บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก ชนิด 3 เฟส เป็นมอเตอร์ที่มีใช้มากในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน มีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย มอเตอร์ที่ใช้มีหลายขนาด ตั้งแต่ 2.2 กิโลวัตต์ ระดับแรงดัน 400 - 6600 โวลต์ สามารถแบ่งลักษณะการใช้งานได้ดังต่อไปนี้

(1) ระบบปั๊ม เช่น ปั๊มสำหรับป้อนน้ำเข้าหม้อน้ำ (Boiler Feed Pump) ปั๊มน้ำมัน (Oil Pump) สำหรับระบบหล่อลื่นและระบบควบคุม ปั๊มสำหรับน้ำหล่อเย็น (Cooling Water Pump) และปั๊มสำหรับดูดน้ำจากเครื่องควบแน่น (Condensated Extraction Pump) เป็นต้น

(2) ระบบพัดลม เช่น พัดลมดูดอากาศออกจากเตา (Induced Draught Fan) พัดลมอัดอากาศเพื่อลำเลียงถ่านเข้าเตา (Primary Air Fan) พัดลมอัดอากาศเพื่อการเผาไหม้ (Forced Draught Fan) และพัดลมระบายความร้อนสำหรับน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower Fan) เป็นต้น

(3) ระบบสายพานลำเลียงเชื้อเพลิง เช่น ระบบสายพานลำเลียงย่อย (Branch Conveyor) ระบบสายพานลำเลียงหลัก (Main Conveyor) และระบบสายพานลำเลียงจากเครื่องบดถ่านหิน (Crusher Conveyor) เป็นต้น

(4) ระบบบดอัดถ่านหิน เช่น เครื่องบดถ่านหินขั้นแรก (Crusher) และเครื่องบดถ่านหินขั้นสุดท้าย (Pulverizer) เป็นต้น

ในการนำมอเตอร์ไปใช้งานในระบบต่าง ๆ ซึ่งแต่ละระบบล้วนมีความสำคัญในระบบการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ้าหากมอเตอร์เกิดการเสียหายขึ้นอย่างกระทันหันจะทำให้ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าเสียหายไปด้วย เช่น ในระบบลำเลียงถ่านหิน ซึ่งเป็นระบบที่ป้อนเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้า พบว่ามีการเสียหายของมอเตอร์เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ในขณะที่กำลังลำเลียงเชื้อเพลิงให้กับโรงไฟฟ้า ในกรณีที่มอเตอร์ระบบลำเลียงเสียหายอย่างกระทันหัน จะทำให้การลำเลียงถ่านหินในระบบลำเลียงนั้นหยุดชะงักไป ถ้าหากระบบลำเลียงอีกระบบหนึ่งซึ่งเป็นระบบสำรองเกิดการเสียหายขึ้น จะไม่สามารถลำเลียงถ่านหินให้โรงไฟฟ้าได้ทั้ง 2 หน่วย คิดเป็นกำลังผลิต

300 - 600 เมกกะวัตต์ ถ้าหากเกิดการเสียหายในระบบลำเลียงหลักอาจทำให้ไม่สามารถลำเลียงถ่านหินได้ถึง 5 หน่วย ซึ่งคิดเป็นกำลังผลิตถึง 900 เมกกะวัตต์

ในระบบปั๊ม ระบบพัดลม หรือระบบบดอัดถ่านหินจะทำให้เกิดการเสียหายต่อระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เช่นกัน ถึงแม้ว่าบางระบบจะมีอุปกรณ์สำรองไว้ เพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกระทันหัน ถ้ามีอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งเสียไป บางครั้งก็ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตามปกติ แต่ทำให้ไม่มีความเชื่อถือได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเฝ้าติดตามตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์ที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถวางแผนบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม และยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา อีกทั้งยังสามารถเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการตรวจซ่อมล่วงหน้าได้อย่างเหมาะสมและสามารถแก้ไขสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเกิดการเสียหายอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นผลให้ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้ามีความมั่นคงและมีความเชื่อถือได้

การตรวจสอบสภาพความผิดปกติของมอเตอร์ในปัจจุบันมีวิธีการตรวจสอบดังต่อไปนี้

(1) ตรวจสอบโดยต้องหยุดการทำงานของมอเตอร์ แล้วทำการถอดชิ้นส่วนของมอเตอร์ออก เพื่อทำการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ เช่น ตรวจสอบการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ ตรวจสอบการลัดวงจรของขดลวดสเตเตอร์ และตรวจสอบความผิดปกติของแบริ่ง วิธีนี้มีข้อเสียคือ ต้องหยุดระบบการผลิตนั้น และในระหว่างที่มอเตอร์ใช้งานอยู่ไม่สามารถทราบความผิดปกติของมอเตอร์ได้จนกว่าจะถึงวาระที่ต้องหยุดมอเตอร์และถอดออกทำการตรวจสอบ ซึ่งบางครั้งมอเตอร์เกิดการเสียหายก่อนถึงกำหนดวาระ

(2) ตรวจสอบขณะมอเตอร์ใช้งานอยู่โดยวัดค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นโดยวิเคราะห์ในรูปของสเปกตรัมของความถี่ของค่าความสั่นสะเทือน ในการตรวจสอบวิธีนี้เราสามารถทราบความผิดปกติได้ก่อนที่มอเตอร์จะเสียหายอย่างรุนแรง แต่ในการวิเคราะห์ ต้องอาศัยผู้มีความรู้ความชำนาญ และมีประสบการณ์ทางด้านความสั่นสะเทือนเป็นอย่างดี จึงจะสามารถวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง สำหรับวิธีนี้จะเน้นไปทางด้านความผิดปกติทางกล เช่น การสึกหรอของแบริ่ง (Worn bearing) การวางแนวผิดตำแหน่ง (Misalignment) การบิดเบี้ยวของสเตเตอร์และโรเตอร์ (Stator - rotor eccentricity) การหลวมคลอน (Looseness)

การตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการวัดกระแสที่สเตเตอร์ขณะมอเตอร์ใช้งานอยู่ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันนี้ โดยการวัดวิธีนี้สามารถทำการวัดได้ทุกเวลาขณะที่มอเตอร์ใช้งานอยู่ โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบการผลิต

ใช้เวลาในการตรวจสอบน้อย สามารถทราบความผิดปกติได้ก่อนที่จะเกิดการเสียหายอย่างรุนแรง ซึ่งมีงานวิจัยศึกษาในเรื่องนี้อยู่แต่เป็นการแยกศึกษาเฉพาะเรื่อง สามารถแยกได้เป็น 3 เรื่อง คือ

(1) ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ (Broken bars of rotor)

(2) ศึกษาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ (Air-gap eccentricity)

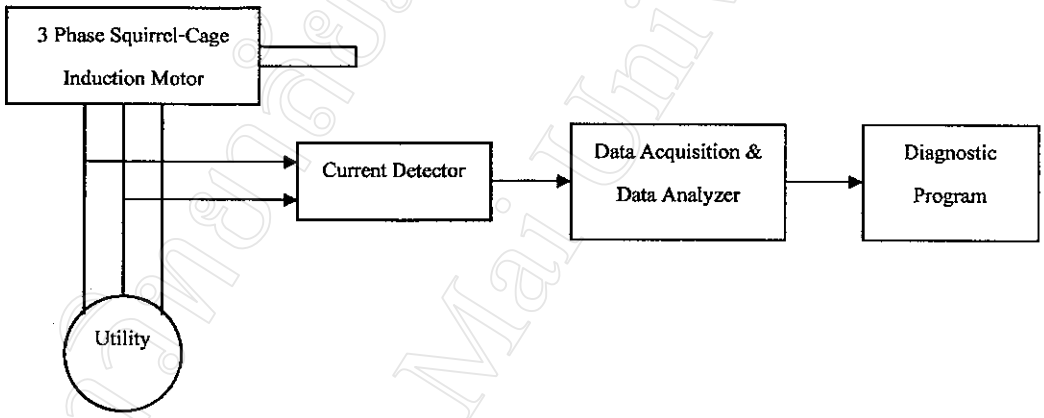
(3) ศึกษาเกี่ยวกับการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding turn-to-turn short circuit)

และสามารถสรุปวิธีการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์ทั้ง 3 เรื่อง ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์โดยการวิเคราะห์จากกระแสที่สเตเตอร์

รายการ	ส่วนที่เกิดความผิดปกติ		
	โรเตอร์	ช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์	สเตเตอร์
ชนิดของความผิดปกติ	การแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์	ความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศที่เกิดจากการเยื้องศูนย์กลางระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์	การลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์
การตรวจจับ	กระแสที่สเตเตอร์ เฟสใดเฟสหนึ่ง	กระแสที่สเตเตอร์เฟสใดเฟสหนึ่ง	กระแสที่สเตเตอร์ 2 เฟส
การวิเคราะห์	วิเคราะห์จากสเปกตรัมของกระแสที่ได้จาก Fast Fourier Transform	วิเคราะห์จาก สเปกตรัมของกระแสที่ได้จาก Fast Fourier Transform	วิเคราะห์จากค่าของ Negative Sequence Current

ในการวิเคราะห์แต่ละเรื่องเพื่อวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์มีความยุ่งยากและต้องอาศัยผู้มีความรู้ ความชำนาญทางด้านการวิเคราะห์กระแสที่เกิดขึ้น ดังนั้นการนำความรู้ที่มีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาไว้และทฤษฎีที่มีอยู่ มาใช้ในการวิเคราะห์และวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง 3 เรื่อง และใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการประมวลผลของข้อมูลที่ได้มาจากกระแสที่สเตเตอร์เป็นวิธีที่สามารถทราบความผิดปกติของมอเตอร์ได้ โดยไม่ต้องอาศัยผู้มีความรู้ความชำนาญทางด้านการวิเคราะห์กระแสที่สเตเตอร์ และมีวิธีการในการตรวจจับความผิดปกติดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 วิธีการในการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

Rankin [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจจับความผิดปกติของโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) โดยการวิเคราะห์จากสเปกตรัมของกระแสที่สเตเตอร์ (Stator phase current spectrum) และพบว่าถ้าแท่งตัวนำในโรเตอร์เกิดการแตกหักจะเกิดสเปกตรัมรอบความถี่มูลฐาน โดยจะเกิดที่ความถี่ $(1 \pm 2s)\, f_1$ เมื่อ f_1 = ความถี่ของแหล่งจ่าย (Supply frequency) และ s = สลิป ส่วนแอมพลิจูดของสเปกตรัมจะขึ้นอยู่กับจำนวนของแท่งตัวนำในโรเตอร์ที่เกิดการแตกหัก

Dorrell, *et al.* [2] ได้ศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์แบบสถิตและแบบพลวัต (Static and dynamic eccentricity) โดยใช้การวิเคราะห์

จากสเปกตรัมของกระแสที่สเตเตอร์ โดยการปรับค่าของความไม่สม่ำเสมอแบบสถิตและแบบพลวัตขณะไม่มีโหลด 50 เปอร์เซ็นต์ของโหลด และที่โหลดพิกัด (Rated load) แล้ววัดกระแสที่สเตเตอร์ พบว่า

(1) เมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอแบบสถิตและแบบพลวัต จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ โดยเกิดที่ความถี่ $f_s \pm n_r$ เรียกว่า Upper และ Lower side-band frequency เมื่อ f_s = ความถี่ของแหล่งจ่าย (Supply frequency) และ n_r = ความถี่ในการหมุนของโรเตอร์ (Rotational frequency of rotor)

(2) เมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอแบบพลวัต แอมปลิจูดของ Upper side band มีค่าลดลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น

(3) เมื่อเกิดความไม่สม่ำเสมอแบบสถิต แอมพลิจูดของ Lower side band มีค่าลดลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น

Burnett and Watson [3] ศึกษาการตรวจจับความผิดปกติของโรเตอร์แบบกรงกระรอกโดยวิเคราะห์สเปกตรัมจากกระแสชั่วครู่ขณะที่เริ่มเดิน (Starting transient current) ในสภาวะที่ไม่มีโหลด สเปกตรัมนี้จะไม่คงที่เรียกว่า Non - stationary components เนื่องจากขณะเริ่มเดินมอเตอร์สลิปมีค่าไม่คงที่ และใช้วิธีการตรวจจับที่เรียกว่า Wavelet Decomposition Technique แล้วเลือกความถี่ที่เหมาะสมที่สุด (Optimum frequency) เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการวินิจฉัยความผิดปกติของโรเตอร์ได้ จากผลการศึกษาพบว่า แอมปลิจูดของรูปคลื่นจะเป็นตัวบ่งชี้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนแท่งตัวนำในโรเตอร์

Filippetti, *et al.* [4] ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์สเปกตรัมของกระแสโดยการใช้แบบจำลองความผิดปกติกับการวิเคราะห์โดยการประมาณค่าของพารามิเตอร์เพื่อตรวจจับความผิดปกติของแท่งตัวนำในโรเตอร์ พบว่าการวิเคราะห์โดยใช้สเปกตรัมของกระแสจะสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการวิเคราะห์โดยการประมาณค่าของพารามิเตอร์จะใช้ได้ดีในกรณีที่จำนวนของแท่งตัวนำในโรเตอร์ผิดปกติมากกว่า 1-2 แท่งขึ้นไป

Kilman, *et al.* [5] ตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์โดยวิเคราะห์จากกระแสที่สเตเตอร์ และใช้ไมโครโพรเซสเซอร์เป็นเครื่องมือในการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้น โดยสามารถตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์ดังนี้

(1) ความผิดปกติเนื่องจากการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding turn-to-turn short circuit) โดยวิเคราะห์จากกระแสลำดับลบ พบว่ากระแสลำดับลบจะมีค่าสูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับสภาวะปกติ

(2) ความผิดปกติเนื่องจากการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ (Broken bars of rotor) โดยวิเคราะห์จากสเปกตรัมของกระแสที่สเตเตอร์ พบว่าสเปกตรัมของกระแสที่บอกถึงความผิดปกติของโรเตอร์จะเกิดที่ความถี่ 2 เท่าของความถี่สลิปก่อนหน้าความถี่มูลฐาน นั่นคือ $(1-2s)*f_l$ เมื่อ f_l = ความถี่มูลฐาน s = สลิป โดยความรุนแรงของความผิดปกติจะวิเคราะห์ได้จากค่าของแอมปลิจูดที่สูงขึ้น

(3) ความผิดปกติของแบริ่ง โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของกระแสและใช้เทคนิคของนิวรอลเน็ตเวอร์คในการวิเคราะห์ความผิดปกติของแบริ่ง

การตรวจจับความผิดปกติของมอเตอร์ใช้การตรวจจับโดยติดตั้งเครื่องมือตรวจสอบไว้ประจำมอเตอร์แต่ละตัว ขณะที่มอเตอร์ใช้งานอยู่ (Online Monitoring) เหมาะสำหรับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และมีความสำคัญที่จะต้องเฝ้ามองความผิดปกติตลอดเวลา

Schoen, *et al.* [6] ได้ศึกษาการตรวจจับความเสียหายของแบริ่ง โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมของกระแสที่สเตเตอร์ ซึ่งพบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ความถี่ของแบริ่ง คือ Outer Race Frequency และ Inner Race Frequency โดยแอมพลิจูดของสเปกตรัมที่ความถี่ของแบริ่งขณะมีโหลดต่ำกว่าขณะไม่มีโหลด

และยังมีงานวิจัยอื่น ๆ เช่น Jarzyna [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวินิจฉัยคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นแรงแม่เหล็กในแนวแกนของเครื่องจักรแบบเหนี่ยวนำ เพื่อหาผลกระทบของความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ ขณะที่ Dorrell [8] ได้ศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับการบิดตัวของแท่งตัวนำในโรเตอร์ (Rotor Skew) ของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำขณะที่เกิดความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ และ Gaylard, *et al.* [9] ได้ศึกษาการตรวจจับการหลวมคลอน (Looseness) ของขดลวดสเตเตอร์โดยใช้การวัดจากเสียงที่เกิดขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาและรวบรวมวิธีการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส

1.3.2 เพื่อออกแบบสร้างเครื่องมือสำหรับใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์ ความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์และการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์

1.4 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก โดยใช้การวิเคราะห์จากกระแสที่สเตเตอร์และสามารถตรวจสอบความผิดปกติโดยไม่จำกัดขนาดพิกัดของมอเตอร์ ดังนี้

1.4.1 ความผิดปกติที่เกิดเนื่องจากการแตกหักของแท่งตัวนำในโรเตอร์

1.4.2 ความผิดปกติที่เกิดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์

1.4.3 ความผิดปกติที่เกิดเนื่องจากการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสเตเตอร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University