

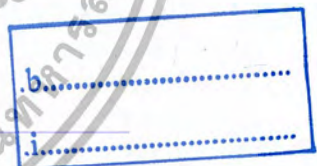
การศึกษาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

โดยการวัดค่าขณะใช้งาน

A STUDY OF INDUCTION MOTOR
FIELD EFFICIENCY BASE ON ON-SITE MEASUREMENT



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61405
วัน,เดือน,ปี..... 17 ก.ค. 2549



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
โดยการวัดค่าขณะใช้งาน
**A STUDY OF INDUCTION MOTOR
FIELD EFFICIENCY BASE ON ON-SITE MEASUREMENT**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยการวัดค่าขณะใช้งาน

A STUDY OF INDUCTION MOTOR FIELD EFFICIENCY BASE ON ON-SITE MEASUREMENT

ผู้จัดทำ

1. นายหัสสพล วรชัยยุทธ รหัสประจำตัว 45015176
2. นายอิทธิ ภู่วรวงศ์ รหัสประจำตัว 45015180
3. นายอิษญา อุบลไทรย์ รหัสประจำตัว 45015181



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.ชัยวุฒิ นิตกรอุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยการวัดค่าขณะใช้งาน

นายหัสพล วรชัยยุทธ รหัสประจำตัว 45015176
 นายอิทธิ ภู่วรวงศ์ รหัสประจำตัว 45015180
 นายอิษฎา อุบลไทรย์ รหัสประจำตัว 45015181
 รศ.ดร.ชัชวดี ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยทั่วไปแล้วการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ทำได้โดยคำนวณจากปายพิทัก และวิธีคำนวณจากสลิป ซึ่งวิธีดังกล่าวจะมีความถูกต้องแม่นยำน้อย อีกวิธีหนึ่งหาได้โดยใช้วิธีการทดสอบไว้ภาระ และชัต โรเตอร์ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล จากวงจรสมมูลนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีนี้เป็นการยุ่งยากในกรณีที่มีมอเตอร์ใช้งานอยู่ และถ้าจะทำการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยนำมอเตอร์ตัวใหม่เข้ามาแทนที่ จะคุ้มทุนในระยะเวลาเท่าใด ดังนั้น ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดยใช้จินตคณิตอัลกอริทึมซึ่งวิธีนี้ไม่ต้องหยุดโรเตอร์ไปทดสอบด้วยภาระ และชัตโรเตอร์ โดยวิธีการนี้ ข้อมูลอินพุตโดยการทดสอบมอเตอร์ 3 แรงม้า จากนั้นทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยวิธีการต่าง ๆ และวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมนี้จะมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5% จากการทดสอบภาระ และสำหรับการเปลี่ยนมอเตอร์นั้นได้ใช้จินตคณิตอัลกอริทึมเข้ามาช่วยเพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพได้ทุกภาระและสร้างโปรแกรมที่ช่วยในการตัดสินใจในการเลือกและเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

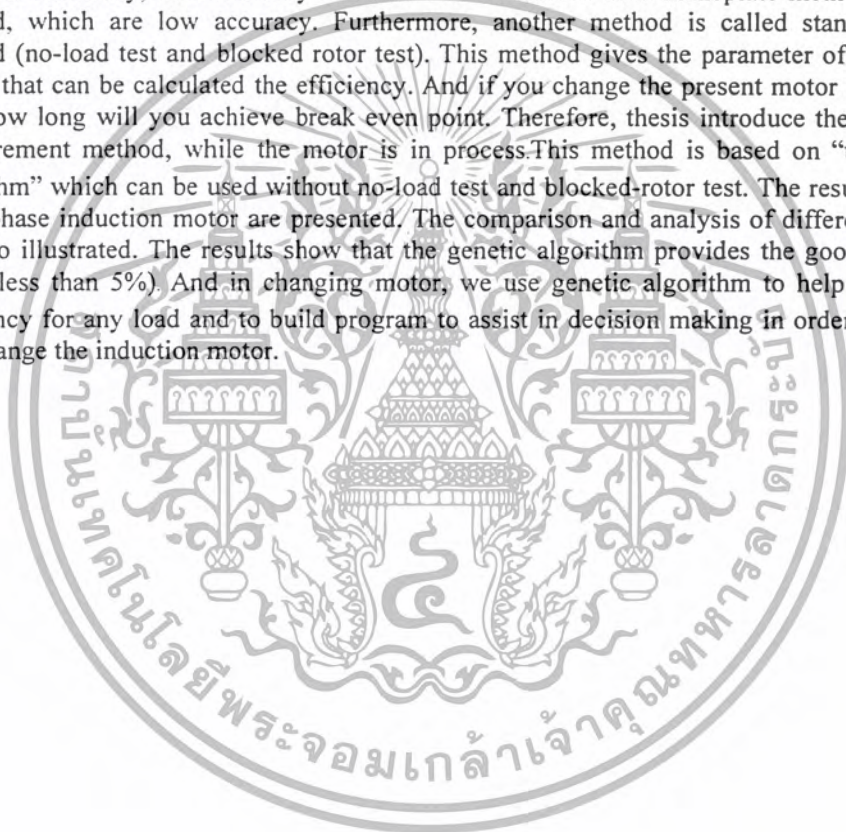
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF INDUCTION MOTOR FIELD EFFICIENCY BASE ON ON-SITE MEASUREMENT

Hassapon Worachaiyut
Itthi Poovarawong
Isada Aubonchai
Assoc.Prof.Dr.Chaiwut Chat-uthai Advisor
2004

Abstract

This thesis is a study of induction motor three phase field efficiency evaluation methods. Normally, the efficiency of motor can be defined both nameplate method and slip method, which are low accuracy. Furthermore, another method is called standard IEEE method (no-load test and blocked rotor test). This method gives the parameter of equivalent circuit that can be calculated the efficiency. And if you change the present motor by the new one, how long will you achieve break even point. Therefore, thesis introduce the efficiency measurement method, while the motor is in process. This method is based on "the genetic algorithm" which can be used without no-load test and blocked-rotor test. The results of 1 hp three-phase induction motor are presented. The comparison and analysis of different method are also illustrated. The results show that the genetic algorithm provides the good accuracy rated (less than 5%). And in changing motor, we use genetic algorithm to help in finding efficiency for any load and to build program to assist in decision making in order to choose and change the induction motor.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่าย บุคคลแรกที่จะต้องกล่าวถึง เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และให้ความช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ นายสุนัน หนองเหล็ก ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำปริญญาบัตรนี้ และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นคือบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้

นายหัสสพล วรชัยยุทธ
นายอิทธิ ภูวรวงศ์
นายอิชญา อุบลไทรย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
สารบัญสัญลักษณ์	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1 ขดลวดสามเฟส	3
2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	4
2.3 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	5
2.4 วงจรสมมูล	9
บทที่ 3 วิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
3.1 กระบวนการพื้นฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
3.2 การหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งาน	16
3.3 วิธีการทดสอบพื้นฐานแบบต่างๆ	19
3.4 ผลการทดสอบ	20
บทที่ 4 วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก	39
4.1 การหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลแคทาล็อก	39
4.2 ผลการทดสอบ	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 โปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับงานอุตสาหกรรม	45
5.1 หลักการทำงานของโปรแกรม	45
5.2 การใช้งานโปรแกรมพร้อมอธิบาย	47
5.3 ผลการทดสอบโดยการใช้โปรแกรม	58
5.4 สรุป	62
บทที่ 6 บทสรุป	63
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 3-1	ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลบน nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของมอเตอร์ขนาด 100 hp	13
ตารางที่ 3-2	การทดสอบ method B no-load test	23
ตารางที่ 3-3	ผลการทดสอบ no-load ลดแรงดัน	24
ตารางที่ 3-4	ผลการทดสอบ rated load temperature test	25
ตารางที่ 3-5	ผลการทดสอบ under load test	26
ตารางที่ 3-6	ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ	27
ตารางที่ 3-7	ข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม	31
ตารางที่ 3-8	ผลการทดสอบโปรแกรม field Test	31
ตารางที่ 3-9	ประสิทธิภาพที่ได้จาก แคทาล็อก	32
ตารางที่ 3-10	ผลการทดสอบโดย current Method	33
ตารางที่ 3-11	ผลการทดสอบโดย slip method	34
ตารางที่ 4-1	ผลการรันโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก โดยทำการทดสอบที่มอเตอร์ขนาด 2200 W ของมอเตอร์ MITSUBISHI และ TECO	43
ตารางที่ 5-1	ผลการทดสอบของ selection Motor	58
ตารางที่ 5-2	ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม replacement แบบ field test	60
ตารางที่ 5-3	ผลการทดสอบโปรแกรม replacement แบบ non field test	61

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
รูปที่ 2-2 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส	7
รูปที่ 2-3 สมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	9
รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ย้ายส่วน I_o ไปที่ต้นทาง	10
รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าสลิปใดๆ	10
รูปที่ 2-6 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์พันขดลวด ที่มีค่าโดยประมาณ	11
รูปที่ 3-1 ประสิทธิภาพเทียบกับ load curves ของมอเตอร์ MITSUBISHI	12
รูปที่ 3-2 ประสิทธิภาพเมื่อคิดจากค่าความแตกต่าง 20% ของความเร็วรอบ จาก nameplate ของมอเตอร์ ตามมาตรฐาน NEMA	14
รูปที่ 3-3 ตำแหน่งการต่อ torque detector	15
รูปที่ 3-4 วงจรสมมูลที่ใช้ในโปรแกรม field test	16
รูปที่ 3-5 ขั้นตอนการทำงานของ field test	18
รูปที่ 3-6 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ no-load	22
รูปที่ 3-7 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ under-load	22
รูปที่ 3-8 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบกับกระแส ที่ได้จากการทดสอบ	28
รูปที่ 3-9 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับกำลังไฟฟ้าอินพุท ที่ได้จากการทดสอบ	28
รูปที่ 3-10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับ power factor ที่ได้จากการทดสอบ	29
รูปที่ 3-11 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับกำลังเอาต์พุท ที่ได้จากการทดสอบ	29
รูปที่ 3-12 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับแรงบิด ที่ได้จากการทดสอบ	30
รูปที่ 3-13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับ %eff ที่ได้จากการทดสอบ	30
รูปที่ 3-14 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้โปรแกรมกับ ค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	32
รูปที่ 3-15 ประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการ nameplate method	33
รูปที่ 3-16 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการหาโดย current method	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3-17 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จาก slip method	35
รูปที่ 3-18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี nameplate กับ method B	35
รูปที่ 3-19 เปรียบเทียบ slip method กับ method B	36
รูปที่ 3-20 เปรียบเทียบ current method กับ method B	36
รูปที่ 3-21 เปรียบเทียบ field test กับ method B	37
รูปที่ 3-22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการต่าง	37
รูปที่ 4-1 รูปวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	39
รูปที่ 4-2 วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200W MITSUBISHI	41
รูปที่ 4-3 วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200W TECO	42
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ขนาด 2200W	44
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ขนาด 2200W	44
รูปที่ 5-1 การทำงานของโปรแกรม	45
รูปที่ 5-2 หลักการทำงานของโปรแกรม	46
รูปที่ 5-3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	47
รูปที่ 5-4 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม	47
รูปที่ 5-5 หน้าหลักของ selection motor	48
รูปที่ 5-6 ข้อมูลของมอเตอร์	49
รูปที่ 5-7 หน้าต่างการเปรียบเทียบ	49
รูปที่ 5-8 การเปรียบเทียบมอเตอร์ของโปรแกรม	50
รูปที่ 5-9 มอเตอร์ที่ตัวโปรแกรมได้แนะนำให้ใช้	51
รูปที่ 5-10 หน้าหลักของ replacement	51
รูปที่ 5-11 ข้อมูลเบื้องต้นของมอเตอร์	52
รูปที่ 5-12 ระยะเวลาคืนทุน	53
รูปที่ 5-13 กรณีที่หามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าข้อมูลในโปรแกรมได้	53
รูปที่ 5-14 ระยะเวลาคืนทุนในกรณีหามอเตอร์ที่ประสิทธิภาพสูงกว่า	53

ข้อมูลในโปรแกรมได้

54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5-15 replacement แบบ non field test	55
รูปที่ 5-16 เลือกมอเตอร์ตัวใหม่แบบ non field test	55
รูปที่ 5-17 ระยะเวลาคืนทุนเมื่อพิจารณาแบบ non field test	56
รูปที่ 5-18 ระยะเวลาคืนทุนเมื่อพิจารณาด้วย slip method และ current method	57
รูปที่ 5-19 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 10hp ของ MITSUBISHI กับของ TECO	59
รูปที่ 5-20 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 20hp ของ MITSUBISHI กับของ TECO	59
รูปที่ 6-1 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า	64
รูปที่ 6-2 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากโปรแกรมแคทาล็อก กับการทดสอบตามมาตรฐาน method B	64



สารบัญสัญลักษณ์

n_s	=	ความเร็วแม่เหล็กหมุน
n_r	=	ความเร็วของโรเตอร์
s	=	ผลต่างของความเร็วเชิงโคจรกับความเร็วโรเตอร์ในรูปร้อยละ
f	=	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
P	=	จำนวนขั้วแม่เหล็ก
P	=	กำลังไฟฟ้าจริง
V_1	=	ค่าแรงดันต่อเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์
I_1	=	ค่ากระแสต่อเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์
I_2	=	ค่ากระแสต่อเฟสของโรเตอร์
ω_s	=	ค่าความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนเมื่อคิดเป็น องศาเรเดียนต่อวินาที
ω_r	=	ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อคิดเป็น องศาเรเดียนต่อวินาที
R_1	=	ความต้านทานของสเตเตอร์
X_1	=	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของสเตเตอร์
X_2	=	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของโรเตอร์
X_m	=	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำกระตุ้นแม่เหล็ก
R_2	=	ค่าความต้านทานของโรเตอร์
R_c	=	ค่าความต้านทานกระตุ้นแม่เหล็ก
P_{in}	=	กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้กับมอเตอร์
P_{core}	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก
$P_{cu,1}$	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์
$P_{cu,2}$	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหรือแท่งตัวนำของโรเตอร์
P_r	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องมาจากความถี่ของแบร์ริง
P_g	=	กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโรเตอร์
P_e	=	กำลังที่ออกจากโรเตอร์
T_e	=	แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า
P_o	=	กำลังที่ออกจากมอเตอร์
T_o	=	แรงบิดมอเตอร์
NEMA	=	National Electrical Manufacturers Association
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineering
JEC	=	Japanese Electrotechnical Committee
IEC	=	International Electrotechnical Commission
hp	=	ปริมาณแรงม้าของมอเตอร์
%eff	=	ค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- I_{jt} = ค่ากระแสเมื่อมอเตอร์ทำการขั้วภาระที่พิกัด
- I_{nl} = ค่ากระแสขณะมอเตอร์ทำงาน โดยไม่มีการต่อภาระ
- OPT = การทำการวัดค่ากระแส, แรงดัน, กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ค่าภาระค่าหนึ่ง
- TPT = การทำการวัดค่ากระแส, แรงดัน, กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ค่าภาระสองค่า
- $R_{st.l.}$ = ค่า stray load loss ที่พิจารณาในรูปของตัวต้านทาน
- V_{line} = ค่าแรงดันเมื่อวัดแรงดัน line to line
- V_{phase} = ค่าแรงดันเมื่อวัดแรงดัน line to neutral
- MITSU = MITSUBISHI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากปัจจุบัน ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะมีการติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นส่วนใหญ่นั้น ในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะมีประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะสำหรับวิศวกรที่อยู่หน้างานขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งงานอยู่เมื่อนำไปใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งเราสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์ใช้ในการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวใหม่มาเปลี่ยนแทนมอเตอร์ตัวเก่า แล้วหาระยะเวลาคู่มือ

โครงการนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะใช้งานจริง โดยใช้วิธี nameplate method, slip method, current method [1] และศึกษาถึงแนวทางในการนำวิธีจีเนติกอัลกอริทึม เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการทดสอบที่ยุ่งยากและซับซ้อน และง่ายต่อการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากไม่จำเป็นที่จะต้องนำโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์เหนี่ยวนำออกขณะทำการทดสอบ ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่ากระแสอินพุท, แรงดันอินพุท, กำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบมอเตอร์ก็สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลได้ ซึ่งจะสามารถนำไปพิจารณาคุณลักษณะของมอเตอร์ต่อไป โดยผลที่ได้จากการศึกษาจะนำไปเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEEE 112 method B [2]

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ยังมีวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งาน โดยการใส่โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก (catalog) [3] โดยเราจะใช้เพียงข้อมูลที่ได้จาก แคทาล็อก เท่านั้น

การประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ในขณะใช้งานจริงนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เทคนิคที่สามารถปรับให้เข้ากับสภาวะการใช้งานจริงเพื่อให้ได้ผลของการประเมินค่าประสิทธิภาพให้ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินค่าประสิทธิภาพ เช่น เครื่องมือวัด, ผู้ทำการวัด และสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อให้ นักศึกษามีความเข้าใจในหลักการงานและการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.2.2 เพื่อให้ นักศึกษามีความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ (IEEE 112 method B)

1.2.3 เพื่อเป็นการศึกษาแนวคิด และความเป็นไปได้ในการนำวิธี จีเนติกอัลกอริทึม เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลขณะใช้งานจริง ซึ่งสามารถนำไปใช้ในวิเคราะห์สมรรถนะของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 เพื่อศึกษาโปรแกรมในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ

1.2.5 เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำทฤษฎีมาประยุกต์ใช้งานและมีความสามารถในการทำงานเป็นกลุ่มและนำเสนอผลงานได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดย nameplate method, current method และ slip method

1.3.2 ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 method B

1.3.3 ศึกษาโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง (field test)

1.3.4 ศึกษาโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

1.3.5 สร้างโปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับงานอุตสาหกรรม

1.3.6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีการต่างๆ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการวิจัยโดยมีการกำหนดขั้นตอนรายละเอียดต่างๆเป็นลำดับดังต่อไปนี้ บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และการวิเคราะห์วงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ และแบบประมาณ

บทที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามเฟส โดย nameplate method, slip method, current method และ shaft torque method จากนั้นจะศึกษาโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง (field test) ศึกษาวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 method B คือ method F พร้อมทั้งแสดงผลการทดสอบที่ได้ เปรียบเทียบผลและกล่าวถึง cost saving กับ payback

บทที่ 4 ในบทนี้ได้ทำการศึกษาโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกพร้อมทั้งแสดงผลที่ได้

บทที่ 5 บทนี้จะรวมความรู้ทั้งหมดมาเข้ากับโปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยจะอธิบายหลักการทำงาน และการใช้งาน พร้อมทั้งแสดงผลที่ได้

บทที่ 6 เป็นบทสุดท้าย เป็นการสรุปการทำงาน ผลที่ได้รับจากการวิจัยนี้ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม

บทที่ 2

ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก นิยมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (three phase induction motor) เนื่องจากมีความเร็วค่อนข้างคงที่สะดวกในการบำรุงรักษาแข็งแรงทนทาน โครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถขับโหลดทางกลได้มาก แต่ค่าตัวประกอบกำลังจะล้าหลัง และมีค่าต่ำ ถ้าเป็นโรงงานขนาดใหญ่ ที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำจำนวนมาก จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อที่จะทำการปรับปรุง ตัวประกอบกำลัง เพื่อไม่ให้มีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (reactive power) มากเกินไป ทำให้มีค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าไฟฟ้าสูง

2.1 ขดลวดสามเฟส (Three-phase Windage)

ในกรณีเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 2 ขั้วแม่เหล็กที่มีขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นแบบ 3 เฟส แสดงคังรูป แนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวดแต่ละเฟสจะวางทำมุมกัน 120° ทางกล (120° ทางไฟฟ้า) เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้า 3 เฟสที่สมมูลในขดลวดเป็นดังนี้ [4]

$$i_a = I_m \cos \omega_e t \quad i_b = I_m \cos(\omega_e t - 120^\circ) \quad i_c = I_m \cos(\omega_e t - 240^\circ) \quad (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้ θ_a เป็นมุมที่เทียบกับแนวแกนสนามแม่เหล็กของเฟส a ดังนั้นการเกิดค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กในขดลวดแต่ละเฟสจะมีลักษณะเช่นเดียวกับขดลวดเฟสเดียวดังนี้

$$\mathfrak{F}_{agl} = \mathfrak{F}_{agl}^+ + \mathfrak{F}_{agl}^- \quad (2.2)$$

$$\mathfrak{F}_{agl}^+ = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} - \omega_e t) \quad (2.3)$$

$$\mathfrak{F}_{agl}^- = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} + \omega_e t) \quad (2.4)$$

แนวแกนของขดลวดเฟส b อยู่ที่ตำแหน่ง $\theta_a = 120^\circ$

$$\mathfrak{F}_{bgl} = \mathfrak{F}_{bgl}^+ + \mathfrak{F}_{bgl}^- \quad (2.5)$$

$$\mathfrak{F}_{bgl}^+ = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} - \omega_e t) \quad (2.6)$$

$$\mathfrak{F}_{bgl}^- = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} + \omega_e t + 120^\circ) \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวแกนของขดลวดเฟส c อยู่ที่ตำแหน่ง $\theta_a = -120^\circ$

$$\mathfrak{I}_{cgl} = \mathfrak{I}_{cgl}^+ + \mathfrak{I}_{cgl}^- \quad (2.8)$$

$$\mathfrak{I}_{cgl}^+ = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} - \omega_e t) \quad (2.9)$$

$$\mathfrak{I}_{cgl}^- = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} + \omega_e t - 120^\circ) \quad (2.10)$$

ผลรวมของค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดทั้งสามเฟส

$$\mathfrak{I}(\theta_{ac}, t) = \mathfrak{I}_{agl} + \mathfrak{I}_{bgl} + \mathfrak{I}_{cgl} \quad (2.11)$$

$$\mathfrak{I}^-(\theta_{ac}, t) = \mathfrak{I}_{agl}^- + \mathfrak{I}_{bgl}^- + \mathfrak{I}_{cgl}^- = 0 \quad (2.12)$$

$$\mathfrak{I}^+(\theta_{ac}, t) = \mathfrak{I}_{agl}^+ + \mathfrak{I}_{bgl}^+ + \mathfrak{I}_{cgl}^+ \quad (2.13)$$

$$= \frac{3}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} - \omega_e t) \quad (2.14)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\mathfrak{I}(\theta_{ac}, t) = \frac{3}{2} F_{\max} \cos(\theta_{ae} - \omega_e t) \quad (2.15)$$

$$= \frac{3}{2} F_{\max} \cos\left(\frac{P}{2}\theta_a - \omega_e t\right) \quad (2.16)$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าในช่องอากาศ จะเกิดสนามแม่เหล็กค้ำที่มีขนาดคงที่ เท่ากับ $\frac{3}{2} F_{\max}$ เคลื่อนที่หมุน (rotating magnetic field) ไปด้วยความเร็วเชิงโคจร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณกระแสไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักร จากหลักการดังกล่าวที่ได้กล่าวมาแล้ว จะสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าสามเฟสเกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ที่สเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กค้ำเพิ่มขึ้น โดยจะมีการหมุนด้วยความเร็วเชิงโคจร และทิศทางของสนามแม่เหล็กค้ำที่เกิดขึ้นนี้จะกำหนดได้จากลำดับเฟส (phase sequence) ของสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ซึ่งกระทำได้โดยการสลับสัญญาณกระแสไฟฟ้าคู่ใดคู่หนึ่ง

2.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีส่วนประกอบเบื้องต้นคือ ประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่ ส่วนที่หมุน และฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ ที่ทำหน้าที่ยึดเฟลา [5]

1. สเตเตอร์(stator) เป็นที่อยู่กับที่ ซึ่งมีโครงสร้างที่ทำมาจากแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกัน แล้วอัดเป็นแท่งรูปทรงกระบอก เพื่อทำหน้าที่เป็นสล๊อต 3 เฟส

2. โรเตอร์(rotor) เป็นส่วนที่หมุนแบ่งได้ตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด

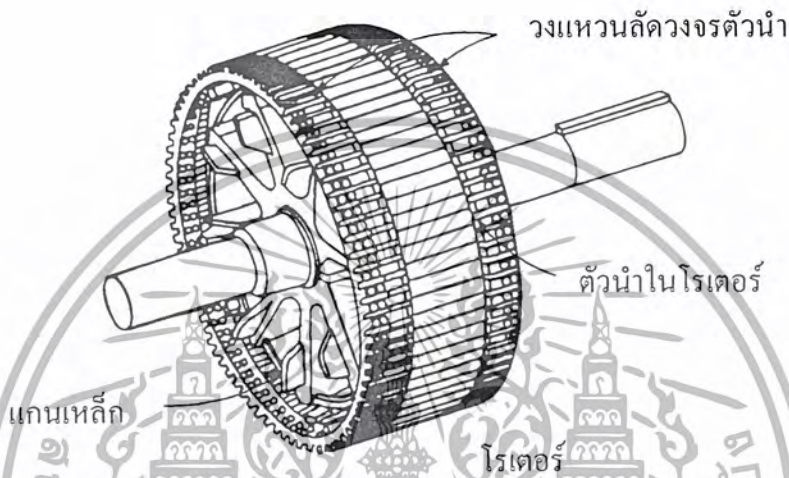
- โรเตอร์แบบทรงกระบอก (squirrel – cage rotor) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นลา

มินท์ (laminated sheet steel) เสาคว้านอกให้เป็นร่องเรียกว่าสล๊อต ตรงกลางแผ่นเจาะรูสำหรับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดเพลลา ฟังแท่งตัวนำตลอดความยาวของโรเตอร์ ที่ปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำจะถูกฉลวดจรด้วยทองแดงรูปวงแหวน สำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก และขนาดกลาง จะใช้แท่งตัวนำอลูมิเนียม

- โรเตอร์แบบพันขลวดหรือแบบขลวดโรเตอร์ (wound rotor) เป็นโรเตอร์ที่มีร่องสลีตบนแผ่นลามีเนท ใช้สำหรับวางขลวดคอปายน้ำยามี 3 เฟส ซึ่งขลวดทั้ง 3 เฟสจะต่อแบบ Y และปลายทั้ง 3 จะต่อกันเพื่อรับแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส โดยผ่านทางสลีปริง



รูปที่ 2-1 ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

2.3 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อขลวดอาร์มาเจอร์สามเฟสได้รับกระแสไฟฟ้าสามเฟส จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้านนอก จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน \vec{G} ขึ้นมาด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส n_s โดยความเร็วนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักรไฟฟ้า และสามารถกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ได้โดยการสลับลำดับเฟสของสัญญาณไฟฟ้า 3 เฟส คู่ใดคู่หนึ่ง ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าแท่งตัวนำต่างๆที่วางอยู่บนโรเตอร์จะเกิดการตัดกับสนามแม่เหล็กหมุน โดยพิจารณาในลักษณะแนวเคลื่อนที่สัมพัทธ์ แท่งตัวนำจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาซึ่งจะทำให้เกิดตัวกระแสเหนี่ยวนำในแท่งตัวนำในทิศทางพุ่งเข้า เนื่องจากแท่งตัวนำมีการเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้า ค่าของกระแสเหนี่ยวนำนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ค่ากระแสที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลทำให้เกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำต่างๆ ในทิศทางที่ทำให้เคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ n_r จะเห็นว่าความเร็วโรเตอร์จะไม่สามารถมีขนาดเท่ากับความเร็วเชิงโคโรนัส เนื่องจากถ้ากำหนดให้ ความเร็ว n_r เท่ากับ n_s แท่งตัวนำจะมีสภาพหยุดนิ่งอยู่กับที่ เมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กหมุนจะไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเนื่องจากไม่มีการตัดสนามแม่เหล็กและไม่สามารถเกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำ [5], [6], [7], [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ความเร็วซิงโครนัส

ความเร็วซิงโครนัส หมายถึง ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หรือมอเตอร์ซิงโครนัส

ความเร็วซิงโครนัส (n_s) หาได้จากสมการ

$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (2.17)$$

n_s = ความเร็วซิงโครนัส (rpm)

f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Hz)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

จากสมการข้างต้นความเร็วซิงโครนัสจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ (f) จำนวนขั้วแม่เหล็ก (P) โดยเพิ่มความถี่ (f) ความเร็วซิงโครนัส (n_s) จะมากขึ้น ถ้าลดจำนวนขั้วแม่เหล็ก ความเร็วก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ความเร็วโรเตอร์ (n_r) สามารถวัดได้ที่เพลลาของมอเตอร์ โดยความเร็วโรเตอร์ (n_r) จะมีความเร็วต่ำกว่า n_s เสมอ เพราะถ้า $n_r = n_s$ จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้มอเตอร์ไม่หมุน ผลต่างของความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วโรเตอร์เรียกว่า สลิป (slip)

ค่าของสลิปจะอยู่ในรูปของร้อยละเมื่อเทียบกับความเร็วซิงโครนัส ดังสมการต่อไปนี้

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.18)$$

$$\%s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100 \quad (2.19)$$

s = สลิป (slip)

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีภาระ จะทำให้ความเร็วซิงโครนัสเท่ากับความเร็วโรเตอร์ เมื่อเป็นเช่นนี้ค่าสลิปจะมีค่าเท่ากับ ศูนย์และเมื่อโรเตอร์ถูกล็อก ค่าสลิปจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% ดังนั้นจึงจะสามารถหาความเร็วโรเตอร์ที่มีค่าความเร็วซิงโครนัสและสลิปเป็นตัวแปรได้

$$n_r = (1 - s)n_s \quad (2.20)$$

และในส่วนของความถี่ของโรเตอร์ (f_r) สามารถหาได้จากสมการที่มีค่าสลิปเป็นตัวแปรในการหา

$$f_r = sf_s \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 กำลังและแรงบิด

กำลังงาน input คือ พลังงานไฟฟ้า input (P_{in}) ที่มอเตอร์ได้รับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสผ่านขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดความสูญเสียในส่วนต่างๆ ดังนี้

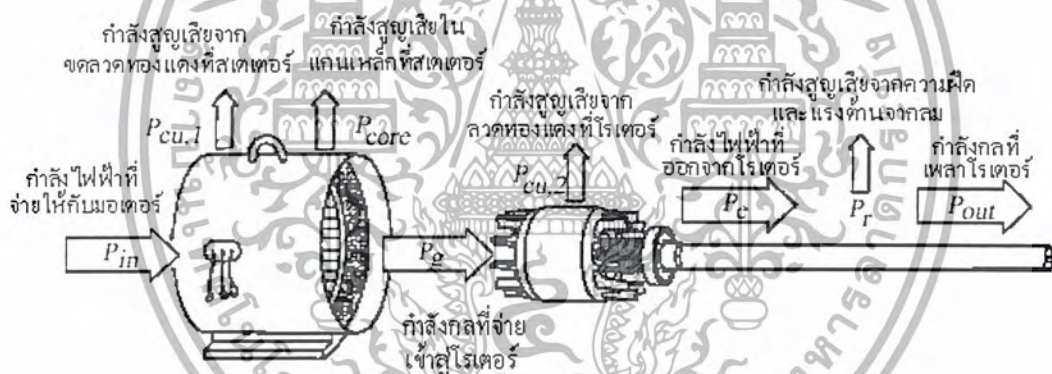
1. การสูญเสียที่สเตเตอร์ ประกอบด้วยการสูญเสียในแกนเหล็ก (core loss (P_{core})) ซึ่งหมายถึง eddy current และ hysteresis ที่แกนเหล็กสเตเตอร์และเกิดการสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (stator copper loss ($P_{cu,1}$))

2. การสูญเสียที่โรเตอร์ จะเกิดการสูญเสียที่ขดลวดมอเตอร์ (rotor copper loss ($P_{cu,2}$))

3. การสูญเสียทางกล เป็นการสูญเสียจากการฝืดและแรงต้านจากลม (friction & windage loss (P_r))

กำลัง input ของโรเตอร์ จะเกิดจากผลต่างระหว่างกำลัง input กับ การสูญเสียที่สเตเตอร์ ($P_{cu,1}$) หรือผลรวมของกำลัง output ของโรเตอร์ กับ โรเตอร์ copper loss

กำลัง output ของโรเตอร์ จะเกิดจากผลรวมของกำลังของ output กับ การสูญเสียทางกลหรือผลต่างของโรเตอร์ copper กับ $P_{cu,2}$



รูปที่ 2-2 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

- กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Input Power – Electrical Power)

$$P_{in} = 3V_1 I_1 \cos \theta \quad (2.22)$$

- ค่าสูญเสียจากขดลวดทองแดงที่สเตเตอร์ (Stator Copper Loss)

$$P_{cu} = 3I_1^2 R_1 \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโรเตอร์ (Rotor Input – Power Across air gap)

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.24)$$

- ค่าสูญเสียจากลวดทองแดงที่โรเตอร์ (Rotor Copper Loss)

$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 = sP_g \quad (2.25)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากโรเตอร์ (Rotor Output – Electromagnetic Power)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1-s)P_g \quad (2.26)$$

- ค่าแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Torque)

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_r} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2.27)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากมอเตอร์ (Output Power – Mechanical Power)

$$P_o = P_e - P_r \quad (2.28)$$

- ค่าแรงบิดมอเตอร์ (Output Torque)

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \quad (2.29)$$

- แรงบิดทางไฟฟ้า (T_e) เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากกำลังทางไฟฟ้าดังสมการ

$$E_a I_a = T_e \omega_r \quad (2.30)$$

จะเป็นแรงบิดที่ยังไม่ได้คิดผลของความฝืดและการต่อต้านทางกลต่างๆ

- แรงบิดปลายเพล T_{out} เป็นแรงบิดที่ออกจากมอเตอร์ ซึ่งจะเป็นค่าคงที่จะนำไปใช้งาน

$$P_o = T_{out} \omega_r \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่มีโรเตอร์แบบพันขดลวด จะมีโครงสร้างของวงจรสมมูลคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อนำมาเขียนวงจรสมมูลต่อเฟสแทน พารามิเตอร์ส่วนต่างๆ ของขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์ จะเขียนวงจรสมมูลต่อเฟสดังรูปที่ 2-3 โดยพิจารณาว่าการต่อขดลวดของมอเตอร์เป็นการต่อแบบสตาร์ และเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ต่อเฟสดังนี้

E = แรงดันแหล่งจ่ายอินพุทของสเตเตอร์ (แรงดันต่อเฟส)

R_1 = ความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

X_1 = รีแอกแตนซ์รั่วไหลที่ขดลวดสเตเตอร์

X_2 = รีแอกแตนซ์รั่วไหลที่ขดลวดโรเตอร์

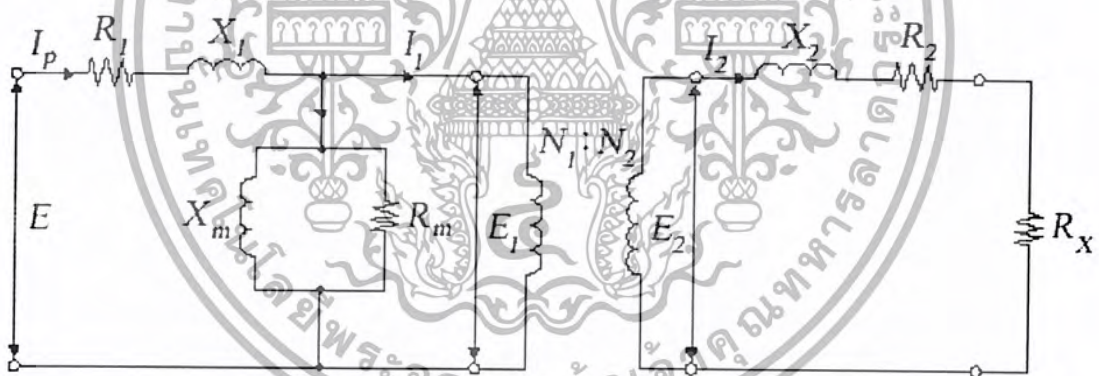
X_m = รีแอกแตนซ์ที่เกิดสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

R_2 = ความต้านทานที่ขดลวด โรเตอร์

R_x = ความต้านทานภายนอกที่ต่อระหว่างสลิปริงของโรเตอร์

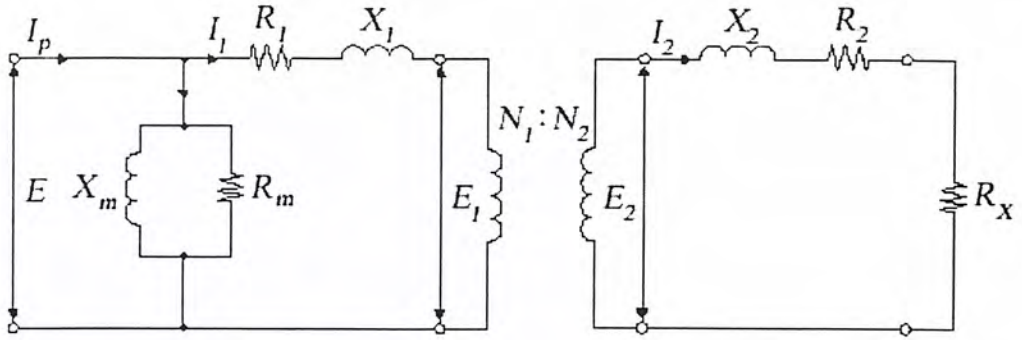
R_m = ความต้านทานที่เป็นผลให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก การสูญเสียจากความผิดและแรงลม

$a =$ อัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวด $\frac{N_2}{N_1}$



รูปที่ 2-3 สมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

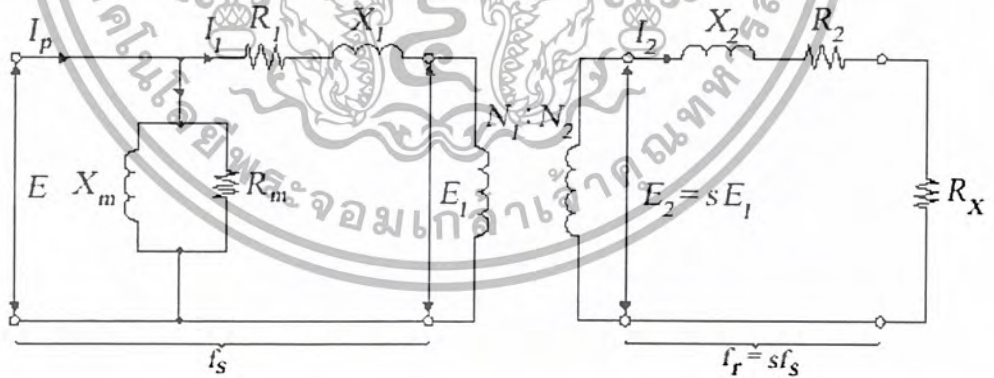
เนื่องจากส่วนขนาดของ R_m และ X_m ที่กระแส I_0 ไหลผ่านนั้น เป็นกระแสในส่วนที่ทำให้เกิดผลของการสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากไม่ว่ากระแสของมอเตอร์ (I_p) จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ดังนั้นถ้าย้ายส่วนขนาดที่กระแส I_0 ไหลผ่าน ไปไว้ที่ต้นทาง จะไม่ทำให้คุณสมบัติของวงจรสมมูลเปลี่ยนแปลงไป จึงเขียนวงจรสมมูลใหม่ได้ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ย้ายส่วน I_0 ไปที่ต้นทาง

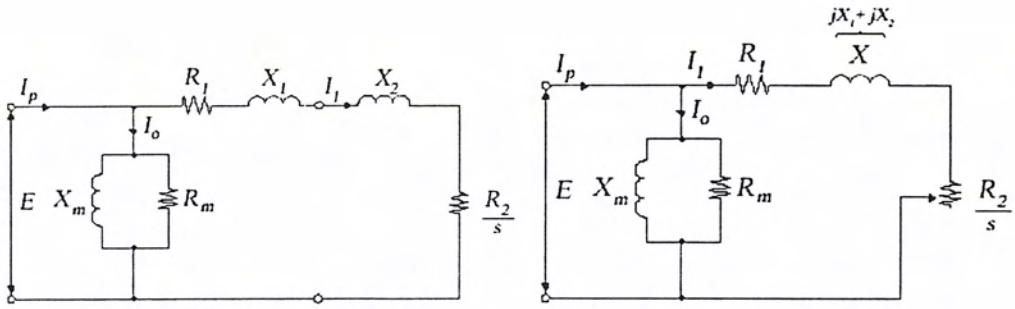
ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสหมุนที่ค่าสลิปใด ๆ นั้น หมายความว่าความเร็วของ โรเตอร์ คือ $n_r = (1-s)n_s$ ดังนั้น เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลใหม่ โดยให้พารามิเตอร์ในส่วนของ โรเตอร์คูณด้วยค่าสลิป และกำหนดความถี่ในส่วนของโรเตอร์เป็น sf วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำต่อเฟสดังรูปที่ 2-5

เพื่อความสะดวกในการคำนวณค่าต่างๆ ของวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำ จึงสามารถเขียนวงจรสมมูลที่มีค่าโดยประมาณของวงจรสมมูลในรูปที่ 2-5 ได้ดังรูปที่ 2-6(ก)และเมื่อรวมค่า รีแอกแตนซ์ X_1 และ X_2 เข้าด้วยกันดังสมการ $jX = jX_1 + jX_2$ จะได้วงจรสมมูลที่มีค่าโดยประมาณขั้นสุดท้ายดังรูปที่ 2-6 (ข) ซึ่งเป็นวงจรสมมูลที่โอนย้ายค่าพารามิเตอร์ในส่วนของวงจรโรเตอร์เข้ามาสู่วงจรสเตเตอร์



รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ค่าสลิปใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรสมมูลที่มีค่าโดยประมาณ

(จ) วงจรสมมูลที่มีค่าโดยประมาณขั้นสุดท้าย

รูปที่ 2-6 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์พันขดลวด ที่มีค่าโดยประมาณ

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังในรูปที่ 2-6 นั้น ถ้าเป็นกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีโรเตอร์แบบกรงกระรอกก็ใช้หลักการเดียวกัน แต่ค่าความต้านทานภายในวงจรโรเตอร์นั้นมีเพียงค่า R_2 เท่านั้น ถ้า R_x ไม่มี เนื่องจากโรเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถต่อค่าความต้านทานภายนอกเข้ากับวงจรโรเตอร์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

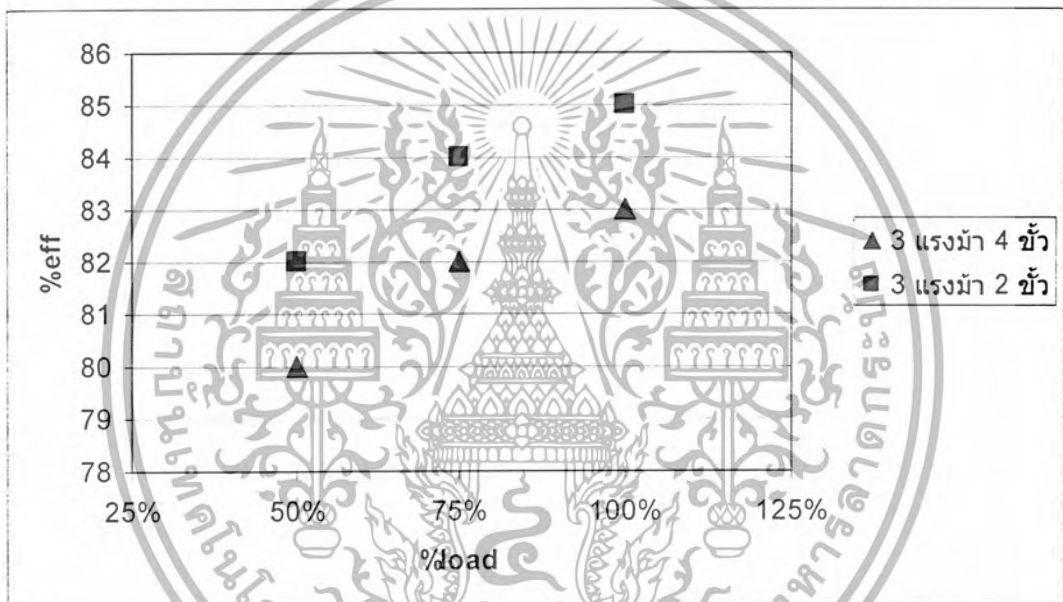
บทที่ 3

วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1 กระบวนการพื้นฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายที่เกี่ยวข้องกับการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และค่าความผิดพลาดที่เกี่ยวกับวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

3.1.1 Nameplate Method



รูปที่ 3-1 ประสิทธิภาพเทียบกับ load curves ของมอเตอร์ MITSUBISHI

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความแม่นยำน้อยในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง วิธีนี้เป็นการสมมติว่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์คงที่และเท่ากับค่าใน nameplate (ประสิทธิภาพตอน full load สามารถใช้งานได้กับสภาพ load ส่วนใหญ่) จากรูปที่ 3-1 เป็นการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เทียบกับ load curves โดยเปรียบเทียบมอเตอร์ที่มีจำนวนขั้วและกำลังต่าง ๆ กันจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ 4 และ 2 ขั้ว ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า มีความคลาดเคลื่อนในช่วงโหลด ที่แสดงในกราฟ ดังนั้น nameplate method จึงสามารถใช้ได้กับมอเตอร์บางตัวเท่านั้น เพราะจะเกิดความคลาดเคลื่อนสูงสำหรับมอเตอร์บางชนิด

สาเหตุที่มีความคลาดเคลื่อนอาจเนื่องมาจาก

- มอเตอร์ถูกพันใหม่ ทำให้ข้อมูลบน nameplate กับความเป็นจริงไม่ตรงกัน

ข้อมูลจาก nameplate ที่ได้มาจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้ข้อมูลจาก nameplate มีหลายมาตรฐานด้วยกัน ที่นิยมมี 3 แบบ คือ

1. NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ซึ่งใช้ IEEE standard 112-1996
2. JEC (Japanese Electrotechnical Committee)
3. IEC (International Electrotechnical Commission)

IEEE 112 Method B	JEC37	IEC34-2
90.0%	93.1%	92.7%
Per H.Jordan and A. Gattozzi, 1979		

ตารางที่ 3-1 ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลบน nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของมอเตอร์ขนาด 100 hp

สภาพที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ ความเร็วต่ำ, พันมอเตอร์ใหม่, ไม่ลดทอนค่าประสิทธิภาพตามมาตรฐาน EASA, มอเตอร์ที่ไม่ผ่านตาม มาตรฐาน IEEE standard 112-1996 และทำงานที่แหล่งจ่ายไม่เหมาะสมประสิทธิภาพต่ำกว่า 10% จาก nameplate

3.1.2 Slip Method

เป็นวิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น กับความเร็วที่พิกัดมอเตอร์ ใช้สมการพื้นฐานดังนี้

$$\text{slip}(\%) = \frac{\text{Sync Speed} - \text{Load Speed}}{\text{Sync Speed}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$WL(HP) \propto \frac{\text{slip}(WL)}{\text{slip}(FL)} \quad (3.2)$$

$$\% \text{Efficiency at } WL = \frac{WL(HP) \times 0.746 \times 100}{\text{Measured}(Kw)} \quad (3.3)$$

slip ในเรื่องนี้ หมายถึง ความแตกต่างของความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วของมอเตอร์ โดยที่ความเร็วของมอเตอร์ จะใช้ optical tachometer วัด ซึ่งมีสิ่งรบกวนต่ำ ทำให้ความคลาดเคลื่อนต่ำ วิธีนี้จะดีกว่า nameplate method โดยเฉพาะ load curves ไม่เรียบ คลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% จาก nameplate และที่ภาระโหลดน้อยจะให้ผลของการทำนายแม่นยำกว่าที่ภาระโหลดมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตของการใช้ slip method

วิธีนี้ยังไม่แม่นยำสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเพราะ

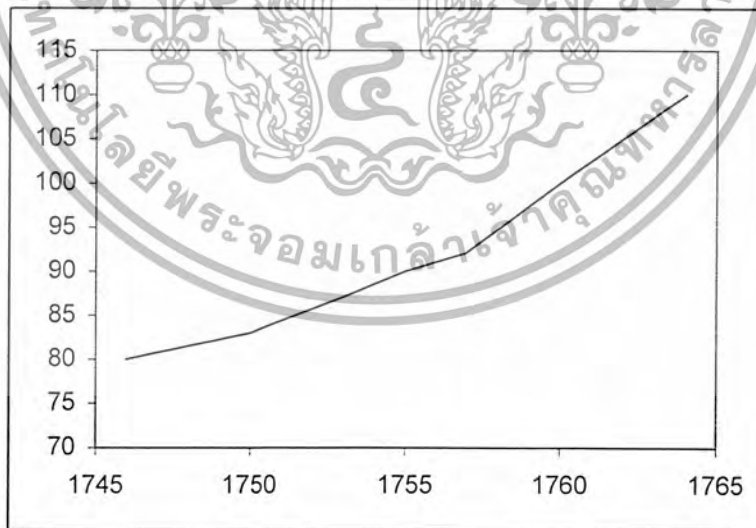
1. วิธีนี้ไม่ได้ทำการวัดกระแสจริงในการพิจารณาค่าการสูญเสียที่ภาวะ load test และ no load test และความเร็วของมอเตอร์(speed) กับ load นั้นไม่ได้เป็นเชิงเส้นกัน

2. จากการคำนวณ โดยใช้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm) ที่ full load จากข้อมูลของ nameplate พบว่าเป็นตัวเลขโดยเฉลี่ยจากการทดสอบมอเตอร์ของผู้ผลิต ซึ่งสามารถ คลาดเคลื่อนได้ 5 รอบต่อนาที

3. ในการคำนวณวิธีนี้ ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องอุณหภูมิ และแรงดันที่เปลี่ยนแปลงขณะใช้งานจริงซึ่งจำมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ขณะ full load

ตัวอย่าง มอเตอร์ขนาด 25 แรงม้า synchronous 1800 rpm, nameplate full-load speed 1755 rpm ความเร็วที่วัดได้ 1771 rpm วัดกำลังไฟฟ้าอินพุตได้ 13.3 kW จะได้ slip (WL) 1.61 % และ slip (FL) 2.50 % ได้ประสิทธิภาพ 90.4 % ค่าของ nameplate ควรจะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 ก็อยู่ในช่วง 1753-1757 ประสิทธิภาพที่ 1735 = 86.5 % และที่ 1757 = 94.6 % จะเห็นว่า speed ที่ full load มีความสำคัญต่อค่าประสิทธิภาพมอเตอร์

ตามมาตรฐาน NEMA คิดว่าที่ medium ac motor ค่า full-load speed จาก nameplate มีค่าคลาดเคลื่อน 20% ของความเร็ว synchronous speed ลบ ความเร็วตอน full load ตัวอย่างที่ผ่านมา 20 % ของ (1800-1755) หรือ ± 9 จะได้ 1746 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพที่ 1746 รอบต่อนาทีเท่ากับ 1764 รอบต่อนาที = 113 % ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ประสิทธิภาพเมื่อคิดจากค่าความแตกต่าง 20% ของความเร็วรอบจาก nameplate ของมอเตอร์ ตามมาตรฐาน NEMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 current method

วิธีนี้เป็นขบวนการในการหาค่ากำลัง output ของ มอเตอร์โดยเชื่อว่ากำลัง output จะแปรผันตรงกับค่าของ กระแสที่เปลี่ยนแปลงไปโดยสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Sharp Output Power} = \left(\frac{I}{I_{fl}} \right) \times \text{Rated Output Power} \quad (3.4)$$

I คือกระแสที่ทำกรวัดด้านขาเข้าของมอเตอร์ ณ load ใดๆ

I_{fl} คือกระแสที่ได้จากการอ่านที่ nameplate ของ มอเตอร์

Rated Output Power เป็นกำลัง Output ที่ full-load

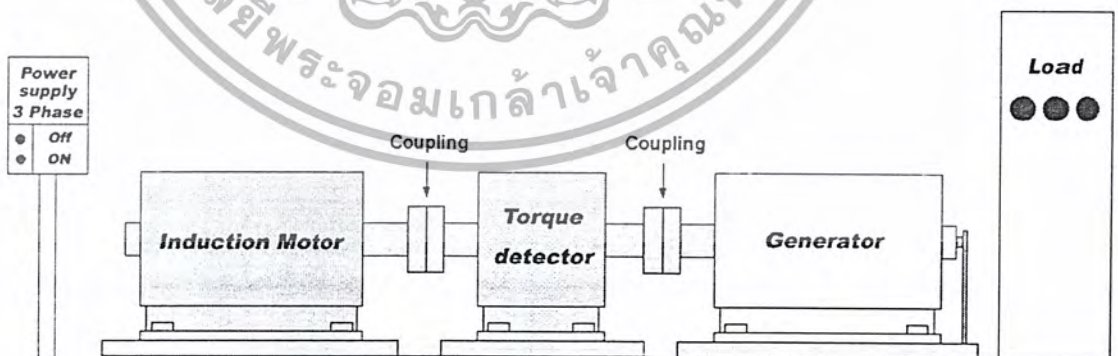
จะสังเกตเห็นได้ว่าสมการในรูปของกระแส เป็นสมการในรูปของสมการเส้นตรง แต่ในความเป็นจริงแล้ว สัดส่วนระหว่างกระแสกับโหลดจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมการ เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับ ความเป็นจริงมากที่สุด จึงได้สมการดังนี้

$$\text{Sharp Output Power} = \left(\frac{I - I_{nl}}{I_{fl} - I_{nl}} \right) \times \text{Rated Output Power} \quad (3.5)$$

I_{nl} คือกระแสของมอเตอร์ ขณะ no-load

3.1.4 shaft torque method

เป็นวิธีง่ายและมีความแม่นยำมากที่สุด นั่นก็คือ การวัดโดยตรงที่แกนเพลลา ซึ่งเราจะไม่ต้องนำค่าต่าง ๆ มาลบเพื่อที่จะไปหาค่าประสิทธิภาพวิธีนี้นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3-3 ตำแหน่งการต่อ Torque Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

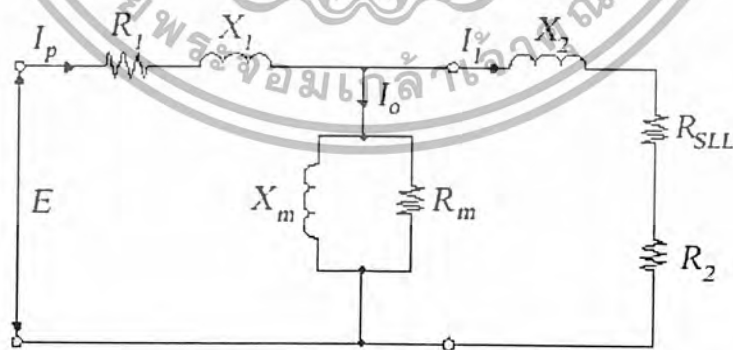
3.2 การหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะใช้งานจริง (Field Test)

Field Test นั้นคือการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในขณะที่อยู่บนพื้นที่ทำงาน โดยในการหาค่านี้เราจะไม่ทำการถอดมอเตอร์ออกหรือทำการวัดค่า output เลย โดยเรากล่าวถึงข้อมูลอินพุทเพียงชุดเดียวของมอเตอร์ (แรงดัน, กระแส, กำลังอินพุท และความเร็วรอบ) ของมอเตอร์ โดยการใช้ค่า algorithm เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์แทนการทำ no-load หรือ block-load test ค่าพารามิเตอร์ต่างๆนี้เราสามารถหาได้จากค่าประมาณค่าของประสิทธิภาพ ซึ่งจากการทดสอบมีค่าความแม่นยำสูงมาก และสามารถนำไปสร้างแบบจำลองได้ต่อไป

โดยมากแล้วมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้นจะเป็นอินดักชันมอเตอร์ และก็มีหลายเหตุผลเช่นกันที่เราจะต้องทำการทดสอบมอเตอร์ที่หน้างานเลย เช่นเมื่อคิดถึงเวลาที่จะต้องเสียไป, การเช็คประสิทธิภาพหลังการนำไปพื้นที่ใหม่ โดยเฉพาะเมื่อค่า output ของมอเตอร์นั้นยากที่จะทำการหาได้ โดยหลักแล้วเราจะทำการวัดค่า loss แล้วนำไปลบกับค่า input ก็จะได้ค่า output ออกมา

ในหน้านางานนั้น เราอาจจะใช้การประมาณค่าประสิทธิภาพจากข้อมูลของเนมเพลท และวัดค่าอินพุทต่างๆ แต่ก็มีปัญหาตามมาอีก นั่นคือ เนมเพลทนั้นแตกต่างกันเนื่องจากมาตรฐานของมอเตอร์ที่แตกต่างกัน, ความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าโดยวิธีนี้นั้นค่อนข้างสูง และ มอเตอร์อาจมีการพันใหม่

การกำหนดค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์นี้จะอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีวงจรสมมูล ค่าพารามิเตอร์นั้นจะได้มาจากการทดสอบที่จุดทำงาน และข้อมูลของเนมเพลทนำมาคิดร่วมกับค่า algorithm แทนการทดสอบ no-load และ block-rotor test ซึ่งไม่สามารถที่จะทำได้ถ้ามอเตอร์นั้นอยู่ระหว่างการทำงาน ข้อมูลนั้นจะทำการวัดเพียงชุดเดียว (OPT) หรือสองชุด (TPT) ซึ่งจะกล่าวถึงในสถานการณ์ที่ไม่สามารถทำ no-load test ได้ เทคนิคนี้เราจะทำการวัดค่า แรงดันอินพุท, กระแส, กำลังไฟฟ้า, ความต้านทานสเตเตอร์และความเร็วรอบที่ไหลแตกต่างกันซึ่งวงจรสมมูลทางไฟฟ้านั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 วงจรสมมูลที่ใช้ในโปรแกรม field test

แบบจำลองที่แสดงนี้ได้ทำการตัดค่า stray-load loss ออก ซึ่งการละเลยในส่วนนี้จะนำมาซึ่งความผิดพลาดในการประมาณค่า ซึ่งค่า stray-load loss นี้จะลดลงตามค่า output ที่ลดลงเป็นสัดส่วนกัน

ซึ่งเราควรที่จะนำมารวมในการคิดโดยแสดงในรูปของ R_{sll} เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{SLL} = \frac{m(1-s_f)R_2}{s_f} \quad (3.6)$$

ค่า m คือค่าแปรผัน มีค่าระหว่าง $0.002 < m < 0.018$ และ s_f คือค่า slip ที่ full-load จากวงจรสมมูลค่ากระแส I_1 จะเป็นตัวกำหนดกำลังอินพุตแสดงได้เป็น

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{total}} \quad , \quad P_{input} = 3V_1 I_1 (PF) \quad (3.7)$$

เมื่อค่า V_1 และ I_1 เป็นค่า rms

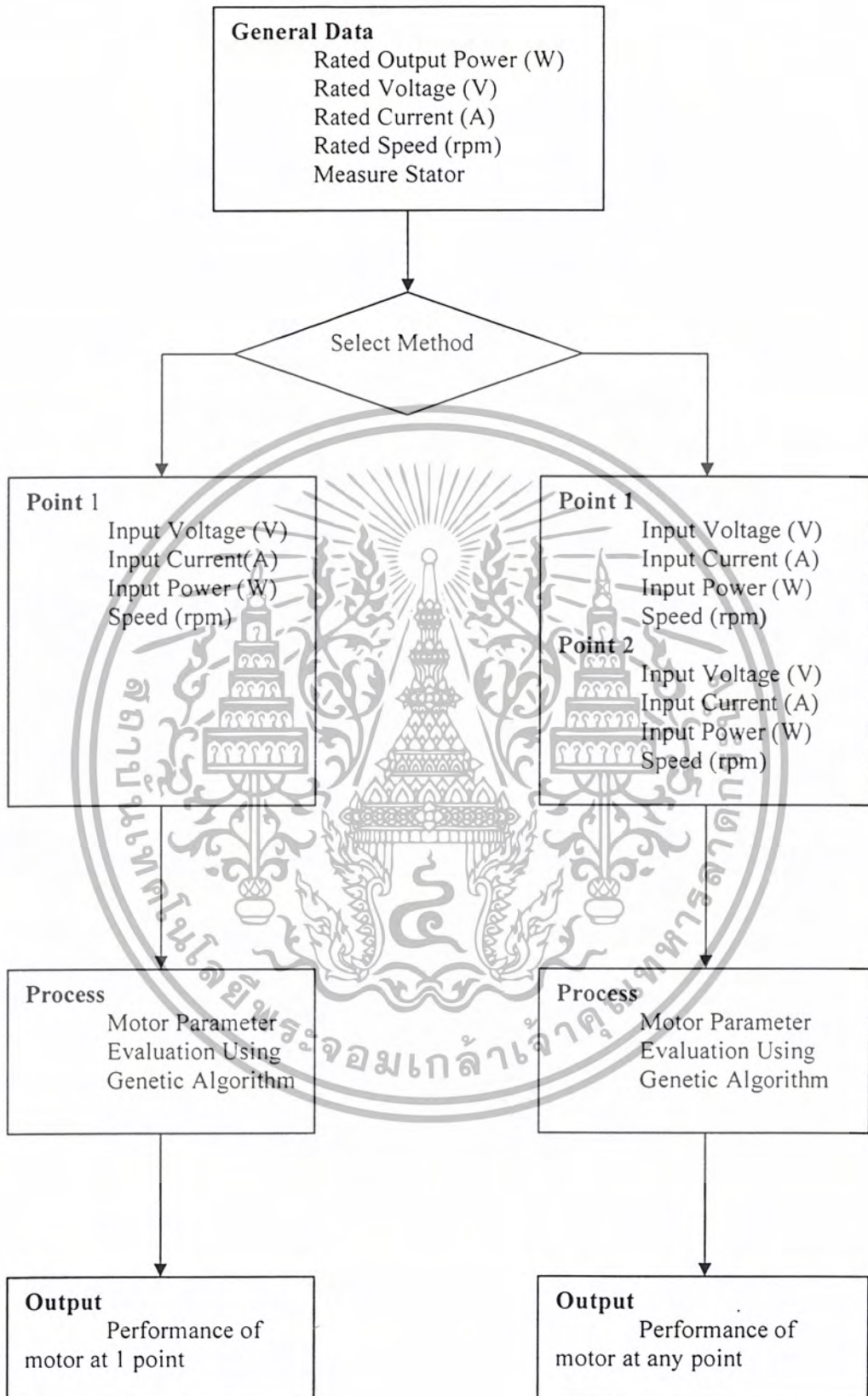
ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนี้ สามารถประมาณได้จากข้อมูลการทดสอบคิดร่วมกับค่า algorithm โดยค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดหาได้จากสมการ (3.6) และความแม่นยำนั้น หาได้จากสมการที่ (3.7)

$$F_{objection} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{I_{i,cal}}{I_{i,mea}} - 1 \right|^2 + \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{input,cal}^2}{P_{input,mea}^2} - 1 \right|^2 \quad (3.8)$$

$$Fitness = \frac{100}{100 + F_{objection}} \quad (3.9)$$

จากสมการ ที่ (3.8) ถ้าค่าที่ได้ออกมามีค่าน้อย (ในทางทฤษฎีเท่ากับ 0) นั้นหมายถึงความผิดพลาดที่น้อยมาก และจากสมการที่ (3.9) ถ้าผลที่ได้ออกมามีค่าเท่ากับ 1 นั้นหมายถึงเราสามารถประเมินประสิทธิภาพได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

เทคนิคในการประมาณค่าประสิทธิภาพแสดงไว้ในรูปที่ (3.5) อินพุตคือข้อมูลจากเนมเพลท และการวัดค่าความต้านทานสเตเตอร์จากจุดทำงาน วัดค่าเพียงชุดเดียว หรือสองชุด วัด แรงดันอินพุต , กระแสและความเร็วรอบ ไม่ต้องการการที่ no-load หรือที่ full-load เลือกว่าจะใช้ OPT หรือ TPT ซึ่งการเลือกนี้จะมีผลต่อการหาค่าประสิทธิภาพด้วย [9]



รูปที่ 3-5 ขั้นตอนการทำงานของ field test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดสอบพื้นฐานแบบต่างๆ

3.3.1 Method B การแยกค่าการสูญเสียต่างๆออกจากกัน

ขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 Method B

- 1 วัดความต้านทานขดลวดสเตเตอร์ (DC Resistance)
- 2 rated load temperature test บันทึกอุณหภูมิของขดลวดสเตเตอร์ ทุก ครั้งชั่วโมงสิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1°C ที่ rated load วัดค่าความต้านทานสุดท้ายและอุณหภูมิโดยรอบ
3. test under load ใช้ dynamo meter เป็นโหลด อุณหภูมิสูงสุดต้องแตกต่างกันไม่เกิน 10°C จากข้อมูลที่เกิดของมอเตอร์แบบเดียวกันตลอดการทดสอบ ทำการปรับโหลดตั้งแต่ 25-150%
4. no-load test ทำการรัน no-load บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิทุกครึ่งชั่วโมง สิ้นสุดเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3% และอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1°C
5. ทำการคำนวณโดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐานของ IEEE 112 (ภาคผนวก ก)

3.3.2 Method F วงจรสมมูล

ขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 Method F

1. no-load test ทำการรัน no-load บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิทุกครึ่งชั่วโมง สิ้นสุดเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3% และอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1°C
2. Impedance test (lock rotor test) ถ้าเป็นแบบขดตัวโรเตอร์ ต้องทำการ short circuit ก่อนแล้วทำการล๊อคโรเตอร์ ค่อยๆจ่ายไฟเข้าและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนได้กระแสลัด ขอบให้โรเตอร์ หมุนช้ามากๆเพิ่มหาตำแหน่งที่เป็นค่าเฉลี่ยกระแสสูงสุด และกระแสต่ำสุด ล๊อคให้โรเตอร์หยุดอยู่ที่ตำแหน่งค่าเฉลี่ย ทำการพล็อตกราฟ กระแสกับแรงดัน หากค่า total reactance และ rotor resistance จากกราฟ หา ค่า rotor resistance (R_2), total leakage reactance (X_1+X_2)
3. ทำการคำนวณโดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐานของ IEEE 112 (ภาคผนวก ข)

3.4 ผลการทดสอบ

3.4.1 ผลการทดสอบตาม Method B

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบ และผลการทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (load test) แบบ โหลดไฟฟ้า และหาค่าของประสิทธิภาพออกมา

ในการทดสอบนี้จะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขนาด 3 แรงม้า ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลบน name-plate ดังนี้

ขนาด	4 pole	
HERTZ	50 Hz	
VOLT	220	380(V)
AMP	8.7	5.0(A)
RPM	1420	
INS.CLASS	F	
AMB.TEMP	40°C	
220 V. (Δ)	380 V.(Y)	

3.4.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

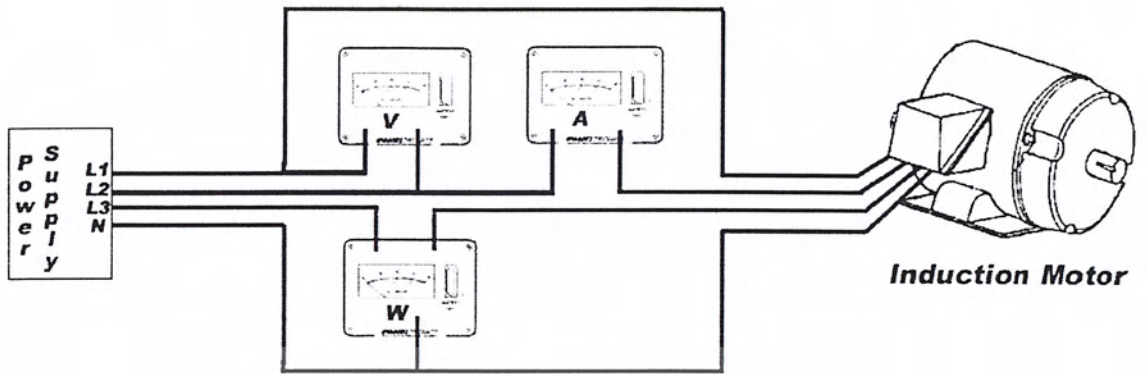
1 หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส	1	เครื่อง
2 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 3 แรงม้า	1	เครื่อง
3 แท่นทดสอบมอเตอร์	1	แท่น
4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1	เครื่อง
5 AC variac 1-phase	1	เครื่อง
6 ชุด Rectifier	1	ชุด
7 แผงหลอดไฟ	1	แผง
8 Fluke Meter (V,A,W)	1	เครื่อง
9 Tacho Meter	1	เครื่อง
10 DC Volt Meter	1	เครื่อง
11 DC Amp Meter	1	เครื่อง
12 DC Watt Meter	1	เครื่อง
13 มิลลิโอห์มมิเตอร์	1	เครื่อง
14 เทอร์โมคัปเปิ้ล	1	เครื่อง
15 สายไฟต่อวงจร	20	เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

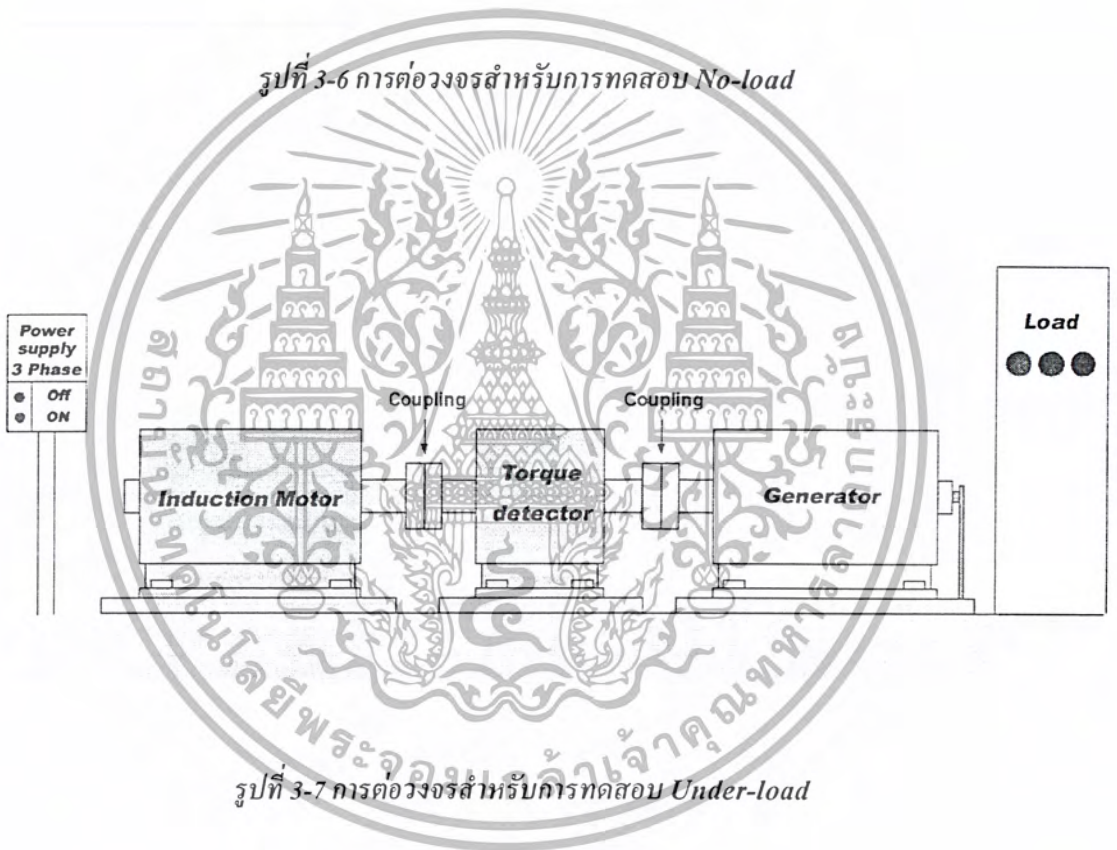
3.4.1.2 วิธีการทดสอบ

ทำการวัดค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

1. ทำการต่อมอเตอร์ดังรูปที่ 3-6
2. ทำการเดินมอเตอร์แบบ No-load ที่แรงดันพิกัด 380 V วัดค่ากระแส, กำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ เริ่มทำการจับเวลา บันทึกค่าต่าง ๆ ทุกครึ่งชั่วโมง สิ้นสุดขั้นตอนนี้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 1°C
3. หลังจากที่ปลดแหล่งจ่ายออกแล้ว ทำการวัดค่าความต้านทานที่อุณหภูมิสุดท้ายภายในเวลา 30 วินาที นับจากเวลาปลดแหล่งจ่ายออก
4. ทำการเดินมอเตอร์แบบ No-load โดยเริ่มที่แรงดันพิกัด 380 V วัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสและกำลังไฟฟ้า ทำการลดแรงดันลงมาทีละ 10% บันทึกค่าต่างๆ สิ้นสุดที่แรงดัน 10% ของแรงดันพิกัด (ถ้าที่แรงดัน 10% มอเตอร์ไม่มีการหมุน และกระแสพุ่งขึ้นสูงสามารถหยุดที่ 20% แทนได้)
5. ทำการต่อมอเตอร์ดังรูปที่ 3-7
6. ทำการเดินมอเตอร์ ที่แรงดันพิกัด ทำการวัดกระแส, แรงบิดเอาต์พุต, ความเร็วรอบ, กำลังไฟฟ้า และ อุณหภูมิ ค่อย ๆ เพิ่ม โหลดขึ้น (เปิดสวิตช์โหลดไฟฟ้า) จนค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับกระแสพิกัด เริ่มทำการจับเวลา บันทึกค่าต่างๆ ทุกครึ่งชั่วโมง สิ้นสุดขั้นตอนนี้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 1°C
7. หลังจากที่ปลดแหล่งจ่ายออกแล้ว ทำการวัดค่าความต้านทานที่อุณหภูมิสุดท้ายภายในเวลา 30 วินาที นับจากเวลาปลดแหล่งจ่ายออก
8. ทำการเดินมอเตอร์ ที่แรงดันพิกัด ทำการวัดกระแส, แรงบิดเอาต์พุต, ความเร็วรอบ และกำลังไฟฟ้า ค่อย ๆ เพิ่ม โหลดขึ้น (เปิดสวิตช์โหลดไฟฟ้า) จนค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับกระแสพิกัด ทำการบันทึกค่า ทำการปรับลดภาระทางไฟฟ้าลง (สวิตช์โหลดไฟ) โดยปรับลงทีละ 20% (หรือใกล้เคียง) แต่ค่าสุดท้ายคือค่าที่ภาระทางไฟฟ้า 10%
9. นำค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองนี้ ไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพออกมา โดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐานของ IEEE 112 10.2 Form B
10. ในการทดสอบนี้ให้ทำ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง



รูปที่ 3-6 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ No-load



รูปที่ 3-7 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ Under-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 ผลการทดสอบ

ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงในตารางดังนี้ (ภาคผนวก ก)

-การทดสอบ Method B No-load test วันที่ 21/10/47

Time	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	ความเร็ว รอบ (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
12.45	44.4	380	381	380	219	220	219	2.31	2.33	2.35	100	80	80	50	-	1497	-
13.15	40.7	375	376	375	217	217	217	2.22	2.24	2.25	100	80	80	50	-	1497	-
13.45	39.8	376	377	376	217	217	217	2.18	2.24	2.26	90	80	80	50	-	1497	-

ตารางที่ 3-2 การทดสอบ Method B No-load test

-การทดสอบ No-load ลดแรงดัน วันที่ 21/10/47

%V	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	ความเร็ว รอบ (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
100	37.5	381	382	380	219	221	221	2.33	2.36	2.37	90	80	80	50	-	1497	-
80	36.4	309	309	308	178	179	178	1.46	1.48	1.51	54	40	47	50	-	1497	-
60	34	227	229	227	131	131.6	131.5	0.99	0.98	1	29	22	27	50	-	1497	-
40	34	153	155	154	88	89.3	89.7	0.62	0.65	0.65	15	15	15	50	-	1497	-
20	33	80	80.7	79.5	45	46.6	46.6	0.33	0.37	0.37	7	7	7	50	-	1497	-

ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบ No-load ลดแรงดัน

-การทดสอบ Rated load temperature test วันที่ 21/10/47

Time	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	ความเร็ว รอบ (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
10.3	25.3	378	380	379	214	213	213	4.97	4.92	4.92	1000	940	920	50	1.56	1416	1895.2
11	89.4	370	369	368	213	213	212	4.8	4.7	4.7	940	910	900	50	1.48	1402	1800
11.3	93.8	370	369	368	213	213	213	4.76	4.66	4.6	920	880	880	50	1.47	1399	1800
12	94.2	371	371	368	213	214	214	4.68	4.6	4.6	920	890	890	50	1.48	1398	1700

ตารางที่ 3-4 ผลการทดสอบ Rated load temperature test

ความต้านทานขดลวดหลังการทดลอง

$$R-Y = 7.68\Omega$$

$$Y-B = 7.64\Omega$$

$$R-B = 7.54\Omega$$

- การทดสอบ Under load test วันที่ 21/10/47

%load	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	ความเร็ว รอบ (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
102.2	90.3	371	371	371	215	214	214	5	4.96	4.96	990	960	920	50	15.386	1396	1896
91.81	90.1	371	372	373	215	215	214	4.51	4.42	4.41	860	830	820	50	13.818	1408	1710
74.88	84.7	378	377	376	216	217	217	3.79	3.7	3.73	700	660	650	50	11.27	1432	1396
54.68	75.4	381	381	380	219	219	219	3.11	3.02	3.07	520	500	490	50	8.23	1457	1025
33.22	61.7	379	378	377	220	221	218	2.55	2.46	2.47	340	320	300	50	5	1477	566

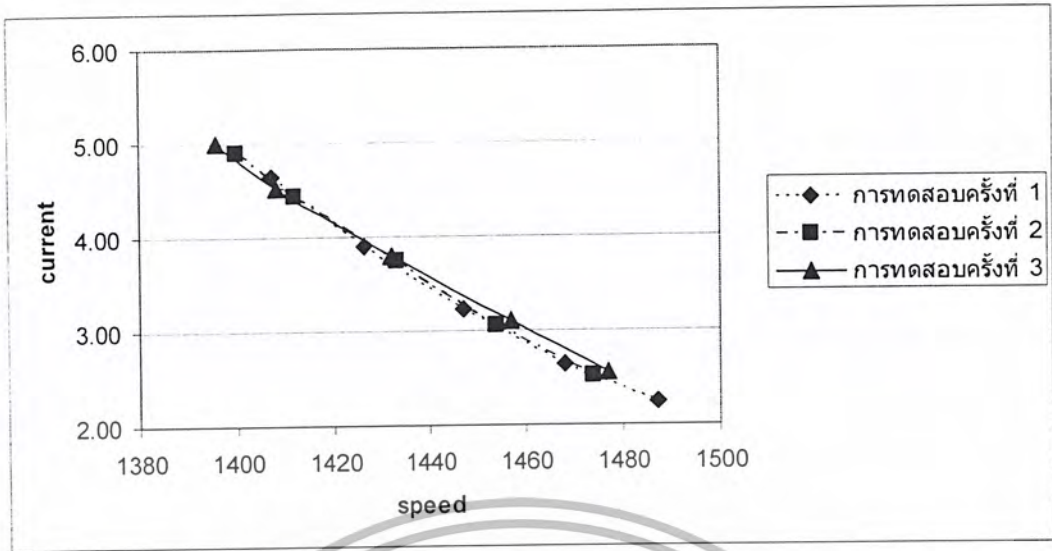
ตารางที่ 3-5 ผลการทดสอบ Under load test

3.4.1.4 ผลการคำนวณ (ภาคผนวก ง)

ผลการทดสอบมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า

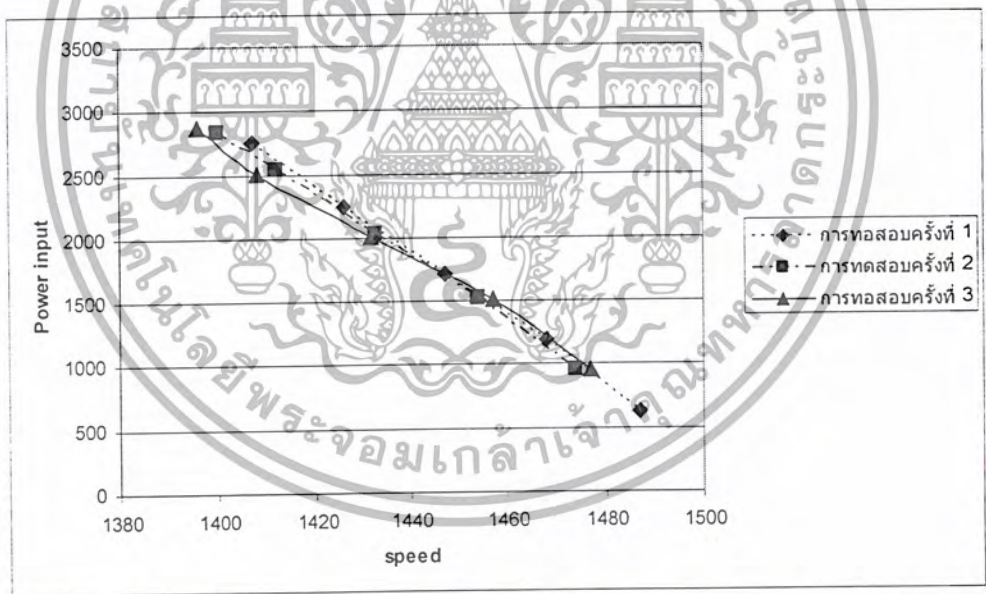
Item	Description(Motoring)(Generating)	102.20%	91.81%	74.88%	54.68%	33.22%	หมายเหตุ
6	Ambient Temperature , in C	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
7	Stator Windage Temperature, in C	90.30	90.10	84.70	75.40	61.70	
8	Frequency , in Hz	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	
9	Synchronous Speed , in r/min	1500	1500	1500	1500	1500	
10	Slip Speed , in r/min	104.00	92.00	68.00	43.00	23.00	
11	Speed , in r/min	1396.00	1408.00	1432.00	1457.00	1477.00	
12	Line-to-Line Voltage , in V	371.00	371.00	378.00	381.00	379.00	
13	Line Current , in A	5.00	4.51	3.79	3.11	2.55	
14	Stator Power , in W	2870.00	2510.00	2010.00	1510.00	960.00	
15	Core Loss , in W	194.42	194.42	194.42	194.42	194.42	
16	Stator I ² R Loss , in W , at (t _r) C	358.59	291.57	202.48	132.37	85.06	
17	Power Across Air Gap , in W	2316.99	2024.01	1613.10	1183.21	680.52	
18	Rotor I ² R Loss , in W	160.64	124.14	73.13	33.92	10.43	
19	Friction and Windage Loss , in W	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	
20	Total Conventional Loss , in W	715.24	611.71	471.61	362.29	291.49	
21	Torque *	15.39	13.82	11.27	8.23	5.00	
22	Dynamometer Correction *	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	Correct Torque *	15.39	13.82	11.27	8.23	5.00	
24	Shaft Power , in W	2249.33	2037.46	1690.09	1255.75	773.38	
25	Apparent Total Loss , in W	620.67	472.54	319.91	254.25	186.62	
26	Stray-Load Loss , in W	-94.57	-139.18	-151.70	-108.03	-104.87	
27	Stator I ² R Loss , in W at (t _r) C	279.75	227.61	160.73	108.23	72.76	
28	Corrected Power Across AirGap,inW	2578.03	2248.14	1811.93	1361.63	817.49	
29	Corrected Slip , in r/min	111.91	99.06	74.45	48.49	27.14	
30	Corrected Speed , in r/min	1388.09	1400.94	1425.55	1451.51	1472.86	
31	Rotor I ² R Loss , in W at (t _r) C	192.34	148.46	89.94	44.02	14.79	
32	Corrected Stray-Load Loss , in W	-121.44	-120.39	-118.92	-117.56	-116.57	
33	Corrected Total Loss , in W	546.64	451.68	327.75	230.69	166.98	
34	Corrected Shaft Power , in W	2323.36	2058.32	1682.25	1279.31	793.02	
35	Shaft Power , in hp	3.12	2.76	2.26	1.72	1.06	
36	Efficiency , in %	80.95	82.00	83.69	84.72	82.61	
37	Power Factor , in %	89.33	86.61	81.01	73.58	57.35	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ตารางที่ 3-6 ผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบ** มอเตอร์ให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-8 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบกับกระแส ที่ได้จากการทดสอบ

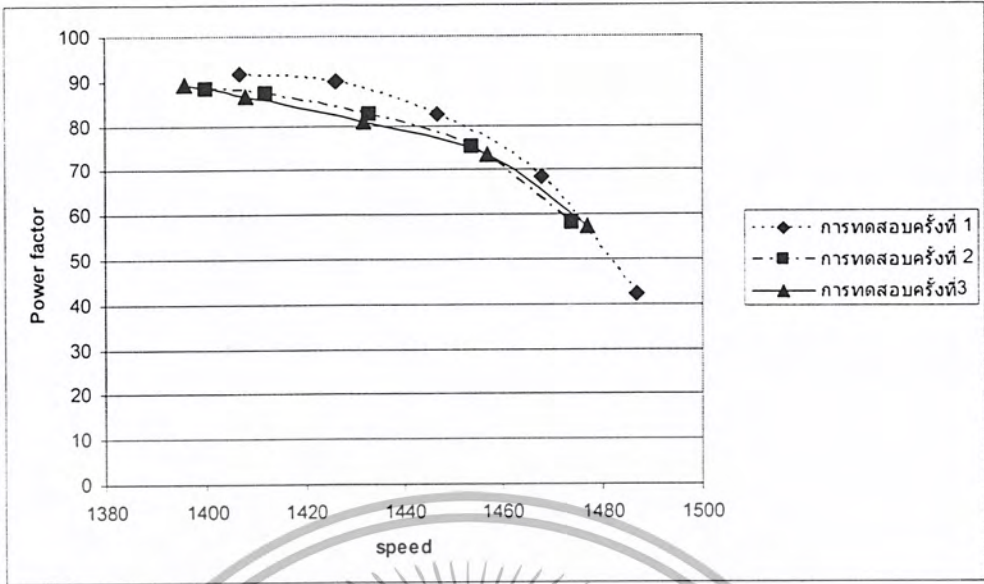
จากรูป 3-8 แสดงให้เห็นถึง ค่ากระแสที่ลดลงเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น (การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบหมายถึงการลดลงของโหลดที่มอเตอร์ต้องทำการขับ) ซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎี



รูปที่ 3-9 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับกำลังไฟฟ้าอินพุต ที่ได้จากการทดสอบ

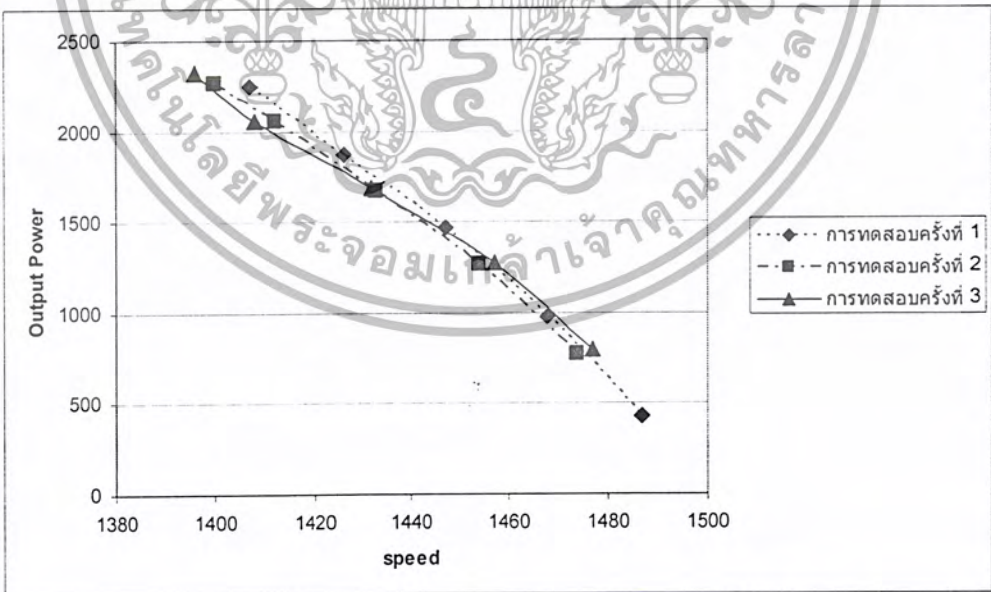
จากรูปที่ 3-9 แสดงให้เห็นถึง ค่ากำลังอินพุตที่ลดลงเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น (การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบ หมายถึงการลดลงของโหลดที่มอเตอร์ต้องทำการขับ) ซึ่งสอดคล้องกับทางทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-10 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับ power factor ที่ได้จากการทดสอบ

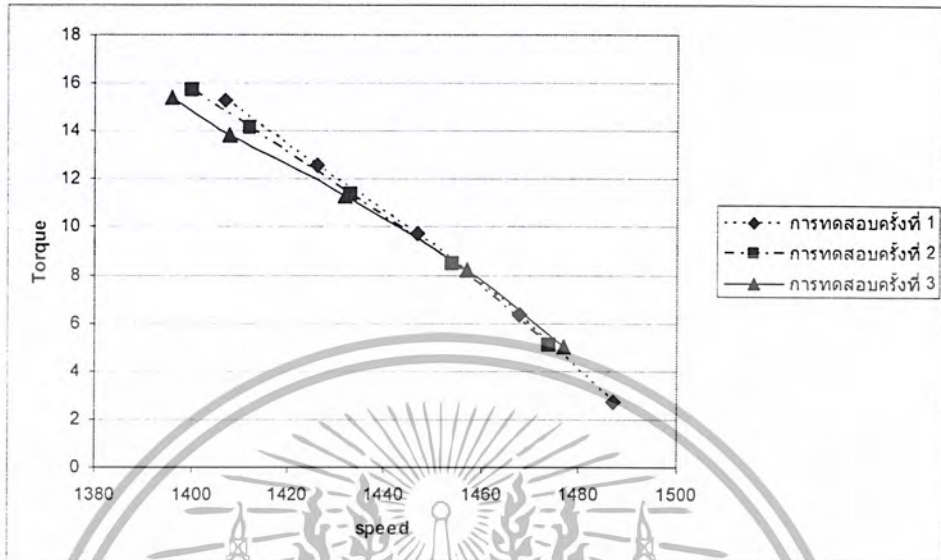
จากรูป 3-10 แสดงให้เห็นถึง ค่าตัวประกอบกำลังที่ลดลงเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเร็วรอบมากขึ้นค่าสลิปจะน้อยลงทำให้ $\frac{R_2}{s}$ มีค่ามากขึ้น สัดส่วนของ R ใน Z จะมากขึ้น



รูปที่ 3-11 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับกำลังเอาต์พุท ที่ได้จากการทดสอบ

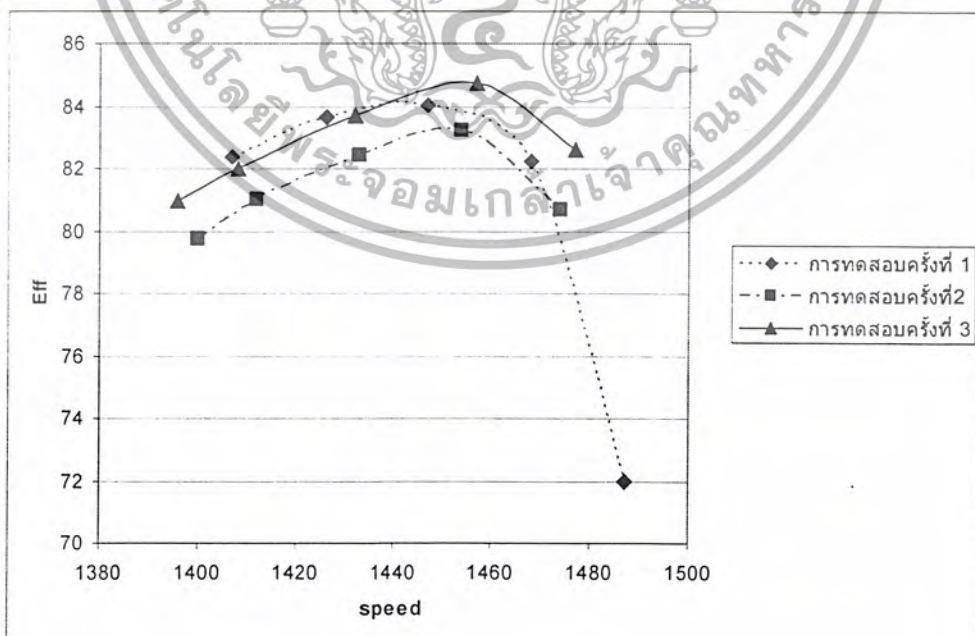
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-11 แสดงให้เห็นถึง ค่ากำลังเอาต์พุทที่ลดลงเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น (การเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบ หมายถึงการลดลงของโหลดที่มอเตอร์ต้องทำการขับ) ซึ่งสอดคล้องกับทาง ทฤษฎี¹



รูปที่ 3-12 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับแรงบิด ที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 3-12 แสดงให้เห็นถึง ค่าแรงบิดที่ลดลงเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่อมอเตอร์ลดความเร็วรอบลง นั้นหมายถึง โหลดจะลดลง ค่ากระแสจะลดลงด้วยจึงส่งผลให้แรงบิดลดลง



รูปที่ 3-13 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับ eff ที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-13 จะเห็นว่า ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้งนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และค่าใกล้เคียงกัน

3.4.2 ผลการทดสอบโดยการใช้โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งาน

จริง (Field Test)

ในการทดสอบนี้เราจะใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า โดยมีข้อมูลดังนี้

ชุดข้อมูล	%load	Vloltage (V)			Current (A)			Input Power (W)			ความเร็วรอบ (rpm)
		V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c	
ชุดที่ 1	102.2										
ชุดที่ 2	91.81	215	214	214	5	4.96	4.96	990	960	920	1396
ชุดที่ 3	74.88	215	215	214	4.51	4.42	4.41	860	830	820	1408
ชุดที่ 4	54.68	216	217	217	3.79	3.7	3.73	700	660	650	1432

ตารางที่ 3-7 ข้อมูลที่ป้อนให้กับโปรแกรม

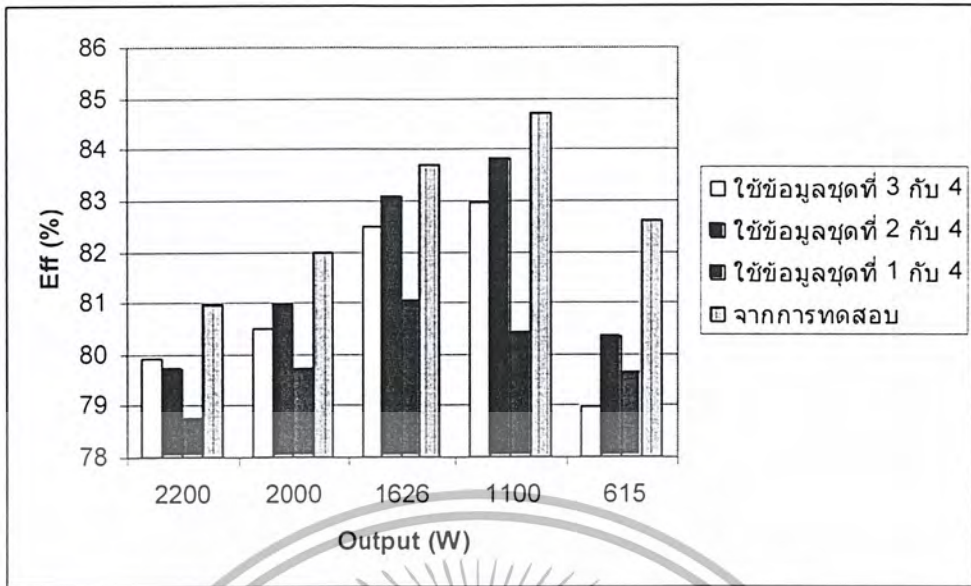
ข้อมูลที่เราระบุป้อนนั้น เราต้องการข้อมูลเพียง 1 ชุด สำหรับ OPT และข้อมูล 2 ชุด สำหรับ TPT โดยจะเลือกข้อมูลที่ %load ค่าใดก็ได้ (ไม่จำเป็นต้องทราบ %load ในการทดสอบ)

ผลการทดสอบ ในการทดสอบจะใช้การทดสอบแบบ TPT เลือกข้อมูล 2 ชุดจากที่มีทั้งหมด 4 ชุด

Output Power	ประสิทธิภาพ			จากการทดสอบ
	ใช้ข้อมูลชุดที่ 3 กับ 4	ใช้ข้อมูลชุดที่ 2 กับ 4	ใช้ข้อมูลชุดที่ 1 กับ 4	
2200	79.93	79.73	78.74	80.95
2000	80.49	80.97	79.70	82.00
1626	82.47	83.08	81.06	83.69
1100	82.95	83.83	80.43	84.72
615	78.96	80.35	79.64	82.61

ตารางที่ 3-8 ผลการทดสอบโปรแกรม Field Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-14 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการใช้โปรแกรม
กับค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

จากรูปที่ 3-14 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมนั้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการค่าผิดพลาดถึงจะยังมีอยู่แต่ก็ยังคงอยู่ในระดับที่รับได้ แต่ข้อดีของการใช้โปรแกรมในการทดสอบคือใช้เวลาในการทดสอบน้อยเมื่อเทียบกับการทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ และยังไม่จำเป็นที่จะต้องทำการถอดมอเตอร์ออกจากจุดทำงานอีกด้วย ค่าใช้จ่ายในการทดสอบก็น้อยกว่า เมื่อเทียบกับการที่ต้องถอดมอเตอร์ออก ค่าขนส่ง และค่าสูญเสียอันเนื่องมาจากการหยุดสายการผลิต

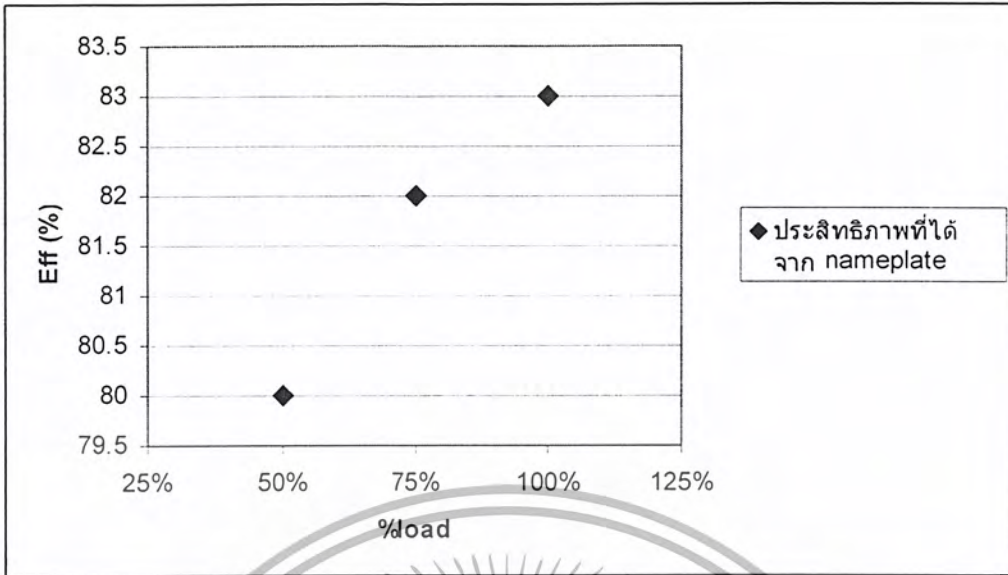
3.4.3 ผลการทดสอบโดยวิธีการหาค่าประสิทธิภาพโดยวิธีพื้นฐาน

3.4.3.1 ผลการทดสอบโดย nameplate method

%load	50	75	100
eff ที่ได้จาก Catalog (%)	80	82	83

ตารางที่ 3-9 ประสิทธิภาพที่ได้จาก แคทล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-15 ประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการ nameplate

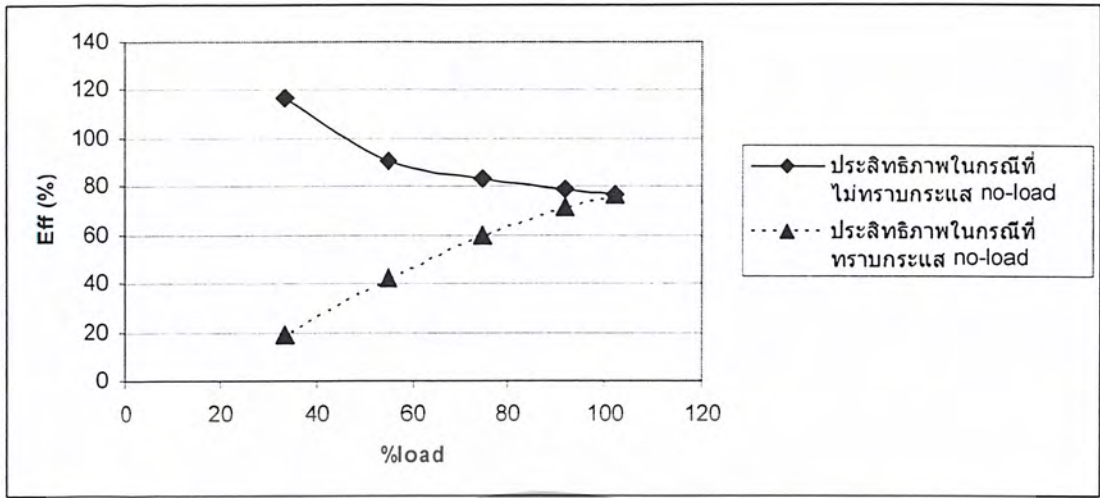
รูปที่ 3-15 แสดงค่าประสิทธิภาพที่ได้จากแคตตาล็อกของ MITSUBISHI ขนาด 3 แรงม้า 4 ขั้ว [10]

3.4.3.2 ผลการทดสอบโดย Current Method

%load	I_{noload}	I (A)	P_{in} (W)	P_o ไม่ทราบ noload (W)	eff ไม่ทราบ noload (%)	P_o ทราบ noload (W)	eff ทราบ noload (%)
102.2		5	2870	2200	76.65505	2200	76.65505
91.81		4.51	2510	1984.4	79.05976	1796.255	71.56393
74.88	2.33	3.79	2010	1667.6	82.96517	1202.996	59.85056
54.68		3.11	1510	1368.4	90.62252	642.6966	42.56269
33.22		2.55	960	1122	116.875	181.2734	18.88265

ตารางที่ 3-10 ผลการทดสอบโดย Current Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-16 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการหาโดย Current Method

จากรูปที่ 3-16 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการหาค่าประสิทธิภาพโดย current method ทั้งแบบทราบและไม่ทราบกระแสเสขณะไม่มีโหลด ของมอเตอร์ MITSUBISHI ขนาด 3 แรงม้า 4 ขั้ว

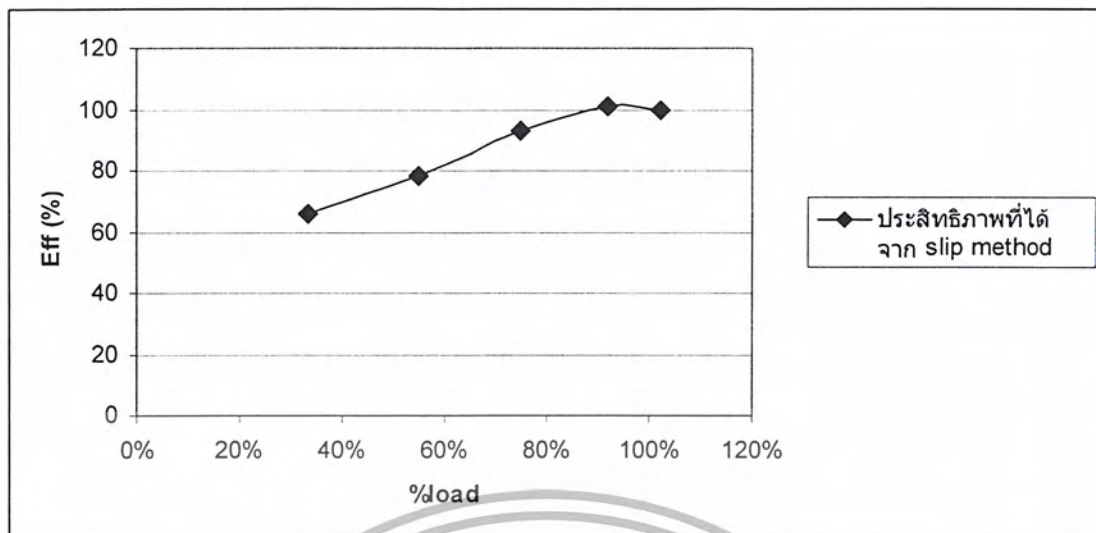
3.4.3.3 ผลการทดสอบโดย Slip Method

Full load slip = 0.053

%load	Slip	P_{in} (W)	P_o (W)	eff (%)
102.2	0.069333	2870	2860	99.65157
91.81	0.061333	2510	2530	100.7968
74.88	0.045333	2010	1870	93.03483
54.68	0.028667	1510	1182.5	78.31126
33.22	0.015333	960	632.5	65.88542

ตารางที่ 3-11 ผลการทดสอบโดย slip method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

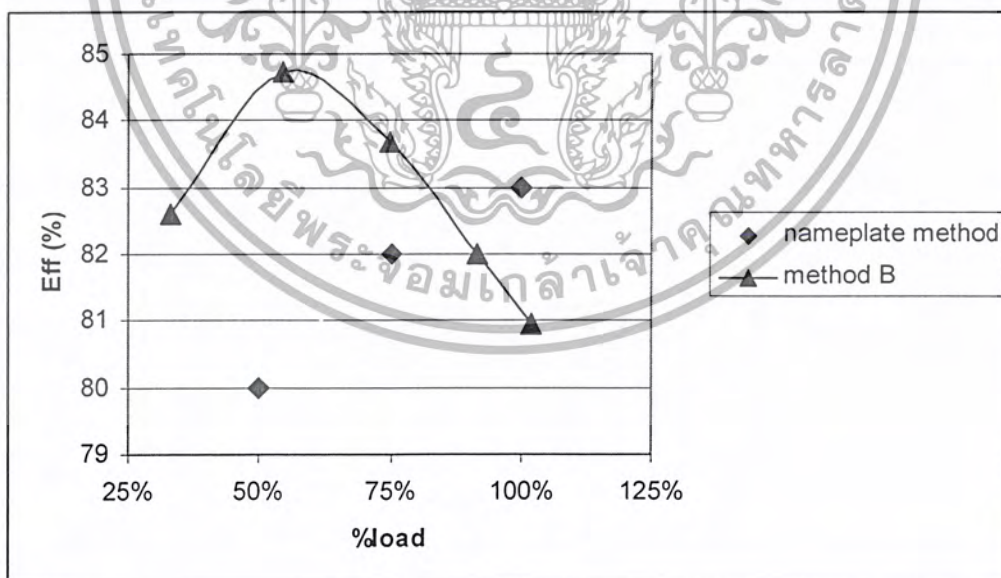


รูปที่ 3-17 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จาก Slip Method

จากรูปที่ 3-17 แสดงค่าประสิทธิภาพที่ได้จาก slip method ของมอเตอร์ MITSUBISHI ขนาด 3 แรงม้า 4 ขั้ว

3.4.4 การเปรียบเทียบ

3.4.4.1 Nameplate Method กับ Method B



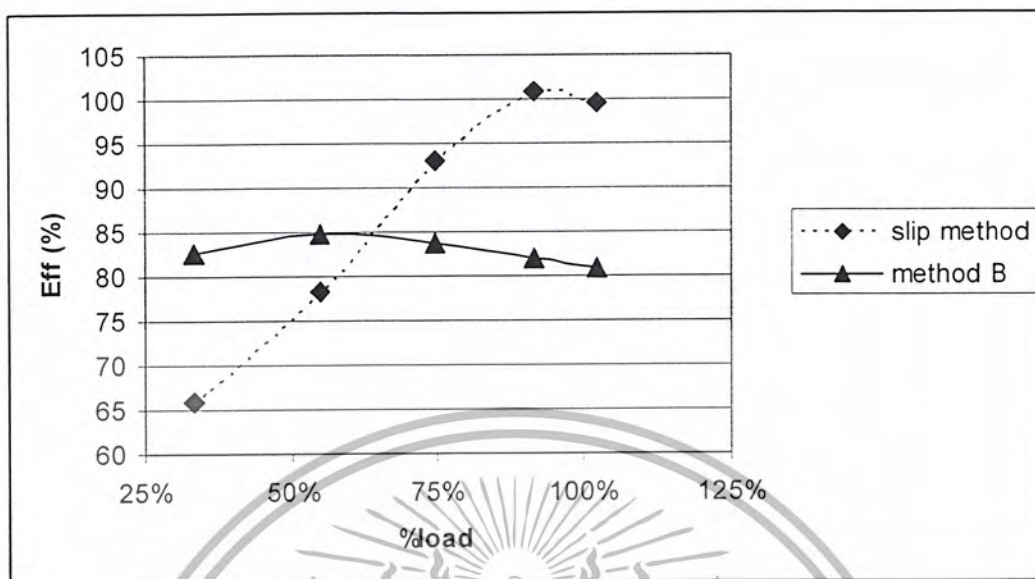
รูปที่ 3-18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี nameplate กับ Method B

จะเห็นได้ว่า ถ้าเราใช้การหาค่าประสิทธิภาพแบบ nameplate เราจะไม่สามารถหาค่า

ประสิทธิภาพที่โหลดใดๆได้ แต่เราอาจใช้การประมาณค่ามาทดแทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

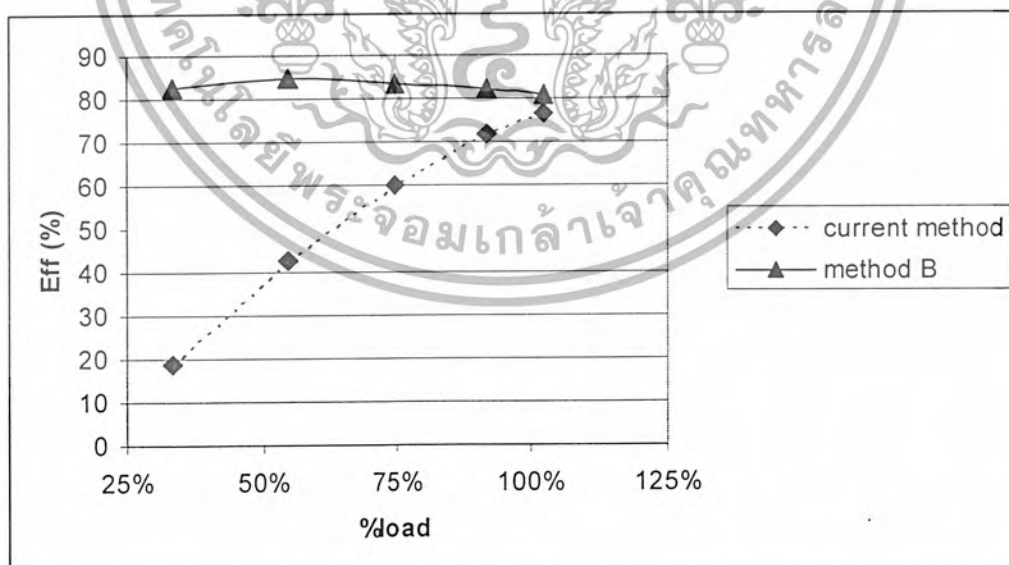
3.4.4.2 Slip Method กับ Method B



รูปที่ 3-19 เปรียบเทียบ Slip Method กับ Method B

วิธีนี้จะเห็นว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมาก และเกิดกรณีที่ประสิทธิภาพสูงเกิน 100% ซึ่งไม่สามารถเป็นไปได้ วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมนักที่จะนำไปใช้งานจริง

3.4.4.3 Current Method กับ Method B

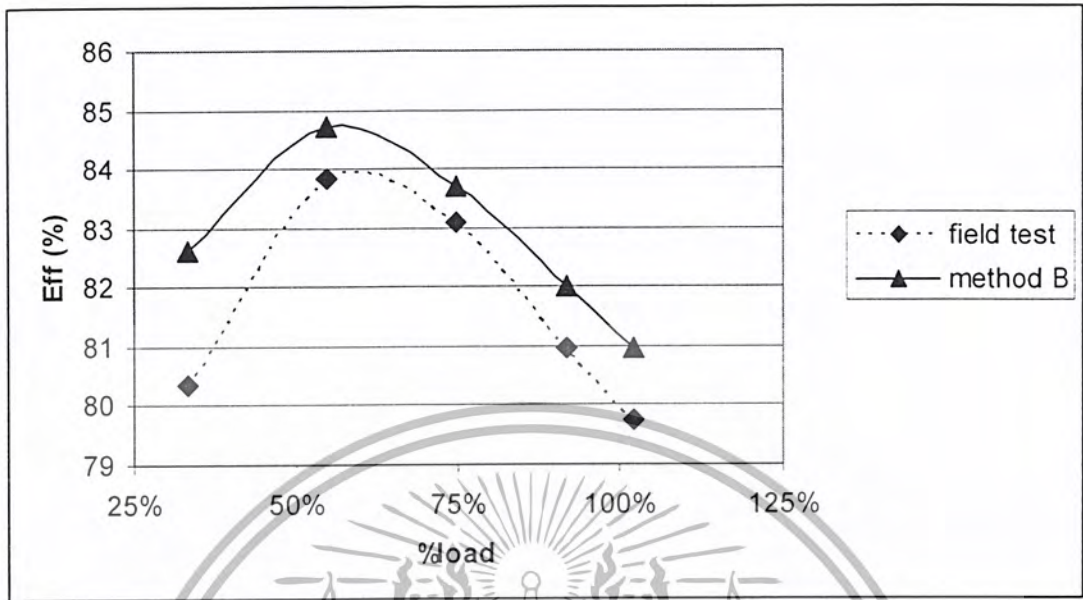


รูปที่ 3-20 เปรียบเทียบ Current Method กับ Method B

วิธีนี้จะเห็นว่าค่าที่ได้ นั้น มีความคลาดเคลื่อนที่ ยาน % load ต่ำ นั้น สูงมาก วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ภายนอกมหาวิทยาลัยฯ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้มหาวิทยาลัยฯ รับผิดชอบด้านค่าเสียหายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

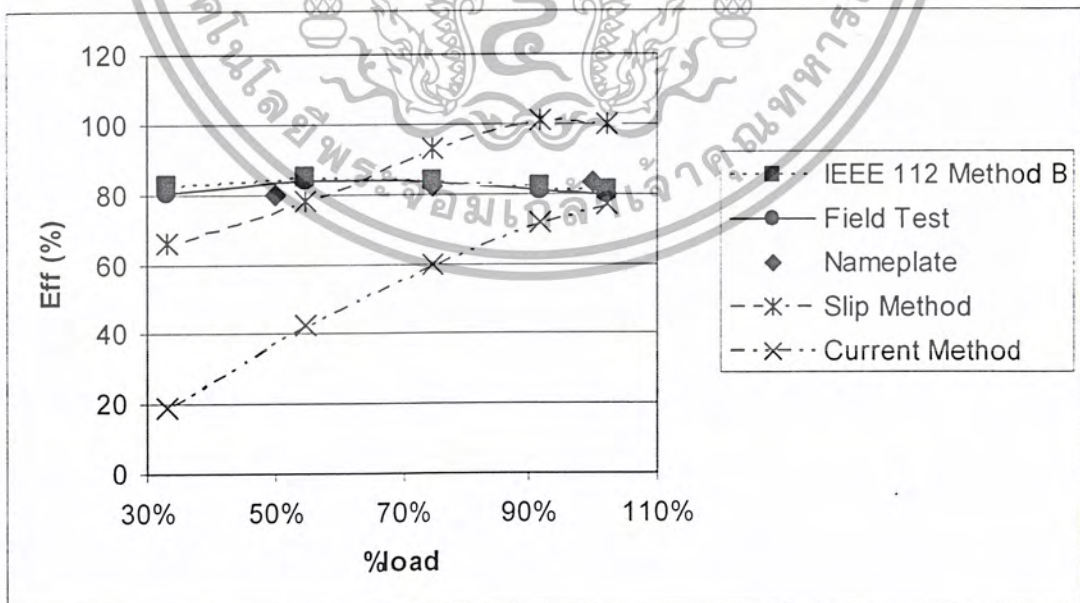
3.4.4.4 Field Test กับ Method B



รูปที่ 3-21 เปรียบเทียบ Field Test กับ Method B

จากรูป 3-23 แสดงให้เห็นว่า วิธีการนี้มีความแม่นยำสูง ค่าความผิดพลาดโดยรวมแล้วไม่เกิน 2% จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริง แต่มีความยุ่งยากในด้านการใช้โปรแกรมอยู่

3.4.4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทุกวิธีการ



รูปที่ 3-22 เปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรวมแล้วจะเห็นว่า nameplate method , field test และ method B นั้น ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากทั้ง 3 วิธีการนี้มีความใกล้เคียงกันมาก แต่ค่าประสิทธิภาพที่ได้จาก current method และ slip method นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มค่อนข้างสูง ทั้ง 2 วิธีนี้จึงไม่ค่อยเหมาะสมนักที่จะนำไปใช้งาน แต่สำหรับ nameplate method นั้น ถึงค่าที่ได้จะเกาะกลุ่มกับค่าโดยรวม แต่ก็ทราบเพียงโหลดเฉพาะจุดเท่านั้น ไม่ได้ทราบค่าโหลดตลอดทั้งย่าน จึงไม่เหมาะสมนักที่จะนำไปใช้ ที่เหมาะสมจะนำไปใช้จึงเหลือแค่การทดสอบค่าประสิทธิภาพตามมาตรฐาน IEEE112 method B กับการใช้โปรแกรม field test เท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยใช้ข้อมูลแคทาล็อก

การใช้งานโปรแกรม แคทาล็อก ในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน 1) การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล 2) การหาประสิทธิภาพ โดยในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนั้น จะใช้วิธีการของจินตคติอัลกอริทึม โดยต้องมีการควบคุมค่าช่วงของความเป็นไปได้ ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ออกมามากที่สุด สำหรับขั้นตอนที่ 2) ในการหาค่าต่างๆทางไฟฟ้า นั้น จะใช้วงจรสมมูลแบบสมบูรณในการหาค่า

4.1 การหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลแคทาล็อก

การหาค่าประสิทธิภาพของโดยใช้ข้อมูลแคทาล็อก นั้น แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล 2 การหาประสิทธิภาพ

4.1.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล

การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนั้น จะใช้วิธีการของ จินตคติอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ โดยพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนั้นจะมีค่าต่างๆดังแสดงในรูป 4-1



รูปที่ 4-1 รูปวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

จากรูปที่ 4-1 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานของโรเตอร์ (R_2) จะมีค่า สลิป (s) หารอยู่ นั้นหมายถึง ค่าความต้านทานของโรเตอร์นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับค่าของสลิปในลักษณะแปรผกผัน และค่าความต้านทานโรเตอร์ $\left(\frac{R_2}{s}\right)$ ตัวนี้เอง ที่เป็นตัวแสดงถึงค่ากำลังเอาต์พุต แต่เนื่องจาก ค่าสลิปนั้น

จะแปรผกผันกับค่าความเร็วรอบของโรเตอร์ (n_r) ตามสมการ $s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$ นั่นคือ ถ้าความเร็วรอบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสลิปจะน้อยความเร็วรอบน้อยสลิปจะมากนั้นหมายถึง ค่าความเร็วรอบนี้จะส่งผลไปยังค่ากำลังเอาต์พุทของมอเตอร์ด้วย ซึ่งก็เป็นจริงตามพฤติกรรมทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

4.1.1.1 ค่า input ที่โปรแกรมต้องการ ค่าอินพุทที่โปรแกรมต้องการนั้น สามารถหาได้จากแคลคูลัส โดยทั่วไปแล้วแคลคูลัส ของมอเตอร์จะให้ค่า พิกัดมอเตอร์(KW), ประสิทธิภาพ(eff), ค่ากระแส(I), ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์(p.f.) ที่ค่าโหลด 3 ค่า คือ 50%, 75% และ 100% และค่าความเร็วรอบที่โหลดพิกัด ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จะสามารถนำไปหาค่าแฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่โปรแกรมต้องการได้

ค่าที่โปรแกรมต้องการได้แก่

1. ค่าการสูญเสียรวม (loss) ที่โหลด 50%, 75% และ 100%
2. ค่ากำลังเอาต์พุท (P_{out}) ที่โหลด 50%, 75% และ 100%
3. ค่ากระแสอินพุท (I_m) ที่โหลด 50%, 75% และ 100%
4. ค่าประสิทธิภาพ (eff) ที่โหลด 50%, 75% และ 100%
5. ค่ากำลังอินพุท (P_m) ที่โหลด 50%, 75% และ 100%
6. ค่าช่วงการทำงานของสลิป (s) ที่โหลด 50%, 75% และ 100%

4.1.1.2 ค่าตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดค่าความถูกต้องและช่วงการค้นหา ค่าตัวแปรนี้เป็นค่าที่จำเป็นมาก เพราะเป็นค่าที่ส่งผลต่อความถูกต้องของคำตอบ การกำหนดค่าต่างๆนี้ต้องอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ เพราะถ้ากำหนดผิดพลาดจากความเป็นจริง คำตอบที่ได้ออกมาก็จะผิดพลาด แต่ถ้าใช้วิธีการกำหนดช่วงให้กว้าง แทนเพื่อที่จะได้ครอบคลุม จะทำให้คำตอบที่ได้ขาดความละเอียด ซึ่งเราอาจแก้ไขได้โดยการเพิ่มรอบการคำนวณแทน แต่ว่าต้องใช้เวลาที่มากขึ้นในการให้โปรแกรมหาคำตอบที่เหมาะสมออกมาให้ ดังนั้นการกำหนดค่าช่วงนี้ ควรกำหนดให้เหมาะสม

ค่าช่วงการค้นหาค่าที่โปรแกรมต้องการมีดังนี้

R_1 = ความต้านทานของสเตเตอร์

X_1 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของสเตเตอร์

X_2 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของโรเตอร์

X_m = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำกระตุ้นแม่เหล็ก

R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์

R_c = ค่าความต้านทานกระตุ้นแม่เหล็ก

4.1.2 การหาค่าประสิทธิภาพ

การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสนี้ จะอยู่บนพื้นฐานของวงจรสมมูล โดยค่าพารามิเตอร์ของวงจรนั้น เราได้มาจากการรันโปรแกรมในส่วนขอโปรแกรมแคลคูลัสในส่วนนี้ จะเป็นการใช้โปรแกรมของวงจรสมมูลเพื่อหาประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 input ที่โปรแกรมต้องการ

R_1 = ความต้านทานของสเตเตอร์

X_1 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของสเตเตอร์

X_2 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของโรเตอร์

X_m = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำกระตุ้นแม่เหล็ก

R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์

R_c = ค่าความต้านทานกระตุ้นแม่เหล็ก

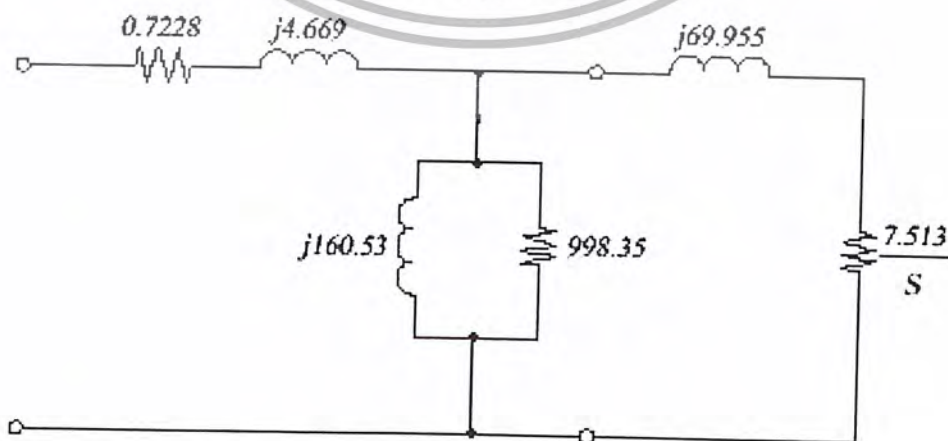
โดยค่าต่างๆเหล่านี้เราสามารถหาได้จากการรันโปรแกรมในส่วนของโปรแกรมแคทาล็อกโดยในส่วนนี้เราจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าของความเร็วรอบ แล้วให้โปรแกรมเป็นตัวคำนวณตามหลักของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ คำนวณทาง polar, rectangular, series impedance, parallel impedance โดยเราจะให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นค่าคงที่ที่มุม 0 องศา ให้ความเร็วรอบเป็นตัวเปลี่ยนแปลง นั่นคือ ค่า R_2 เป็นตัวเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่า R_2 นี้เป็นตัวแปรที่จะแสดงผลของกำลังเอาต์พุตซึ่งจะเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากผลของค่าสลิป

4.1.2.2 ความละเอียดของการคำนวณ

ความละเอียดของการคำนวณของโปรแกรมนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วรอบที่เราทำการเปลี่ยนแปลง โดยเราสามารถที่จะพิจารณาให้เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบได้ตามที่เราต้องการ เช่นเปลี่ยนแปลงที่ละ 2 รอบ 5 รอบ หรือ 10 รอบ ยิ่งเราเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบละเอียดมากเพียงไร การคำนวณก็จะละเอียดมากขึ้น ค่า %load ก็จะไปเปลี่ยนแปลงละเอียดขึ้น กราฟที่เรานำมา plot ก็จะไปละเอียดและถูกต้องมากขึ้นตามไปด้วย [3]

4.2 ผลการทดสอบการ

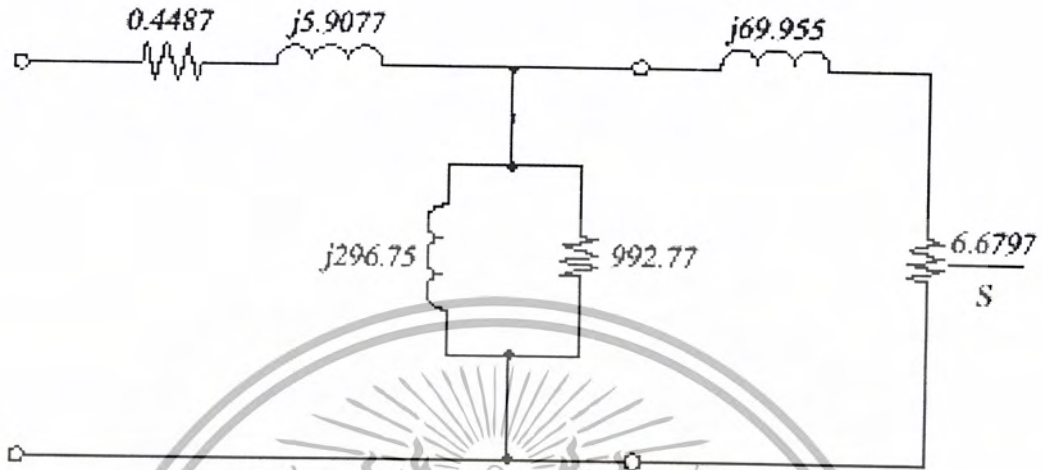
4.2.1 ผลของการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล



รูปที่ 4-2 วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200W MITSUBISHI

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท มิตซูบิชิ อิเล็คทริค จำกัด ขอสงวนสิทธิ์ในเงื่อนไขการใช้งาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-2 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์ MITSUBISHI ขนาด 2200 W ที่ได้จากโปรแกรมแคทาล็อก



รูปที่ 4-3 วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200W TECO

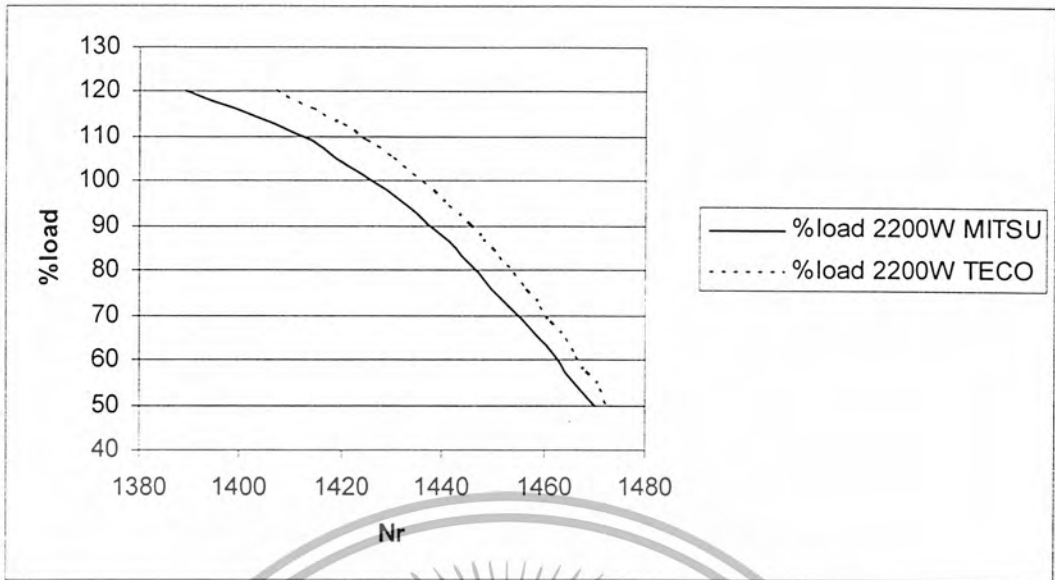
รูปที่ 4-3 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์ TECO ขนาด 2200 W ที่ได้จากโปรแกรมแคทาล็อก โดยจะเห็นว่า พารามิเตอร์ของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน จึงนี้เราจะทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรมเข้ามาทำงาน ซึ่งผลการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-1

4.2.2 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการรันโปรแกรมแคทาล็อก

มอเตอร์ของ MITSUBISHI ขนาด 2200W				มอเตอร์ของ TECO ขนาด 2200W			
%load	P _{out}	Eff (%)	ความเร็วรอบของมอเตอร์	%load	P _{out}	Eff (%)	ความเร็วรอบของมอเตอร์
120	2640	79.327	1389	120	2640	77.43	1407
116.31	2558.82	79.58	1399	116.31	2558.82	78.31	1414
112.63	2477.86	79.69	1407	112.63	2477.86	78.82	1420
108.94	2396.68	80.21	1414	108.94	2396.68	79.48	1425
105.26	2315.72	80.82	1419	105.26	2315.72	79.92	1430
101.58	2234.76	81.43	1424	101.58	2234.76	80.12	1434
97.89	2153.58	81.01	1429	97.89	2153.58	80.34	1438
94.21	2072.62	80.97	1433	94.21	2072.62	80.57	1441
90.52	1991.44	80.63	1437	90.52	1991.44	80.6	1445
86.84	1910.48	80.47	1441	86.84	1910.48	80.62	1448

ตารางที่ 4-1 ผลการรันโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก โดยทำการทดสอบที่มอเตอร์ขนาด 2200W ของมอเตอร์ MITSUBISHI และ TECO

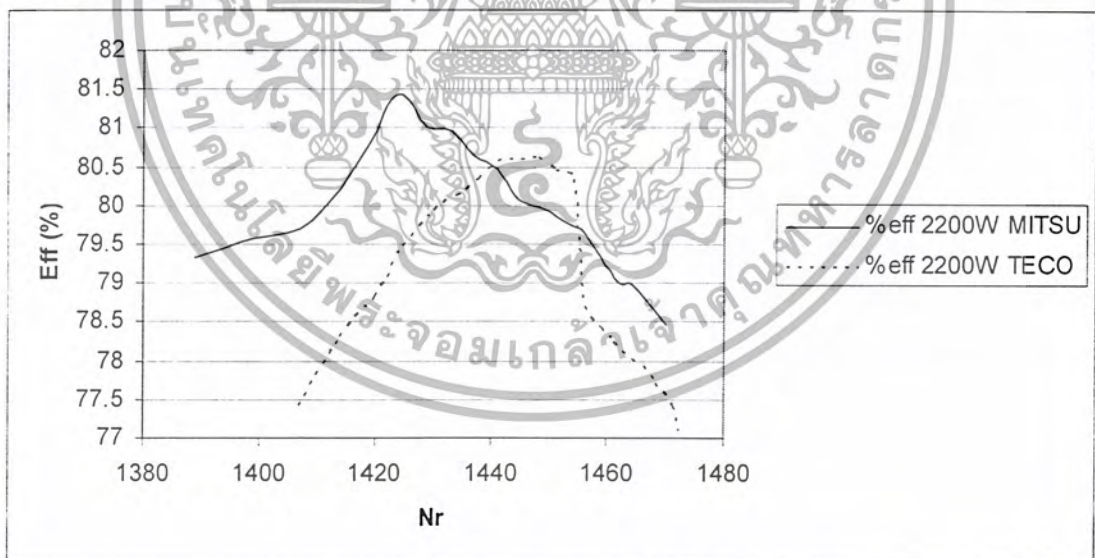
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ขนาด

2200W

จากรูปที่ 4-4 จะเห็นว่าที่โหลดค่าเดียวกัน มอเตอร์ของ TECO นั้น จะมีความเร็วรอบที่สูงกว่ามอเตอร์ของ MITSUBISHI



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ขนาด 2200W

จากรูปที่ 4-5 จะเห็นว่ามอเตอร์ของ MITSUBISHI นั้น โดยรวมแล้วจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ของ TECO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

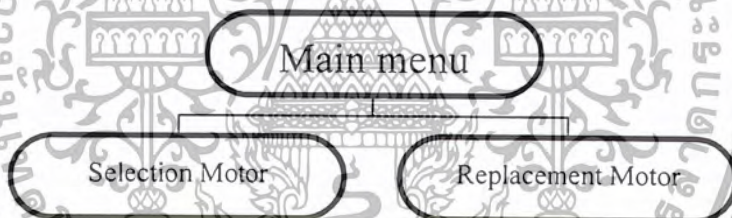
บทที่ 5

โปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ สำหรับงานอุตสาหกรรม

ในการทราบค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของมอเตอร์นั้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือการที่ทราบค่าประสิทธิภาพขณะทำงานอยู่ เมื่อทราบแล้วก็จะสามารถนำไปทำการตรวจสอบได้ว่ามอเตอร์ตัวนั้น ๆ ถึงเวลาที่จะทำการเปลี่ยนไปใช้งานตัวใหม่ และยังสามารถช่วยในการตัดสินใจที่จะเลือกซื้อมอเตอร์ตัวใหม่ได้อีกด้วย

ประโยชน์ในส่วนนี้ ได้ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม เพื่อให้ง่ายต่อการนำประสิทธิภาพของมอเตอร์มาใช้งาน โดยภายในโปรแกรมนี้ จะมีให้เลือก ทั้งในกรณีที่จะหาซื้อมอเตอร์ที่เหมาะสม มาเปลี่ยนกับมอเตอร์ที่ทำงานอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งจะทำได้ง่ายในการตัดสินใจ

5.1 หลักการทำงานของโปรแกรม

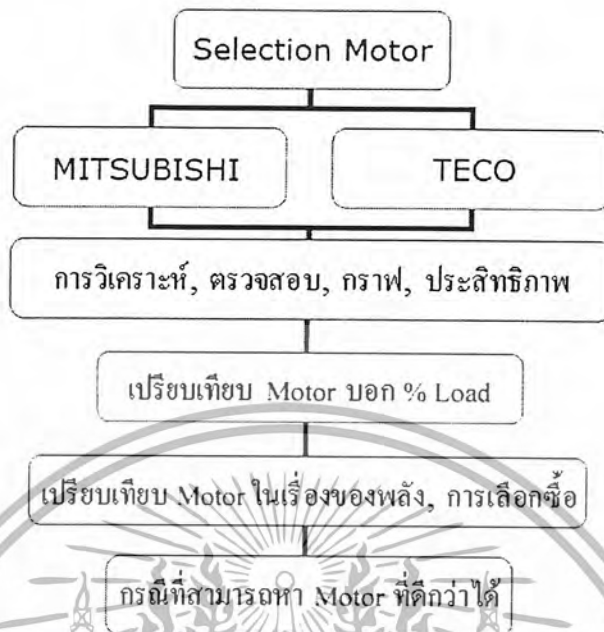


รูปที่ 5-1 การทำงานของโปรแกรม

ในกรณีการเลือกซื้อมอเตอร์ ให้เหมาะสมกับความต้องการนั้น สามารถบอกถึง เฟอร์เซ็นต์โหลด และประสิทธิภาพที่ โหลดนั้นๆ ของมอเตอร์ได้ และยังสามารถบอกถึงปริมาณการใช้งานไฟฟ้าต่อปีและค่าไฟฟ้าต่อปี โดยข้อมูลเหล่านั้นจะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจที่จะเลือกซื้อมอเตอร์ได้ง่ายขึ้น

ส่วนในกรณีการหา มอเตอร์มา เปลี่ยนกับมอเตอร์ที่มีอยู่ก่อนแล้วนั้น จะสามารถบอกได้ถึง ประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวใหม่และตัวปัจจุบัน และเมื่อทำการเปลี่ยนแล้วจะสามารถบอกถึงการประหยัดเงินค่าไฟฟ้าต่อปี และระยะเวลาที่สามารถคืนต้นทุน ซึ่งจะทำได้ง่ายต่อการตัดสินใจ ที่จะเปลี่ยนมอเตอร์ [11], [12]

5.1.1 หลักการทำงานของ Selection Motor



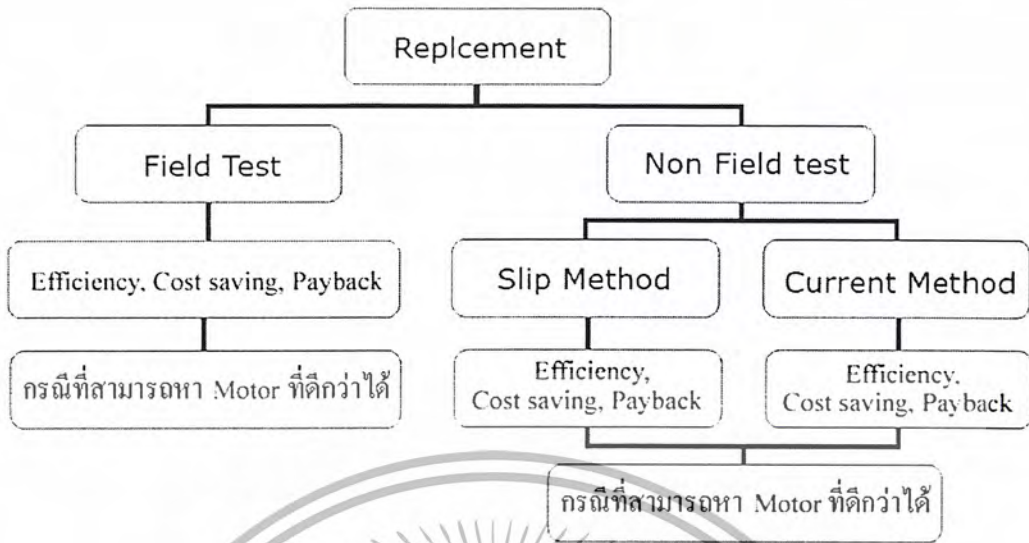
รูปที่ 5-2 หลักการทำงานของโปรแกรม

ในส่วนนี้จะจำเป็นต้องระบุความต้องการนั้นคือ กำลังของโหลดมีหน่วยเป็น วัตต์ ความเร็วรอบ และบริษัทผู้ผลิตของมอเตอร์เมื่อระบุเรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะทำการค้นหามอเตอร์ที่สามารถจะขับ โหลดตัวนั้นได้และความเร็วมาให้เลือกเมื่อเลือกมอเตอร์ตัวที่ต้องการแล้ว จะสามารถแสดงกราฟ ประสิทธิภาพจากแคทาล็อก [10],[13] และจากการทำนาย และยังบอกถึง เปอร์เซนต์ โหลด กับ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งสามารถเก็บมอเตอร์ ตัวนี้ไว้เป็นตัวเลือกในกรณีที่สนใจมอเตอร์มากกว่า 1 ตัว ละจะนำไปเปรียบเทียบกันในเรื่องของปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดย จะต้องระบุ ขนาดของโรงงาน แรงดัน ที่โรงงานได้รับ ปริมาณการทำงาน และ ระยะเวลาโปรแกรมก็จะเลือก มอเตอร์ ตัวที่เหมาะสมที่ซื้อที่สุด ออกมาให้

5.1.2 หลักการทำงานของ Replacement Motor

รูปที่ 5-3 ส่วนของ Replacement Motor นั้น จะทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่มีอยู่หรือใช้งานอยู่ และเลือกมอเตอร์ตัวใหม่ที่เหมาะสม โดยการหาประสิทธิภาพนั้น มีให้เลือกหาโดยมี วิธี Field test และ Non Field test (slip method & current method) โดยจะต้องระบุค่าต่างๆ ลงไปใน แต่ละวิธีที่เลือก โดยแต่ละวิธีจะระบุ ข้อมูลไม่เหมือนกัน หลังจากนั้น จะทำการเลือกมอเตอร์ตัวใหม่ เพื่อที่จะดูและวิเคราะห์ บอกถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวใหม่ และการประหยัดเงินต่อปี รวมถึง ระยะเวลาในการคืนต้นทุน ในกรณีที่ ต้องการตรวจสอบว่าถ้าหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าที่ โปรแกรมมีให้ ก็สามารถตรวจสอบได้เช่นกัน ซึ่งจะง่ายต่อการตัดสินใจ

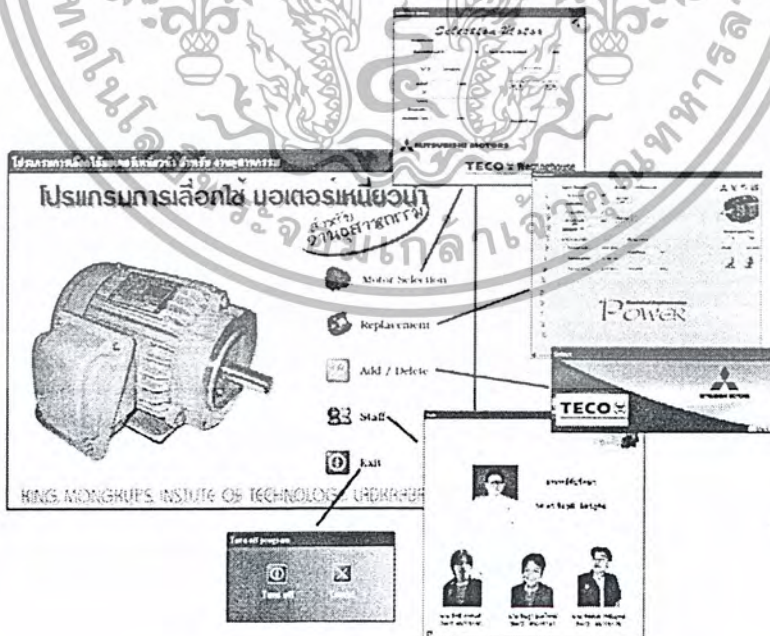
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

5.2 การใช้งานโปรแกรม หรืออธิบาย

จากรูปที่ 5-4 ในหน้าแรกที่จะเห็นนั้น สามารถเข้าไปทำรายการได้ โดยจะมีให้เลือกใช้งาน 2 ทางหลัก ๆ คือ Selection Motor กับ Replacement Motor และ แก้ไขข้อมูลในฐานข้อมูล แสดงผู้จัดทำออกจากโปรแกรม อย่างละ 1 ช่องทาง



รูปที่ 5-4 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 Selection Motor

ลำดับ	Code	W	Speed	ชั้นแม่เหล็ก	Insulation Class	ราคา
▶ 020	TECO	7500	1450	4	F	9500

รูปที่ 5-5 หน้าหลักของ selection motor

ในรูปที่ 5-5 จะเห็นว่าในกรอบที่ต้องการนั้นสามารถระบุความต้องการได้ มีทั้ง โหลดที่ต้องการ ขั้ว ความเร็ว และ บริษัทผู้ผลิตของมอเตอร์ เมื่อระบุเรียบร้อยแล้วจึงทำการกดปุ่ม “ค้นหา” หรือ หมายเลข 1 โปรแกรมจะทำการค้นหามอเตอร์ที่มีความสามารถตามที่ความต้องการระบุไว้อย่างเหมาะสมโดยจะบอกข้อมูลของมอเตอร์ในบล็อกกรณีที่มีโปรแกรมมีมอเตอร์มาให้มากกว่าตัว สามารถทำการเลือกได้ที่ปุ่ม หมายเลข 2 เมื่อเลือกมอเตอร์ที่ต้องการได้แล้ว ให้กดปุ่ม “ตกลง” หรือ หมายเลข 3 โปรแกรมจะเปลี่ยนหน้าต่างเป็นรูปที่ 5-6

เมื่ออยู่ในรูปที่ 5-6 แล้ว จะต้องกดปุ่ม “ยืนยัน” หรือ หมายเลข 1 หลังจากกดปุ่มแล้วข้อมูลของมอเตอร์ที่เลือกไว้จะปรากฏขึ้นหลังจากนั้นให้ทำการกดปุ่ม “ทำการตรวจสอบ” หรือ หมายเลข 2 โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจะบอกถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวนั้นในย่าน 50%-120% โหลด โดยจากการทำนายประสิทธิภาพ และ 50%, 75%, 100% โหลดที่ได้จากแคทาล็อกหลังจากนั้นโปรแกรมจะระบุข้อมูล ประสิทธิภาพ และ เฟอร์เซ็นต์โหลด ที่มอเตอร์ตัวนี้ทำงานในย่านที่ ระบุไว้ตั้งแต่ในรูปที่ 5-5

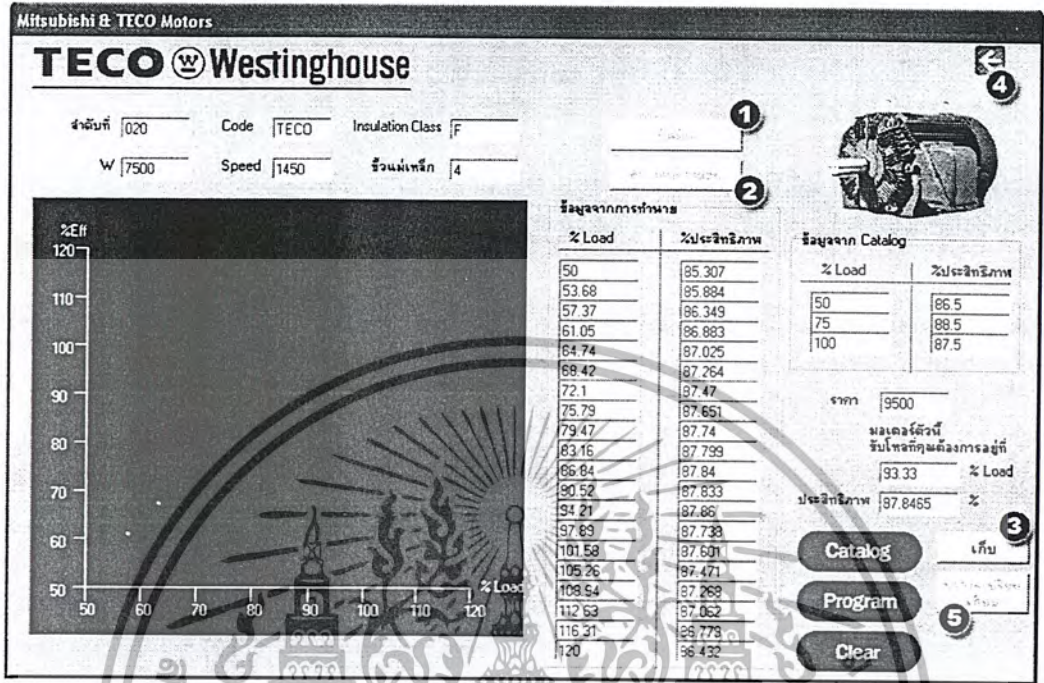
ถ้าต้องการดูกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง เฟอร์เซ็นต์โหลด กับ ประสิทธิภาพ จากการทำนาย เพียงกดปุ่ม “Program” ก็จะมีกราฟขึ้นมา ถ้าต้องการดูกราฟจากแคทาล็อกเพียงกดปุ่ม “Catalog” ก็จะมีกราฟขึ้นมา

ในกรณีที่ต้องการจะเก็บมอเตอร์ตัวนี้ไว้พิจารณากับมอเตอร์ตัวอื่นที่มีความต้องการ

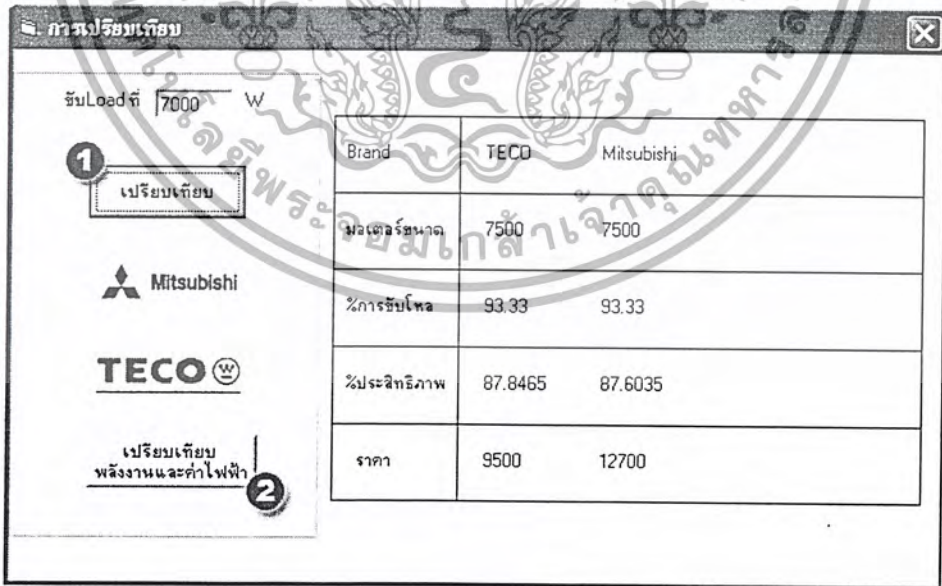
เหมือนกัน ให้กดปุ่ม “เก็บ” หรือ หมายเลข 3 แล้วกลับไปเลือกมอเตอร์ที่มีความต้องการเหมือนกันได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดปุ่ม หมายเลข 4 หลังจากที่ได้เก็บมอเตอร์ไว้พิจารณาแล้ว สามารถนำมาเปรียบเทียบได้โดยกดปุ่ม “ทำการเปรียบเทียบ” หรือหมายเลข 5 ซึ่งจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-6 ข้อมูลของมอเตอร์



รูปที่ 5-7 หน้าต่างการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเข้ามาหน้าต่างในรูปที่ 5-7 เมื่อทำการกดปุ่ม “เปรียบเทียบ” หรือ หมายเลข 1 ข้อมูลของมอเตอร์ที่เก็บไว้พิจารณา จะแสดงออกมาให้ดูเปรียบเทียบกัน แต่ถ้าจะดูในเรื่องของพลังงาน และค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี ให้กดปุ่ม “เปรียบเทียบพลังงาน” หรือ หมายเลข 2 โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดัง รูปที่ 5-8

จากรูป 5-8 ในหน้าต่างนี้ จำเป็นต้องระบุ ในเรื่องของ ขนาดโรงงาน แรงดันที่โรงงานได้รับ จำนวนวันที่ทำงานใน 1 สัปดาห์ จำนวนชั่วโมงที่ทำงานใน 1 วัน และระยะเวลาที่จะใช้มอเตอร์ เป็น ปี เมื่อระบุเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม “คำนวณ” หรือ หมายเลข 1 โปรแกรมจะทำการคำนวณ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า ใน 1 ปี หลังจากนั้นโปรแกรมจะช่วยเลือกมอเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ประหยัดที่สุด โดยการกดปุ่ม “จะซื้อตัวไหนดี” หรือ หมายเลข 2 (ในกรณีที่มียมอเตอร์มากกว่า 2 ตัว จะต้องทำการเลือกมอเตอร์ที่จะพิจารณาอย่างน้อย 2 ตัว) และถ้าคิดว่าสามารถหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ให้กดปุ่ม “ถ้ามีตัวที่ดีกว่า” หรือ หมายเลข 3 โปรแกรมจะแสดง หน้าต่างรูปที่ 5-9 ขึ้นมา

ชื่อคิวโหนดและคิวโหนดไฟฟ้า

ขนาดโรงงาน, แรงดัน

โรงงานขนาดเล็ก ต่ำกว่า 12 kV

โรงงานขนาดกลาง 12 - 24 kV

โรงงานขนาดใหญ่ มากกว่า 69 kV

1 สัปดาห์ทำงาน: 7 วัน

ทำงานวันละ: 12 ชั่วโมง

ระยะเวลาการใช้งานโดยประมาณ: 5 ปี

Brand	กำลังไฟฟ้า (kW)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Unit)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	ราคามอเตอร์	เลือกมอเตอร์ที่จะเปรียบเทียบ
TECO	7.97	2,464.9	34,899.68	86,024.71	9,500	<input type="checkbox"/>
Mitsubishi	7.99	2,464.9	34,996.68	86,263.33	12,700	<input type="checkbox"/>

ตรวจเช็คชื่อมอเตอร์: TECO ราคา 5500

1 คำนวณ 2 จะซื้อตัวไหนดี 3 ถ้ามีตัวที่ดีกว่า

รูปที่ 5-8 การเปรียบเทียบมอเตอร์ของโปรแกรม

หน้าต่างจากรูปที่ 5-9 จะต้องทำการระบุความต้องการว่า อยากให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพและราคาเพิ่มขึ้นจาก เดิม เป็นเปอร์เซ็นต์ ในช่อง แล้วกดปุ่ม “ตกลง” หรือ หมายเลข 1 โปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงข้อมูลขึ้นมาเปรียบเทียบกับตัวที่ระบบเลือกให้ โดยแสดงขึ้นในตาราง และยังสามารถตรวจสอบความเหมาะสมในการเลือกซื้อ โดยกดปุ่ม “Click” หมายเลข 2 ถ้านามอเตอร์ที่โปรแกรมเลือกให้ไปใช้งานแล้ว อาจจะเปลี่ยนเป็นตัวที่เพิ่มประสิทธิภาพและราคา โปรแกรมก็สามารถคำนวณเรื่องของการประหยัดค่าไฟฟ้าและระยะเวลาในการคืนต้นทุนได้โดยกดปุ่ม “Click” หมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้นหาสิ่งที่ดีกว่า

ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 4 %
 จากมอเตอร์เพิ่มขึ้น 10 %
 ตกลง 1

สามารถประหยัดเงินได้ 3747.47 บาท ใน 1 ปี

สามารถคืนต้นทุนได้ในเวลา 2 ปี 9 เดือน 28 วัน

สามารถทราบก่อนว่าควรซื้อมอเตอร์ตัวไหนดี กดปุ่ม Click 2

สามารถทราบก่อนว่าถ้า ใช้ มอเตอร์ TECO แล้วจะเปลี่ยนมาใช้ตัวที่ทานาได้ไหมจะเกิดอะไรขึ้น กดปุ่ม Click 3

Brand	ประสิทธิภาพ (%)	กำลังที่ซื้อมอเตอร์ kW	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Unit)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)	ราคามอเตอร์
TECO	87.83	7.97	2.4649	34899.88	86024.71	9500
มอเตอร์ที่ทานาได้	91.83	7.62	2.4649	33379.67	82277.56	10450

รูปที่ 5-9 มอเตอร์ที่ตัวโปรแกรมได้แนะนำให้เลือกใช้

5.2.2 Replacement Motor

Replacement

File

ชื่อจาก Nameplate: 3 HP, 380 V, 4.92 A, 1420 rpm, PF 0.82

วิธีการวัด: Non Field test

ค่าขี้ได้จากการวัด: ค่าที่ 1 (371, 4.51, 1408, 2510), ค่าที่ 2 (379, 3.79, 1432, 2010)

ขนาดโรงงาน แรงดัน: โรงงานขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 12 kV), โรงงานขนาดกลาง (12-24 kV), โรงงานขนาดใหญ่ (มากกว่า 69 kV)

ปริมาณการทำงาน: 1 สัปดาห์ทำงาน 7 วัน

มอเตอร์ตัวใหม่: กดปุ่ม Click เพื่อทำการเลือกมอเตอร์

จำนวนลดราคามอเตอร์ 30 %: มี ไม่มี

ค่าไฟฟ้า: บาท/หน่วย

ต้นทุน: บาท

เคลือบ: บาท

Electrical Engineering
Power

Replacement 1/3/2548 13.04

รูปที่ 5-10 หน้าหลักของ Replacement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 5-10 ใน Replacement Motor อันดับแรกจะต้องระบุข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่มีอยู่ หรือ ตัวที่จะทำการเปลี่ยน หลังจากนั้นให้ทำการเลือกวิธีการวัด

กรณี que เลือกวิธีการ Field test นั้น ให้กดปุ่ม “Field test” หรือ หมายเลข 1 โปรแกรมจะขึ้นกรอบให้ใส่ ข้อมูลแล้ว เมื่อใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการเลือกมอเตอร์ที่จะนำมาแทนโดยการกดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 2 ในกรอบ มอเตอร์ตัวใหม่แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง รูปที่ 5-11

เลือกโร้มอเตอร์ตัวใหม่

ขนาดมอเตอร์ 3 HP กำลัง Output 2079.13382

แรงดันที่พิกัด 380 V

ค่ากระแสที่พิกัด 4.92 A กวดมาเลือกยี่ห้อที่ต้องการ

ความเร็วรอบที่พิกัด 1420 rpm

TECO Mitsubishi

ทำการค้นหา

DATA

จำนวนเร็คคอร์ด: 1

ลำดับ	Code	W	Speed	ชั้นแรงเสียด	Insulation Class	ราคา
▶ 014	SFJR	2200	1450	4	F	4980

มอเตอร์ตัวที่เลือกโหลด ที่คุณต้องการอยู่ที่ 94.51 % Load

ประสิทธิภาพ 80.99001 %

ราคา 4980

ตกลง

กลับไป Replacement

รูปที่ 5-11 ข้อมูลเบื้องต้นของมอเตอร์

เมื่อเข้ามาที่หน้าต่าง รูปที่ 5-11 แล้ว ทำการกดปุ่ม “ยืนยัน” หรือ หมายเลข 1 โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่มีอยู่และกำลัง Output ขึ้นมา จากนั้นให้ทำการเลือกบริษัทผู้ผลิตของมอเตอร์ตัวใหม่ที่จะนำมาเปลี่ยน แล้วกดปุ่ม “ทำการค้นหา” หรือ หมายเลข 2 โปรแกรมจะทำการค้นหามอเตอร์ที่เหมาะสมกับข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่มีอยู่ กรณีที่โปรแกรมแสดงมอเตอร์ให้เลือกมากกว่า 1 ตัว สามารถเลือกมอเตอร์ได้โดยกดปุ่ม หมายเลข 3 เมื่อเลือกได้แล้ว ให้กดปุ่ม “ตกลง” หรือ หมายเลข 4 โปรแกรมจะแสดงข้อมูล เปอร์เซนต์โหลด ประสิทธิภาพ และ ราคา ของมอเตอร์ตัวใหม่ que เลือกไว้ หลังจากนั้น ทำการกดปุ่ม “กลับไปหน้า Replacement” หรือ หมายเลข 5 โปรแกรมจะแสดง หน้าต่างรูปที่ 5-12 ขึ้นมา

เมื่อกลับมาที่หน้าต่าง ดังรูปที่ 5-12 ให้กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 1 ในกรอบ มอเตอร์ตัวใหม่ เมื่อกดแล้ว ค่าของ ประสิทธิภาพ กับ ราคา ของมอเตอร์ตัวใหม่ จะแสดงขึ้น แล้วให้กดปุ่ม

“คำนวณ” หรือ หมายเลข 2 โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่ใช้อยู่ปัจจุบัน กับ มอเตอร์ตัวใหม่ รวมทั้ง การประหยัดค่าไฟฟ้า และระยะเวลาในการคืนต้นทุนดังรูปที่ 5-12

ถ้าในกรณีที่สามสามารถหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ และราคา สูงกว่า ที่โปรแกรมนำเสนอให้ เพียง กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 3 โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 5-13 ขึ้นมา

The screenshot shows the 'Replacement' software interface. It features a 'Field Test' section with a table of motor parameters:

พารามิเตอร์	ค่าที่ 1	ค่าที่ 2	หน่วย
แรงดัน	371	378	V
กระแส	4.51	3.79	A
ความเร็วรอบ	1408	1432	rpm
กำลังอินพุต	2510	2010	W

Other data includes: Nameplate (3 HP, 380 V, 4.92 A, 1420 rpm, PF 0.82), Voltage (12 kV), and Motor Type (Click). A 'Field Test' section shows 'Motor ปัจจุบัน' (2079.13 W, 94.51% efficiency) and 'Motor ใหม่' (334.12 W, 80.950% efficiency). A 'LOOK' button is highlighted with a red circle.

รูปที่ 5-12 ระยะเวลาคืนทุน

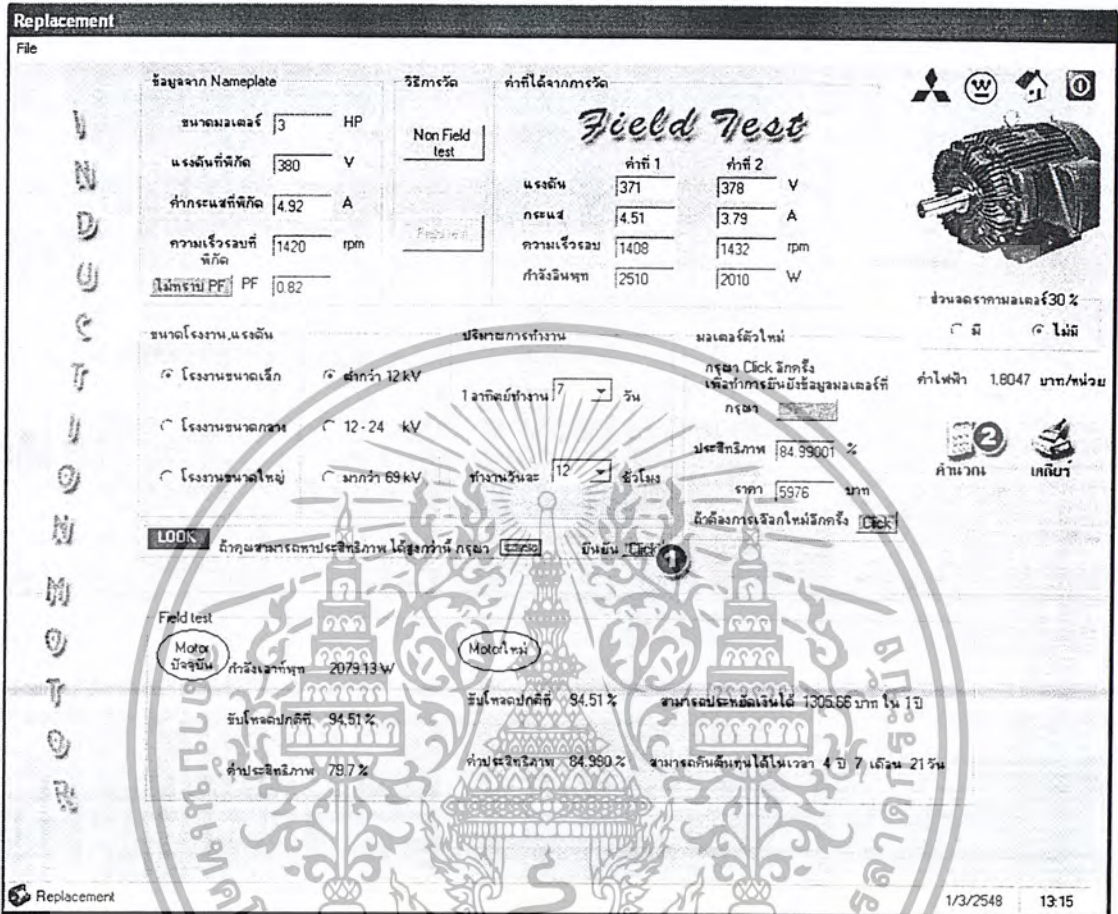
The dialog box titled 'ความต้องการของคุณ' (Your Requirements) contains the following fields and buttons:

- ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น: 4 %
- ราคามอเตอร์เพิ่มขึ้น: 20 %
- ตกลง (OK) button

รูปที่ 5-13 กรณีที่หามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าข้อมูลในโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้าต่างนี้จะต้องระบุความต้องการที่จะให้ประสิทธิภาพ และ ราคา เพิ่มขึ้นเป็น เปอร์เซ็นต์ เมื่อระบุเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม “ตกลง” โปรแกรมจะกลับมาหน้า Replacement อีกครั้ง



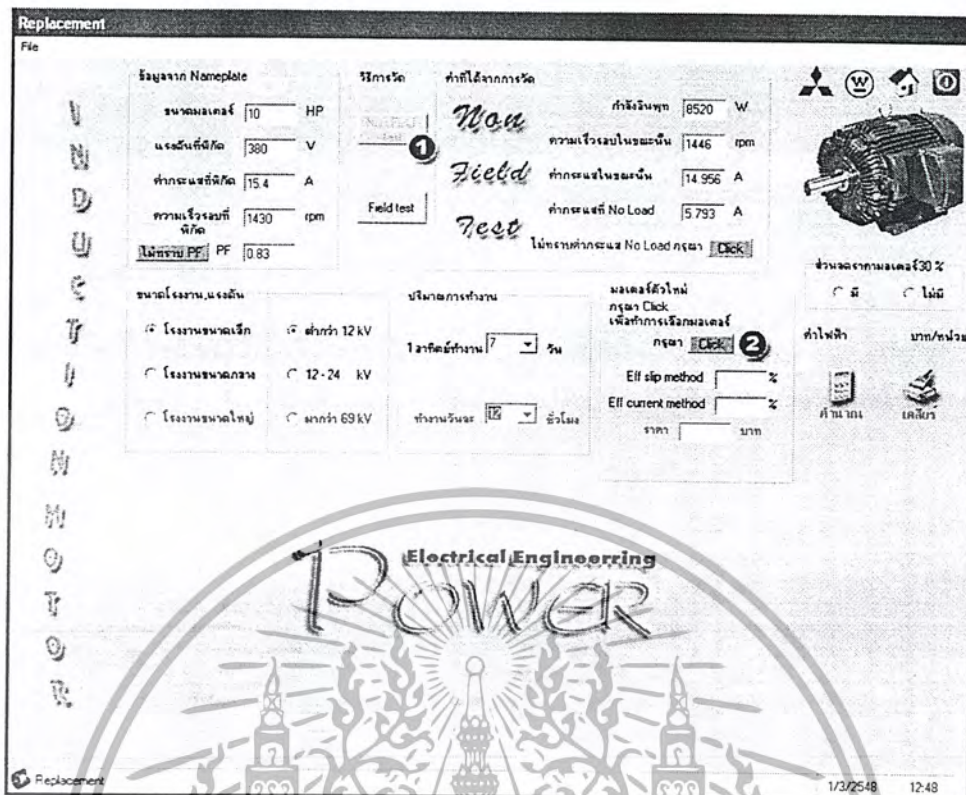
รูปที่ 5-14 ระยะเวลาคืนทุนในกรณีมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลในโปรแกรมได้

พอกกลับมาหน้า Replacement ให้กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 1 เพื่อยืนยัน โปรแกรมจะทำการคำนวณ แล้วแสดงค่า ประสิทธิภาพ และราคาขึ้นมาใหม่ แล้วกดปุ่ม “คำนวณ” หรือ หมายเลข 2 อีกครั้ง เพื่อที่จะดู ข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่ใช้อยู่ปัจจุบัน กับ มอเตอร์ตัวใหม่ รวมทั้ง การประหยัดค่าไฟฟ้า และระยะเวลาในการคืนต้นทุนดังรูปที่ 5-15

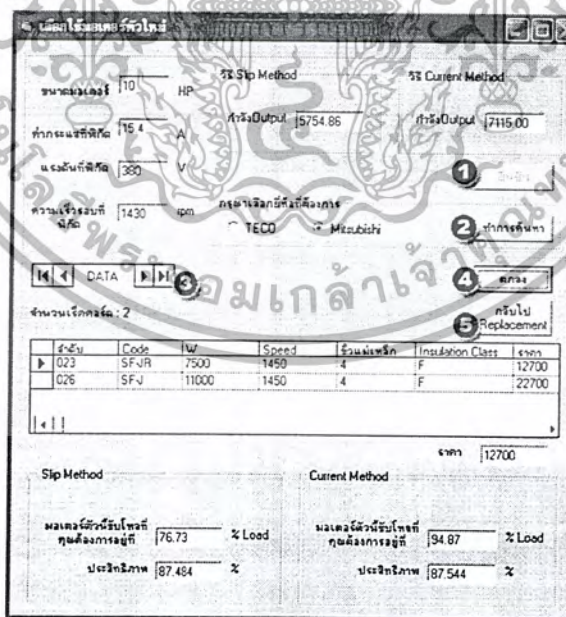
ถ้าต้องการทำการวัดแบบ Non Field Test ซึ่ง เป็นการวัดแบบใช้ วิธี Slip method และ Current Method ให้ทำการกดปุ่ม “Non Field Test”หรือ หมายเลข 1 ของรูปที่ 5-15

เมื่อกดปุ่ม “Non Field Test”หรือ หมายเลข 1 แล้ว โปรแกรมจะแสดงกรอบให้ กรอกข้อมูล ซึ่งจะแตกต่างกับ วิธี Field Test หลังจากที่ใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 2 เพื่อที่จะทำการเลือกมอเตอร์ตัวใหม่ โดยโปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง ดังรูปที่ 5-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-15 Replacement แบบ Non Field Test



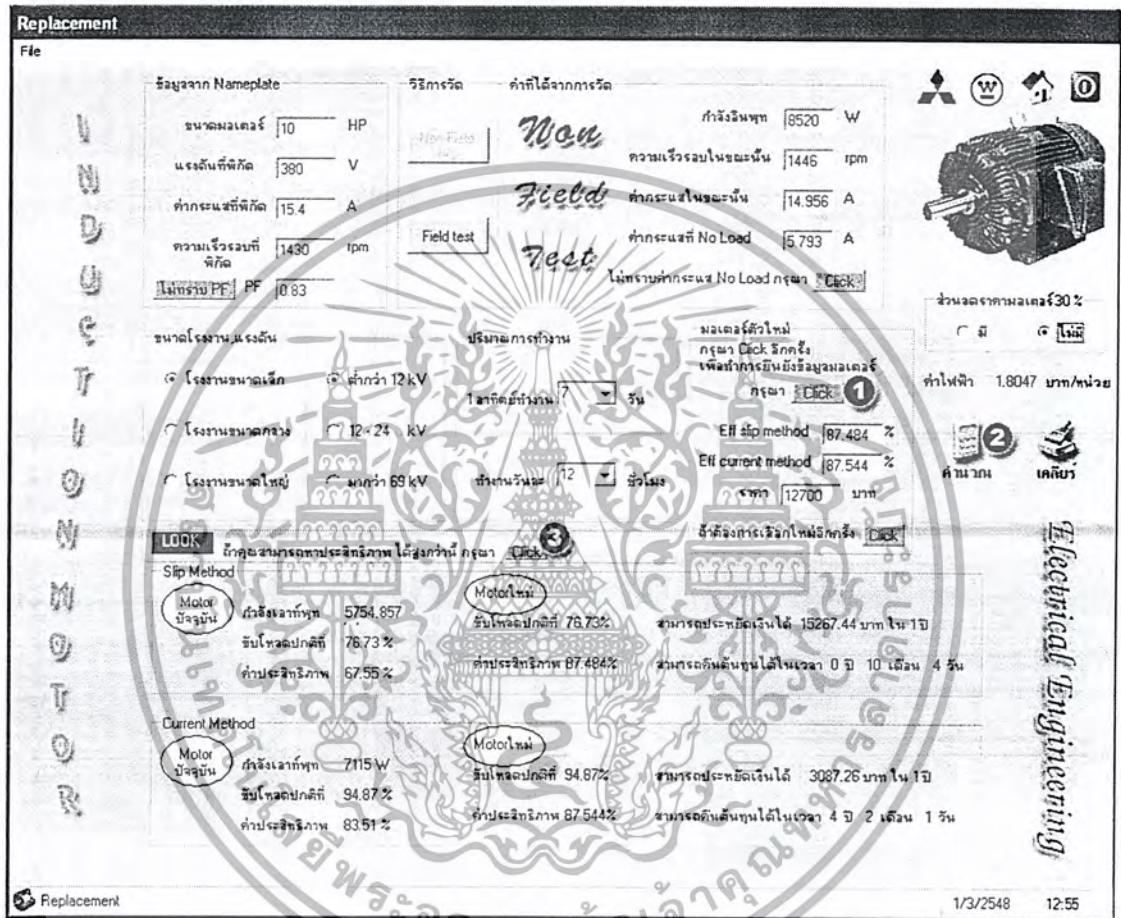
รูปที่ 5-16 เลือกมอเตอร์ตัวใหม่แบบ Non field test

ในรูปที่ 5-16 นั้นให้ทำการกดปุ่ม “ยืนยัน” หรือ หมายเลข 1 แล้วโปรแกรมจะบอกถึงข้อมูล

มอเตอร์ตัวปัจจุบัน และกำลังเอาท์พุท ทั้ง Slip method และ Current method หลังจากนั้นทำการเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการที่ขออนุญาตเท่านั้น มิใช่ให้ผู้อื่นไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต การคัดลอก การนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือการเผยแพร่ข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้น ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยี่ห้อแล้วกดปุ่ม “ทำการค้นหา” หรือ หมายเลข 2 โปรแกรมจะทำการค้นหามอเตอร์ตัวใหม่ที่เหมาะสมกรณีที่โปรแกรมแสดงมอเตอร์ให้เลือกมากกว่า 1 ตัว สามารถเลือกมอเตอร์ได้โดยกดปุ่ม หมายเลข 3 เมื่อเลือกได้แล้ว ให้กดปุ่ม “ตกลง” หรือหมายเลข 4 โปรแกรมจะแสดงข้อมูล เปอร์เซ็นต์โหลดประสิทธิภาพ และราคาของมอเตอร์ตัวใหม่ที่ถูกเลือกไว้ทั้ง Slip method และ Current method หลังจากนั้น ทำการกดปุ่ม “กลับไปหน้า Replacement” หรือ หมายเลข 5 โปรแกรมจะแสดง หน้าต่างรูปที่ 5-17



รูปที่ 5-17 ระยะเวลาคืนทุนเมื่อพิจารณาแบบ Non field test

เมื่อกลับมาที่หน้าต่าง ดังรูปที่ 5-17 ให้กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 1 ในกรอบ มอเตอร์ตัวใหม่ เมื่อกดแล้ว ค่าของ ประสิทธิภาพ ทั้ง Slip method และ Current method กับ ราคา ของมอเตอร์ตัวใหม่ จะแสดงขึ้น แล้วให้ กดปุ่ม “คำนวณ” หรือ หมายเลข 2 โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่ใช้ อยู่ปัจจุบัน กับ มอเตอร์ตัวใหม่ รวมทั้ง การประหยัดค่าไฟฟ้า และระยะเวลาในการคืนต้นทุนทั้ง Slip method และ Current method ดังรูปที่ 5-18

ถ้าในกรณีที่สามารถหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ และราคา สูงกว่า ที่โปรแกรมนำเสนอให้ เพียง กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 3 โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 9 ขึ้นมา โดยการใช้งานเหมือนกับที่

เอกสารนี้เป็น **ได้อัตโนมัติแล้วในข้างต้น** ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Replacement

File

ข้อมูลจาก Nameplate

ขนาดมอเตอร์	10	HP
แรงดันที่พิกัด	380	V
ค่ากระแสที่พิกัด	15.4	A
ความเร็วรอบที่พิกัด	1430	rpm
ไม่ทราบ PF	PF	0.83

วิธีการวัด

ค่าที่ได้จากการวัด

กำลังอินพุต 8520 W

ความเร็วรอบโหลดขณะนั้น 1446 rpm

ค่ากระแสโหลดขณะนั้น 14.956 A

ค่ากระแสที่ No Load 5.793 A

ไม่ทราบค่ากระแส No Load กรุณา **Click**

ขนาดโรงงาน, แรงดัน

โรงงานขนาดเล็ก ต่ำกว่า 12 kV

โรงงานขนาดกลาง 12 - 24 kV

โรงงานขนาดใหญ่ มากกว่า 69 kV

ปริมาณการทำงาน

1 นาทีต่อทำงาน 7 วัน

ทำงานวันละ 12 ชั่วโมง

มอเตอร์ตัวใหม่

กรุณา **Click** ริกซ์ เพื่อทำการยืนยันถึงข้อมูลมอเตอร์ กรุณา

Eff slip method 91.484 %

Eff current method 91.544 %

ราคา 15240 บาท

ส่วนลดตามเดอส์ 30 %

มี ไม่มี

ค่าไฟฟ้า 1.8047 บาท/หน่วย

คำนวณ เติบยา

LOOK ถ้าคุณสามารถหาประสิทธิภาพ ได้สูงกว่านี้ กรุณา **Click** ยืนยัน **Click**

Slip Method

Motor ปัจจุบัน	กำลังเข้าที่พิกัด 5754.857	Motor ใหม่	รับโหลดปกติที่ 76.73%	สามารถประหยัดเงินได้ 17528.85 บาท ใน 1 ปี
	รับโหลดปกติที่ 76.73 %		ค่าประสิทธิภาพ 91.484%	สามารถคืนต้นทุนได้ในเวลา 0 ปี 10 เดือน 17 วัน
	ค่าประสิทธิภาพ 67.55 %			

Current Method

Motor ปัจจุบัน	กำลังเข้าที่พิกัด 7115 W	Motor ใหม่	รับโหลดปกติที่ 94.87%	สามารถประหยัดเงินได้ 5879.39 บาท ใน 1 ปี
	รับโหลดปกติที่ 94.87 %		ค่าประสิทธิภาพ 91.544%	สามารถคืนต้นทุนได้ในเวลา 2 ปี 7 เดือน 16 วัน
	ค่าประสิทธิภาพ 83.51 %			

1/3/2548 16:22

รูปที่ 5-18 ระยะเวลาคืนทุนเมื่อพิจารณาด้วย slip method และ current method

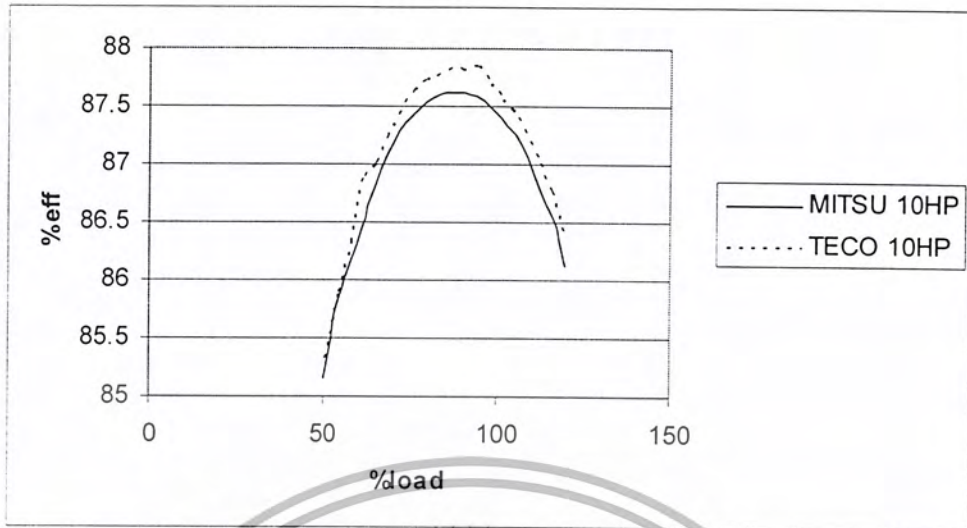
เมื่อกลับมาหน้า Replacement ให้กดปุ่ม “Click” หรือ หมายเลข 1 เพื่อยืนยัน โปรแกรมจะทำการคำนวณ แล้วแสดงค่า ประสิทธิภาพ และราคาขึ้นมาใหม่ แล้วกดปุ่ม “คำนวณ” หรือ หมายเลข 2 อีกครั้ง เพื่อที่จะดู ข้อมูลของมอเตอร์ตัวที่ใช้อยู่ปัจจุบัน กับ มอเตอร์ตัวใหม่ รวมทั้ง การประหยัดค่าไฟฟ้า และระยะเวลาในการคืนต้นทุนของทั้ง Slip method และ Current method ดังรูปที่ 5-18

5.3 ผลการทดสอบโดยการใช้โปรแกรม

5.3.1 Selection Motor

ความต้องการ		ยี่ห้อ	ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่					โรงงาน			ปริมาณการทำงาน			กำลังไฟฟ้า input (KW)	ปริมาณการใช้ไฟ (Unit)	ค่าไฟฟ้าต่อปี (บาท)
โหลดที่ขับ	ความเร็ว		W	rpm	ขั้ว	% load	% eff	ราคา	ขนาด	แรงดัน (kV)	ชม.	วัน	ปี			
7000	1400	Mitsubishi	7500	1450	4	93.33	87.603	12700	เล็ก	12-24	12	7	5	7.99	34996.68	86263.33
		TECO	7500	1450	4	93.33	87.846	9500	เล็ก	12-24	12	7	5	7.97	34899.88	86024.71
8000	1400	Mitsubishi	7500	1450	4	106.67	87.163	12700	เล็ก	12-24	12	7	5	9.18	40198.34	99084.89
			11000	1450	4	72.73	92.589	22700	เล็ก	12-24	12	7	5	8.64	37842.39	93277.72
		TECO	7500	1450	4	106.67	87.369	9500	เล็ก	12-24	12	7	5	9.16	40103.33	98850.71
			11000	1450	4	72.73	89.711	13650	เล็ก	12-24	12	7	5	8.92	39056.62	96270.65

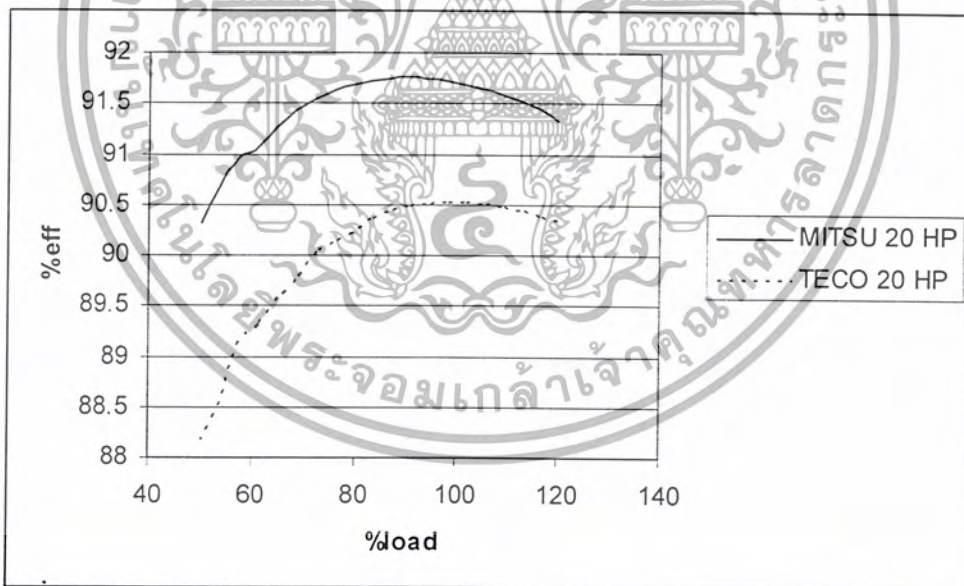
ตารางที่ 5-1 ผลการทดสอบของ Selection Motor



รูปที่ 5-19 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 10hp ของ MITSUBISHI กับของ

TECO

จากรูปที่ 5-19 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ขนาด 10 แรงม้าของ TECO นั้น มีประสิทธิภาพดีกว่ามอเตอร์ของ MITSUBISHI



รูปที่ 5-20 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 20hp ของ MITSUBISHI กับของ

TECO

จากรูปที่ 5-20 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ขนาด 20 แรงม้าของ MITSUBISHI นั้น มีประสิทธิภาพดีกว่ามอเตอร์ของ TECO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 Replacement Motor

- Field Test

ข้อมูลจาก Nameplate					ค่าที่ได้จากการวัด								ค่าไฟ ต่อ หน่วย	ปริมาณ งาน	
hp	V	A	rpm	p.f.	V ₁	V ₂	I ₁	I ₂	rpm 1	rpm2	P _{in1}	P _{in2}		ชม.	วัน
3	380	4.92	1420	0.82	380	380	4.51	3.79	1408	1432	2510	2010	2.4649	12	7

P _{out} (KW)	% Load	ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่				% eff		ราคา (บาท)	ประหยัด เงิน ต่อ ปี	ระยะเวลาคืนทุน		
		ยี่ห้อ	W	rpm	ขั้ว	Motor ปัจจุบัน	Motor ใหม่			ปี	เดือน	วัน
2.079	94.51	Mitsubishi	2200	1450	4	79.7	80.99	4980	456.35	11	0	23
		TECO	2200	1435	4		80.455	3900	286.86	14	8	14

ตารางที่ 5-2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม Replacement แบบ Field Test

- Non Field Test

ข้อมูลจาก Nameplate					ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าไฟต่อ หน่วย	ปริมาณงาน	
Hp	V	A	rpm	p.f.	P _{in}	rpm	I	I _{no-load}		ชม.	วัน
10	380	15.4	1430	0.83	8520	1446	14.956	5.793	2.4649	12	7

Method	P _{out} (W)	ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่				% eff		ราคา (บาท)	ประหยัด เงิน ต่อ ปี	ระยะเวลาคืนทุน			
		ยี่ห้อ	W	rpm	ขั้ว	% Load	Motor ปัจจุบัน			Motor ใหม่	ปี	เดือน	วัน
Slip	5754.857	Mitsubishi	7500	1450	4	76.73	67.55	87.484	12700	20852.62	0	7	12
			11000	1450		52.32		91.164	22700	23704.18	0	11	20
		TECO	7500	1450		76.73		87.695	9500	21022.99	0	5	15
			11000	1460		52.32		88.036	13650	21295.55	0	7	24
Current	7115	Mitsubishi	7500	1450	94.87	83.51	87.544	12700	4216.65	3	0	19	
			11000	1450	61.68		92.07	22700	8507.04	2	8	14	
		TECO	7500	1450	94.87		87.799	9500	4470.13	2	1	26	
			11000	1460	61.68		89.052	13650	5694.59	2	5	5	

ตารางที่ 5-3 ผลการทดสอบโปรแกรม Replacement แบบ Non Field Test

5.4 สรุป

5.4.1 Selection Motor

จากตาราง 5-1 ถ้าเรามีความต้องการที่จะขับโหลด 7000W และความเร็วรอบ 1400 rpm ซึ่งในความต้องการนี้ ในโปรแกรมสามารถแสดงมอเตอร์ได้ 2 บริษัทผู้ผลิตคือ MITSUBISHI และ TECO ซึ่งใน 2 บริษัทผู้ผลิตนี้ จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของประสิทธิภาพและราคา โดยจะนำ 2 บริษัทผู้ผลิตนี้ มาทำการเปรียบเทียบเพื่อหามอเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยดูจากการใช้พลังงานซึ่งจากตารางที่ 5-1 จะเห็นได้ว่า มอเตอร์ TECO มีการประหยัดพลังงานมากกว่า MITSUBISHI จึงสมควรที่จะเลือกซื้อมอเตอร์ของ TECO ขนาด 7500 W เมื่อคิดระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี

ส่วนในกรณีที่มีความต้องการขับโหลด 8000W และความเร็วรอบ 1400 rpm ซึ่งในความต้องการนี้ โปรแกรมจะแสดงมอเตอร์บริษัทผู้ผลิตละ 2 ตัว นั่นคือ MITSUBISHI จะมีขนาด 7500W และ 11000W TECO ก็เช่นเดียวกัน เมื่อนำมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวมาทำการเปรียบเทียบโดยดูจากพลังงาน ซึ่งได้มอเตอร์ที่เหมาะสมในการเลือกซื้อ คือ MITSUBISHI ขนาด 11000W เมื่อคิดระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี

5.4.2 Replacement Motor

ในส่วนของการ replacement นี้ จะเห็นได้ว่าการแสดงตารางมีด้วยกัน 2 ส่วน คือ field test และ non field test

-Field test จากตาราง 5-2 โดยจะให้มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่มีขนาด 2200W หรือ 3hp ซึ่งจะหามอเตอร์ตัวใหม่มาทำการเปลี่ยน ในส่วนนี้จำเป็นต้องใส่ค่าแรงดัน 2 ค่า กระแส 2 ค่า ความเร็ว 2 ค่า กำลังไฟฟ้าอินพุต 2 ค่า ดังที่แสดงไว้ในตาราง 5-2 เพื่อที่จะทำการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่มีอยู่แล้ว แล้วนำไปเปรียบเทียบกับ มอเตอร์ตัวใหม่ที่โปรแกรมได้เลือกให้อย่างเหมาะสม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว ก็จะสามารุเห็นการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อ 1 ปี และระยะเวลาการคืนต้นทุน ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อหรือเปลี่ยน

- Non Field Test กรณีนี้จะใช้มอเตอร์ขนาด 7500 W หรือ 10 hp เป็นตัวทดสอบ ในการหามอเตอร์ตัวใหม่มาทำการเปลี่ยนในกรณีนี้ค่าที่ได้จากการวัดจะมีกำลังอินพุต, ความเร็วรอบ, กระแสขณะทำงาน และกระแสขณะไม่มีโหลดต่ออยู่อย่างละค่าเท่านั้น โดยโปรแกรมจะนำค่าเหล่านี้ไปทำการหาประสิทธิภาพโดยใช้ slip method และ current method แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ตัวใหม่ แต่ในกรณีนี้โปรแกรมได้เลือกมอเตอร์ MITSUBISHI ให้ 2 ตัว คือ 7500W และ 11000W มอเตอร์TECO ก็เช่นเดียวกัน พอนำมาเปรียบเทียบ ก็จะทราบถึงการประหยัดค่าไฟฟ้าและระยะเวลาคืนต้นทุนเมื่อนำมอเตอร์ตัวนั้น ๆ มาทำการเปลี่ยนซึ่งจะแสดงอยู่ในตาราง 5-3

บทที่ 6

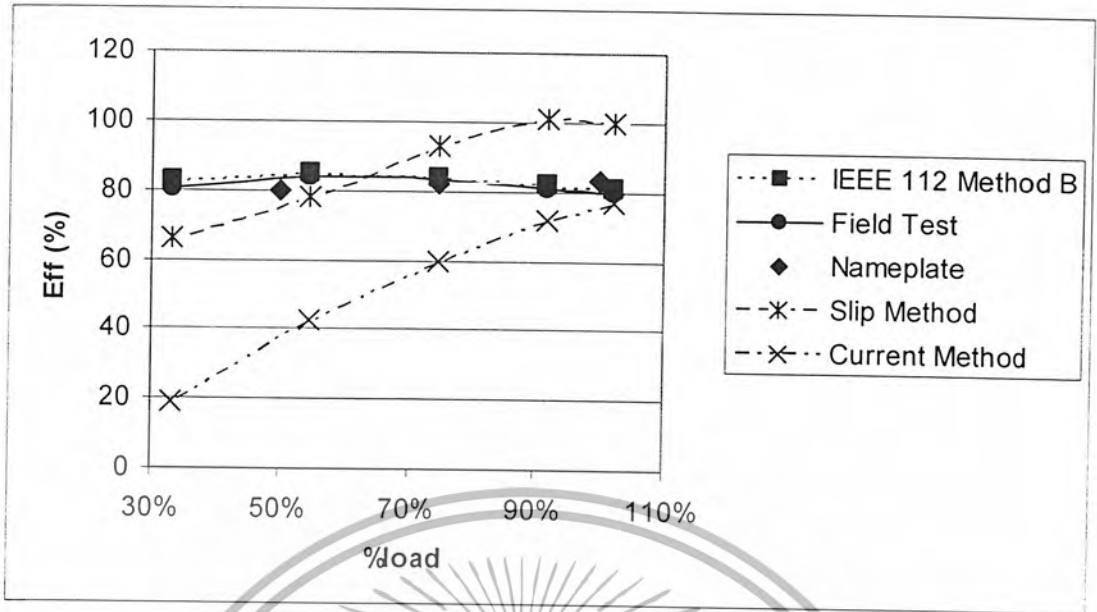
บทสรุป

การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริงมีประโยชน์มากโดยเฉพาะด้านพลังงาน การจะใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าจำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ การที่เราจะทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จำเป็นต้องทราบค่ากำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต แต่เนื่องจากความเป็นจริงแล้วการวัดค่ากำลังทางกลด้านเอาต์พุตของมอเตอร์ไฟฟ้าขณะทำงานจริงนั้นทำได้ยาก และเสียเวลามาก เนื่องจากต้องใช้ ทอร์คมิเตอร์ต่อเข้าไประหว่างเพลามอเตอร์กับโหลด ซึ่งในขณะทำงานจริงไม่สามารถทำได้ ดังนั้นเราจึงทำการศึกษา วิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริง ด้วยวิธีการพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ การคำนวณจากป้ายชื่อกิต (nameplate method), วิธีคำนวณจากสลิป (slip method), วิธีคำนวณจากกระแส (current method) และการทดสอบตามมาตรฐาน (IEEE 112 method B) เพื่อเป็นตัวอย่างอิงกับวิธีที่ทำการศึกษา

วิธีการคำนวณจากสลิป (slip method) ทำได้โดยใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งวิธีการนี้ นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

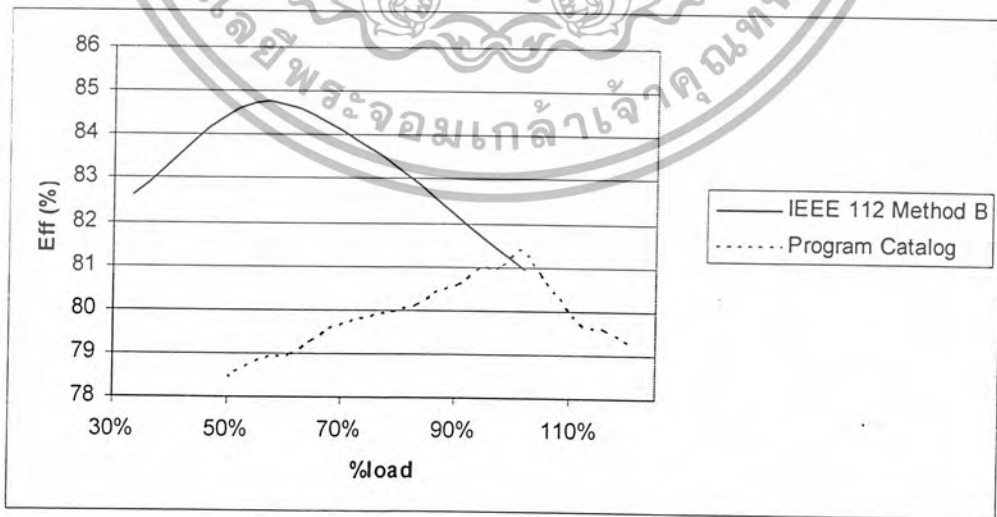
วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน (IEEE 112 method B) จากนั้นนำค่าเฟกเตอร์ต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ทำการทดสอบด้วยภาระทางไฟฟ้า เป็นการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าโดยนำมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทดสอบไปขับเครื่องกำเนิดทางไฟฟ้า

จากนั้น นำผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีต่าง ๆ มาเปรียบเทียบโดยใช้กราฟ พบว่า วิธีการคำนวณจาก สลิป (slip method) มีความแม่นยำน้อยแต่สะดวกในการใช้งาน วิธีการตามมาตรฐาน (IEEE 112 method B) มีความแม่นยำสูง แต่ยุ่งยากและไม่สะดวกในการใช้งานจริง ดังนั้นโครงการนี้จึงทำการศึกษาอีกหนึ่งวิธี ซึ่งนำมาใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำหน้างานจริงได้ คือวิธี จีเนติกอัลกอริธึม (genetic algorithm) โดยต้องมีข้อมูล กระแสอินพุท, แรงดันอินพุท, กำลังไฟฟ้าอินพุทและความเร็วรอบของมอเตอร์ แล้วจึงนำไปโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง (Field Test) (ซึ่งโครงการนี้ไม่ได้ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรม) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ



รูปที่ 6-1 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า

จากรูปที่ 6-1 เราจะพบว่าเส้นโค้งประสิทธิภาพมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวิธีจีนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) อาจเป็นแนวทางใหม่ในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงในอนาคต เนื่องจากสะดวกไม่ต้องเคลื่อนย้ายมอเตอร์เหนี่ยวนำ เราได้ศึกษาการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแนวใหม่ โดยใช้เพียงข้อมูล แคทาล็อกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แล้วจึงนำไปโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจาก แคทาล็อก เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 6-2 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากโปรแกรมแคทาล็อกกับการทดสอบตามมาตรฐาน method B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6-2 เราจะเป็นได้ว่า ประสิทธิภาพที่ได้นั้นมีแนวโน้มเดียวกันกับการทดสอบตามมาตรฐาน(IEEE 112 method B) ซึ่งทำให้เรามีวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเพิ่มขึ้นอีก 1 วิธี ในโครงการนี้เราไม่ได้ศึกษาการเขียนโปรแกรม

พอเราทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแล้ว เราสามารถประยุกต์ใช้ด้านการบริหารพลังงาน หากดูต้นทุนในการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวใหม่ โดยได้ศึกษาเรื่อง Cost saving and payback analysis เพื่อต้องการให้มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

จากที่เราได้ศึกษาทั้งหมดเราได้ทำการเขียนโปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับงานอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้ต่อการใช้งาน โดยมีการเปรียบเทียบมอเตอร์ตัวใหม่กับมอเตอร์ตัวเก่าหาระยะเวลาคู่มือและยังมีการเลือกมอเตอร์ตัวใหม่เพื่อหาว่ามอเตอร์ตัวไหนมีความเหมาะสมมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Comparison of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Method ; IEEE Transaction on Industry Application , vol 34, no. 1 ; 1998
- [2] IEEE ; IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generators ; Rochelle ; 1996
- [3] สุนัน ทองสุข ; การหาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลแคทาส์ต็อก ; วิทยานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2547
- [4] รศ. ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย ; Electrical Machines Part 2 ; เอกสารประกอบการสอนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2546
- [5] รศ. ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย ; Electrical Machines Part 1 ; เอกสารประกอบการสอนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2546
- [6] นภัทร วจินทาพิณฑ์ ; ทฤษฎีเครื่องกลไฟฟ้า 2 ; สกายบุ๊กส์ ; พิมพ์ครั้งที่ 1 ; 2544
- [7] มงคล ทองสงคราม ; เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ ; ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินต์ติ้ง ; พิมพ์ครั้งที่ 3 ; 2541
- [8] ผศ. สุภชัย สุรินทรวงศ์ ; อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส ; สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีแห่งชาติ ; พิมพ์ครั้งที่ 1 ; 2544
- [9] T. Phumiphak and C. Chat-uthai ; Effective Estimation of Induction Motor Field Efficiency Based on On-site Measurements ; Proceeding of The First Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication, and Information Technology (ECTI) Annual Conference ; May 13-14, 2004
- [10] MITSUBISHI ELECTRIC Characteristics and Performance of 4 Pole Three Phase Motor ; Super Line Induction Motors ; Oriental Electric Industry Company Limited
- [11] Yehia El-Ibiary ; An Accurate Low-Cost Method for Determining Electric Motors' Efficiency for the Purpose of Plant Energy Management ; IEEE Transaction on Industry Application , vol 39, no. 4 ; 2003
- [12] John J. Stroker ; What 's the Real Cost of Higher Efficiency ; IEEE Industry Application Magazine ; 2003
- [13] TECO SPECIFICATION TABLE ; 3-Phase Induction Motors ; TECO ELECTRIC & MACHINERY (THAI) C., LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Edward Swan ; Pushing Motor Efficiency to the Limit ; Machine Design ; Oct. 8 ,1993
- [15] การไฟฟ้านครหลวงฝ่ายบำรุงรักษา ; บันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพมอเตอร์ตามมาตรฐาน IEEE std 112-1996 (Method B) ; เอกสารส่วนราชการ , 1996



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

Form B (IEEE 112)

มหาวิทยาลัยราชภัฏบรียรัมย์
วิทยาเขตเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form B-Method B

Type _____ Design _____ Frame _____ hp/kW _____ Phase _____
 Frequency _____ Volts _____ Synchronous r/min _____ Serial No. _____
 Degrees C Temperature Rise Time Rating _____ Model No. _____

Average Cold stator windage resistance between terminals (1) _____ Ohms@(2) _____ °C							
Rated load heat run stator windage resistance between terminal (3) _____ Ohms@(4) _____ °C in (5) _____ °C Ambient							
Item	Description(Motoring)(Generating)	1	2	3	4	5	6
6	Ambient Temperature , in °C						
7	Stator Windage Temperature, in °C						
8	Frequency , in Hz						
9	Synchronous Speed , in r/min						
10	Slip Speed , in r/min						
11	Speed , in r/min						
12	Line-to-Line Voltage , in V						
13	Line Current , in A						
14	Stator Power , in W						
15	Core Loss , in W						
16	Stator I ² R Loss , in W , at (t _i) °C						
17	Power Across Air Gap , in W						
18	Rotor I ² R Loss , in W						
19	Friction and Windage Loss , in W						
20	Total Conventional Loss , in W						
21	Torque *						
22	Dynamometer Correction *						
23	Correct Torque *						
24	Shaft Power , in W						
25	Apparent Total Loss , in W						
26	Stray-Load Loss , in W						
Intercept _____ Slope _____ Correlation Factor Point Deleted							
27	Stator I ² R Loss , in W at (t _i) °C						
28	Corrected Power Across Air Gap, in W						
29	Corrected Slip , in r/min						
30	Corrected Speed , in r/min						
31	Rotor I ² R Loss , in W at (t _i) °C						
32	Corrected Stray-Load Loss , in W						
33	Corrected Total Loss , in W						
34	Corrected Shaft Power , in W						
35	Shaft Power , in hp						
36	Efficiency , in %						
37	Power Factor , in %						

t_i ≡ temperature of stator winding as determined from stator resistance or temperature detector during test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Indicate torque unit as N·m or lb·ft

Summary of characteristics

Load , in % of rated	25	50	75	100	125	150
Power Factor , in %						
Efficiency , in %						
Speed , in r/min						
Line current , in A						

- (9) Is equal to $120 \cdot (8) / \text{number of poles}$
 (10) Is equal to (9)-(11) when speed is measured
 (11) Is equal to (9)-(10) when slip is measured For generator operation slip is negative
 (16) Is equal to $1.5 \cdot (13)^2 \cdot (1) \cdot [K1+(7)] / [K1+(2)]$ where $K1 = 234.5$ for 100% LACS conductivity copper or 225 for aluminum , based on volume conductivity of 62%
 (17) Is equal to (14)-(15)-(16) for motor operation , and (14)+(15)+(16) for generator operation
 (18) Is equal to $[(17) \cdot (10)] / (9)$ positive for motor or generator operation
 (20) Is equal to (15)+(16)+(17)+(18)+(19)
 (22) "Corrects" for windage and bearing loss torque of dynamometer , and is equal to

$$k \frac{(W_A - W_B)}{n \cdot C}$$

where

$$W_A = (P_I - W_I - W_h) \cdot (1 - s_I)$$

$$W_B = P_o - W_o - W_h$$

P_I = input power , in W , required to drive machine as a motor when coupled to dynamometer with dynamometer armature circuit open (Test "A")

W_I = stator I^2R loss , in W during Test "A"

s_I = slip , input , during Test "A"

P_o = input power , in W , required to drive machine as a motor running free and uncoupled (Test "B")

W_o = stator I^2R loss , in W , during Test "B"

W_h = core loss , in W

C = torque output registered by dynamometer during Test "A"

k = 9.549 for torque , in N·m

k = 7.043 for torque , in lbf·ft

n = rotational speed , in r/min during Test "A"

- (23) Is equal to (21)+(22) for motor operation , and (21)-(22) for generator operation
 (24) Is equal to $[(23) \cdot (11)] / k_2$
 (25) Is equal to (14)-(24) for motor operation , and (24)-(14) for generator operation
 (26) Is equal to (25)-(20)
 (27) Is equal to $1.5 \cdot (13)^2 \cdot (3) \cdot [k_I+(4)-(5)+25^\circ\text{C}] / \{k_I+(4)\}$
 (28) Is equal to $[(29) / (9)] \cdot [(14)-(27)-(15)]$
 (29) Is equal to See 4.3.2.2 Eq 4
 (30) Is equal to synchronous speed – (29)
 (31) Is equal to $(28) \cdot (29)$ positive for motor or generator operation

(32) Is equal to AT^2

where

A = slope of curve of (26) vs. $(23)^2$ using a linear regression analysis

T = corrected torque = (23)

(33) Is equal to $(15)+(19)+(27)+(31)+(32)$

(34) Is equal to $(14)-(33)$ for motor operation , and $(14)+(33)$ for generator operation

(35) Is equal to $(34)/745.7$

(36) Is equal to $100*(34)/(14)$ for motor operation , and $100*(14)/(34)$ for generator operation

(37) Is equal to $\frac{(14) * 100}{m * (12) * (13)}$

where $m = \sqrt{3}$ for three phase power

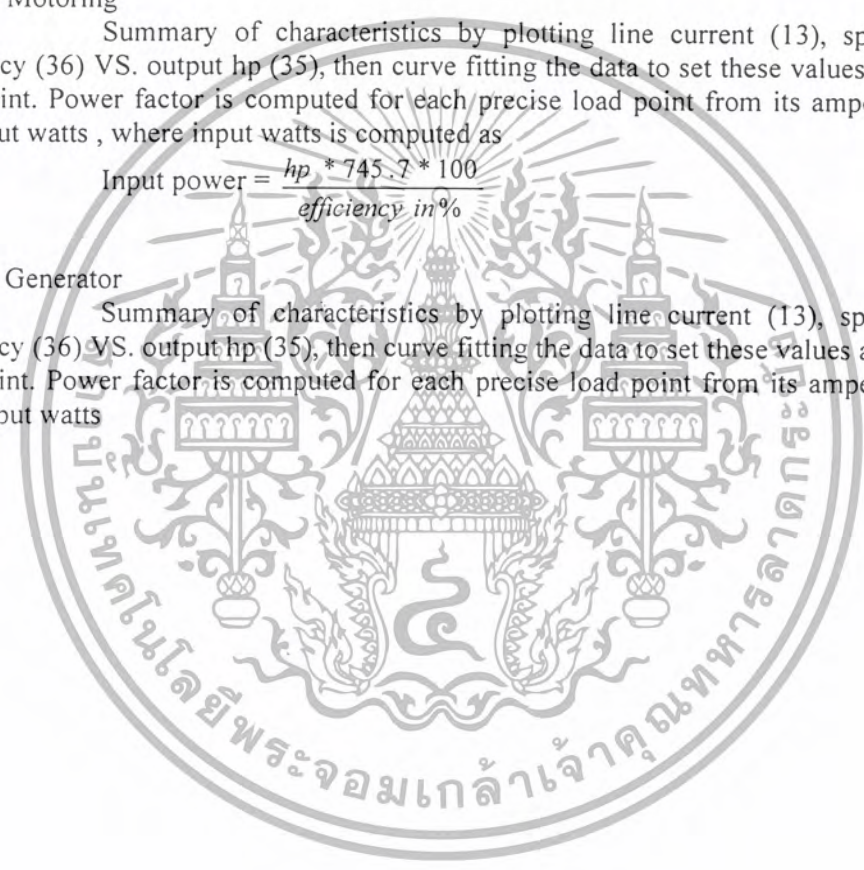
Motoring

Summary of characteristics by plotting line current (13), speed (30), and efficiency (36) VS. output hp (35), then curve fitting the data to set these values at precise hp load point. Power factor is computed for each precise load point from its amperes , voltage and input watts , where input watts is computed as

$$\text{Input power} = \frac{\text{hp} * 745.7 * 100}{\text{efficiency in\%}}$$

Generator

Summary of characteristics by plotting line current (13), speed (30), and efficiency (36) VS. output hp (35), then curve fitting the data to set these values at precise kW load point. Power factor is computed for each precise load point from its amperes , voltage and output watts





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form F1-Method F-F1

When the impedance data are determined following Method 1 or 2 a relationship between x_1 and x_2 must be assumed. When design details are available, use the calculated ratio x_1/x_2

Otherwise, use

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = 1.0 \text{ for Design A, Design D, and wound-rotor motors}$$

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = 0.67 \text{ for Design M motors}$$

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = 0.43 \text{ for Design C motors}$$

$$VAR = \sqrt{(mVI_1)^2 - W^2}$$

$$x_M = \frac{mV_o^2}{VAR_o - ml_{1o}^2 x_1} \left(\frac{1}{1 + \frac{x_1}{x_M}} \right)^2$$

$$x_{1L} = \frac{VAR_L}{ml_{1L}^2 \left(1 + \frac{x_1}{x_2} + \frac{x_1}{x_M} \right)} \left(\frac{x_1 + \frac{x_1}{x_M}}{x_2} \right)$$

$$x_f = \frac{f}{f_L} x_{1L}$$

Equation 1, 2 and 3 may be solved as follows:

- (1) Solve Eq 1 for x_M , assuming a value of x_1/x_M and x_1
- (2) Solve Eq 1 for x_{1L} , using the value of x_1/x_M from (1)
- (3) Solve Eq 3 for x_f
- (4) Solve Eq 1 for x_M , using x_f from (3) and a ratio of x_1/x_M from (1) and (3)
- (5) Continue iteration solution until stable values of x_1 and x_M are obtained within 0.1%

$$b_M = \frac{1}{x_M}$$

$$x_2 = \frac{x_1}{\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}$$

$$W_h = W_o - W_f - mI_{1o}^2 r'_1$$

$$g_{fc} = \frac{W_h}{mV_o^2} \left(1 + \frac{x_1}{x_M} \right)^2$$

$$r_{fc} = \frac{1}{g_{fc}}$$

$$r_2^* = \left(\frac{W_L}{mI_{1L}^2} - r_1^* \right) \left(1 + \frac{x_2}{x_M} \right)^2 - \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2 (x_{1L}^2 4g_{fc})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nomenclature

V	=	phase voltage , in V
f	=	frequency , in Hz
I_1	=	line or stator current , in A
I_2	=	rotor current , in A
m	=	number of phase
r_1	=	stator resistance corrected to specified temperature , in Ω
r'_1	=	stator resistance at temperature during no-load test , in Ω
r''_1	=	stator resistance at temperature during impedance test , in Ω
r_2	=	rotor resistance referred to stator at specified temperature , in Ω
x_1	=	stator leakage reactance , in Ω
x_2	=	rotor leakage reactance referred to stator , in Ω
x_M	=	magnetizing reactance , in Ω
b_M	=	magnetizing susceptance , in Ω^{-1}
r_f	=	core resistance , in Ω
g_f	=	core conductance , in Ω^{-1}
VAR	=	reactive volt-ampere , in vars
W	=	power , in W
W_h	=	core loss , in W
W_f	=	friction and windage loss , in W
$W_{L.L.}$	=	stray-load loss , in W
L	=	to impedance test
o	=	quantities pertaining to no-load test or operation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
17	25	380	378.5	380.8	220	218.7	219.5	2.28	2.06	2.17	100	100	60	50	-	1497	-
17.30	36.8	380	378.2	380	220.3	218.5	220	2.25	2.06	2.17	100	100	60	50	-	1497	-
18	39	377	375	377	218.2	217	217.8	2.22	2.02	2.13	90	90	60	50	-	1497	-
18.3	40.5	380	377	380	220	218.7	219	2.25	2.04	2.15	100	100	60	50	-	1499	-
19	40.5	379.7	376.5	379	220	218.5	219	2.29	2.05	2.16	100	100	60	50	-	1497	-
17	25	380	378.5	380.8	220	218.7	219.5	2.28	2.06	2.17	100	100	60	50	-	1497	-

ก-1 ตารางผลการทดสอบ Method B No-load test ในการทดสอบครั้งที่ 1

%V	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
100	40.5	380	377.5	383	221.5	219.5	219.7	2.28	2.1	2.15	100	100	60	50	-	1497	-
80	40.5	304	302	305	177	174	175	1.42	1.34	1.37	41	53	35	50	-	1497	-
60	40.5	228	226.6	228.2	132.1	131.1	131.8	0.95	0.93	0.96	22	32	22	50	-	1497	-
40	40.5	152	151.6	154	88.8	87.7	89.5	0.62	0.61	0.68	11	19	14	50	-	1497	-
20	40.5	76	75.3	77	44	44.5	45	0.31	0.34	0.42	3	10	6	50	-	1497	-

ล-2 ตารางผลการทดสอบ No-load ลดแรงดัน ในการทดสอบครั้งที่ 1

Time	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
11.3	48.3	384	380	380	219	224	222	4.41	4.48	4.59	900	970	850	50	15.19	1418	1824
12	73.6	379	383	376	217	221	219	4.38	4.66	4.65	860	940	830	50	14.6	1415	1711
12.3	86.2	378	380	378	221	223	222	4.43	4.47	4.4	880	900	860	50	14.6	1414	1785
13	86.9	382	383	381	220	221	220	4.43	4.4	4.4	900	880	860	50	14.3	1409	1786

ก-3 ตารางผลการทดสอบ Rated load temperature test ในการทดสอบครั้งที่ 1

ความต้านทานขดลวดหลังการทดลอง

$$R-Y = 7.46\Omega$$

$$Y-B = 7.44\Omega$$

$$R-B = 7.42\Omega$$

%load	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
101.5	75.5	373	374	372	215	216	216	4.69	4.63	4.68	930	920	900	50	15.28	1407	2160
83.32	75.5	371	372	370	216	216	215	3.99	3.89	3.92	750	750	750	50	12.54	1426	1520
64.46	74.2	374	374	372	217	218	218	3.24	3.22	3.24	580	570	570	50	9.702	1447	1200
42.32	64.3	380	381	380	219	219	220	2.65	2.63	2.7	400	390	400	50	6.37	1468	678
18.23	58.4	380	381	380	220	220	220	2.28	2.25	2.33	230	200	200	50	9.744	1487	224

ก-4 ตารางผลการทดสอบ Under load test ในการทดสอบครั้งที่ 1

Time	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
13.3	43.1	379	380	379	219	220	219	2.31	2.33	2.3	90	80	80	50	-	1498	-
14.00	40.8	381	381	380	220	220	219	2.35	2.32	2.34	90	80	80	50	-	1498	-
14.3	40.1	381	381	380	220	220	220	2.35	2.35	2.33	90	80	80	50	-	1498	-

ก-5 ตารางผล การทดสอบ Method B No-load test ในการทดสอบครั้งที่ 2

%V	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
100	39.9	379	380	379	219	220	219	2.29	2.34	2.35	100	70	80	50	-	1498	-
80	35.5	309	310	309	178	179	179	1.45	1.5	1.52	60	38	45	50	-	1498	-
60	30.5	226	227	226	131	131	131	0.95	0.99	0.99	32	22	25	50	-	1498	-
40	30.6	154	155	154	88	88	88	0.63	0.65	0.66	18	13	14	50	-	1498	-
20	29.1	88.7	89	88.5	45	44.4	44.8	0.38	0.41	0.4	7	6	7	50	-	1498	-

ค-6 ตารางผลการทดสอบ No-load สดแรงดัน ในการทดสอบครั้งที่ 2

Time	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
11	25	378	378	377	213	213	207	4.97	5	4.99	950	940	930	50	15.68	1418	2405
11.3	83.3	370	377	375	217	205	206	4.7	4.72	4.75	920	850	840	50	14.896	1415	1807
12	89.9	381	382	380	204	202	199	4.64	4.67	4.69	840	820	800	50	14.994	1414	1797.8
12.3	89.9	373	375	374	213	216	201	4.58	4.62	4.63	880	880	810	50	14.602	1409	1760

ก-7 ตารางผลการทดสอบ Rated load temperature test ในการทดสอบครั้งที่ 2

ความต้านทานขดลวดหลังการทดสอบ

$$R-Y = 7.74\Omega$$

$$Y-B = 7.81\Omega$$

$$R-B = 7.77\Omega$$

%load	Temp °C	V _{line} (V)			V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			f (Hz)	Torque output (N.m)	n _r (rpm)	Power output (W)
		V _{a-b}	V _{b-c}	V _{c-a}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _a	I _b	I _c	P _a	P _b	P _c				
104.2	80.5	380	381	379	217	219	218	4.89	4.91	4.91	960	950	930	50	15.68	1400	1890
93.75	80.3	379	381	380	219	220	219	4.43	4.42	4.46	860	850	830	50	14.11	1412	1710
75.48	74.4	380	381	380	219	220	220	3.74	3.74	3.79	680	680	670	50	11.36	1433	1401
56.07	68.5	381	381	380	219	220	220	3.06	3.09	3.1	520	510	490	50	8.44	1454	1020
33.5	57.3	380	381	379	219	220	220	2.51	2.54	2.53	330	320	310	50	5.05	1474	561

ค-8 ตารางผลการทดสอบ Under load test ในการทดสอบครั้งที่ 2



ภาคผนวก ง

ผลการคำนวณใน Form B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าในการทดสอบครั้งที่ 1

Item	Description(Motoring)(Generating)	101.50%	83.32%	64.46%	42.32%	18.23%	หมายเหตุ
6	Ambient Temperature , in $^{\circ}\text{C}$	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
7	Stator Windage Temperature, in $^{\circ}\text{C}$	75.50	75.50	74.20	64.30	58.40	
8	Frequency , in Hz	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	
9	Synchronous Speed , in r/min	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	
10	Slip Speed , in r/min	93.00	74.00	53.00	32.00	13.00	
11	Speed , in r/min	1407.00	1426.00	1447.00	1468.00	1487.00	
12	Line-to-Line Voltage , in V	374.00	372.00	374.00	381.00	381.00	
13	Line Current , in A	4.63	3.89	3.22	2.63	2.25	
14	Stator Power , in W	2750.00	2250.00	1720.00	1190.00	630.00	
15	Core Loss , in W	215.36	215.36	215.36	215.36	215.36	
16	Stator I^2R Loss , in W , at $(t_i) ^{\circ}\text{C}$	285.79	201.74	137.65	88.88	63.77	
17	Power Across Air Gap , in W	2248.85	1832.90	1366.99	885.76	350.87	
18	Rotor I^2R Loss , in W	139.43	90.42	48.30	18.90	3.04	
19	Friction and Windage Loss , in W	1.78	1.78	1.78	1.78	1.78	
20	Total Conventional Loss , in W	642.36	509.30	403.09	324.91	283.95	
21	Torque _____*	15.28	12.54	9.70	6.37	2.74	
22	Dynamometer Correction _____*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	Correct Torque _____*	15.28	12.54	9.70	6.37	2.74	
24	Shaft Power , in W	2251.44	1872.66	1470.18	979.28	426.68	
25	Apparent Total Loss , in W	498.56	377.34	249.82	210.72	203.32	
26	Stray-Load Loss , in W	-143.79	-131.96	-153.27	-114.20	-80.63	
27	Stator I^2R Loss , in W at $(t_i) ^{\circ}\text{C}$	239.88	169.33	116.02	77.40	56.65	
28	Corrected Power Across Air Gap, in W	2587.16	2102.99	1572.15	1049.48	427.17	
29	Corrected Slip , in r/min	104.85	83.43	60.00	37.43	15.51	
30	Corrected Speed , in r/min	1395.15	1416.57	1440.00	1462.57	1484.49	
31	Rotor I^2R Loss , in W at $(t_i) ^{\circ}\text{C}$	180.84	116.97	62.89	26.19	4.42	
32	Corrected Stray-Load Loss , in W	-153.02	-135.71	-121.37	-109.21	-101.70	
33	Corrected Total Loss , in W	484.84	367.72	274.68	211.51	176.50	
34	Corrected Shaft Power , in W	2265.16	1882.28	1445.32	978.49	453.50	
35	Shaft Power , in hp	3.04	2.52	1.94	1.31	0.61	
36	Efficiency , in %	82.37	83.66	84.03	82.23	71.98	
37	Power Factor , in %	91.69	89.77	82.46	68.57	42.43	

รูปที่ 1 ตารางผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยบริษัท สยาม สวิตช์ จำกัด ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าในการทดสอบครั้งที่ 2

Item	Description(Motoring)(Generating)	104.20%	93.75%	75.48%	53.07%	33.55%	หมายเหตุ
6	Ambient Temperature , in °C	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	
7	Stator Windage Temperature, in °C	80.50	80.30	74.40	68.50	57.30	
8	Frequency , in Hz	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	
9	Synchronous Speed , in r/min	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	1500.00	
10	Slip Speed , in r/min	100.00	88.00	67.00	46.00	26.00	
11	Speed , in r/min	1400.00	1412.00	1433.00	1454.00	1474.00	
12	Line-to-Line Voltage , in V	380.00	379.00	380.00	381.00	380.00	
13	Line Current , in A	4.89	4.43	3.74	3.06	2.51	
14	Stator Power , in W	2840.00	2540.00	2030.00	1520.00	960.00	
15	Core Loss , in W	195.95	195.95	195.95	195.95	195.95	
16	Stator I ² R Loss , in W , at (t _i) °C	267.33	219.26	153.35	100.69	65.25	
17	Power Across Air Gap , in W	2376.72	2124.79	1680.70	1223.36	698.80	
18	Rotor I ² R Loss , in W	158.45	124.65	75.07	37.52	12.11	
19	Friction and Windage Loss , in W	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	
20	Total Conventional Loss , in W	624.57	542.71	427.21	337.00	276.15	
21	Torque *	15.68	14.11	11.36	8.44	5.05	
22	Dynamometer Correction *	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	Correct Torque *	15.68	14.11	11.36	8.44	5.05	
24	Shaft Power , in W	2298.88	2086.43	1704.77	1285.14	779.53	
25	Apparent Total Loss , in W	541.12	453.57	325.23	234.86	180.47	
26	Stray-Load Loss , in W	-83.45	-89.14	-101.98	-102.14	-95.68	
27	Stator I ² R Loss , in W at (t _i) °C	267.58	219.60	156.52	104.78	70.50	
28	Corrected Power Across Air Gap, in W	2636.75	2358.62	1898.01	1406.39	830.69	
29	Corrected Slip , in r/min	110.95	97.70	75.81	53.06	31.14	
30	Corrected Speed , in r/min	1389.05	1402.30	1424.19	1446.94	1468.86	
31	Rotor I ² R Loss , in W at (t _i) °C	195.04	153.63	95.92	49.75	17.25	
32	Corrected Stray-Load Loss , in W	-86.13	-89.34	-94.14	-98.11	-101.25	
33	Corrected Total Loss , in W	575.28	482.68	357.09	255.21	185.28	
34	Corrected Shaft Power , in W	2264.72	2057.32	1672.91	1264.79	774.72	
35	Shaft Power , in hp	3.04	2.76	2.24	1.70	1.04	
36	Efficiency , in %	79.74	81.00	82.41	83.21	80.70	
37	Power Factor , in %	88.24	87.35	82.47	75.27	58.11	

รูปที่ 2 ตารางผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้