

การศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

A Study of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods



4

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

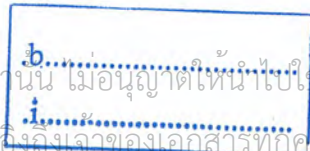
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 49882

วันเดือนปี 5-2-2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงหรือทำซ้ำจะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ  
A Study of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

A Study of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods

ผู้จัดทำ

1. นายจิตรถกล กนกศิริมา รหัสประจำตัว 42010058
2. นายภารাত্র คุณาสันตวรกุล รหัสประจำตัว 42010256
3. นายสิทธิชัย หอระตะ รหัสประจำตัว 42010381



  
(ผศ.ดร.ชัยวุฒิ นัตถกุลชัย)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

นายจิตรถกต กนกศิริมา รหัสประจำตัว 42010058

นายภาราคร คุณาตันติวรกุล รหัสประจำตัว 42010256

นายสิทธิชัย หอระตะ รหัสประจำตัว 42010381

ผศ.ดร.ชัชวดี ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2545

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยทั่วไปแล้วการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ทำได้โดยคำนวณจากปายพิคัด และวิธีคำนวณจากสลิป ซึ่งวิธีดังกล่าวจะมีความถูกต้องแม่นยำน้อย อีกวิธีหนึ่งทำได้โดยใช้วิธีการทดสอบ ไร้ภาระ และยึด โรเตอร์ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ จากวงจรสมมูลย์นำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีนี้เป็นการยุ่งยากในกรณีที่มอเตอร์ใช้งานอยู่ ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดยใช้จูนดิคอัลกอริทึม ซึ่งวิธีนี้ไม่ต้องหยุดโรเตอร์ไปทดสอบด้วยวิธีไร้ภาระและยึดโรเตอร์ โดยวิธีนี้ใช้ข้อมูลจากอินพุทโดยทดสอบมอเตอร์ 1 แรงม้า และ 3 แรงม้า จากนั้นทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยวิธีการต่างๆ และวิธีจูนดิคอัลกอริทึมนี้จะมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 % จากการทดสอบภาระ

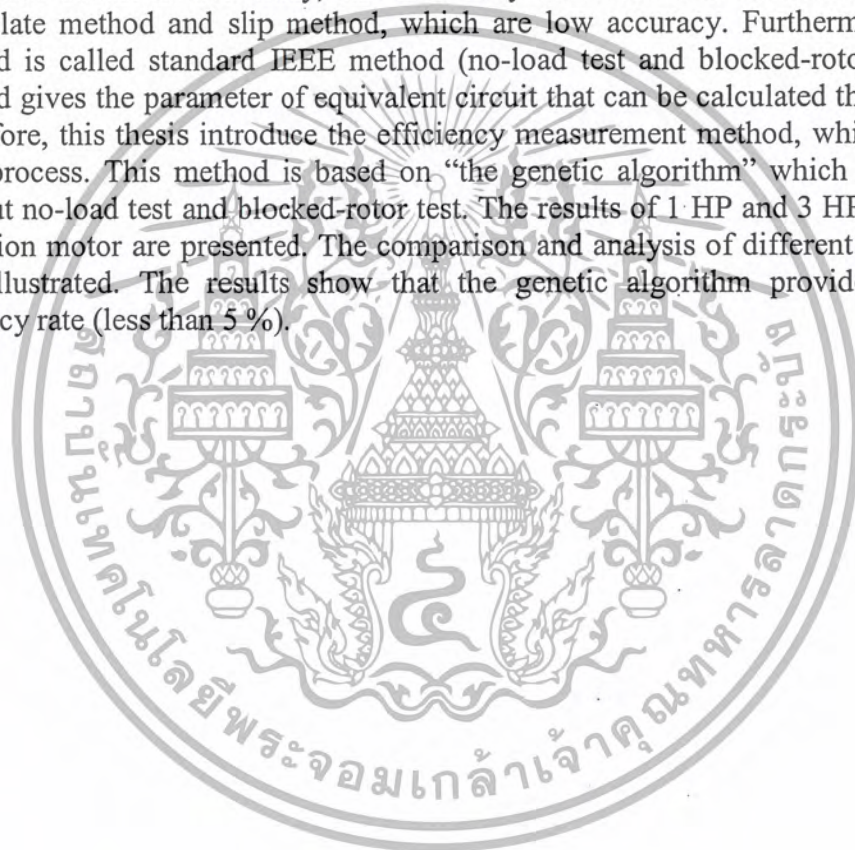
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## A Study of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods

Jitthakol Kanoksirima  
Paradon Kunasantiworagul  
Sittichai Holata  
Assist.Prof.Dr.Chaiwut Chat-uthai Advisor  
2002

### Abstract

This thesis is a study of induction motor three-phase field efficiency evaluation methods. Normally, the efficiency of motor can be defined by 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. Therefore, this 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 and 3 HP three-phase induction motor are presented. The comparison and analysis of different methods are also illustrated. The results show that the genetic algorithm provides the good accuracy rate (less than 5 %).



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร.ชัชวาลย์ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ นายวรชาติ แซ่ก๊ก และนายสุนัน หนองเหล็ก ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์นี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.1 บทนำ	4
2.2 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.3 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.4 การสูญเสียและไดอะแกรมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	13
2.5 กระบวนการพื้นฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ	16
2.6 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยใช้เทคนิคจันติกอัลกอริธึม	19
บทที่ 3 การทดสอบและผลการทดสอบ	22
3.1 การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบ โหลดไฟฟ้า	23
3.2 การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบ โหลดทางกล (เชือกแห้ง)	29
3.3 การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบ โหลดทางกล (เชือกเปียก)	35
3.4 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996	40
3.5 ตัวอย่างวิธีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ โดยวิธี slip method	41
3.6 การเปรียบเทียบการทดสอบภาระมอเตอร์ (Load test) แบบต่างๆ	43
บทที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีจันติกอัลกอริธึม	48
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบ	49
บทที่ 5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบ	65
บทที่ 6 บทสรุป	73
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลบน nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ	17
ตารางที่ 3-1 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ขณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 2	25
ตารางที่ 3-2 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ขณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 3	26
ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ขณะรับโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ครั้งที่ 2	31
ตารางที่ 3-4 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ขณะรับโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ครั้งที่ 2	32
ตารางที่ 3-5 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ขณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 2	36
ตารางที่ 3-6 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ขณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 1	37
ตารางที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า	50
ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า	51
ตารางที่ 4-3 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์เชือกแห้ง 1 แรงม้า ที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม	52
ตารางที่ 4-4 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์เชือกแห้ง 1 แรงม้า ที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม	52
ตารางที่ 4-5 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์เชือกแห้ง 1 แรงม้า ที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม	53
ตารางที่ 4-6 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์เชือกเปียก 1 แรงม้า ที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม	54
ตารางที่ 4-7 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์เชือกเปียก 1 แรงม้า ที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม	54
ตารางที่ 4-8 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์เชือกเปียก 1 แรงม้า ที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม	55
ตารางที่ 4-9 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ gen 1 แรงม้า ที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4-10 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ gen 1 แรงม้า ที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม	56
ตารางที่ 4-11 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ gen 1 แรงม้า ที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม	56
ตารางที่ 4-12 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชือกแห้ง 1 แรงม้า ที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม	57
ตารางที่ 4-13 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชือกแห้ง 1 แรงม้า ที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม	57
ตารางที่ 4-14 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชือกแห้ง 1 แรงม้า ที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม	58
ตารางที่ 4-15 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชือกเปียก 1 แรงม้า ที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม	59
ตารางที่ 4-16 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชือกเปียก 1 แรงม้า ที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม	59
ตารางที่ 4-17 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชือกเปียก 1 แรงม้า ที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม	60
ตารางที่ 4-18 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 1 แรงม้า ที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม	61
ตารางที่ 4-19 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 1 แรงม้า ที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม	61
ตารางที่ 4-20 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 1 แรงม้า ที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม	61

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	4
รูปที่ 2-2 โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (squirrel cage rotor)	5
รูปที่ 2-3 วงจรสมมูลย์ทางด้าน สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	7
รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลย์ทางด้าน โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่สลิป	9
รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสมบูรณ (Exact equivalent circuit)	10
รูปที่ 2-6 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าต่อเฟสแบบประมาณ (Approximate equivalent circuit)	11
รูปที่ 2-7 แผนภูมิการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	13
รูปที่ 2-8 ค่าประสิทธิภาพ เทียบกับ Load curves	16
รูปที่ 2-9 แสดงประสิทธิภาพเมื่อคิดจกค่าความแตกต่าง 20 % ของความเร็วรอบจาก nameplate ของมอเตอร์ ตามมาตรฐาน NEMA	18
รูปที่ 2-10 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบประมาณ ที่ใช้ในจันติกอัลกอริธึม	19
รูปที่ 2-11 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ ที่ใช้ในจันติกอัลกอริธึม	20
รูปที่ 2-12 แผนภูมิแสดงกระบวนการของวิธีจันติกอัลกอริธึม	21
รูปที่ 3-1 วงจรในการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดไฟฟ้า	23
รูปที่ 3-2 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับ โหลดทางไฟฟ้า	27
รูปที่ 3-3 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับ โหลดทางไฟฟ้า	28
รูปที่ 3-4 การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบ โหลดทางกล	29
รูปที่ 3-5 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับ โหลดทางกล (เชือกแห้ง)	33
รูปที่ 3-6 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับ โหลดทางกล (เชือกแห้ง)	34
รูปที่ 3-7 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับ โหลดทางกล (เชือกเปียก)	38
รูปที่ 3-8 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับ โหลดทางกล (เชือกเปียก)	39
รูปที่ 3-9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ขณะรับ โหลดกับผลของวงจร สมมูลย์แบบประมาณและแบบสมบูรณ	44
รูปที่ 3-9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ขณะรับ โหลดกับผลของวงจร สมมูลย์แบบประมาณและแบบสมบูรณ(ต่อ)	45
รูปที่ 3-10 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ขณะรับ โหลดกับผลของวงจร สมมูลย์แบบประมาณและแบบสมบูรณ	46
รูปที่ 3-10 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ขณะรับ โหลดกับผลของวงจร สมมูลย์แบบประมาณและแบบสมบูรณ(ต่อ)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-1 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบเชือกแห้ง ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า	62
รูปที่ 4-2 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบเชือกเปียก ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า	63
รูปที่ 4-3 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบ gen ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า	64
รูปที่ 5-1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางกล (เชือกแห้ง)	67
รูปที่ 5-2 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางกล (เชือกเปียก)	67
รูปที่ 5-3 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางไฟฟ้า (gen)	68
รูปที่ 5-4 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางกล (เชือกแห้ง)	71
รูปที่ 5-5 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางกล (เชือกเปียก)	71
รูปที่ 5-6 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางไฟฟ้า (gen)	72
รูปที่ 6-1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระ โหลดทางไฟฟ้า (gen)	74

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากปัจจุบันในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีการติดตั้งมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นส่วนใหญ่ ในกระบวนการการผลิตหรือระบบต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะสำหรับวิศวกรที่อยู่หน้างานขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีการใช้งานอยู่ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาการจัดการมอเตอร์ที่ถูกต้อง การประมาณค่าประสิทธิภาพการทำงาน ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และการแก้ไขมอเตอร์ในส่วนต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โครงการนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง โดยวิธี nameplate method, slip method และศึกษาถึงแนวทางในการนำวิธีจินตคณิตอัคริธีมเข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลทั้ง 2 แบบ คือ วงจรสมมูลแบบประมาณและวงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการทดสอบที่ยุ่งยากและซับซ้อนและง่ายต่อการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องนำโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์เหนี่ยวนำออกขณะทำการทดสอบ ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่ากระแสอินพุท, แรงดันอินพุท, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำเพียงสามจุดที่ได้จากการทำงานก็จะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลได้ ซึ่งจะสามารถนำไปพิจารณาคุณลักษณะของมอเตอร์ต่อไป

โดยผลที่ได้จากการศึกษา จะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Load test) ในแบบ โหลดทางไฟฟ้า, แบบ โหลดทางกล (เชือกเปียกและเชือกแห้ง) และผลที่ได้จากวงจรสมมูลแบบประมาณ, วงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1] ต่อไป

การประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ในขณะที่ใช้งานจริงนั้นจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่สามารถปรับให้เข้ากับสภาวะใช้งานจริง เพื่อให้ได้ผลของการประเมินค่าประสิทธิภาพให้ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินค่าประสิทธิภาพ เช่น เครื่องมือวัด, ผู้ทำการวัด และสิ่งแวดล้อม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ให้นักศึกษามีความเข้าใจในหลักการการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและสามารถนำทฤษฎีที่ศึกษามาใช้ได้

1.2.2 ให้นักศึกษามีความเข้าใจและทำการทดสอบภาระมอเตอร์ (Load test) ทั้งแบบ โหลดทางไฟฟ้า, โหลดทางกล และการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลแบบประมาณ, วงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 เพื่อเป็นการนำเสนอแนวคิด และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวิธีจินตคติอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง

1.2.4 ให้นักศึกษาสามารถทำงานเป็นกลุ่มและนำเสนอผลงานได้

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดยวิธี nameplate method และ slip method

1.3.2 ศึกษาวิธีการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1]

1.3.3 ศึกษาแนวทางและนำวิธีจินตคติอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบประมาณและแบบวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง

1.3.4 ทำการทดสอบภาระมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Load test) ในแบบโหลดทางไฟฟ้า, แบบโหลดทางกล (เชือกเปียกและเชือกแห้ง) และทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1] โดยทำการทดสอบกับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าและ 3 แรงม้า

1.3.5 เปรียบเทียบผลที่ได้จากวิธีจินตคติอัลกอริทึมกับผลที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Load test) ในแบบโหลดทางไฟฟ้า, แบบโหลดทางกล (เชือกเปียกและเชือกแห้ง) และผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1]

### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการวิจัยโดยมีการกำหนดขั้นตอนรายละเอียดต่าง ๆ เป็นลำดับดังต่อไปนี้

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และการวิเคราะห์วงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์และแบบประมาณ รวมถึงวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยวิธี nameplate method, slip method จากนั้นจะศึกษาแนวทางการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยนำเอาวิธีจินตคติอัลกอริทึม เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์และแบบประมาณ เพื่อใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

บทที่ 3 เป็นเรื่องเกี่ยวกับการทดสอบภาระมอเตอร์ (Load test) โดยมีการทดสอบแบบ โหลดทางไฟฟ้าและโหลดทางกล (เชือกเปียกและเชือกแห้ง) และการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1] พร้อมทั้งแสดงผลการทดสอบที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ในบทนี้จะนำเอาข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในบทที่ 3 มาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ด้วยวิธีจีเนติกอัลกอริทึม พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์และผลที่ได้จากวิธีจีเนติกอัลกอริทึม

บทที่ 5 ในบทนี้จะเน้นวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากวิธีจีเนติกอัลกอริทึมกับผลที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์ (Load test) และผลที่ได้จากวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์และวงจรสมมูลย์แบบประมาณตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1]

บทที่ 6 ซึ่งเป็นบทสุดท้ายจะเป็นการสรุปการทำงาน ผลที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้ และแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้เพิ่มเติม และแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการวิจัยต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

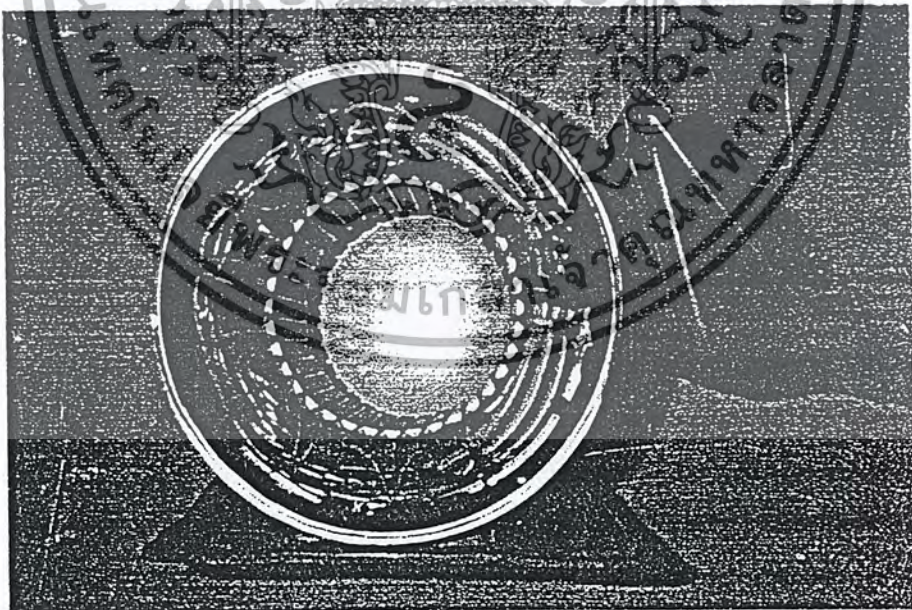
# ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

### 2.1 บทนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (three phase induction motor) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ (alternating current machine) โดยอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันแบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้มีราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลน้อย แข็งแรงทนทาน ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ 1. สเตเตอร์ (stator) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ และ 2. โรเตอร์ (rotor) ซึ่งเป็นส่วนที่มีการหมุน โดยแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1.1 สเตเตอร์ (Stator)

สเตเตอร์เป็นส่วนที่อยู่หนึ่งมีแกนเป็นแผ่นลามีเนตประกบกันซึ่งทำมาจากเหล็กกล้าซิลิคอน (silicon steel) และมีขดลวดอาร์เมเจอร์ (armature) ฝังตัวอยู่ในร่องสลิตของแกนเหล็ก โดยขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีการพันขดลวดแบบกระจายเพื่อทำให้เกิดการกระจายสนามแม่เหล็กแบบไซน์ซอยด์ (sinusoidal) ซึ่งรูปร่างของสเตเตอร์แสดงดังรูปที่ 2-1



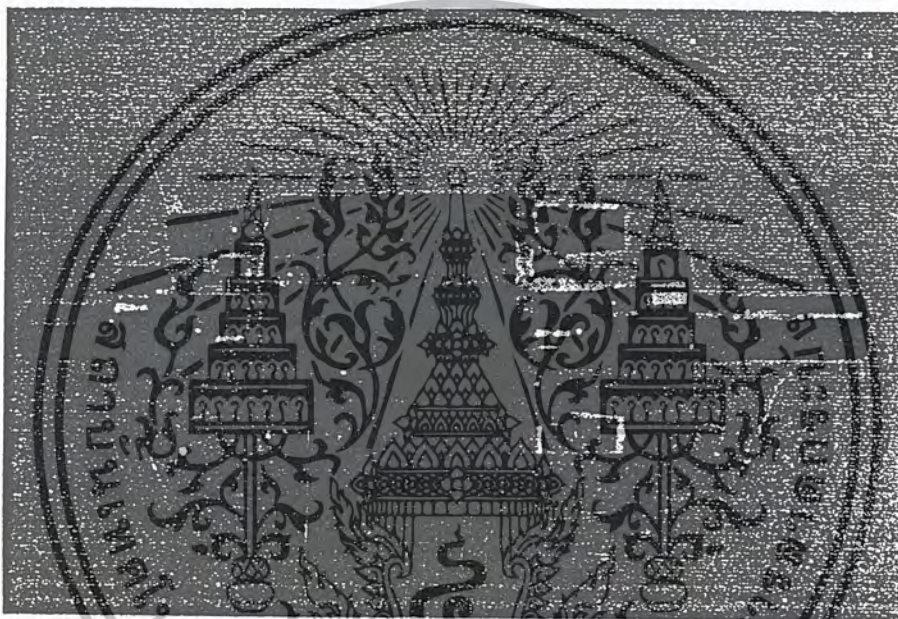
รูปที่ 2-1 สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

## 2.1.2 โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโรเตอร์ชนิดไม่มีขั้วยื่น (non-salient-pole) ทรงกระบอก (cylindrical rotor) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

### 2.1.2.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor)

โรเตอร์ประเภทนี้จะมีความแข็งแรงทางกลสูงและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับโรเตอร์แบบขดลวดพันรอบ (wound rotor) ส่วนประกอบของโรเตอร์จะมีแท่งตัวนำซึ่งมีการต่อลัดวงจรทางด้านหัวและท้ายของแท่งตัวนำ แท่งตัวนำดังกล่าวจะฝังตัวอยู่ในเหล็กกล้าซิลิคอน (silicon steel) โดยชนิดของแท่งตัวนำจะเป็นอลูมิเนียมหรือทองแดงขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังของมอเตอร์ ในกรณีมอเตอร์ขนาดเล็กกว่า 250 kW จะใช้อลูมิเนียมเป็นแท่งตัวนำ ถ้าขนาดพิกัดสูงกว่า 250 kW จะใช้ทองแดงเป็นแท่งตัวนำ [2]



รูปที่ 2-2 โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (squirrel cage rotor)

### 2.1.2.2 โรเตอร์แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ (Wound Rotor)

โรเตอร์ประเภทนี้มีขดลวดพันอยู่ในร่องสลิตเช่นเดียวกับสเตเตอร์ โดยส่วนปลายของขดลวดจะต่ออยู่กับแหวนลื่น (slip ring) และมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่โดยแปรงถ่านจะต่ออยู่กับวงจรรภายนอกเพื่อทำการต่อวงจรแบบสตาร์หรือเดลต้า มอเตอร์ที่มีโรเตอร์ประเภทนี้มีข้อจำกัดคือจะต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับจำนวนขั้วของสเตเตอร์และไม่สามารถหมุนเร็วมากได้เนื่องจากความแข็งแรงทางกลต่ำ นอกจากนี้ยังมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโรเตอร์แบบกรงกระรอก แต่ข้อดีของโรเตอร์ประเภทนี้คือสามารถกำหนดแรงบิดขณะสตาร์ทได้โดยอาศัยการต่อความต้านทานภายนอก

## 2.2 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทกระตุ้นเดี่ยว (singly excited) ซึ่งอาศัยการป้อนพลังงานเข้าทางสเตเตอร์ พลังงานดังกล่าวจะถูกส่งไปยังโรเตอร์โดยอาศัยการเหนี่ยวนำเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้า ผ่านช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์

เมื่อมีการป้อนแรงดันให้แก่สเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่ช่องว่างอากาศซึ่งสนามแม่เหล็กดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ดังสมการ

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

โดยที่  $N_s$  = ความเร็วซิงโครนัสของสนามแม่เหล็ก (rpm)  
 $f$  = ความถี่ของแหล่งจ่าย (Hz)  
 $P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์

ในกรณีที่มีการป้อนแรงดันให้แก่สเตเตอร์และทำการล๊อคโรเตอร์ให้อยู่กับที่จะเกิดกระแสเหนี่ยวนำไหลในโรเตอร์ตามหลักของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งความถี่ของแรงดันและกระแสทางด้านโรเตอร์มีค่าเท่ากับทางด้านสเตเตอร์ ระดับของแรงดันและกระแสของโรเตอร์จะแปรตามอัตราส่วนรอบ (turn ratio) ระหว่าง สเตเตอร์และโรเตอร์ ในสถานะนี้มีมอเตอร์เหนี่ยวนำมีสภาพเหมือนหม้อแปลงที่มีการลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ (secondary) แต่ถ้าหากว่ามีการขับโรเตอร์ของมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ ดังนั้นจึงไม่เกิดกระแสไหลในมอเตอร์ทำให้ไม่เกิดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic torque) แต่ถ้าโรเตอร์หมุนที่ความเร็วใดๆ ในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนและมีค่าน้อยกว่าความเร็วซิงโครนัส จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ทำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ซึ่งความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสและความเร็วรอบของโรเตอร์เรียกว่าสลลิป (slip) ในการอธิบายค่าสลลิปจะแสดงอยู่ในรูปสมการของเปอร์เซ็นต์สลลิป (per-unit slip) ดังสมการที่ 2.2 [3]

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2.2)$$

## 2.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

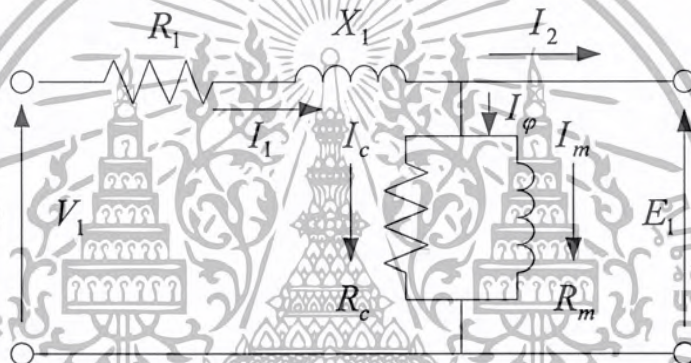
รูปแบบหนึ่งในการพิจารณารูปคลื่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงเคลื่อนแม่เหล็กคือการพิจารณาจากวงจรสมมูลโดยพิจารณาให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้รับการกระตุ้นจากแหล่งจ่ายแรงดันสมดุล ในการพิจารณาวงจรสมมูลนั้น จะทำการพิจารณาแยกเป็นเฟสไปโดยกำหนดให้มีการต่อวงจรของมอเตอร์เป็นแบบสตาร์และแรงดันที่ปรากฏที่ขั้วของวงจรสมมูลเป็นแรงดันเฟสส่วนกระแสเป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไลน์ ลักษณะของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเหมือนกับหม้อแปลงโดยเริ่มพิจารณาจากทางด้านสเตเตอร์ก่อน โดยสมการซึ่งอธิบายวงจรสมมูลย์ทางด้านสเตเตอร์เป็นดังนี้

$$V_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1) \quad (2.3)$$

โดยที่  $V_1$  = แรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์ (V)  
 $E_1$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสร้างจากฟลักซ์แม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศ (V)  
 $I_1$  = กระแสสเตเตอร์ (A)  
 $R_1$  = ความต้านทานทางด้านสเตเตอร์ ( $\Omega$ )  
 $X_1$  = ค่า reactance ที่สเตเตอร์ ( $\Omega$ )



รูปที่ 2-3 วงจรสมมูลย์ทางด้านสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ฟลักซ์แม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศถูกสร้างจากผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งจากรูปที่ 2.3 กระแสสเตเตอร์  $I_1$  สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน โดยส่วนแรกคือส่วนประกอบทางด้านภาระ (load component)  $I_2$  ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อสร้างแรงเคลื่อนสนามแม่เหล็กทางด้านโรเตอร์ และส่วนที่สองคือ ส่วนประกอบทางด้านกระตุ้นหรือกระแสกระตุ้น (exciting component)  $I_\phi$  ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยในการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กในช่องว่างอากาศและเป็นฟังก์ชันของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $E_1$  กระแสกระตุ้นแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกอยู่ในรูปการสูญเสียที่แกนเหล็ก (core loss component)  $I_c$  ซึ่งจะมีเฟสทับกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $E_1$  ส่วนที่สองอยู่ในรูปของกระแสที่สร้างสนามแม่เหล็ก  $I_m$  ซึ่งจะล่าหลัง  $E_1$  อยู่ 90 องศา ซึ่งในวงจรสมมูลย์จะแสดงการสูญเสียในแกนเหล็กในรูปของ  $R_c$  ต่อขนานอยู่กับส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กในรูปของ  $X_m$  ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะต่ออยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $E_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาโรเตอร์ที่ความเร็วรอบและฟลักซ์เดียวกัน โดยใช้หลักการเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการ transfer ส่วนประกอบทางด้าน secondary มาด้าน primary โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ secondary และ primary ในรูปของ turn ratio

$$E_{2s} = aE_{rotor} \quad (2.4)$$

โดยที่  $E_{2s}$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงจรสมมูลของโรเตอร์  
 $E_{rotor}$  = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจริงที่โรเตอร์  
 $a$  = turn ratio

ในส่วน of ความสัมพันธ์ทางด้านกระแสเช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสจริงที่โรเตอร์  $I_{rotor}$  และกระแสในวงจรสมมูลของโรเตอร์  $I_{2s}$  เป็นดังสมการที่ 2.5

$$I_{2s} = \frac{I_{rotor}}{a} \quad (2.5)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.4 มาหารด้วยสมการที่ 2.5 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า impedance ของวงจรสมมูลของโรเตอร์  $Z_{2s}$  และค่า impedance ของวงจรโรเตอร์จริง  $Z_{rotor}$

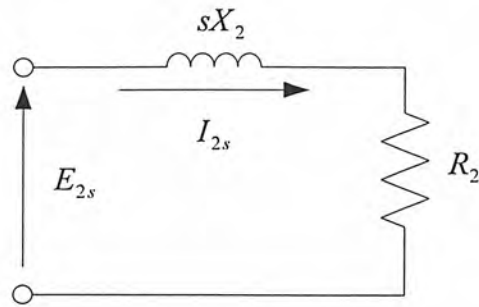
$$Z_{2s} = \frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{a^2 E_{rotor}}{I_{rotor}} = a^2 Z_{rotor} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.4, 2.5 และ 2.6 ค่า  $E_{2s}$ ,  $I_{2s}$ , และ  $Z_{2s}$  เป็นค่าที่ได้จากการ transfer ตัวแปรและพารามิเตอร์ทางด้าน โรเตอร์มาทางด้าน โรเตอร์มาทางสเตเตอร์โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลงโดยมองจากกรอบอ้างอิงของโรเตอร์ (rotor reference frame) โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.7

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = Z_{2s} = R_2 + jsX_2 \quad (2.7)$$

โดยที่  $Z_{2s}$  = ค่า impedance ของโรเตอร์ที่ความถี่สลิปอ้างอิงสู่ด้านสเตเตอร์  
 $R_2$  = ค่าความต้านทานของโรเตอร์อ้างอิงสู่ด้านสเตเตอร์  
 $sX_2$  = ค่า reactance ของโรเตอร์อ้างอิงสู่ด้านสเตเตอร์ที่ความถี่สลิป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลย์ทางด้านโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่สลิป

จากสมการที่ 2.7 จะได้ว่า reactance มีค่าแปรผันกับค่าสลิปของมอเตอร์โดยที่  $X_2$  เป็นค่า reactance ที่ความถี่เดียวกับสเตเตอร์ เมื่อมองโรเตอร์จาก กรอบอ้างอิงของโรเตอร์ (rotor reference frame) จะได้ว่าวงจรสมมูลย์ดังแสดงในรูปที่ 2-3-1

เมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆของโรเตอร์โดยมองจากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์ (stator reference frame) พบว่าเมื่อมองจากด้านสเตเตอร์จะพบว่ารูปคลื่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะหมุนด้วยความเร็วเชิงโคโรนัส โดยฟลักซ์แม่เหล็กดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์  $E_1$  และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์  $E_{2s}$  ซึ่งหากว่าไม่มีผลจากความเร็วของโรเตอร์ (โรเตอร์หยุดนิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสเตเตอร์) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้าน โรเตอร์จะเท่ากับที่สเตเตอร์ แต่เนื่องจากโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วใดๆทำให้มีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์เท่ากับ  $s$  ซึ่งส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านโรเตอร์มีความสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านสเตเตอร์ดังสมการที่ 2.8

$$E_{2s} = sE_1 \quad (2.8)$$

ในส่วนประกอบทางด้านภาระ (load component)  $I_2$  ของกระแสทางด้านสเตเตอร์ใช้สำหรับสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อต่อต้านแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้าน โรเตอร์เพื่อรักษาระดับฟลักซ์แม่เหล็กในช่องว่างอากาศไว้ และเนื่องจากสมมติให้จำนวนรอบขดลวดทางด้าน โรเตอร์และสเตเตอร์มีจำนวนเท่ากัน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง  $I_2$  และ  $I_{2s}$  เป็นดังสมการที่ 2.9

$$I_{2s} = I_2 \quad (2.9)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.8 มารวบรวมสมการที่ 2.9 จะได้

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_1}{I_2} \tag{2.10}$$

เมื่อนำผลของความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเข้ามาพิจารณาร่วมกับสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.10 จะได้ความสัมพันธ์

$$\frac{sE_2}{I_2} = \frac{E_{2s}}{I_{2s}} = R_2 + jsX_2 \tag{2.11}$$



รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสมบูรณ์ (Exact equivalent circuit)

เมื่อนำค่าสลิปหารทั้งสองของสมการที่ 2.11 จะได้

$$\frac{E_1}{I_2} = \frac{R_2}{s} + jX_2 \tag{2.12}$$

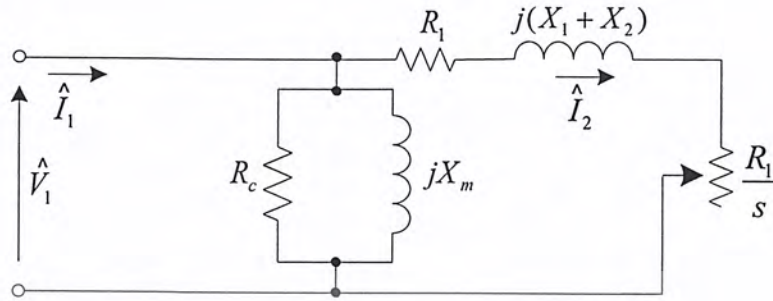
เป็นการพิจารณาองค์ประกอบของโรเตอร์จากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์

เมื่อพิจารณาทางกายภาพพบว่าสัญญาณไฟฟ้าบนโรเตอร์ซึ่งมีความถี่  $sf$  โดยมีทิศทางไปในทางเดียวกับโรเตอร์ซึ่งมีความถี่เท่ากับ  $(1-s)f$  ดังนั้นเมื่อมองจากกรอบอ้างอิงของโรเตอร์ พบว่าสัญญาณไฟฟ้าที่โรเตอร์มีความถี่เท่ากับ  $sf$  แต่เมื่อพิจารณาจากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์จะพบว่าสัญญาณไฟฟ้าบนโรเตอร์จะมีความถี่เท่ากับความถี่ซิงโครนัสนั่นเอง (synchronous frequency) เมื่อพิจารณาในรูปของวงจรสมมูลย์จะได้ รูปที่ 2-4

2.3.1 วงจรสมมูลแบบประมาณ (Approximate equivalent circuit)

เป็นวงจรสมมูลอย่างง่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แสดงดังรูปที่

2-5



รูปที่ 2-6 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสแบบประมาณ (Approximate equivalent circuit)

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรจะหาจากการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

2.3.1.1 การทดสอบเมื่อไร้ภาระทางกล (No-load test)

โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาดเท่ากับพิกัดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ คือ 380 โวลต์ โดยไม่ภาระทางกล ขณะไม่มีภาระทางกลจะทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีความเร็วรอบ ( $N_r$ ) ใกล้เคียงความเร็วซิงโครนัส ( $N_s$ ) ค่าสลิปจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เปรียบเสมือนการเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้มอเตอร์เหนี่ยวนำจะสูญเสียในรูปของการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) การสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator loss) และการสูญเสียเนื่องจากการหมุน (Rotational loss) ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ คือ  $R_c$  และ  $X_m$  ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าต่อเฟส ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปคำนวณหาค่า  $R_c$  และ  $X_m$  ได้ตามสมการต่อไปนี้

จาก 
$$P_0 = V_0 I_0 \cos \phi_0 \tag{2.13}$$

$$\phi_0 = \cos^{-1} \frac{P_0}{V_0 I_0} \tag{2.14}$$

จะได้ 
$$R_c = \frac{V_0^2}{P_0} \tag{2.15}$$

$$X_m = \frac{V_0}{I_0 \sin \phi_0} \tag{2.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1.2 การทดสอบยึดโรเตอร์ (Blocked-rotor test)

โดยทำการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้หยุดอยู่กับที่ ขณะนี้ค่าสลิปจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง เปรียบเสมือนการลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า จากนั้นจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ จนกระทั่งถึงค่าพิคัดกระแสไฟฟ้าและพิคัดความถี่ ในการทดสอบนี้กำหนดว่าค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) มีค่าน้อยมาก ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ  $X_1$ ,  $X_2$  และ  $R_2$

ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าต่อเฟส ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปคำนวณหาค่า  $X_1$ ,  $X_2$  และ  $R_2$  ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$P_b = V_b I_b \cos \phi_b \quad (2.17)$$

$$\phi_b = \cos^{-1} \frac{P_b}{V_b I_b} \quad (2.18)$$

$$Z_b = \frac{V_b \angle 0^\circ}{I_b \angle -\phi_b} = R_b + jX_b \quad (2.19)$$

$$R_2 = R_b - R_1 \quad (2.20)$$

$$X_1 + X_2 = X_b \quad (2.21)$$

โดยค่าของความต้านทานของมอเตอร์ ( $R_1$ ) ได้จากการวัด

### 2.3.2 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ์ (Exact equivalent circuit)

หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบ six-impedance equivalent circuit วงจรสมมูลย์แบบนี้จะเป็นวงจรสมมูลย์ที่ถูกต้องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แสดงดังรูปที่ 2-4 โดยค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมีวิธีการคิดที่ละเอียดกว่า ซึ่งในที่นี้จะคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ตาม มาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1] โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรจะหาจากการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

#### 2.3.2.1 การทดสอบเมื่อไร้ภาระทางกล (No-load test)

วิธีการเหมือนในหัวข้อ 2.3.1.1

#### 2.3.2.2 การทดสอบยึดโรเตอร์ (Blocked-rotor test) ที่ 25 % ของพิคัดความถี่

เป็นการทดสอบวิธีหนึ่งในการหาค่าอิมพีแดนซ์ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1] ซึ่ง จะทำการทดสอบ Blocked-rotor test ที่ 25% ของพิคัดความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ระบุใน nameplate วิธีการทดสอบนี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสจ่ายความถี่ที่ 25 % ของพิคัดความถี่ (ประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.5 Hz) ให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะยึดโรเตอร์ให้อยู่กับที่และความคุ้มครองเสให้เท่ากับพิกัดกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.3.2.3 การทดสอบหาค่า Friction and Windage losses

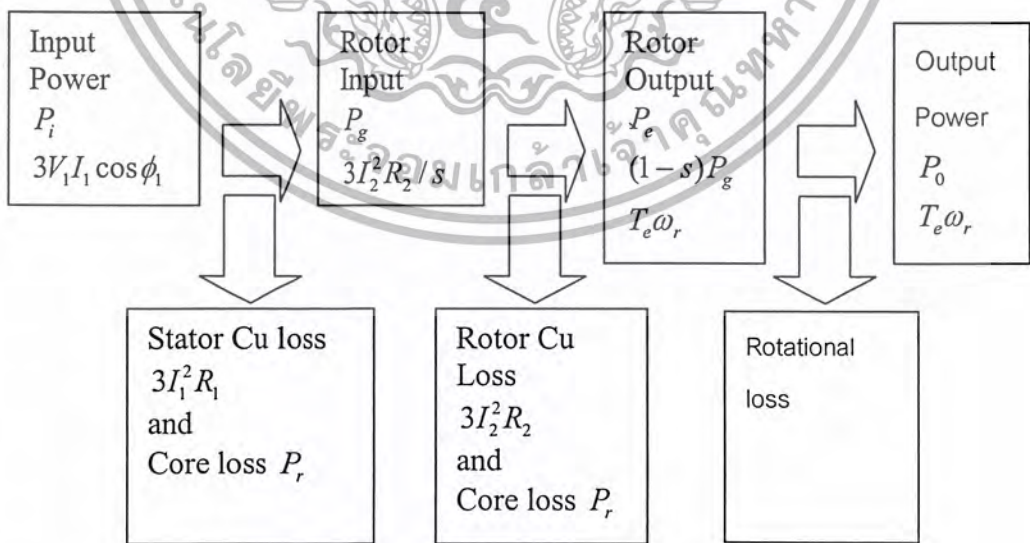
เป็นการทดสอบโดยจ่ายแรงดันสภาวะเฟสสมดุลให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไม่มีภาระโหลดจากระดับแรงดันไฟฟ้าน้อย ๆ จนถึงพิกัดแรงดันของมอเตอร์เหนี่ยวนำการหาค่า Friction and Windage losses จะหาที่แรงดันน้อยๆ เนื่องจากในขณะนี้ค่าของ Core loss จะมีค่าน้อยมาก โดยนำค่าของกำลังไฟฟ้าอินพุทมาลบกับค่า Stator copper losses แล้วนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟเทียบกับแรงดันไฟฟ้ายกกำลัง การทดสอบหาค่า Friction and Windage losses เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่า Core loss เพื่อใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1]

2.4 การสูญเสียและไดอะแกรมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

การเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าให้เป็นกำลังงานกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเกิดขึ้นที่โรเตอร์ กำลังไฟฟ้าอินพุทไม่ได้เกิดจกการป้อนไฟฟ้าให้กับโรเตอร์โดยตรง แต่เป็นการถ่ายทอดผ่านทางช่องว่างอากาศด้วยการเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และความถี่ขึ้นที่โรเตอร์

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานชนิดอื่น ๆ กระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้แก่ กำลังสูญเสียในรูปของความร้อนในขดลวดสเตเตอร์ และในโรเตอร์ กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก ส่วนที่เหลือจะเป็นกำลังงานกลที่ขับโหลด

ความสัมพันธ์กำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ และกำลังงานกลมอเตอร์เหนี่ยวนำจ่ายแก่โหลด แสดงได้ด้วยแผนภูมिरูปที่ 2-6



รูปที่ 2-7 แผนภูมิการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำในรูปแรงดันและกระแสไฟฟ้าอินพุท (Input power) เข้าที่ขดลวดคอมเมอร์ ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Stator copper loss) และการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) ในรูปของความร้อน โดยกำลังส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านช่องว่างอากาศให้กับโรเตอร์เรียกว่า กำลังงานช่องว่างในอากาศ (Power across air gap) เมื่อถ่ายเทกำลังงานให้กับโรเตอร์ส่วนหนึ่งจะเกิดกำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทาน (Rotor copper loss) ส่วนที่เหลือจะเป็นกำลังงานที่ส่งออกจากโรเตอร์ (Electromagnetic power) ซึ่งเป็นกำลังงานทางกล เมื่อเปลี่ยนเป็นกำลังกลแล้ว จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานและแรงต้านลมขณะมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุน (Friction and Windage loss) จากนั้นกำลังงานที่เหลือจะเป็นกำลังงานกลที่ไปขับภาระโหลด (Output power)

การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) เกิดขึ้นได้ที่สเตเตอร์และโรเตอร์ แต่ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนด้วยความเร็วใกล้ความเร็วซิงโครนัส การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวของโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุนมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับส่วนที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ ด้วยเหตุนี้การสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงรวมได้ด้วยกันในส่วนสเตเตอร์เท่านั้น

ในขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านลมเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้การสูญเสียในแกนเหล็กลดลง จึงรวมการสูญเสียเหล่านี้ไว้ด้วยกัน เรียกว่า Rotational and Core loss และพิจารณาให้เป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่ด้วยความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าอินพุทที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (Input power) แสดงดังสมการที่ 2.22

$$P_{in} = 3I_1 I_1 \cos \phi_1 \quad (2.22)$$

กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานในขดลวดสเตเตอร์ (Stator copper loss) แสดงดังสมการที่ 2.23

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \quad (2.23)$$

กำลังในช่องว่างอากาศ (Power across air-gap) แสดงดังสมการที่ 2.24

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

กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานในขดลวดโรเตอร์ (Rotor copper loss) แสดงดังสมการที่ 2.25

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังออกจากโรเตอร์ (Electromagnetic power) แสดงดังสมการที่ 2.26

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

แรงบิดที่ได้จากการเหนี่ยวนำในโรเตอร์ (Electromagnetic torque) แสดงดังสมการที่ 2.27

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

กำลังขับที่ไปโหลด (Output power) แสดงดังสมการที่ 2.28

$$P_{out} = P_e - P_r = T_0 \omega_r \quad (2.28)$$

แรงบิดทางกล (Output torque) แสดงดังสมการที่ 2.29

$$T_0 = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad (2.29)$$

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{4\pi f}{P} \quad (2.30)$$

$$\omega_r = \frac{2\pi N_r}{60} = (1-s)\omega_s \quad (2.31)$$

โดยที่

$\omega_s$  : ความเร็วซิงโครนัสเชิงมุม (rad/sec)

$\omega_r$  : ความเร็วโรเตอร์เชิงมุม (rad/sec)

กำลังที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ในสมการที่ 2.23 กำลังสูญเสียจากความต้านทานขดลวดโรเตอร์ในสมการที่ 2.25 และกำลังสูญเสียในส่วนของ Rotational and Core loss เมื่อนำกำลังสูญเสียทั้งสามส่วนมารวมกันจะเป็นกำลังสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Power loss)

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad (2.32)$$

ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ ( $\eta$ ) นิยมคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

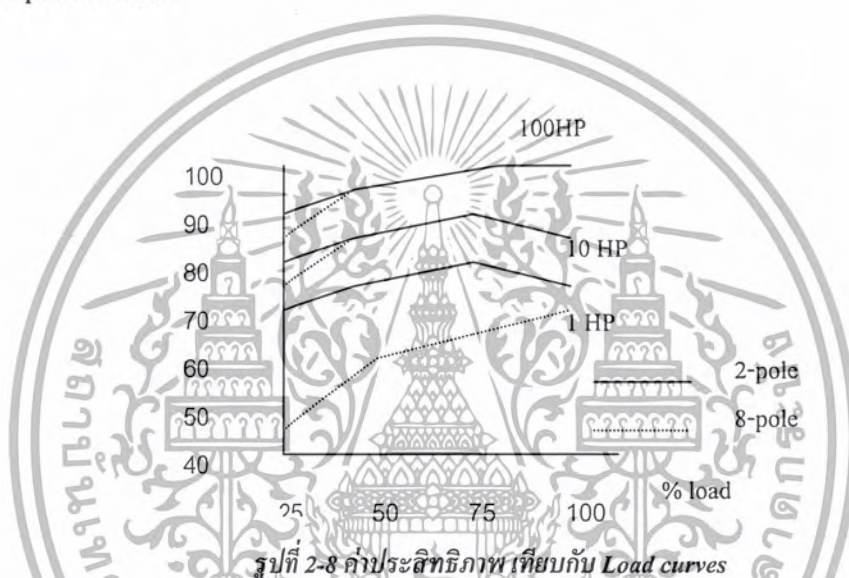
$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (2.33)$$

$$\text{หรือ} \quad \% \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \quad (2.34)$$

## 2.5 กระบวนการพื้นฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายที่เกี่ยวข้องกับการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และค่าความผิดพลาดที่เกี่ยวกับวิธีดังต่อไปนี้

### 2.5.1 Nameplate Method



วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความแม่นยำน้อยในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง วิธีนี้เป็น การสมมติว่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์คงที่และเท่ากับค่าใน nameplate วิธีนี้จะใช้ได้ดีที่สุดเมื่อ load curves (ประสิทธิภาพตอน full load สามารถใช้งานได้กับสภาพ load ส่วนใหญ่) จากรูปที่ 1 เป็นการหา ประสิทธิภาพของมอเตอร์เทียบกับ load curves โดยเปรียบเทียบมอเตอร์ที่มีจำนวนขั้วและกำลังต่างๆกัน จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ 8 ขั้ว 1 แรงม้า มีความคลาดเคลื่อนในช่วงโหลด ที่แสดงในกราฟ ดังนั้น วิธี nameplate method จึงสามารถใช้ได้กับมอเตอร์บางตัวเท่านั้น เพราะจะเกิดความคลาดเคลื่อนสูง สำหรับมอเตอร์บางชนิด [4]

สาเหตุที่มีความคลาดเคลื่อนอาจเนื่องมาจาก

- มอเตอร์ถูกพันใหม่ ทำให้ข้อมูลบน nameplate กับความเป็นจริงไม่ตรงกัน
- ข้อมูลจาก nameplate ที่ได้มาจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน อุณหภูมิต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 (11)		

ตารางที่ 2-1 ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลบน nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ

สภาพที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ ความเร็วต่ำ, พันมอเตอร์ใหม่, ไม่ลดทอนค่าประสิทธิภาพตามมาตรฐาน EASA, มอเตอร์ที่ไม่ผ่านตาม มาตรฐาน IEEE standard 112-1996 และทำงานที่แหล่งจ่ายไม่เหมาะสมประสิทธิภาพต่ำกว่า 10 % จาก nameplate [4]

2.5.2 Slip Method

เป็นวิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยให้หลักการเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น กับความเร็วที่ติดมอเตอร์ ใช้สมการพื้นฐานดังนี้ [4]

$$Slip(\%) = \frac{Sync.Speed - LoadSpeed \times 100}{Sync.Speed} \tag{2.35}$$

$$WL(HP) \propto \frac{Slip(WL)}{Slip(FL)} \tag{2.36}$$

$$Efficiency\%atWL = \frac{WL(HP) \times 0.746 \times 100}{Measured(Kw)} \tag{2.37}$$

Slip ในเครื่องนี้ หมายถึง ความแตกต่างของความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วของมอเตอร์ โดยที่ความเร็วของมอเตอร์ จะใช้ optical tachometer วัด ซึ่งมีสิ่งรบกวนต่ำ ทำให้ความคลาดเคลื่อนต่ำ วิธีนี้จะดีกว่า nameplate method โดยเฉพาะ load curves ไม่เรียบ จะคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20 % จาก nameplate และที่ภาระโหลดน้อยจะให้ผลของการทำนายแม่นยำกว่าที่ภาวะโหลดมาก

ขอบเขตของการใช้ Slip method

วิธีนี้ยังไม่แม่นยำสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีนี้ไม่ได้ทำการวัดกระแสจริงในการพิจารณาค่าการสูญเสียที่ภาวะ load test และ No load test และความเร็วของมอเตอร์ ( speed ) กับ load นั้นไม่ได้เป็นเชิงเส้นกัน
2. จากการคำนวณ โดยใช้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ ( rpm ) ที่ Full load จากข้อมูลของ nameplate พบว่าเป็นตัวเลขโดยเฉลี่ยจากการทดสอบมอเตอร์ของผู้ผลิต ซึ่งสามารถคลาดเคลื่อนได้ 5 รอบต่อนาที
3. ในการคำนวณวิธีนี้ ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องอุณหภูมิ และแรงดันที่เปลี่ยนแปลงขณะใช้งานจริง ซึ่งจำมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ขณะ Full load

ตัวอย่าง มอเตอร์ 25 แรงม้า synchronous speed 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 คืออยู่ในช่วง 1753 – 1757 ประสิทธิภาพที่ 1753 = 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  $\pm 9$  จะได้ 1746 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพที่ 1746 รอบต่อนาที = 1764 รอบต่อนาที = 113% ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 2-8 [5]



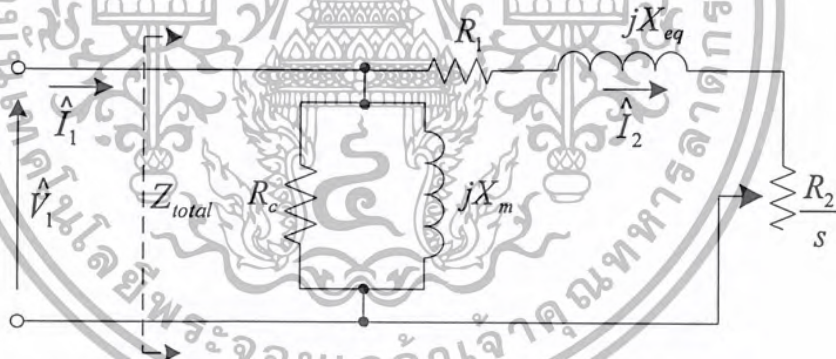
รูปที่ 2-9 แสดงประสิทธิภาพเมื่อคิดจากค่าความแตกต่าง 20 % ของความเร็วรอบจาก nameplate ของมอเตอร์ ตามมาตรฐาน NEMA

## 2.6 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยใช้เทคนิคจีเนติกอัลกอริทึม

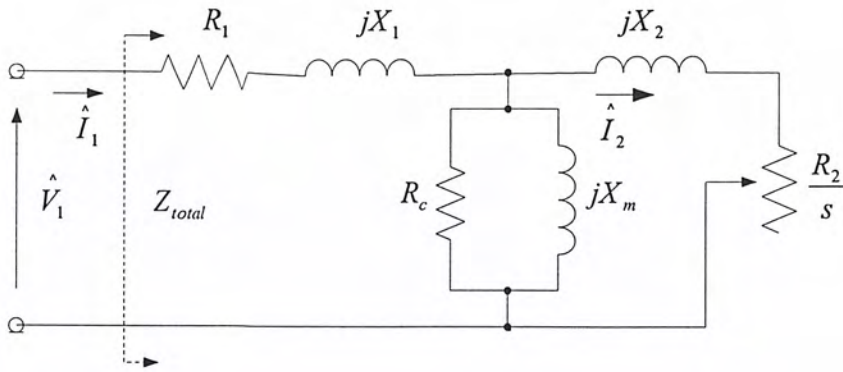
จีเนติกอัลกอริทึม คือ อัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (Optimization) โดยวิธีการเรียนแบบการขยายพันธุ์ทางธรรมชาติ การคัดเลือกโดยธรรมชาติ (Natural Selection) จะทำให้โครโมโซมมีค่าที่เหมาะสมที่สุดและจะถ่ายทอดคุณสมบัติไปยังโครโมโซมลูก

จีเนติกอัลกอริทึมเหมาะสำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่บางครั้งอาจไม่สามารถหาค่าที่ถูกต้องแม่นยำ (Exact Optimum) แต่มีนักวิจัยหลายคนได้ใช้จีเนติกอัลกอริทึมช่วยในการหาค่าให้ได้ค่าใกล้เคียงที่สุดแล้วจึงใช้วิธีการอื่นเพื่อเอาคำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ [6]

การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยทั่วไปแล้ว จะมีการคำนวณที่ยุ่งยากและซับซ้อนและจะต้องนำโพลที่มีอยู่ก่อน ดังนั้นการนำเอาหลักการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยใช้เทคนิคจีเนติกอัลกอริทึม ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการทดสอบที่ยุ่งยากและซับซ้อนและง่ายต่อการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องนำโพล ที่ต่ออยู่กับมอเตอร์เหนี่ยวนำออกขณะทำการทดสอบ ส่วนข้อมูลที่ใช้ คือ ค่ากระแสอินพุท, แรงดันอินพุท, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบมอเตอร์เพียงสามจุดที่ได้จากการทำงาน และสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลได้ ซึ่งอ้างอิงกับวงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบประมาณ และวงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2-9 และรูปที่ 2-10 ตามลำดับ [7]



รูปที่ 2-10 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบประมาณ ที่ใช้ในจี เนติกอัลกอริทึม



รูปที่ 2-11 วงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบสมบุรณ์ ที่ใช้ในจันตึกอัลกอริธึม

- โดยที่  $R_1$  : stator resistance,  
 $R_c$  : core loss resistance,  
 $R_2$  : rotor resistance referred to stator,  
 $X_2$  : rotor leakage reactance referred to stator,  
 $X_{eq}$  : equivalent leakage reactance ( $X_1 + X_2$ ),  $s$  : slip  
 $X_1$  : stator leakage reactance,  
 $X_m$  : magnetizing reactance

จากวงจรมูลย์ทางไฟฟ้าแบบประมาล และวงจรมูลย์ทางไฟฟ้าแบบสมบุรณ์ดังรูปที่ 2-9 และ 2-10 ตามลำดับ จะสามารถหาค่า stator current ( $I_1$ ) และ ค่าตัวประกอบกำลัง ( $PF$ ) ได้จากสมการที่ 2.38 และ 2.39 ตามลำดับ

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{V}_1}{Z_{total}} \quad (2.38)$$

$$PF = \cos \left[ \tan^{-1} \frac{\text{Im} Z_{total}}{\text{Re} Z_{total}} \right] \quad (2.39)$$

โดยสมการที่นำมาผ่านกระบวนการออฟติไมเซชันด้วยวิธีเทคนิคจันตึกอัลกอริธึม คือ สมการที่ 2.40 และ 2.41

$$F_{objective} = \sum_{i=1}^3 \left| \frac{PF_{i,cal}}{PF_{i,data}} - 1 \right|^2 + \sum_{i=1}^3 \left| \frac{I_{1i,cal}}{I_{1i,data}} - 1 \right|^2 \quad (2.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Fitness = \frac{1}{1 + F_{Objective}} \quad (2.41)$$

โดยค่า  $I_{i,cal}$  และ  $PF_{i,cal}$  จะได้จากการคำนวณในสมการที่ 2.38 และ 2.39 ตามลำดับและค่า  $I_{i,data}$  และ  $PF_{i,data}$  ได้จากการวัดขณะทำงานของมอเตอร์

โดยขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยใช้วิธีจีเนติกอัลกอริทึมสามารถแสดงดังแผนภูมิรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 แผนภูมิแสดงกระบวนการของวิธีจีเนติกอัลกอริทึม

### บทที่ 3

## การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบ และผลการทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Load test) แบบ โหลดไฟฟ้าและแบบโหลดทางกล (เชือกเปียกและเชือกแห้ง) รวมไปถึงการทดสอบเพื่อหาจรรยาสมมูลย์แบบสมบูรณ์และวงจรรยาสมมูลย์แบบประมาณ โดยจะแสดงผลการทดสอบของค่ากระแสอินพุท, ตัวประกอบกำลังอินพุท, กำลังไฟฟ้าอินพุท, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท, แรงบิดและค่าประสิทธิภาพ โดยในส่วน ของค่าประสิทธิภาพจะมีการนำผลของการคำนวณด้วยวิธี slip method มาเปรียบเทียบด้วย

ในการทดสอบจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 2 ขนาด คือ 1 แรงม้าและ 3 แรงม้า ซึ่งมี รายละเอียดข้อมูลบน nameplate ดังนี้

(1) มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 1 แรงม้า

ขนาด	4 pole	
HERTZ	50 Hz	
VOLT	220	380 (V)
AMP	3.4	2.0 (A)
RPM	1400	
INS.CLASS	B	
AMB. TEMP	40 องศาเซลเซียส	
220 v. ( $\Delta$ )	380 v. (Y)	

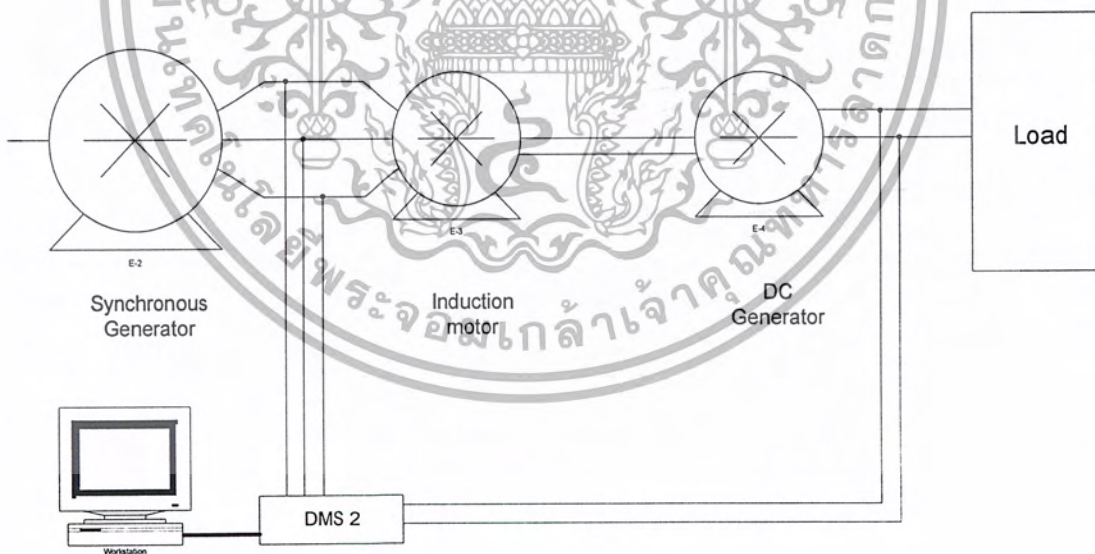
(2) มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 3 แรงม้า

ขนาด	4 pole	
HERTZ	50 Hz	
VOLT	220	380 (V)
AMP	8.7	5.0 (A)
RPM	1420	
INS.CLASS	F	
AMB. TEMP	40 องศาเซลเซียส	
220 v. ( $\Delta$ )	380 v. (Y)	

3.1 การทดสอบภาวะของมอเตอร์แบบโหดไฟฟ้า

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	1	เครื่อง
2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (1 แรงม้า, 3 แรงม้า)	1	เครื่อง
3 แท่นทดสอบมอเตอร์	1	แท่น
4 เครื่อง DMS2	1	เครื่อง
5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1	เครื่อง
6 AC variac-1 phase	1	เครื่อง
7 ชุด Magnetic	1	เครื่อง
8 Circuit Breaker	1	ตัว
9 Tacho Meter	1	เครื่อง
10 Meter (V,A,W)	1	เครื่อง
11 แผงโหลดไฟ	1	แผง
12 คอมพิวเตอร์	1	เครื่อง
13 Fluke Meter รุ่น 96	1	เครื่อง
14 สายไฟต่อวงจร	20	เส้น



รูปที่ 3-1 วงจรในการทดสอบภาวะมอเตอร์แบบโหดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 วิธีการทดสอบ

3.1.2.1 ในการทดสอบภาระมอเตอร์จะใช้วงจรในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจ่ายให้แผงโหลดหลอดไฟ

3.1.2.2 ทำการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยค่อย ๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจนถึงพิกัดแรงดันในสถานะไม่มีโหลดจนความเร็วคงที่

3.1.2.3 ปรับแรงดันจ่ายไฟฟ้า 1 เฟส จ่ายกระแสสร้างสนามแม่เหล็กให้กับเครื่องกำเนิดกระแสตรง (ขณะไม่มีโหลด)

3.1.2.4 เพิ่มภาระโหลดของเครื่องกำเนิดกระแสตรง โดยการเปิดหลอดไฟจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แล้วทำการปิดหลอดไฟครั้งละ 1 หลอด จนกระทั่งปิดหลอดไฟหมดหรือถึงจุดที่มีค่าเปอร์เซ็นต์โหลดมอเตอร์น้อย ๆ

3.1.2.5 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแส, ตัวประกอบกำลังอินพุต, กำลังไฟฟ้าอินพุตและความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1.2.6 วัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดกระแสตรง

3.1.2.7 นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่าแรงบิด, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต และประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1.2.8 โดยในการทดสอบภาระมอเตอร์จะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

### 3.1.3 ผลการทดสอบ

ในตารางที่ 3-1 จะแสดงผลการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบ โหลด ไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ครั้งที่ 2 ส่วนในผลการทดลอง ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ส่วนในตารางที่ 3-2 จะแสดงผลการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบ โหลด ไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ครั้งที่ 3 ส่วนในผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

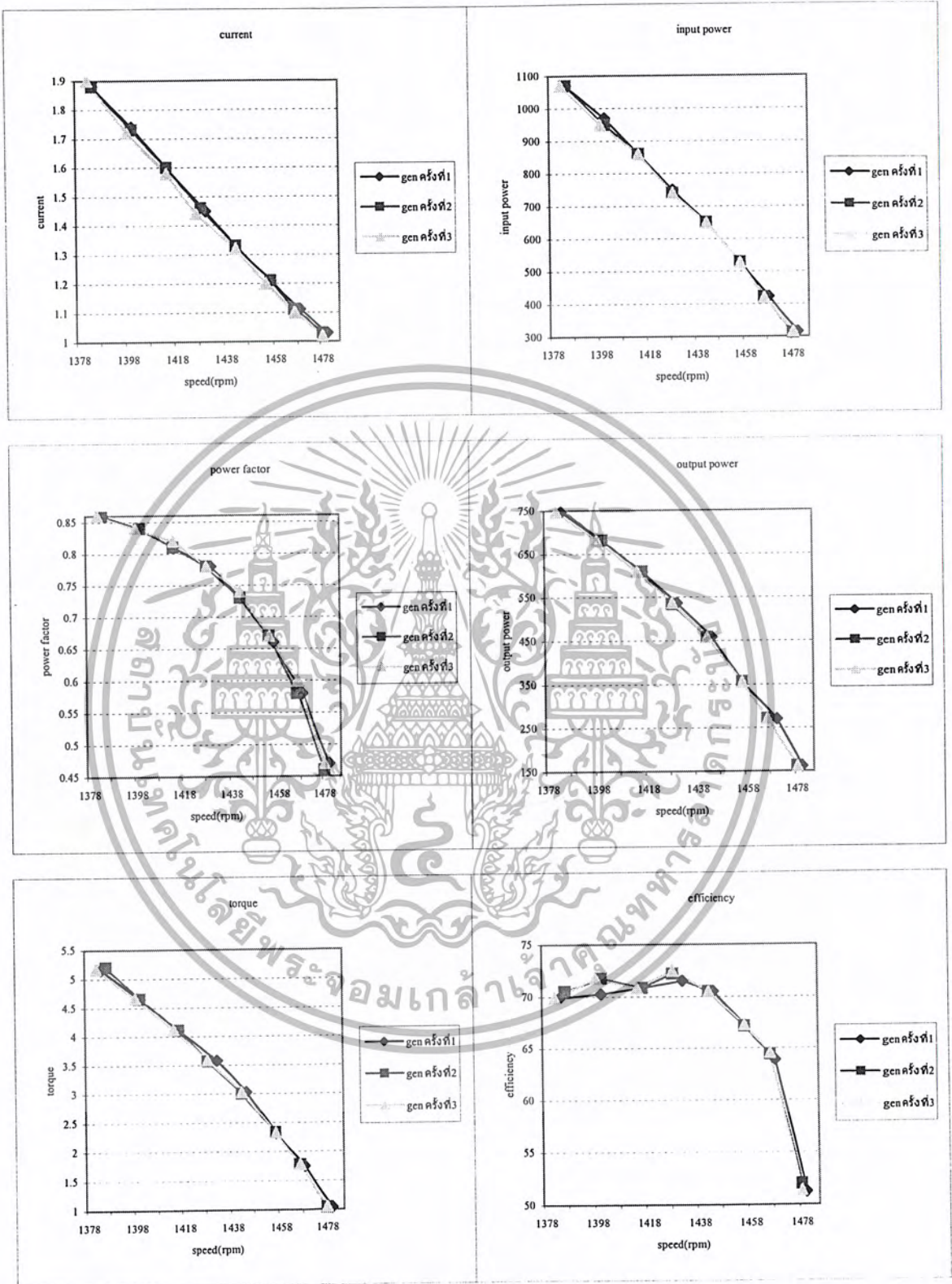
และได้แสดงผลคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าและ 3 แรงม้า ดังรูปที่ 3-2 และรูปที่ 3-3 ตามลำดับ

จำนวน โหลดไฟ	speed (rpm)	current (A)			voltage (V)			power factor			กำลังไฟฟ้า (W)			DC			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
		phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	V	I	W			
11	1324	2.36	2.32	2.31	220	219	219	0.9	0.91	0.9	470	460	460	181	4.5	814.5	914.85	6.6	65.82
10	1345	2.2	2.16	2.15	220	219	220	0.89	0.9	0.89	430	420	420	186	4.1	762.6	858.13	6.09	67.57
9	1366	2.06	2.03	2.01	221	219	220	0.88	0.89	0.87	400	390	380	190	3.7	703.0	794.17	5.55	67.88
8	1382	1.98	1.88	1.84	220	219	220	0.86	0.87	0.86	360	360	350	194	3.4	659.6	747.78	5.17	69.89
7	1398	1.73	1.73	1.7	220	219	219	0.84	0.85	0.84	320	320	310	199	3	597.0	681.60	4.66	71.75
6	1414	1.61	1.58	1.55	220	219	220	0.81	0.83	0.81	290	290	280	203	2.6	527.8	609.26	4.12	70.84
5	1427	1.46	1.45	1.41	221	219	220	0.78	0.8	0.77	250	250	240	208	2.2	457.6	536.38	3.59	72.48
4	1442	1.35	1.31	1.29	221	220	220	0.74	0.75	0.72	220	210	220	212	1.8	381.6	458.14	3.03	70.48
3	1455	1.22	1.2	1.17	221	220	220	0.66	0.69	0.65	179	181	168	216	1.3	280.8	355.17	2.33	67.27
2	1466	1.13	1.08	1.08	221	220	220	0.58	0.66	0.57	143	142	135	220	0.9	198.0	271.13	1.77	64.56
1	1478	1.05	1.01	0.99	221	220	220	0.47	0.49	0.45	108	109	98	224	0.4	89.6	161.82	1.05	51.37

ตารางที่ 3-1 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 2

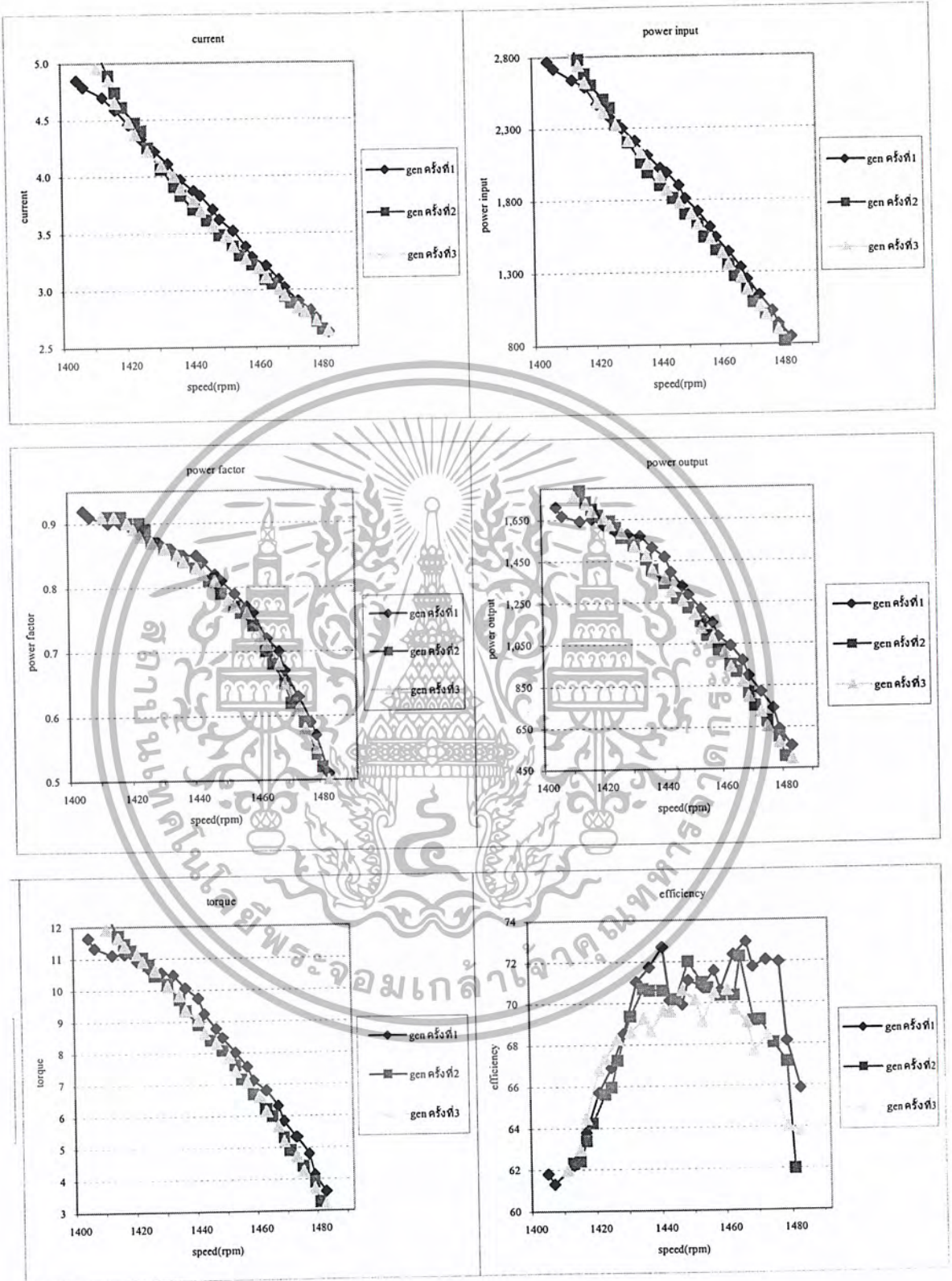
จำนวน โหลดไฟ	speed (rpm)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	DC			torque (N-m)	efficiency (%)
		phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C		V	I	W		
27	1409	5.10	4.98	4.87	220	220	220	0.86	0.87	0.86	970	950	920	1760.00	154	10.00	1540.0	11.93	61.97
26	1413	4.98	4.89	4.74	221	220	220	0.86	0.86	0.85	940	930	890	1724.93	156	9.70	1513.2	11.66	62.50
25	1416	4.75	4.65	4.54	221	220	220	0.85	0.86	0.85	890	880	850	1688.90	158	9.40	1485.2	11.39	64.46
24	1419	4.57	4.52	4.40	221	220	220	0.84	0.85	0.84	850	840	810	1656.48	161	9.10	1460.6	11.15	66.26
23	1422	4.46	4.37	4.27	221	220	220	0.83	0.84	0.83	820	810	780	1622.82	163	8.80	1434.4	10.90	67.34
22	1425	4.34	4.25	4.13	221	220	220	0.82	0.83	0.82	790	780	750	1583.65	165	8.50	1402.5	10.61	68.26
21	1429	4.19	4.13	4.02	221	220	220	0.82	0.82	0.81	760	750	710	1516.45	166	8.10	1344.6	10.14	68.31
20	1433	4.12	4.02	3.91	221	220	220	0.8	0.81	0.8	730	720	690	1475.58	168	7.80	1310.4	9.83	68.95
19	1436	3.98	3.87	3.81	221	220	220	0.79	0.8	0.79	700	690	660	1407.26	169	7.40	1250.6	9.36	68.65
18	1439	3.89	3.81	3.70	221	220	220	0.78	0.79	0.77	670	670	630	1364.67	171	7.10	1214.1	9.06	69.27
17	1442	3.78	3.69	3.61	221	220	221	0.77	0.78	0.76	640	630	600	1301.95	173	6.70	1159.1	8.62	69.62
16	1445	3.66	3.59	3.48	221	220	220	0.76	0.77	0.75	610	610	570	1257.34	175	6.40	1120.0	8.31	70.24
15	1449	3.57	3.49	3.40	221	220	220	0.74	0.75	0.73	580	580	550	1192.40	177	6.00	1062.0	7.86	69.73
14	1452	3.47	3.38	3.30	221	220	220	0.73	0.73	0.71	560	550	520	1126.30	179	5.60	1002.4	7.41	69.10
13	1455	3.38	3.30	3.20	221	220	220	0.71	0.72	0.69	530	520	490	1078.63	181	5.30	959.3	7.08	70.04
12	1459	3.30	3.20	3.12	221	220	220	0.68	0.69	0.66	500	490	460	1010.31	183	4.90	896.7	6.61	69.68
11	1462	3.20	3.10	3.03	221	220	220	0.66	0.67	0.64	470	460	420	940.85	185	4.50	832.5	6.15	69.69
10	1465	3.11	3.01	2.95	221	220	220	0.64	0.64	0.61	440	430	400	870.23	187	4.10	766.7	5.67	68.52
9	1468	3.04	2.94	2.87	221	220	220	0.61	0.61	0.58	410	400	370	798.47	189	3.70	699.3	5.19	67.67
8	1471	2.97	2.84	2.78	221	220	220	0.57	0.59	0.54	380	370	330	725.55	191	3.30	630.3	4.71	67.18
7	1474	2.89	2.78	2.72	221	220	220	0.54	0.55	0.51	350	340	310	654.37	194	2.90	562.6	4.24	65.44
6	1478	2.82	2.72	2.65	221	220	220	0.51	0.52	0.47	320	310	270	576.25	195	2.50	487.5	3.72	64.03
5	1481	2.76	2.65	2.58	221	220	220	0.46	0.47	0.42	280	280	240	497.77	196	2.10	411.6	3.21	62.22

ตารางที่ 3-2 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 3



รูปที่ 3-2 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-3 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับโหลดทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

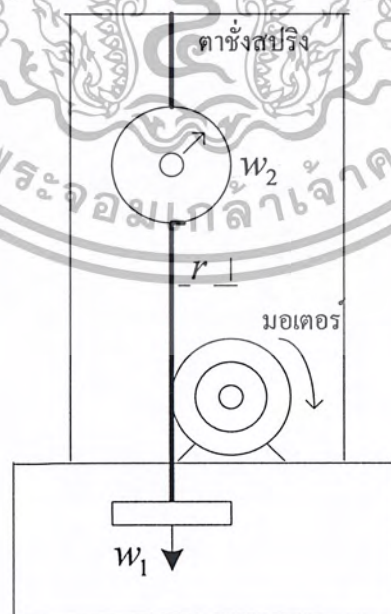
### 3.2. การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง)

#### 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1	มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (1 แรงม้า, 3 แรงม้า)	1	เครื่อง
2	ชุด Magnetic	1	เครื่อง
3	Circuit Breaker	1	ตัว
4	Tacho Meter	1	เครื่อง
5	Meter (V,A,W)	1	เครื่อง
6	Fluke Meter รุ่น 96	1	เครื่อง
7	ล้อช่วยแรงขนาด 10.7 กิโลกรัม	1	อัน
8	ลูกน้ำหนักขนาด 0.5 กิโลกรัม	2	อัน
9	ลูกน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม	2	อัน
10	ลูกน้ำหนักขนาด 10 กิโลกรัม	10	อัน
11	เชือกที่ใช้ทดสอบ	1	เส้น
12	สายไฟต่อวงจร	10	เส้น

#### 3.2.2. วิธีการทดสอบ

3.2.2.1 ในการทดสอบภาระของมอเตอร์ทำการทดสอบโดยการใส่ภาระให้แก่มอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-4 การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 ในการคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการทดสอบภาระของมอเตอร์ นั้นสามารถคำนวณหาแรงบิดของมอเตอร์โดยอาศัยสมการที่ (3.1)

$$T = (w_1 - w_2) \times g \times r \quad (3.1)$$

โดยที่	$T$	=	แรงบิดของมอเตอร์ (N-m)
	$w_1$	=	มวลภาระที่ทดสอบ (kg)
	$w_2$	=	ค่าแรงที่อ่านได้จากตาชั่ง (kg)
	$r$	=	รัศมีของมู่เต้ (m)
	$g$	=	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลกมีค่าเท่ากับ 9.81 (m/s <sup>2</sup> )

3.2.2.2 ทำการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยค่อย ๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจนถึงพิกัดแรงดันในสถานะไม่มีโหลดจนความเร็วคงที่

3.2.2.3 ปรับเพิ่มภาระโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใส่ลูกน้ำหนักจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาท์พุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.2.2.4 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแส, ตัวประกอบกำลังอินพุท, กำลังไฟฟ้าอินพุท

3.2.2.5 วัดและบันทึกค่าแรงที่อ่านได้จากตาชั่ง, ความเร็วรอบมอเตอร์ และมวลภาระที่ทดสอบ

3.2.2.6 ปรับลดภาระโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยลดลูกน้ำหนักลงครึ่งละ 0.5 กิโลกรัม สำหรับมอเตอร์ 1 แรงม้า และลดลูกน้ำหนักลงครึ่งละ 1 กิโลกรัมสำหรับมอเตอร์ 3 แรงม้า

3.2.2.7 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแส, ตัวประกอบกำลังอินพุท, กำลังไฟฟ้าอินพุท

3.2.2.8 วัดและบันทึกค่าแรงที่อ่านได้จากตาชั่ง, ความเร็วรอบมอเตอร์ และมวลภาระที่ทดสอบ

3.2.2.9 นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาแรงบิด, กำลังไฟฟ้าเอาท์พุท และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.2.2.10 โดยในการทดสอบภาระมอเตอร์จะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

### 3.2.3 ผลการทดสอบ

ในตารางที่ 3-3 จะแสดงผลการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ครั้งที่ 2 ส่วนในผลการทดลอง ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ส่วนในตารางที่ 3-4 จะแสดงผลการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลด (เชือกแห้ง) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ครั้งที่ 2 ส่วนในผลการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

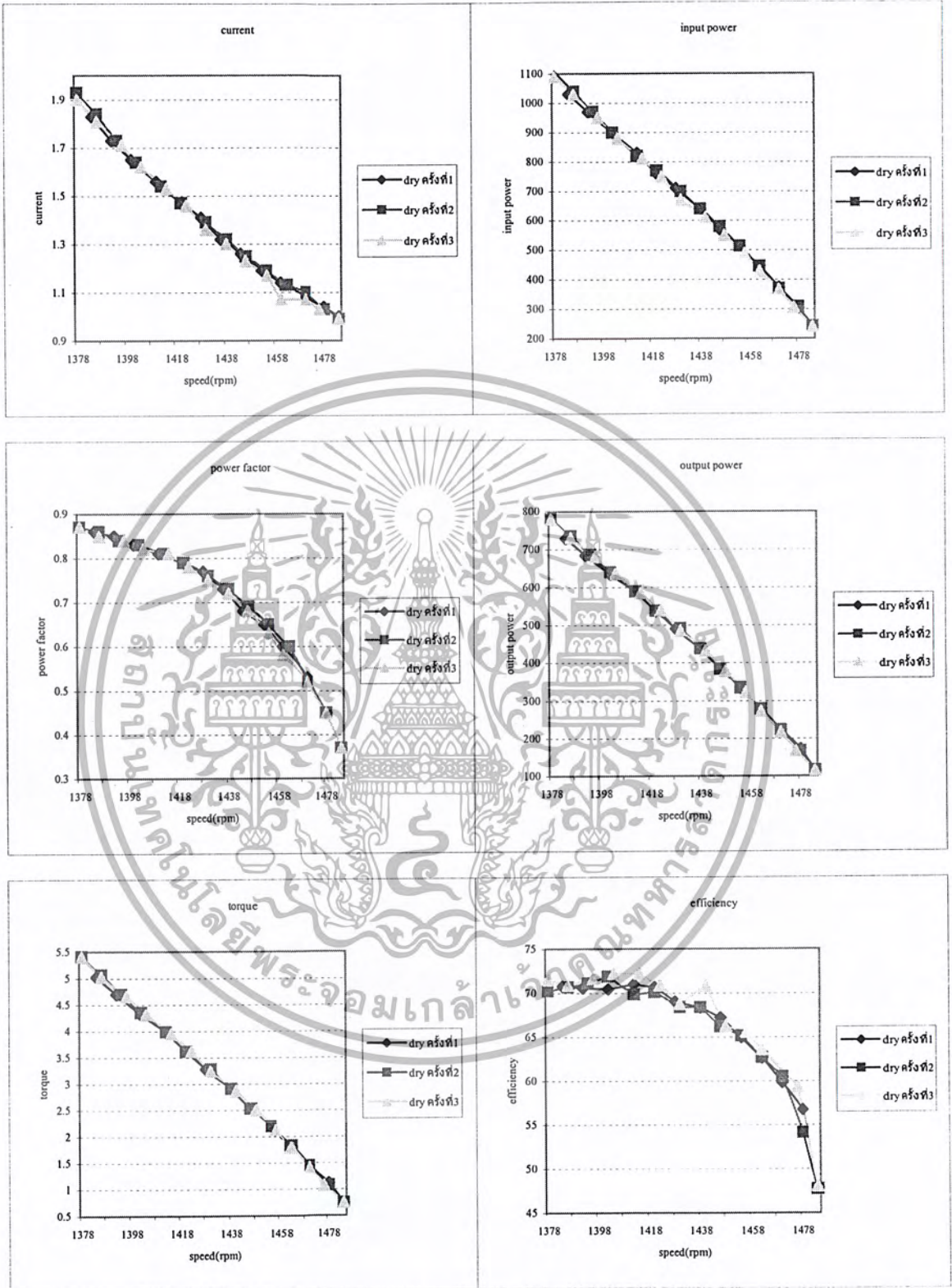
และได้แสดงผลคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าและ 3 แรงม้า เป็นกราฟดังรูปที่ 3-5 และรูปที่ 3-6 ตามลำดับ

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1349	0.85	9	2.3	2.36	2.31	220	220	220	0.89	0.89	0.89	450	470	450	958.26	6.78	69.95
1353	0.8	8.5	2.21	2.27	2.21	220	221	220	0.88	0.89	0.89	430	450	430	913.57	6.45	69.74
1361	0.75	8	2.11	2.17	2.12	220	221	220	0.88	0.88	0.88	410	420	410	817.17	6.11	70.26
1369	0.7	7.5	2	2.06	2	220	221	220	0.87	0.88	0.87	380	400	390	828.20	5.78	70.79
1378	0.7	7	1.91	1.96	1.91	220	221	220	0.86	0.87	0.87	360	380	370	779.86	5.41	70.26
1386	0.7	6.5	1.82	1.87	1.82	220	221	220	0.85	0.86	0.6	340	360	340	735.70	5.07	70.74
1395	0.65	6	1.72	1.76	1.72	220	221	221	0.83	0.84	0.84	320	330	320	686.03	4.70	70.72
1402	0.6	5.5	1.63	1.68	1.62	219	220	219	0.82	0.83	0.83	290	310	300	640.23	4.36	71.14
1412	0.6	5	1.53	1.58	1.52	219	220	219	0.8	0.82	0.82	270	280	270	589.68	3.99	71.91
1421	0.6	4.5	1.45	1.51	1.46	220	220	220	0.8	0.78	0.8	250	270	250	537.98	3.62	69.87
1430	0.55	4	1.38	1.42	1.36	220	220	220	0.75	0.77	0.76	230	240	230	491.15	3.28	70.16
1438	0.55	3.5	1.3	1.36	1.3	220	220	220	0.73	0.74	0.73	210	220	210	437.78	2.91	68.4
1446	0.55	3	1.25	1.28	1.23	220	220	220	0.68	0.71	0.69	190	200	190	383.77	2.53	66.17
1454	0.5	2.5	1.19	1.22	1.17	220	221	220	0.64	0.67	0.65	166	180	168	334.82	2.20	65.14
1462	0.5	2	1.13	1.16	1.11	220	221	220	0.58	0.62	0.6	143	158	145	279.60	1.83	62.69
1470	0.5	1.5	1.06	1.2	1.05	220	221	220	0.5	0.55	0.52	116	133	121	223.76	1.45	60.48
1478	0.5	1	1.02	1.07	1.01	220	221	220	0.44	0.47	0.45	98	112	99	167.29	1.08	54.14
1486	0.45	0.5	0.99	1.02	0.97	220	221	220	0.36	0.4	0.36	77	90	76	116.00	0.75	47.74

ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ๒ ขั้วรับโหลดทางกล (เข็กร้าง) ครั้งที่ 2

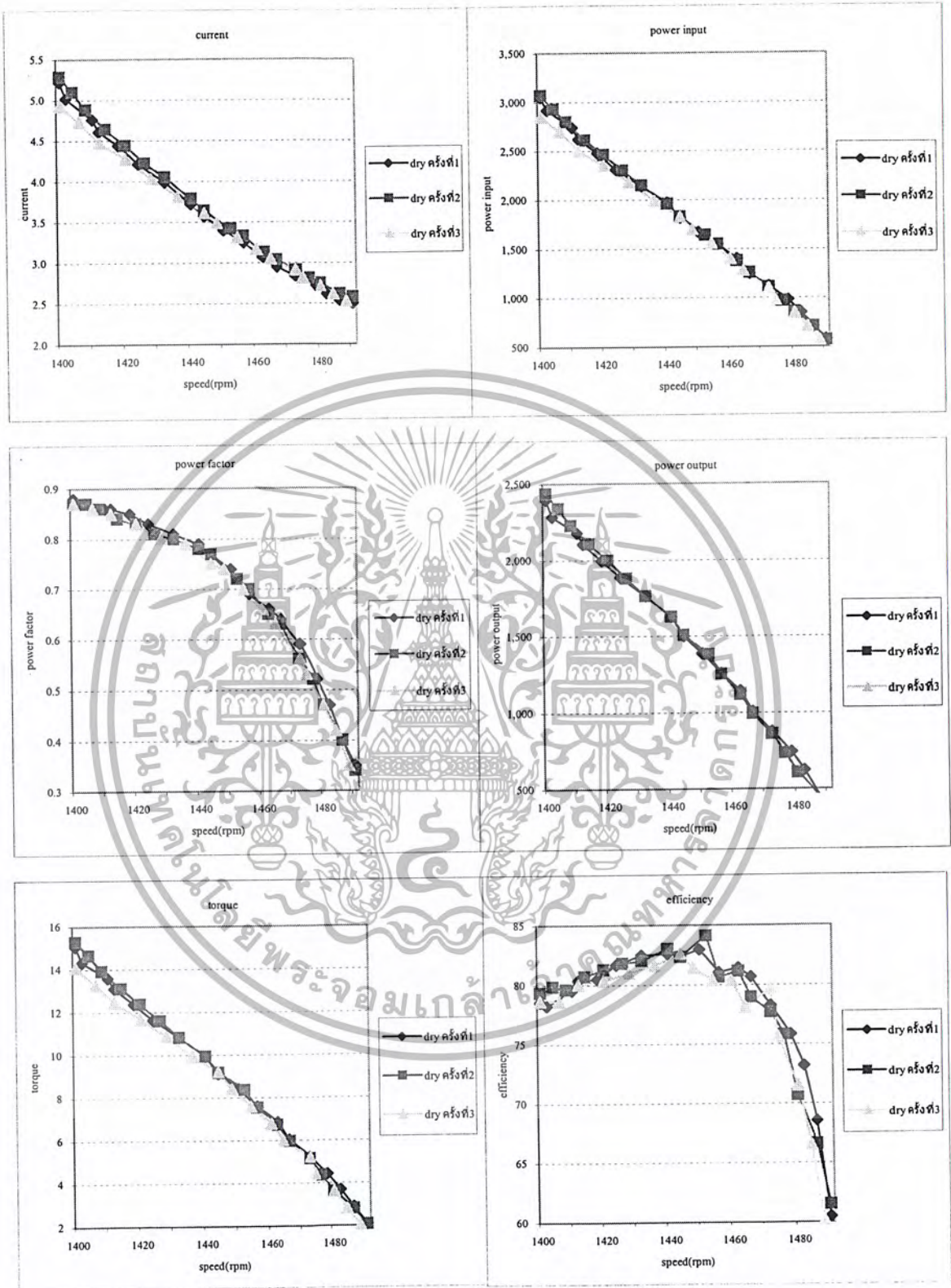
speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power (W)	torque (N-m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1391	1.30	21.20	5.80	5.77	5.79	220	220	221	0.89	0.88	0.88	1130	1120	1130	2632.68	16.63	77.89
1397	1.30	20.20	5.58	5.54	5.54	220	221	221	0.88	0.88	0.88	1080	1070	1080	2515.06	15.82	77.87
1400	1.30	19.20	5.32	5.27	5.29	220	220	221	0.88	0.87	0.87	1030	1020	1020	2391.20	15.01	77.89
1404	1.10	18.20	5.10	5.08	5.11	221	221	221	0.87	0.87	0.87	980	970	980	2294.34	14.36	78.31
1408	1.00	17.20	4.90	4.83	4.90	221	221	222	0.86	0.86	0.86	930	940	930	2183.88	13.63	78.00
1413	1.00	16.20	4.68	4.63	4.67	221	221	222	0.85	0.85	0.85	880	870	880	2061.18	12.82	78.37
1420	0.90	15.20	4.47	4.42	4.44	221	221	222	0.84	0.83	0.83	830	810	820	1953.40	12.09	79.41
1425	0.85	14.20	4.27	4.22	4.24	221	221	222	0.82	0.82	0.82	780	770	770	1835.29	11.32	79.11
1431	0.80	13.20	4.09	4.05	4.07	221	221	222	0.81	0.80	0.80	730	720	720	1717.51	10.55	79.15
1439	0.70	12.00	3.82	3.80	3.80	220	221	221	0.79	0.78	0.79	670	650	660	1580.97	9.65	79.85
1444	0.65	11.00	3.66	3.62	3.64	220	220	221	0.77	0.78	0.76	620	600	610	1459.82	8.88	79.77
1451	0.65	10.00	3.45	3.43	3.43	220	220	221	0.74	0.73	0.73	560	550	550	1332.93	8.07	80.30
1456	0.65	9.00	3.34	3.34	3.32	220	220	221	0.71	0.70	0.70	520	520	510	1203.10	7.26	77.62
1461	0.65	8.00	3.20	3.10	3.15	220	220	221	0.68	0.66	0.66	480	460	460	1072.34	6.45	76.60
1466	0.60	7.00	3.07	3.02	3.04	220	220	221	0.64	0.62	0.62	430	410	420	947.43	5.68	75.19
1471	0.60	6.00	2.96	2.90	2.94	221	221	221	0.59	0.57	0.58	380	370	370	814.86	4.87	72.75
1475	0.55	5.00	2.83	2.82	2.83	221	221	221	0.54	0.52	0.53	340	320	330	687.70	4.10	69.46
1480	0.50	4.00	2.77	2.73	2.75	221	221	221	0.49	0.47	0.46	300	280	280	560.22	3.33	65.14
1485	0.50	3.00	2.67	2.63	2.63	221	221	221	0.43	0.41	0.41	250	240	240	425.02	2.51	58.22
1489	0.40	2.00	2.64	2.58	2.59	221	221	222	0.37	0.33	0.34	210	190	190	302.44	1.78	51.26
1494	0.40	1.00	2.58	2.54	2.55	221	221	222	0.29	0.26	0.26	170	150	150	165.52	0.97	35.22
1499	0.40	0.00	2.54	2.53	2.56	221	221	222	0.22	0.19	0.19	120	110	110	27.68	0.16	8.14

ตารางที่ 3-4 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เข็กร้าง) ครั้งที่ 2



รูปที่ 3-5 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนียวนา 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางกล (เข็อกแห้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-6 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนียวน้ำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เข็อกแห้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก)

#### 3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.2.1

#### 3.3.2 วิธีการทดสอบ

3.3.2.1 ในการทดสอบภาระของมอเตอร์ทำการทดสอบโดยการใส่ภาระให้แก่มอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.4

3.3.2.2 นำเชือกที่ใช้ไปแช่น้ำก่อนนำมาทดสอบและต้องทำให้เชือกเปียกอย่างสม่ำเสมอในการทดสอบภาระของมอเตอร์

3.3.2.3 ทำการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยค่อย ๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจนถึงพิกัดแรงดันในสถานะไม่มีโหลดจนความเร็วคงที่

3.3.2.4 ปรับเพิ่มภาระ โหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการใส่ลูกน้ำหนักจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.3.2.5 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแส, ตัวประกอบกำลังอินพุต, กำลังไฟฟ้าอินพุต

3.3.2.6 วัดและบันทึกแรงที่อ่านได้จากตาชั่ง, ความเร็วรอบมอเตอร์ และมวลภาระที่ทดสอบ

3.3.2.7 ปรับลดภาระ โหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยลดลูกน้ำหนักลงครึ่งละ 0.5 กิโลกรัม สำหรับมอเตอร์ 1 แรงม้า และลดลูกน้ำหนักลงครึ่งละ 1 กิโลกรัมสำหรับมอเตอร์ 1 แรงม้า

3.3.2.8 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแส, ตัวประกอบกำลังอินพุต, กำลังไฟฟ้าอินพุต

3.3.2.9 วัดและบันทึกแรงที่อ่านได้จากตาชั่ง, ความเร็วรอบมอเตอร์ และมวลภาระที่ทดสอบ

3.3.2.10 นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาแรงบิด, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.3.2.11 โดยในการทดสอบภาระมอเตอร์จะทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

#### 3.3.3 ผลการทดสอบ

ในตารางที่ 3-5 จะแสดงผลการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ครั้งที่ 2 ส่วนในผลการทดลอง ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ส่วนในตารางที่ 3-6 จะแสดงผลการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลด (เชือกเปียก) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ครั้งที่ 1 ส่วนในผลการทดลองครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

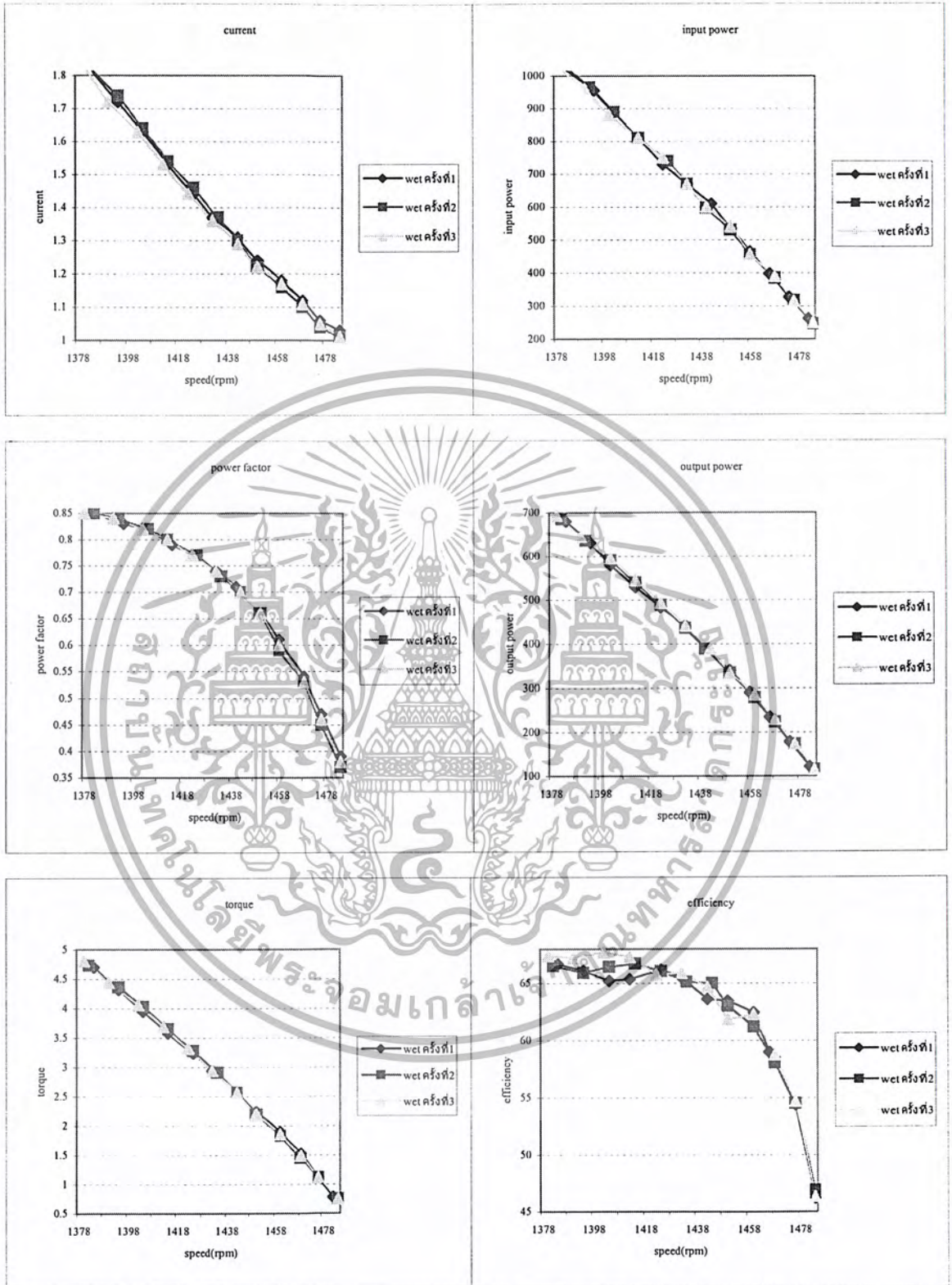
และได้แสดงผลคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าและ 3 แรงม้า ดังรูปที่ 3-7 และรูปที่ 3-8 ตามลำดับ

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1327	0.7	9	2.57	2.56	2.59	220	220	220	0.9	0.9	0.9	510	510	510	958.17	6.90	62.63
1335	0.7	8.5	2.45	2.43	2.44	220	220	221	0.9	0.89	0.9	480	480	480	911.84	6.25	63.32
1345	0.65	8	2.32	2.3	2.3	220	220	221	0.89	0.89	0.89	450	450	450	871.42	6.19	64.55
1354	0.65	7.5	2.18	2.17	2.16	220	220	221	0.88	0.87	0.88	420	415	420	824.41	5.82	65.69
1363	0.65	7	2.09	2.05	2.05	220	220	221	0.87	0.87	0.87	400	390	390	776.69	5.44	65.82
1371	0.65	6.5	1.95	1.94	1.95	220	220	221	0.86	0.86	0.86	370	340	370	727.74	5.07	67.38
1382	0.6	6	1.84	1.83	1.83	220	220	221	0.86	0.85	0.85	350	340	340	685.03	4.73	66.51
1393	0.6	5.5	1.74	1.73	1.735	220	220	221	0.84	0.84	0.84	325	320	320	636.12	4.36	65.92
1403	0.55	5	1.64	1.63	1.64	220	220	221	0.83	0.82	0.82	300	290	300	591.40	4.03	66.45
1413	0.55	4.5	1.54	1.53	1.54	220	220	221	0.81	0.8	0.8	270	270	270	504.46	3.65	66.72
1423	0.55	4	1.46	1.45	1.46	220	220	221	0.77	0.77	0.77	250	240	250	488.75	3.28	66.05
1433	0.55	3.5	1.38	1.36	1.37	220	220	221	0.74	0.73	0.73	230	220	220	436.25	2.91	65.11
1441	0.5	3	1.31	1.29	1.3	221	220	221	0.7	0.7	0.7	200	197	200	388.07	2.57	65
1450	0.5	2.5	1.24	1.2	1.23	221	220	221	0.65	0.66	0.66	178	173	179	333.90	2.20	63
1459	0.5	2	1.17	1.16	1.16	221	220	221	0.6	0.6	0.6	154	150	152	279.03	1.83	61.19
1468	0.5	1.5	1.11	1.1	1.1	221	220	221	0.54	0.52	0.52	132	126	127	223.45	1.45	58.04
1476	0.45	1	1.07	1.07	1.06	221	220	221	0.46	0.45	0.45	107	104	106	172.83	1.12	54.52
1484	0.45	0.5	1.01	1.01	1	221	220	220	0.37	0.38	0.37	82	85	80	115.84	0.75	46.9

ตารางที่ 3-5 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 2

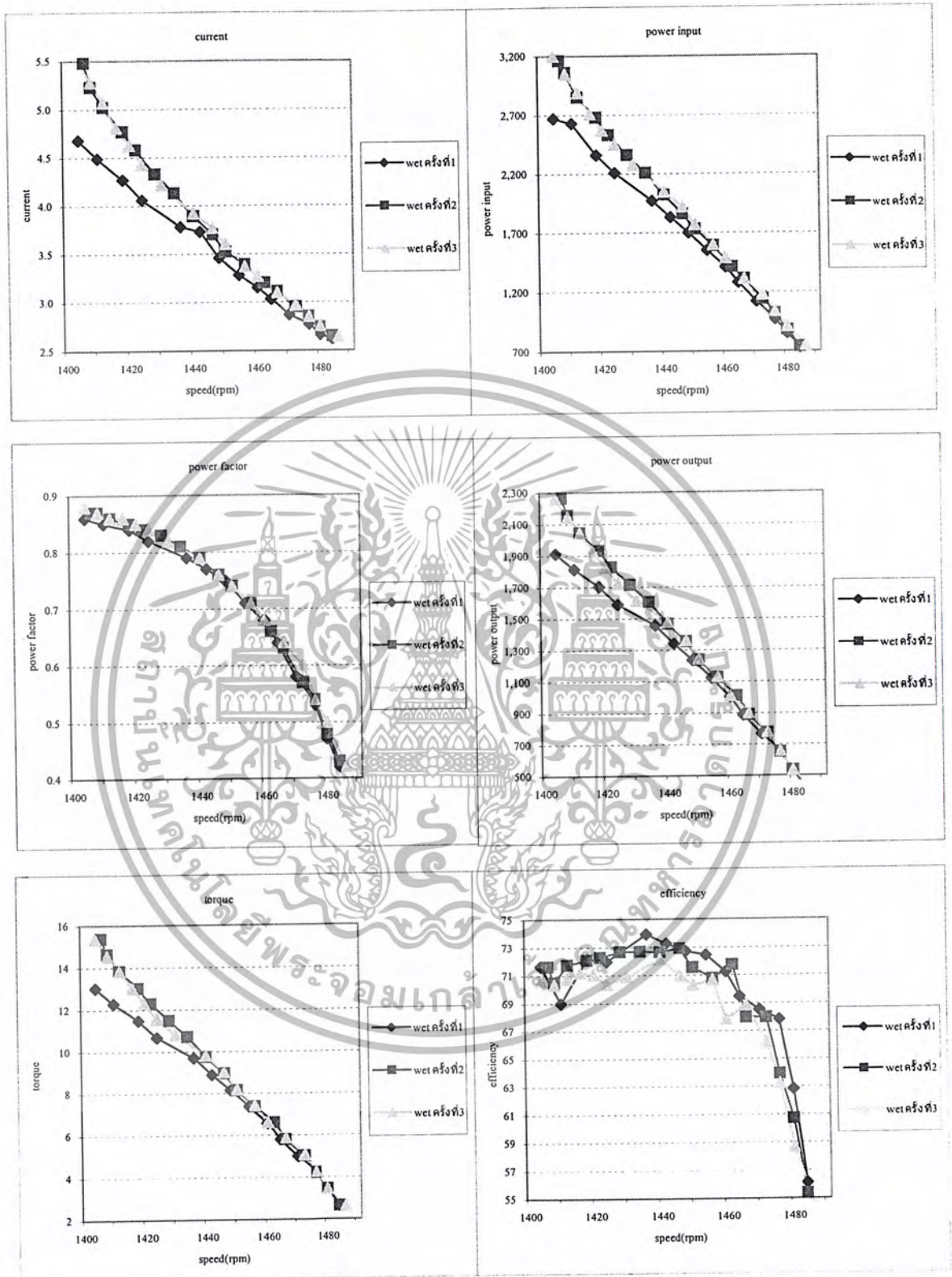
speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power (W)	torque (N-m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1406	1.20	19.20	5.45	5.56	5.42	220	220	220	0.87	0.87	0.88	1040	1070	1050	2414.43	15.09	76.41
1407	1.10	18.20	5.25	5.31	5.20	220	221	221	0.86	0.87	0.87	1000	1020	1060	2299.24	14.36	74.65
1412	1.10	17.20	4.99	5.10	4.98	220	221	220	0.85	0.86	0.86	940	970	940	2177.05	13.55	76.39
1417	1.10	16.20	4.78	4.86	4.73	220	221	220	0.85	0.85	0.86	890	920	890	2053.93	12.74	76.07
1421	1.00	15.20	4.58	4.66	4.50	221	221	221	0.83	0.84	0.84	840	870	840	1941.66	12.01	76.14
1427	1.00	14.20	4.33	4.42	4.30	220	221	220	0.82	0.83	0.83	780	810	790	1818.11	11.20	76.39
1433	0.95	13.20	4.13	4.23	4.09	220	221	221	0.80	0.81	0.82	730	760	740	1700.07	10.43	76.24
1440	0.95	12.00	3.91	3.96	3.81	220	221	220	0.78	0.79	0.79	670	690	660	1548.84	9.45	76.68
1445	0.90	11.00	3.72	3.78	3.66	220	221	220	0.76	0.77	0.77	620	640	620	1427.47	8.68	75.93
1450	0.90	10.00	3.52	3.58	3.45	220	221	220	0.73	0.74	0.74	570	590	570	1298.54	7.87	75.06
1456	0.85	9.00	3.40	3.44	3.32	220	221	220	0.70	0.71	0.71	530	540	520	1176.21	7.10	73.98
1461	0.80	8.00	3.22	3.28	3.15	220	221	220	0.66	0.67	0.68	470	490	470	1052.11	6.33	73.57
1466	0.80	7.00	3.12	3.16	3.04	221	221	221	0.62	0.64	0.64	430	450	430	920.36	5.52	70.26
1471	0.75	6.00	2.98	3.03	2.90	220	221	220	0.58	0.60	0.59	380	400	380	794.48	4.75	68.49
1476	0.75	5.00	2.86	2.90	2.78	220	221	220	0.54	0.55	0.54	340	350	330	660.91	3.93	64.80
1480	0.70	4.00	2.76	2.80	2.67	220	221	220	0.48	0.50	0.47	290	310	280	532.90	3.16	60.56
1484	0.70	3.00	2.65	2.70	2.60	220	221	220	0.42	0.44	0.42	240	260	240	397.33	2.35	53.69

ตารางที่ 3-6 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขนาดรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 2



รูปที่ 3-7 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-8 กราฟผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เข็กรเป็ยก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรมูลยต์ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996

#### 3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

3.4.1.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (1 แรงม้า, 3 แรงม้า)	1	เครื่อง
3.4.1.2 ชุด Magnetic	1	เครื่อง
3.4.1.3 Circuit Breaker	1	ตัว
3.4.1.4 Tacho Meter	1	เครื่อง
3.4.1.5 Meter (V,A,W)	1	เครื่อง
3.4.1.6 Fluke Meter รุ่น 96	1	เครื่อง
3.4.1.7 สายไฟต่อวงจร	10	เส้น

#### 3.4.2 การทดสอบเมื่อไร้ภาระทางกล (No-load test)

3.4.2.1 ทำการทดสอบโดยปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ได้แรงดันเท่ากับแรงดันที่พิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระทางกล

3.4.1.2 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า ( $V_0$ ), กระแสไฟฟ้า ( $I_0$ ), กำลังไฟฟ้า ( $P_0$ ) แต่ละเฟสและความเร็วรอบ ( $N_r$ ) มอเตอร์แล้วปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าลดลงเป็นศูนย์

3.4.1.3 ทำการวัดค่าความต้านทานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (stator resistance) ก่อนและหลังการทดสอบ

#### 3.4.3 การทดสอบยึดโรเตอร์ (Blocked-rotor test)

3.4.2.1 โดยทำการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่ 25% ของพิกัดความถี่มอเตอร์ โดยยึดโรเตอร์ไม่ให้เคลื่อนที่แล้วค่อยๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจนอ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่พิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือใกล้เคียงที่สุด

3.4.2.2 วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า ( $V_b$ ), กระแสไฟฟ้า ( $I_b$ ), กำลังไฟฟ้า ( $P_b$ ) ในแต่ละเฟสและความเร็วรอบ ( $N_r$ ) มอเตอร์แล้วปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าลดลงเป็นศูนย์

3.4.2.3 ทำการวัดค่าความต้านทานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (stator resistance) ก่อนและหลังการทดสอบ

#### 3.4.4 การทดสอบหาค่า Friction and Windage losses

โดยมีวิธีปฏิบัติตามหัวข้อที่ 2.4.2.2

#### 3.4.5 ผลการทดสอบ

ซึ่งได้แสดงตารางค่าพารามิเตอร์ของวงจรมูลยต์ทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ์และแบบประมาณ และตารางผลคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งขนาด 1 แรงม้าและ 3 แรงม้าไว้ในภาคผนวกที่ ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลทดสอบเมื่อไร้ภาระทางกล (No-load test)

$R_1$	=	3.8	$\Omega$ /phase
แรงดันอินพุท	=	220	$\Omega$ /phase
กระแสอินพุท	=	2.51	$\Omega$ /phase
กำลังไฟฟ้าอินพุท	=	93.33	$\Omega$ /phase
power factor	=	0.163	

จากสมการ (2.14)

$$\varphi_b = \cos^{-1}\left(\frac{93.33}{220 \times 2.51}\right)$$

จากสมการ (2.15)

$$= 80.269^\circ$$

จากสมการ (2.16)

$$R_c = \frac{(220)^2}{93.33}$$

$$= 518.59 \Omega$$

$$X_m = \frac{220}{2.51 \sin 80.269^\circ}$$

$$= 88.93 \Omega$$

### 3.5 ตัวอย่างวิธีการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพโดยวิธี slip method

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพได้ดังนี้ (ภาคผนวก ก)

**ตัวอย่าง** มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 1 แรงม้า 4 pole, มีพิกัด 380V, 2.0 A, 1400 rpm มีค่าความเร็วมอเตอร์จากการวัด 1478 rpm

$$\begin{aligned} \text{มี Synchronous Speed} &= \frac{120f}{p} \\ &= \frac{120 \times 5}{4} \\ &= 1500 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พิกัด Slip (\%)} &= 100 \times \frac{(1500 - 1400)}{1500} \\ &= 6.66\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรมูลค่าทางไฟฟ้าแบบประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า

- ผลทดสอบซีดโรเตอร์ (Blocked-rotor test)

$R_1$	=	3.8	$\Omega$ /phase
แรงดันอินพุท	=	33.53	$\Omega$ /phase
กระแสอินพุท	=	4.98	$\Omega$ /phase
กำลังไฟฟ้าอินพุท	=	164.33	$\Omega$ /phase
power factor	=	0.98	

จากสมการ (2.18)

$$\begin{aligned} \phi_b &= \cos^{-1} \left( \frac{164.33}{33.53 \times 4.98} \right) \\ &= 9.28^\circ \end{aligned}$$

จากสมการ (2.19)

$$\begin{aligned} Z_b &= \frac{33.53 \angle 0^\circ}{4.98 \angle -10.22^\circ} \\ &= 6.73 \angle 10.22^\circ \\ &= 6.62 + 1.194j \ \Omega \end{aligned}$$

จากสมการ (2.20)

$$\begin{aligned} R_2 &= 6.62 - 3.8 \\ &= 2.82 \ \Omega \end{aligned}$$

จากสมการ (2.21)

$$X_1 + X_2 = 1.194 \ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

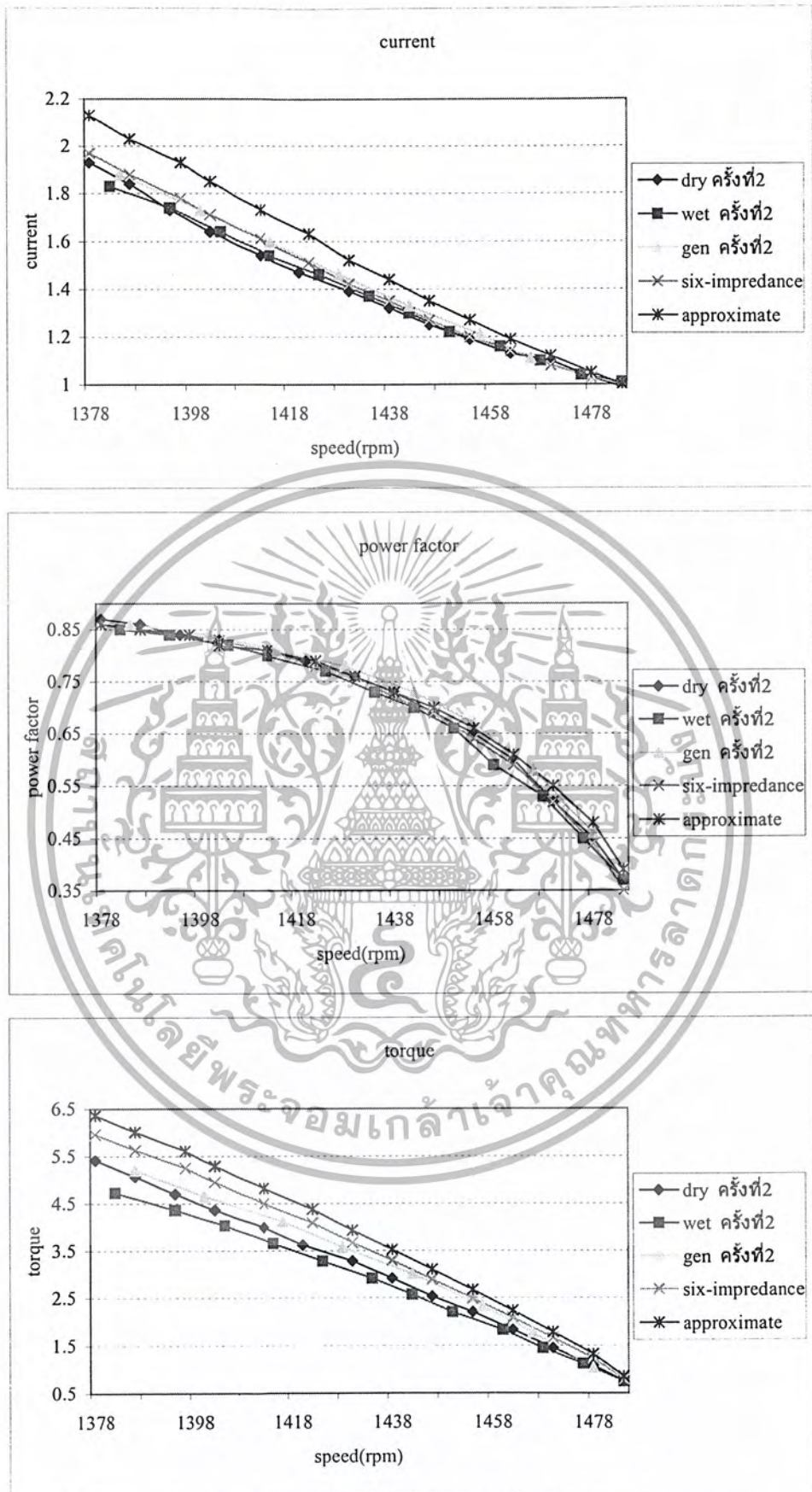
$$\begin{aligned}
 \text{ค่า Slip (\%)} \text{ จากการวัด} &= 100 \times \frac{(1500 - 1400)}{1500} \\
 &= 1.47 \% \\
 \therefore \text{Shaft Output Power} &= \frac{(1.47 \times 746)}{6.66} \\
 &= 164.12 \quad \text{W} \\
 \text{มี ค่า Input Power} &= 97 + 101 + 103 \\
 &= 301 \quad \text{W} \\
 \therefore \text{Efficiency (\%)} &= 54.52 \%
 \end{aligned}$$

### 3.6 การเปรียบเทียบการทดสอบภาระมอเตอร์ (load test) แบบต่างๆ

โดยนำผลที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้า, แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก และเชือกแห้ง) และผลจากวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์, วงจรสมมูลย์แบบประมาณตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มาเปรียบเทียบให้เห็น โดยจะแสดงผลการทดสอบของค่ากระแสอินพุต, ตัวประกอบกำลังอินพุต, กำลังไฟฟ้าอินพุต, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต, แรงบิดและค่าประสิทธิภาพ และในส่วนของค่าประสิทธิภาพจะมีการนำผลของการคำนวณด้วยวิธี slip method มาเปรียบเทียบกับ

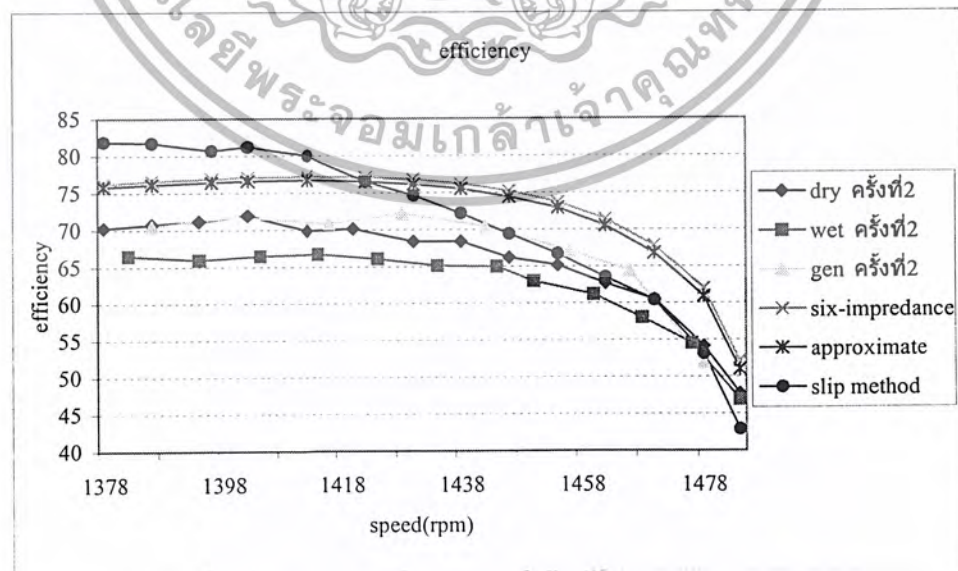
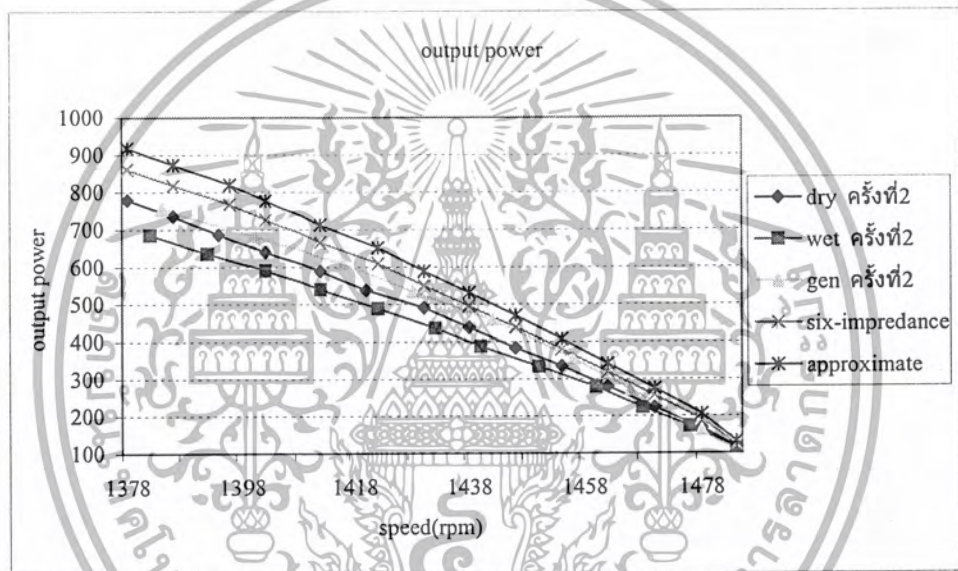
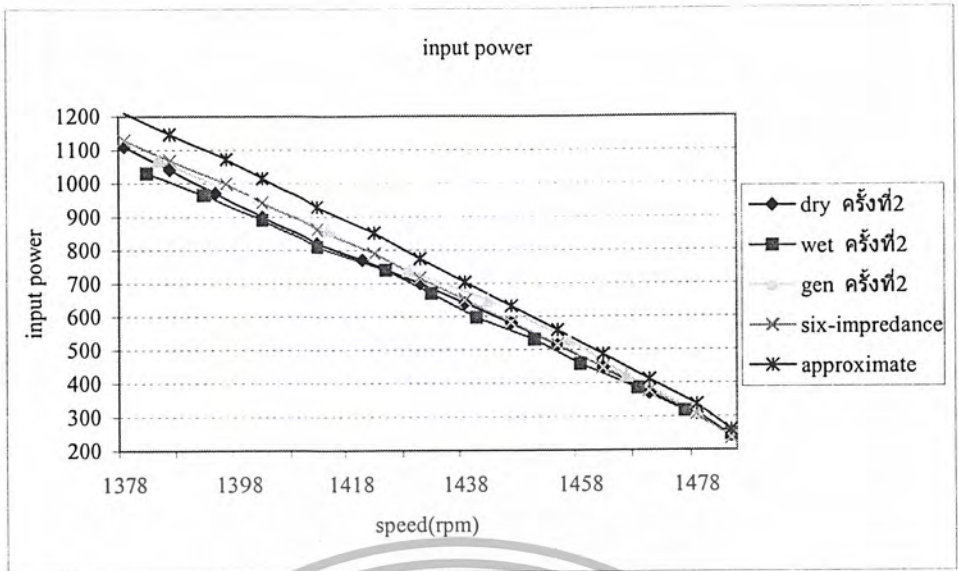
ซึ่งจากรูปที่ 3-9 จะเป็นผลการทดสอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าและรูปที่ 3-10 จะเป็นผลการทดสอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า





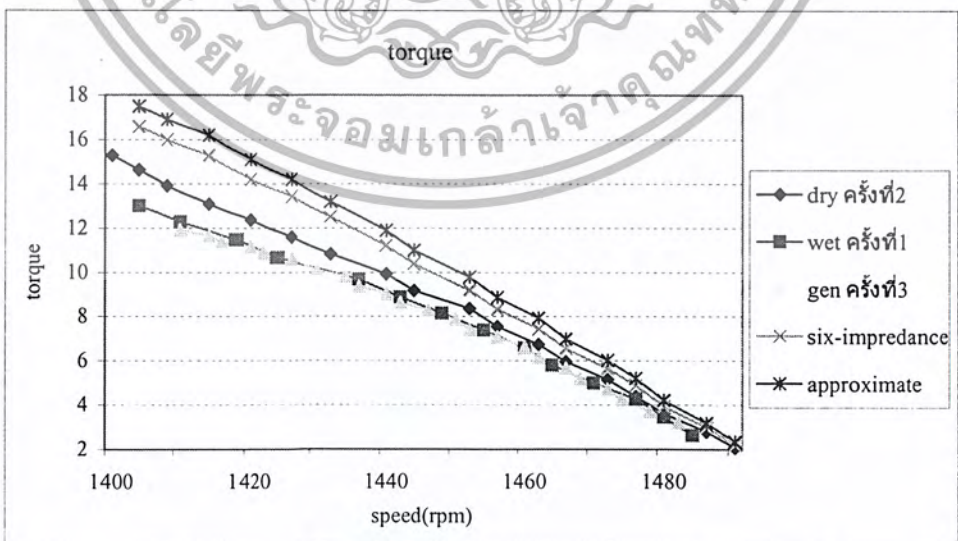
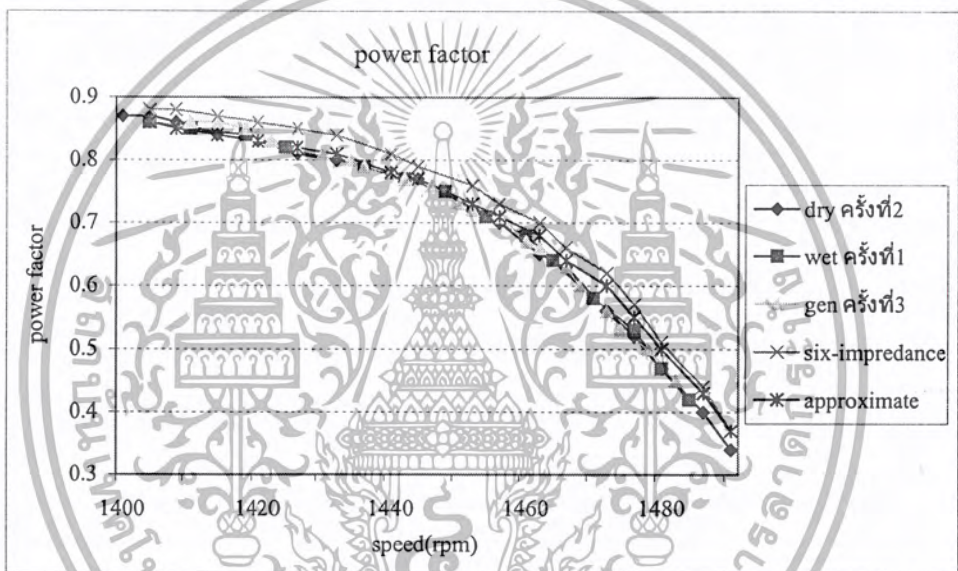
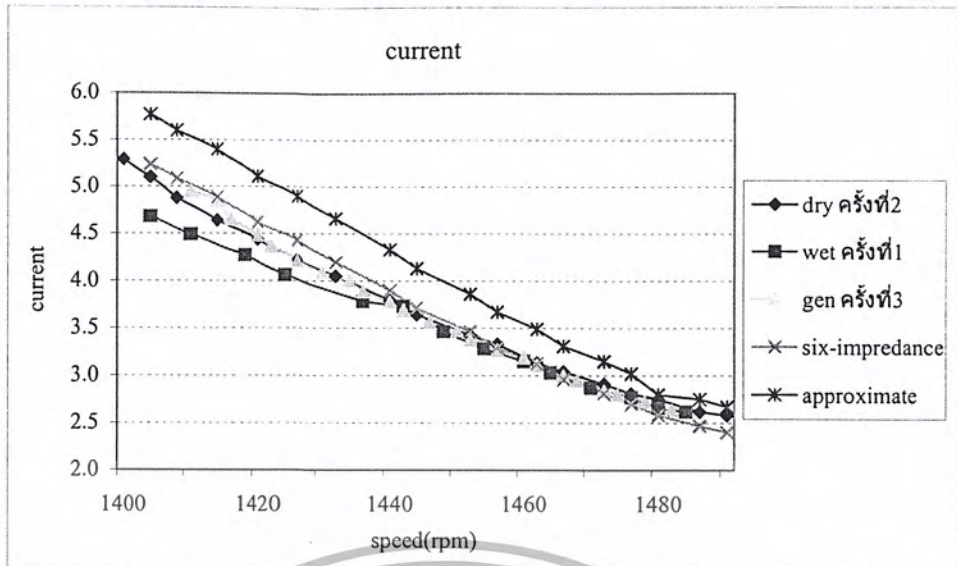
รูปที่ 3-9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผลของวิศวกรรมมูลยเบบประมาณและแบบสมบูรณให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าณะรับโหลด

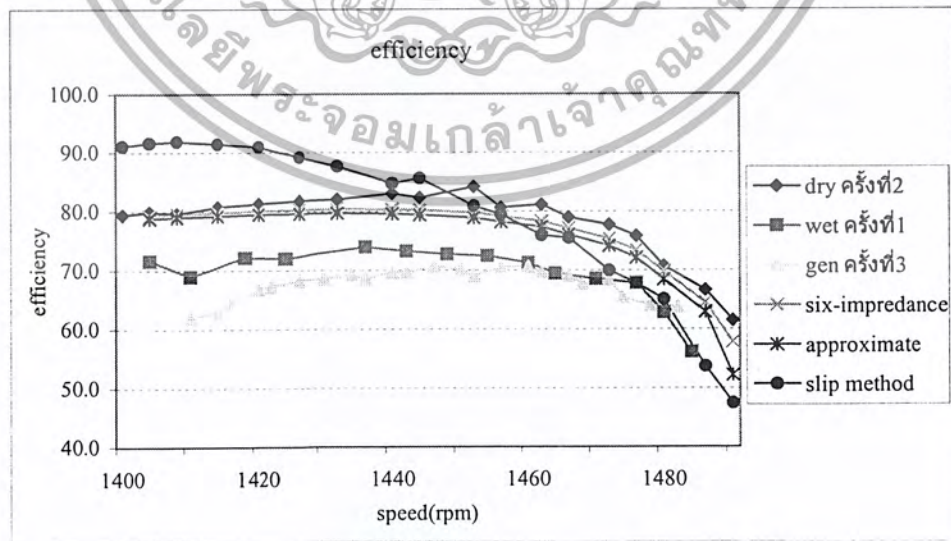
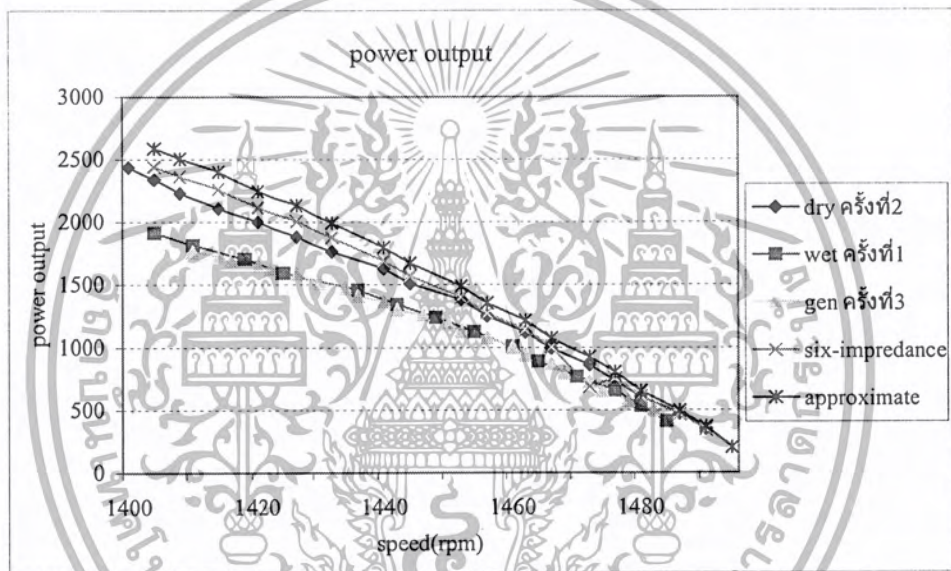
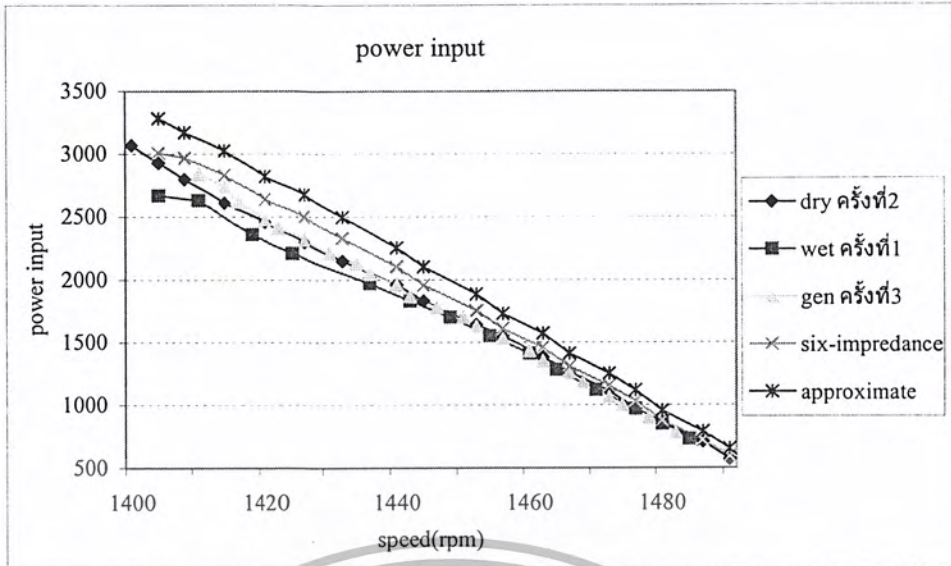
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับข้อมูลของวิศวกรรมมูลี่ยแบบประมาณและแบบสมบูรณ์(ต่อ) หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-10 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับโหลด

กับผลของวงจรสมมุติแบบประมาณและแบบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-10 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ณะรับโหลด

กับผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณและแบบสมบูรณ์ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีจีเนติกอัลกอริทึม

การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยทั่วไปแล้ว จะมีการคำนวณที่ยุ่งยากและซับซ้อนและจะต้องนำ โหลดที่มีอยู่ก่อน ดังนั้นการนำเอาหลักการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยใช้เทคนิคจีเนติกอัลกอริทึม ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการทดสอบที่ยุ่งยากและซับซ้อนและง่ายต่อการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องนำ โหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์เหนี่ยวนำออกขณะทำการทดสอบ ส่วนข้อมูลที่ใช้ คือ ค่ากระแสอินพุท, แรงดันอินพุท, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบมอเตอร์เพียงสามจุดที่ได้จากการทำงาน และสามารถหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ ซึ่งอ้างอิงกับวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบประมาณ และวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อทราบวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าแล้ว ก็สามารถทราบคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้

ในบทนี้จะแสดงวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ (ดังรูปที่ 2-10 และรูปที่ 2-11) ที่คำนวณโดยวิธีจีเนติกอัลกอริทึม (ซึ่งมีขั้นตอนตามหัวข้อ 2.6) และทำการเปรียบเทียบผลคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากวิธีจีเนติกอัลกอริทึมกับการทดสอบภาระมอเตอร์ในแบบโหลดไฟฟ้าและโหลดทางกล

#### 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบนั้นได้มีการสุ่มข้อมูลทางด้านอินพุทที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามจุด ส่วนข้อมูลที่ใช้ คือ ค่ากระแสอินพุท, แรงดันอินพุท, ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบมอเตอร์ (และค่าความต้านทานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ) โดยได้แบ่งออกเป็นการสุ่มข้อมูลตามภาระของโหลดและแยกตามชนิดของการทดสอบภาระมอเตอร์ (load test) ดังนี้

##### 4.1.1 ข้อมูลจากการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดไฟฟ้า

1. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดสูง กลาง ต่ำ (max mid min) 3 จุด
2. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดสูง สูง ต่ำ (max max min) 3 จุด
3. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดกลาง กลาง ต่ำ (mid mid min) 3 จุด

##### 4.1.2 ข้อมูลจากการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง)

1. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดสูง กลาง ต่ำ (max mid min) 3 จุด
2. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดสูง สูง ต่ำ (max max min) 3 จุด
3. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดกลาง กลาง ต่ำ (mid mid min) 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 ข้อมูลจากการทดสอบภาระของมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก)

1. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดสูง กลาง ต่ำ (max mid min) 3 จุด
2. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดสูง สูง ต่ำ (max max min) 3 จุด
3. ข้อมูลภาระโหลดในช่วงของโหลดกลาง กลาง ต่ำ (mid mid min) 3 จุด

เมื่อข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบได้ผ่านกระบวนการออปติไมเซชันด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึมก็จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรสมมุทธ์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบประมาณและแบบสมบูรณ์ ซึ่งก็สามารถนำมาวิเคราะห์หาคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้

โดยในส่วนของผลการทดลองได้แยกแสดงผลเป็นแบบวงจรสมมุทธ์ทางไฟฟ้าแบบประมาณและวงจรสมมุทธ์ทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ์เพิ่มขึ้นอีก เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลและไม่ซับซ้อนในการแสดงผลการทดลอง

## 4.2 ผลการทดสอบ

### 4.2.1 ผลของค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมุทธ์

โดยค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมุทธ์ทั้งแบบประมาณและแบบสมบูรณ์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้าและขนาด 3 แรงม้า ได้แสดงดังตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2 ตามลำดับ

และผลการทดสอบคุณลักษณะของมอเตอร์ในบทนี้จะแสดงผลของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ส่วนผลของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้าได้แสดงอยู่ในภาคผนวก ข



1 แรงม้า เชือกแห้ง	six-impredance			approximate		
	max mid min	max max min	mid mid min	max mid min	max max min	mid mid min
$R_1$	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
$R_2$	10.879	10.214	10.414	10.99	11.02	11.27
$R_c$	1885.83	1251.592	1226.839	1274.61	1228.35	1197.38
$X_m$	230.011	215.897	234.667	241.26	239.03	241.51
$X_1$	1	1	1	-	-	-
$X_2$	2.204	2	9.364	-	-	-
$X_{eq}$	-	-	-	3	1	1

1 แรงม้า เชือกเปียก	six-impredance			approximate		
	max mid min	max max min	mid mid min	max mid min	max max min	mid mid min
$R_1$	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
$R_2$	11.968	11.634	10.698	11.39	11.59	12.94
$R_c$	1008.194	1334.053	1555.762	1177.22	1189.91	885.96
$X_m$	228.657	226.368	230.277	234.16	231.98	234.2
$X_1$	3.845	3.631	1.884	-	-	-
$X_2$	1.964	3.459	1	-	-	-
$X_{eq}$	-	-	-	1.66	2.5	1.74

1 แรงม้า gen	six-impredance			approximate		
	max mid min	max max min	mid mid min	max mid min	max max min	mid mid min
$R_1$	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
$R_2$	11.649	11.042	9.815	11.47	11.44	10.46
$R_c$	795.762	911.19	1231.462	914.35	927.46	1082.47
$X_m$	228.821	232.842	235.078	242.34	242.05	2431.16
$X_1$	6.876	7.918	5.95	-	-	-
$X_2$	1	1	1	-	-	-
$X_{eq}$	-	-	-	6.72	7.88	1.99

ตารางที่ 4-1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 แรงม้า เชือกแห้ง	six-impredance			approximate		
	max mid min	max max min	mid mid min	max mid min	max max min	mid mid min
$R_1$	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
$R_2$	2.91	3.06	3.22	3.254	3.53	4.62
$R_c$	619.79	498.59	428.84	585.86	396.72	290.94
$X_m$	83	85	81.19	90.911	90.78	91.91
$X_1$	5.54	3.24	7.15	-	-	-
$X_2$	2.6	1.01	1	-	-	-
$X_{cq}$	-	-	-	1.744	5.07	7.7

3 แรงม้า เชือกเปียก	six-impredance			approximate		
	max mid min	max max min	mid mid min	max mid min	max max min	mid mid min
$R_1$	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
$R_2$	3.28	3.29	3.17	4.19	4.51	3.56
$R_c$	396.51	415.58	466.22	299.27	222.87	463.82
$X_m$	84.56	84.21	84.99	97.05	96.85	94.13
$X_1$	7.05	7.08	5.99	-	-	-
$X_2$	1	2.77	1	-	-	-
$X_{cq}$	-	-	-	9.38	10	10

3 แรงม้า gen	six-impredance			approximate		
	max mid min	max max min	mid mid min	max mid min	max max min	mid mid min
$R_1$	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
$R_2$	2.88	2.72	3.17	3.44	3.11	3.31
$R_c$	800	596.22	373.26	437.06	656.5	623.5
$X_m$	86.54	83.61	86.55	97.72	93.99	93.04
$X_1$	3.86	8.29	6.45	-	-	-
$X_2$	2.33	3.53	1	-	-	-
$X_{cq}$	-	-	-	9.85	2.68	10

ตารางที่ 4-2 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.84	0.89	5.77	1077.38	832.97	77.31
2	1386	1.76	0.88	5.44	1017.69	790.27	77.65
3	1395	1.67	0.86	5.07	949.87	740.45	77.95
4	1402	1.60	0.85	4.77	896.62	700.34	78.11
5	1412	1.51	0.82	4.33	819.80	640.96	78.19
6	1421	1.43	0.80	3.93	749.88	585.36	78.06
7	1430	1.35	0.76	3.52	679.21	527.64	77.68
8	1438	1.28	0.73	3.15	615.77	474.52	77.06
9	1446	1.22	0.69	2.77	551.71	419.65	76.06
10	1454	1.16	0.64	2.38	487.04	362.99	74.53
11	1462	1.10	0.58	1.99	421.76	304.48	72.19
12	1470	1.05	0.51	1.58	355.84	244.08	68.59
13	1478	1.01	0.43	1.17	289.29	181.76	62.83
14	1486	0.98	0.34	0.75	222.09	117.45	52.88

ตารางที่ 4-3 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมบูร์ณ์เชิงอกแห้ง 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.83	0.83	5.17	1000.41	746.80	74.65
2	1386	1.76	0.82	4.89	948.08	709.80	74.87
3	1395	1.67	0.80	4.56	888.27	666.29	75.01
4	1402	1.61	0.79	4.30	841.08	631.05	75.03
5	1412	1.52	0.77	3.91	772.64	578.54	74.88
6	1421	1.44	0.75	3.55	710.03	529.07	74.51
7	1430	1.36	0.72	3.19	646.50	477.46	73.85
8	1438	1.29	0.69	2.85	589.25	429.76	72.93
9	1446	1.23	0.66	2.51	531.30	380.34	71.59
10	1454	1.16	0.61	2.16	472.67	329.16	69.64
11	1462	1.11	0.57	1.80	413.37	276.20	66.82
12	1470	1.06	0.51	1.44	353.43	221.46	62.66
13	1478	1.01	0.44	1.07	292.88	164.91	56.31
14	1486	0.98	0.36	0.68	231.73	106.54	45.98

ตารางที่ 4-4 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมบูร์ณ์เชิงอกแห้ง 1 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้เท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปรษณีย์ค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.88	0.88	5.64	1088.79	813.53	74.72
2	1386	1.80	0.87	5.32	1030.59	772.21	74.93
3	1395	1.71	0.86	4.95	964.38	723.89	75.06
4	1402	1.64	0.84	4.66	912.34	684.94	75.07
5	1412	1.54	0.82	4.24	837.18	627.16	74.91
6	1421	1.45	0.80	3.85	768.69	572.97	74.54
7	1430	1.37	0.78	3.45	699.42	516.65	73.87
8	1438	1.29	0.75	3.09	637.18	464.76	72.94
9	1446	1.23	0.71	2.71	574.32	411.11	71.58
10	1454	1.16	0.67	2.33	510.82	355.66	69.62
11	1462	1.10	0.62	1.95	446.70	298.37	66.79
12	1470	1.04	0.55	1.55	381.96	239.21	62.63
13	1478	0.99	0.48	1.15	316.59	178.14	56.27
14	1486	0.95	0.40	0.74	250.59	115.11	45.94

ตารางที่ 4-5 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ข้อที่ 1 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1366	1.90	0.89	5.64	1117.50	806.55	72.17
2	1374	1.83	0.88	5.35	1064.40	769.39	72.28
3	1383	1.75	0.87	5.01	1004.11	726.08	72.31
4	1394	1.66	0.85	4.59	929.64	670.94	72.17
5	1403	1.58	0.83	4.25	868.05	623.97	71.88
6	1413	1.49	0.81	3.81	791.97	564.23	71.24
7	1423	1.41	0.78	3.44	729.05	513.40	70.42
8	1432	1.34	0.75	3.07	665.52	460.76	69.23
9	1441	1.27	0.72	2.69	601.37	406.27	67.56
10	1450	1.21	0.67	2.30	536.61	349.89	65.20
11	1459	1.14	0.62	1.91	471.22	291.57	61.88
12	1467	1.10	0.57	1.55	412.57	238.06	57.70
13	1475	1.05	0.51	1.18	353.41	182.95	51.77
14	1483	1.01	0.44	0.81	293.75	126.20	42.96

ตารางที่ 4-6 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมมูลช็อกเป็ยก 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1366	1.91	0.88	5.80	1116.12	830.41	74.40
2	1374	1.84	0.87	5.51	1061.45	792.43	74.66
3	1383	1.76	0.86	5.16	999.35	748.12	74.86
4	1394	1.66	0.84	4.74	922.59	691.64	74.97
5	1403	1.58	0.83	4.38	859.08	643.47	74.90
6	1413	1.48	0.80	3.93	780.59	582.14	74.58
7	1423	1.40	0.77	3.55	715.64	529.90	74.05
8	1432	1.33	0.74	3.17	650.04	475.75	73.19
9	1441	1.26	0.70	2.78	583.78	419.64	71.88
10	1450	1.20	0.66	2.38	516.86	361.54	69.95
11	1459	1.13	0.60	1.97	449.27	301.38	67.08
12	1467	1.09	0.54	1.60	388.63	246.15	63.34
13	1475	1.04	0.48	1.22	327.44	189.22	57.79
14	1483	1.01	0.40	0.84	265.73	130.56	49.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4-7 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมมูลช็อกเป็ยก 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1366	2.00	0.91	6.34	1198.72	907.31	75.69
2	1374	1.92	0.90	6.02	1139.00	866.33	76.06
3	1383	1.83	0.89	5.65	1071.13	818.46	76.41
4	1394	1.72	0.87	5.19	987.21	757.34	76.72
5	1403	1.63	0.85	4.80	917.72	705.12	76.83
6	1413	1.52	0.83	4.31	831.77	638.53	76.77
7	1423	1.44	0.80	3.90	760.60	581.69	76.48
8	1432	1.36	0.77	3.48	688.66	522.69	75.90
9	1441	1.28	0.73	3.06	615.94	461.44	74.92
10	1450	1.21	0.68	2.62	542.42	397.91	73.36
11	1459	1.14	0.62	2.17	468.08	332.01	70.93
12	1467	1.09	0.56	1.77	401.32	271.39	67.62
13	1475	1.04	0.49	1.35	333.91	208.81	62.53
14	1483	1.00	0.40	0.93	265.83	144.21	54.25

ตารางที่ 4-8 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมบูรณ์เชิงอเนก 1 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1384	1.80	0.87	4.99	1032.28	722.45	69.99
2	1400	1.65	0.84	4.34	917.39	636.83	69.42
3	1415	1.51	0.81	3.75	814.20	556.21	68.31
4	1431	1.38	0.77	3.10	702.23	464.76	66.18
5	1443	1.28	0.73	2.60	616.95	392.34	63.59
6	1456	1.19	0.67	2.03	523.29	310.04	59.25
7	1468	1.11	0.60	1.50	435.66	230.40	52.89
8	1480	1.04	0.51	0.95	346.89	147.14	42.42

ตารางที่ 4-9 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ gen 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1384	1.82	0.87	5.20	1048.08	753.51	71.89
2	1400	1.66	0.85	4.53	928.25	664.93	71.63
3	1415	1.52	0.82	3.92	820.48	581.31	70.85
4	1431	1.37	0.78	3.24	703.40	486.22	69.12
5	1443	1.27	0.73	2.72	614.14	410.75	66.88
6	1456	1.17	0.67	2.13	516.03	324.84	62.95
7	1468	1.09	0.59	1.57	424.16	241.57	56.95
8	1480	1.01	0.49	1.00	331.02	154.38	46.64

ตารางที่ 4-10 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ gen 1 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1384	1.92	0.89	5.88	1134.42	851.62	75.07
2	1400	1.74	0.87	5.14	998.76	753.25	75.42
3	1415	1.58	0.84	4.45	876.51	659.91	75.29
4	1431	1.41	0.80	3.69	743.44	553.25	74.42
5	1443	1.30	0.75	3.10	641.80	468.21	72.95
6	1456	1.18	0.68	2.43	529.89	371.02	70.02
7	1468	1.08	0.59	1.80	424.90	276.43	65.06
8	1480	1.00	0.48	1.14	318.27	177.00	55.61

ตารางที่ 4-11 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ gen 1 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน โดยผู้ดูแลเห็นชอบใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.92	0.87	5.88	1110.00	849.00	76.00
2	1386	1.84	0.86	5.55	1049.00	806.00	76.00
3	1395	1.75	0.84	5.16	980.00	755.00	77.00
4	1402	1.68	0.83	4.86	926.00	714.00	77.10
5	1412	1.58	0.81	4.42	847.00	654.00	77.10
6	1421	1.49	0.78	4.01	776.00	597.00	76.90
7	1430	1.41	0.75	3.59	704.00	538.00	76.40
8	1438	1.33	0.72	3.21	639.00	484.00	75.70
9	1446	1.26	0.68	2.82	573.00	428.00	74.60
10	1454	1.19	0.64	2.43	507.00	370.00	73.00
11	1462	1.13	0.58	2.03	440.00	310.00	72.50
12	14470	1.07	0.52	1.61	373.00	249.00	66.80
13	1478	1.02	0.45	1.19	305.00	185.00	60.80
14	1486	0.98	0.36	0.77	236.00	120.00	50.80

ตารางที่ 4-12 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเชิงกึ่ง 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.92	0.87	5.87	1112.00	847.00	76.20
2	1386	1.84	0.86	5.54	1051.00	804.00	76.40
3	1395	1.75	0.84	5.15	982.00	753.00	76.60
4	1402	1.68	0.83	4.85	928.00	713.00	76.70
5	1412	1.58	0.81	4.41	850.00	652.00	76.70
6	1421	1.49	0.78	4.00	778.00	596.00	76.50
7	1430	1.41	0.75	3.58	706.00	537.00	76.00
8	1438	1.34	0.72	3.20	640.00	483.00	75.20
9	1446	1.27	0.68	2.82	576.00	427.00	74.10
10	1454	1.20	0.64	2.42	510.00	369.00	72.30
11	1462	1.14	0.58	2.02	444.00	310.00	69.80
12	14470	1.08	0.52	1.61	376.00	248.00	65.90
13	1478	1.03	0.45	1.19	308.00	185.00	59.90
14	1486	0.98	0.36	0.76	242.00	119.00	49.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.89	0.87	5.76	1095.00	831.00	75.90
2	1386	1.81	0.86	5.43	1035.00	789.00	76.10
3	1395	1.73	0.84	5.05	967.00	736.00	76.30
4	1402	1.66	0.83	4.75	914.00	699.00	76.40
5	1412	1.56	0.81	4.32	837.00	639.00	76.30
6	1421	1.48	0.78	3.93	768.00	584.00	76.00
7	1430	1.39	0.75	3.51	697.00	526.00	75.40
8	1438	1.32	0.72	3.14	634.00	473.00	74.60
9	1446	1.25	0.68	2.76	570.00	418.00	73.40
10	1454	1.19	0.64	2.37	503.00	362.00	71.60
11	1462	1.12	0.59	1.98	440.00	303.00	68.90
12	14470	1.07	0.52	1.58	374.00	243.00	65.00
13	1478	1.02	0.45	1.17	307.00	181.00	60.90
14	1486	0.98	0.37	0.75	240.00	117.00	52.50

ตารางที่ 4-14 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเชิงข้อแก้ 1 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1366	2.02	0.88	6.18	1175.00	885.00	75.30
2	1374	1.94	0.87	5.86	1117.00	844.00	75.60
3	1383	1.85	0.85	5.50	1050.00	797.00	75.90
4	1394	1.74	0.83	5.05	969.00	737.00	76.10
5	1403	1.66	0.82	4.67	901.00	686.00	76.10
6	1413	1.56	0.79	4.23	825.00	627.00	76.00
7	1423	1.47	0.76	3.79	748.00	565.00	75.60
8	1432	1.39	0.73	3.38	678.00	508.00	74.90
9	1441	1.31	0.69	2.97	607.00	448.00	73.80
10	1450	1.24	0.65	2.54	535.00	386.00	72.10
11	1459	1.17	0.59	2.10	463.00	322.00	69.60
12	1467	1.11	0.53	1.71	398.00	263.00	66.10
13	1475	1.06	0.47	1.31	332.00	202.00	60.90
14	1483	1.02	0.39	0.90	266.00	139.00	52.50

ตารางที่ 4-15 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเครือข่าย 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1366	2.00	0.87	6.09	1157.00	872.00	75.30
2	1374	1.92	0.86	5.78	1099.00	832.00	75.60
3	1383	1.84	0.85	5.42	1034.00	785.00	75.90
4	1394	1.73	0.83	4.97	953.00	726.00	76.10
5	1403	1.65	0.81	4.59	887.00	676.00	76.20
6	1413	1.56	0.78	4.17	812.00	617.00	76.00
7	1423	1.47	0.75	3.73	736.00	557.00	75.60
8	1432	1.39	0.72	3.33	667.00	500.00	74.90
9	1441	1.31	0.68	2.92	597.00	441.00	73.80
10	1450	1.24	0.64	2.50	527.00	380.00	72.10
11	1459	1.17	0.58	2.07	456.00	317.00	69.50
12	1467	1.12	0.53	1.68	392.00	259.00	66.00
13	1475	1.07	0.46	1.28	327.00	199.00	60.80
14	1483	1.02	0.38	0.88	262.00	137.00	52.30

เอกสารนี้เป็นตารางที่ 4-16 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเครือข่าย 1 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1366	1.91	0.86	5.54	1098.00	793.00	72.20
2	1374	1.84	0.85	5.25	1046.00	756.00	72.30
3	1383	1.77	0.84	4.92	986.00	713.00	72.30
4	1394	1.67	0.82	4.51	913.00	659.00	72.10
5	1403	1.60	0.80	4.16	853.00	612.00	71.80
6	1413	1.52	0.78	3.77	785.00	559.00	71.10
7	1423	1.43	0.75	3.37	716.00	503.00	70.20
8	1432	1.36	0.72	3.01	654.00	451.00	69.00
9	1441	1.30	0.68	2.63	591.00	398.00	67.30
10	1450	1.23	0.64	2.25	528.00	342.00	64.90
11	1459	1.17	0.59	1.86	463.00	285.00	61.50
12	1467	1.12	0.54	1.51	406.00	233.00	57.30
13	1475	1.07	0.48	1.15	348.00	179.00	51.30
14	1483	1.03	0.42	0.79	289.00	123.00	42.50

ตารางที่ 4-17 แสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณแบริกเป็ยก 1 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1384	1.89	0.85	5.43	1073.00	787.00	73.40
2	1400	1.73	0.83	4.77	954.00	669.00	73.30
3	1415	1.58	0.80	4.12	841.00	612.00	72.70
4	1431	1.43	0.76	3.41	718.00	512.00	71.30
5	1443	1.32	0.71	2.86	624.00	432.00	69.30
6	1456	1.21	0.65	2.24	524.00	342.00	65.70
7	1468	1.11	0.57	1.65	424.00	254.00	60.00
8	1480	1.03	0.47	1.05	325.00	162.00	49.90

ตารางที่ 4-18 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 1 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

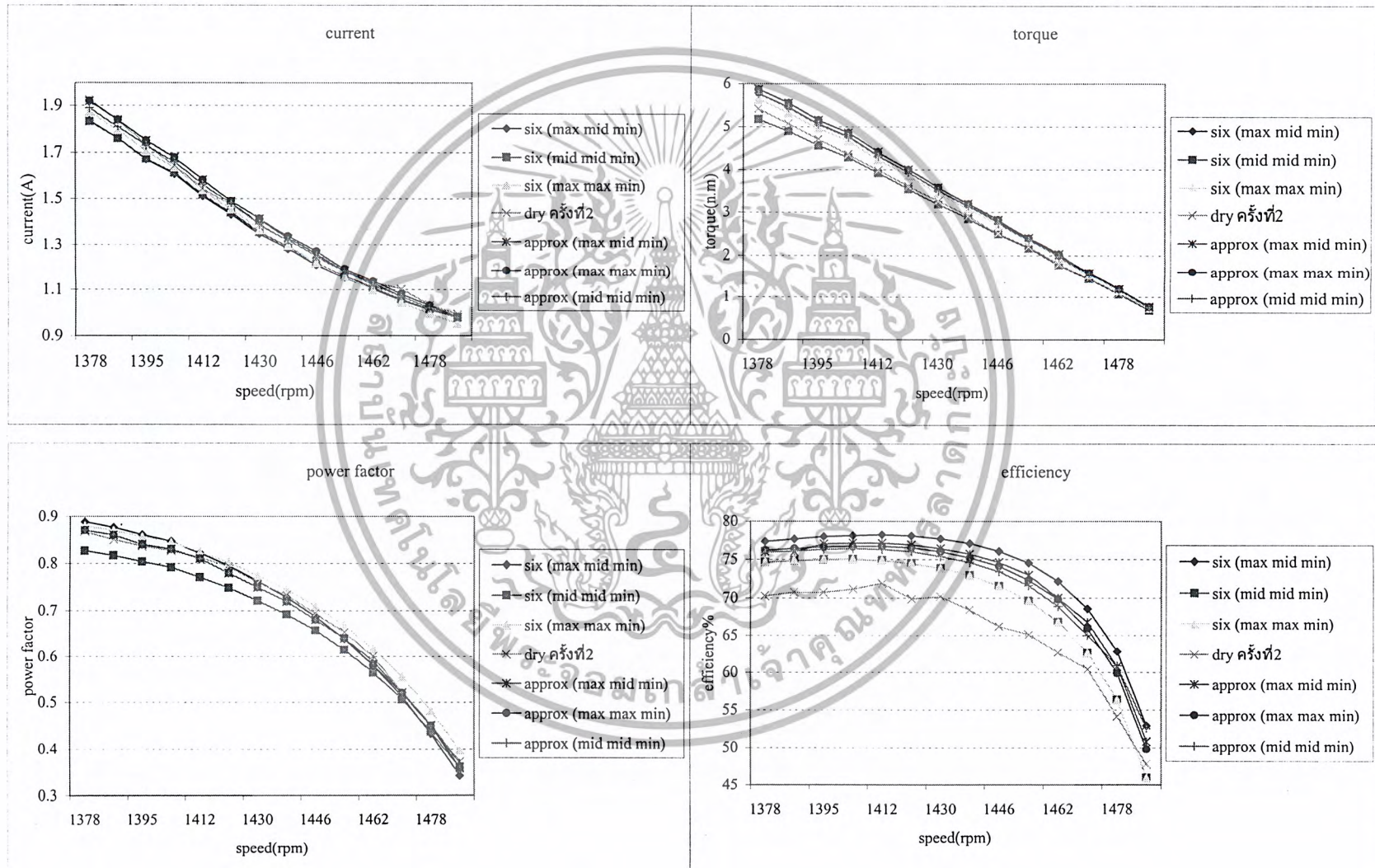
step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1384	1.89	0.85	5.43	1070.00	787.00	73.50
2	1400	1.73	0.83	4.77	952.00	699.00	73.40
3	1415	1.58	0.80	4.12	839.00	612.00	72.90
4	1431	1.41	0.75	3.41	716.00	512.00	71.50
5	1443	1.32	0.71	2.86	622.00	432.00	69.50
6	1456	1.21	0.64	2.24	518.00	342.00	66.00
7	1468	1.11	0.57	1.65	422.00	254.00	60.30
8	1480	1.03	0.47	1.05	323.00	162.00	50.30

ตารางที่ 4-19 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 1 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

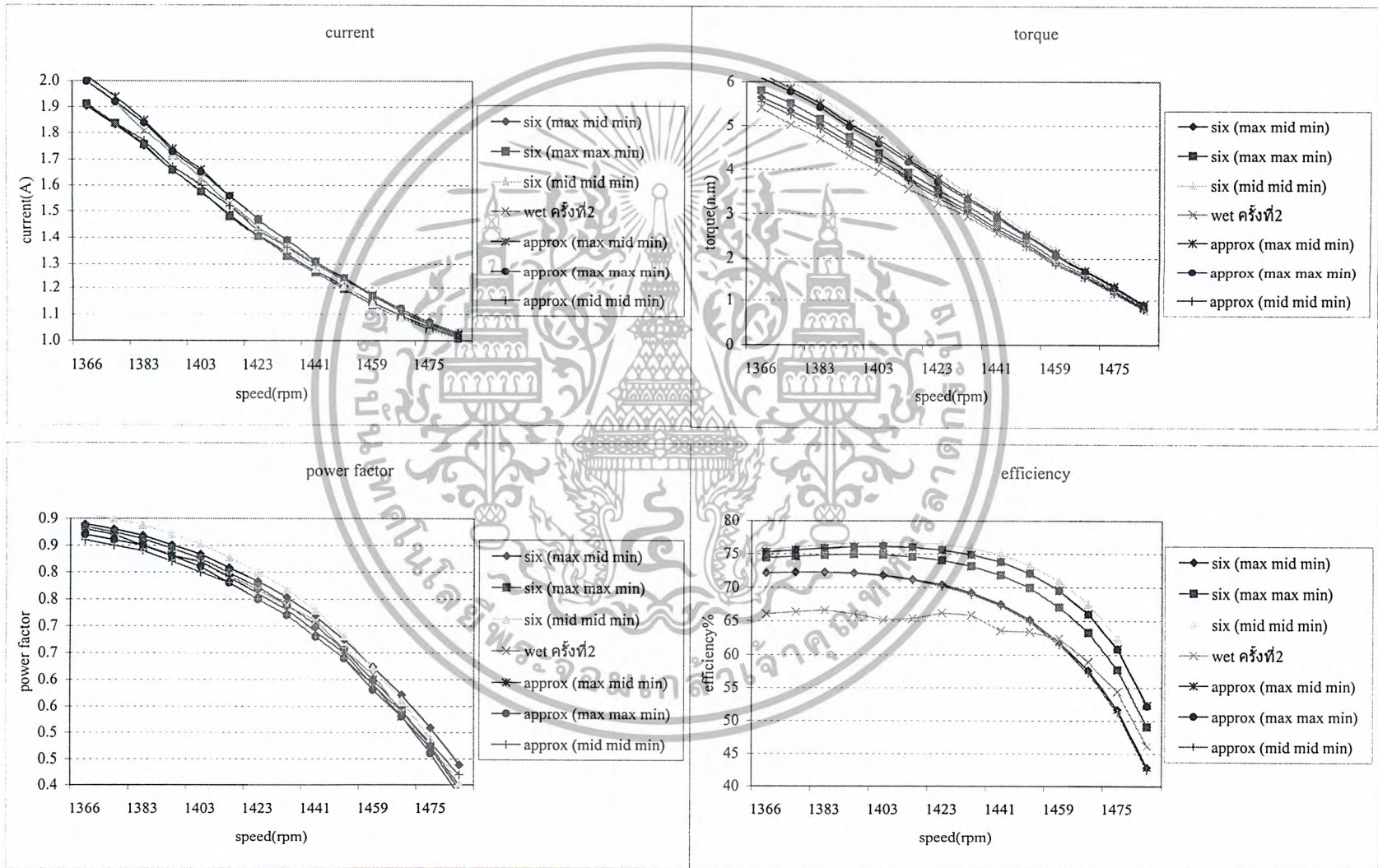
step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1384	1.94	0.87	5.88	1130.00	852.00	75.40
2	1400	1.77	0.85	5.17	1001.00	758.00	75.70
3	1415	1.61	0.82	4.48	878.00	664.00	75.60
4	1431	1.45	0.77	3.71	744.00	556.00	74.30
5	1443	1.33	0.73	3.11	642.00	470.00	73.30
6	1456	1.21	0.66	2.44	529.00	372.00	70.40
7	1468	1.11	0.57	1.81	424.00	277.00	65.50
8	1480	1.02	0.46	1.14	316.00	177.00	56.10

ตารางที่ 4-20 แสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 1 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

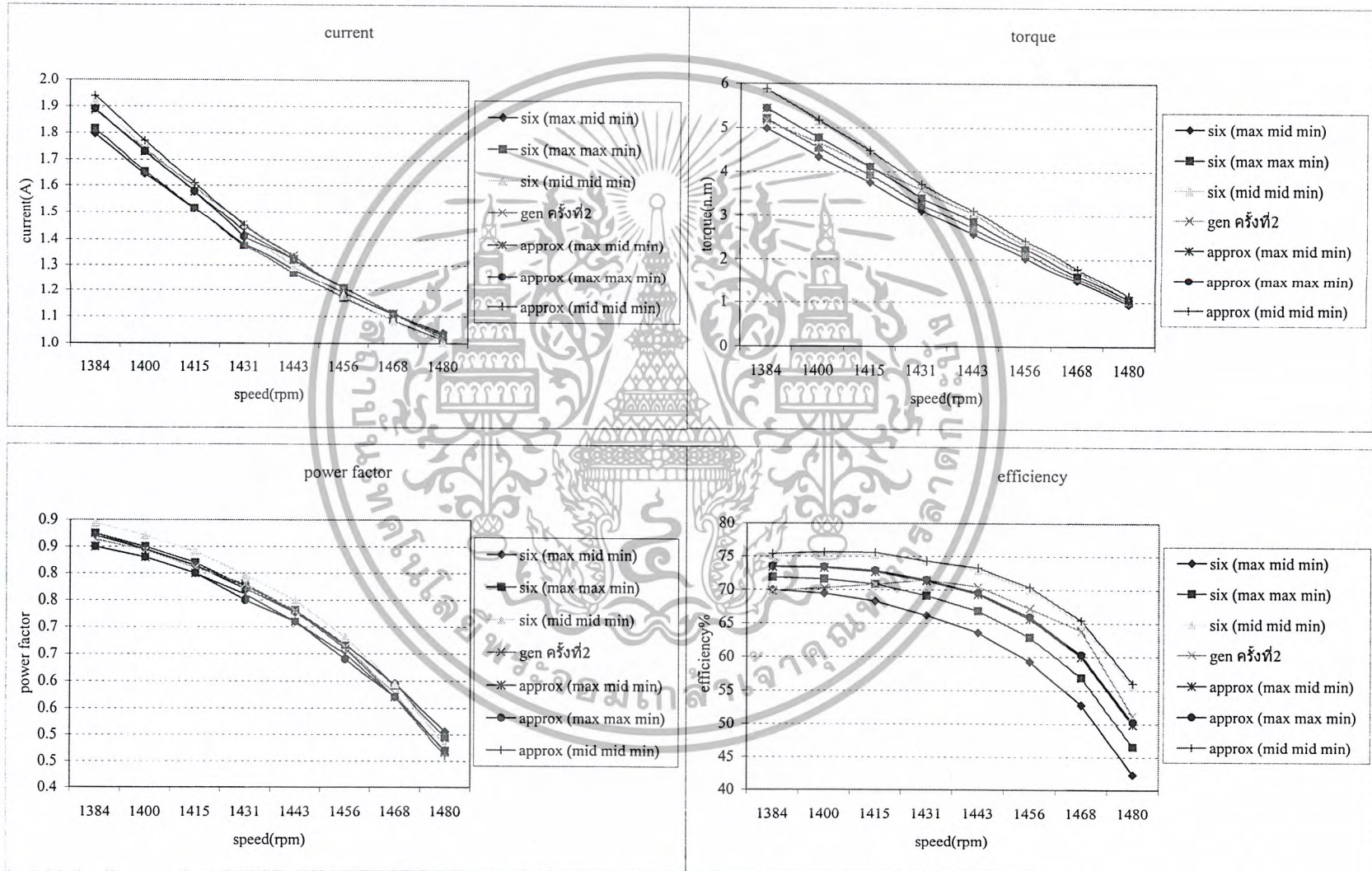
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่เชิงพาณิชย์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-1 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบเชิงห้องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า



รูปที่ 4-2 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบเชิงเปียกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า



รูปที่ 4-3 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบ gen ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า

## บทที่ 5

### วิเคราะห์และเปรียบเทียบ

บทนี้จะเป็นการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าและ 3 แรงม้าจากวิธีต่าง ๆ ได้แก่

#### 5.1 การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า จะแบ่งเป็น

##### 5.1.1 การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง)

ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งจะมีการนำผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณ (max max min) และวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ (max max min) ที่ได้จากวิธีจินตคติอัลกอริทึม มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 ไว้ในกราฟเดียวกัน

จะสังเกตได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีจินตคติอัลกอริทึมกับการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ครั้งที่ 2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันและมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี slip method จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีอื่น

##### 5.1.2 การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก)

ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งจะมีการนำผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณ (max max min) และวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ (max max min) ที่ได้จากวิธีจินตคติอัลกอริทึม มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 ไว้ในกราฟเดียวกัน

จะสังเกตได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีจินตคติอัลกอริทึมกับการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 2 พบว่าก่อนเข้ามีความคลาดเคลื่อนในช่วงภาระโหลดปานกลางถึงภาระโหลดสูง ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี slip method จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีอื่น

##### 5.1.3 การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้า

ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งจะมีการนำผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณ (max max min) และวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ (max max min) ที่ได้จากวิธีจินตคติอัลกอริทึม มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากวงจรสมมูลย์แบบประมาณและวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 ไว้ในกราฟเดียวกัน

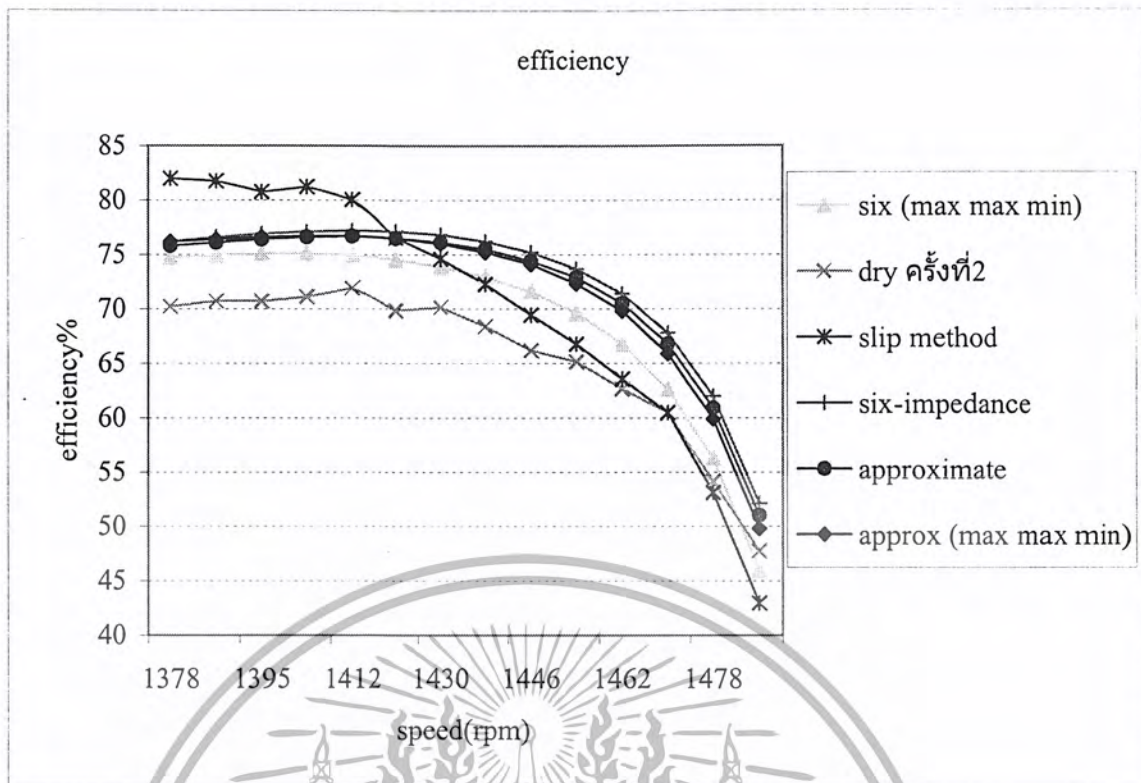
จะสังเกตได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีจินตคติอัลกอริทึมกับการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มีความคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อยแต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้า ครั้ง ที่ 2 (gen) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวงจรสมมูลย์แบบประมาณ (max max min) ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี slip method จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีอื่น

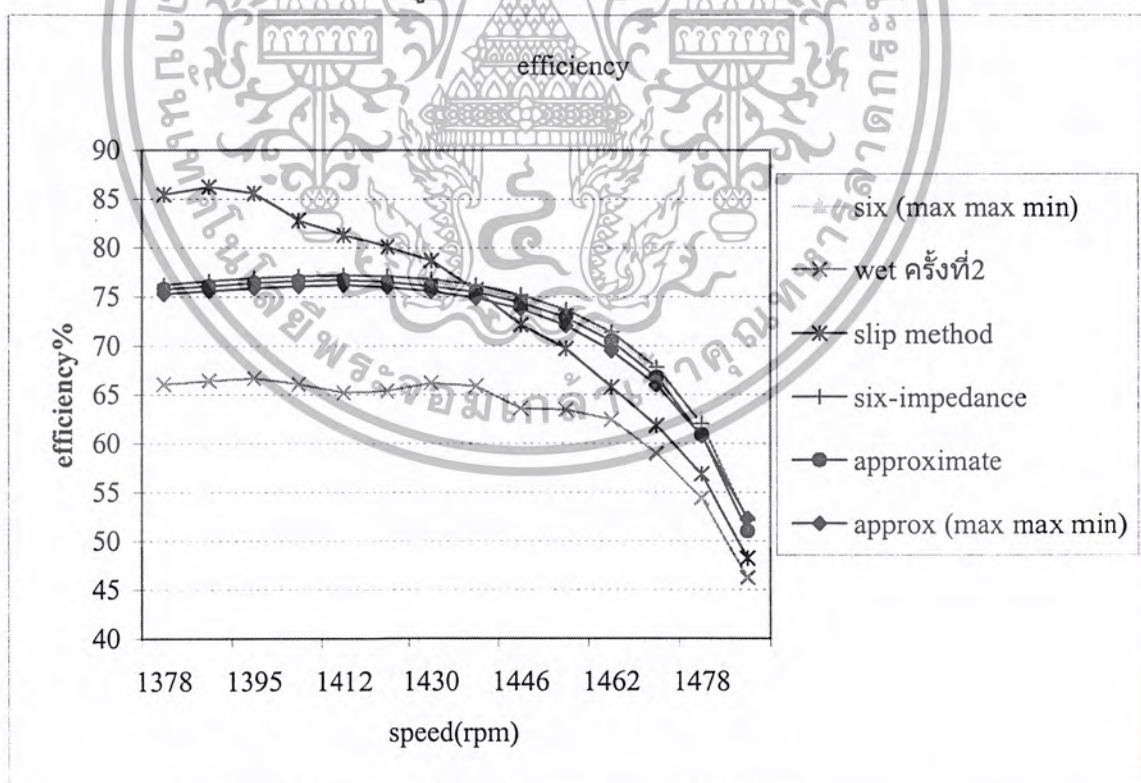
เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์ ทั้ง 3 แบบ คือ 1. การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) 2. การทดสอบภาระมอเตอร์ แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก) และ 3. การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้า

พบว่า การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) จะให้ผลของค่าประสิทธิภาพ มอเตอร์สูงกว่าการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก) เล็กน้อยและมีแนวโน้มไปใน ทิศทางเดียวกัน ส่วนการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้าจะให้ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ ใกล้เคียงกับผลการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) และมีแนวโน้มไปในทิศทาง เดียวกัน



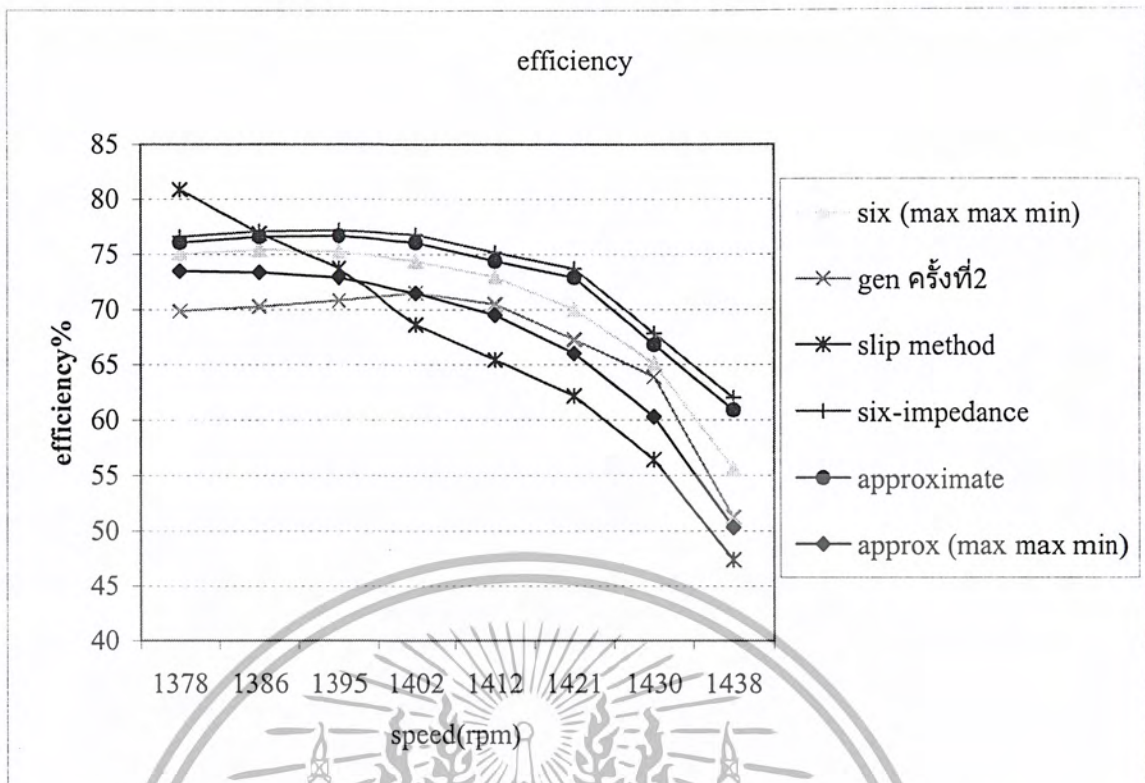


รูปที่ 5-1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระโหลดทางกล (เข็กรแห้ง)



รูปที่ 5-2 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระโหลดทางกล (เข็กรเปียก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-3 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาวะโหลดทางไฟฟ้า (gen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า จะแบ่งเป็น

### 5.2.1 การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง)

ผังรูปที่ 5.4 ซึ่งจะมีการนำผลการทดสอบจากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณ (max mid min) และวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ (max mid min) ที่ได้จากวิธีจันติกอัลกอริธึม มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณและวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 ไว้ในกราฟเดียวกัน

จะสังเกตได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีจันติกอัลกอริธึมกับการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ครั้งที่ 2 พบว่ามีค่าใกล้เคียงและมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี slip method จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีอื่น

### 5.2.2 การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก)

ผังรูปที่ 5.5 ซึ่งจะมีการนำผลการทดสอบจากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณ (max mid min) และวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ (max mid min) ที่ได้จากวิธีจันติกอัลกอริธึม มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณและวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 ไว้ในกราฟเดียวกัน

จะสังเกตได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีจันติกอัลกอริธึมกับการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพจากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบ โหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 1 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ (max mid min) ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี slip method จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีอื่น

### 5.3.3 การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้า

ผังรูปที่ 5.6 ซึ่งจะมีการนำผลการทดสอบจากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณ (max mid min) และวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ (max mid min) ที่ได้จากวิธีจันติกอัลกอริธึม มาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณและวงจรสมมุทธ์แบบสมบูรณ์ ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 ไว้ในกราฟเดียวกัน

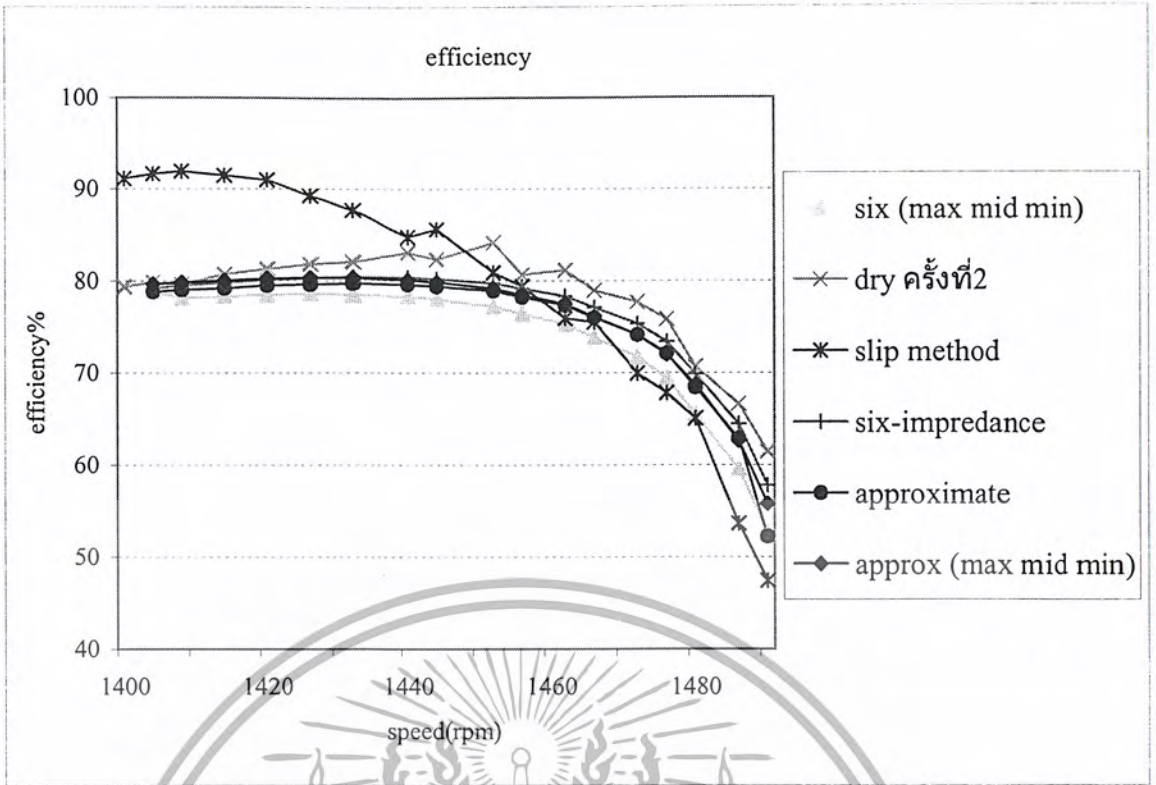
จะสังเกตได้ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีจันติกอัลกอริธึมกับการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวงจรสมมุทธ์แบบประมาณ (max mid min) ที่มีผลแตกต่างไปเล็กน้อย และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้าครั้งที่ 2 (gen) พบว่าค่อนข้างมีความคลาดเคลื่อนโดยเฉพาะในช่วงภาระ โหลดสูง ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี slip method จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากวิธีอื่น

เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์ ทั้ง 3 แบบ คือ 1. การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) 2. การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก) และ 3. การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้า

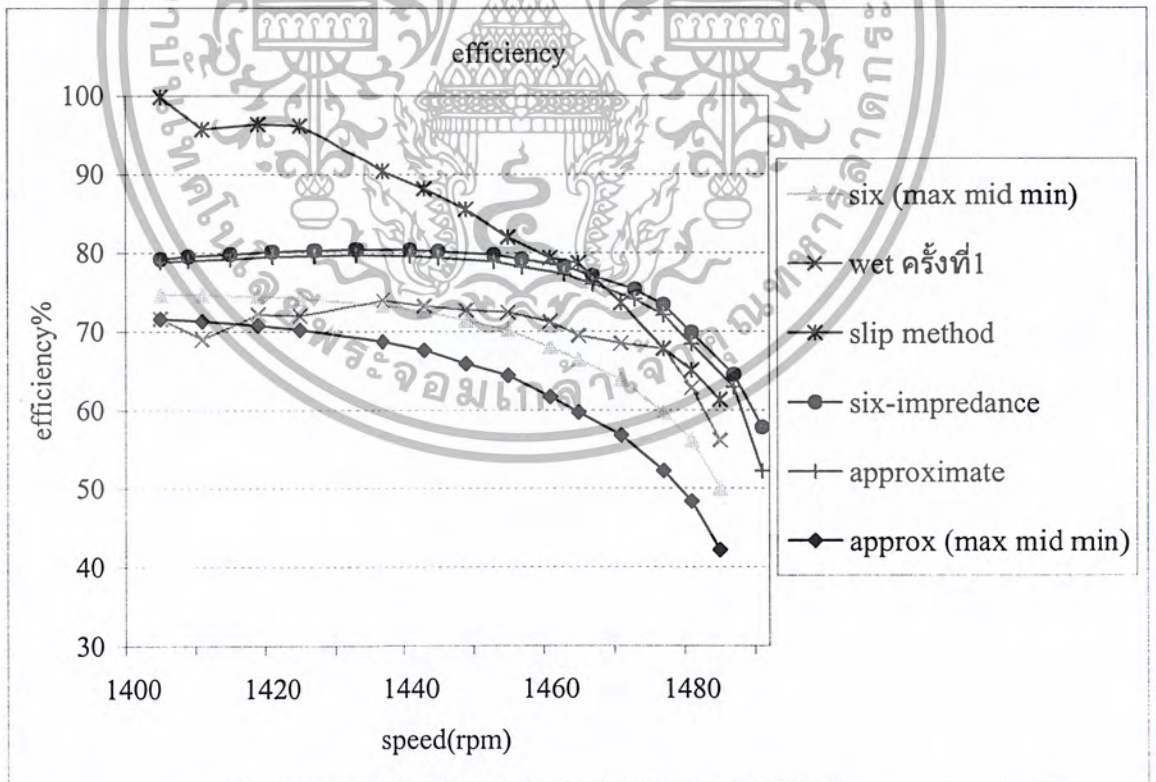
พบว่า การทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกแห้ง) จะให้ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์สูงกว่าการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียก) เล็กน้อยและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางไฟฟ้าจะให้ผลของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ต่ำกว่าการทดสอบภาระมอเตอร์แบบโหลดทางกล (เชือกเปียกและเชือกแห้ง) โดยเฉพาะในช่วงภาระโหลดมอเตอร์สูง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากผลของการสูญเสีย (loss) ที่แปลงด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ไม่สามารถประมาณค่าได้ ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

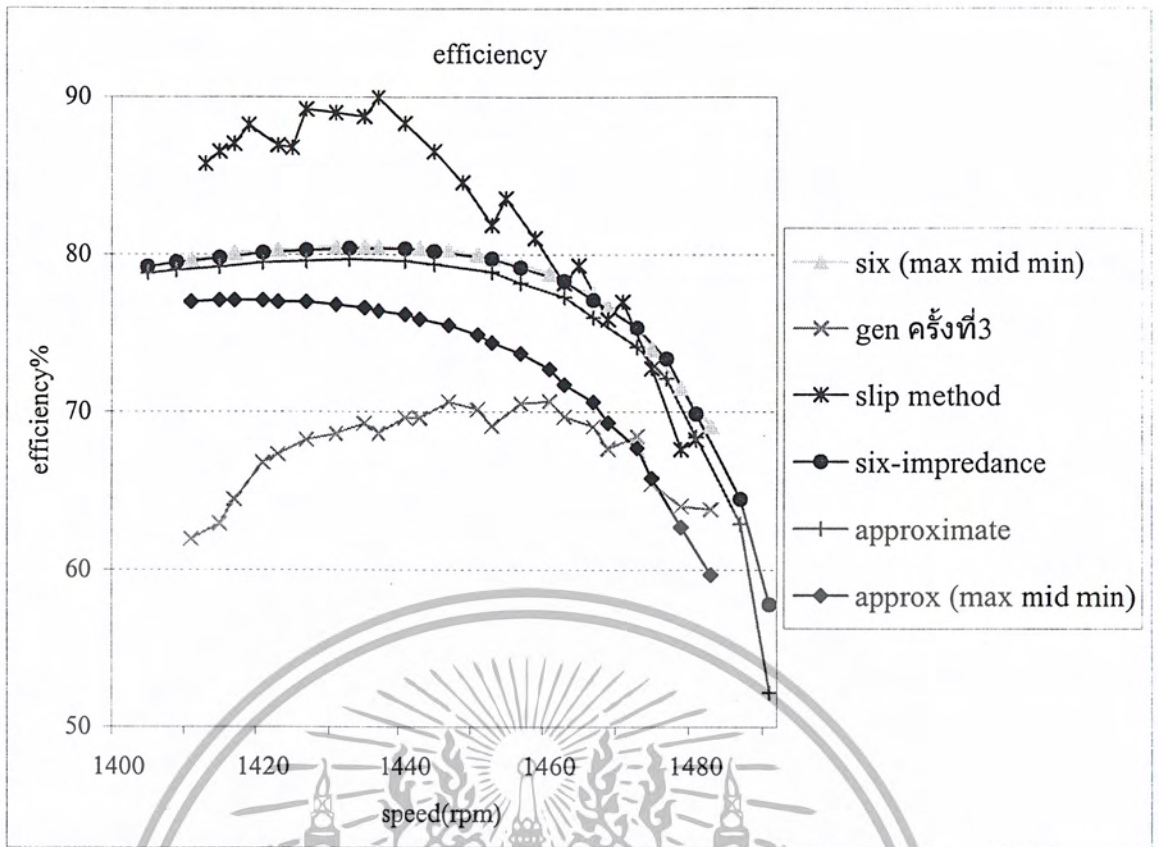


รูปที่ 5-4 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระโหลดทางกล (เชือกแห้ง)



รูปที่ 5-5 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระโหลดทางกล (เชือกเปียก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-6 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระโหลดทางไฟฟ้า (gen)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

## บทสรุป

การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริงมีประโยชน์มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องการบริหารพลังงาน การจะใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าจำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิภาพ และเนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ และมีเป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรม การที่เราจะทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำต้องทราบถึงค่ากำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต แต่เนื่องจากสภาพความเป็นจริงแล้วการวัดค่ากำลังทางกลด้านเอาต์พุตของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริงทำได้ยาก เพราะต้องใช้เทอร์กมิเตอร์ต่อเข้าไประหว่างเพลลาของมอเตอร์กับโพลด ซึ่งในขณะทำงานจริงไม่สามารถทำได้ ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงด้วยวิธีพื้นฐานต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ วิธีการคำนวณจากป้ายพิกัด (nameplate method), วิธีคำนวณจากสลลิป (slip method), วิธีการทดสอบไร้ภาระ และขีดโรเตอร์ (no-load test and blocked-rotor test) และการทดสอบด้วยภาระ (load test) เพื่อเป็นตัวอ้างอิงกับวิธีที่ทำการศึกษาซึ่งวิธีคำนวณจากป้ายพิกัดจะมีความคลาดเคลื่อนสูงในที่นี้จึงไม่กล่าวถึง

วิธีคำนวณจากสลลิป (slip method) ทำได้โดยใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ตามหัวข้อ 2.5.2 ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

วิธีการทดสอบไร้ภาระ และขีดโรเตอร์ (no-load test and blocked-rotor test) ตาม IEEE std112-1991 จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรสมมูลย์แบบสมมูลร์น (six-impedance equivalent circuit) และวงจรสมมูลย์แบบประมาณ (approximate equivalent circuit) จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ

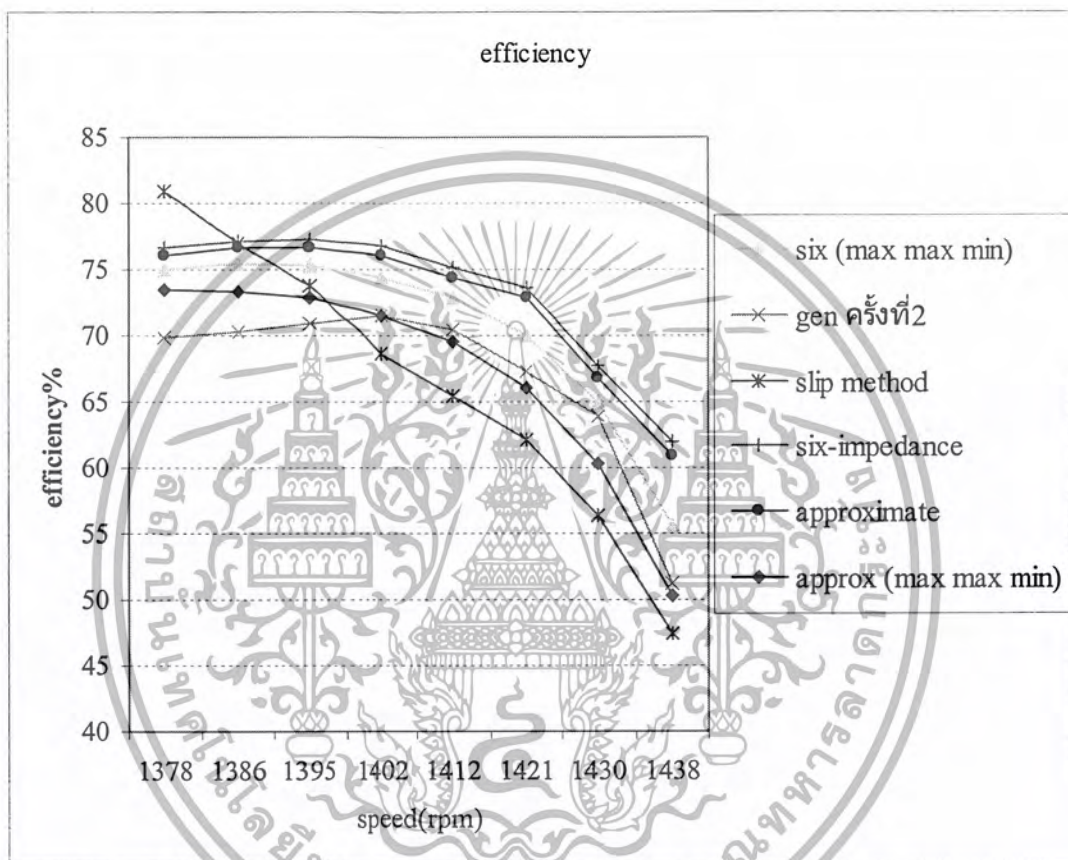
วิธีการทดสอบด้วยภาระ ทำการทดสอบ 3 แบบ คือ

- การทดสอบด้วยภาระทางกล (เชือกแห้ง) เป็นการเพิ่มภาระทางกลโดยการเพิ่มน้ำหนัก และทำการดูกระแสจนถึงค่าพิกัด ดูจากหัวข้อ 3.2
- การทดสอบด้วยภาระทางกล (เชือกเปียก) เป็นการเพิ่มภาระทางกลโดยการเพิ่มน้ำหนัก และทำการดูกระแสจนถึงค่าพิกัด ดูจากหัวข้อ 3.3
- การทดสอบด้วยภาระทางไฟฟ้า เป็นการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าโดยนำมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทดสอบไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ดูจาก 3.1

จากนั้นนำผลการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีต่าง ๆ มาเปรียบเทียบโดยใช้กราฟพบว่า วิธีการคำนวณจากสลลิป (slip method) มีความแม่นยำน้อย แต่สะดวกในการใช้งาน, วิธีการทดสอบไร้ภาระ และขีดโรเตอร์ (no-load test and blocked-rotor test) มีความแม่นยำสูง แต่ยุ่งยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไม่สะดวกขณะใช้งานจริง ดังนั้นในโครงการนี้จึงทำการศึกษาอีกวิธีหนึ่งซึ่งน่าจะนำมาใช้หาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงได้ คือ “วิธีจีเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm)” วิธีนี้เป็นการสุ่มค่า 3 จุด โดยมีค่า กระแส (current), ความเร็วรอบ (speed), ตัวประกอบกำลัง (power factor), ความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage) เป็นตัวแปรในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้โปรแกรมเข้ามาช่วย (ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้ศึกษาวิธีเขียนโปรแกรม) นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ

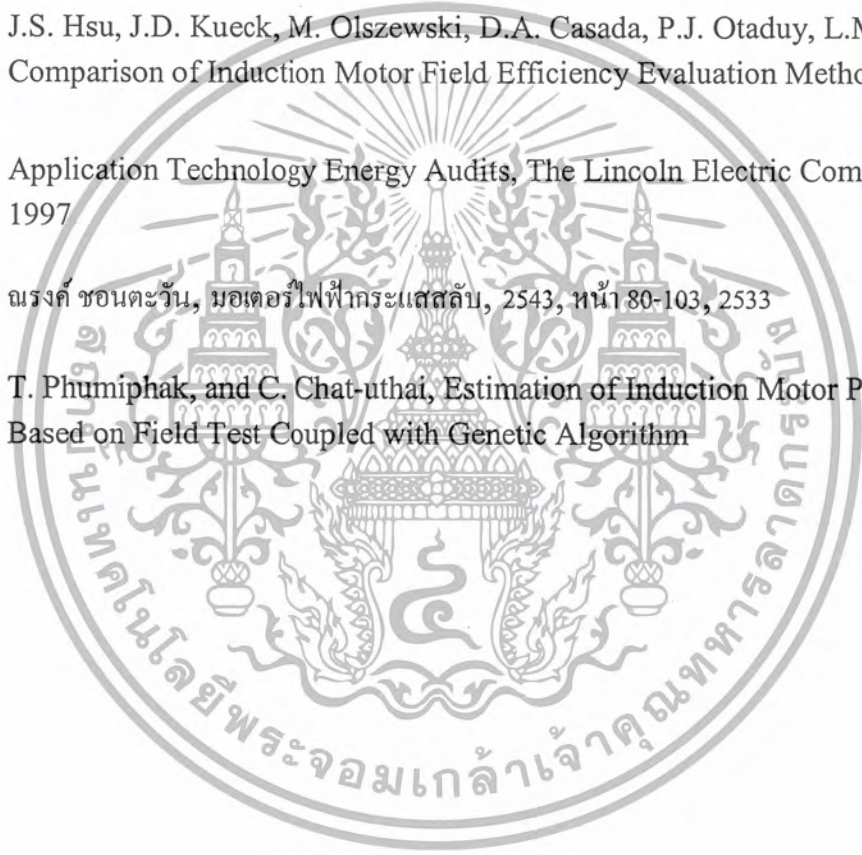


รูปที่ 6-1 เป็นการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า โดยใช้ข้อมูลการทดสอบภาระโหลดทางไฟฟ้า (gen)

จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีจีเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) กับวิธีข้างต้นที่กล่าวมาดังรูป 6-1 พบว่าเส้นโค้งประสิทธิภาพมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นวิธีจีเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) อาจเป็นแนวทางใหม่ในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำในอนาคตเพราะ สะดวกในการใช้หาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generator, IEEE Std112-1991, IEEE Power Engineering
- [2],[3] วรชาติ แซ่ก๊ก, เทคนิคในการหาคุณลักษณะของแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อย, วิศวกรรมเครื่องกล, วิศวกรรมไฟฟ้า, วิทยาลัยเทคนิคพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิศวกรรมไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์ปี 2545
- [4] J.S. Hsu, J.D. Kueck, M. Olszewski, D.A. Casada, P.J. Otaduy, L.M. Tolbert, Comparison of Induction Motor Field Efficiency Evaluation Methods
- [5] Application Technology Energy Audits, The Lincoln Electric Company, June 1997
- [6] ณรงค์ ชอนตะวัน, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ, 2543, หน้า 80-103, 2533
- [7] T. Phumiphak, and C. Chat-uthai, Estimation of Induction Motor Parameters Based on Field Test Coupled with Genetic Algorithm





ภาคผนวก ก  
ผลการทดสอบการะมอเตอร์เหนียวน้ำแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน โหลดไฟ	speed (rpm)	current (A)			voltage (V)			power factor			กำลังไฟฟ้า (W)			DC			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
		phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	V	I	W			
11	1329	2.4	2.39	2.36	221	220	220	0.9	0.91	0.9	480	480	470	179	4.4	787.6	886.70	6.37	62.01
10	1344	2.24	2.22	2.19	221	220	220	0.89	0.9	0.89	440	440	430	184	4.1	754.4	849.93	6.04	64.88
9	1366	2.07	2.05	2.01	221	220	220	0.88	0.88	0.88	400	400	390	190	3.7	703.0	794.17	5.55	66.74
8	1384	1.91	1.89	1.85	220	219	220	0.86	0.87	0.86	360	360	350	194	3.4	659.6	747.18	5.16	69.89
7	1400	1.77	1.74	1.71	220	220	220	0.84	0.85	0.84	330	320	320	199	3	597.0	681.60	4.65	70.27
6	1415	1.63	1.6	1.56	220	220	220	0.8	0.82	0.81	290	290	280	203	2.6	527.8	609.26	4.11	70.84
5	1431	1.49	1.46	1.41	221	220	220	0.78	0.79	0.77	260	250	240	208	2.2	457.6	536.28	3.58	71.52
4	1443	1.36	1.34	1.3	220	220	220	0.73	0.74	0.72	220	220	210	212	1.8	381.6	458.14	3.03	70.48
3	1456	1.23	1.21	1.18	220	219	219	0.66	0.68	0.65	180	180	168	216	1.3	280.8	355.17	2.33	67.27
2	1468	1.13	1.12	1.09	220	219	219	0.57	0.6	0.56	143	146	134	219	0.9	197.1	270.23	1.76	63.89
1	1480	1.05	1.03	1.02	220	219	219	0.48	0.49	0.43	110	109	96	223	0.4	89.2	161.42	1.04	51.25

ก-1 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 1

จำนวน โหลดไฟ	speed (rpm)	current (A)			voltage (V)			power factor			กำลังไฟฟ้า (W)			DC			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
		phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	V	I	W			
11	1328	2.41	2.39	2.35	221	220	220	0.89	0.9	0.9	480	470	460	181	4.4	796.4	895.50	6.44	63.51
10	1347	2.21	2.21	2.16	220	220	220	0.88	0.89	0.89	430	430	420	186	4.1	762.6	858.13	6.08	67.04
9	1369	2.05	2.04	2	221	220	220	0.87	0.88	0.87	390	390	380	191	3.8	725.8	818.02	5.71	70.52
8	1385	1.9	1.88	1.85	221	220	220	0.86	0.87	0.86	360	360	350	196	3.4	666.4	754.58	5.2	70.52
7	1400	1.76	1.74	1.7	221	220	220	0.84	0.85	0.84	320	320	310	199	3	597.0	681.60	4.65	71.75
6	1415	1.63	1.6	1.57	221	220	220	0.81	0.82	0.81	290	290	280	203	2.6	527.8	609.26	4.11	70.84
5	1428	1.49	1.47	1.43	220	219	219	0.78	0.79	0.77	250	250	240	207	2.2	455.4	534.18	3.57	72.18
4	1442	1.35	1.32	1.31	220	220	220	0.73	0.75	0.72	220	220	210	212	1.8	381.6	458.14	3.03	70.48
3	1455	1.23	1.21	1.19	220	220	220	0.67	0.68	0.65	180	180	169	216	1.3	280.8	355.17	2.33	67.14
2	1466	1.14	1.12	1.08	220	220	220	0.57	0.6	0.56	143	145	133	220	0.9	198.0	217.13	1.77	64.40
1	1478	1.06	1.03	1	220	220	220	0.47	0.49	0.43	109	108	95	225	0.4	90.0	162.22	1.05	51.99

ก-2 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 3

จำนวน โหลดไฟ	speed (rpm)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	DC			torque (N-m)	efficiency (%)
		phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C		V	I	W		
27	1403	5.02	4.84	4.75	220	220	220	0.87	0.87	0.86	960	930	900	1712.11	151	9.90	1494.90	11.66	61.37
26	1406	4.91	4.78	4.67	220	220	220	0.86	0.87	0.86	930	910	880	1668.22	152	9.60	1459.20	11.33	61.33
25	1411	4.80	4.75	4.62	221	220	220	0.85	0.86	0.85	900	900	860	1642.59	155	9.30	1441.50	11.12	61.75
24	1416	4.67	4.60	4.51	221	220	220	0.85	0.86	0.84	880	870	840	1651.93	160	9.10	1456.00	11.14	63.78
23	1419	4.55	4.48	4.41	221	220	220	0.84	0.85	0.83	840	840	810	1622.82	163	8.80	1434.40	10.92	65.17
22	1424	4.43	4.31	4.25	221	220	220	0.83	0.84	0.82	810	800	770	1592.15	166	8.50	1411.00	10.68	66.90
21	1428	4.29	4.21	4.15	220	219	220	0.82	0.83	0.82	780	770	750	1576.34	171	8.20	1402.20	10.54	68.54
20	1432	4.21	4.12	3.99	220	220	220	0.81	0.82	0.81	750	750	710	1569.60	175	8.00	1400.00	10.47	71.02
19	1435	4.12	4.01	3.88	220	220	220	0.8	0.81	0.8	730	720	680	1513.66	178	7.60	1352.80	10.07	71.06
18	1439	3.95	3.92	3.80	220	220	220	0.79	0.81	0.79	690	690	660	1468.61	180	7.30	1314.00	9.75	71.99
17	1442	3.93	3.83	3.74	221	220	220	0.79	0.8	0.78	680	670	640	1395.55	181	6.90	1248.90	9.24	70.13
16	1445	3.81	3.75	3.64	221	220	220	0.77	0.78	0.76	650	650	610	1328.65	183	6.50	1189.50	8.78	69.56
15	1448	3.72	3.62	3.52	221	220	220	0.76	0.77	0.75	620	610	580	1287.02	186	6.20	1153.20	8.49	71.11
14	1452	3.61	3.51	3.44	221	220	220	0.74	0.76	0.73	590	580	550	1217.50	188	5.80	1090.40	8.01	70.78
13	1455	3.50	3.38	3.32	220	219	219	0.73	0.74	0.71	560	550	520	1152.22	191	5.40	1031.40	7.56	70.69
12	1458	3.38	3.28	3.21	220	219	220	0.71	0.73	0.69	530	520	490	1087.50	195	5.00	972.50	7.12	70.62
11	1461	3.31	3.23	3.15	220	220	220	0.68	0.7	0.67	500	500	460	1041.53	198	4.70	930.60	6.81	71.34
10	1465	3.20	3.10	3.04	220	220	220	0.66	0.67	0.64	460	460	430	970.19	201	4.30	864.30	6.33	71.87
9	1468	3.13	2.99	2.95	221	220	220	0.63	0.64	0.6	440	420	390	896.89	204	3.90	795.60	5.84	71.75
8	1471	3.00	2.93	2.83	220	220	220	0.61	0.61	0.57	400	390	360	821.65	207	3.50	724.50	5.33	71.45
7	1475	2.94	2.82	2.76	220	220	220	0.56	0.58	0.53	360	360	320	741.35	209	3.10	647.90	4.80	71.28
6	1478	2.82	2.75	2.68	220	220	220	0.53	0.53	0.49	330	320	290	640.66	212	2.60	551.20	4.14	68.16
5	1481	2.76	2.64	2.58	221	220	220	0.49	0.49	0.45	300	290	260	559.78	215	2.20	473.00	3.61	65.86

ก-3 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 1

จำนวน โหลดไฟ	speed (rpm)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	DC			torque (N-m)	efficiency (%)
		phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C		V	I	W		
27	1412	5.16	4.99	4.88	220	220	220	0.86	0.87	0.86	970	950	920	1788.31	155	10.10	1565.50	12.10	62.97
26	1414	5.00	4.90	4.78	221	220	220	0.86	0.87	0.86	940	930	890	1734.63	157	9.70	1522.90	11.72	62.85
25	1415	4.87	4.77	4.68	221	220	220	0.85	0.86	0.86	890	880	850	1698.30	159	9.40	1494.60	11.46	64.82
24	1418	4.72	4.58	4.52	221	220	220	0.85	0.86	0.85	850	840	810	1670.13	162	9.10	1474.20	11.25	66.81
23	1421	4.57	4.53	4.38	221	220	220	0.85	0.85	0.84	820	810	780	1640.42	165	8.80	1452.00	11.03	68.07
22	1423	4.53	4.46	4.27	221	221	220	0.84	0.85	0.83	790	780	750	1609.15	168	8.50	1428.00	10.80	69.36
21	1426	4.35	4.26	4.14	221	221	220	0.82	0.83	0.82	760	750	710	1559.94	169	8.20	1385.80	10.45	70.27
20	1429	4.18	4.05	4.00	221	221	220	0.81	0.83	0.81	730	720	690	1526.17	172	7.90	1358.80	10.20	71.32
19	1433	4.00	3.94	3.85	221	221	220	0.8	0.81	0.79	700	690	660	1456.25	173	7.50	1297.50	9.71	71.04
18	1436	3.92	3.82	3.75	221	221	220	0.79	0.8	0.78	670	670	630	1405.38	174	7.20	1252.80	9.35	71.34
17	1440	3.81	3.68	3.63	221	221	220	0.77	0.79	0.77	640	630	600	1341.54	176	6.80	1196.80	8.90	71.74
16	1444	3.70	3.61	3.51	221	221	220	0.76	0.77	0.75	610	610	570	1270.14	177	6.40	1132.80	8.40	70.96
15	1447	3.61	3.50	3.40	221	221	220	0.74	0.76	0.74	580	580	550	1223.99	179	6.10	1091.90	8.08	71.58
14	1451	3.49	3.39	3.33	221	221	220	0.73	0.74	0.72	560	550	520	1157.19	181	5.70	1031.70	7.62	70.99
13	1454	3.40	3.29	3.22	221	220	220	0.71	0.72	0.69	530	520	490	1089.23	183	5.30	969.90	7.15	70.73
12	1458	3.31	3.21	3.13	221	220	220	0.69	0.7	0.67	500	490	460	1020.11	185	4.90	906.50	6.68	70.35
11	1461	3.19	3.12	3.02	221	220	220	0.67	0.67	0.64	470	460	420	949.85	187	4.50	841.50	6.21	70.36
10	1464	3.15	3.04	2.96	221	220	220	0.63	0.65	0.61	440	430	400	917.38	199	4.10	813.85	5.98	72.23
9	1467	3.05	2.95	2.87	221	220	220	0.61	0.62	0.59	410	400	370	815.94	191	3.75	716.25	5.31	69.15
8	1470	2.97	2.86	2.81	221	220	220	0.58	0.59	0.55	380	370	330	754.08	194	3.40	657.90	4.90	69.82
7	1474	2.91	2.79	2.71	221	220	220	0.55	0.56	0.52	350	340	310	680.60	196	3.00	588.00	4.41	68.06
6	1477	2.84	2.71	2.66	221	220	220	0.51	0.52	0.48	320	310	270	604.26	198	2.60	514.80	3.91	67.14
5	1480	2.74	2.64	2.58	221	220	220	0.48	0.48	0.44	280	280	240	508.27	201	2.10	422.10	3.28	63.53

ก-4 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางไฟฟ้า ครั้งที่ 2

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			power output	torque (N.m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1348	0.9	9	2.39	2.36	2.31	220	220	220	0.89	0.89	0.89	470	460	450	952.29	6.75	69.01
1351	0.85	8.5	2.23	2.28	2.21	220	221	220	0.88	0.89	0.89	430	450	430	906.95	6.41	69.23
1357	0.8	8	2.11	2.17	2.11	220	221	220	0.88	0.88	0.88	410	420	410	863.31	6.08	69.62
1366	0.75	7.5	2	2.07	1.99	220	221	220	0.87	0.88	0.88	380	400	380	821.05	5.74	70.78
1374	0.7	7	1.91	1.98	1.9	220	221	220	0.86	0.87	0.87	360	380	360	777.06	5.41	70.68
1384	0.7	6.5	1.81	1.87	1.8	220	221	220	0.85	0.86	0.86	340	350	340	729.24	5.03	70.8
1392	0.65	6	1.71	1.78	1.71	220	221	220	0.84	0.85	0.85	320	330	320	684.56	4.70	70.57
1401	0.65	5.5	1.64	1.68	1.62	220	221	220	0.82	0.83	0.83	290	310	300	634.30	4.32	70.48
1411	0.6	5	1.55	1.6	1.54	220	221	220	0.8	0.81	0.81	270	290	270	589.26	3.99	71
1419	0.6	4.5	1.46	1.5	1.46	220	22	220	0.78	0.79	0.79	250	260	250	537.22	3.62	70.69
1427	0.55	4	1.38	1.46	1.38	220	221	220	0.76	0.77	0.77	230	250	230	490.12	3.28	69.03
1437	0.55	3.5	1.31	1.35	1.3	220	221	221	0.72	0.74	0.73	210	220	210	437.47	2.91	68.36
1445	0.55	3	1.25	1.29	1.24	220	221	220	0.67	0.67	0.69	180	200	190	383.51	2.53	67.28
1453	0.5	2.5	1.18	1.23	1.17	220	221	220	0.64	0.67	0.64	165	180	170	334.59	2.20	64.97
1461	0.5	2	1.14	1.17	1.1	220	221	220	0.58	0.61	0.6	145	157	144	279.41	1.83	62.65
1470	0.5	1.5	1.08	1.12	1.04	220	221	220	0.51	0.55	0.52	121	135	118	223.76	1.45	59.83
1478	0.45	1	1.03	1.09	1	220	221	220	0.44	0.47	0.44	99	109	97	173.06	1.12	56.74
1485	0.45	0.5	1	1.02	0.98	220	221	220	0.36	0.4	0.36	77	88	77	115.92	0.75	47.9

ก-5 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เข็กร้าง) ครั้งที่ 1

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1343	0.8	9	2.34	2.38	2.34	220	220	220	0.89	0.9	0.9	450	470	460	959.24	6.82	69.51
1350	0.75	8.5	2.22	2.28	2.24	220	221	220	0.88	0.89	0.89	430	450	440	916.82	6.49	69.46
1358	0.7	8	2.12	2.18	2.12	220	221	220	0.88	0.89	0.89	410	430	420	874.55	6.15	69.41
1368	0.7	7.5	2.02	2.06	2.02	220	221	220	0.87	0.88	0.88	390	400	390	827.59	5.78	70.14
1378	0.7	7	1.89	1.93	1.89	220	221	220	0.86	0.87	0.87	360	370	360	779.86	5.41	71.55
1386	0.7	6.5	1.81	1.84	1.79	221	221	220	0.84	0.86	0.86	340	350	340	730.29	5.03	70.9
1396	0.7	6	1.7	1.74	1.7	221	221	220	0.83	0.84	0.84	310	320	320	681.07	4.66	71.69
1404	0.7	5.5	1.6	1.65	1.6	220	220	220	0.81	0.83	0.83	290	300	290	635.66	4.32	72.23
1414	0.7	5	1.51	1.56	1.51	220	220	220	0.8	0.81	0.81	260	280	270	585.00	3.95	72.22
1422	0.6	4.5	1.44	1.49	1.44	220	221	220	0.77	0.79	0.79	240	260	250	538.36	3.62	71.78
1430	0.6	4	1.35	1.4	1.34	220	221	220	0.74	0.76	0.75	220	230	220	485.57	3.24	72.47
1439	0.6	3.5	0.3	1.33	1.28	220	221	220	0.71	0.73	0.72	200	210	200	432.46	2.87	70.9
1447	0.6	3	1.23	1.26	1.21	220	221	220	0.67	0.7	0.68	180	190	180	378.39	2.50	68.8
1455	0.6	2.5	1.17	1.2	1.15	220	221	220	0.62	0.65	0.63	159	170	160	323.70	2.12	66.2
1462	0.55	2	1.11	1.15	1.09	220	221	220	0.56	0.6	0.58	138	152	139	273.90	1.79	63.85
1469	0.55	1.5	1.06	1.1	1.04	220	221	220	0.5	0.55	0.52	117	132	118	217.87	1.42	59.37
1478	0.5	1	1.02	1.06	1.01	220	221	220	0.43	0.47	0.45	97	110	99	167.29	1.08	54.67
1484	0.45	0.5	0.99	1.02	0.97	220	221	220	0.36	0.4	0.36	78	88	75	115.84	0.75	48.07

ก-6 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เข็อกแห้ง) ครั้งที่ 3

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power (W)	torque (N-m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1392	1.70	20.20	5.73	5.66	5.74	220	220	221	0.89	0.89	0.89	1140	1110	1130	2454.65	15.50	72.62
1396	1.60	19.20	5.38	5.38	5.34	220	220	222	0.88	0.88	0.88	1050	1050	1040	2345.71	14.77	74.70
1399	1.50	18.20	5.26	5.25	5.20	220	220	222	0.88	0.88	0.88	1020	1020	1010	2234.50	14.04	73.26
1402	1.40	17.20	5.02	5.02	5.01	221	221	222	0.87	0.87	0.87	970	980	970	2122.80	13.31	72.70
1409	1.00	16.20	4.77	4.79	4.81	221	221	222	0.86	0.86	0.86	910	910	920	2055.35	12.82	75.01
1412	0.90	15.20	4.59	4.59	4.65	221	221	222	0.86	0.86	0.85	870	870	880	1942.40	12.09	74.14
1418	0.80	14.20	4.44	4.44	4.44	220	220	222	0.85	0.85	0.84	830	820	830	1832.83	11.36	73.90
1424	0.80	13.20	4.21	4.20	4.22	220	220	221	0.83	0.83	0.83	770	770	770	1709.11	10.55	73.99
1432	0.70	12.00	4.00	3.97	3.99	220	220	221	0.81	0.81	0.81	720	710	710	1573.28	9.65	73.52
1439	0.70	11.00	3.76	3.72	3.76	220	220	222	0.80	0.80	0.79	660	650	660	1448.12	8.84	73.51
1444	0.60	10.00	3.60	3.56	3.54	221	221	222	0.77	0.77	0.76	620	600	600	1333.17	8.11	73.25
1450	0.60	9.00	3.38	3.39	3.43	220	220	221	0.75	0.74	0.74	550	560	560	1204.83	7.30	72.15
1455	0.50	8.00	3.27	3.24	3.30	220	220	221	0.72	0.71	0.71	520	510	520	1088.09	6.57	70.20
1461	0.50	7.00	3.13	3.09	3.12	220	220	221	0.69	0.68	0.67	470	460	470	957.69	5.76	68.41
1466	0.50	6.00	2.97	2.95	2.94	221	221	220	0.65	0.64	0.63	420	410	420	825.62	4.95	66.05
1472	0.50	5.00	2.84	2.82	2.86	221	221	222	0.60	0.60	0.58	380	370	370	693.10	4.14	61.88
1477	0.40	4.00	2.74	2.71	2.76	221	221	222	0.55	0.54	0.53	330	320	330	572.73	3.41	58.44
1481	0.40	3.00	2.64	2.62	2.66	221	221	222	0.49	0.49	0.48	290	280	280	437.54	2.60	51.48
1485	0.40	2.00	2.56	2.53	2.58	221	221	222	0.43	0.42	0.42	240	230	240	301.62	1.78	42.48
1490	0.40	1.00	2.51	2.46	2.53	221	221	222	0.36	0.36	0.34	200	190	190	165.08	0.97	28.46
1495	0.40	0.00	2.46	2.42	2.47	221	221	222	0.29	0.28	0.27	160	150	150	27.61	0.16	6.00
1498	0.40	0.00	2.42	2.39	2.44	221	221	222	0.21	0.20	0.20	110	110	100	27.66	0.16	8.64

ก-7 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ครั้งที่ 1

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power (W)	torque (N-m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1379	1.10	21.20	5.92	5.92	5.24	220	221	221	0.89	0.89	0.89	1160	1160	1170	2635.43	16.79	75.51
1384	1.00	20.20	5.69	5.62	5.65	221	221	222	0.88	0.89	0.88	1110	1110	1110	2529.99	16.06	75.98
1386	0.90	19.20	5.46	5.39	5.43	221	221	222	0.88	0.88	0.88	1070	1050	1060	2418.48	15.33	76.05
1393	0.90	18.20	5.20	5.16	5.21	221	221	222	0.88	0.88	0.87	1010	1000	1010	2302.08	14.52	76.23
1399	0.80	17.20	4.97	4.91	4.97	221	221	222	0.87	0.87	0.87	960	940	950	2195.75	13.79	77.04
1406	0.80	16.20	4.75	4.71	4.74	221	221	222	0.86	0.86	0.85	910	890	900	2076.93	12.98	76.92
1412	0.80	15.20	4.47	4.45	4.48	220	220	221	0.85	0.85	0.84	840	830	830	1955.43	12.17	78.22
1420	0.75	14.20	4.30	4.26	4.27	220	220	221	0.84	0.83	0.83	790	780	780	1841.97	11.40	78.38
1427	0.75	13.20	4.07	4.03	4.06	220	220	221	0.82	0.81	0.81	740	720	730	1719.30	10.59	78.51
1436	0.70	12.00	3.80	3.80	3.84	220	220	220	0.80	0.79	0.79	670	660	660	1577.68	9.65	79.28
1443	0.60	11.00	3.65	3.63	3.65	220	219	220	0.77	0.76	0.76	620	610	610	1465.47	8.92	79.64
1448	0.60	10.00	3.50	3.47	3.50	220	220	220	0.75	0.74	0.74	570	560	570	1336.86	8.11	78.64
1453	0.60	9.00	3.35	3.31	3.34	220	220	220	0.72	0.71	0.71	530	520	520	1207.33	7.30	76.90
1459	0.60	8.00	3.20	3.18	3.19	220	220	220	0.69	0.67	0.67	480	470	470	1077.61	6.49	75.89
1464	0.55	7.00	3.07	3.04	3.04	220	220	221	0.65	0.63	0.62	440	420	420	952.90	5.72	74.45
1471	0.50	6.00	2.94	2.91	2.95	220	220	221	0.60	0.58	0.57	380	370	370	828.44	4.95	73.97
1474	0.50	5.00	2.83	2.79	2.82	220	220	221	0.55	0.53	0.52	340	320	320	694.04	4.14	70.82
1480	0.50	4.00	2.74	2.70	2.71	220	220	221	0.49	0.47	0.46	290	280	280	560.22	3.33	65.91
1484	0.50	3.00	2.63	2.61	2.61	220	220	221	0.43	0.41	0.41	250	230	230	424.73	2.51	59.82
1488	0.45	2.00	2.54	2.54	2.52	220	219	220	0.37	0.35	0.33	200	190	180	295.36	1.74	51.82
1493	0.45	1.00	2.50	2.47	2.51	219	219	220	0.30	0.27	0.26	160	150	150	158.52	0.93	34.46
1427	0.45	0.00	2.47	2.47	2.49	219	219	220	0.20	0.19	0.20	120	110	110	19.76	0.12	5.81

ก-8 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับโหลดทางกล (เชือกแห้ง) ครั้งที่ 3

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1332	0.8	9	2.35	2.35	2.37	220	220	221	0.89	0.9	0.89	460	460	470	951.38	6.82	68.44
1343	0.8	8.5	2.46	2.42	2.42	220	220	221	0.89	0.89	0.89	470	470	480	906.82	6.45	63.86
1350	0.8	8	2.28	2.26	2.27	221	220.5	221	0.89	0.88	0.88	450	440	445	858.86	6.08	64.33
1356	0.7	7.5	2.13	2.135	2.13	221	221	221	0.88	0.88	0.88	410	410	420	820.33	5.78	66.16
1366	0.7	7	2.01	2.02	2.03	221	221	221	0.87	0.87	0.87	390	390	390	773.07	5.41	66.07
1374	0.7	6.5	1.92	1.91	1.91	220	220	221	0.86	0.86	0.86	365	360	365	723.97	5.03	66.42
1383	0.65	6	1.81	1.81	1.81	220	220	221	0.85	0.85	0.85	340	340	340	680.13	4.70	66.68
1394	0.65	5.5	1.73	1.72	1.72	220	220	221	0.84	0.83	0.83	320	315	320	631.13	4.32	66.09
1403	0.65	5	1.63	1.62	1.63	220	220	220	0.82	0.81	0.82	300	290	300	580.45	3.95	65.22
1413	0.65	4.5	1.54	1.53	1.52	220	220	221	0.8	0.79	0.79	270	270	270	529.44	3.58	65.36
1423	0.6	4	1.45	1.44	1.44	220	220	221	0.77	0.76	0.77	250	240	240	483.20	3.24	66.19
1432	0.5	3.5	1.365	1.37	1.36	220	220	221	0.75	0.725	0.74	230	220	220	441.54	2.94	65.9
1441	0.5	3	1.32	1.3	1.3	221	220	221	0.72	0.7	0.71	210	200	200	388.07	2.57	63.62
1450	0.45	2.5	1.25	1.23	1.23	221	221	221	0.66	0.65	0.66	180	175	180	339.56	2.24	63.47
1459	0.4	2	1.19	1.17	1.17	220	220	221	0.61	0.61	0.61	159	156	150	290.42	1.90	62.46
1467	0.4	1.5	1.12	1.13	1.11	220	220	221	0.545	0.53	0.54	134	132	132	234.75	1.53	58.98
1475	0.4	1	1.07	1.06	1.06	220	221	221	0.47	0.47	0.47	110	109	109	178.46	1.16	54.41
1483	0.4	0.5	1.03	1.03	1.02	220	220	221	0.4	0.39	0.39	89	87	87	121.55	0.78	46.22

ก-9 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 1

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power	torque (N.m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1324	0.7	9	2.52	2.52	2.55	220	220	221	0.9	0.9	0.9	520	520	510	956.00	6.90	61.68
1326	0.7	8.5	2.4	2.4	2.42	220	220	221	0.9	0.9	0.9	480	480	480	905.69	6.25	62.9
1333	0.6	8	2.29	2.3	2.31	0.22	220	221	0.89	0.89	0.9	450	450	460	868.85	6.23	63.89
1343	0.6	7.5	2.15	2.16	2.18	220	220	221	0.89	0.89	0.89	420	420	430	822.95	5.85	64.8
1358	0.6	7	2.03	2.05	2.07	221	221	221	0.88	0.87	0.87	390	390	400	779.14	5.48	66.03
1368	0.55	6.5	1.92	1.93	1.95	220	220	221	0.87	0.86	0.86	370	370	370	736.83	5.14	66.38
1379	0.5	6	1.82	1.82	1.84	220	221	221	0.85	0.85	0.85	340	340	350	694.31	4.81	67.41
1390	0.5	5.5	1.71	1.72	1.73	221	221	221	0.84	0.84	0.84	320	320	320	645.60	4.44	67.25
1401	0.5	5	1.62	1.62	1.64	221	221	221	0.82	0.82	0.82	290	290	300	596.02	4.06	67.73
1411	0.5	4.5	1.53	1.53	1.54	221	221	221	0.8	0.8	0.8	270	270	270	545.21	3.69	67.31
1421	0.5	4	1.43	1.44	1.45	221	221	221	0.78	0.77	0.77	250	250	250	493.61	3.32	65.81
1432	0.5	3.5	1.35	1.36	1.38	221	221	221	0.74	0.74	0.74	220	220	230	441.54	2.92	65.9
1441	0.5	3	1.29	1.29	1.3	220	220	221	0.71	0.7	0.7	200	200	200	388.07	2.57	64.68
1450	0.5	2.5	1.22	1.22	1.22	220	220	221	0.66	0.66	0.65	180	180	180	333.90	2.20	61.83
1459	0.45	2	1.16	1.16	1.18	220	221	221	0.61	0.6	0.59	153	152	152	284.72	1.86	62.3
1468	0.45	1.5	1.1	1.11	1.11	221	220	221	0.53	0.53	0.53	130	130	130	229.18	1.49	58.77
1476	0.45	1	1.05	1.05	1.05	220	220	221	0.46	0.47	0.46	106	103	107	172.83	1.12	54.69
1484	0.45	0.5	1	1.01	1.01	220	220	221	0.38	0.38	0.37	84	85	81	115.84	0.75	46.34

ก-10 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าขณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 3

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power (W)	torque (N-m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1381	1.10	19.20	5.39	5.45	5.35	220	220	220	0.88	0.89	0.89	1050	1070	1050	2384.25	15.17	75.21
1388	1.10	18.20	5.13	5.29	5.22	220	221	220	0.87	0.88	0.89	990	1030	1020	2268.19	14.36	74.61
1395	1.10	17.20	4.93	4.94	4.84	220	221	220	0.87	0.87	0.88	940	950	930	2150.84	13.55	76.27
1403	1.10	16.20	4.69	4.80	4.62	220	221	221	0.86	0.86	0.87	890	920	880	2033.64	12.74	75.60
1410	1.00	15.20	4.48	4.57	4.42	221	221	221	0.84	0.85	0.85	940	860	830	1926.63	12.01	73.26
1417	1.00	14.20	4.29	4.36	4.21	221	221	220	0.83	0.84	0.84	790	810	780	1805.37	11.20	75.86
1424	1.00	13.20	4.07	4.11	4.01	221	221	220	0.81	0.82	0.83	730	750	730	1682.82	10.38	76.15
1435	1.00	12.00	3.79	3.88	3.72	220	220	220	0.79	0.80	0.80	650	680	650	1536.83	9.41	77.62
1441	1.00	11.00	3.64	3.70	3.92	220	220	220	0.77	0.78	0.78	610	630	600	1410.22	8.60	76.64
1448	0.90	10.00	3.45	3.53	3.40	220	221	220	0.74	0.75	0.75	560	580	560	1296.75	7.87	76.28
1453	0.85	9.00	3.30	3.35	3.24	221	221	220	0.71	0.72	0.72	520	540	510	1173.79	7.10	74.76
1460	0.85	8.00	3.16	3.20	3.09	221	221	221	0.67	0.69	0.68	460	490	460	1044.65	6.29	74.09
1464	0.80	7.00	3.04	3.10	2.95	220	221	220	0.62	0.65	0.65	420	440	420	919.11	5.52	71.81
1469	0.80	6.00	2.89	2.97	2.81	220	221	220	0.59	0.60	0.59	370	400	370	786.62	4.71	69.00
1475	0.70	5.00	2.80	2.86	2.71	220	221	220	0.53	0.55	0.54	320	350	320	667.28	3.98	67.40
1479	0.70	4.00	2.71	2.73	2.60	221	221	221	0.47	0.50	0.48	280	300	280	532.54	3.16	61.92
1484	0.70	3.00	2.63	2.68	2.54	221	221	221	0.42	0.43	0.42	240	260	230	397.33	2.35	54.43

ก-11 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 1

speed (rpm)	W1 (kg)	W2 (kg)	current(A)			voltage(V)			power factor			input power (W)			output power (W)	torque (N-m)	efficiency (%)
			phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C	phase A	phase B	phase C			
1404	1.20	19.20	5.50	5.58	5.48	220	221	220	0.87	0.88	0.88	1060	1080	1060	2411.00	15.09	75.34
1407	1.20	18.20	5.29	5.39	5.25	220	221	221	0.87	0.87	0.87	1010	1040	1010	2286.25	14.28	74.71
1412	1.10	17.20	5.06	5.13	5.02	220	221	221	0.86	0.86	0.87	950	980	960	2177.05	13.55	75.33
1415	1.10	16.20	4.82	4.92	4.76	220	220	220	0.85	0.86	0.86	900	930	900	2051.03	12.74	75.13
1419	1.00	15.20	4.66	4.72	4.57	220	220	220	0.84	0.85	0.85	860	880	850	1938.92	12.01	74.86
1424	0.90	14.20	4.44	4.49	4.37	220	221	220	0.83	0.84	0.84	810	830	810	1827.43	11.28	74.59
1430	0.85	13.20	4.22	4.29	4.15	220	221	220	0.81	0.82	0.82	750	780	750	1709.71	10.51	74.99
1439	0.85	12.00	3.96	4.00	3.85	220	221	220	0.79	0.79	0.80	690	700	680	1561.05	9.53	75.41
1445	0.85	11.00	3.78	3.85	3.73	220	221	220	0.76	0.77	0.77	640	660	640	1434.15	8.72	73.93
1450	0.85	10.00	3.61	3.63	3.55	220	221	220	0.73	0.75	0.75	590	600	580	1305.24	7.91	73.74
1455	0.80	9.00	3.39	3.48	3.29	220	221	221	0.71	0.72	0.73	530	560	530	1182.12	7.14	72.97
1460	0.80	8.00	3.27	3.34	3.20	220	221	220	0.67	0.69	0.69	490	510	490	1051.39	6.33	70.56
1465	0.70	7.00	3.14	3.18	3.04	220	221	220	0.64	0.65	0.65	440	460	430	933.26	5.60	70.17
1471	0.70	6.00	3.02	3.05	2.93	220	221	221	0.59	0.62	0.61	390	420	390	801.27	4.79	66.77
1475	0.70	5.00	2.89	2.93	2.80	220	221	220	0.54	0.57	0.55	350	370	340	667.28	3.98	62.95
1480	0.70	4.00	2.77	2.82	2.70	220	221	220	0.49	0.51	0.49	300	320	290	532.90	3.16	58.56
1485	0.70	3.00	2.68	2.71	2.61	220	221	220	0.42	0.45	0.43	250	270	250	397.60	2.35	51.64

ก-12 ตารางผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าขณะรับโหลดทางกล (เชือกเปียก) ครั้งที่ 3

six-impredance	$R_1$	$R_2$	$R_c$	$X_m$	$X_1$	$X_2$
ความต้านทาน	10.5	9.922	1645.07	222.35	6.64	6.64

ก-13 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	1.97	0.86	5.96	1129	861	76.20
2	1386	1.88	0.85	5.63	1068	818	76.60
3	1395	1.78	0.84	5.25	998	768	76.90
4	1402	1.71	0.83	4.95	943	727	77.10
5	1412	1.61	0.81	4.50	863	667	77.20
6	1421	1.51	0.78	4.09	790	610	77.10
7	1430	1.42	0.76	3.67	716	550	76.80
8	1438	1.35	0.72	3.29	650	495	76.20
9	1446	1.27	0.69	2.89	583	439	75.20
10	1454	1.20	0.64	2.49	515	380	73.70
11	1462	1.14	0.59	2.08	446	319	71.40
12	1470	1.08	0.52	1.66	377	256	67.80
13	1478	1.03	0.44	1.23	307	190	62.00
14	1486	1.00	0.35	0.79	236	123	52.10

ก-14 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

six-impredance	R1	R2	Rc	Xm	X1	X2
ความต้านทาน	3.80	2.83	732.69	93.75	2.49	2.49

ก-15 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณข์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	5.24	0.88	16.58	3007	2439	79.20
2	1408	5.09	0.88	16.00	2969	2361	79.50
3	1413	4.89	0.87	15.27	2833	2260	79.78
4	1420	4.62	0.86	14.21	2640	2115	80.10
5	1425	4.43	0.85	13.44	2501	2007	80.27
6	1431	4.20	0.84	12.50	2331	1874	80.39
7	1439	3.90	0.81	11.21	2103	1690	80.37
8	1444	3.71	0.79	10.38	1958	1570	80.21
9	1451	3.46	0.76	9.19	1753	1398	79.74
10	1456	3.29	0.73	8.33	1605	1270	79.17
11	1461	3.12	0.70	7.44	1455	1140	78.31
12	1466	2.96	0.66	6.55	1305	1006	77.09
13	1471	2.81	0.62	5.63	1153	686	75.32
14	1475	2.70	0.57	4.89	1030	755	73.36
15	1480	2.58	0.51	3.94	876	612	69.86
16	1485	2.47	0.44	2.98	720	464	64.48
17	1489	2.40	0.37	2.20	595	343	57.81
18	1494	2.33	0.28	1.21	437	189	43.44

ก-16 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณข์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

approximate	$R_1$	$R_2$	$R_c$	$X_m$	$X_{eq}$
ความต้านทาน	10.5	9.91	1161.5	238.47	13.32

ก-17 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1378	2.13	0.86	6.36	1211	918	75.80
2	1386	2.03	0.85	6.01	1146	873	76.10
3	1395	1.93	0.84	5.61	1072	820	76.40
4	1402	1.85	0.82	5.29	1014	777	76.60
5	1412	1.73	0.81	4.82	929	713	76.70
6	1421	1.63	0.79	4.38	852	652	76.50
7	1430	1.52	0.76	3.93	774	589	76.10
8	1438	1.44	0.73	3.52	703	531	75.50
9	1446	1.35	0.70	3.10	632	470	74.40
10	1454	1.27	0.66	2.67	559	407	72.90
11	1462	1.19	0.61	2.23	486	342	70.50
12	1470	1.12	0.55	1.78	411	275	66.80
13	1478	1.05	0.48	1.32	336	205	60.90
14	1486	1.00	0.39	0.85	260	132	51.00

ก-18 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

approximate	R1	R2	Rc	Xm	Xeq
ความต้านทาน	3.8	2.82	518.59	88.93	4.776

ก-19 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	5.77	0.86	17.50	3283	2588	78.80
2	1408	5.60	0.85	16.90	3170	2505	79.00
3	1413	5.40	0.84	16.20	3027	2400	79.20
4	1420	5.11	0.83	15.10	2823	2246	79.50
5	1425	4.90	0.82	14.20	2676	2133	79.60
6	1431	4.66	0.81	13.20	2498	1992	79.70
7	1439	4.33	0.78	11.90	2256	1797	79.60
8	1444	4.13	0.77	11.00	2103	1671	79.40
9	1451	3.86	0.73	9.79	1886	1488	78.90
10	1456	3.67	0.71	8.87	1729	1353	78.20
11	1461	3.49	0.68	7.93	1571	1214	77.30
12	1466	3.31	0.64	6.98	1410	1072	76.00
13	1471	3.15	0.60	6.01	1249	926	74.10
14	1475	3.02	0.55	5.21	1118	806	72.10
15	1480	2.80	0.50	4.21	954	653	68.40
16	1485	2.75	0.43	3.18	787	496	62.90
17	1489	2.67	0.37	2.35	653	367	52.20
18	1494	2.58	0.28	1.29	484	202	41.80

ก-20 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบูรณย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rpm	$N_s$	$N_r$	input	$(N_s - N_r)/N_s$	slip full	$S_w/S_f$	efficiency
1378	1500	1400	1110	0.081	0.067	1.22	81.99
1386	1500	1400	1040	0.076	0.067	1.14	81.77
1395	1500	1400	970	0.070	0.067	1.05	80.75
1402	1500	1400	900	0.065	0.067	0.98	81.23
1412	1500	1400	820	0.059	0.067	0.88	80.06
1421	1500	1400	770	0.053	0.067	0.79	76.54
1430	1500	1400	700	0.047	0.067	0.7	74.60
1438	1500	1400	640	0.041	0.067	0.62	72.27
1446	1500	1400	580	0.036	0.067	0.54	69.46
1454	1500	1400	514	0.031	0.067	0.46	66.76
1462	1500	1400	446	0.025	0.067	0.38	63.56
1470	1500	1400	370	0.020	0.067	0.3	60.49
1478	1500	1400	309	0.015	0.067	0.22	53.11
1486	1500	1400	243	0.009	0.067	0.14	42.98

ก-21 ตารางผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 แรงม้าโดยวิธี slip method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rpm	Ns	Nr	input	$(N_s - N_r)/N_s$	slip full	$S_w/S_f$	eff slip(%)
1400	1500	1420	3070	0.067	0.053	1.25	91.12
1404	1500	1420	2930	0.064	0.053	1.20	91.66
1408	1500	1420	2800	0.061	0.053	1.15	91.92
1413	1500	1420	2630	0.058	0.053	1.09	92.54
1420	1500	1420	2460	0.053	0.053	1.00	90.98
1425	1500	1420	2320	0.050	0.053	0.94	90.44
1431	1500	1420	2170	0.046	0.053	0.86	88.95
1439	1500	1420	1980	0.041	0.053	0.76	86.19
1444	1500	1420	1830	0.037	0.053	0.70	85.61
1451	1500	1420	1660	0.033	0.053	0.61	82.58
1456	1500	1420	1550	0.029	0.053	0.55	79.41
1461	1500	1420	1400	0.026	0.053	0.49	77.93
1466	1500	1420	1260	0.023	0.053	0.43	75.49
1471	1500	1420	1120	0.019	0.053	0.36	72.44
1475	1500	1420	990	0.017	0.053	0.31	70.64
1480	1500	1420	860	0.013	0.053	0.25	65.06
1485	1500	1420	730	0.010	0.053	0.19	57.48
1489	1500	1420	590	0.007	0.053	0.14	52.16

ก-22 ตารางผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้าโดยวิธี slip method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	5.10	0.834	14.90	2810.00	2191.00	78.90
2	1408	4.96	0.829	14.39	2715.00	2122.00	78.10
3	1413	4.78	0.820	13.73	2595.00	2033.00	78.30
4	1420	4.54	0.800	12.80	2424.00	1904.00	78.50
5	1425	4.33	0.790	11.97	2275.00	1789.00	78.60
6	1431	4.16	0.780	11.27	2149.00	1689.00	78.50
7	1439	3.89	0.750	10.11	1945.00	1524.00	78.30
8	1444	3.73	0.730	9.36	1815.00	1416.00	78.00
9	1451	3.50	0.700	8.29	1631.00	1261.00	77.20
10	1456	3.35	0.670	7.51	1498.00	1146.00	76.40
11	1461	3.20	0.640	6.72	1364.00	1028.00	75.30
12	1466	3.07	0.600	5.90	1228.00	907.00	73.80
13	1471	2.94	0.560	5.08	1091.00	783.00	71.70
14	1475	2.84	0.520	4.41	981.00	681.00	69.40
15	1480	2.74	0.460	3.55	841.00	551.00	65.50
16	1485	2.65	0.400	2.69	701.00	418.00	59.60
17	1489	2.59	0.340	1.98	588.00	309.00	52.60
18	1494	2.53	0.260	1.09	446.00	170.00	38.30

ข-1 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบุรณ์เชิงอกแห่ง 3 แรงมาที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	5.09	0.870	15.19	2932.00	2234.00	76.20
2	1408	4.95	0.860	14.64	2832.00	2160.00	76.28
3	1413	4.78	0.850	13.96	2707.00	2066.00	76.30
4	1420	4.54	0.840	12.97	2530.00	1930.00	76.20
5	1425	4.34	0.820	12.11	2377.00	1810.00	76.10
6	1431	4.17	0.810	11.38	2248.00	1707.00	75.90
7	1439	3.91	0.780	10.19	2039.00	1536.00	75.30
8	1444	3.75	0.760	9.43	1907.00	1426.00	74.70
9	1451	3.54	0.730	8.34	1727.00	1268.00	73.60
10	1456	3.39	0.700	7.54	1587.00	1151.00	72.50
11	1461	3.25	0.670	6.74	1452.00	1032.00	71.00
12	1466	3.11	0.630	5.92	1315.00	909.00	69.10
13	1471	2.98	0.590	5.09	1178.00	784.00	66.60
14	1475	2.89	0.550	4.41	1067.00	682.00	63.90
15	1480	2.78	0.500	3.56	928.00	552.00	59.40
16	1485	2.69	0.440	2.69	787.00	418.00	53.10
17	1489	2.63	0.380	1.98	674.00	309.00	45.80
18	1494	2.56	0.310	1.09	532.00	170.00	32.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ข-2 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบสมบุรณ์เชิงอกแห่ง 3 แรงมาที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	4.76	0.817	13.17	2572.00	1937.00	75.32
2	1408	4.64	0.810	12.70	2488.00	1874.00	75.35
3	1413	4.49	0.800	12.11	2381.00	1793.00	75.30
4	1420	4.28	0.780	11.27	2230.00	1676.00	75.10
5	1425	4.10	0.770	10.52	2098.00	1572.00	74.90
6	1431	3.96	0.750	9.90	1987.00	1483.00	74.60
7	1439	3.73	0.730	8.85	1808.00	1335.00	73.80
8	1444	3.59	0.710	8.19	1694.00	1240.00	73.10
9	1451	3.40	0.680	7.25	1533.00	1102.00	71.80
10	1456	3.27	0.650	6.56	1417.00	1000.00	70.60
11	1461	3.15	0.620	5.85	1299.00	896.00	68.90
12	1466	3.03	0.580	5.14	1181.00	790.00	66.80
13	1471	2.92	0.540	4.42	1062.00	681.00	64.10
14	1475	2.84	0.510	3.83	966.00	592.00	61.30
15	1480	2.75	0.460	3.08	845.00	479.00	56.60
16	1485	2.67	0.410	2.33	723.00	363.00	50.10
17	1489	2.61	0.360	1.72	625.00	268.00	42.90
18	1494	2.56	0.290	0.94	502.00	147.00	29.40

ข-3 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบสามบรูณ์เข็อกแห้ง 3 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1381	5.40	0.850	15.58	3037.00	2254.00	74.20
2	1388	5.19	0.840	14.83	2898.00	2157.00	74.40
3	1395	4.98	0.830	14.07	2756.00	2056.00	74.60
4	1403	4.74	0.820	13.17	2591.00	1936.00	74.70
5	1410	4.53	0.810	12.36	2444.00	1825.00	74.60
6	1417	4.32	0.800	11.52	2296.00	1711.00	74.50
7	1424	4.11	0.780	10.67	2144.00	1592.00	74.20
8	1435	3.79	0.750	9.28	1902.00	1396.00	73.30
9	1441	3.62	0.730	8.51	1768.00	1284.00	72.60
10	1448	3.43	0.710	7.58	1610.00	1150.00	71.40
11	1453	3.30	0.680	6.90	1495.00	1051.00	70.20
12	1460	3.12	0.640	5.93	1333.00	908.00	68.00
13	1464	3.02	0.620	5.37	1240.00	824.00	66.40
14	1469	2.91	0.580	4.66	1122.00	717.00	63.90
15	1475	2.78	0.530	3.79	980.00	586.00	59.70
16	1479	2.70	0.490	3.20	884.00	496.00	56.10
17	1484	2.62	0.440	2.45	764.00	382.00	50.00

ข-4 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบสามบรูณ์เข็อกเปียก 3 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่ฝ่าฝืนจะมีความผิดตามกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองสิทธิบัตร

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1381	5.42	0.833	15.31	2982.00	2215.00	74.20
2	1388	5.21	0.828	14.60	2848.00	2123.00	74.50
3	1395	5.00	0.820	13.87	2712.00	2027.00	74.70
4	1403	4.75	0.810	13.00	2552.00	1911.00	74.80
5	1410	4.54	0.800	12.21	2409.00	1804.00	74.80
6	1417	4.33	0.790	11.40	2264.00	1693.00	74.70
7	1424	4.12	0.770	10.57	2216.00	1577.00	74.50
8	1435	3.80	0.740	9.21	1878.00	1385.00	73.70
9	1441	3.63	0.720	8.45	1746.00	1275.00	73.00
10	1448	3.44	0.700	7.53	1589.00	1142.00	71.90
11	1453	3.30	0.670	6.86	1476.00	1044.00	70.70
12	1460	3.12	0.630	5.90	1315.00	903.00	68.60
13	1464	3.02	0.610	5.35	1222.00	820.00	67.10
14	1469	2.91	0.570	4.64	1105.00	714.00	64.60
15	1475	2.78	0.520	3.77	964.00	583.00	60.50
16	1479	2.70	0.480	3.19	868.00	494.00	56.90
17	1484	2.62	0.430	2.44	749.00	380.00	50.80

ข-5 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมมูลเชิงอ้อมปีก 3 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1381	5.55	0.860	15.310	3168.00	2388.00	75.30
2	1388	5.32	0.858	14.600	3019.00	2285.00	75.70
3	1395	5.10	0.850	13.870	2867.00	2178.00	75.90
4	1403	4.85	0.840	13.000	2691.00	2050.00	76.10
5	1410	4.62	0.830	12.210	2535.00	1934.00	76.20
6	1417	4.40	0.810	11.400	2376.00	1813.00	76.20
7	1424	4.18	0.800	10.570	2215.00	1687.00	76.10
8	1435	3.84	0.770	9.210	1958.00	1479.00	75.50
9	1441	3.67	0.740	8.450	1815.00	1361.00	74.90
10	1448	3.46	0.710	7.530	1647.00	1218.00	73.90
11	1453	3.32	0.690	6.860	1525.00	1113.00	73.00
12	1460	3.14	0.650	5.900	1353.00	962.00	71.10
13	1464	3.03	0.620	5.350	1254.00	874.00	69.60
14	1469	2.91	0.580	4.640	1129.00	761.00	67.30
15	1475	2.78	0.530	3.770	978.00	621.00	63.50
16	1479	2.70	0.490	3.190	877.00	526.00	60.00
17	1484	2.62	0.430	2.440	749.00	405.00	54.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยค่าของวงจรสมมูลแบบสมมูลเชิงอ้อมปีก 3 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรมการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1409	4.96	0.850	15.10	2795.00	2229.00	79.70
2	1413	4.81	0.846	14.54	2692.00	2152.00	79.90
3	1416	4.70	0.840	14.11	2613.00	2094.00	80.10
4	1419	4.59	0.830	13.68	2535.00	2034.00	80.20
5	1422	4.48	0.829	13.25	2456.00	1973.00	80.30
6	1425	4.37	0.820	12.80	2376.00	1912.00	80.40
7	1429	4.23	0.810	12.21	2269.00	1826.00	80.50
8	1433	4.09	0.800	11.60	2161.00	1742.00	80.50
9	1436	3.98	0.790	11.14	2080.00	1676.00	80.50
10	1439	3.88	0.770	10.67	1998.00	1609.00	80.50
11	1442	3.77	0.760	10.20	1915.00	1541.00	80.40
12	1445	3.67	0.750	9.72	1833.00	1472.00	80.30
13	1449	3.54	0.730	9.08	1721.00	1378.00	80.00
14	1452	3.44	0.720	8.59	1637.00	1307.00	79.80
15	1455	3.34	0.700	8.09	1553.00	1234.00	79.40
16	1459	3.22	0.670	7.42	1439.00	1135.00	78.80
17	1462	3.13	0.650	6.92	1354.00	1059.00	78.20
18	1465	3.04	0.630	6.40	1268.00	983.00	77.50
19	1468	2.96	0.600	5.88	1181.00	905.00	76.60
20	1471	2.88	0.570	5.36	1094.00	826.00	75.40
21	1474	2.81	0.540	4.83	1007.00	746.00	74.00
22	1478	2.72	0.490	4.11	890.00	637.00	71.50
23	1481	2.66	0.450	3.57	801.00	554.00	69.10

ข-7 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบสมบูร์ณ gen 3 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1409	4.98	0.800	13.92	2636.00	2054.00	77.90
2	1413	4.84	0.796	13.44	2547.00	1989.00	78.10
3	1416	4.73	0.790	13.07	2479.00	1939.00	78.20
4	1419	4.63	0.788	12.70	2410.00	1888.00	78.30
5	1422	4.52	0.780	12.32	2340.00	1835.00	78.40
6	1425	4.42	0.778	11.93	2269.00	1781.00	78.40
7	1429	4.27	0.769	11.40	2174.00	1707.00	78.50
8	1433	4.13	0.760	10.86	2077.00	1630.00	78.50
9	1436	4.03	0.750	10.44	2003.00	1571.00	78.40
10	1439	3.92	0.740	10.02	1928.00	1511.00	78.30
11	1442	3.82	0.730	9.59	1853.00	1450.00	78.20
12	1445	3.71	0.720	9.16	1777.00	1387.00	78.00
13	1449	3.58	0.700	8.57	1674.00	1301.00	77.70
14	1452	3.48	0.690	8.12	1596.00	1235.00	77.30
15	1455	3.38	0.670	7.66	1518.00	1167.00	76.90
16	1459	3.25	0.650	7.04	1412.00	1076.00	76.10
17	1462	3.16	0.630	6.56	1331.00	1005.00	75.40
18	1465	3.07	0.610	6.08	1250.00	933.00	74.60
19	1468	2.98	0.590	5.59	1169.00	860.00	75.50
20	1471	2.90	0.560	5.10	1087.00	786.00	72.30
21	1474	2.82	0.530	4.60	1004.00	710.00	70.70
22	1478	2.72	0.490	3.92	892.00	607.00	68.00
23	1481	2.66	0.460	3.40	808.00	528.00	65.30

ข-8 ตารางแสดงผลของวงจรสมมุติแบบสมบูร์ณ gen 3 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1409	4.69	0.835	13.05	2590.00	1926.00	74.30
2	1413	4.57	0.828	12.56	2501.00	1859.00	74.30
3	1416	4.47	0.820	12.18	2434.00	1808.00	74.20
4	1419	4.38	0.818	11.81	2367.00	1755.00	74.10
5	1422	4.28	0.810	11.42	2299.00	1702.00	74.00
6	1425	4.19	0.800	11.04	2230.00	1648.00	73.90
7	1429	4.07	0.790	10.52	2139.00	1575.00	73.60
8	1433	3.94	0.780	9.99	2046.00	1500.00	73.30
9	1436	3.85	0.770	9.59	1976.00	1442.00	72.90
10	1439	3.76	0.760	9.18	1906.00	1384.00	72.60
11	1442	3.67	0.750	8.77	1835.00	1325.00	72.20
12	1445	3.58	0.740	8.36	1764.00	1265.00	71.70
13	1449	3.46	0.720	7.80	1669.00	1184.00	70.90
14	1452	3.38	0.710	7.37	1597.00	1122.00	70.20
15	1455	3.29	0.700	6.94	1525.00	1059.00	69.40
16	1459	3.18	0.670	6.37	1328.00	973.00	68.10
17	1462	3.11	0.650	5.93	1354.00	908.00	67.00
18	1465	3.03	0.640	5.48	1281.00	842.00	65.70
19	1468	2.95	0.610	5.04	1207.00	775.00	64.20
20	1471	2.88	0.590	4.58	1132.00	707.00	62.40
21	1474	2.81	0.560	4.13	1058.00	638.00	60.30
22	1478	2.73	0.530	3.51	957.00	544.00	56.80
23	1481	2.67	0.500	3.05	882.00	473.00	53.60

ข-9 ตารางแสดงผลของวงจรสมมุติแบบสามบุรณ gen 3 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	5.08	0.860	15.71	2902.30	2311.00	79.65
2	1408	4.94	0.850	15.15	2799.30	2234.00	79.83
3	1413	4.76	0.840	14.43	2669.68	2136.00	80.02
4	1420	4.52	0.830	13.41	2486.52	1995.00	80.23
5	1425	4.35	0.810	12.66	2354.50	1890.00	80.31
6	1431	4.15	0.800	11.75	2194.74	1762.00	80.31
7	1439	3.88	0.770	10.51	1979.44	1585.00	80.11
8	1444	3.72	0.740	9.73	1843.54	1471.00	79.84
9	1451	3.50	0.740	8.60	1651.53	1307.00	79.19
10	1456	3.35	0.680	7.78	1513.10	1187.00	78.47
11	1461	3.20	0.640	6.95	1373.61	1064.10	77.47
12	1466	3.07	0.600	6.10	1233.05	938.00	76.07
13	1471	2.94	0.560	5.24	1091.39	808.90	74.12
14	1475	2.84	0.520	4.55	977.28	703.50	71.99
15	1480	2.73	0.460	3.67	833.64	569.10	68.72
16	1485	2.63	0.390	2.77	688.89	431.60	62.65
17	1489	2.57	0.330	2.04	572.28	319.30	55.79
18	1494	2.50	0.250	1.12	425.49	176.10	41.39

ข-10 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเชือกแห้ง 3 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	5.06	0.840	14.55	2810.70	2140.00	76.16
2	1408	4.93	0.830	14.03	2716.50	2069.00	76.18
3	1413	4.76	0.820	13.36	2597.80	1978.00	76.17
4	1420	4.53	0.810	12.42	2429.80	1847.00	76.04
5	1425	4.33	0.790	11.73	2308.50	1751.00	75.85
6	1431	4.17	0.780	10.88	2161.70	1632.00	75.50
7	1439	3.92	0.750	9.74	1963.50	1468.00	74.77
8	1444	3.76	0.730	9.00	1838.30	1360.00	74.12
9	1451	3.55	0.700	7.96	1661.30	1210.00	72.86
10	1456	3.41	0.680	7.20	1533.60	1098.00	71.64
11	1461	3.26	0.650	6.43	1404.90	984.00	70.06
12	1466	3.13	0.610	5.64	1275.20	867.00	68.02
13	1471	3.00	0.570	4.85	1144.40	747.00	65.34
14	1475	2.91	0.540	4.20	1039.00	650.00	62.57
15	1480	2.79	0.490	3.39	906.40	525.00	57.99
16	1485	2.69	0.430	2.56	772.80	398.00	51.56
17	1489	2.62	0.380	1.88	665.20	294.00	44.30
18	1494	2.55	0.310	1.03	529.80	162.00	30.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ข-11 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเชือกแห้ง 3 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1404	4.50	0.800	11.43	2390.40	1681.80	70.30
2	1408	4.40	0.790	11.01	2316.90	1624.30	70.10
3	1413	4.27	0.780	10.47	2224.20	1551.10	69.70
4	1420	4.10	0.770	9.71	2093.20	1445.70	69.00
5	1425	3.97	0.760	9.16	1998.80	1368.40	68.40
6	1431	3.82	0.740	8.49	1884.50	1273.50	67.50
7	1439	3.63	0.720	7.58	1730.50	1143.00	66.00
8	1444	3.51	0.700	7.00	1633.30	1059.30	64.80
9	1451	3.35	0.670	6.17	1496.00	939.00	62.70
10	1456	3.24	0.650	5.58	1397.20	851.20	60.90
11	1461	3.13	0.620	4.97	1297.60	761.50	58.60
12	1466	3.03	0.590	4.36	1197.40	670.00	55.90
13	1471	2.93	0.560	3.74	1096.50	576.00	52.50
14	1475	2.86	0.530	3.24	1015.40	500.00	49.30
15	1480	2.77	0.490	2.60	913.30	404.00	44.20
16	1485	2.69	0.450	1.96	810.70	306.00	37.70
17	1489	2.63	0.410	1.44	728.00	226.00	31.00
18	1494	2.57	0.360	0.79	624.00	124.30	19.90

ข-12 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชิงกึ่ง 3 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1381	5.36	0.840	14.80	2981.00	2143.00	71.90
2	1388	5.16	0.830	14.00	2850.00	2049.00	71.90
3	1395	4.96	0.830	13.30	2717.00	1952.00	71.80
4	1403	4.72	0.820	12.40	2563.00	1835.00	71.60
5	1410	4.52	0.810	11.70	2425.00	1729.00	71.30
6	1417	4.32	0.800	10.90	2286.00	1619.00	70.80
7	1424	4.12	0.780	10.00	2144.00	1505.00	70.20
8	1435	3.81	0.760	8.77	1917.00	1318.00	68.70
9	1441	3.64	0.740	8.02	1791.00	1212.00	67.60
10	1448	3.45	0.720	7.14	1643.00	1083.00	65.90
11	1453	3.32	0.690	6.50	1536.00	989.00	64.40
12	1460	3.14	0.660	5.58	1384.00	854.00	61.70
13	1464	3.04	0.640	5.05	1296.00	775.00	59.70
14	1469	2.93	0.610	4.38	1186.00	674.00	56.80
15	1475	2.79	0.570	3.56	1053.00	550.00	52.25
16	1479	2.71	0.530	3.00	963.00	465.00	48.35
17	1484	2.61	0.490	2.30	851.00	358.50	42.12

ข-13 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณเชิงกึ่ง 3 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์เท่านั้น ไม่สามารถนำออกนอกห้องเรียนได้ หากมีการนำออกนอกห้องเรียนจะถือว่าผิดกฎระเบียบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1381	5.34	0.840	13.90	2982.00	2011.00	67.44
2	1388	5.15	0.840	13.21	2859.00	1922.00	67.22
3	1395	4.96	0.830	12.51	2734.00	1829.00	66.89
4	1403	4.74	0.820	11.69	2590.00	1719.00	66.38
5	1410	4.55	0.810	10.96	2461.00	1619.00	65.79
6	1417	4.36	0.800	10.20	2330.00	1515.00	65.02
7	1424	4.17	0.790	9.43	2197.00	1408.00	64.05
8	1435	3.88	0.770	8.19	1986.00	1231.00	62.01
9	1441	3.72	0.750	7.49	1868.00	1131.00	60.56
10	1448	3.54	0.730	6.66	1729.00	1011.00	58.47
11	1453	3.42	0.720	6.06	1629.00	923.00	56.65
12	1460	3.25	0.690	5.20	1488.00	796.00	53.52
13	1464	3.15	0.670	4.71	1406.00	722.00	51.36
14	1469	3.00	0.640	4.08	1304.00	628.00	48.17
15	1475	2.91	0.610	3.31	1179.00	512.00	43.42
16	1479	2.83	0.580	2.79	1096.00	433.50	39.55
17	1484	2.70	0.540	2.10	991.00	333.50	33.63

ข-14 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเชิงอเนก 3 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1381	5.79	0.830	16.29	3175.00	2429.00	76.51
2	1388	5.56	0.820	16.00	3031.00	2329.00	76.51
3	1395	5.32	0.819	15.22	2883.00	2224.00	77.13
4	1403	5.05	0.810	14.27	2711.00	2098.00	77.39
5	1410	4.82	0.800	13.41	2556.00	1982.00	77.52
6	1417	4.58	0.790	12.53	2399.00	1860.00	77.55
7	1424	4.35	0.770	11.62	2238.00	1734.00	77.46
8	1435	3.98	0.750	10.13	1979.00	1524.00	76.97
9	1441	3.79	0.730	9.29	1835.00	1403.00	76.47
10	1448	3.57	0.700	8.29	1664.00	1258.00	75.58
11	1453	3.40	0.680	7.55	1540.00	1150.00	74.68
12	1460	3.20	0.640	6.50	1365.00	995.00	72.93
13	1464	3.00	0.610	5.89	1263.00	904.00	71.58
14	1469	2.95	0.580	5.11	1138.00	787.00	69.39
15	1475	2.80	0.520	4.16	979.00	643.00	65.00
16	1479	2.70	0.480	3.52	874.00	545.00	62.38
17	1484	2.60	0.430	2.70	742.00	420.00	56.59

ข-15 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณเชิงอเนก 3 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย ผู้ที่ฝ่าฝืนจะถูกลงโทษตามกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1409	4.93	0.819	13.94	2670.00	2058.00	77.00
2	1413	4.79	0.814	13.43	2578.00	1988.00	77.10
3	1416	4.69	0.810	13.04	2508.00	1934.00	77.10
4	1419	4.58	0.805	12.64	2438.00	1880.00	77.10
5	1422	4.48	0.800	12.24	2367.00	1824.00	77.00
6	1425	4.37	0.790	11.84	2296.00	1768.00	77.00
7	1429	4.23	0.780	11.29	2199.00	1690.00	76.80
8	1433	4.09	0.770	10.73	2102.00	1611.00	76.60
9	1436	3.99	0.769	10.31	2028.00	1551.00	76.40
10	1439	3.89	0.760	9.88	1954.00	1489.00	76.20
11	1442	3.79	0.750	9.44	1880.00	1426.00	75.90
12	1445	3.68	0.740	9.00	1804.00	1363.00	75.50
13	1449	3.55	0.720	8.40	1703.00	1276.00	74.90
14	1452	3.45	0.710	7.95	1626.00	1210.00	74.40
15	1455	3.36	0.690	7.49	1549.00	1142.00	73.70
16	1459	3.23	0.670	6.87	1445.00	1051.00	72.70
17	1462	3.14	0.650	6.40	1367.00	981.00	71.70
18	1465	3.05	0.630	5.93	1288.00	910.00	70.60
19	1468	2.96	0.610	5.45	1208.00	838.00	69.30
20	1471	2.87	0.590	4.96	1128.00	746.00	67.70
21	1474	2.79	0.560	4.47	1048.00	690.00	65.80
22	1478	2.69	0.520	3.80	940.00	589.00	62.70
23	1481	2.62	0.490	3.30	858.00	512.00	59.70

ข-16 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลย์แบบประมาณ gen 3 แรงม้าที่ค่า (max mid min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1409	5.00	0.860	15.58	2851.00	2300.00	80.60
2	1413	4.86	0.850	14.99	2744.00	2219.00	80.80
3	1416	4.75	0.849	14.54	2663.00	2157.00	81.00
4	1419	4.64	0.842	14.09	2581.00	2094.00	81.10
5	1422	4.53	0.830	13.63	2499.00	2031.00	81.20
6	1425	4.42	0.820	13.17	2417.00	1966.00	81.30
7	1429	4.27	0.810	12.54	2307.00	1878.00	81.40
8	1433	4.13	0.800	11.91	2096.00	1788.00	81.40
9	1436	4.02	0.790	11.43	2112.00	1720.00	81.40
10	1439	3.94	0.780	10.95	2027.00	1651.00	81.40
11	1442	3.81	0.770	10.46	1944.00	1580.00	81.30
12	1445	3.70	0.750	9.97	1858.00	1509.00	81.20
13	1449	3.57	0.730	9.30	1744.00	1412.00	80.90
14	1452	3.47	0.720	8.79	1657.00	1338.00	80.70
15	1455	3.37	0.700	8.28	1571.00	1263.00	80.40
16	1459	3.24	0.670	7.60	1455.00	1161.00	79.80
17	1462	3.15	0.650	7.07	1367.00	1084.00	79.20
18	1465	3.06	0.630	6.55	1279.00	1005.00	78.50
19	1468	2.97	0.600	6.01	1191.00	925.00	77.60
20	1471	2.89	0.570	5.48	1102.00	844.00	76.50
21	1474	2.81	0.540	4.93	1013.00	762.00	75.20
22	1478	2.71	0.490	4.20	893.00	651.00	72.80
23	1481	2.64	0.450	3.64	803.00	566.00	70.40

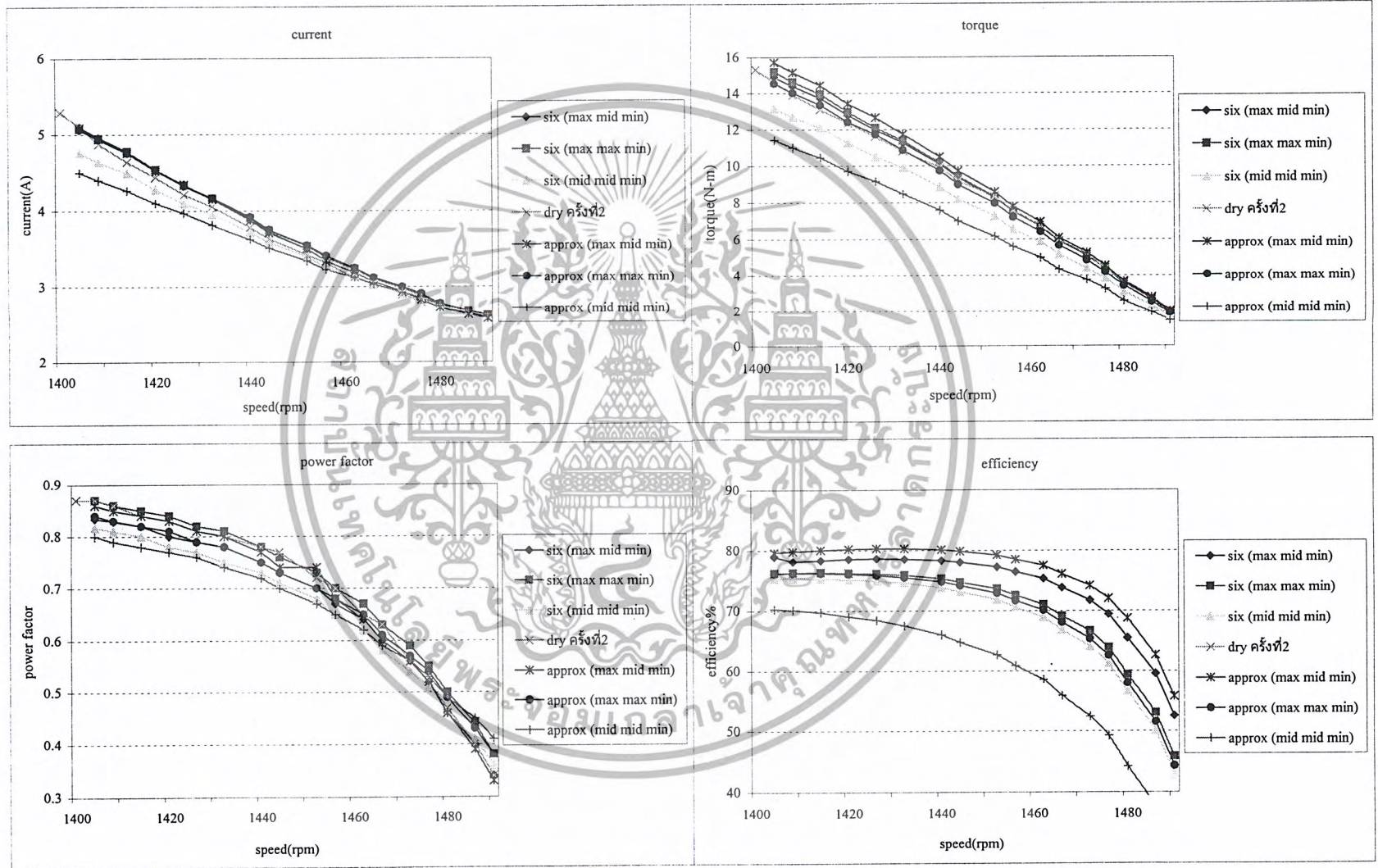
ข-17 ตารางแสดงผลของวงจรสมมุติแบบประมาณ gen 3 แรงม้าที่ค่า (max max min) โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

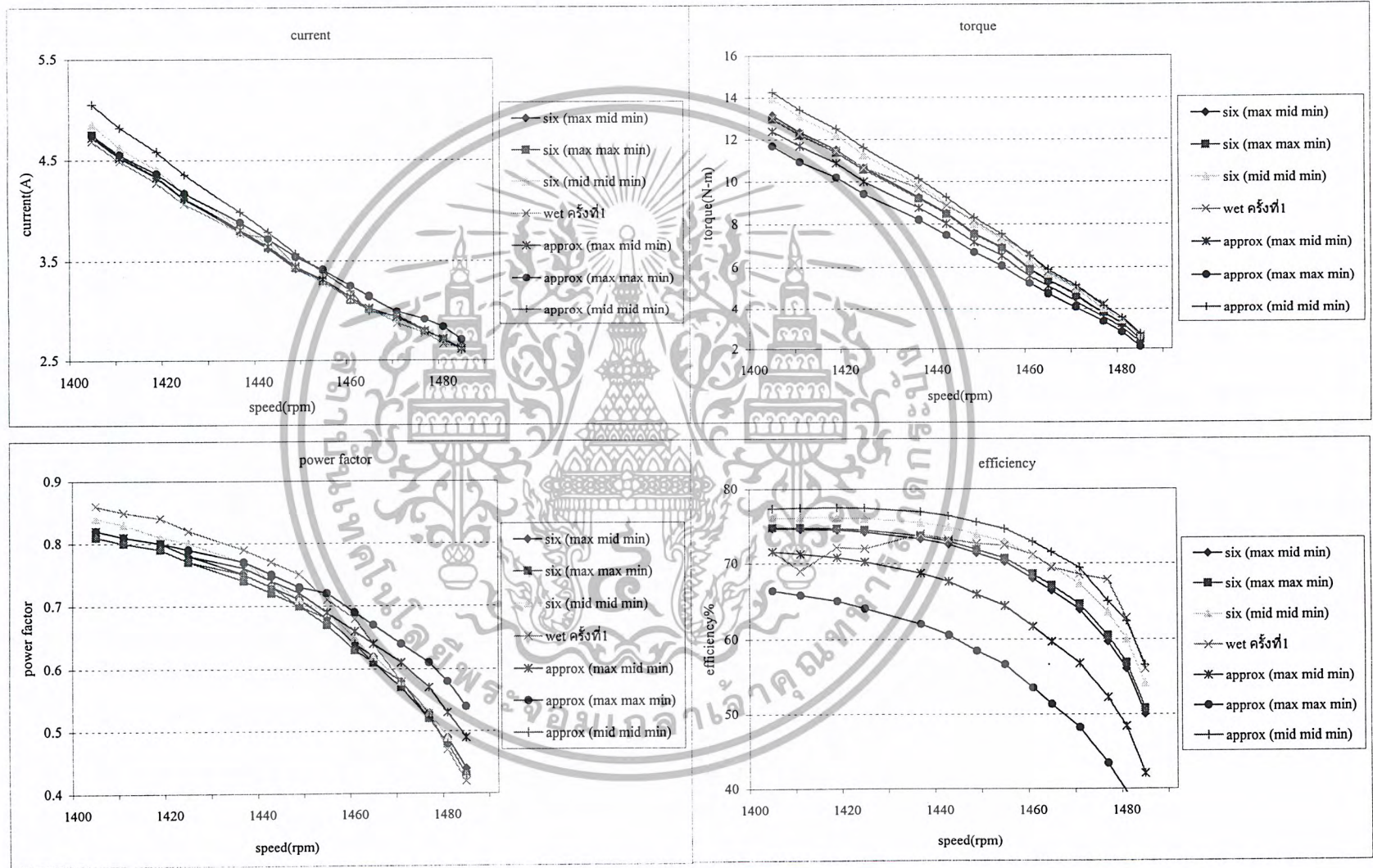
step load	speed (rpm)	current (A)	power factor	torque (N.m)	input power	output power	efficiency (%)
1	1409	5.00	0.800	14.37	2649.00	2122.00	80.00
2	1413	4.86	0.796	13.85	2555.00	2051.00	80.20
3	1416	4.75	0.790	13.49	2484.00	1996.00	80.30
4	1419	4.64	0.786	13.05	2411.00	1941.00	80.40
5	1422	4.54	0.780	12.64	2339.00	1884.00	80.50
6	1425	4.43	0.770	12.23	2265.00	1826.00	80.60
7	1429	4.29	0.760	11.67	2166.00	1747.00	80.64
8	1433	4.14	0.750	11.09	2066.00	1666.00	80.60
9	1436	4.04	0.740	10.66	1990.00	1604.00	80.58
10	1439	3.93	0.730	10.22	1914.00	1540.00	80.50
11	1442	3.83	0.720	9.77	1836.00	1476.00	80.30
12	1445	3.73	0.710	9.32	1759.00	1410.00	80.20
13	1449	3.59	0.690	8.70	1654.00	1321.00	79.80
14	1452	3.49	0.680	8.23	1575.00	1253.00	79.50
15	1455	3.39	0.660	7.76	1495.00	1183.00	79.10
16	1459	3.27	0.640	7.12	1388.00	1089.00	78.40
17	1462	3.17	0.620	6.64	1306.00	1017.00	77.80
18	1465	3.08	0.600	6.14	1225.00	943.00	77.00
19	1468	3.00	0.570	5.65	1142.00	869.00	76.00
20	1471	2.91	0.550	5.14	1059.00	793.00	74.80
21	1474	2.83	0.520	4.63	976.00	716.00	73.30
22	1478	2.73	0.470	3.59	864.00	611.00	70.70
23	1481	2.67	0.440	3.43	779.00	532.00	68.25

ข-18 ตารางแสดงผลของวงจรสมมูลแบบประมาณ gen 3 แรงม้าที่ค่า (mid mid min) โดยใช้โปรแกรม

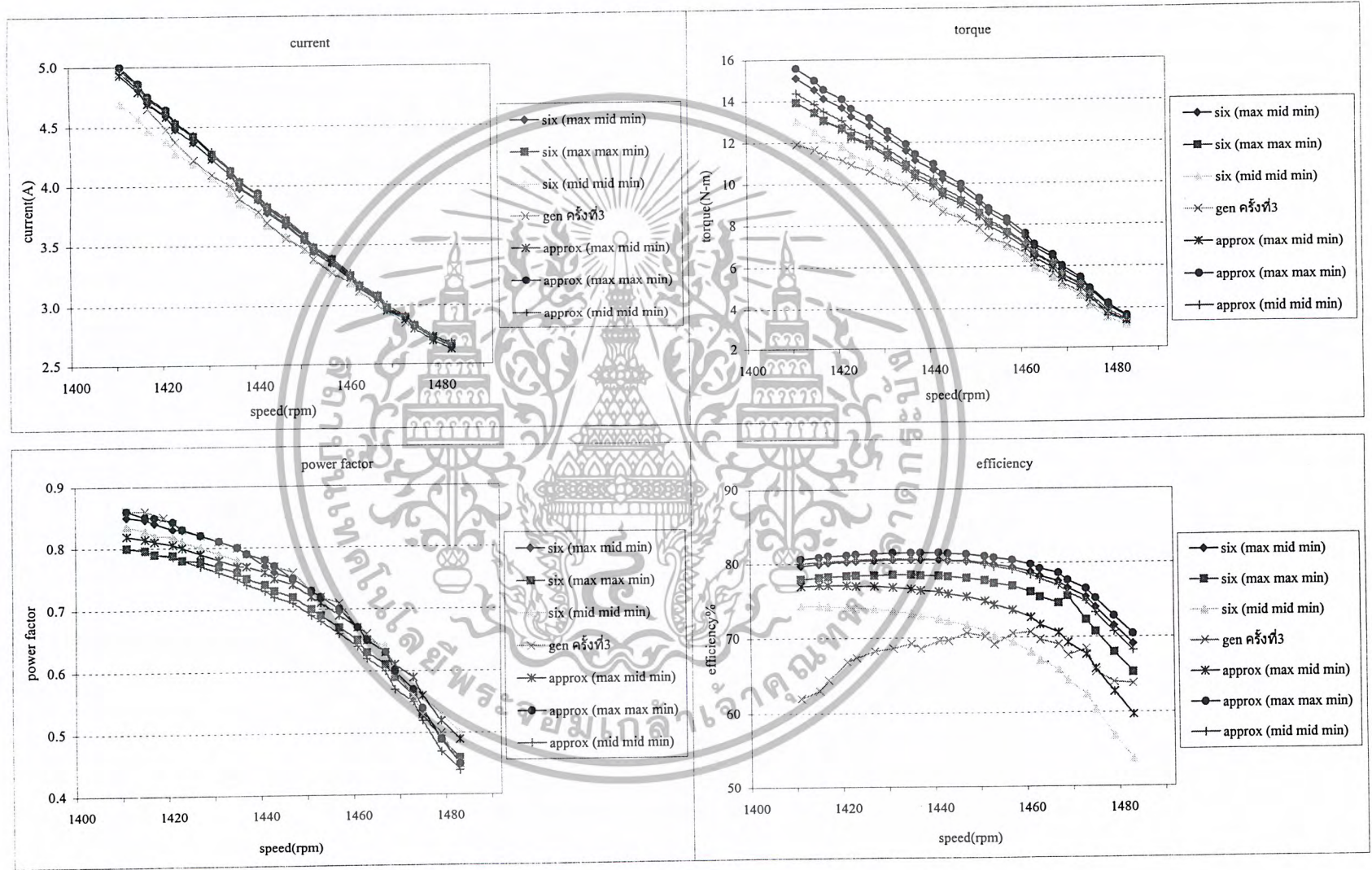
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-1 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบเครื่องของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า



รูปที่ ข-2 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบเชิงเปียกของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า



รูปที่ ข-3 เป็นการแสดงค่าต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมเทียบกับการทดสอบ gen ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 แรงม้า