การทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยเทคนิคการจ่ายโหลดทางกล

ฉลอง โสดาบัน[1*], ประสาน คำดีผล[1] , กนก สูขพล[1] และ กฤตพงศ์ สุขแสน[1]

[1]ศูนย์แห่งความยอดเยี่ยมทางวิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
*chalong@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอ การทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยเทคนิคจ่ายโหลดทางกล การทดสอบด้วยวิธีการนี้ทำให้สามารถหาคุณลักษณะสมบัติเชิงโหลดของเครื่องจักรกลได้ทุกประเภท โดยเงื่อนไขหลักคือต้องสามารถเชื่อมต่อทางกลระหว่างเครื่องจักรกลที่ต้องการทดสอบกับชุดโหลดทางกล จากนั้นจึงทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางด้านอินพุตของเครื่องจักรกลนั้น ขณะจ่ายโหลดที่พิกัดค่าต่างๆ ในย่านการทดสอบภายใต้พิกัดโหลดที่กำหนด ผลคือทำให้สามารถเห็นถึงการเชื่อมโยงพลังงานไฟฟ้าทางด้านขาเข้ากับพลังงานกลทางด้านขาออก สามารถบอกถึงปริมาณของกำลังงานสูญเสีย ผลที่ได้จากการทดสอบของเครื่องจักรกลแต่ละชนิดแสดงพฤติกรรมการตอบสนองต่อโหลดในแต่ล่ะย่านการทำงานนั้นโดยสมบูรณ์ และบอกถึงคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลแต่ละชนิดที่แสดงพฤติกรรมตามการออกแบบตามขนาดพิกัดกำลังที่กำหนดในป้ายบอกพิกัด ด้วยหลักการนี้จึงเป็นวิธีการที่นำมาทดสอบอย่างแพร่หลายและถูกต้องแม่นยำ ทำให้สามารถตรวจสอบ ทำนาย และประเมินผลสำหรับนำเครื่องจักรกลไปใช้ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมและแม่นยำต่อไป

คำสำคัญ: โหลดทางกล คุณสมบัติเชิงโหลด การเชื่อมต่อทางกล กำลังงานสูญเสีย

The characteristic testing of electrical machines using mechanical load feeding

Chalong Sodaban[1*], Prasan Khamdeephol[1], Kanok sukpool[1] and Kitapong suksan[1]

[1]Excellent Center for Sustainable Engineering (ECSE)
Faculty of Engineering Srinakharinwirot, Ongkharak, Nakonnayok
*chalong@g.swu.ac.th

Abstract

This paper presents the characteristic testing of an electrical machine by using the mechanical load feeding technique. Using this technique can analyze the load characterization of all types of machines. The main condition is the coupling between the testing machine and the mechanical load. Then, measure the parameters on the input side of the machine while feeding the various values into the mechanical load testing range. As a result, the electrical power at the input side is coupled with the mechanical power at the output side, and it shows the number of power losses. In addition, the result of each range of testing shows the response behaviors to the mechanical load. As a good result mentioned above, this method uses for testing widely because it can inspect, predict, and evaluate accurate results.

Keywords: Machanical load, Load characteristics, Machanical coupling, Power loss

1. บทนำ

เครื่องจักรกลไฟฟ้า ถือเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่มีใช้งานในงานอุตสาหกรรมทั่วไป กล่าวคือ ในระบบขับเคลื่อนโดยส่วนใหญ่มักมีมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลังในเครื่องจักรอุตสาหกรรม และในงานระบบผลิตจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้ระบบ จึงเห็นได้ว่า เครื่องจักรกลไฟฟ้านับเป็นเครื่องมือสำคัญต่องานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก การศึกษาพฤติกรรมและทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่มีส่วนช่วยให้งานอุตสาหกรรมขับเคลื่อนได้โดยมีประสิทธิภาพเพราะการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ส่งผลโดยตรงกับปริมาณผลการผลิต ตอบสนองผลกำไร ขาดทุน ของสถานประกอบการ การทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักกลไฟฟ้าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการตรวจสอบกระบวนการผลิต การเพิ่มผลผลิต ตลอดจนการวางแผนการผลิตที่ต้องมีความยืดหยุ่นตามปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลา การประเมินการซ่อมหรือวางแผนกิจกรรมเกี่ยวกับการซ่อมบำรุงเครื่องจักร จำเป็นต้องทดสอบคุณลักษณะสมบัติหรือประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้าในขณะนั้น รวมถึงการวางแผนงบประมาณ และปริมาณการซ่อมให้สัมพันธ์กับกำลังการผลิต ซึ่งผู้ประกอบการจำเป็นต้องรู้สภาพ ขนาด และประสิทธิภาพ ของเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นโดยพิจารณาจากคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ที่เป็นตัวขับเคลื่อนหลักนั่นเอง

งานวิจัยนี้ นำเสนอการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยเทคนิคการจ่ายโหลดทางกล โดยนิยามความหมายของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ออกเป็น 2 กรณี คือ เครื่องจักรกลสามารถทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโครงสร้างตัวเดียวกัน [1] แล้วแต่สถานะขณะทำการทดสอบจะนิยามให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าภายใต้การทดสอบ

เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทดสอบด้วยเทคนิคนี้สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าทุกประเภทภายใต้เงื่อนไขหลัก คือ ต้องเชื่อมต่อทางกล (Coupling) ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบกับโหลดทางกล เพื่อป้อนภาระทางกลที่ขนาดพิกัดต่างๆ ในย่านการทำงานที่กำหนดโดยอ้างอิงค่าพิกัดกำลังตามป้ายบอกพิกัดของเครื่องมือจักรกลไฟฟ้านั้นๆ พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการวัดทางด้านขาเข้า (อินพุต) จะเชื่อมโยงค่าพลังงานทางด้านขาออก (เอาต์พุต) ทำให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกำลังอินพุต และกำลังเอาต์พุตของเครื่องจักรกล ผลที่ตามมาคือ เราทราบค่ากำลังงานสูญเสียในรูปต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงหรือแก้ไข ปรับแต่ง หรือปรับแก้ให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าทำงานประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือเพื่อการซ่อมบำรุงรักษาต่อไป

การดำเนินการวิจัย อาศัยเครื่องมือทดสอบในห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นำเสนอขั้นตอน วิธีการ ลำดับการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลสำหรับการประเมินความถูกต้องของการทำงานเทียบป้ายบอกพิกัดกำลัง รวมถึงหาคุณสมบัติเชิงโหลดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแต่ละชนิด เช่น เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิคการทดสอบที่นำเสนอนี้ ทำให้สามารถทำนายคุณลักษณะสมบัติ ค่ากำลังสูญเสีย และหาค่าผิดพลาดอื่นๆ จากพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ เพื่อนำผลที่ได้เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจในการวิเคราะห์การใช้งานของเครื่องมือจักรกลไฟฟ้านั้นต่อไป ต้องซ่อมแซม แก้ไข หรือส่งซ่อม จำหน่าย ทั้งนี้เพราะหากเครื่องจักรกลไฟฟ้ามีประสิทธิภาพต่ำจะส่งผลต่อต้นทุนของผู้ประกอบการอย่างมาก เช่น เครื่องจักรอาจชำรุดเสียหายเร็วกว่ากำหนด อาจต้องจ่ายค่าไฟฟ้าแพงกว่าปกติ หรือเหตุอื่นๆ ที่อาจตามมาหากเครื่องจักรกลมีสภาพไม่พร้อมในงานนั่นเอง

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 เพื่อนำเสนอเทคนิคการทดสอบเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยการจ่ายโหลดทางกลสำหรับหาคุณลักษณะสมบัติเชิงโหลด และคุณลักษณะเทียบแผ่นป้ายบอกพิกัดของเครื่องจักรกลแต่ละประเภท

1.1.2 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ผลในการวางแผนกิจกรรมเกี่ยวกับการใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องจักรกลไฟฟ้า

1.1.3 เพื่อสร้างองค์ความรู้สำหรับการเรียนการสอนในวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้าและงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

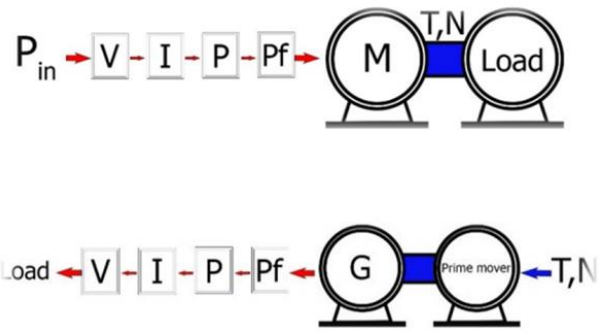
การดำเนินการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาหากพบว่าเครื่องจักรกลที่ทดสอบมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำลงหรือเพิ่มต้นทุนการผลิตที่มากขึ้น กล่าวคือ หากเครื่องจักรกลที่เป็นต้นกำลังหลักของเครื่องจักรเสื่อมสภาพการทำงาน ภาระที่ตามมาก่อปัญหาในหลายรูปแบบ เช่น การชำรุดเสียหายของเครื่องจักร ผลผลิตต่ำกว่าเป้าหมาย รวมถึงต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการทดสอบเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยการจ่ายโหลดทางกลนี้ เป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ข้างต้น ทั้งนี้เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว ผู้ทดสอบสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาแนวทางการจัดการปัญหาอันเกิดจากเครื่องจักรที่เสื่อมประสิทธิภาพหรือขบวนการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การซ่อมบำรุง การจัดซื้อมอเตอร์ใหม่ หรืออาจจะเปลี่ยนเครื่องจักรการผลิตใหม่ เป็นต้น

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 กรอบแนวคิดการทดสอบ

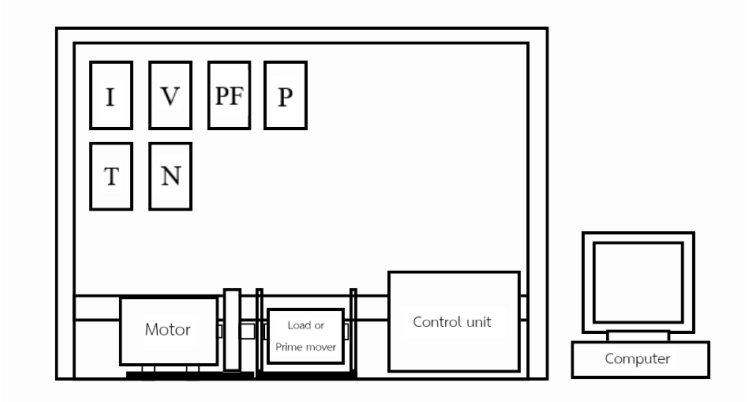
เครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยทั่วไป หมายถึงมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งทำงานภายใต้โครงสร้างตัวเดียวกัน กล่าวคือ ทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าเมื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เครื่องจักรกลไฟฟ้า และทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อจ่ายพลังงานกลให้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นเช่นกัน และหากต้องการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติการทำงานของเครื่องจักรกล

ไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องจ่ายภาระงานให้กับเครื่องจักรกล [2] โดยภาระโหลดของมอเตอร์ไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของภาระทางกล และภาระโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ในรูปของภาระไฟฟ้าดังแสดงวิธีการทดสอบไว้ในภาพที่ 1

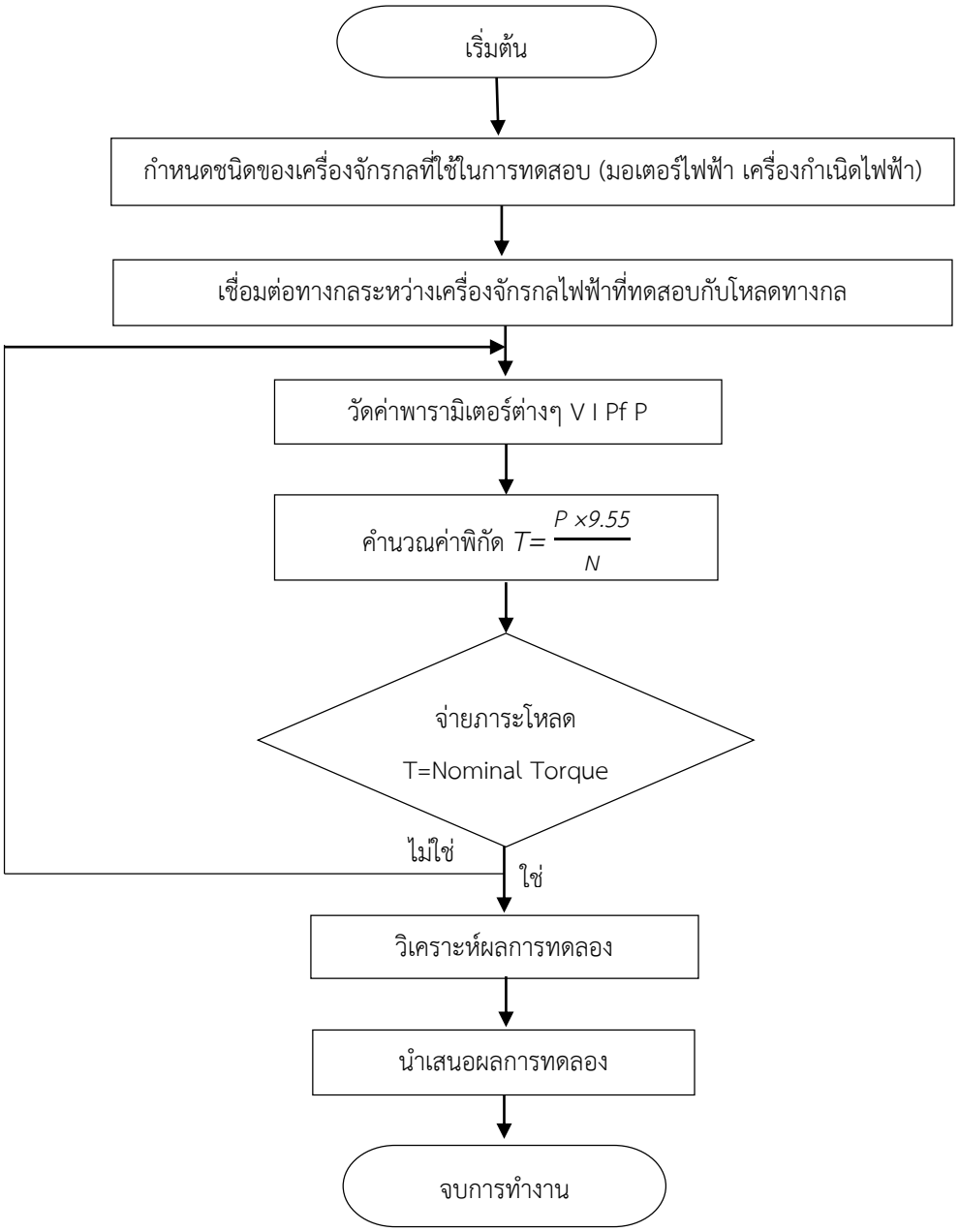


ภาพที่ 1 นิยามการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า และวิธีการทดสอบ
ที่มา: [3]

จากภาพที่ 1 สามารถทำการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าได้โดยการต่อเครื่องมือวัดทางด้านเข้าของมอเตอร์ คือ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง และกำลังไฟฟ้า ส่วนทางด้านขาออกจะต่อเชื่อมทางกลที่ชุดเพลาขับของมอเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นคำนวณหาค่าแรงบิดพิกัด (Nominal Torque) โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานจากป้ายบอกพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้า และทำการป้อนค่าพิกัดแรงบิดที่คำนวณได้ คือ เป็นค่าพิกัดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าตัวนั้นๆ ในทำนองเดียวกัน เมื่อต้องการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้วิธีการเดียวกัน คือ ใช้ตัวต้นกำลังในการพาหมุน (Prime mover) ที่ค่าพิกัดความเร็วตามป้ายบอกพิกัดแล้วจ่ายโหลดทางไฟฟ้าตามพิกัดกระแส และวัดค่ากำลังย้อนกลับได้คุณลักษณะสมมติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเช่นกัน อย่างไรก็ตามเทคนิคการทดสอบด้วยวิธีการนี้ไม่ครอบคลุมเงื่อนไขของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่เป็นข้อจำกัด หากเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นมิได้ออกแบบมาครอบคลุมการทำงานทั้งมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกเหนือจากนั้นหากทำการต่อเชื่อมทางกลระหว่าง เครื่องจักรกลไฟฟ้ากับชุดทดสอบจะสามารถทดสอบได้ทุกชนิด ภายใต้ขนาดและพิกัดของโหลดโดยมีขั้นตอนโมเดลการทำงานตาม ภาพที่ 2 และวิธีการดำเนินการเป็นไปตามผังการทำงาน ภาพที่ 3



ภาพที่ 2 โมเดลการทดสอบหาคุณลักษณะสมมติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยการจ่ายโหลดทางกล
ที่มา: [3]



ภาพที่ 3 ผังการดำเนินการการทดสอบคุณลักษณะสมมติของเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยการจ่ายโหลดทางกล
ที่มา: [3]

จากผังการดำเนินการในภาพที่ 3 เมื่อกำหนดชนิด และขนาดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบ (ตามนิยามว่าเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) แล้วทำการเชื่อมต่อทางกลชุดทดสอบ กำหนดเงื่อนไขการทดสอบโดยการหาค่าพิกัดกำลัง (แรงบิดพิกัดหรือกระแสพิกัด) จากป้ายบอกพิกัดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า จากนั้นป้อนแรงบิดพิกัดทำงานตามค่าที่คำนวณ และวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางขาเข้าซึ่งหมายถึง กำลังอินพุตเทียบกับกำลังเอาต์พุต จะได้ค่าความสัมพันธ์ของพลังงานทางไฟฟ้า (P_e) กับพลังงานทางกล (P_{mec}) รูปแบบของพลังงานสูญเสียจะอยู่ในรูปของ (*Loss*) โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

2.2 ทฤษฎี

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นหาความสัมพันธ์ของการแปลงสภาพพลังงาน กล่าวคือ รูปแบบของพลังงานยังคงค่าปริมาณเดิมเสมอ เพียงแต่เปลี่ยนสภาพพลังงานในรูปแบบการสูญเสียพลังงานรูปแบบอื่น [4] โดยมีรูปแบบดังนี้

$$P_e = P_{mec}\ ,\ P_{in} = P_{out\ +\ loss}\ ,\ P_e = P_{mec\ +\ loss} \tag{1}$$

พลังงานในระบบ 1 เฟส คือ

$$P_{in} = P_e = VI\cos\boldsymbol{\theta} \tag{2}$$

พลังงานในระบบ 3 เฟส คือ

$$P_{in} = P_e = \sqrt{3}\boldsymbol{V_t I_l}\cos\boldsymbol{\theta} \tag{3}$$

พลังงานไฟฟ้าเทียบกับพลังงานทางกล

$$P_e = VI\cos\boldsymbol{\theta} = P_{mec} = TN \tag{4}$$

$$T = \frac{P_o \cdot 9.55}{N} \tag{5}$$

และกำลังเอาต์พุต คือ

$$P_o = P_e \cdot \boldsymbol{\eta} \tag{6}$$

$$P_o = V \cdot I \cdot \cos \cdot \boldsymbol{\eta} \tag{7}$$

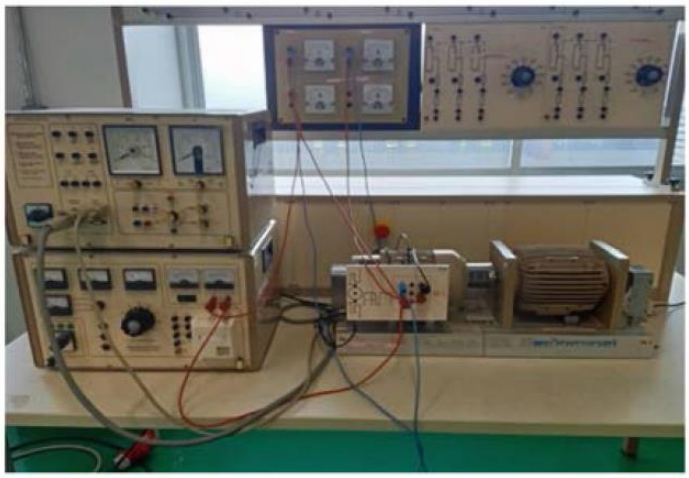
เมื่อกำหนดให้ P_{in} หมายถึง กำลังไฟฟ้าขาเข้า (อินพุต), P_{out} หมายถึง กำลังไฟฟ้าออก (เอาต์พุต), P_{mec} หมายถึง กำลังทางกล, P_e หมายถึง กำลังไฟฟ้า, T หมายถึง แรงบิดทางกล, N หมายถึง ความเร็วการหมุน, V หมายถึง แรงเคลื่อนไฟฟ้า, I หมายถึง กระแสไฟฟ้า, และ $\boldsymbol{\eta}$ หมายถึง ประสิทธิภาพการทำงาน ค่าประสิทธิภาพการทำงานเป็นค่าบ่งชี้ความแตกต่างระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่ออกแบบไว้ว่าเครื่องจักรกลที่ทดสอบมีคุณภาพการทำงานเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้หรือไม่ โดยเชื่อมโยงค่าประสิทธิภาพที่มีกับค่ากำลังสูญเสียของเครื่องจักรกลนั้น กล่าวคือหากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียมีค่ามากจะทำให้ค่าประสิทธิภาพลดลงและหากมีความแตกต่างจากปริมาณบ่งชี้ของป้ายบอกพิกัดในปริมาณที่มากขึ้นผู้ใช้จะสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปพิจารณาในการตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นได้ เช่น ส่งซ่อมบำรุงหรือปรับเปลี่ยนเครื่องจักรกลใหม่หรือกิจกรรมอื่นที่เกี่ยวข้องทั้งนี้เพื่อตอบสนองกับต้นทุนการผลิตนั่นเอง

จากการแปลงสภาพพลังงานในสมการที่ (1)-(7) สามารถหาค่าปริมาณสูญเสียที่แฝงอยู่ในรูปประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยค่าประสิทธิภาพที่หาได้จะแฝงอยู่ในรูปอื่นๆ เช่น การสูญเสียที่ขดลวด การสูญเสียที่แกนเหล็ก แรงเสียดทาน รวมถึงค่าการสูญเสียอื่นๆ ผลรวม คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ เพื่อใช้ตัดสินใจในการใช้งานเครื่องจักรกลต่อไปหรืออาจต้องแก้ไขด้วยวิธีการอื่น

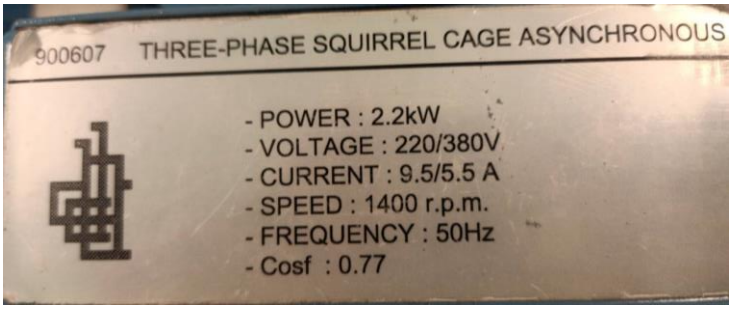
2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

การดำเนินการวิจัยอ้างอิงแนวคิดการทดสอบจาก ภาพที่ 1 โดยมีเงื่อนไขหลัก คือ เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำการทดสอบต้องต่อเชื่อมทางกลกับชุดโหลดทางกลได้โดยสมบูรณ์ หมายถึง ที่ชุดเพลาขับของเครื่องจักรกลไฟฟ้าต้องหมุนตามค่าความเร็ว และแรงบิดที่พิกัดโดยไม่มีการสูญเสียอย่างมีนัยสำคัญ คือ โดยปกติไม่ควรเกิน 2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าพิกัดกำลังกำหนด [5] ทั้งนี้หากมีค่าสูงมากกว่านี้ พารามิเตอร์ที่ทดสอบจะถูกนำไปพิจารณารวมกับค่าการสูญเสีย เป็นเหตุให้เกิดความไม่

น่าเชื่อถือของระบบทดสอบ โดยในการวิจัยนี้มีโครงสร้างการดำเนินการตามชุดทดสอบจริงใน ภาพที่ 4 และทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส พิกัดกำลังตาม ภาพที่ 5 สำหรับนำเสนอเป็นตัวอย่างในการทดสอบ



ภาพที่ 4 ชุดทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติเฉพาะเครื่องจักรกลไฟฟ้ายี่ห้อ ELWE สำหรับจ่ายโหลดทางกล
ที่มา: [*3*]



ภาพที่ 5 ป้ายบอกพิกัดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ (กรณีทดสอบเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า)
ที่มา: [3]

โครงสร้างการทดสอบประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ต้องการทดสอบ (Machine under test) หมายถึง เครื่องจักรกลไฟฟ้าใดๆ ที่สามารถทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนที่ 2 คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นโหลดหรือตัวขับนำ (Load – prime mover Unit) หน้าที่คือ เป็นโหลดแรงบิดให้กับตัวมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเป็นตัวขับนำให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนที่ 3 คือ ชุดควบคุมการทำงาน (Control Unit) ทำหน้าที่ กำหนดขนาดพิกัดแรงบิด และความเร็วรอบตัวขับนำให้ตัวขับนำกับการทดสอบทั้งสองโหมดการทำงาน

3. ผลการทดลอง

ผลการทดสอบนำเสนอเพียงตัวอย่างการทดสอบบางส่วนเท่านั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการใช้ทดสอบ โดยในงานวิจัยนี้ยกตัวอย่างการทดสอบกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาดพิกัดตามแผ่นป้ายบอกพิกัดใน ภาพที่ 5 และทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขดลวดสนามแยกกระตุ้น ขนาดพิกัดต้นกำลัง 3050 รอบ/นาที ที่ค่ากระแสกระตุ้น 0.5 A

ผลการทดสอบมุ่งเน้นแสดงคุณลักษณะสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยนิยามการทำงาน 2 คุณลักษณะ คือ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อชุดทดสอบทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าจะเชื่อมโยงทางกลกับโหลดทาง

กลหรือชุดทดสอบทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเชื่อมโยงกับโหลดทางไฟฟ้า และพิจารณาความสัมพันธ์การถ่ายเทพลังงานทางอินพุตกับเอาต์พุต เพื่อหาค่าการสูญเสียพลังงาน ซึ่งอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพ (η) โดยทดสอบเทียบแผ่นป้ายบอกพิกัดตามผลการทดลองใน ตารางที่ 1 และทดสอบคุณลักษณะสมมติเชิงโหลดใน ตารางที่ 2 และกราฟความสัมพันธ์ใน ภาพที่ 6

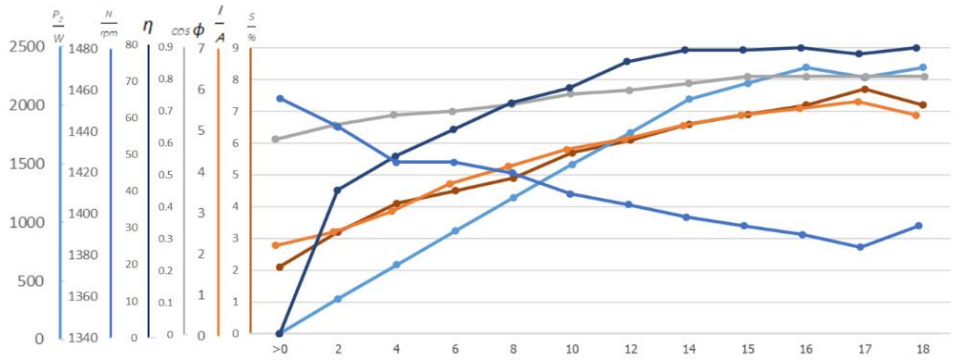
ตารางที่ 1 การทดสอบคุณลักษณะสมมติเทียบแผ่นป้ายพิกัด

								คำนวณ
	$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{A}$	$\cos\phi$	$\frac{N}{rpm}$	$\frac{M}{Nm}$	$\frac{P_2}{W}$	η	P_1
ค่าที่วัด	386	5.4	0.82	1396	15.1	2207	82.0	2690
ค่าคำนวณ	380	5.5	0.77	1400	15	2200	79.0	2783

ตารางที่ 2 การทดสอบคุณลักษณะสมบัติเชิงโหลดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

	$\frac{M}{Nm}$	>0	2	4	6	8	10	12	14	15	16	17	18	Rated
ค่าที่วัดได้	$\frac{N}{rpm}$	1468	1452	1432	1432	1426	1414	1408	1401	1396	1391	1384	1396	1396
	$\frac{I}{A}$	1.8	2.2	2.8	3.6	4.1	4.6	4.9	5.3	5.6	5.8	6.0	5.6	5.6
	$\cos\phi$	0.62	0.66	0.69	0.70	0.72	0.75	0.76	0.78	0.80	0.80	0.80	0.80	0.8
	$\frac{P_1}{W}$	424	780	1270	1650	1940	2268	2450	2780	2930	3080	3050	2930	2930
ค่าที่คำนวณ	$\frac{P_2}{W}$	-	304	602	899	1190	1480	1760	2050	2190	2330	2240	2330	2190
	$\frac{S}{VA}$	684	836	1064	1368	1558	1748	1862	2041	2128	2204	2880	2204	2128
	η	-	38	47	54	61	65	72	75	75	75.6	74	75.6	75
	$\frac{S}{\%}$	2.1	3.2	4.1	4.5	4.9	5.7	6.1	6.6	6.9	7.2	7.7	7.2	6.9

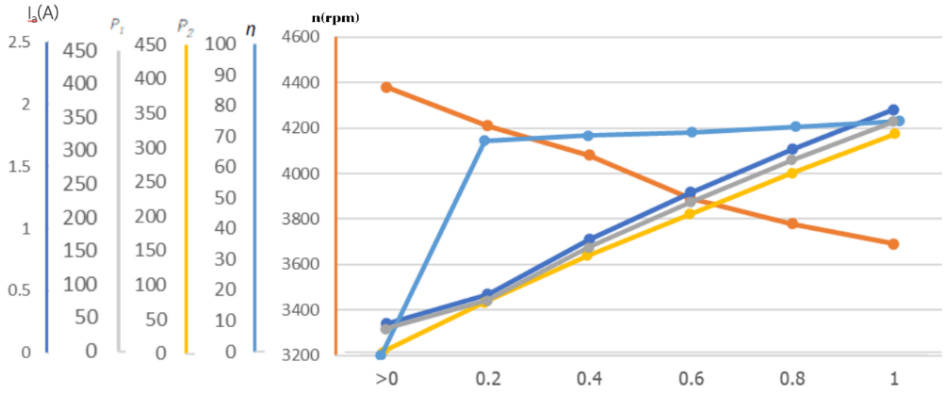
สำหรับการทดสอบ ส่วนที่ 2 คือ นิยามให้ชุดทดสอบทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขดลวดสร้างสนามแบบแยกกระตุ้น (Separately Excited DC Generator) มีผลการทดลองดังแสดงใน ตารางที่ 3 และกราฟความสัมพันธ์ใน ภาพที่ 7 ทำการทดสอบที่ย่านการทำงานที่พิกัดโหลดปกติ โดยมีค่าโหลดพิกัดอ้างอิงจากสมการที่ (5) ค่าที่ได้คือ พิกัดกระแสที่วัดได้คือ 1.93 แอปป์ ความเร็วที่วัดคือ 3690 รอบ/นาที ที่กำลังเอ้าพุตต์ 386.3 วัตต์ (ค่าที่ป้ายบอกพิกัดคือ 1.8 แอปป์ 3700 รอบ/นาที 370 วัตต์) จึงเป็นผลการทดสอบที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ



ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์คุณลักษณะสมบัติเชิงโหลดของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส
ที่มา: [3]

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น

	M (N.m)	>0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	I_aA	0.25	0.48	0.91	1.28	1.62	1.93
	n(rpm)	4380	4210	4080	3890	3780	3690
ค่าที่ได้จากการคำนวณ	P_1	55	105.6	200.2	281.6	356.4	424.6
	P_2	-	88.1	170.2	244.3	316.6	386.3
	$\%\eta$	-	83.4	85.3	86.7	88.8	91.0



ภาพที่ 7 กราฟคุณลักษณะสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขดลวดสนามแยกกระตุ้น
ที่มา: [3]

4. วิจารณ์และวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการดำเนินการที่ได้จากตารางที่ 1 เป็นการทดลอง หาคุณลักษณะสมบัติ เทียบแผ่นป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนียวนำ 3 เฟส ที่มีขนาดพิกัดตามป้ายบอกพิกัดใน ภาพที่ 5 โดยสามารถคำนวณหาค่าแรงบิดพิกัดที่ 15 N-m ที่พิกัดกำลังทางออก 2,200 วัตต์ ความเร็วรอบ 1,400 rpm พิกัดกระแส 5.5 แอมป์ ที่ตัวประกอบกำลัง 0.77 ทำงานที่อุณหภูมิ 40°C ความถี่ 50 Hz มีการต่อแบบสตาร์ ผลการทดลองที่ได้คือกำลังไฟฟ้าอินพุต (P_e) เทียบกับกำลังเอาต์พุต (P_{me}) มีค่า 2,207 วัตต์ (คำนวณ) เปอร์เซ็นต์ผิดพลาด 0.4% ประสิทธิภาพของการทดสอบแตกต่าง 3.7% ค่าความเร็วสลิปแตกต่าง 3% ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบแสดงพฤติกรรมเป็นไปตามคุณลักษณะสมบัติเฉพาะของเครื่องจักรที่แสดงไว้ตามป้ายบอกพิกัด ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจมีผลจากเครื่องมือ เครื่องวัดต่างๆมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยแต่ สามารถยอมรับได้ตามเงื่อนไขการทดสอบ [6] กล่าวคือ ที่จุดทดสอบสามารถคำนวณหาค่าแรงบิดพิกัดโหลดได้ที่ 15 N-m โดยอาศัยข้อมูลจากป้ายบอกพิกัด โดยหมายถึง มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบถูกออกแบบมาให้ทำงานที่กำลังขาออก 2200 วัตต์ ที่โหลด 15 N-m ใช้แรงดันพิกัด 380 โวลต์ ที่กระแส 5.5 แอมป์ เมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่า พารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ตาม ตารางที่ 1 แสดงถึงผลที่มีค่าความใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณโดยแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดต่างๆ เพียงเล็กน้อย โดยภาพรวมด้วยเทคนิคการทดสอบวิธีการนี้ สามารถบอกค่าการสูญเสียรวมในรูปของค่า ประสิทธิภาพการทำงานที่ประมาณ 80% นั่น หมายถึงมีค่าการสูญเสีย 20% ซึ่งอยู่ในรูปของ Power loss โดยการสูญเสียดังกล่าว สามารถแยกย่อยออกเป็นหลายๆลักษณะ เช่น การสูญเสียที่ขดลวด การสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงต้าน และอื่นๆ หากต้องการแยกปริมาณสูญเสียออกเป็นรูปแบบต่างๆ จำเป็นต้องทำการทดสอบในรูปแบบอื่นเพิ่มเติมเพื่อหาข้อมูลประกอบอีก อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปมักนิยมทดสอบหาแค่การสูญเสียรวมของเครื่องจักรกลเท่านั้น ยกเว้นงานวิจัยอื่นในลักษณะจำเพาะอาจต้องใช้โมเดลคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์

สำหรับการทดสอบหาคุณลักษณะเชิงโหลดในตารางที่ 2 และกราฟใน ภาพที่ 6 แสดงคุณลักษณะสมบัติเชิงโหลดที่แสดงการทำงานในย่านพิกัดกำลังโดยมอเตอร์แต่ละชนิดจะแสดงคุณลักษณะเฉพาะแต่ละรูปแบบตามฟังก์ชั่นการทำงานของตัวมันเอง ตัวอย่างเช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 3 เฟส จะแสดงพฤติกรรมตามที่ออกแบบไว้เหมือนกันทุกขนาดทุกๆ ย่านการออกแบบซึ่งมีความแตกต่างออกไป กับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ ในทำนองเดียวกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิดจะตอบสนองคุณลักษณะของโหลด แตกต่างกันออกไป และแสดงคุณลักษณะเด่นของตัวมันเองไว้อย่างชัดเจน ผู้ทดสอบสามารถทำนายคุณลักษณะสมบัติได้จากการพิจารณากราฟคุณลักษณะเชิงโหลดได้ทันทีดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 3 และกราฟความสัมพันธ์ในภาพที่ 7 ด้วยเทคนิคที่นำเสนอนี้จึงเป็นวิธีการที่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยพารามิเตอร์ที่ได้เป็นผมรวมของการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามารถพิสูจน์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านขาเข้า ที่ป้อนให้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้า (ในกรณีทำงานเป็นมอเตอร์)ผลคือบอกถึงปริมานทางกลทางด้านออก เป็นไปตามสมการที่ (1) นั่นคือค่ากำลังสูญเสียรวมคือ (Loss) กำลังขาออกของมอเตอร์จะมีค่าผลรวมของการสูญเสียรวมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลรวมของการสูญเสียที่อยู่ในหลายรูปแบบ เช่น การสูญเสียที่ขดลวด การสูญเสียที่แกนเหล็ก การสูญเสียจากแรงต้าน และในรูปแบบอื่นอีก หากในกรณีผู้ที่สนใจค่าการสูญเสียในรูปแบบอื่นๆ อาจจำเป็นต้องทดสอบด้วยวิธีการอื่นประกอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติม เช่น การทดสอบขณะโรเตอร์หยุดหมุน การทดสอบแบบเปิดวงจรหรือการทดสอบแบบปิดวงจร ทั้งนี้แล้วแต่วัตถุประสงค์ในการทดสอบเฉพาะเรื่องของผู้วิจัย แต่สำหรับกรณีทดสอบหาค่าการสูญเสียทั่วไป หรือหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า มักนิยมทดสอบเพียงหาค่าสูญเสียรวมเท่านั้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรบตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าต่อหรือหยุดใช้งานเพื่อซ่อม ปรับแก้เครื่องจักรกล หรือเปลี่ยนเครื่องจักรอุตสาหกรรมใหม่ โดยเหตุมาจากเรื่องจักรกลไฟฟ้าประสิทธิภาพต่ำเกินไป ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงเกินต้นทุน หรืออาจแก้ไขด้วยกลไกอื่น ผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลการทดสอบไปใช้เพื่อพิจารณาตัดสินใจในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องต่อไป

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองได้แสดงผลการทดสอบอ้างอิงด้วยข้อมูลการคำนวณค่าเชื่อมโยงการถ่ายเทพลังงานทางเข้า ไปยังพลังงานทางออก โดยหมายถึงการป้อนพลังงานไฟฟ้าแปลงสภาพเป็นพลังงานกล (เมื่อชุดทดสอบทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า) ในทำนองเดียวกัน หมายถึงการป้อนพลังงานกลแปลงสภาพเป็นพลังงานไฟฟ้า (เมื่อชุดทดสอบทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) รูปแบบการทดสอบมีการทำงานแบบเดียวกัน ผลที่ได้ คือ สามารถทดสอบได้ที่จุดทำงานที่พิกัด (เทียบป้ายบอกพิกัด) และทดสอบที่ย่านการทำงาน (คุณลักษณะสมบัติเชิงโหลด) ดังนั้นด้วยเทคนิคการทดสอบหาคุณลักษณะสมบัติ โดยการจ่ายโหลดทางกลนี้จึงสามารถทดสอบการทำงานได้ทั้ง 2 โหมดและมีความน่าเชื่อถือ สามารถประยุกต์ใช้งานกับเครื่องจักรกลทุกประเภทภายใต้ขนาดพิกัดของโหลดที่สามารถจ่ายได้ด้วยเงื่อนไขจำเป็นหลัก คือ ต้องต่อเชื่อมทางกลเข้าด้วยกันได้ เทคนิคนี้จึงสามารถทดสอบได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับงานตรวจสอบสภาพเครื่องจักรกล สำหรับใช้วางแผนการดำเนินงานกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องจักรกลนั้นๆ เพื่อการประหยัดงบประมาณและการบริหารจัดการอื่นด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Sen, P.C. (1967). *Principles of Electric Machine and Power Electronics.* John wiley & Sons, Singapore.

[2] Zia, A., & Juan, L., JR. (1994). *Electromechanical Energy Devices and Power Systems.* John wiley & Sons, Singapore.

[3] Sodaban.C (2021). Charecteristics testing Technique for Electrical Machines. Excellent Center for Sustainable Engineering (ECSE) Faculty of Engineering Srinakharinwirot, Ongkharak, Nakonnayok, 26120, Thailand.

[4] Edward, M. (1967). *Energy Conversation.* Ronald Preso Company, New York.

[5] ELWE-Lehrsysteme GmbH, (1998). *Training systems for basic and future oriented education in natural science and engineering.* Printed in Germany by ELWE, Germany.

[6] ELWE-Lehrsysteme GmbH, (1990). *Training systems for basic and future oriented education in natural science and engineering.* Printed in West - Germany by ELWE, Germany.