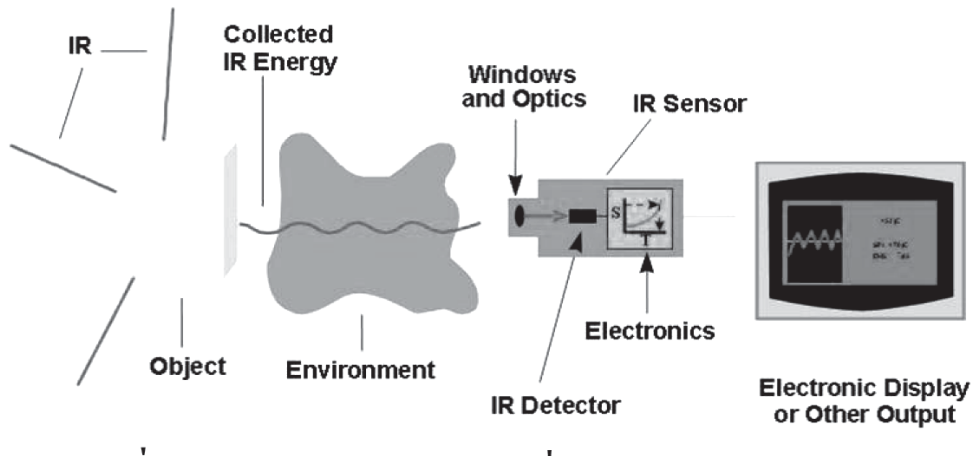


การหาพรรณนั้ชีวิตแบบทำนายของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือ เพื่อการซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำในเชิงรุก



นาวาเอก ประจักษ์ พูลสวัสดิ์

หัวหน้าฝ่ายช่าง โรงงานซ่อมเครื่องไฟฟ้า กองโรงงานไฟฟ้า อุทยานวิมิตตลอดดุยเดช กรมอุทกหารเรือ
ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20180

โทร. 038 438457 ต่อ 77816 โทรสาร 038 438457 ต่อ 77800 E-mail : poolsa@thaimail.com

เรือเอก มานะชัย คำแย้ม

รักษาราชการประจำแผนกไฟฟ้า กองควบคุมคุณภาพ อุทยานวิมิตตลอดดุยเดช กรมอุทกหารเรือ
ตำบลสัตหีบ อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี 20180

โทร. 038 438457 ต่อ 77515 โทรสาร 038 438457 ต่อ 77800 E-mail : khamyam_ch@yahoo.com

บทคัดย่อ

การซ่อมทำอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือ หากซ่อมทำตามแผนหรือระยะเวลาที่กำหนด จะทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ฯ ได้ และทราบล่วงหน้าว่าอุปกรณ์ที่จะต้องซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำคืออะไร จะทำให้สามารถวางแผนจัดหาอะไหล่และซ่อมทำได้ทันตามแผนที่กำหนดได้ บทความนี้จะนำเสนอ การหาพรรณนั้ชีวิตแบบทำนายของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือ เพื่อการซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำในเชิงรุก โดยการหาค่าพรรณนั้ชีวิต ความต้านทานฉนวน (Polarization Index : PI) ซึ่งสามารถทำนายสภาพของฉนวนในส่วนข้อมอเตอร์ การวัดค่าการสั่นสะเทือน (Vibration) สามารถตรวจสอบการสึกหรอของจุดเชื่อมต่อ (ทั้งภายในและภายนอก) หรือความผิดปกติของชิ้นส่วนในเครื่องจักรกลหมุน และการถ่ายภาพความร้อน (Thermal View) สามารถตรวจสอบการทำงานของชิ้นส่วนที่มีการเสียดสีหรือหล่อลื่น ตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ความร้อน เมื่อนำพรรณนั้ชีวิตเหล่านี้ไปเทียบกับค่าเกณฑ์แล้วจะทำให้ทราบถึงสภาพของอุปกรณ์ในขณะนั้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อกรมอุทกหารเรือในการวางแผนการจัดหาอะไหล่และซ่อมทำเรือในอนาคต

บทนำ

จากข้อเท็จจริงปัจจุบันพบว่า เมื่อมีการนำเรือเข้ารับการซ่อมทำ พบว่ามีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องได้รับการซ่อมทำจำนวนมากกว่าที่ได้สำรวจหรือทำนายไว้ เป็นผลให้โรงงานไม่สามารถดำเนินการซ่อมทำได้ทัน ไม่มีการจัดหาอะไหล่ไว้รองรับ ประกอบกับการจัดซื้อจัดหาต้องใช้เวลา นาน นอกจากนั้นเมื่อซ่อมทำเสร็จ และนำไปติดตั้งในเรือ ด้วยสภาพที่เรือรมมีพื้นที่คับแคบ สิ่งอำนวยความสะดวกมีจำกัด ทำให้ปฏิบัติงานไม่สะดวก ไม่สามารถติดตั้งและทดสอบให้เป็นไปตามแผนได้

จากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาดังกล่าว พบว่ามีอุปกรณ์ที่เสียหายและต้องซ่อมทำมากกว่าที่คาดการณ์ไว้ จึงมีแนวความคิดจะหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่บอกได้ว่าอุปกรณ์นี้ต้องซ่อมบำรุงแล้วและจะต้องดำเนินการได้ในขณะเรือเทียบท่า ไม่ต้องรอให้เกิดความเสียหายแล้วจึงมาซ่อมทำขณะเรือเข้าซ่อมทำตามแผน ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทำให้มีเครื่องมือวัดหลากหลายชนิดสามารถนำมาหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่บอกได้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือให้ครบทุกส่วนได้ และสามารถบอกได้ว่า อุปกรณ์นั้นต้องซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำ

2. หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

อุปกรณ์ที่ใช้งานในเรือส่วนใหญ่ คือ ปัมและมอเตอร์ซึ่งมีขดลวดเป็นส่วนประกอบ และทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง บทความนี้จะกล่าวถึงการหาวิธีที่รวดเร็วกว่าที่บอกได้ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าในเรือ เพื่อการซ่อมบำรุงหรือซ่อมทำในเชิงรุก ซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)

การตรวจสอบความร้อน (Thermal Monitoring) และการหาดัชนีความต้านทานจนวน (Polarization Index)

2.1 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนคือ ปรากฏการณ์ของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นแรงภายในหรือแรงภายนอกก็ได้¹ โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ แต่มักหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นวิธีการที่ดีที่สุดคือการจำกัดขนาดของการสั่นสะเทือนให้อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ สำหรับเครื่องจักรแล้วการสั่นสะเทือนเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่ง

สาเหตุหลักเกิดจากการไม่สมดุลของเครื่องจักรที่หมุน การสั่นสะเทือนยังอาจเกิดได้จากการที่ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงด้วยความเร่ง ชิ้นส่วนเครื่องจักรสองชิ้นที่เสียดสีหรือถูกัน ซึ่งการสั่นสะเทือนนี้จะเกิดจากความไม่เรียบของผิวหน้าของชิ้นส่วนสองชิ้นที่สัมผัสกัน การสั่นสะเทือนเหล่านี้จะมีผลต่อสมรรถนะและสภาพการใช้งานของเครื่องจักร ดังนั้นการทำให้เครื่องจักรทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน เพื่อให้สามารถจำกัดขนาดการสั่นสะเทือนให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.1.1 การสั่นสะเทือนกับสภาพเครื่องจักร

ในแง่การนำการสั่นสะเทือนมาใช้งานในการบำรุงรักษาและการตรวจสภาพการทำงานของเครื่องจักรนั้นจะต้องมีเครื่องมือมาช่วยเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยทั่วไปเมื่อเครื่องจักรทำงานไม่ว่าจะอยู่ในสภาพที่ดี เยี่ยม หรือ เสียหาย ต่างมีการสั่นสะเทือนและเสียง (Noise) เสมอ

เพียงแต่ว่าระดับหรือขนาดของการสั่นสะเทือนและเสียงในเครื่องจักรที่อยู่ในสภาพที่ดีจะมีขนาดต่ำ (ในขนาดที่ยอมรับได้) ในขณะที่เครื่องจักรที่มีสภาพชำรุดหรือมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นระหว่างทำงาน ขนาดหรือระดับของการสั่นสะเทือนและเสียงมักจะสูงตามสภาพการชำรุดหรือบกพร่อง ดังนั้นจากความจริงข้อนี้จึงมักมีการใช้ขนาดของการสั่นสะเทือนหรือเสียงเป็นตัววินิจฉัยสภาพหรือปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรเพื่อประโยชน์ในการบำรุงรักษา สาเหตุการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรมีหลายสาเหตุ เช่น ความไม่สมดุลของชิ้นส่วนเครื่องจักรหมุน การไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (Misalignment) ของตัวต่อ (Coupling) ตลับลูกปืน (Bearing) เฟืองที่เยื้องศูนย์ และเฟืองที่สึกและเสียหาย ฯลฯ

2.1.2 การกำหนดตำแหน่งในการตรวจวัด

ในการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือน ผู้ปฏิบัติควรคำนึงถึงหัวข้อต่อไปนี้ ²

- **ประเภทของหัวตรวจวัด** ขึ้นอยู่กับโครงสร้างหรือจุดที่ทำการตรวจวัด จุดประสงค์ของการตรวจสอบ และย่านความถี่การตรวจวัด

- **ตำแหน่งที่จะตรวจวัด** ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเครื่อง และลักษณะการทำงานของเครื่อง (Dynamic)

- **จำนวนจุดวัด** ขึ้นอยู่กับขนาดและน้ำหนักของหัวตรวจวัด ความรุนแรงของปัญหา ชนิด และความกว้างของปัญหา

อย่างไรก็ตาม การกำหนดตัวแปรตามหัวข้อข้างต้น อาจพบข้อจำกัดอยู่

บ้าง จึงต้องประยุกต์ใช้หัวตรวจที่มีความเหมาะสมกับความถี่ที่จะวัด และข้อควรระวังประการหนึ่งในการตรวจวัดความสั่นสะเทือนคือ ตำแหน่งการติดตั้งประเภทของสายที่ใช้ สัญญาณรบกวน ตลอดจนการวางสาย และระบบการปรับสัญญาณให้รอบคอบ เนื่องจากสัญญาณที่ตรวจวัดได้เป็นสัญญาณที่มีค่าความต่างศักย์และกระแสต่ำ การกำหนดจุดวัดกับเครื่องจักรกลต่าง ๆ นั้นสามารถดูรายละเอียดใน ² และเกณฑ์มาตรฐานค่าการสั่นสะเทือนใน ³

2.2 การตรวจสอบความร้อน

ก่อนที่จะทราบถึงวิธีการตรวจจับความร้อนจะต้องเข้าใจเกี่ยวกับการส่งผ่านหรือการแผ่ความร้อนของวัตถุก่อน

2.2.1 ทฤษฎีรังสีอินฟราเรด

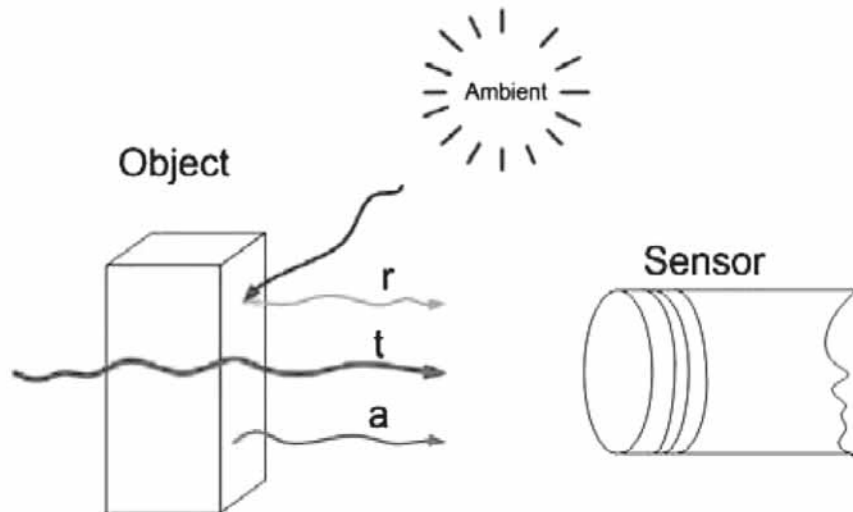
รังสีอินฟราเรดหรือรังสีความร้อนจะแผ่ออกมาจากพื้นผิวของวัตถุในรูปพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบบนพื้นผิววัตถุบางส่วนจะถูกดูดกลืน (Absorbed) บางส่วนจะสะท้อน (Reflected) และบางส่วนจะส่งผ่านออกไป (Transmitted) ตามสมการ (1) และ แสดงได้ดังรูปที่ 1

$$r+t+a = 1 \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

a คือ Absorptivity, r คือ Reflectivity และ t คือ Transmissivity

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพภาวะแวดล้อมที่สมดุล การแผ่พลังงานของรังสีอินฟราเรดของวัตถุจะมีค่าเท่ากับปริมาณที่ดูดกลืน เป็นผลให้วัตถุที่สามารถจะดูดกลืนรังสีได้ดีก็จะแผ่รังสีได้ดีด้วย



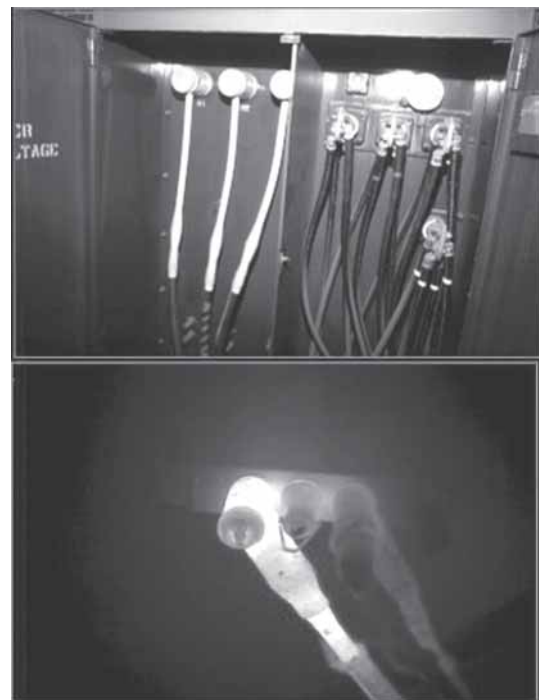
รูปที่ 1 แสดงการถ่ายเทพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ

2.2.2 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส

อุณหภูมิเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในกระบวนการทางวิศวกรรม ภาวะผิดปกติของอุปกรณ์มักจะแสดงออกในรูปการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เช่น ข้อต่อ ทางไฟฟ้า หรือตลับลูกปืนที่อุณหภูมิสูงผิดปกติย่อมเป็นการบ่งชี้ถึงความบกพร่องบางประการที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ดังกล่าว ดังนั้นเครื่องมือวัดที่แสดงสภาพอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจสอบสถานะการทำงานของกระบวนการหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานและในเรือ

เครื่องมือที่สามารถสนองต่อวัตถุประสงค์ข้างต้นได้อย่างเหมาะสมที่สุดคือเครื่องมือวัดและเครื่องสร้างอุณหภูมิแบบรังสีอินฟราเรด (Infrared Thermometer and Infrared Thermography) ซึ่งจะวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ บนวัตถุ แล้วนำผลการวัดมาสร้างเป็นภาพแสดงระดับอุณหภูมิ

ของวัตถุนั้น โดยใช้สีหรือระดับความเข้มเป็นตัวบอกความสูงต่ำของอุณหภูมิ รูปที่ 2 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าข้อต่อไฟฟ้ามีอุณหภูมิสูงผิดปกติ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายธรรมดา (ภาพบน) และภาพอุณหภูมิ (ภาพล่าง) ของข้อต่อไฟฟ้า

2.2.3 หลักการพื้นฐาน

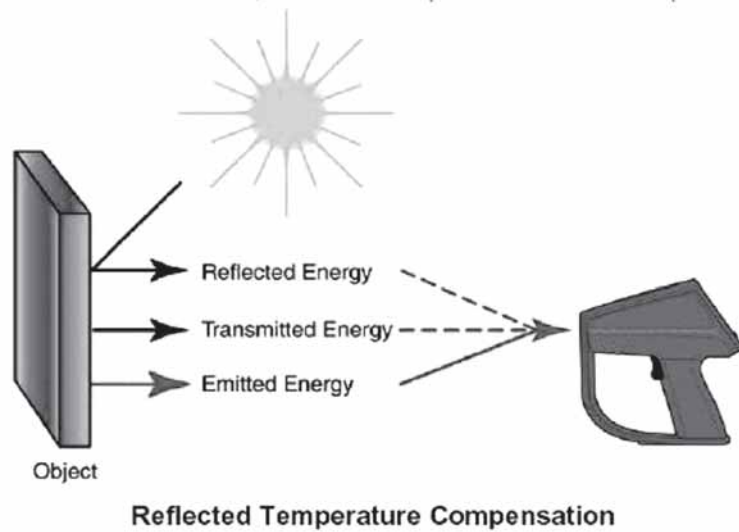
เครื่องมือวัดรังสีอินฟราเรดทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ว่า วัตถุทุกชนิดจะแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาเสมอ รังสีที่แผ่ออกมานี้ประกอบด้วยรังสีที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน (สเปกตรัมของรังสี) ระดับพลังงานของรังสีนี้จะสูงขึ้นตามอุณหภูมิของวัตถุ ซึ่งอุณหภูมิของวัตถุกับระดับพลังงานของรังสีที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุนั้นมีความสัมพันธ์ที่

แน่นอนตามกฎหมายของ Planck เราจึงอาจจะหาอุณหภูมิของวัตถุได้โดยการวัดพลังงานของรังสีที่ถูกแผ่ออกมาจากวัตถุแทน ดังรูปที่ 3

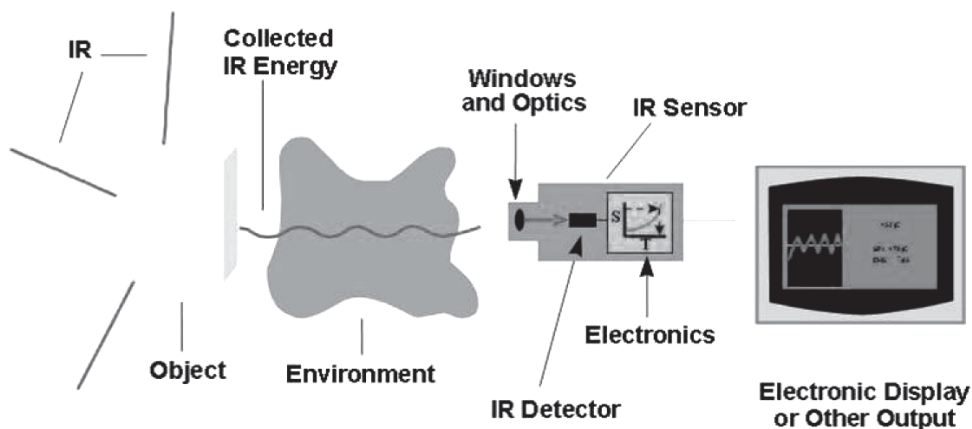
2.2.4 ความคลาดเคลื่อน

ในการวัด

เนื่องจากวัตถุมิการแผ่รังสีความร้อนออกมา เช่น เครื่องจักร เครื่องไฟฟ้า เครื่องมือตรวจจับความร้อนจะมีตัวตรวจจับรังสีความร้อน (IR Sensor) แล้วนำไปแสดงผลที่จอ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงการตรวจจับพลังงานที่แผ่ออกมาจากวัตถุ (Emitted Energy)



รูปที่ 4 แสดงการทำงานของเครื่องมือตรวจจับความร้อน

โดยการตรวจจับนั้นมีพารามิเตอร์ของวัตถุคือ ยานอุณหภูมิจึงของวัตถุ ขนาดและรูปร่าง ระยะห่างจากตัวตรวจจับ ชนิดของวัสดุ และการเคลื่อนไหว ผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือนี้จะมีค่าความถูกต้องก็ต่อเมื่อปริมาณพลังงานของรังสีที่มาถึงตัวตรวจจับนั้นเป็นปริมาณเดียวกันกับที่ถูกปล่อยออกมาจากวัตถุเท่านั้น หากมีการแทรกเสริมหรือการดูดกลืนรังสีเกิดขึ้นย่อมจะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไป

2.3 การหาดัชนีความต้านทาน ฉนวน (Polarization Index: PI)

ความต้านทานฉนวนขึ้นอยู่กับตัวแปรหรือปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของฉนวน อายุการใช้งาน พื้นผิว ความชื้น และความสกปรก ความต้านทานฉนวนสามารถอธิบายได้ โดยพิจารณาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ คือ การรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า ความนำไฟฟ้า การดูดซึม เมื่อมีการทดสอบด้วยพีไอ (Polarization Index) นั้น ปกติความจุไฟฟ้าจะมีผลภายหลังการทดสอบ 2-3 วินาทีแรก ส่วนความนำไฟฟ้าควรมีค่าเป็นศูนย์หากขดลวดไม่มีความชื้น และกระแสไฟฟ้ารั่วไหลจะคงที่ตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ

การทดสอบด้วยพีไอมีประโยชน์เนื่องจากมีตัวแปรที่คงที่ซึ่งได้แก่กระแสไฟฟ้าที่ซึมซับไว้จะแสดงให้เห็นทราบสภาพของฉนวนว่า มีความสมบูรณ์เพียงใด ค่าพีไอเป็นอัตราส่วนค่าความต้านทานที่วัดได้ในแต่ละเฟสเทียบกับกราวด์ ที่เวลา 1 นาที และ 10 นาที นับตั้งแต่เริ่มป้อนแรงดันให้แก่ฉนวน แล้วนำมาหาดัชนีความต้านทานฉนวน จาก (2)

$$PI = \frac{IR (10 \text{ min})}{IR (1 \text{ min})} \quad (2)$$

โดยที่

PI คือ ดรรชนีความต้านทานฉนวน

IR (10 min) คือ ค่าความต้านทานฉนวนที่ 10 นาที

IR (1 min) คือ ค่าความต้านทานฉนวนที่ 1 นาที

โดยปกติค่า พีไอ ควรอยู่ระหว่าง 2 และ 5 ถ้าต่ำกว่า 2 แสดงว่าขดลวดสกปรกหรือมีความชื้น แต่ถ้ามากกว่า 5 แสดงว่าฉนวนกรอบแห้งและเปราะ⁴

3. ขั้นตอนการปฏิบัติ

3.1 เลือกเรือและอุปกรณ์ที่ต้องการหา ดรรชนีชี้วัดเพื่อทำนาย

3.2 เก็บข้อมูลโดยการวัดค่าพีไอ ค่าการสิ้นสะท้อน และภาพถ่ายความร้อน ทุก 1 เดือน ทุก 2 เดือน หรือ ทุก 300 ชั่วโมง ทำงานของอุปกรณ์นั้น (โดยประมาณ) แล้วบันทึกผลจนครบชั่วโมงทำงาน ซึ่งในการวัดนั้นจะต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิแวดล้อม ระบบควบคุมการทำงาน เครื่องมือวัด ตลอดจน ผู้ที่ทำการวัดหรืออ่านค่า

3.3 นำ ค่า ที่ได้จากการวัดมา พล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์กับชั่วโมงทำงาน แล้วประมาณเป็นสมการทางคณิตศาสตร์

3.4 วิเคราะห์สมการที่ได้จากข้อ 3.3 โดยพิจารณาเกณฑ์มาตรฐานของดรรชนีชี้วัดแต่ละตัว รวมทั้งวิเคราะห์ดูแนวโน้มของค่าเหล่านั้นว่า มีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร จากนั้นจึงสรุปและประเมินผล

4. ตัวอย่างการนำไปใช้

ร.ล.ล่องลม เข้ารับการซ่อมทำ ที่ อุทยานาวิมหิตลอดุลยเดช กรมอุทกหารเรือ

(อรม.อร.) จนแล้วเสร็จ จึงส่งมอบเรือให้ กองเรือยุทธการ (กร.) ในปี 2550 และมีแผนที่จะเข้ารับการซ่อมทำคืนสภาพในปี 2555 ซึ่งมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ หมายเลข 1 (High) หลังจากผ่านการซ่อมทำโดยการ พันชดลวดใหม่ โดยชดลวดที่ใช้เป็นจนวน คลาส B ซึ่งจะมีชั่วโมงการทำงานประมาณ 14,600 ชม. (ประมาณ 5 ปี) สมมติว่าเปิด ใช้งานวันละ 8 ชม. ให้ทำนายสภาพของ

มอเตอร์เครื่องอัดอากาศ หมายเลข 1 (High) นี้ ตลอดชั่วโมงการใช้งาน

สำหรับขั้นตอนการปฏิบัติงานนั้นจะเริ่ม ตั้งแต่การเก็บข้อมูล โดยวัดค่าพีไอ ค่าการ สั่นสะเทือน และค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ เครื่องอัดอากาศ หมายเลข 1 (High) ทุก ๆ 300 ชั่วโมงทำงาน (โดยประมาณ) แล้ว บันทึกผล จนครบ 48 ครั้ง ซึ่งจะใช้เวลา ประมาณ 5 ปี ดังตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4

ตารางที่ 1 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิ ของมอเตอร์ ครั้งที่ 1 ถึง 12

ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PI				4.0	4.0	3.9	3.9	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6
Vibration	มอเตอร์	LM	V	3.8	3.8	3.8	4.0	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.4	4.5
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4
Temperature (°C)				40	41	42	43	45	47	48	48	49	50	52	53

ตารางที่ 2 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิของมอเตอร์ ครั้งที่ 13 ถึง 24

ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PI				3.5	3.4	3.3	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
Vibration	มอเตอร์	LM	V	4.6	4.7	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.2	5.3	5.3
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.3	5.4	5.4
Temperature (°C)				54	55	55	56	57	58	58	59	59	60	61	62

ตารางที่ 3 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิของมอเตอร์ ครั้งที่ 25 ถึง 36

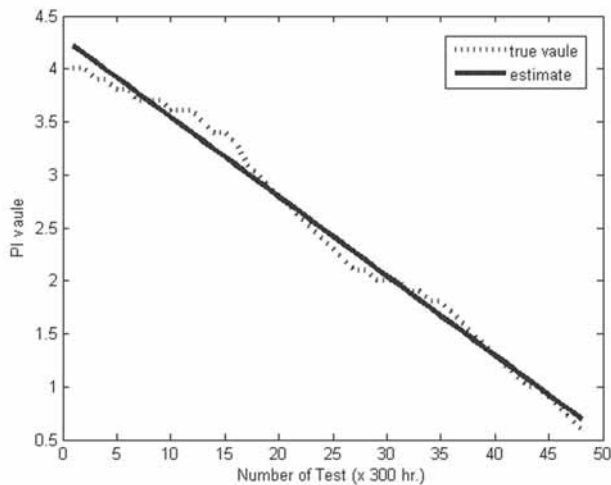
ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
PI				2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7
Vibration	มอเตอร์	LM	V	5.4	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	5.8	6.2	6.5	6.9	7.3	7.5	7.8	8.0	8.3	8.5	8.6	8.8
Temperature (°C)				63	64	65	66	68	70	71	72	74	76	78	79

ตารางที่ 4 แสดงการบันทึกผลจากการวัดค่าพีไอ ค่าการสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิของมอเตอร์ ครั้งที่ 37 ถึง 48

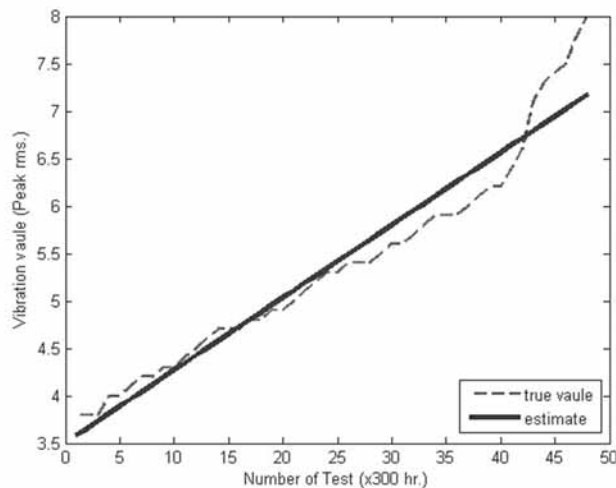
ค่าที่วัด				ครั้งที่ (ทุก 300 ชม.)											
				37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
PI				1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
Vibration	มอเตอร์	LM	V	6.0	6.1	6.2	6.2	6.4	6.6	7.1	7.3	7.4	7.5	7.8	8.0
Peak (rms)	ปั๊ม	PP	V	9.0	9.3	9.4	9.5	9.6	9.8	10.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.1
Temperature (°C)				80	81	81	82	83	84	84	85	87	88	89	89

จากนั้นนำค่าที่ได้จากตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 มาพลอตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีชี้วัด แต่ละตัวกับ ชั่วโมงการทำงาน โดยให้ดรรชนีชี้วัดแต่ละ

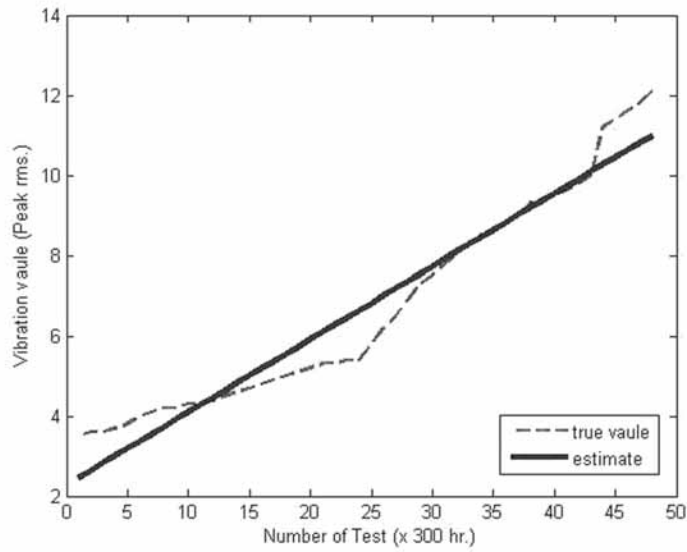
ตัวอยู่บนแกนตั้ง (แกน Y) และ จำนวน ชั่วโมงการทำงานอยู่บนแกนนอน (แกน X) แล้วประมาณเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ดัง รูปที่ 5, 6, 7 และ 8



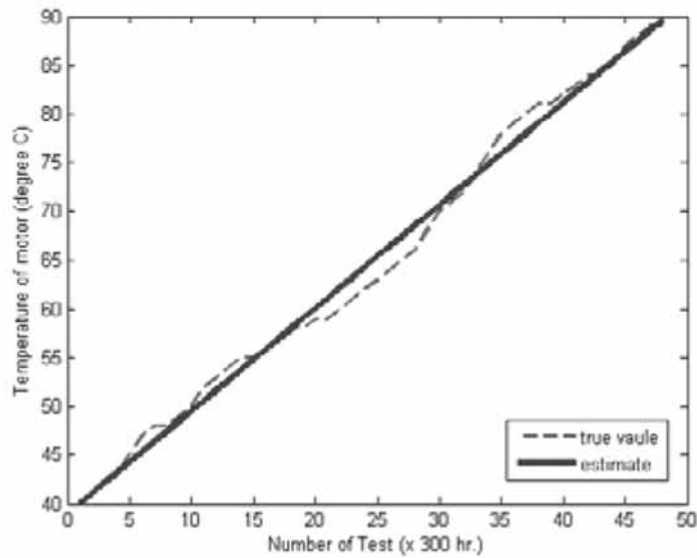
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพีไอ ของมอเตอร์ กับ ชั่วโมงการทำงาน โดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ กับ ชั่วโมงการทำงาน โดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการสั่นสะเทือนของปั๊ม กับ ชั่วโมงการทำงาน โดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าอุณหภูมิของมอเตอร์ (องศาเซลเซียส) กับ ชั่วโมงการทำงานโดยค่าที่ได้จากการวัด (เส้นประ) และการประมาณ (เส้นทึบ)

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการวัดอาจมีข้อผิดพลาดบ้าง ในการประมาณสมการนั้น จะใช้วิธีประมาณโดย Least Square Curve Fitting ซึ่งกราฟที่ได้ ไม่จำเป็นต้องผ่านจุด

ของข้อมูลที่วัดทุกจุด แต่จะเป็นเส้นที่ทำให้เกิดความผิดพลาดจากข้อมูลโดยรวมน้อยที่สุด⁵ จะได้สมการมีระดับชั้นพหุนามเท่ากับหนึ่ง และสอง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงสมการของดรรชนีชี้วัดแบบทำนายของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ 1 (High)

ดรรชนีชี้วัด	สมการ				
	$a_1x + a_0$		$a_2x^2 + a_1x + a_0$		
	a_1	a_0	a_2	a_1	a_0
PI	-0.0749	4.2903	-0.0002	-0.0650	4.2071
Motor	0.0764	3.5046	0.0011	0.0234	3.9463
Pump	0.1816	2.2753	0.0033	0.0224	3.6024
Temperature	1.0542	38.9840	0.0031	0.9029	40.2447

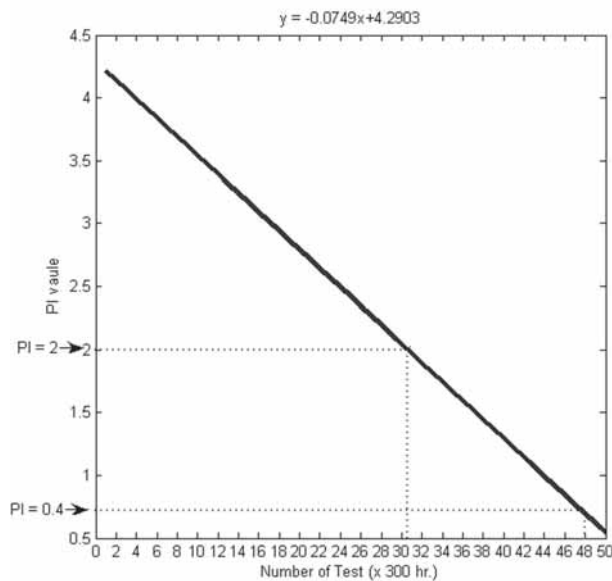
5. วิเคราะห์ผล

บทความนี้จะประมาณสมการทางคณิตศาสตร์ให้มีระดับชั้นพหุนามเท่ากับหนึ่ง

5.1 วิเคราะห์ค่าพีไอ จากการทดลองพบว่า ค่าพีไอจะมีค่าลดลงเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น และได้สมการจากการประมาณ คือ $y = -0.0749x + 4.2903$ ดังรูปที่ 9 และค่าพีไอต่ำสุดที่ยอมรับได้ คือ เท่ากับ 2^6 จากกราฟพบว่าที่ค่าพีไอ เท่ากับ 2 มอเตอร์ ถูกใช้งานไปแล้วประมาณ 9,150 ชม. หรือ ประมาณ 3 ปี ซึ่งหากใช้งานต่อไปอาจก่อให้เกิดความเสียหายเพิ่ม

5.2 วิเคราะห์ค่าการสันสะท้อน จาก

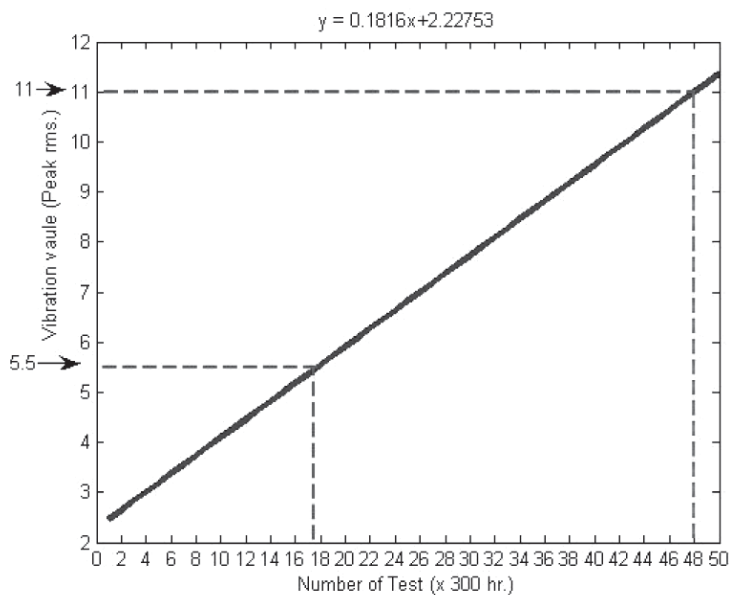
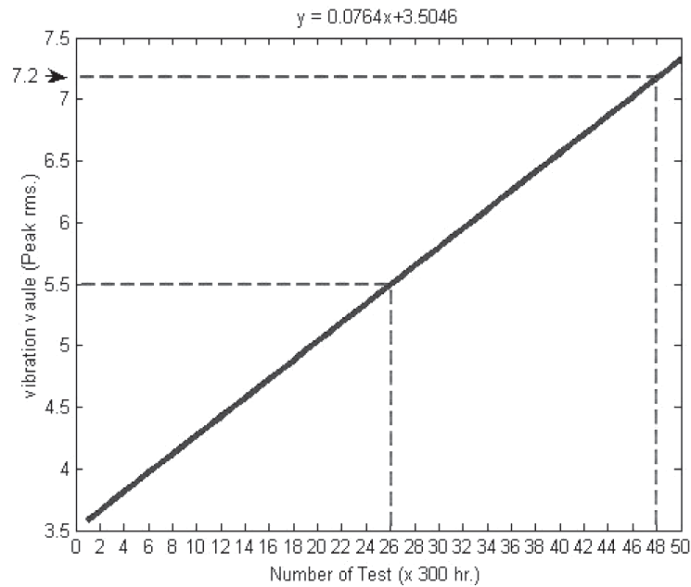
การทดลองพบว่าค่าการสันสะท้อนของมอเตอร์และปั๊ม จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น และได้สมการจากการประมาณของมอเตอร์ คือ $y = 0.0764x + 3.5046$ และของปั๊ม คือ $y = 0.1816x + 2.2753$ ดังรูปที่ 10 และเกณฑ์มาตรฐานค่าการสันสะท้อนของมอเตอร์และปั๊ม คือ 5.5^3 จากกราฟพบว่า ที่ค่าการสันสะท้อน เท่ากับ 5.5 มอเตอร์ถูกใช้งานไปแล้วประมาณ 7,800 ชม. หรือ ประมาณ 2 ปี 7 เดือน ส่วนปั๊มจะใช้งานเพียง 5,280 ชม. หรือ



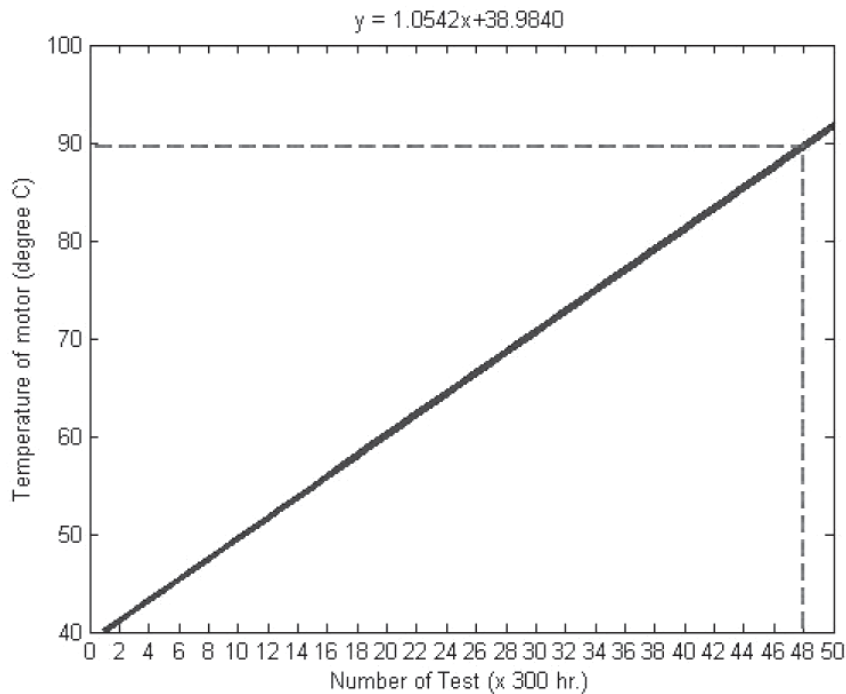
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีไอของมอเตอร์กับชั่วโมงการทำงาน

มากขึ้นได้ และหากใช้ต่อไปจนครบชั่วโมงการใช้งาน จะพบว่าค่าพีไอเท่ากับ 0.4 ซึ่งต่ำมากแสดงว่าขดลวดเสื่อมสภาพแล้ว

ประมาณ 2 ปี และหากใช้จนครบชั่วโมงการใช้งาน จะพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และปั๊ม คือ 7.2 และ 11 ตามลำดับ ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ (ซ้าย) และปั๊ม (ขวา) กับชั่วโมงการทำงาน



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของมอเตอร์กับชั่วโมงการทำงาน

5.3 วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิของมอเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อชั่วโมงการทำงานเพิ่มขึ้น และได้สมการจากการประมาณคือ $y = 1.0542x + 38.9840$ ดังรูปที่ 11 ซึ่งพบว่าเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งาน ไปจนครบชั่วโมงการทำงาน คือ 14,600 ชม. (ประมาณ

5 ปี) อุณหภูมิของมอเตอร์จะสูงถึง 90°C ซึ่งจะทำให้ฉนวนของมอเตอร์เสื่อมสภาพได้ถึงแม้ฉนวนคลาส B จะทนอุณหภูมิได้ 130°C ⁷ แต่เมื่อพิจารณาสภาวะแวดล้อมปัจจุบันที่ประสบปัญหาโลกร้อน เมื่อมีการสะสมความร้อนขึ้นภายใน ย่อมทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น

6. สรุปผลการวิเคราะห์

จากตัวอย่างที่นำเสนอ พบว่าค่าדרรชนีชีวิตทั้ง 3 ค่า มีความสอดคล้องไปในแนวทางเดียวกัน มอเตอร์ถูกใช้งานไปนาน ๆ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในจะชำรุด ทำให้มอเตอร์ทำงานในสภาวะที่ไม่ปกติ ส่งผลให้ค่าการสิ้นสะท้อนของปั๊มและมอเตอร์เพิ่มขึ้น ขดลวดจะมีความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาานาน ๆ จะเกิดการสะสมความร้อน สังเกตจากค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และยังทำให้ค่าความต้านทานของฉนวนลดลงด้วย ซึ่งจะทำให้ฉนวนเริ่มเสื่อมสภาพ (ค่าที่ไอลดลง) จากดรรชนีชีวิตที่ได้มาทั้ง 3 ค่านี้ เมื่อนำไปเทียบกับค่าเกณฑ์แล้ว พบว่าเมื่อมอเตอร์ถูกใช้งานไปประมาณ 2 ปี 7 เดือน จะต้องได้รับการวิเคราะห์และแก้ไขค่าการสิ้นสะท้อน และเมื่อครบ 3 ปี จะต้องเข้ารับการตรวจและซ่อมบำรุงมอเตอร์ ซึ่งอาจจะเปลี่ยนแค่อะไหล่เล็ก ๆ น้อย ๆ เท่านั้น แต่ถ้าหากยังปล่อยให้ใช้งานไปจนครบระยะเวลาที่กำหนด คือ 5 ปี ความเสียหายอาจมีมากกว่าเดิม และส่งผลกระทบต่อระบบอื่น ๆ ด้วย ทำให้มีอุปกรณ์ที่เสียหายและต้องซ่อมทำมากกว่าที่คาดการณ์ไว้

บทสรุป

การวัดค่าฟิโอสสามารถทำนายสภาพฉนวนในส่วนขงมอเตอร์ได้ การวัดค่าการสั่นสะเทือน (Vibration) สามารถตรวจสอบการสึกหรอของจุดเชื่อมต้อ (ทั้งภายในและภายนอก) หรือความผิดปกติของชิ้นส่วนในเครื่องจักร และการถ่ายภาพความร้อน (Thermal View) สามารถหาตำแหน่งการทำงานที่ผิดปกติทั้งภายในและภายนอกเครื่องจักร แล้วนำผลการตรวจสอบหรือค่าที่วัดได้ไปเทียบกับค่าเกณฑ์ ทำให้สามารถทราบสภาพอุปกรณ์ในขณะนั้น การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 3 วิธี ทำได้ในขณะเรือปฏิบัติภารกิจ และถ้าตรวจพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบนั้น ๆ ต้องมีการซ่อมบำรุง เมื่อเรือเข้าเทียบท่าก็สามารถวางแผนในการดำเนินการได้ ดังนั้น เมื่อเรือถึงระยะเวลาที่ต้องเข้าซ่อมทำตามแผน เครื่องจักรในเรือที่ต้องซ่อมทำ ก็อาจจะเหลือเพียงเครื่องจักรใหญ่ เครื่องไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ ทำให้สามารถวางแผนในด้านการซ่อมทำและจัดหาอะไหล่ได้ง่าย กรมอุทกหารเรือจะสามารถซ่อมทำและส่งเรือให้ทันตามแผนได้ อย่างไรก็ตามหากจะนำไปใช้งานจริงจะต้องทำการเก็บข้อมูลหลาย ๆ ชุด รวมทั้ง ต้องมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นั้น ๆ ให้ดี เพราะจะทำให้ค่าที่ได้จากการวัดผิดพลาดได้

เอกสารอ้างอิง

1. ก่อเกียรติ บุญชูกุล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.
2. เสวตนันท์ ประยูรรัตน์, นาวาเอก. การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเชิงปฏิบัติ. กรุงเทพฯ, กองควบคุมคุณภาพ อุทกหารเรือพระจุลจอมเกล้า, 2535.
3. อุทกหารเรือ, กรม. มาตรฐานงานช่างกรมอุทกหารเรือ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเรือ มอ. 200-0002-1148. กรุงเทพฯ, 2548.
4. Yung, C. "Use Polarization Index Test to Determine Condition/Health of Motor Insulation" *Currents*. vol.38, Sep. 2000.
5. Ljung, L. *System Identification Theory for the User*. 2 nd. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1999.
6. IEEE 43-2000 : Recommended Practice for Testing Resistance of Rotating Machinery. The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2000.
7. เอ็มแอนด์อี. รวบรวมความจกวารสารเทคนิคไฟฟ้า ชุดที่ 6. กรุงเทพฯ, 2546.
8. เอ็มแอนด์อี. รวบรวมความจกวารสารเทคนิคไฟฟ้า ชุดที่ 5. กรุงเทพฯ, 2546.