหญ่ 6 ประการที่พบกับ
หัวขับไฟฟ้าในระบบการกรองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 18



(ก)



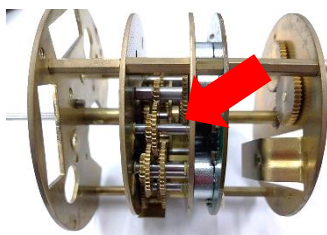
(ข)



(ค)



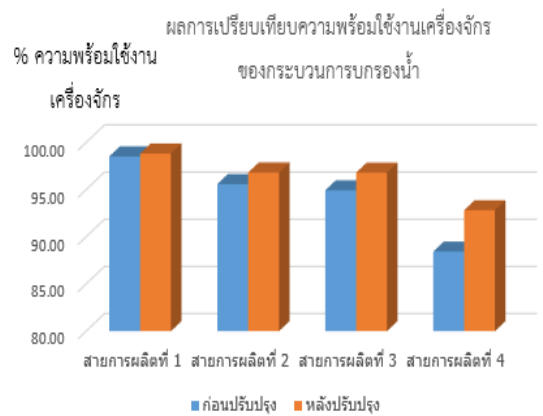
(ง)



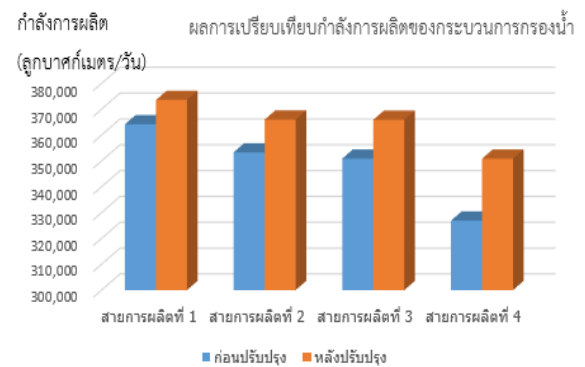
(จ)

รูปที่ 18 ตัวอย่างความสูญเสียใหญ่ 6 ประการที่พบกับหัวขับไฟฟ้าในระบบการกรองน้ำ (ก) การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร (ข) การสูญเสียเวลาการตั้งค่าหรือ การปรับแต่ง (ค) การสูญเสียเวลาที่ไม่ทำงานและการสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อย (ง) การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็ว (จ) การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิต [17]

การคำนวณหาความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของระบบต่าง ๆ ในระบบการกรองน้ำ ดังสมการที่ 4-10 และกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังสมการที่ 3 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของระบบการกรองน้ำ แต่ละสายการผลิตน้ำประปา ก่อนและหลังจากการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 19 และกำลังการผลิตน้ำประปา ก่อนและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบความพร้อมใช้งานเครื่องจักรของแต่ละสายการผลิต



รูปที่ 20 กำลังการผลิตน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากผลการศึกษา พบว่า ระบบการกรองน้ำ มีระบบที่เกี่ยวข้อง 3 ระบบ คือ ระบบกรองน้ำ ระบบล้างบ่อกรองด้วยลม และระบบล้างบ่อกรองด้วยน้ำ โดยระบบกรองน้ำพบความเสียหายของเครื่องจักรมากที่สุด คือ หัวขับไฟฟ้า ซึ่งองค์ประกอบของการทำงานจะเกี่ยวข้องกับงานด้านไฟฟ้า เครื่องกล และอัตโนมัติ เพื่อที่จะทำให้ระบบกรองน้ำทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหัวขับไฟฟ้าสามารถเปรียบเทียบกับความสูญเสียใหญ่ 6 ประการเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงความสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ 1.การสูญเสียเวลาจากความเสียหายของเครื่องจักร เกี่ยวข้องกับการซ่อมฉุกเฉินของการบำรุงรักษาเชิงซำรุด สามารถใช้การปรับแผนงานกำหนดเวลาเปลี่ยนอุปกรณ์ ในการปรับปรุง 2. การสูญเสียเวลาการตั้งค่าหรือ การปรับแต่ง เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงสามารถใช้การจัดทำ เอกสารอธิบายรายละเอียดวิธีดำเนินงาน



ในการปรับปรุง 3.การสูญเสียเวลาที่ไม่ทำงานและการสูญเสียเวลาหยุดเล็กน้อยเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง และ การซ่อมฉุกเฉินของการบำรุงรักษาเชิงชำรุด สามารถใช้การปรับแผนงาน การตรวจสอบ ฟังก์ชันการทำงานของหัวขับไฟฟ้า และจัดทำ เอกสารอธิบายรายละเอียดวิธีดำเนินงาน ในการปรับปรุง 4. การสูญเสียเวลาจากการลดความเร็วเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง สามารถใช้การปรับตั้งฟังก์ชันควบคุม % ของวาล์วของชุดหัวขับไฟฟ้า ให้ตรงตามความเป็นจริง 5. การสูญเสียเวลาจากช่วงเริ่มต้นผลิตเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง สามารถใช้การปรับแผนงาน กำหนดเวลาเปลี่ยนสารหล่อลื่น และการปรับตั้งตำแหน่ง และ 6. การสูญเสียเวลาจากการผลิตของเสีย และการแก้ไข ไม่พบความสูญเสีย เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ผลิตน้ำประปาตามแผนน้ำประปาตลอดภัย ตามแนวทางขององค์การอนามัยโลก ไม่มีการเรียกคืนผลิตภัณฑ์

4. บทสรุป

การศึกษานี้ เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์หาระบบต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตน้ำประปาของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ โดยศึกษากระบวนการคอกวด ของกระบวนการผลิตน้ำ คือ กระบวนการกรองน้ำ ซึ่งประกอบด้วย 3 ระบบ คือ ระบบกรองน้ำ ระบบล้างบ่อกรองด้วยลม ระบบล้างบ่อกรองด้วยน้ำ โดยมีเครื่องจักร ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการพิจารณารูปแบบช่วงเวลาการทำงานในแต่ละระบบ เพื่อใช้ในการนำเสนอสมการในการหาค่าความพร้อมใช้งาน เครื่องจักรของกระบวนการกรองน้ำในแต่ละสายการผลิตน้ำ และนำเสนอความสัมพันธ์ของความเสียหายของเครื่องจักรกับความสูญเสียใหญ่ 6 ประการ พร้อมทั้งนำเสนอแนวทางการปรับปรุง พบว่าในกระบวนการกรองน้ำ เครื่องจักรที่มีความเสียหายมากที่สุด คือ หัวขับไฟฟ้า ซึ่งมีหน้าที่ในการควบคุมการ เปิด-ปิด ของวาล์วต่าง ๆ ในระบบต่าง ๆ ของกระบวนการกรองน้ำ ความถี่ของความเสียหายที่พบจะแตกต่างกันกับความถี่ของการใช้งาน ซึ่งหัวขับไฟฟ้าที่มีความเสียหายมากที่สุด คือ หัวขับไฟฟ้าที่ควบคุมวาล์วกรองน้ำซึ่งอยู่ในระบบกรองน้ำ เนื่องจากมีความถี่ในการทำงาน

มากที่สุด เพื่อปรับปริมาณน้ำที่กรองในระบบกรองน้ำ ผลการศึกษาการเพิ่มความพร้อมการใช้งานเครื่องจักรและกำลังการผลิตน้ำ ของกระบวนการกรองน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ความพร้อมการใช้งานเครื่องจักรก่อน และหลังการปรับปรุงของกระบวนการกรองน้ำ

สายการผลิตที่	ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร(%)		ความพร้อมใช้งานเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้น(%)
	ก่อน	หลัง	
1	98.53	98.82	0.3
2	95.59	96.82	1.29
3	94.93	96.80	1.97
4	88.44	92.82	4.95

ตารางที่ 7 กำลังการผลิตน้ำก่อน และหลังการปรับปรุงของกระบวนการกรองน้ำ

สายการผลิตที่	กำลังการผลิตน้ำ (ลบ.ม/วัน)		กำลังการผลิตน้ำที่เพิ่มขึ้น(ลบ.ม/วัน)
	ก่อน	หลัง	
1	364,155	373,556	9,401.55
2	353,294	365,970	12,675.18
3	350,877	365,919	15,041.94
4	326,867	350,858	23,290.99

สำหรับการศึกษาในอนาคต ผู้เขียนมีแนวคิดในการศึกษาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความเสียหาย และความสัมพันธ์ของช่วงเวลาการใช้งานของหัวขับไฟฟ้า ในช่วงเวลาตลอดอายุการใช้จริงของหัวขับไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการหัวขับไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรมอาหาร รวมถึงอุตสาหกรรมที่มีการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ที่สนับสนุนข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้



6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hsu CC. The role of the core competence and core resource features of a sharing economy on the achievement of SDGs 2030. *J Innov Knowledge* 2023; 8(1): 100283-1-10.
- [2] Mulligan M, Soesbergen AV, Hole DG, Brooks TM, Burke S, Hutton J. Mapping nature's contribution to SDG 6 and implications for other SDGs at policy relevant scales. *J Remote Sens Environ.* 2020;239:111671-1-10.
- [3] Water Resource and Environment Department. The Crisis of Water Quality change to a real time Raw Water Quality Monitoring System. Metropolitan Waterworks Authority Report. 2021. p. 1-3. Thai.
- [4] Butsangdee W, Thaisiam W, Kanasut J. Salinity Intrusion Analysis in the Chao Phraya River. In: *Proceedings of the 14th THAICID National e-Symposium*. 2021. p. 72-3. Thai.
- [5] Lapnimitchai C, Thaisiam W, Kanasut J. Hourly Salinity Prediction at Sumlae Pumping Station Using Hourly Water Level Data. In: *Proceedings of the 14th THAICID National e-Symposium*. 2021. p. 95-6. Thai.
- [6] Kigsirisin S, Pussawiro S, Noohawm O. Approach for Total Productive Maintenance Evaluation in Water Productivity: A Case Study at Mahasawat Water Treatment Plant. *Procedia Eng.* 2016;154:260-7.
- [7] Chikwendu OC, Chima AS, Edith MC. The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company. *Heliyon J.* 2020; 6:e03796-1-10.
- [8] Colak AB, Sindhu TN, Lone SA, Shafiq A, Abushal TA. Reliability study of generalized Rayleigh distribution based on inverse power law using artificial neural network with Bayesian regularization. *Tribol Int J.* 2023; 185: 108544-1-16.
- [9] Simon DF, Teixeira M, Costa JP. Availability estimation in photovoltaic generation systems using Timed Petri Net simulation models. *Int J Electr Power Energy Syst.* 2022; 137: 106897-1-8.
- [10] Vidson JD. The reliability of mechanical systems. Mechanical Engineering Publications Limited for The Institution of Mechanical Engineers LONDON. 1988. p. 48-49.
- [11] Moreira A, Silva FJ, Correia AI, Pereira T, Ferreira LP, De Almeida F. Cost reduction and quality improvements in the printing industry. *Procedia Manuf.* 2018;17:623-30.
- [12] Chikwendu OC, Chima AS, Edith MC. The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company. *Heliyon J.* 2020; 6:e03796-1-10.
- [13] Relkar AS, Nandurkar KN. Optimizing & Analysing Overall Equipment Effectiveness (OEE) Through Design of Experiments (DOE). *ICMOC 2012: Procedia Eng.* 2012; 38:2973-80.
- [14] Hedman R, Subramaniyan M, Almström P. Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE. *CIRP-CMS 2016: Procedia CIRP.* 2016; 57:128-133.
- [15] Production Department. The Procedure of Water Treatment Process. 2018.Thai
- [16] Maintenance Department. The Procedure of Machine Equipment Maintenance. 2017.Thai
- [17] Maintenance Department. The Root Cause of Electric Actuator Failure and Overhaul. Maintenance Report. 2019.Thai.

