การประยุกต์ใช้การบำรุงรักษาเชิงรุกสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

มธุรส มิ่งมงคล[1] และ จิตรา รู้กิจการพานิช[2*]
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

** Corresponding Author: mr_chukiat@yahoo.com*
[1] นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
[2] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อมูลบทความ

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 6 มิถุนายน 2562
แก้ไข : 23 ธันวาคม 2562
ตอบรับ : 23 มกราคม 2563

คำสำคัญ :
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ / ค่าความพร้อมใช้งาน / การบำรุงรักษาเชิงรุก / FMEA

บทคัดย่อ

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นกรณีศึกษานี้มีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันอยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม ในเวลาต่อมา ได้เกิดการขัดข้องของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความพร้อมใช้งานเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่มีอยู่นั้นอาจไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดการขัดข้องของเครื่องจักรได้ งานวิจัยนี้จึงได้นำการบำรุงรักษาเชิงรุกมาเป็นกลยุทธ์ของโรงไฟฟ้า การดำเนินงานเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบด้วย FMEA โดยสร้างเกณฑ์ของความรุนแรง (S) โอกาสเกิด (O) และการตรวจจับได้ (D) แล้วทำการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ขั้นตอนต่อไปเป็นการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไขเชิงรุก เมื่อได้แนวทางแก้ไขแล้วจึงนำมากำหนดเป็นแผนงานเชิงรุก ซึ่งประกอบด้วยการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษา รวมทั้งปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อลดโอกาสเกิดการขัดข้อง หลังจากที่ดำเนินการตามแผนงาน พบว่า สามารถทำให้ค่าความพร้อมใช้งานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 99.43% เป็น 99.69% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 1.20% เป็น 0.41% จำนวนครั้งที่เกิดการขัดข้องลดลง 40.28% และกำลังการผลิตที่สูญเสียลดลง 28.44%

Using of Proactive Maintenance for Solar Power Plant

Mathurot Mingmongkol[1] and Jittra Rukijkanpanich[2*]
Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330

** Corresponding Author: mr_chukiat@yahoo.com*
[1] Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.
[2] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering.

Article Info

Article History:
Received: June 6, 2019
Revised: December 23, 2019
Accepted: January 23, 2020

Keywords:
Solar Power Plant /
Availability /
Proactive Maintenance /
FMEA

Abstract

A solar power plant under the study is the one, which has already had a preventive maintenance program. However, as the plant operation proceeded, more machine failures were noted. This implies that the implemented preventive maintenance might not be adequate to prevent the failure of the machines. The present study therefore aimed to integrate proactive maintenance program into the strategy of the plant. The study was conducted by first analyzing the failure mode and its effect by failure modes and effect analysis. Criteria on severity (S), occurrence (O) and detection (D) were established; risk priority number was then evaluated. Priority of the problems to analyze and to find the solutions was then assigned. The solutions were finally put into the proactive maintenance program. Such a program consisted of improving the maintenance program itself as well as improving the machines to reduce the occurrence of failures. After implementing the program, the average availability value increased from 99.43% to 99.69%, while the standard deviation decreased from 1.20% to 0.41%. The number of failures decreased by 40.28% and the power loss of production capacity could be reduced by 28.44%

1. บทนำ

ตั้งแต่ปี 2012 เป็นต้นมา กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องประมาณ 5% ต่อปี [4] โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้จำเป็นต้องมีการพัฒนาให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อประชาชน

การบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพราะการบำรุงรักษาที่ดีย่อมป้องกันการเกิดการขัดข้องของเครื่องจักรได้ อย่างไรก็ตาม โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทย แม้ว่ามีการจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแต่มักเป็นแบบเน้นการเปลี่ยนอุปกรณ์ตามเวลาที่ผู้จัดหาภายนอก (External provider) ได้กำหนดไว้ตามสัญญาการรับประกัน ทำให้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงแผนการบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลให้เมื่อมีการขัดข้องของเครื่องจักรจึงค่อยหาวิธีดำเนินการแก้ไข ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ารูปแบบการบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นี้ เป็นการบำรุงรักษาเชิงรับ (Reactive Maintenance) เมื่อพิจารณาจากสถิติการขัดข้องของเครื่องจักรและค่าความพร้อมของเครื่องจักรดังรูปที่ 1 และ 2 พบว่า มีแนวโน้มของการขัดข้องสูงเพิ่มขึ้นและมีค่าความพร้อมการใช้งานที่ไม่สม่ำเสมอ โดยค่าความพร้อมใช้งานเฉลี่ยเป็น 99.43% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น 1.20% ก่อนหน้านั้นทางโรงงานได้กำหนดเป้าหมายของค่าความพร้อมใช้งานไว้ที่ 99.25% ซึ่งเคยทำได้ตามเป้าหมาย จึงมีข้อสงสัยว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่มีอยู่แบบเดิมนั้นอาจไม่เพียงพอที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้ จึงทำการสำรวจกลยุทธ์ด้านการบำรุงรักษาที่ใช้ในโรงไฟฟ้าประเภทอื่นๆ และได้ข้อสรุปว่าควรมีการนำการบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance) มาเป็นกลยุทธ์ของโรงไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดขัดข้องของเครื่องจักรของโรงไฟฟ้า

การบำรุงรักษาเชิงรุกประกอบด้วยการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน Preventive Maintenance, PM) และการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance, PdM) [5] มีงานวิจัยที่ระบุว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการบำรุงรักษาเชิงรับแล้วพบว่าองค์กรที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการบำรุงรักษามาเป็นการบำรุงรักษาเชิงรุกจะสามารถลดต้นทุนการบำรุงรักษาโดยรวมลงได้

ลักษณะสำคัญประการที่หนึ่งของการขัดข้องของเครื่องจักรของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์คือเมื่อเกิดการขัดข้องและหยุดทำงานของอุปกรณ์หนึ่งของระบบการทำงานของเครื่องจักรแล้วจะสามารถทำให้ส่วนอื่นๆ หยุดทำงานไปด้วย ดังนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์การทำงานของเครื่องจักรเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานส่วนต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แสดงการวิเคราะห์ทำไม-ทำไม (why-why analysis) [8] การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยการวิเคราะห์ทำไม ทำไม เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาและหาสาเหตุที่แท้จริง และป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเกิดซ้ำอีก [10]

ลักษณะสำคัญประการที่สองของวิธีการซ่อมบำรุงเพื่อแก้ไขให้เครื่องจักรกลับมาทำงานได้ดังเดิมนั้นต้องรอให้ทั้งโรงไฟฟ้าหยุดการผลิต ซึ่งหมายถึงว่าการซ่อมบำรุงและแก้ไขทำได้เฉพาะเวลากลางคืน หากทำการซ่อมในเวลากลางวันจะไม่ปลอดภัยเพราะมีกระแสไฟไหลในการผลิตอยู่ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าหากเครื่องจักรเกิดเหตุขัดข้องในเวลาเช้าจำเป็นต้องรอถึงเวลาเย็นจึงเข้าไปจัดการแก้ไขได้ ทำให้เครื่องจักรสูญเสียกำลังการผลิตและประสิทธิภาพการผลิตลดลงไปด้วย

ในการบำรุงรักษาเชิงรุกนั้นได้มีการวิเคราะห์ความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้นที่เรียกกันว่า FMEA (Failure modes and effect analysis) มาประยุกต์ใช้ [1] ซึ่งจากการสำรวจงานวิจัยต่างๆ พบว่า มีงานวิจัยที่ใช้ผลการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากโอกาส (Occurrence, O) และความรุนแรง (Severity, S) [2] และยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่ผลการวิเคราะห์พิจารณาจากโอกาส ความรุนแรง และการตรวจจับได้ (Detection, D) [3] การวิเคราะห์จะต้องทำการประเมินเพื่อกำหนดระดับสำหรับปัจจัยทั้งสาม ผลคูณของปัจจัยทั้งสาม (SxOxD) เรียกว่า “Risk Priority Number (RPN)” เมื่อค่า RPN มีค่าสูงแสดงว่าเกิดความเสียหายจากอุปกรณ์นั้นขัดข้องมาก ด้วยเหตุนี้ทำให้อุปกรณ์นั้นต้องได้รับการเอาใจใส่ดูแลมากขึ้น หากอุปกรณ์นั้นเกิดความขัดข้องย่อมสร้างความเสียหายรุนแรงในวงกว้างมาก [11]

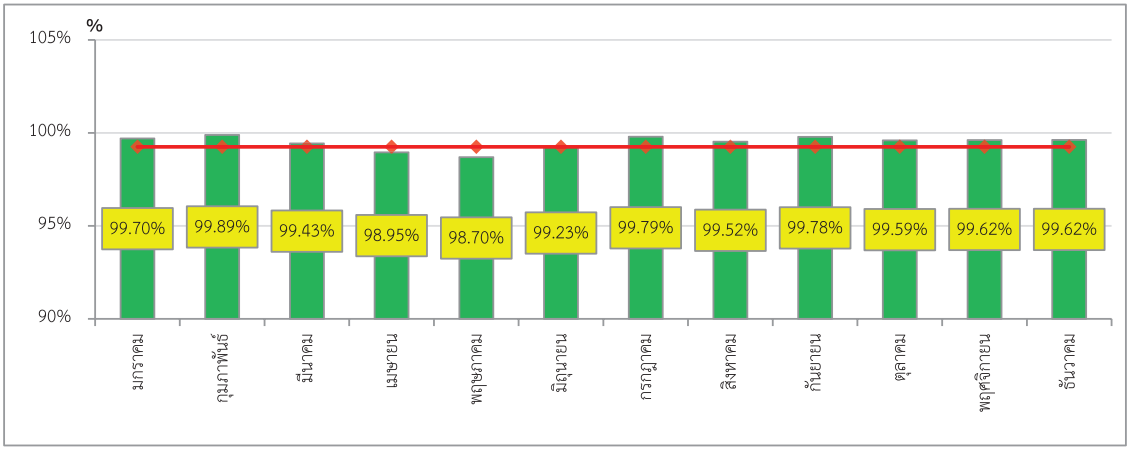
สำหรับงานวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญของการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาแบบเชิงรุก จึงกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อที่จะนำการบำรุงรักษาเชิงรุกมาประยุกต์กับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผลที่คาดว่าจะได้คือการขัดข้องของเครื่องจักรลดลง ค่าความพร้อมการใช้งานสูงขึ้นและมีความสม่ำเสมอ

ทั้งนี้ในการนำการบำรุงรักษาเชิงรุกมาใช้ต้องทำการวิเคราะห์ความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งการจัดลำดับความสำคัญ การวิเคราะห์ทำไม-ทำไมเพื่อหารากของสาเหตุ การวิเคราะห์หาวิธีการตรวจจับความผิดปกติของการทำงานของเครื่องจักรและการปรับปรุงเครื่องจักร มาเป็นส่วนสำคัญของการปรับปรุงให้เป็นแผนการบำรุงรักษาเชิงรุกด้วย

อุปกรณ์ความเสียหาย ปี พ.ศ. 2559

	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวมเฉลี่ย	กำลังสูญเสีย (kWh)
	(เวลา)													
22kV Switchgear breaker												1	1	9,591.84
Coil AC contactor			1		1		1						3	5,210.31
Power module										1	1	1	3	2,756.37
SM-Control Master PV	3				3	7	5	1			1	2	22	15,963.97
PV System controller												1	1	1,706.99
DC main contactor	2						2		1		1	1	7	12,529.18
Communication error								1	1				2	512.16
Startup function Inverter								1					1	565.51
Earth leakage faults		1			3	2	1		1		1	1	10	6,647.23
DC Overvoltage	1			5	2	4	4		2	3		1	22	11,215.49
รวม	6	1	1	5	9	13	13	3	5	4	4	8	72	66,699.05

รูปที่ 1 การขัดข้องของเครื่องจักร



รูปที่ 2 ความพร้อมใช้งานของเครื่องจักร พ.ศ. 2559 (ก่อนการปรับปรุง)

2. ทฤษฎีการวิจัย

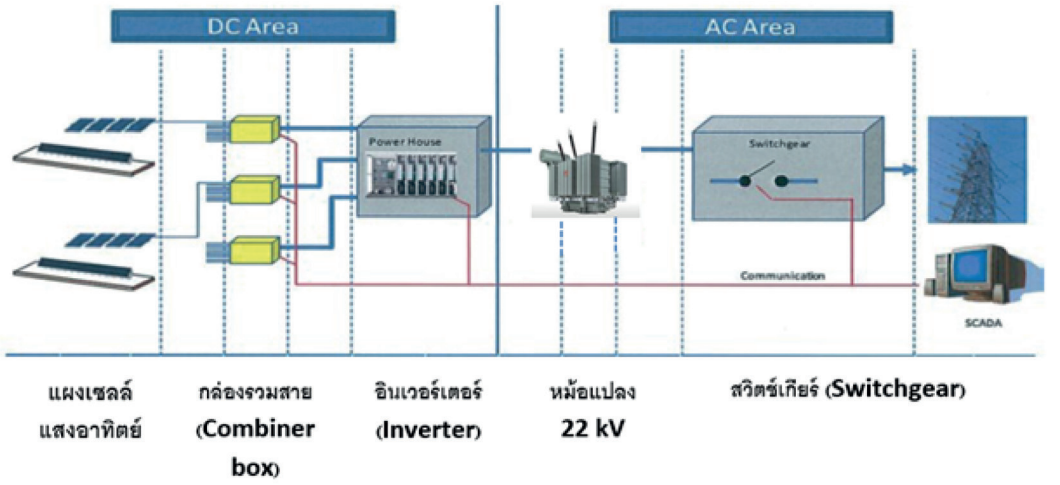
2.1 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นกรณีศึกษานี้ตั้งอยู่ภาคกลางของประเทศไทย ผลิตไฟฟ้าที่ 8 MW (AC) กำลังการผลิตติดตั้ง 10.29 MW (DC) มีปริมาณการผลิตไฟฟ้าปีละ 16,274,400 KWh และเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีแผงโซลาร์แบบฟิล์มบาง (thin film) ที่มีขนาดใหญ่ โดยติดตั้งมากกว่า 80,889 แผง มีกำลังการผลิตต่อแผง 135 W (Peak) จำหน่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้เกือบทั้งหมดให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ภายใต้สัญญาซื้อขายไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก ประเภทสัญญา Non-Firm โดยคาดว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตลอดอายุโครงการ 25 ปี

และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 25 ปี เช่นกัน

เครื่องจักรในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญต่างๆ (ดังรูปที่ 3) ประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module) กล่องรวมสาย (Combiner box) สวิตช์เกียร์ (Switchgear) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) กล่องรวมสายเป็นกล่องรวมไฟฟ้าที่มาจากสตริง (String) โดยแต่ละหนึ่งกล่องรวมสายจะรวมไฟฟ้าจากการผลิตของสตริง 20 สตริง ซึ่งจะรับแรงดันอยู่ที่ 681 โวลต์และรับกระแสที่ 56.4 แอมป์ อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นกระแสสลับ (AC) และสามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้โดยอินเวอร์เตอร์จะรับพลังงานไฟฟ้าจากกล่องรวมสาย 24 กล่องรวมสายที่ได้ติดตั้งอยู่ในบ้านของอินเวอร์เตอร์ (Inverter house) ในแต่ละบ้านของอินเวอร์เตอร์จะมีอุปกรณ์ย่อยของอินเวอร์เตอร์ (Power Module) และส่วนของอินเวอร์เตอร์ที่ต่อเข้ากับหม้อแปลงขนาด 22 กิโลโวลต์/400โวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทางด้านกระแสสลับ (AC) เพื่อแปลงแรงดันเป็น 22 กิโลโวลต์ก่อนขายให้กับการไฟฟ้าฯ

สำหรับสวิตช์เกียร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันกับตัวตัดวงจรไฟฟ้า (Circuit breaker) เพื่อใช้ในการควบคุม ป้องกันและแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าออกจากระบบ จะนำมาใช้ตัดไฟออกจากอุปกรณ์เพื่อความสะดวกในระหว่างทำงาน



รูปที่ 3 อุปกรณ์หลักของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.2 การบำรุงรักษาเชิงรุก ประกอบด้วยการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) และการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (PdM) Dhillon (1989) [6] ได้เปรียบเทียบภาระงานของการบำรุงรักษาเชิงรุกกับการบำรุงรักษาเชิงรับ และสรุปว่าองค์กรต่างๆ จะได้รับประโยชน์จากการบำรุงรักษาเชิงรุก โดยช่วยทำให้ลดภาระงานบำรุงรักษาทั้งหมดลงในขณะเดียวกันประสิทธิภาพการบำรุงรักษาและการผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปริมาณงานบำรุงรักษาทั้งหมดสามารถลดลง 20 ถึง 25% ภายในสองปี นอกจากนี้การบำรุงรักษาเชิงรุกยังสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นในระยะยาวได้ด้วย [9]

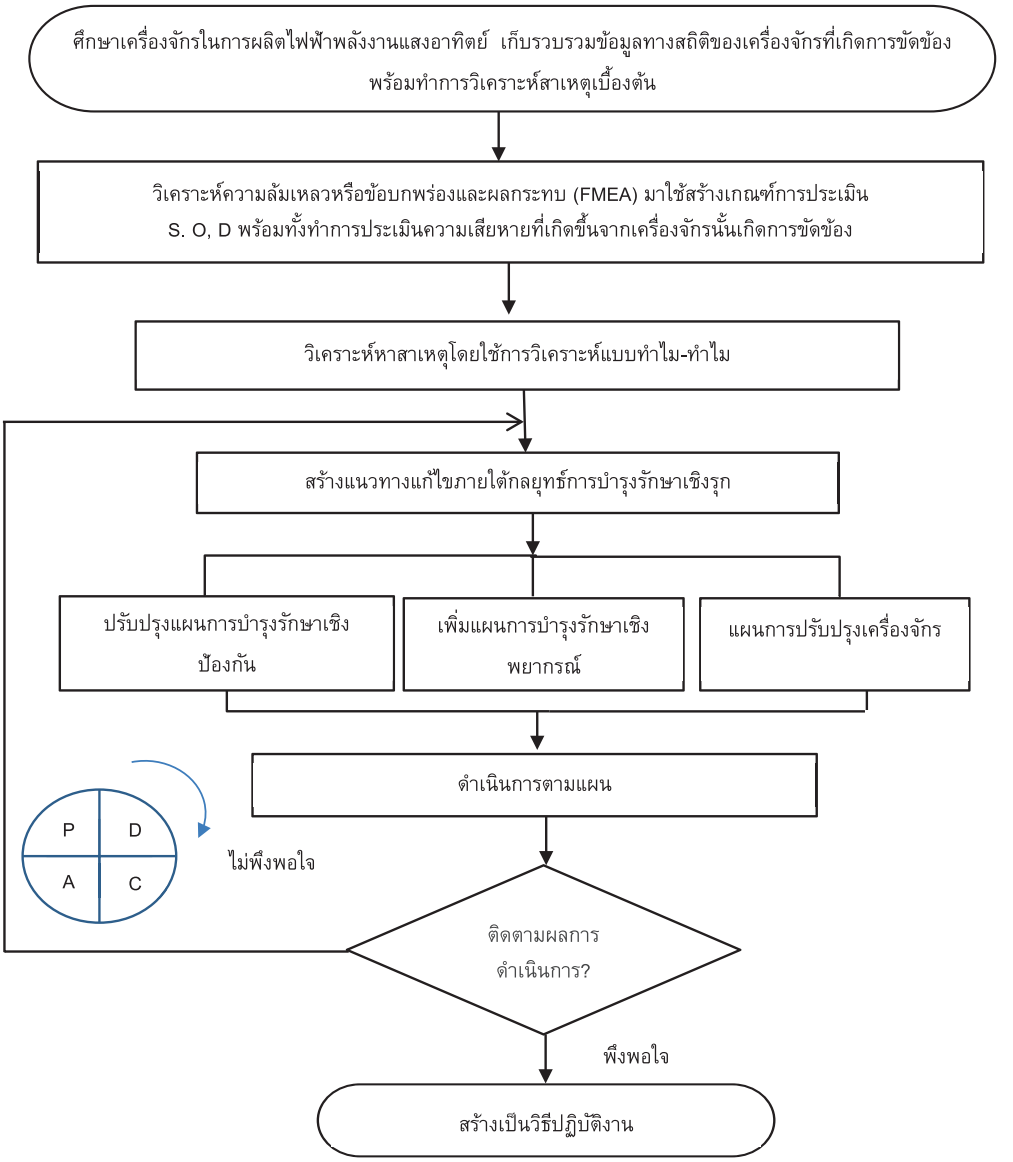
ข้อแตกต่างระหว่างแผนการบำรุงรักษาแบบ PM กับแผนการบำรุงรักษาแบบ PdM คือ แผนการบำรุงรักษาแบบ PM จะมีการกำหนดกิจกรรมไว้ล่วงหน้าซึ่งมักได้จากการคาดคะเน กิจกรรมในแผนการบำรุงรักษามักประกอบไปด้วย การตรวจสภาพเครื่องจักรอุปกรณ์ การทำความสะอาด การหล่อลื่น การปรับแต่งเครื่องจักร รวมถึงการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ตามกำหนดเวลา ส่วนแผนการบำรุงรักษาแบบ PdM จะใช้การคาดคะเนหรือการพยากรณ์ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยใช้เทคนิคต่างๆ ในการติดตามความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร เช่น การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

2.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เป็นเทคนิคสำหรับการวิเคราะห์หน้าที่ (function) ของกระบวนการในทุกขั้นตอนแล้วจึงคาดการณ์ถึงปัญหาหรือลักษณะความเสียหาย (failure mode) ที่เกิดจากความไม่สอดคล้องกับหน้าที่ของกระบวนการที่กำหนดไว้ [5] ซึ่งพบว่ามีการนำ FMEA ไปใช้อย่างแพร่หลายในงานบำรุงรักษา สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำ FMEA มาใช้วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการผลิตกระแสไฟฟ้า

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติของเครื่องจักรที่เกิดการขัดข้องพร้อมทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นเบื้องต้น รูปที่ 4 ได้แสดงถึงขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย

3.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องและผลกระทบ พร้อมทั้งทำการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN)



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ผลการประเมินทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและนำปัญหาสำคัญนั้นมาทำการวิเคราะห์แบบทำไม-ทำไม (why-why analysis) เพื่อหาแนวทางแก้ไขต่อไป

ในขั้นตอนนี้ได้มีจัดตั้งทีมงาน ได้แก่ ผู้จัดการของโรงไฟฟ้า วิศวกรฝ่ายบำรุงรักษา หัวหน้างานฝ่ายซ่อมบำรุง ช่างซ่อมบำรุง และพนักงานเดินเครื่อง (operator) เพื่อร่วมกันคิดและวิเคราะห์ ตารางที่ 1, 2, และ 3 ได้แสดงเกณฑ์ที่ทีมงานร่วมกันพิจารณาโดยนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั่วโมงที่เครื่องจักรขัดข้องกับจำนวนครั้งที่เกิด (ดังรูปที่ 5) มาใช้ในการพิจารณาเกณฑ์ด้วย

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนความรุนแรง (S)

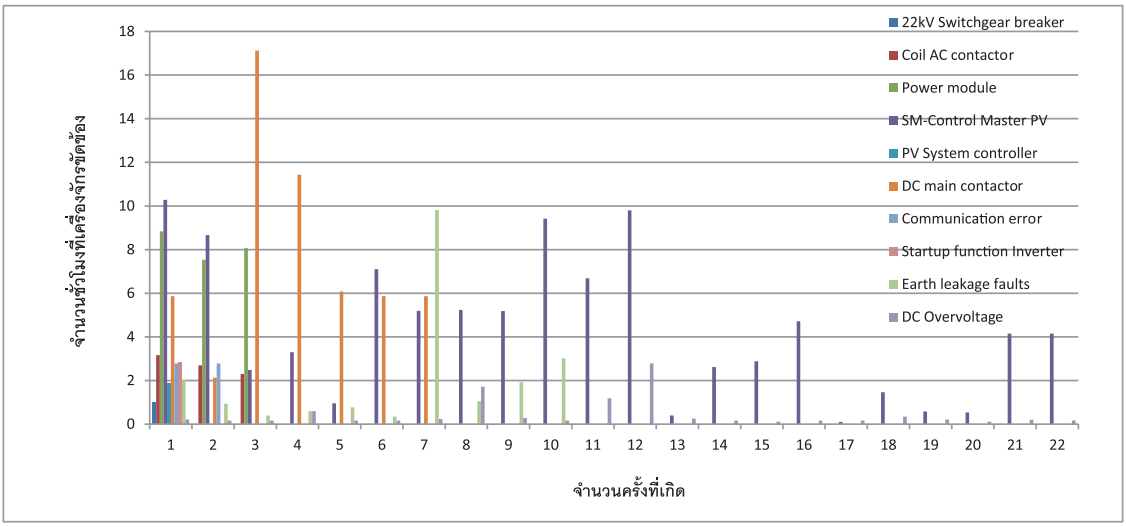
ผลกระทบ	เกณฑ์ของความรุนแรง	คะแนน
ผลกระทบสูง	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 18 ชั่วโมง	10
	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 16 ชั่วโมง แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 18 ชั่วโมง	9
ผลกระทบปานกลาง	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 14 ชั่วโมง แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 16 ชั่วโมง	8
	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 12 ชั่วโมง แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 14 ชั่วโมง	7
ผลกระทบต่ำ	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 10 ชั่วโมง แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 12 ชั่วโมง	6
	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 8 ชั่วโมงแต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 ชั่วโมง	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 6 ชั่วโมงแต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 ชั่วโมง	4
	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดมากกว่า 4 ชั่วโมงแต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 ชั่วโมง	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความรุนแรงการเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลให้เครื่องจักรหยุดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 ชั่วโมง	2
	ไม่มีผลกระทบต่อสายการผลิต	1

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนโอกาสในการเกิดความเสียหาย (O)

โอกาสในการเกิด	เกณฑ์ของโอกาสในการเกิดความเสียหาย	คะแนน
สูงมาก	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า <450 ชั่วโมง	10
	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >450 ชั่วโมง แต่< 900 ชั่วโมง	9
สูง	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >900 ชั่วโมง แต่< 1,350 ชั่วโมง	8
	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >1,350 ชั่วโมง แต่ < 1,800 ชั่วโมง	7
ปานกลาง	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >1,800 ชั่วโมง แต่ < 2,250 ชั่วโมง	6
	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >2,250 ชั่วโมง แต่ < 2,700 ชั่วโมง	5
	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >2,700 ชั่วโมง แต่ < 3,150 ชั่วโมง	4
ต่ำ	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >3,150 ชั่วโมง แต่ < 3,600 ชั่วโมง	3
	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย 1 ครั้งในชั่วโมงการผลิตกระแสไฟฟ้า >3,600 ชั่วโมง แต่ < 4,050 ชั่วโมง	2
ต่ำมาก	เครื่องจักรขัดข้องเฉลี่ย < 1 ครั้งในชั่วโมงการทำงาน > 4,050 ชั่วโมง	1

ตารางที่ 3 เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับ (D)

การตรวจจับได้	เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับ	คะแนน
เกือบจะเป็นไปไม่ได้	ไม่สามารถตรวจจับหรือควบคุมความเสียหายได้	10
น้อยมาก	ยากที่จะตรวจจับ	9
น้อย	ตรวจจับความเสียหายได้เมื่ออยู่ในแผนกซ่อมบำรุง	8
ต่ำมาก	ตรวจจับความเสียหายได้ด้วยการมองเห็นหรือรับรู้ได้โดยช่างซ่อม	7
ต่ำ	ตรวจจับความเสียหายได้ด้วยผู้ปฏิบัติงาน ประกอบกับการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบ	6
พอสมควร	ตรวจจับความเสียหายได้ด้วยโดยผู้ปฏิบัติงานทุกวัน	5
สูงพอสมควร	ตรวจจับความเสียหายได้ภายในกระบวนการด้วยการมองเห็นหรือรับรู้โดยผู้ปฏิบัติงานทุก 3 ชั่วโมง	4
สูง	ตรวจจับความเสียหายได้ภายในกระบวนการด้วยอุปกรณ์ตรวจจับอัตโนมัติ (SCADA System)	3
สูงมาก	ตรวจจับความเสียหายได้อัตโนมัติภายหลังกระบวนการและกระบวนการถูกหยุดเพื่อป้องกันการขัดข้องเพิ่มเติม (SCADA Display on Inverter)	2
สมบูรณ์	ตรวจจับความเสียหายได้อัตโนมัติภายในกระบวนการและกระบวนการถูกหยุดเพื่อป้องกันการขัดข้องลุกลาม	1



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั่วโมงที่เครื่องจักรขัดข้องกับจำนวนครั้งที่เกิด

3.3 ในการหาแนวทางแก้ไขนั้น ให้นำปัญหาที่มีค่า RPN สูงมาวิเคราะห์หารากของสาเหตุด้วยการวิเคราะห์แบบทำไม-ทำไม แล้วจึงนำไปพิจารณาแนวทางแก้ไข หลังจากนั้นจึงกำหนดเป็นแผนงานของการบำรุงรักษาเชิงรุก อันประกอบด้วยการปรับปรุงเครื่องจักร การเปลี่ยนแปลงวิธีการปฏิบัติงาน การปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

3.4 การดำเนินการปรับปรุงตามแผนงานการบำรุงรักษาเชิงรุก ให้ประสบความสำเร็จนั้นได้มีการใช้วงจรเดมมิ่ง (หรือวงจร PDCA) มาประยุกต์ใช้ แล้วประเมินงานผลการดำเนินงานรวมถึงประเมินค่า RPN อีกครั้ง ในการประเมินผลความสำเร็จของงานคิดจากค่าเฉลี่ยของความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวนครั้งที่เกิดการขัดข้อง และกำลังการผลิตที่สูญเสีย เมื่อเป็นพึงพอใจแล้วนำไปกำหนดเป็นวิธีการปฏิบัติงานต่อไป

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำ (RPN) ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าค่า RPN น้อยที่สุดคือ 2 คะแนน และมากที่สุดคือ 480 คะแนน งานวิจัยนี้ได้แบ่งกลุ่มความเสี่ยงชี้นำออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ค่าความเสี่ยงชี้นำสูง มีค่า RPN มากกว่า 400 คะแนน ความเสี่ยงชี้นำปานกลางซึ่งมีค่า RPN มากกว่า 100 คะแนน แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 400 คะแนน และความเสี่ยงชี้นำต่ำซึ่งมีค่า RPN มากกว่า 0 คะแนนแต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 คะแนน ดังนี้

- กลุ่มความเสี่ยงชี้นำสูงประกอบด้วย SM-Control Master PV และ DC Main Contractor
- กลุ่มความเสี่ยงชี้นำปานกลางประกอบด้วย Earth Leakage
- กลุ่มความเสี่ยงชี้นำต่ำประกอบด้วย DC Overvoltage, อุปกรณ์สื่อสารผิดพลาด, Power Module, Coil AC Contractor, 22kV Switchgear Breaker, Startup Function Inverter, PV System Controller

การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเรียงตามลำดับค่าความเสี่ยงชี้นำ โดยกลุ่มความเสี่ยงชี้นำสูงจะได้รับการจัดการก่อน เครื่องจักรที่มีความเสี่ยงชี้นำสูงที่สุดคือ SM-Control Master PV ซึ่งมีค่า RPN สูงที่สุด (480) จึงได้รับความสำคัญในการปรับปรุงการวางแผนการบำรุงรักษาเป็นอันดับแรก รองลงมาคือ DC Main Contractor, Earth Leakage และ DC Overvoltage ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ต่อมาจึงดำเนินการปรับปรุงกลุ่มความเสี่ยงชี้นำปานกลางและตามด้วยกลุ่มความเสี่ยงชี้นำต่ำ

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบ และความเสี่ยงชี้นำ (ก่อนการปรับปรุง)

อุปกรณ์ที่เกิดความเสียหาย	ความเสียหาย	ผลกระทบ	S	O	D	RPN
22kV Switchgear breaker	ระบบสายไฟฟ้ากระแสสลับมีไฟฟ้ารั่วลงดิน	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 58 นาทีต่อครั้ง ไม่มีการขัดข้องใน 4,050 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้อัตโนมัติ	2	1	1	2
Coil AC contactor	เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 104นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 1,800 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับอัตโนมัติ	2	7	3	42
Power module	ระบบสื่อสารเกิดความขัดข้อง	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 65 นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 1,800 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้ด้วยการมองเห็นหรือรับรู้โดยผู้ปฏิบัติงานทุก 3 ชั่วโมง	2	7	4	56
SM-Control Master PV	ฝุ่นแทรกตัวอยู่ระหว่างจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 974 นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 4,050 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้โดยผู้ปฏิบัติงาน ประกอบกับการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบ	8	10	6	480
PV System controller	พารามิเตอร์เกิดความผิดพลาดไม่ถูกต้อง	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 52 นาทีต่อครั้ง ไม่มีการขัดข้องใน 4,050 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้อัตโนมัติภายหลังกระบวนการและกระบวนการถูกหยุดเพื่อป้องกันการขัดข้องเพิ่มเติม	2	1	2	4
DC main contactor	ความเข้มของแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงกะทันหัน	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 1,128 นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 3,600 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้ภายในกระบวนการด้วยอุปกรณ์ตรวจจับอัตโนมัติ	10	9	5	450

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบ และความเสี่ยงชี้นำ (ก่อนการปรับปรุง) (ต่อ)

อุปกรณ์ที่เกิดความเสียหาย	ความเสียหาย	ผลกระทบ	S	O	D	RPN
Communication error	ระบบการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เกิดความขัดข้อง	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 56 นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 2,250 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้ภายหลังกระบวนการด้วยอุปกรณ์ตรวจจับด้วยตนเองในทุกวัน	2	6	5	60
Startup function Inverter	Startup Function Inverter ทำงานผิดพลาด	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 85 นาทีต่อครั้ง ไม่มีการขัดข้องใน 4,050 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้อัตโนมัติภายหลังกระบวนการและกระบวนการถูกหยุดเพื่อป้องกันการขัดข้องเพิ่มเติม	2	1	2	4
Earth leakage faults	เซลล์แสงอาทิตย์แตกและรั่วลงดิน	เครื่องจักรขัดข้อง เวลาตอบสนองคือ 210 นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 3,600 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้ภายหลังด้วยการมองเห็นหรือรับรู้ได้โดยผู้ปฏิบัติงาน	2	9	8	144
DC Overvoltage	ความเข้มของแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นกะทันหัน	สัญญาณเตือนแสดงความผิดปกติเครื่องจักรล้มเหลว เวลาตอบสนองคือ 20 นาทีต่อครั้ง มีการขัดข้องใน 4,050 ชั่วโมงทำงานและมีการตรวจจับได้ภายในกระบวนการด้วยการมองเห็นหรือรับรู้โดยผู้ปฏิบัติงานทุก 3 ชั่วโมง	2	10	4	80

ตารางที่ 5 การปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเชิงรุก

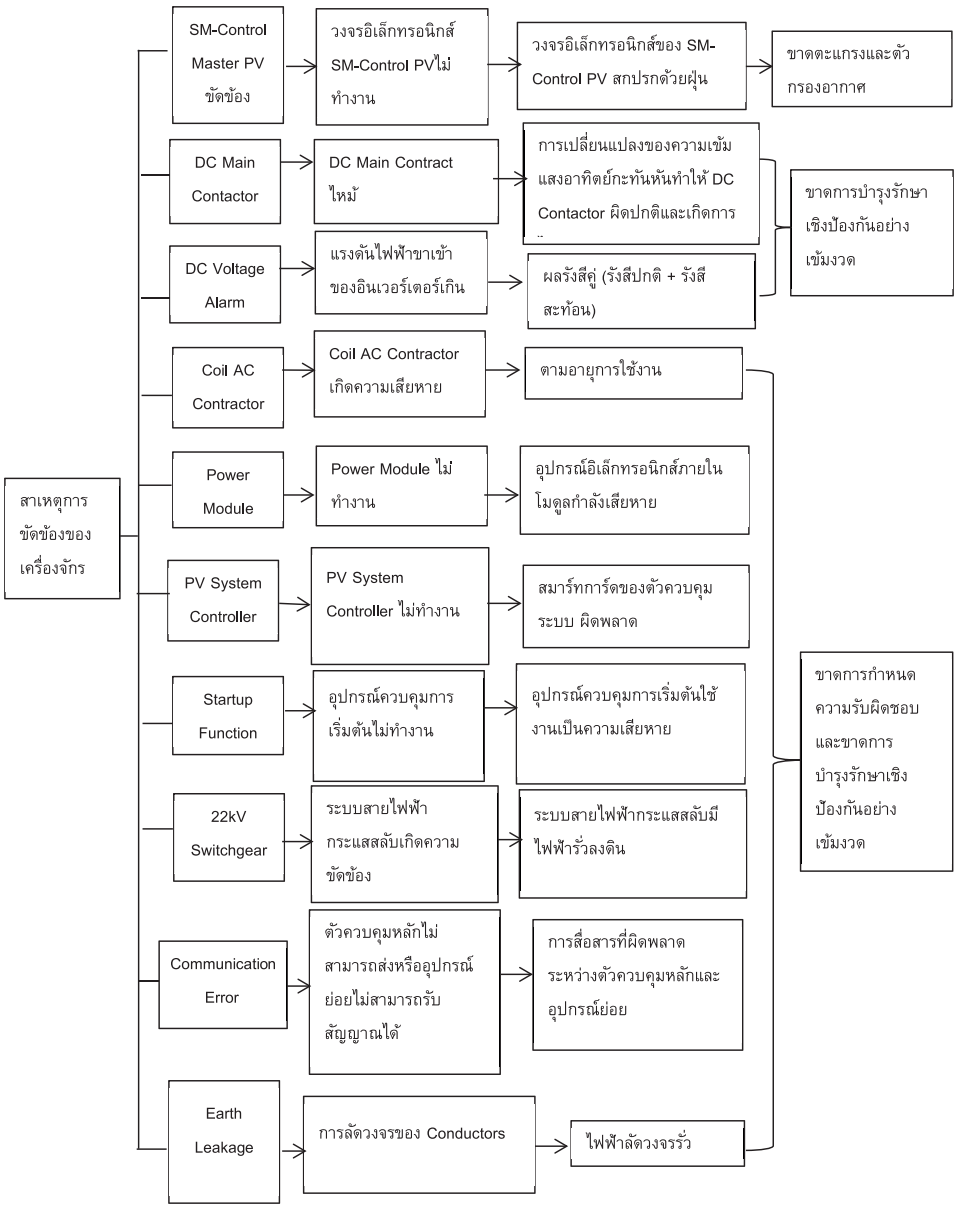
ความเสี่ยง ชี้นำ	เครื่องจักร/ อุปกรณ์	การบำรุงรักษา
สูง	SM Control Master PV	1) ทำความสะอาดหน้าสัมผัสของ SM control master PV ทุกเดือน 2) ติดตะแกรงดักฝุ่น (Filter) และทำความสะอาดตะแกรงดักฝุ่นทุกเดือน
สูง	DC main contactor	ตรวจวัดค่าความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมสแกน (Thermoscan) เดิมทำทุกหนึ่งปี เปลี่ยนเป็นทุกเดือน
กลาง	Earth Leakage	1) เปลี่ยนแปลงความถี่ของการตรวจสอบจาก 1 ปี/ครั้ง เป็น 3 เดือน/ครั้ง 2) ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าแตกหรือไม่ทุกวัน เพื่อลดความเสี่ยงของกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน 3) ตรวจสอบสายไฟฟ้ากระแสตรงว่าสายขาดหรือฉนวนของสายไฟฟ้ามีรอยเสียหายหรือไม่
ต่ำ	Communication error	ตรวจสอบอุปกรณ์สื่อสาร เช่น Ethernet switch, RTU, ระบบ SCADA ทุกปี
ต่ำ	DC Overvoltage	ตรวจสอบ DC Smart Box circuit breaker ทุกเดือน
ต่ำ	Power Module	เปลี่ยนแปลงความถี่ของการตรวจสอบจาก 1 ปี/ครั้ง เป็น 3 เดือน/ครั้ง สิ่งที่ตรวจสอบ ได้แก่ พัดลมระบายความร้อนของ Power module ระบบสื่อสารระหว่าง Power module กับ PV system controller
ต่ำ	Coil AC Contactor	เดิม เปลี่ยน Coil AC contactor เมื่อมีการเสียหาย เป็นเปลี่ยน ทุกปี
ต่ำ	PV System Controller	เปลี่ยนสมาร์ทการ์ด (Smart card) และ ตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ของสมาร์ทการ์ด ทุก 6 เดือน
ต่ำ	Startup function inverter	ตรวจสอบการทำงานของระบบ Startup function inverter ทุกปี
ต่ำ	22kV Switchgear	1) เปลี่ยนแปลงความถี่ของการตรวจสอบจาก 3 เดือน/ครั้ง เป็นทุกเดือน สิ่งที่ตรวจสอบได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า อุปกรณ์ในตู้ Switchgear
	Breaker	สายไฟฟ้ากระแสสลับในระบบทั้งระดับแรงดัน 400 โวลต์ และ 22 กิโลโวลต์ ฉนวนไฟฟ้าของอุปกรณ์อยู่ในสภาพดีเพื่อลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดกระแสรั่วระหว่างเฟส หรือรั่วลงดิน 2) เปลี่ยนแปลงความถี่ของการตรวจสอบจากทุกหนึ่งเดือน เป็นทุก 15 วัน สิ่งที่ตรวจสอบ ได้แก่ สายส่งระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ ว่ามีความเสี่ยงที่จะทำให้ไฟรั่วลงดินจากต้นไม้พาดสายส่งตลอดเส้นทางจากโรงไฟฟ้าถึงการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

4.2 ผลการวิเคราะห์หารากของสาเหตุเมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา SM-Control Master PV เกิดการขัดข้อง แสดงดังรูปที่ 6 โดยมีรากของสาเหตุได้แก่ (1) การไหม้ และ (2) ไม่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำรองเพียงพอ ซึ่งการแก้ไขที่จัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำรองให้เพียงพอนั้นยังไม่ใช่การแก้ไขปัญหาที่แท้จริง แต่สาเหตุที่แท้จริงของความเสียหายมาจากความสกปรกของฝุ่น ดังนั้นสรุปสาเหตุหลักสามประเด็นดังนี้

1) การขาดตะแกรงและเครื่องกรองอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองและแมลงเข้าไปในแผงวงจรอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ดังรูปที่ 7)

2) ขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันอย่างเข้มงวด

3) ขาดการกำหนดผู้รับผิดชอบต่อการตอบโต้แก้ไขเครื่องจักรเมื่อเกิดการขัดข้อง



รูปที่ 6 การวิเคราะห์หารากของสาเหตุของการเสียของเครื่องจักรในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 7 ตะแกรงเพื่อป้องกันแมลง

5. สรุปผล

จากเดิมเครื่องจักรของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ค่อนข้างยากที่จะรู้ล่วงหน้าว่าจะเกิดเหตุขัดข้องเมื่อใดและไม่สามารถวางแผนเปลี่ยนชิ้นส่วนก่อนที่อุปกรณ์จะเสียหาย จึงเป็นเหตุให้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการบำรุงรักษาแบบเน้นการตรวจสอบปีละครั้งและแก้ไขเมื่อตรวจพบความผิดปกติ ซึ่งจะเป็นการบำรุงรักษาเชิงรับ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการนำการบำรุงรักษาแบบเชิงรุกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาและการผลิตสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยทำการวิเคราะห์ความขัดข้องที่ก่อให้เกิดผลกระทบ ทำการกำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำจากสถิติเครื่องจักรขัดข้อง ทำการจัดลำดับความสำคัญของความขัดข้อง และทำการวิเคราะห์ ทำไม-ทำไม เพื่อหาสาเหตุของความขัดข้อง รวมถึงการนำวงจร PDCA มาใช้เพื่อติดตามและปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาและกิจกรรมจนกว่าผู้ปฏิบัติงานจะสามารถทำงานได้อย่างราบรื่น แล้วจึงกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานบำรุงรักษา

ผลของการดำเนินการวิเคราะห์จนกระทั่งได้แผนการบำรุงรักษาเชิงรุก พบว่าสิ่งที่แตกต่างไปจากแผนเดิมคือการตรวจจับได้ (Detection) และการเพิ่มความถี่ในการตรวจจับนั้น รวมทั้งการติดตั้งอุปกรณ์กันฝุ่นและแมลงซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการขัดข้องของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภายหลังการปรับปรุงได้ทำการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำอีกครั้งพบว่ามีค่าความเสี่ยงชี้นำลดลง ดังแสดงในตารางที่ 6 และยังพบว่าดัชนีต่างๆ ดีขึ้นดังนี้

- เพิ่มค่าเฉลี่ยของความพร้อมการใช้งานเครื่องจักร (Machine Availability) เพิ่มขึ้นจาก 99.43 % ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.20% เป็น 99.69% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.41% (ดังรูปที่ 8)

- ค่าเวลาการสูญเสีย (Lost Time) ลดลงจาก 13,421 นาที/ปี เหลือ 4,967 นาที/ปี คิดเป็นลดลง 62.99%

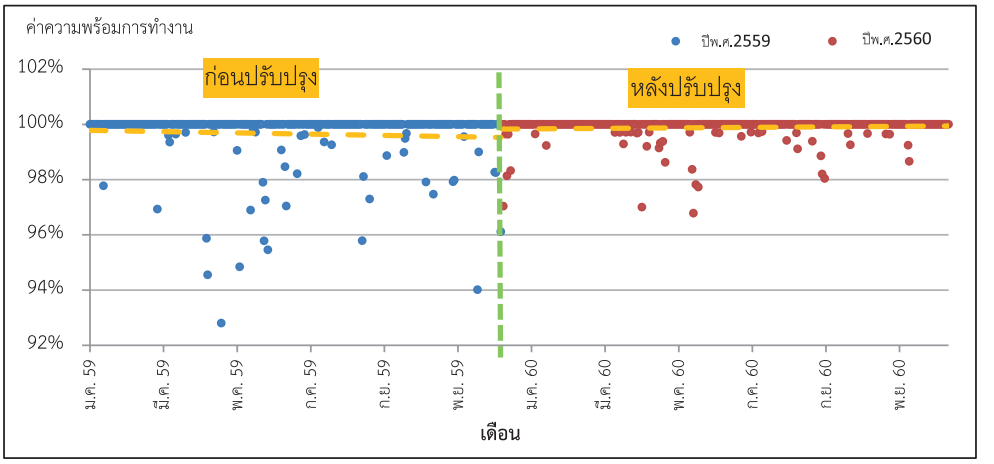
- กำลังการสูญเสีย (Power Loss) ลดลงจาก 66,699 นาที/ปี เหลือ 47,731 นาที/ปี คิดเป็นลดลง 28.44%

- จำนวนการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักรลดลงจาก 72 ครั้ง/ปี เหลือ 43 ครั้ง/ปี คิดเป็นลดลง 40.28%

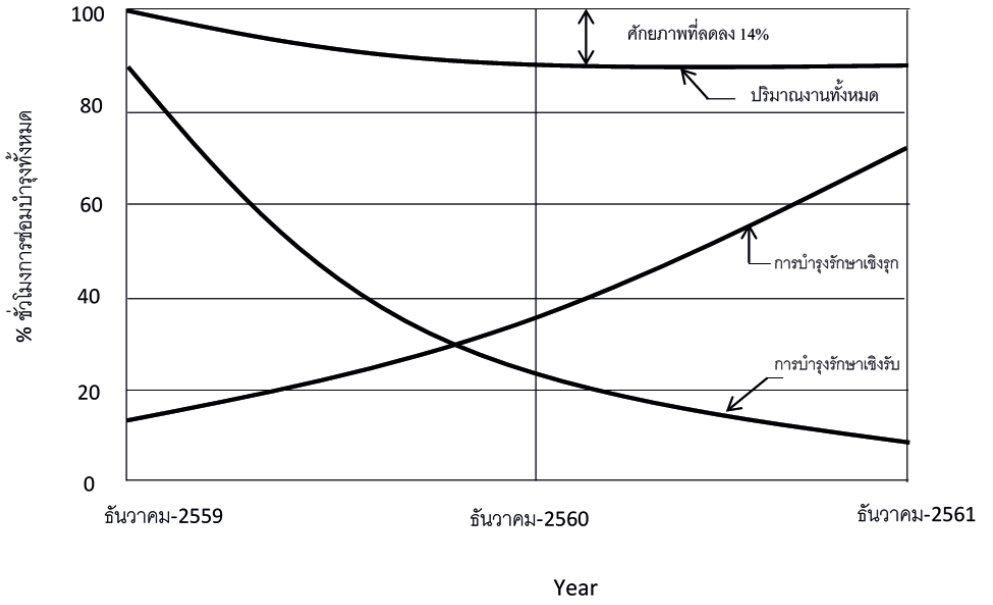
เมื่อเปรียบเทียบภาระงานของการบำรุงรักษาเชิงรับ (ก่อนการปรับปรุง เกิดขึ้นก่อน ธันวาคม 2559) และภาระงานของการบำรุงรักษาเชิงรุก (หลังการปรับปรุง ตั้งแต่ มกราคม 2560 ถึง ธันวาคม 2560) จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 ซึ่งสามารถลดภาระงานของการบำรุงรักษาทั้งหมดลงได้ 14% ภายในเวลาหนึ่งปี และมีข้อสังเกตเพิ่มเติมได้ว่าไม่มีภาระงานการบำรุงรักษาทั้งหมดเพิ่มขึ้นอีกในปีต่อมา (มกราคม 2561 ถึง ธันวาคม 2561)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงชี้นำก่อนและหลังการปรับปรุง

อุปกรณ์ที่เกิดความเสียหาย	ก่อนการปรับปรุง				หลังการปรับปรุง				RPN ลดลง
	S	O	D	RPN	S	O	D	RPN	
SM-Control Master PV	8	10	6	480	8	10	4	320	33.33%
DC main contactor	10	9	5	450	10	8	5	400	11.11%
Earth leakage faults	2	9	8	144	2	8	6	96	33.33%
Communication error	2	6	5	60	2	6	5	60	0.00%
DC Overvoltage	2	10	4	80	2	10	3	60	25.00%
Power module	2	7	4	56	2	6	3	36	35.71%
Coil AC contactor	2	7	3	42	2	6	3	36	14.28%
PV System controller	2	1	2	4	2	1	2	4	0.00%
Startup function Inverter	2	1	2	4	2	1	2	4	0.00%
22kV Switchgear breaker	2	1	1	2	2	1	1	2	0.00%



รูปที่ 8 ค่าความพร้อมการทำงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 9 ภาระงานทั้งหมดในการบำรุงรักษา

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้จะส่งผลดียิ่งขึ้นถ้าหาก มีจำนวนพนักงานที่ทำหน้าที่ซ่อมบำรุงมากกว่านี้และมีการอบรมความรู้ในการซ่อมแก่พนักงานเหล่านั้นเพื่อลดเวลาในการซ่อม มีการบริหารจัดการระบบคลังชิ้นส่วนอุปกรณ์ ทันต่อความต้องการใช้งาน ไม่เกิดเวลารอคอย งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงตัวอย่างการใช้วงจร PDCA ในงานจัดการงานบำรุงรักษารวมทั้งการสร้างทีมงานและองค์ความรู้ของทีมงานจากงานวิจัยของ Rukijkanpanich และ Pasuk [7]

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานได้มีการประชุมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและมีการเปลี่ยน-แปลงวิธีการปฏิบัติงานในการบำรุงรักษา จึงใคร่ขอแสดงความขอบพระคุณทีมงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งนี้ที่ช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี

8. เอกสารอ้างอิง

1. Wongjirattikarn, S., 2013, “Improvement of Preventive Maintenance Planning of an Automobile Shaft Manufacturer by FMEA Technique,” *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 23 (3), pp. 643-653. (In Thai)

2. Automotive Industry Action Group (AIAG), 2012, Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), 3rd ed.

3. Application of FMEA and AHP to Improve the Dyeing Process in the Sample Factory, Master of Engineering Thesis, Department of Industrial and Management Engineering, Silpakorn University. (In Thai)

4. Bank, D., 2015, “FITT for Investors Crossing the Chasm,” Recuperado a partir de [Online], Available: https://www.db.com/cr/en/docs/solar_report_full_length.pdf. [25 April 2018].

5. Deshpande, V.S. and Modak, J.P., 2003, Reliability Centered Maintenance in Electric Power Plant, Washington DC, Harper and Bros.

6. Dhillon, B.S., 1989, Life Cycle Costing: Technique, Models and Applications, Gordon and Breach,

New York.

7. Rukijkanpanich, J. and Pasuk, P., 2018, "Maintenance Management for Transportation Process in Quarry Industry," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 24, pp.185-199.

8. Aarseth, E., 2003, "Playing Research: Methodological Approaches to Game Analysis," *Proceedings of the Digital Arts and Culture Conference*, pp. 28-29.

9. Susto, G.A., Schirru, A., Pampuri, S., McLoone, S. and Beghi, A., 2014, "Machine Learning for Predictive Maintenance: A Multiple Classifier Approach," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11 (3), pp. 812-820.

10. Santaweesuk, P. and Rukijkanpanich, J., 2017, "Modification Maintenance Period for Masterbatch Production," *KMUTT Research and Development Journal*, 40 (3), pp. 427-445. (In Thai)

11. Manaspiti, P., 2018, "Productivity Analysis and Improvement in Bottling Process through Maintenance Theories," *KMUTT Research and Development Journal,* 41 (2), pp. 199-209. (In Thai)