



การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ

วิศรุต พลหงษ์ และ จิตรา รุกิจการพานิช*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-0580-3170 อีเมล: wisarut.pol@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.11.017

รับเมื่อ 21 กันยายน 2559 ตอรับเมื่อ 22 ธันวาคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 20 พฤศจิกายน 2560

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษมีการใช้ปั๊มประเภทหอยโข่งเป็นจำนวนมาก เมื่อปั๊มเกิดเหตุขัดข้องจะส่งผลให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก ดังนั้นการบำรุงรักษาปั๊มจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะลดการเกิดเหตุขัดข้องลง แม้ว่ามีการใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกันของปั๊มแต่ยังพบการเกิดเหตุขัดข้องของปั๊มอยู่ มีสาเหตุมาจากการกำหนดระยะเวลาในการตรวจเช็คและบำรุงรักษาไม่สัมพันธ์กับตัวแปรหลัก 3 ตัว ได้แก่ ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงานของปั๊ม ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คสภาพปั๊ม โดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์เพื่อช่วยแสดงสถานะของปั๊มและสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสัมพันธ์กับตัวแปรทั้งสาม โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังนี้ 1) จัดกลุ่มของปั๊ม แยกตามระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงาน 2) ทำการวัดค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าความสัมพันธ์เพื่อพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คสภาพปั๊ม 3) ดำเนินการตรวจเช็คสภาพปั๊มตามระยะเวลาที่ได้พยากรณ์ไว้ เมื่อพบว่าปั๊มมีแนวโน้มเกิดเหตุขัดข้องก็จะทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 4) ทำการประเมินผลการดำเนินงานจากค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างเกิดการขัดข้อง (MTBF) และค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ (MTTR) ผลการดำเนินงานพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คสภาพปั๊มทุก 7 วัน ทุก 15 วัน และทุก 30 วัน เมื่อทำการตรวจระยะเวลาดังกล่าวและดำเนินการแก้ไขเมื่อพบว่ามีแนวโน้มการเกิดเหตุขัดข้อง ส่งผลให้ค่า MTBF ในหน่วยบ่าบตันน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 724 ชั่วโมง (เพิ่มขึ้น 50.16%) และค่า MTTR ในหน่วยการฟอกเยื่อ มีค่าลดลงถึง 12.02 นาที (ลดลง 13.19%)

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์, ความสัมพันธ์, การตรวจเช็คปั๊มประเภทหอยโข่ง

Predictive Maintenance for Centrifugal Pumps in Pulp Industry

Wisarat Polhong and Jitra Rukijkanpanich*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-0580-3170, E-mail: wisarut.pol@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.11.017

Received 21 September 2016; Accepted 22 December 2016; Published online: 20 November 2017

© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Centrifugal pumps are commonly used in the process for making paper pulp. Pump failure may result in the production process disruption. Maintenance and troubleshooting of centrifugal pumps play a key role in reducing such failure. Despite all the care in preventive maintenance, some unexpected failures can still be found. Generally the failure are caused by unrelated timetable for typical inspection and 3 equipment parameters, i.e. the priority queue, a pump's operational lifetime and workload. This research aims to determine the appropriate time period recommended for pump inspection through predictive maintenance and pump vibration analysis as to determine its mechanical condition. The relationships between the vibration values obtained and the three main parameters were carried out. Studying steps are 1) grouping the pumps by these parameters; 2) measuring the vibration of the bearing, and then observing its changes for a reliable prediction of upcoming inspection periods; 3) performance monitoring and inspecting based on the of the forecast period. As potential problems are identified, preventive maintenance can be administered and performed properly; 4) calculating the Mean Time Between Failures (MTBF) and the Mean Time To Repair (MTTR). The results show that the proper time periods for regular inspection and maintenance are every 7 days, every 15 days and every 30 days. As the procedures were completed as the indicated time, the MTBF of the pumps in water treatment unit was found to increase to 724 hours (50.16%), and the MTTR of pumps in Brownstock unit reduced to 12.02 minutes (13.19%).

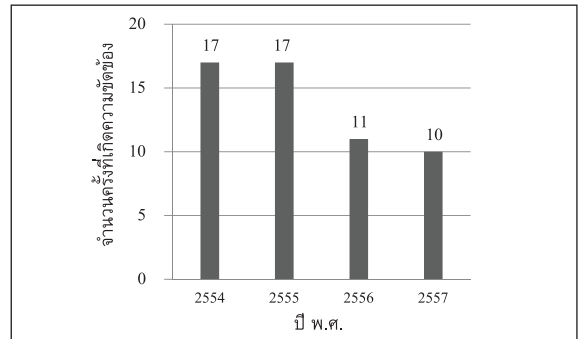
Keywords: Predictive Maintenance, Vibration, Inspection Centrifugal Pump

1. บทนำ

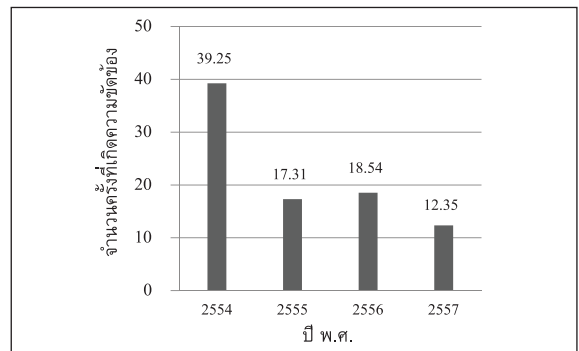
ปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการส่งถ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานต้นกำเนิดไปยังของเหลว เพื่อให้ไหลของเหลวเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่มีตำแหน่งที่ไกลกว่าหรือสูงกว่า ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้ปั๊มในกิจกรรมต่างๆ อยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ภาคครัวเรือน ภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม โดยในภาคอุตสาหกรรมมีปริมาณการใช้งานปั๊มค่อนข้างมาก เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมีใช้ส่งถ่ายสารเคมีในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมน้ำมันใช้ส่งถ่ายน้ำมันจากแหล่งผลิตไปสู่แหล่งที่เก็บ อุตสาหกรรมยานยนต์ใช้ในระบบการหล่อเย็นระบายความร้อนต่างๆ รวมถึงอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษใช้ในการขนถ่ายสารเคมีและเยื่อกระดาษ

กรณีศึกษาของงานวิจัยนี้เป็นโรงงานผลิตเยื่อกระดาษในกระบวนการผลิตมีการใช้งานปั๊มประเภทหอยโข่ง (Centrifugal Pump) เป็นจำนวนมาก และได้ให้ความสำคัญกับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เพื่อให้ปั๊มประเภทหอยโข่งสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามยังพบว่าการเกิดเหตุขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่งอยู่ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างเกิดการขัดข้อง (Mean Time Between Failures; MTBF) ในแต่ละหน่วยการผลิต พบว่าช่วงก่อนการปรับปรุง มีค่า 392.57 ชั่วโมง ถึง 1443.33 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยของเวลาดังแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ (Mean Time To Repair; MTRR) ก่อนการปรับปรุง มีค่า 25.92 นาที ถึง 95 นาที ซึ่งการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่าการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สามารถช่วยลดช่องว่างของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ส่งผลให้เกิดเหตุขัดข้องน้อยลงได้อีก

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการป้องกันการเกิดเหตุขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่งโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ด้วยการพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คสภาพปั๊ม จัดทำแผนการตรวจเช็คค่าความสั่นสะเทือน (Vibration) ของปั๊มประเภทหอยโข่งที่มีความเหมาะสม และสามารถทำให้ปั๊มมีประสิทธิภาพการผลิตที่สูงมากขึ้น โดยจะใช้ค่าความสั่นสะเทือนเป็น



รูปที่ 1 ความขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง (ครั้ง)

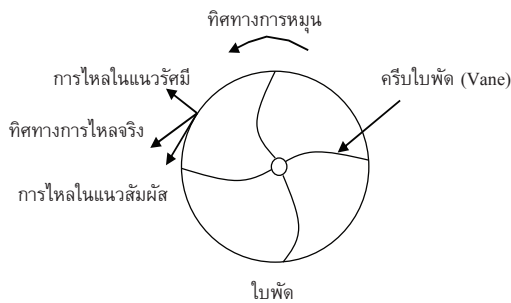


รูปที่ 2 ความขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง (ชั่วโมง)

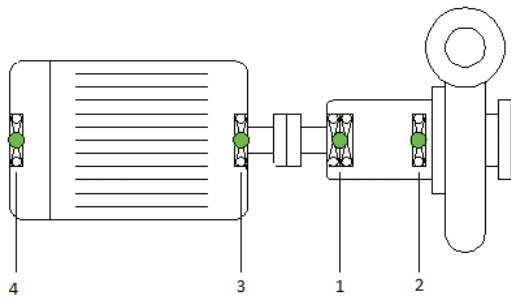
พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลัก 3 ตัว ได้แก่ ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงานของปั๊ม

1.1 ลักษณะและการทำงานของปั๊มประเภทหอยโข่ง

ปั๊มประเภทหอยโข่ง ใช้หลักการเพิ่มพลังงานให้กับของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งใบพัดจะได้รับพลังงานถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทไปยังครีบของใบพัด (Vane) และของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential Flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial Flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลักดันออกมาจะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ทิศทางการไหลของของเหลวบริเวณใบพัด



รูปที่ 4 ตำแหน่งของการวัดค่าความสั่นสะเทือนในปั๊ม

การวัดการสั่นสะเทือนใช้ในการประเมินสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องการ เช่น เครื่องยนต์ดีเซล เกียร์ทด มอเตอร์ และปั๊ม เป็นต้น โดยต้องกำหนดจุดตรวจวัดของเครื่องจักรและอุปกรณ์เหล่านี้ ซึ่งการเก็บข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของสเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินสภาพหรือความผิดปกติของเครื่องจักรและอุปกรณ์ได้ [1] เช่น การไม่สมดุล (Imbalance) การเยื้องศูนย์ (Misalignment) การหลุดหลวมทางกล (Mechanical Looseness) การชำรุดของเฟือง (Gear Tooth Defect) สายพานชำรุด (Belt Defect) การชำรุดของลูกปืน (Bearing Defect) เป็นต้น เพื่อที่จะสามารถวางแผนการซ่อมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ทันกาล ก่อนเครื่องจักรจะเกิดความเสียหายเป็นอันให้ต้องหยุดเครื่องจักร

ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนในปั๊มนั้น โดยปกติแล้ว จะทำการวัดในตำแหน่งของลูกปืน (Bearing) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความสั่นสะเทือน โดยจะวัดทั้งหมด 4 จุดคือ จุดที่ 1 คือ ลูกปืนฝั่งปั๊มด้านซ้าย จุดที่ 2 คือ ลูกปืนฝั่งปั๊มด้านตาม จุดที่ 3 คือ ลูกปืนมอเตอร์ด้านตาม และจุดที่ 4 คือ ลูกปืนมอเตอร์ฝั่งซ้าย [2], [3]

1.2 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์คือ การทำงานบำรุงรักษา โดยกำหนดให้มีกิจกรรมการตรวจวัดสภาพการทำงาน หรือวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้วยเครื่องมือตรวจจับหรือเครื่องมือทดสอบที่สามารถวิเคราะห์สภาพความรุนแรงของความผิดปกติได้ ทำให้สามารถพยากรณ์โอกาสที่จะเกิดการเสียหายของเครื่องจักร และกำหนดแผนการบำรุงรักษาก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายที่รุนแรงได้ [4]

จากการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์พบว่ามีการนำการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนมาใช้กับปั๊มที่ใช้ในโรงไฟฟ้าโดยทำการตรวจเช็คสภาพปั๊ม ด้วยระยะเวลาไม่คงที่ และวิเคราะห์กราฟสเปกตรัมของค่าความสั่นสะเทือน จะได้ผลออกมา เช่น ปั๊มมีการเยื้องศูนย์ ปั๊มมีจุดที่หลวมคลอน หรือลูกปืนเกิดความเสียหาย [5] การนำผลวิเคราะห์ค่าสั่นสะเทือนมาจัดทำเป็นโปรแกรมในการทำนายประเภทของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรเพื่อให้เกิดความสะดวกมากขึ้น [6] การนำการวัดค่าความสั่นสะเทือนมาใช้กับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมน้ำมัน ซึ่งได้แบ่งระยะเวลาในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนตามรอบการทำงานของเครื่องจักรนั้นๆ [7]

และยังมีการนำการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนมาใช้วิเคราะห์ความเสียหายควบคู่กับการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารหล่อลื่นในเครื่องจักร Rotary Vane Air Compressor ซึ่งมีการนำค่าความสั่นสะเทือนมาพล็อตให้เห็นแนวโน้มค่าความสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง [8]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในการนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 แบ่งกลุ่มของป้อมประเภทหอยโข่ง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์โดยแบ่งตัวแปรหลักได้แก่ 1) ระดับความสำคัญ 2) อายุการใช้งาน 3) ภาระงาน

2.1.1 ระดับความสำคัญในกระบวนการผลิต แบ่งออกเป็น 3 ระดับ [2], [9] ได้แก่

ระดับ A หมายถึง เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหายส่งผลให้กระบวนการผลิตหยุดทั้งหมด ทำให้สูญเสียโอกาสในการผลิต

ระดับ B หมายถึง เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหายกระบวนการผลิตยังสามารถผลิตได้ต่อเนื่อง แต่จะต้องลดกำลังการผลิตลง ทำให้สูญเสียผลผลิตบางส่วน

ระดับ C หมายถึง เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหายจะไม่กระทบต่อกระบวนการผลิต

2.1.2 อายุการใช้งานของป้อม หมายถึง อายุการใช้งานของป้อมตั้งแต่ติดตั้งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงอายุ ได้แก่

อายุการใช้งานมาก หมายถึง อายุการใช้งานของป้อมตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป

อายุการใช้งานปานกลาง หมายถึง อายุการใช้งานป้อมระหว่าง 5 ถึง 10 ปี

อายุการใช้งานน้อย หมายถึง อายุการใช้งานป้อมระหว่าง 0 ถึง 5 ปี

2.1.3 ภาระงาน หมายถึง จำนวนชั่วโมงการทำงานของป้อมในแต่ละวัน แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาได้แก่

ภาระมาก คือ ชั่วโมงทำงานอยู่ระหว่าง 17 ถึง 24 ชั่วโมงต่อวัน

ภาระปานกลาง คือ มีการใช้งานระหว่าง 9 ถึง 16 ชั่วโมงต่อวัน

ภาระน้อย คือ มีการใช้งานระหว่าง 0 ถึง 8 ชั่วโมงต่อวัน

จากการแบ่งกลุ่มของป้อมประเภทหอยโข่งตามตัวแปรหลักทั้ง 3 ตัว ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มได้ทั้งหมด 27 กลุ่มด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้มีป้อมที่ใช้งานอยู่เพียง 17 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่วนกลุ่มที่เหลือไม่มีป้อมดังกล่าวในหน่วยการผลิต จึงไม่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ กลุ่มที่ 3, 13, 16, 19, 20, 22, 23, 25, 26 และ 27 โดย

ตัวอย่างการนิยามของแต่ละกลุ่ม เช่น กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ A อายุการใช้งานมาก ภาระงานมาก

ตารางที่ 1 การแบ่งกลุ่มของป้อมประเภทหอยโข่ง

ระดับความสำคัญ	อายุการใช้งาน	ภาระงาน	กลุ่มที่	กลุ่มที่ทำการวิเคราะห์
A	มาก	มาก	1	/
		ปานกลาง	2	/
		น้อย	3	—
	ปานกลาง	มาก	4	/
		ปานกลาง	5	/
		น้อย	6	/
	น้อย	มาก	7	/
		ปานกลาง	8	/
		น้อย	9	/
B	มาก	มาก	10	/
		ปานกลาง	11	/
		น้อย	12	/
	ปานกลาง	มาก	13	—
		ปานกลาง	14	/
		น้อย	15	/
	น้อย	มาก	16	—
		ปานกลาง	17	/
		น้อย	18	/
C	มาก	มาก	19	—
		ปานกลาง	20	—
		น้อย	21	/
	ปานกลาง	มาก	22	—
		ปานกลาง	23	—
		น้อย	24	/
	น้อย	มาก	25	—
		ปานกลาง	26	—
		น้อย	27	—

2.2 เก็บข้อมูลการวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่งแต่ละตัว

ในการวัดค่าความสั่นสะเทือนสามารถแสดงหน่วยการวัดได้ 2 แบบดังนี้ [10]

2.2.1 วัดด้วยความเร็ว (Velocity; V) หน่วยการวัดเป็น มิลลิเมตร/วินาที (mm/s)

2.2.2 วัดด้วยความเร่ง (Acceleration; A) หน่วยการวัดเป็น มิลลิเมตร/วินาที² (mm/s²)

ในงานวิจัยนี้เก็บค่าความสั่นสะเทือนลูกปืนของปั๊ม โดยใน 1 เดือนจะเก็บค่าความสั่นสะเทือน 4 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เก็บวันที่ 3 ของเดือน ระยะที่ 2 เก็บวันที่ 7 ของเดือน ระยะที่ 3 เก็บวันที่ 15 ของเดือน และระยะที่ 4 เก็บวันที่ 30 ของเดือน เพื่อนำมาหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับปั๊มแต่ละตัวเมื่อเวลาผ่านไป สำหรับเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนและการปฏิบัติงานขณะวัดค่าความสั่นสะเทือนแสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

2.3 นำค่าความสั่นสะเทือนที่ได้ในแต่ละระยะมาจัดทำเป็นกราฟดังแสดงในรูปที่ 7 ถึง 12 จะได้จุดที่ค่าความสั่นสะเทือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง และใช้จุดนั้นเป็นจุดที่พยากรณ์ว่าจะเกิดการขัดข้องของปั๊มในไม่ช้าระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะทำการตรวจเช็คปั๊มของกลุ่มต่างๆ ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 2

2.4 นำระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการพยากรณ์มาจัดทำแผนการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่ง

2.5 ประเมินผลที่การดำเนินงานโดยใช้ดัชนีชี้วัดเป็น MTBF และ MTTR โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MTBF = \frac{\text{เวลาระหว่างการขัดข้องในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุดซ่อม}}$$

$$MTTR = \frac{\text{เวลาหยุดซ่อมเครื่องจักร}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด}}$$



รูปที่ 5 เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนรุ่น SKF Microlog GX series CMXA 75



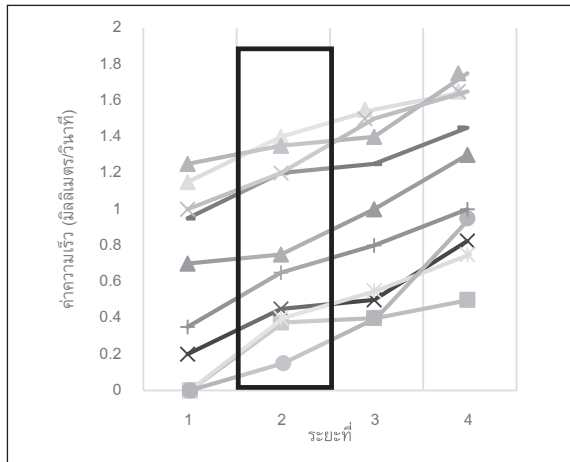
รูปที่ 6 การปฏิบัติงานขณะวัดค่าความสั่นสะเทือน

3. ผลการดำเนินงาน

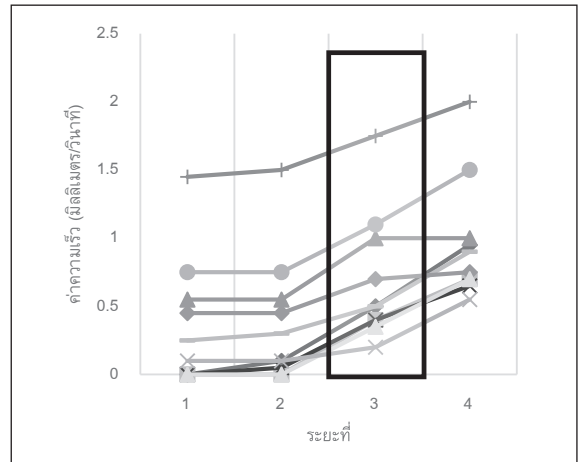
ผลค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่งในระยะต่างๆ สามารถแสดงผลการเก็บค่าความสั่นสะเทือนได้ดังนี้

3.1 กลุ่มที่ 1 ระดับความสำคัญ A อายุมากภาระงานมาก ตัวอย่างผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ปั๊มตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 จำนวน 10 ตัว ซึ่งทุกตัวมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของแต่ละเดือน

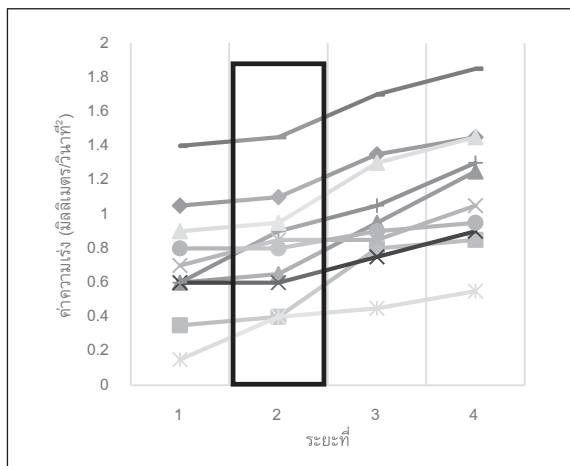
3.2 กลุ่มที่ 11 ระดับความสำคัญ B อายุมากภาระงานปานกลาง ตัวอย่างผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 9 และ 10 จากรูป



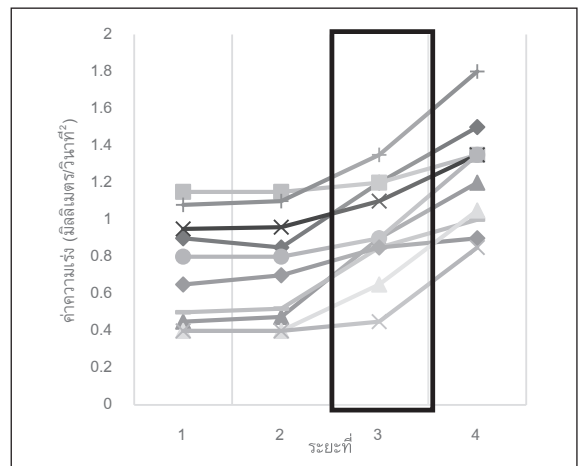
รูปที่ 7 ตัวอย่างค่าความสัมพันธ์ของบี๊มกลุ่มที่ 1



รูปที่ 9 ตัวอย่างค่าความสัมพันธ์ของบี๊มกลุ่มที่ 11



รูปที่ 8 ตัวอย่างค่าความสัมพันธ์ของบี๊มกลุ่มที่ 1



รูปที่ 10 ตัวอย่างค่าความสัมพันธ์ของบี๊มกลุ่มที่ 11

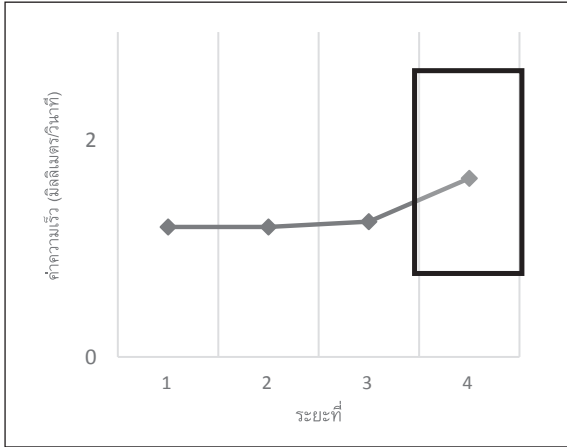
ดังกล่าวจะเห็นได้ว่า บี๊มตัวอย่างในกลุ่มที่ 11 จำนวน 10 ตัว ซึ่งทุกตัวมีแนวโน้มที่ค่าความสัมพันธ์เริ่มเพิ่มขึ้น ในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของแต่ละเดือน

3.3 กลุ่มที่ 21 ระดับความสำคัญ C อายุมากภาระงานน้อย ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 11 และ 12 จากรูปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า บี๊มในกลุ่มที่ 21 จำนวน 1 ตัว ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสัมพันธ์เริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของแต่ละเดือน

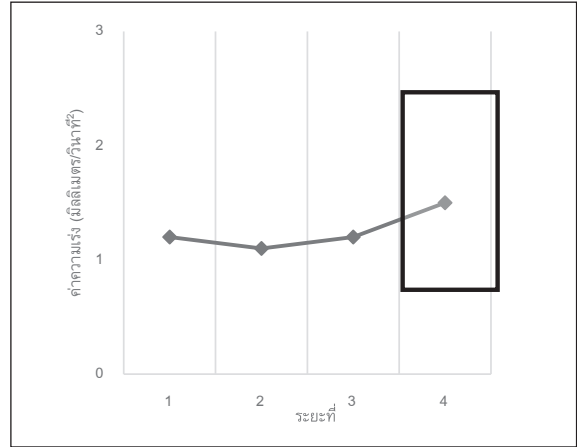
สำหรับผลค่าความสัมพันธ์ของบี๊มในกลุ่มอื่นๆ

แสดงได้ในรูปที่ 13

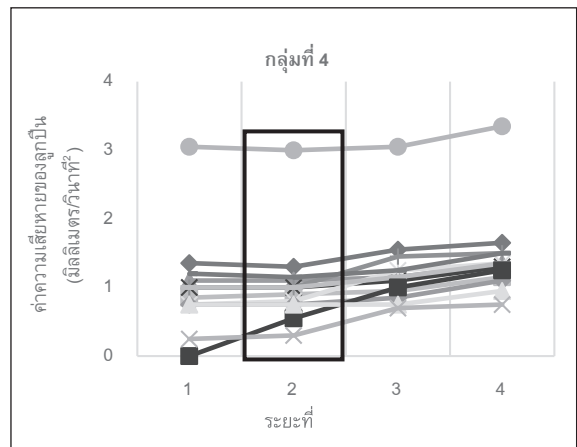
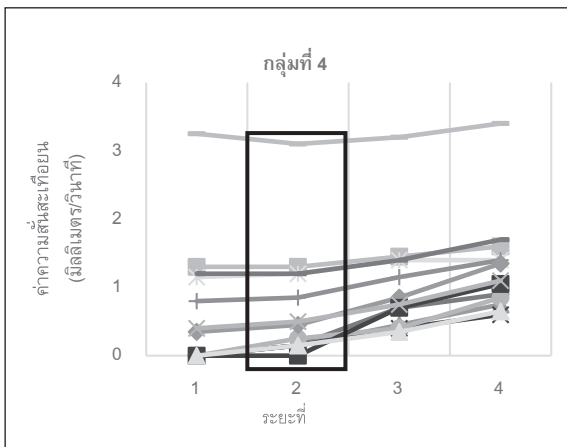
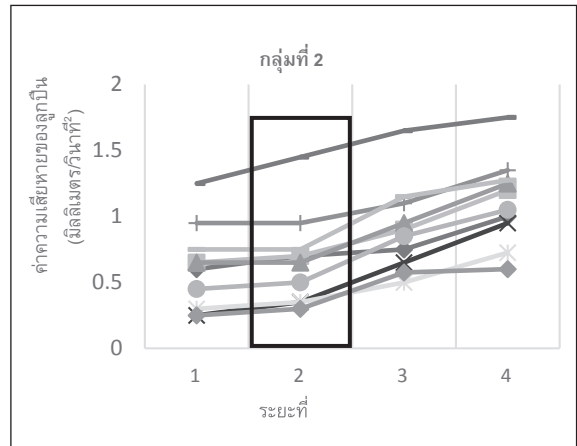
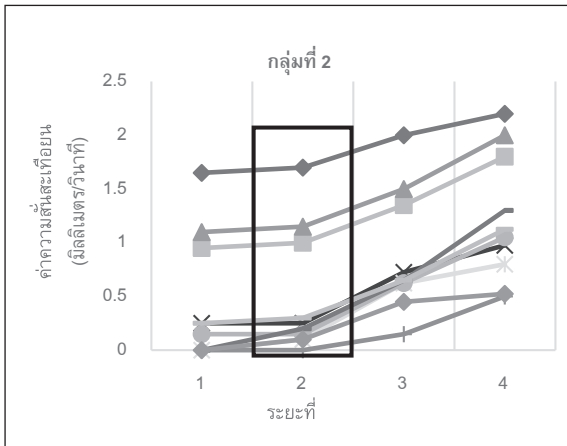
เมื่อทำการทดลองครบ 17 กลุ่มจะสามารถสรุประยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คดังตารางที่ 2 โดยตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาในการตรวจเช็คบี๊มทั้ง 17 กลุ่ม ซึ่งในแต่ละกลุ่มจะมีระยะเวลาในการตรวจเช็คที่แตกต่างกันไป จากนั้นจึงนำไปสร้างแผนการตรวจเช็คและปฏิบัติจริงโดยช่างบำรุงรักษา หลังจากนั้นทำการบันทึกค่าความเสียหายของบี๊มที่เกิดขึ้นหลังจากนำแผนการตรวจวัดค่าความสัมพันธ์ไปใช้



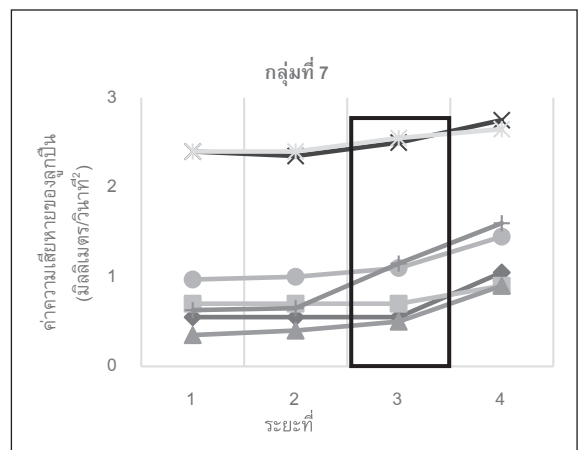
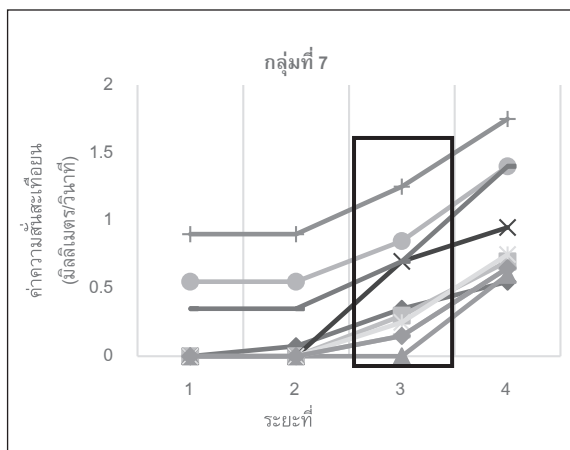
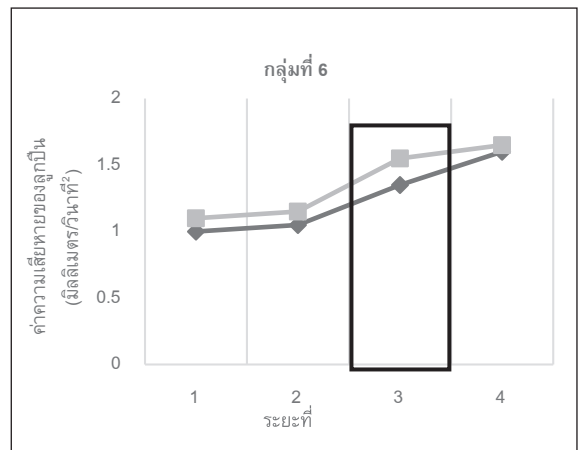
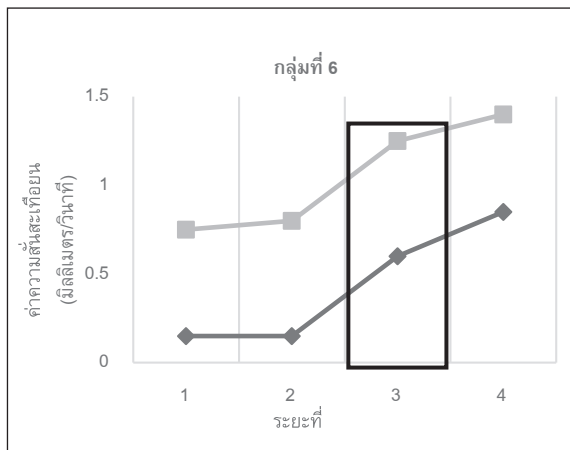
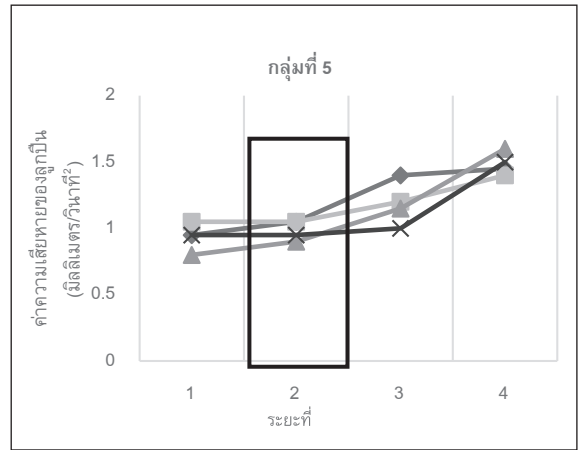
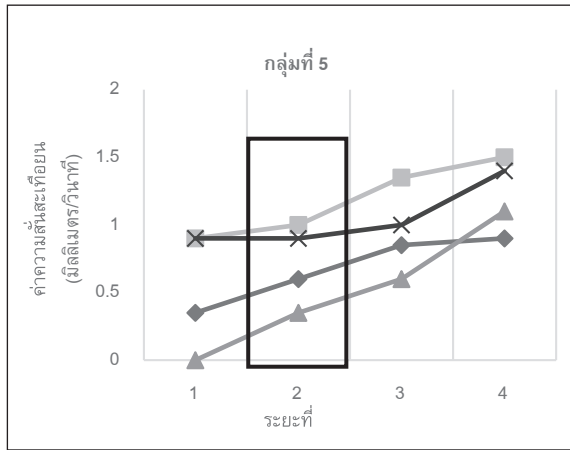
รูปที่ 11 ตัวอย่างค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มกลุ่มที่ 21



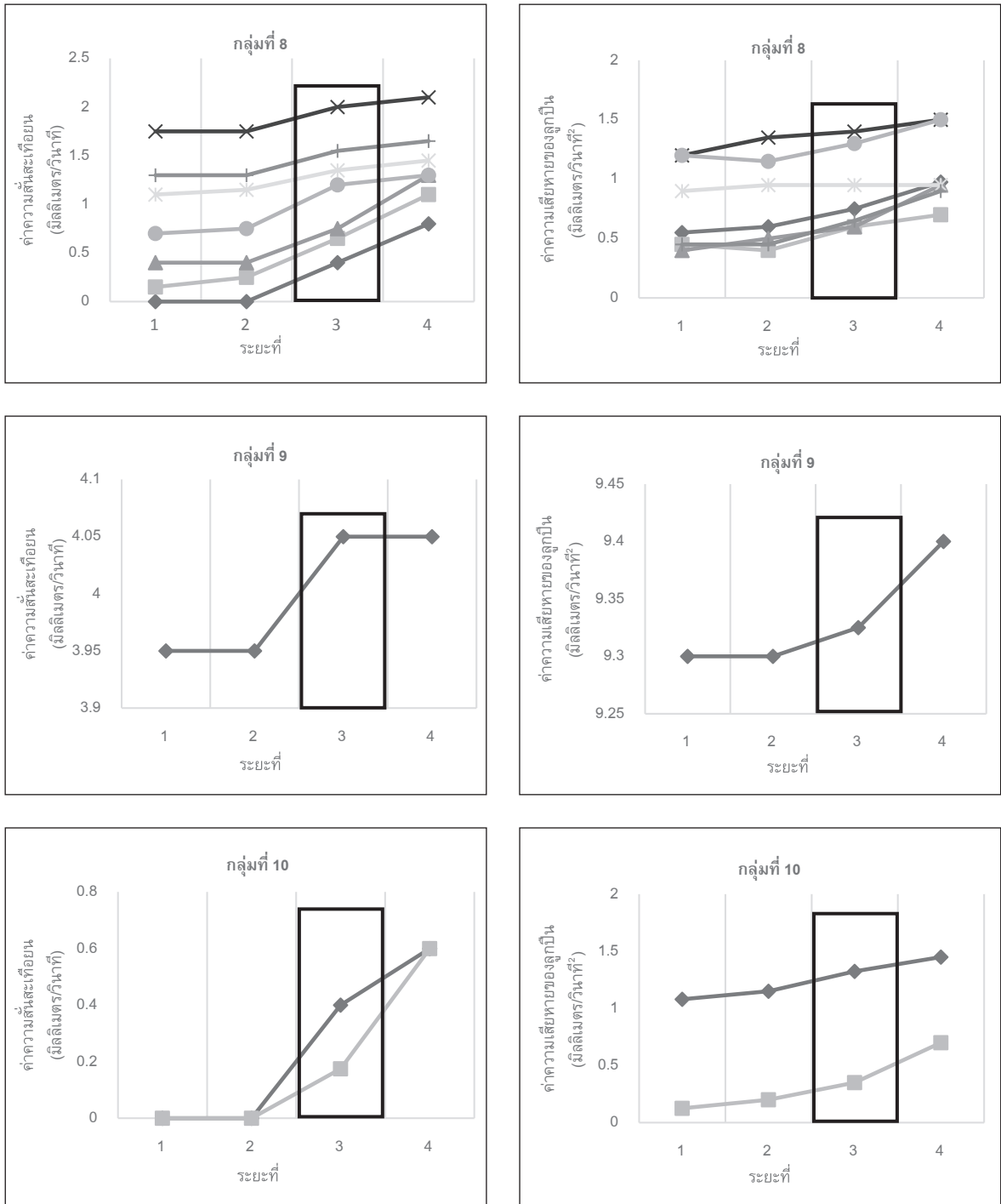
รูปที่ 12 ตัวอย่างค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มกลุ่มที่ 21



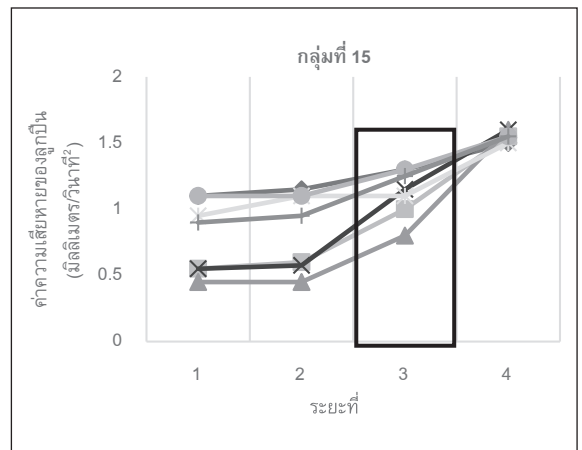
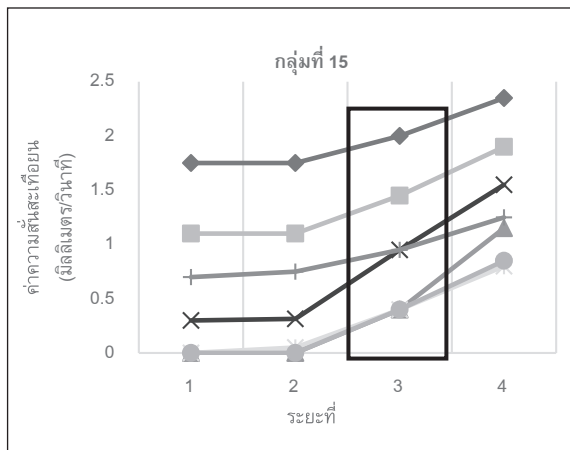
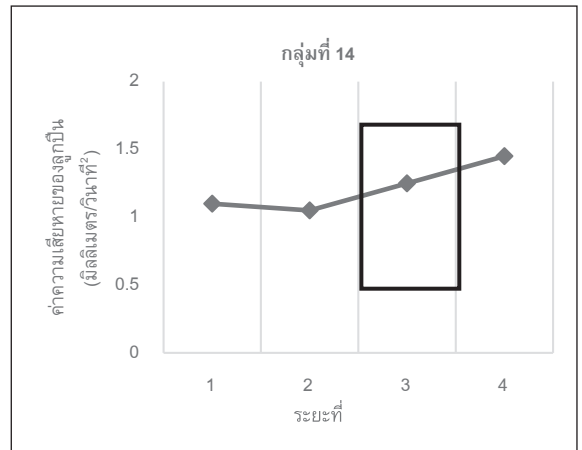
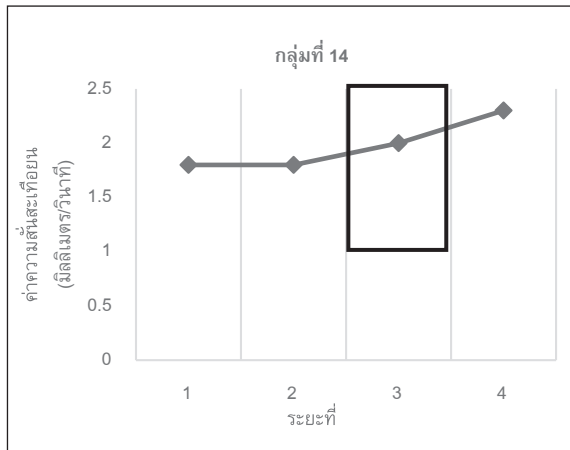
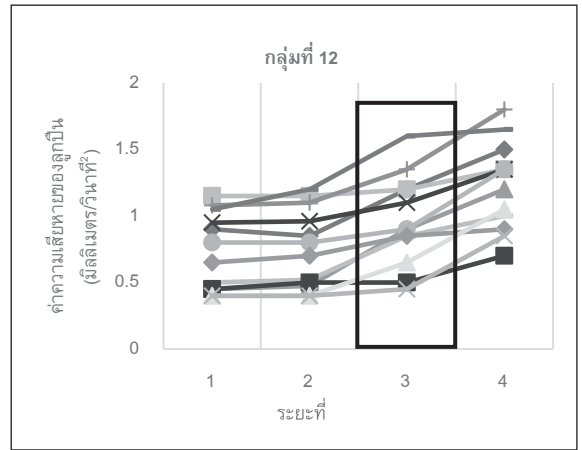
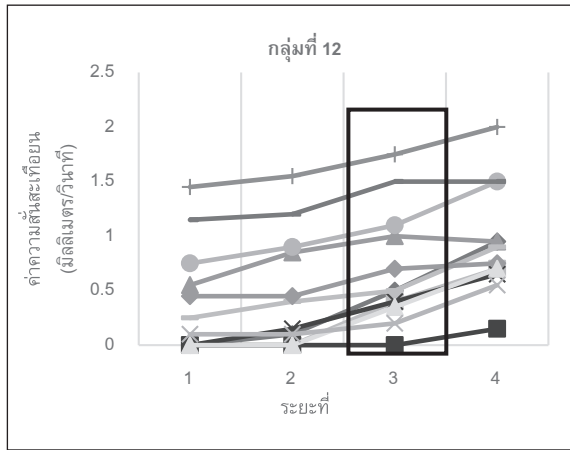
รูปที่ 13 ตัวอย่างค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มกลุ่มอื่นๆ



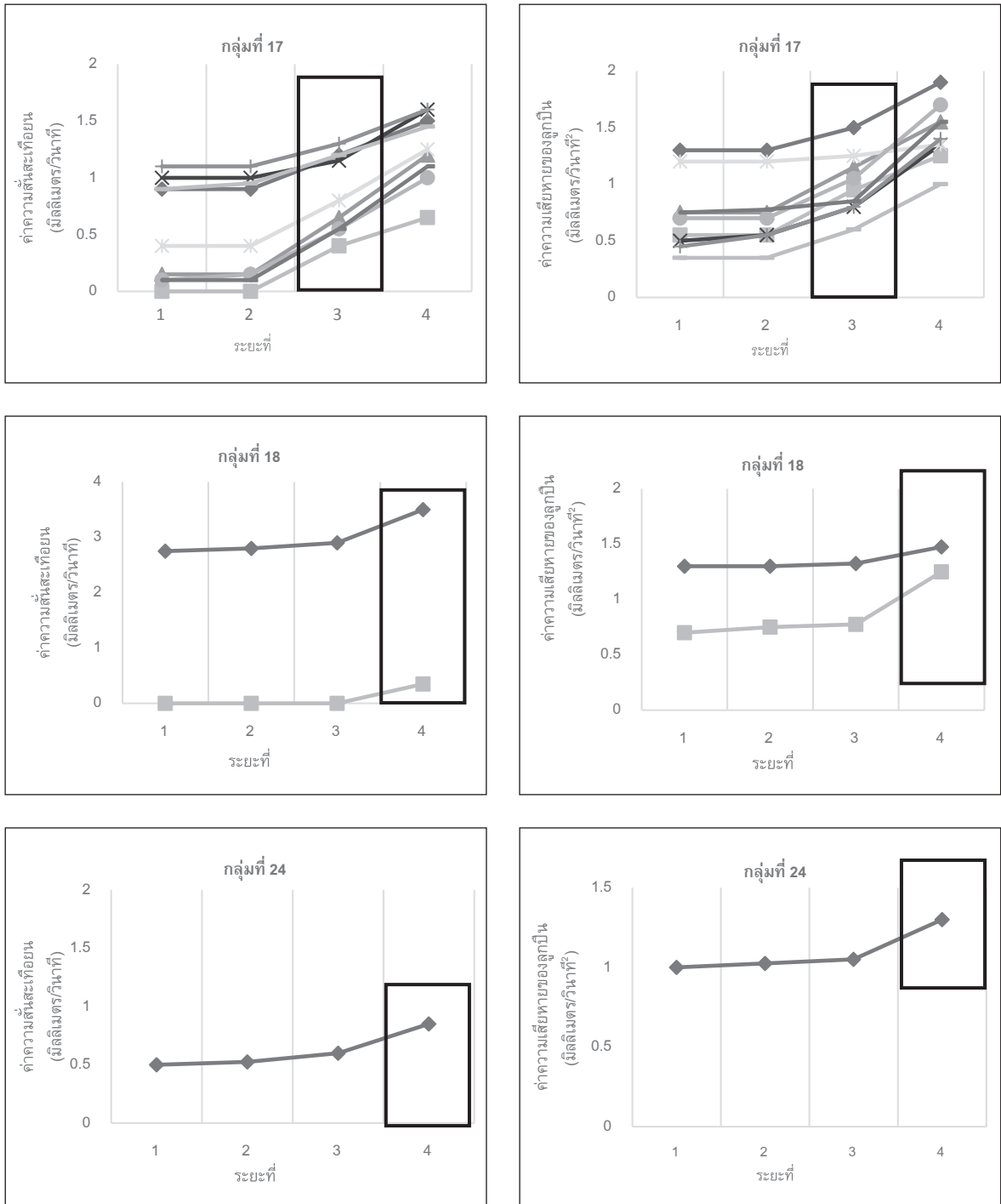
รูปที่ 13 ตัวอย่างค่าความสั้นสะเทือนของปั๊มกลุ่มอื่นๆ (ต่อ)



รูปที่ 13 ตัวอย่างค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มกลุ่มอื่นๆ (ต่อ)



รูปที่ 13 ตัวอย่างค่าความสั้นสะเทือนของบีมกลุ่มอื่นๆ (ต่อ)



รูปที่ 13 ตัวอย่างค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มกลุ่มอื่นๆ (ต่อ)



ตารางที่ 2 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับแผนการตรวจเช็คปั๊มประเภทหอยโข่งทั้ง 17 กลุ่ม

กลุ่มที่	ระดับ ความสำคัญ	อายุ การใช้งาน	ภาระงาน	จำนวนปั๊ม ที่ทดลอง (ตัว)	ระยะเวลา ที่ตรวจพบว่า ค่า V มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้น (วัน)	ระยะเวลา ที่ตรวจพบว่า ค่า A มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้น (วัน)	ระยะเวลา ที่เหมาะสม ในการตรวจเช็ค (วัน)
1	A	มาก	มาก	51	7	7	7
2	A	มาก	ปานกลาง	30	7	7	7
4	A	ปานกลาง	มาก	13	7	15	7
5	A	ปานกลาง	ปานกลาง	4	7	7	7
6	A	ปานกลาง	น้อย	2	15	15	15
7	A	น้อย	มาก	10	15	15	15
8	A	น้อย	ปานกลาง	7	15	15	15
9	A	น้อย	น้อย	1	15	15	15
10	B	มาก	มาก	2	15	15	15
11	B	มาก	ปานกลาง	36	15	30	15
12	B	มาก	น้อย	13	15	15	15
14	B	ปานกลาง	ปานกลาง	1	15	15	15
15	B	ปานกลาง	น้อย	7	15	15	15
17	B	น้อย	ปานกลาง	9	15	15	15
18	B	น้อย	น้อย	2	15	15	15
21	C	มาก	น้อย	1	30	30	30
24	C	ปานกลาง	น้อย	1	30	30	30

4. สรุป

4.1 เนื่องจากแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน ไม่สามารถที่จะช่วยลดความขัดข้องที่เกิดขึ้นกับปั๊มประเภทหอยโข่งได้ จึงนำเอาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยทำการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนกับตัวแปรหลัก 3 ตัว เพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด ทำให้ผลการดำเนินงานดีขึ้นได้ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 โดยจะแสดงผลตัวชี้วัดค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างเกิดการขัดข้องและค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ ซึ่งแบ่งออกเป็นช่วงก่อนการปรับปรุง ระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงมีนาคม 2559 และหลังการปรับปรุงระหว่างเดือนเมษายน ถึงมิถุนายน 2559 โดยนำผลรวมของปั๊มหอยโข่งทั้งหมด 17 กลุ่ม มาคำนวณ โดยแบ่งตามหน่วยการผลิต ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า MTBF ในหน่วยบำบัด

น้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 724 ชั่วโมง (เพิ่มขึ้น 50.16%) และค่า MTTR ในหน่วยการฟอกเยื่อด้วยออกซิเจนมีค่าลดลงถึง 12.02 นาที (ลดลง 13.19%)

4.1.1 ค่า MTBF ของแต่ละหน่วยการผลิตนั้น มีเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 กรณี คือ 1) MTBF เพิ่มขึ้น 10–30% ได้แก่ หน่วยต้มเยื่อ หน่วยฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน หน่วยฟอกเยื่อด้วยสารเคมี หน่วยผลิตโซดาไฟ และหน่วยผลิตน้ำดิบ ซึ่งปั๊มส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีภาระงานมาก ทำให้ค่า MTBF เพิ่มขึ้นไม่สูงมากนัก 2) MTBF เพิ่มขึ้นมากกว่า 50% ได้แก่ หน่วยผลิตสารเคมี และหน่วยบำบัดน้ำเสีย เพราะปั๊มส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่มีภาระงานปานกลาง และน้อย โอกาสการเกิดความขัดข้องจึงน้อยกว่าหน่วยการผลิตอื่นๆ ส่งผลให้ค่า MTBF เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบ

กับหน่วยการผลิตอื่นๆ

4.1.2 ค่า MTTR ของแต่ละหน่วยการผลิตมีเปอร์เซ็นต์ลดลง เนื่องมาจากการปรับปรุงระยะเวลาในการตรวจเช็คมีความเหมาะสมมากขึ้น ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ความขัดข้องของปั๊มลดลง

4.2 ในการนำไปใช้งานจริง ระยะเวลาที่ทำการเก็บค่าความสั้นสะท้อนเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คสามารถเพิ่มความถี่ในการเก็บค่าความสั้นสะท้อนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คที่มีความแม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการดำเนินงานเมื่อทำการตรวจเช็คสภาพของปั๊มตามที่พยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสม ด้วยค่า MTTR

หน่วยการผลิต	จำนวนปั๊ม	MTTR ก่อนปรับปรุง (นาที)	MTTR หลังปรับปรุง (นาที)	MTTR ลดลง (นาที)	MTTR ลดลง (%)
1. ต้มเยื่อ	25	75.00	70.05	4.95	6.6
2. ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	23	91.10	79.08	12.02	13.19
3. ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	38	95.00	87.27	7.73	8.13
4. สารเคมี	56	30.75	30.75	0	0
5. โซดาไฟ	21	25.92	25.92	0	0
6. น้ำดิบ	12	51.30	42.84	8.46	16.49
7. บำบัดน้ำเสีย	15	40.00	40.00	0	0

หมายเหตุ ตัวอย่างการคำนวณ MTTR ก่อนการปรับปรุงของหน่วยการผลิตต้มเยื่อ ระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงมีนาคม 2559

$$MTTR = \frac{\text{เวลาหยุดซ่อมเครื่องจักร}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด}} = \frac{(240+120+180+90+150+45)}{(2+1+1+2+4+1)} = \frac{825}{11} = 75 \text{ นาที/ครั้ง}$$

ทั้งนี้ 240 หมายถึง เวลาในการหยุดซ่อมในเดือนตุลาคม และ 2 หมายถึง จำนวนครั้งที่หยุดซ่อมในเดือนตุลาคม ส่วนค่าที่เหลือเป็นค่าที่เกิดขึ้นในเดือนต่อมา

ตารางที่ 4 ผลการดำเนินงานเมื่อทำการตรวจเช็คสภาพของปั๊มตามที่พยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสม ด้วยค่า MTBF

หน่วยการผลิต	จำนวนปั๊ม	MTBF ก่อนปรับปรุง (ชั่วโมง)	MTBF หลังปรับปรุง (ชั่วโมง)	MTBF เพิ่มขึ้น (ชั่วโมง)	MTBF เพิ่มขึ้น (%)
1. ต้มเยื่อ	25	392.57	460.83	68.26	17.38
2. ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	23	431.68	496.22	64.54	14.95
3. ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	38	479.69	586.50	106.81	22.26
4. สารเคมี	56	934.99	1,619.49	684.5	73.21
5. โซดาไฟ	21	865.97	1,079.47	213.5	24.65
6. น้ำดิบ	12	1,082.15	1,300.09	217.94	20.14
7. บำบัดน้ำเสีย	15	1,443.33	2,167.33	724.00	50.16

หมายเหตุ ตัวอย่างการคำนวณ MTBF ก่อนการปรับปรุงของหน่วยการผลิตต้มเยื่อ ระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงมีนาคม 2559

$$MTBF = \frac{\text{เวลาระหว่างการขัดข้องในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด}} = \frac{(740+718+729+742.5+657.5+730.50)}{(2+1+1+2+4+1)} = \frac{4,317.50}{11} = 392.57 \text{ ชั่วโมง/ครั้ง}$$

ทั้งนี้ 740 หมายถึง เวลาใช้งานปั๊มในเดือนตุลาคม และ 2 หมายถึง จำนวนครั้งที่หยุดซ่อมในเดือนตุลาคม ส่วนค่าที่เหลือเป็นค่าที่เกิดขึ้นในเดือนต่อมา



เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Suwannadol and K. Vijitrapornpong, "Condition based maintenance," *Journal of Dockyard Navy*, pp. 70–76, 2012 (in Thai).
- [2] W. Na-oei, "Maintenance improvement of power plant in pulp and paper industry," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Chulalongkorn University, 2009 (in Thai).
- [3] A. U. Ganapathy and K. Sainath, "Vibration analysis a key for pump maintenance-case study," *Journal of Modern Engineering Research*, vol. 4, no. 3, pp.58–64, March, 2014.
- [4] N. Raorong-a-roon, "Efficiency improvement of wire-bonding-machine maintenance system using predictive maintenance," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Chulalongkorn University, 2008 (in Thai).
- [5] G. Suresh Babu and V. Chittaranjan Das, "Condition monitoring and vibration analysis of boiler feed pump," *Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, no. 6, June, 2013.
- [6] C. I. Ugechi, E. A. Ogbonnaya, M. T. Lilly, S. O. T. Ogaji, and S. D. Probert, "Condition-based diagnostic approach for predicting the maintenance requirements of machinery," *Scientific Research*, no. 1, pp.177–187, 2009.
- [7] R. O. Saied, M. S. Mostafa, and H. A. Hussein, "Predictive maintenance program based on vibration monitoring," *Design and Modeling of Mechanical System -II, Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp.651–660, 2015.
- [8] P. K. Behera and B. S. Sahoo, "Leverage of multiple predictive maintenance technologies in root cause failure analysis of critical machineries," in *Proceedings 12th International Conference on Vibration Problems (ICOVP)*, pp. 351–359, 2015.
- [9] S. Siasiriwattana, W. Chiangkul, and K. Dumrongrat, *Efficacy of Maintenance*. Bangkok: Se-education, 2006 (in Thai).
- [10] R. S. Beebe, *Predictive Maintenance of Pumps Using Condition Monitoring*, Elsevier Science & Technology Books, 2004.

