

การพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
สำหรับการจัดการพลังงาน

EFFICIENCY CONSIDERATION OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR
FOR USE IN ENERGY MANAGEMENT

ธนพล เกตุสร้อย
THANAPOL KESDOI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

การพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
สำหรับการจัดการพลังงาน

EFFICIENCY CONSIDERATION OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR
FOR USE IN ENERGY MANAGEMENT

ธนพล เกตุสร้อย
THANAPOL KEDSOI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**EFFICIENCY CONSIDERATION OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR
FOR USE IN ENERGY MANAGEMENT**

THANAPOL KEDSOI

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRIC ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส สำหรับการจัดการพลังงาน
นักศึกษา	นายชนพล เกตุสร้อย
รหัสนักศึกษา	47060225
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ชัยวุฒิ นัตรุทัย

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโปรแกรมการพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงาน ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้ามีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงมาก การพิจารณาถึงผลกระทบของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ที่มีต่อการลงทุนเป็นสิ่งที่สำคัญ ในวิทยานิพนธ์จะนำเสนอวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานจริงและการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตในกรณีที่โรงงานต้องมีการพิจารณาสั่งซื้อมอเตอร์ใหม่ทดแทนมอเตอร์ตัวเดิมซึ่งมีปัญหา หรือต้องการจะติดตั้งมอเตอร์เพิ่มเข้าไปในระบบ จากการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของมอเตอร์เมื่อใช้วิธีการต่างๆจะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอจะมีประโยชน์ในด้านความรวดเร็วและมีความแม่นยำซึ่งเหมาะสำหรับการจัดการพลังงานของโรงงานเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

Thesis Title	Efficiency Consideration of Three-phase Induction Motor for Use in Energy Management
Student	Mr.Thanapol Kedsoi
Student ID.	47060225
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Chaiwut Chat-uthai

ABSTRACT

This thesis proposes a computer program for considering an efficiency of three-phase induction motors with the energy management. As the cost of energy is growing at a high rate, it is important to consider the economical impact of the motor efficiency on business sectors. This thesis proposes the techniques for field efficiency estimation and efficiency prediction based on manufacturer information . These techniques can be used for the purchase of motors to replace of inefficient existing motors or new installations. The compared results of motor performances obtained from various techniques show that these proposed techniques are fast and accurate which are suitable for industrial energy management in order to determine the cost saving regarding the investment.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำปรึกษาจาก รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งช่วยให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งต่อความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ คุณ ธนภักดิ์ ภูมิภาค ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในบางปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งมีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้น

ขอขอบคุณ คุณ นพพร วันงาม ที่ช่วยให้คำปรึกษาทางด้านระบบฐานข้อมูลเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธนพล เกตุสร้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	5
2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	5
2.1.2 หลักการสนามแม่เหล็กหมุนและการทำงานของมอเตอร์.....	5
2.1.3 ความเร็วซิงโครนัส.....	7
2.1.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	7
2.1.5 การสูญเสียและการส่งผ่านกำลังงาน.....	8
2.1.6 การทดสอบเมื่อไร้ภาวะทางกล.....	11
2.1.7 การทดสอบยึดโรเตอร์.....	11
2.1.8 การทดสอบ VI-Method test.....	12
2.1.9 การจำแนกมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	12
2.2 หลักการหาค่าที่เหมาะสม.....	13
2.2.1 พื้นฐานการออกแบบที่เหมาะสม.....	13
2.2.2 การออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม.....	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.1	กำหนดเป้าหมายการออกแบบ.....	15
2.2.2.2	กำหนดรูปแบบของปัญหา.....	15
2.2.2.3	หลักการออกแบบและการสังเคราะห์.....	16
2.2.2.4	การหาค่าที่เหมาะสม.....	16
2.2.2.5	อภิปรายผลการออกแบบ.....	16
2.2.3	หลักการเบื้องต้นของการหาค่าที่เหมาะสม.....	16
2.3	จินตคติอัลกอริทึม.....	17
2.3.1	ตัวดำเนินการทางจินตคติอัลกอริทึม.....	18
2.4	การคิดค่าไฟฟ้า.....	19
2.4.1	ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า.....	19
2.4.1.1	ความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge).....	19
2.4.1.2	ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge).....	19
2.4.1.3	ค่าไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum Charge).....	19
2.4.1.4	ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor Charge).....	19
2.4.1.5	ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Ft).....	19
2.4.1.6	ค่าบริการ (Service Charge).....	19
2.4.1.7	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT).....	19
2.4.2	กิจการขนาดกลาง.....	19
2.4.3	กิจการขนาดใหญ่.....	20
2.5	การจัดการพลังงานของมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม.....	22
2.6	การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	22
2.6.1	การคำนวณการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	22
2.6.2	หลักการวิเคราะห์ตลอดช่วงการใช้งาน.....	26
2.6.2.1	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปี.....	26
2.6.2.2	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีหลังหักภาษี.....	27
2.6.2.3	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีหลังหักภาษีเมื่อเทียบ เป็นค่าเงินปัจจุบัน.....	27
2.6.2.4	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีหลังหักภาษีสะสม.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานระบบ.....	27
2.7.1 หลักการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ.....	28
บทที่ 3 การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส.....	29
3.1 บทนำ.....	29
3.2 กระบวนการพื้นฐานในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะใช้งาน.....	29
3.2.1 Nameplate Method.....	29
3.2.2 Slip Method.....	30
3.2.3 Current Method.....	31
3.2.4 Equivalent Circuit Method.....	32
3.2.5 Shaft Torque Method.....	33
3.3 วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่ใช้งานจริง.....	33
3.4 สรุป.....	34
บทที่ 4 วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่ใช้งานจริง.....	35
4.1 บทนำ.....	35
4.2 การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง.....	35
4.3 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	36
4.4 กระบวนการวัดข้อมูล.....	39
4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์.....	40
4.6 ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง.....	46
4.7 วิธีการใช้งานโปรแกรมในส่วนของการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งาน.....	47
4.8 สรุป.....	51
บทที่ 5 วิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก.....	53
5.1 บทนำ.....	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 การทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....	53
5.3 กระบวนการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก.....	54
5.4 การทดสอบและผลลัพธ์.....	55
5.5 อธิบายการใช้งาน โปรแกรมการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดย ใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก.....	60
5.6 สรุป.....	67
บทที่ 6 โปรแกรมการพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับ การจัดการพลังงาน.....	68
6.1 บทนำ.....	68
6.2 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	68
6.2.1 หลักการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	68
6.2.2 ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	69
6.2.2.1 ราคามอเตอร์และส่วนลดในการซื้อมอเตอร์.....	69
6.2.2.2 เวลาการใช้งานมอเตอร์และอายุการใช้งานมอเตอร์.....	69
6.2.2.3 อัตราดอกเบี้ย(อัตราผลตอบแทน).....	70
6.2.2.4 อัตราเงินเฟ้อ.....	71
6.2.2.5 ค่าเสื่อมราคาและมูลค่าซาก.....	71
6.2.2.6 อัตราภาษี.....	71
6.2.2.7 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft.....	71
6.2.3 อธิบายการใช้งาน โปรแกรมในส่วนของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	71
6.3 การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบ.....	88
6.3.1 หลักการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบ.....	88
6.3.2 ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้ งานในระบบ.....	88
6.3.3 อธิบายการใช้งาน โปรแกรมการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบ.....	88
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	108

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.1 บทนำ.....	108
7.2 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	108
7.3 การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งาน.....	111
7.4 สรุปผลการวิจัย.....	114
7.5 ข้อเสนอแนะ.....	115
เอกสารอ้างอิง.....	116
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวดำเนินการทางเงินตักอัตราริซึม.....	117
ภาคผนวก ข ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า.....	125
ภาคผนวก ค ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงาน.....	127
ภาคผนวก ง ข้อมูลและผลลัพธ์จากการทดสอบค่าแรงบิด.....	142
ภาคผนวก จ ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพ โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก.....	146
ภาคผนวก ฉ อธิบายการใช้งาน โปรแกรมในส่วนของการ เพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูลของแคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลของโปรแกรม.....	162
ภาคผนวก ช อธิบายการใช้งาน โปรแกรมในส่วนของการสรุปวิเคราะห์ ตลอดช่วงอายุการใช้งาน.....	164
ภาคผนวก ซ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	168
ประวัติผู้เขียน.....	183

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กิจการขนาดกลางที่ใช้อัตราปกติ.....20
2.2	กิจการขนาดกลางที่ใช้ค่าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU).....20
2.3	กิจการขนาดใหญ่ที่ใช้อัตราตามช่วงเวลาของวัน(Time of Day Tariff : TOD Tariff).....21
2.4	อัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU).....21
2.5	ข้อมูลมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการเปลี่ยนทดแทน.....23
2.6	การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดปี.....24
2.7	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....25
3.1	ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขนาด 75 kW จากข้อมูล nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ.....30
4.1	ข้อมูลมอเตอร์จากแคทาล็อก Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz, 4 pole.....40
4.2	ข้อมูลมอเตอร์จากแคทาล็อก Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz, 4 pole.....40
4.3	ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากการทำ no-load และ block-rotor ของ มอเตอร์ Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz.....40
4.4	ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากการทำ no-load และ block-rotor ของ มอเตอร์ Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz.....41
4.5	ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากวิธี FEE ของมอเตอร์ Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz.....41
4.6	ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากวิธี FEE ของมอเตอร์ Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz.....41
4.7	ผลลัพธ์การประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ.....42
4.8	ผลลัพธ์การประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ.....42
4.9	ผลลัพธ์การประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์ Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ.....43
4.10	ผลลัพธ์การประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์ Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ.....43

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11	ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัด.....46
4.12	ผลการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์พิกัด 7.5 kW ขณะทำงานในระบบ.....46
4.13	ผลการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์พิกัด 75 kW ขณะทำงานในระบบ.....46
4.14	ผลการประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์พิกัด 7.5 kW ขณะทำงานในระบบ.....47
4.15	ผลการประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์พิกัด 75 kW ขณะทำงานในระบบ.....47
5.1	ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจากแคทาล็อก Mitshubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz, 4 pole และ Mitshubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz, 4 pole.....56
5.2	ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากแคทาล็อกและค่าที่ได้จากโปรแกรมการทำนาย.....56
5.3	ผลการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าอินพุทและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากแคทาล็อกและค่าที่ได้จากโปรแกรมการทำนาย.....57
5.4	ผลการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สถานะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม Mitshubishi, 380 V, 50 Hz, 4 pole.....57
5.5	ผลการทำนายค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สถานะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม Mitshubishi, 380 V, 50 Hz, 4 pole.....57
5.6	ผลการทำนายค่ากระแสไฟฟ้าอินพุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สถานะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม Mitshubishi, 380 V, 50 Hz, 4 pole.....57
6.1	ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ.....72
6.2	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....80
6.3	แสดงผลพัทธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 1.....81
6.4	แสดงผลพัทธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 2.....85
6.5	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 3.....87
6.6	ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ.....89
6.7	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่.....97
6.8	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ใหม่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ 2.....99
6.9	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ใหม่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ 3.....103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.10	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดอายุการใช้งานของมอเตอร์ใหม่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ 4.....105
7.1	ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่.....108
7.2	ข้อมูลการวัดทางไฟฟ้า ณ จุดทำงานของมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่.....109
7.3	ข้อมูลจากแคทาล็อกของมอเตอร์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพ 400 V, 50 Hz, 4 Pole.....109
7.4	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการประมาณค่าประสิทธิภาพของ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง.....109
7.5	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่ที่ ต้องการจะนำมาเปลี่ยนทดแทน.....109
7.6	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....110
7.7	ข้อสรุปของมอเตอร์ใหม่ทั้งสามที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของ โปรแกรมเมื่อทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่.....111
7.8	ข้อมูลจากแคทาล็อกของมอเตอร์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพ 400 V, 50 Hz, 4 Pole.....112
7.9	ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 4 ตัว โดยกำหนดสถานะโหลดที่จะนำมอเตอร์ไปใช้งานนั้นมีค่าเท่ากับ 60 kW112
7.10	ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ เข้าใช้งานในระบบ.....113
7.11	ข้อสรุปของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของ โปรแกรมเมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์เข้าใช้งานในระบบแทนการเลือกใช้มอเตอร์ ยี่ห้อ Rotor bv.....114
ง.1	ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 2.2 kW.....143
ง.2	ผลที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 2.2 kW.....143
ง.3	ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 5.5 kW.....144
ง.4	ผลที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 5.5 kW.....144
จ.1	ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจากแคทาล็อก.....151
จ.2	ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากแคทาล็อกและค่าที่ ได้จากโปรแกรมการทำนาย.....152

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
จ.3 ผลการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สถานะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม.....	154
จ.4 ผลการทำนายค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สถานะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม.....	155
จ.5 ผลการทำนายกระแสไฟฟ้าอินพุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สถานะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม.....	156

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างพื้นฐานมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....5
2.2	หลักการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....6
2.3	วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....7
2.4	แผนภูมิการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ.....8
2.5	การแก้ปัญหาโดยตรง.....14
2.6	การแก้ปัญหาแบบย้อนกลับ.....14
2.7	แผนผังขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสม.....15
2.8	คำตอบของค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน $f(x)$ เป็นจุดเดียวกับกับค่าสูงสุด ของฟังก์ชัน $-f(x)$17
3.1	ค่าความแม่นยำของวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์.....29
3.2	วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสแบบประมาณ (approximate equivalent circuit).....32
3.3	ตำแหน่งการต่อ Torque Detector.....33
4.1	วงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบสมบรูณ์ (six-impedance).....36
4.2	วงจรสมมูลทางไฟฟ้าตามความหมายในทฤษฎีของเทวินิน.....37
4.3	กระบวนการวัดข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานอยู่ในระบบ.....39
4.4	การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ 2.2 kW, 380 V, 50 Hz.....44
4.5	การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ 5.5 kW, 380 V, 50 Hz.....45
4.6	หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน.....48
4.7	หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง.....48
4.8	หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อทำการใส่ข้อมูลผิด.....49
4.9	หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อทำการกดปุ่มคำนวณ.....49
4.10	หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อยังไม่ได้กดปุ่มคำนวณแล้ว กดปุ่มจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล.....50
4.11	หน้าจอฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริง.....50
4.12	หน้าจอฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อผู้ใช้งานต้องการแก้ไขหรือลบข้อมูล.....51
5.1	แผนภูมิของวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดย ใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก.....55
5.2	การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2.2 kW.....58
5.3	การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 5.5 kW.....59

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4	หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน.....60
5.5	หน้าจอโปรแกรมเมื่อผู้ใช้งานเลือกแคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล.....61
5.6	หน้าจอโปรแกรมเมื่อผู้ใช้งานเลือกแคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล.....61
5.7	หน้าจอโปรแกรมค้นหามอเตอร์ใช้งานที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล.....62
5.8	หน้าจอโปรแกรมทำนายสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต ที่อยู่ในฐานข้อมูล.....63
5.9	ผลลัพธ์การทำนายสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตที่อยู่ ในฐานข้อมูล.....63
5.10	จัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายลงฐานข้อมูล.....64
5.11	หน้าจอแคทาล็อกมอเตอร์ที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล.....65
5.12	หน้าจอโปรแกรมทำนายสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต ที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล.....66
5.13	จัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายลงฐานข้อมูล.....66
6.1	หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน.....73
6.2	หน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....73
6.3	หน้าจอฐานข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง.....74
6.4	หน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เมื่อเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1.....74
6.5	หน้าจอเลือกมอเตอร์ใหม่เพื่อทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....75
6.6	หน้าจอค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่.....76
6.7	หน้าจอแสดงค่าเตือนเมื่อเลือกมอเตอร์ขนาดใหญ่เกินไป.....76
6.8	หน้าจอแสดงค่าเตือนเมื่อเลือกมอเตอร์ขนาดเล็กเกินไป.....77
6.9	เลือกและกรอกข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าและเวลาการทำงานที่ใช้ของมอเตอร์ตัวที่ 1.....77
6.10	ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 ทำการเปลี่ยนทดแทน.....78
6.11	การวิเคราะห์ห้ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 มาทำการทดแทน.....79
6.12	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 มาทำการทดแทน.....79
6.13	หน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เมื่อเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2.....81
6.14	กรอกเวลาการใช้งานและค่าติดตั้งที่ใช้ของมอเตอร์ตัวที่ 2.....82
6.15	ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ทำการเปลี่ยนทดแทน.....83
6.16	กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ห้ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 มาทำการทดแทน.....84

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.17 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 มาทำการทดแทน.....	84
6.18 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 มา ทำการทดแทน.....	86
6.19 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 มาทำการทดแทน.....	86
6.20 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานมอเตอร์ที่คุ้มค่ากับการใช้งานที่สุด.....	87
6.21 หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน.....	90
6.22 หน้าจอการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบ.....	90
6.23 เลือกมอเตอร์ใช้งานตัวที่ 1.....	91
6.24 กรอกเปอร์เซ็นต์โหลดที่ต้องการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 1.....	92
6.25 เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่2เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1.....	92
6.26 เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2.....	93
6.27 ค่าเอาต์พุทของเปอร์เซ็นต์โหลดที่ใช้งาน.....	94
6.28 กรอกเวลาการใช้งานและค่าติดตั้งที่ใช้ของมอเตอร์ตัวใหม่ที่ 2.....	95
6.29 ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 มาใช้งานแทนมอเตอร์ ใหม่ตัวที่ 1.....	96
6.30 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานระหว่างมอเตอร์ ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2.....	98
6.31 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ ตัวที่ 2 ใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่1.....	98
6.32 เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่3เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ใหม่ตัวที่1.....	100
6.33 กรอกเวลาการใช้งานและค่าติดตั้งที่ใช้ของมอเตอร์ตัวใหม่ที่ 3.....	101
6.34 ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่3 มาใช้งานแทนมอเตอร์ ใหม่ตัวที่ 1.....	101
6.35 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานระหว่างมอเตอร์ ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3.....	102
6.36 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 ใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1.....	102
6.37 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่4.....	104

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.38	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่4 ใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่1.....104
6.39	สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานมอเตอร์ที่คุ้มค่ากับการใช้งานที่สุด.....106
ก.1	การสร้างโครโมโซมลูกแบบ one-point crossover.....119
ก.2	การสร้างโครโมโซมลูกแบบ two-point crossover.....119
ก.3	การสร้างโครโมโซมลูกแบบ uniform crossover.....120
ก.4	การกลายพันธุ์ (mutation).....121
ค.1	การดำเนินการเลือกซื้อโดยวิธีคุ้มค่าที่สุด.....128
ค.2	ประเภทของค่าเสื่อมราคา.....133
ค.3	มูลค่าซากมีค่าลดลงตามระยะเวลา.....139
จ.1	การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 7.5 kW.....158
จ.2	การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 22 kW.....159
จ.3	การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 37 kW.....160
จ.4	การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 75 kW.....161
ฉ.1	หน้าจอหลักของโปรแกรม.....163
ฉ.2	การจัดการระบบฐานข้อมูล.....163
ช.1	หน้าจอหลักของโปรแกรม.....165
ช.2	การเลือกใช้งานการสรุปวิเคราะห์ของการ Replacement.....165
ช.3	การเลือกใช้งานการสรุปวิเคราะห์ของการ Selection.....166
ช.4	หน้าจอการสรุปวิเคราะห์ของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....166
ช.5	หน้าจอการสรุปวิเคราะห์ของการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ.....167

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบขับเคลื่อน (drive system) ซึ่งมีการใช้งานเป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องใช้มอเตอร์เป็นส่วนที่ให้พลังงานกล และจะนิยมใช้มอเตอร์สามเฟสทั้งนี้เนื่องจากราคาไม่สูงมากนักและมีความทนทานสูง และเนื่องจากในปัจจุบัน อัตราค่าไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นมาก ดังนั้นทางโรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องการที่จะลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้แทนมอเตอร์ตัวเดิมที่มีค่าประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าปกติซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ใช้งานมานานแล้วหรือมีการพันขดลวดใหม่เนื่องจากเกิดความเสียหาย จุดสำคัญคือจะทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวเดิมได้อย่างไรถ้ามอเตอร์ตัวนั้นกำลังทำงานอยู่ในระบบและไม่ต้องการที่จะทำการปลดมอเตอร์ออกมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งโดยปกติจะมีวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์ทำงานได้หลายวิธี [1] แต่วิธีการเหล่านี้จะมีค่าความถูกต้องแม่นยำที่ต่ำ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอแนวทางในการประเมินค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์ใช้งานจริง (Field Efficiency Estimation , FEE) โดยมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและเป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ต้นทุนต่ำแต่มีความแม่นยำสูงมาใช้แทนและจุดสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ในเรื่องของการจัดซื้อมอเตอร์โดยทั่วไปคือการไม่พิจารณาถึงต้นทุนจริงๆของการใช้พลังงานในระยะยาว ตัวอย่างเช่น ผู้ที่รับผิดชอบในการสั่งซื้อมักจะมุ่งเน้นถึงเรื่องราคาของมอเตอร์โดยละเลยการพิจารณาถึงความเหมาะสมของประสิทธิภาพมอเตอร์เมื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการนั่นคือให้ความสำคัญน้อยในด้านค่าใช้จ่ายจริงของการใช้ไฟฟ้าในระยะยาว โดยทั่วไปข้อมูลของมอเตอร์จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิตต่างๆจะระบุค่าประสิทธิภาพที่ 50, 75 และ 100% ของพิกัดมอเตอร์แต่การนำไปใช้งานจริงมอเตอร์นี้อาจจะทำงานอยู่ที่ 80, 85, 90% ของพิกัดก็ได้ซึ่งไม่มีข้อมูลประกอบการพิจารณาอาจมีผลทำให้การประเมินค่าใช้จ่ายของพลังงานคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอวิธีการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิตต่างๆเมื่อนำไปใช้งานจริง (Efficiency Prediction based on Manufacturer Information, EPMI) โดยที่ผู้สั่งซื้อสามารถทราบถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ในกรณีที่ใช้งานในสภาพภาระทางกลที่ไม่ได้ระบุไว้ในแคทาล็อกซึ่งเป็นการสนับสนุนแนวความคิดในการดำเนินงานการให้มีอาคารและโรงงานประหยัดไฟฟ้าโดยจะต้องส่งเสริมทัศนคติให้ผู้ที่เกี่ยวข้องตระหนักถึงการประหยัดพลังงานจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอวิธีการใหม่ 2 แนวทาง คือ การประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง และ การทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูล

จากแคทาล็อกซึ่งจากวิธีการทั้ง 2 นี้จะสามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจในเรื่องของการจัดการพลังงานซึ่งเกี่ยวกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์และการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะเสนอวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงและวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกซึ่งจะนำมาช่วยในเรื่องของการจัดการพลังงานทั้งในเรื่องของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Replacement Motor) และการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ (Selection Motor) โดยจะทำการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์นั้น และเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานจึงได้จัดทำให้ออกมาอยู่ในรูปแบบของโปรแกรมซึ่งเขียนขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic 6 โดยข้อดีของโปรแกรมนี้อีกคือการใช้งานจะเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งจะสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจการใช้งานโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ปัจจุบันในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานมีด้วยกันหลายวิธีเช่น วิธีการใช้ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัด (Nameplate) การวัดความเร็วรอบมอเตอร์ (Slip Method) การวัดค่ากระแส (Current Method) จะเป็นวิธีการที่ง่ายแต่มีความผิดพลาดสูง ส่วนวิธีการใช้วงจรสมมูลของมอเตอร์จากการทดสอบปกติ (No-load and Block-rotor tests) จะมีความแม่นยำปานกลาง และวิธีการวัดค่าแรงบิดทางกล (Shaft Torque) จะเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานจริงโดยมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและเป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ต้นทุนต่ำแต่มีความแม่นยำสูงซึ่งจะตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำได้จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้กับวิธีการต่างๆซึ่งจะใช้วิธีการวัดค่าแรงบิดทางกลเป็นตัวหลักในการเปรียบเทียบเนื่องจากวิธีนี้จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุด ส่วนวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก (catalog) ในการตรวจสอบความแม่นยำของวิธีนี้จะใช้ข้อมูลที่ระบุไว้ในแคทาล็อกเป็นตัวเปรียบเทียบ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงและการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกโดยวิธีการทั้งสองนี้จะอาศัยหลักการประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าโดยการหาค่าที่เหมาะสมเชิงเลข (numerical optimization) ด้วยวิธีจีเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) เมื่อทราบค่าวงจรสมมูลทางไฟฟ้าจะ

สามารถทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ภาระทางกลต่างๆได้ โดยข้อมูลประสิทธิภาพที่ได้นี้จะนำไปใช้ในเรื่องของการจัดการพลังงานเป็นต่อไป ซึ่งในเรื่องของการจัดการพลังงานนี้จะใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์มาช่วยในการพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการคิดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่ ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจตลอดระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้งานมอเตอร์นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยหลักการทางเศรษฐศาสตร์ที่จะนำมาใช้นั้นได้แก่ ค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เงินเฟ้อ ค่าเสื่อมราคา และ ค่าภาษี เป็นต้น

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงและวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก ซึ่งวิธีการทั้งสองที่นำเสนอนี้จะใช้หลักการพื้นฐานของวงจรสมมูลทางไฟฟ้า (equivalent circuit) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสร่วมกับวิธีจิ้นติกอัลกอริทึมซึ่งค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการ FEE นั้นจะมาทำการเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ในขณะที่ทำงานอยู่ในระบบแบบทั่วไปและวิธีการทดสอบจริง ส่วนค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธี EPMI นั้นจะมาทำการเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ระบุในแคทาล็อก ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำวิธีการทั้งสองมาทำเป็นโปรแกรมการจัดการพลังงานโดยจะช่วยในการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายพลังงานของมอเตอร์ซึ่งค่าใช้จ่ายพลังงานมอเตอร์เป็นต้นทุนระยะยาวที่สำคัญในการลงทุนของโรงงาน ในกรณีที่จะพิจารณาจัดซื้อมอเตอร์ใหม่เพื่อทดแทนตัวเดิมหรือการติดตั้งเพิ่มเติม การเลือกซื้อมอเตอร์โดยการพิจารณาเพียงด้านราคาที่ถูกที่สุดอาจจะเป็นทางเลือกที่ผิดสำหรับการลงทุนในระยะยาว เนื่องจากการลงทุนในระยะยาวนั้นจะต้องพิจารณาถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ค่าภาษี และค่าเสื่อมราคาเข้าไปเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นในการเลือกมอเตอร์ควรคำนึงถึงข้อได้เปรียบของค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานที่ต่างกันถึงแม้จะมีค่าเพียงเล็กน้อยแต่อาจจะมีผลต่อการลงทุนทางด้านค่าใช้จ่ายพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้งานมอเตอร์ตัวนั้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ทฤษฎีเบื้องต้นของการหาค่าที่เหมาะสมแบบสโตคาสติกโดยใช้จิ้นติกอัลกอริทึม การคิดค่าไฟฟ้าและการจัดการพลังงาน

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการทั่วไปที่ใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการประมาณประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง พร้อมอธิบายถึงการใส่โปรแกรมการจัดการพลังงานในส่วนที่ใช้วิธี FEE

บทที่ 5 กล่าวถึงวิธีการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก พร้อมอธิบายถึงการใส่โปรแกรมการจัดการพลังงานในส่วนที่ใช้วิธี EPMI

บทที่ 6 กล่าวถึงการใส่โปรแกรมการจัดการพลังงานในส่วนของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Replacement motor) และในส่วนของการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าไปใช้ในระบบ (Selection motor)

บทที่ 7 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

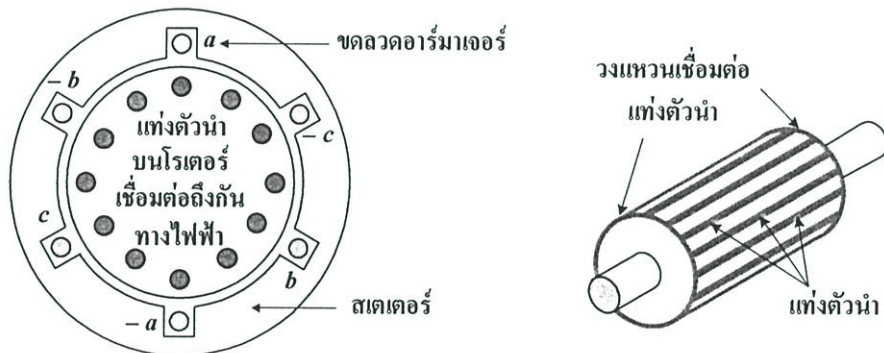
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส [2]

2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยหลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุน โครงสร้างพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบ 2 ขั้วแม่เหล็กแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของสเตเตอร์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสคือ ประกอบด้วยขดลวดอาร์มาเจอร์แบบสามเฟส (a, b, c) ที่โรเตอร์จะมีแท่งตัวนำวางอยู่ในแนวตามความยาวของโรเตอร์และแท่งตัวนำเหล่านี้จะมีการเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้าโดยการถ่วงจรปลายทั้งสองข้างดังรูปที่ 2.1 โรเตอร์ลักษณะนี้เรียกชื่อว่าโรเตอร์แบบกรงกระรอก (squirrel-cage rotor)

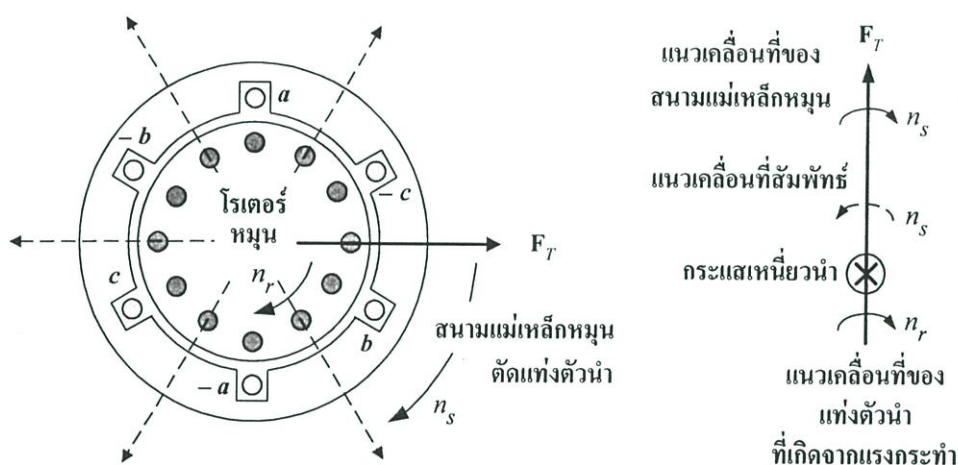


รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

2.1.2 หลักการสนามแม่เหล็กหมุนและการทำงานของมอเตอร์

จากรูปที่ 2.2 ก) เมื่อขดลวดอาร์มาเจอร์สามเฟสได้รับค่ากระแสไฟฟ้าสามเฟสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กกลัพธ์ F_T ขึ้นมา ซึ่งจะมีลักษณะเคลื่อนที่หมุนไปรอบๆ ช่องอากาศที่ความเร็วซิงโครนัส n_s โดยความเร็วนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักรไฟฟ้าและสามารถกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กที่หมุนได้ โดยการสลับลำดับเฟสของสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสคู่ใดคู่หนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแท่งตัวนำต่างๆที่วางอยู่บนตัวโรเตอร์จะเกิดสภาพของการตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนนี้ โดยจะต้องพิจารณาแนวการตัดสนามแม่เหล็กของแท่งตัวนำในลักษณะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ดังรูปที่ 2.2 ข) แท่งตัวนำจะ

เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาซึ่งทำให้เกิดค่ากระแสเหนี่ยวนำในแท่งตัวนำในทิศทางพุ่งเข้า เนื่องจากแท่งตัวนำมีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า ค่ากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ค่ากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้เกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำต่างๆ ในทิศทางที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ n_r จะเห็นได้ว่าความเร็วโรเตอร์จะไม่สามารถมีขนาดเท่ากับความเร็วซิงโครนัส ทั้งนี้เนื่องจากถ้าความเร็ว $n_r = n_s$ แท่งตัวนำจะมีสภาพหยุดนิ่งอยู่กับที่เมื่อเปรียบเทียบกับสนามแม่เหล็กหมุนจะทำให้ไม่เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพราะไม่มีการตัดกับสนามแม่เหล็กและไม่สามารถเกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำ ดังนั้นจากหลักการดังกล่าวเครื่องจักรไฟฟ้านี้จึงเรียกชื่อว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ



ก) แนวการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กหมุน ข) แรงกระทำที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำ

รูปที่ 2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

พิจารณาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะเริ่มหมุน (โรเตอร์อยู่กับที่ $n_r = 0$) แท่งตัวนำจะตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสและเมื่อโรเตอร์เกิดการหมุนแท่งตัวนำจะตัดกับสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว $n_s - n_r$ จะเห็นได้ว่าในขณะที่เริ่มหมุนโรเตอร์จะเหนี่ยวนำมากที่สุดและต่อจากนั้นการเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับความเร็วโรเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามภาระทางกล เช่น เมื่อมีภาระทางกลน้อยๆหรือสภาพไม่มีภาระทางกล (no-load) ความเร็วโรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัส โรเตอร์จะเกิดค่ากระแสเหนี่ยวนำเล็กน้อยเนื่องจากต้องการภาระทางกลเพียงเล็กน้อย (ค่าแรงเสียดทานทางกลของโรเตอร์) และเมื่อภาระทางกลเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความเร็วโรเตอร์ลดลงมีผลทำให้โรเตอร์เกิดการเหนี่ยวนำที่มากขึ้นและจะทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำและแรงทางกลมากขึ้นได้ตามความต้องการของภาระทางกล การเพิ่มขึ้นของกระแส

เหนี่ยวนำในลักษณะนี้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำมีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกตามความต้องการของภาระทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป

2.1.3 ความเร็วซิงโครนัส

ความเร็วซิงโครนัส หมายถึง ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสหรือมอเตอร์ซิงโครนัส ซึ่งความเร็วซิงโครนัสหาได้จากสมการ

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

ซึ่ง f คือความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Hz) และ P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

จากสมการข้างต้นความเร็วซิงโครนัสจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ จำนวนขั้วแม่เหล็กโดยถ้าเพิ่มความถี่ความเร็วซิงโครนัสจะมากขึ้น ถ้าลดจำนวนขั้วแม่เหล็ก ความเร็วก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ความเร็วโรเตอร์สามารถวัดได้ที่เพลลาของมอเตอร์โดยความเร็วโรเตอร์ จะมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอเพราะถ้า $n_r = n_s$ จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำทำให้มอเตอร์ไม่หมุนผลต่างของความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วโรเตอร์เรียกว่า สลิป (s) ค่าของสลิปจะอยู่ในรูปของร้อยละเมื่อเทียบกับความเร็วซิงโครนัส ดังสมการต่อไปนี้

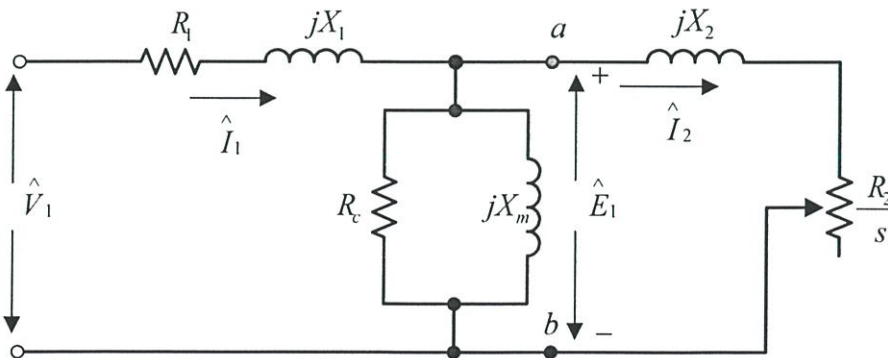
$$\%s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีภาระจะทำให้ความเร็วซิงโครนัสเท่ากับความเร็วโรเตอร์ เมื่อเป็นเช่นนี้ค่าสลิปจะมีค่าเท่ากับ ศูนย์และเมื่อโรเตอร์ถูกล็อก ค่าสลิปจะมีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% ดังนั้นจึงจะสามารถหาความเร็วโรเตอร์ที่มีค่าความเร็วซิงโครนัสและสลิปเป็นตัวแปรได้

$$n_r = (1-s)n_s \quad (2.3)$$

2.1.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของสเตเตอร์ต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



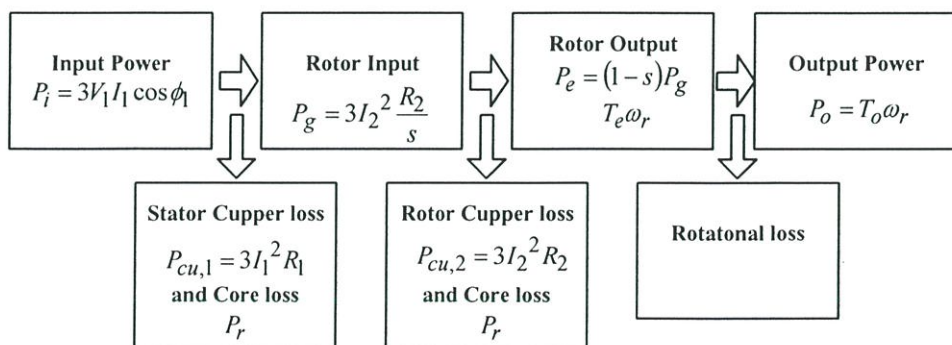
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

- ซึ่ง
- V_1 = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด (โวลต์)
 - E_1 = ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)
 - I_1 = ค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านสเตเตอร์ (แอมป์)
 - I_2 = ค่ากระแสไฟฟ้าทางด้านโรเตอร์ (แอมป์)
 - R_1 = ค่าความต้านทานขดลวดที่สเตเตอร์ (Ω)
 - R_2 = ค่าความต้านทานขดลวดที่โรเตอร์ (Ω)
 - X_1 = ค่าความต้านทานรีแอกแตนซ์รั่วไหลที่สเตเตอร์ (Ω)
 - X_2 = ค่าความต้านทานรีแอกแตนซ์รั่วไหลที่โรเตอร์ (Ω)
 - R_c = ค่าความต้านทานแกนเหล็ก (Ω)
 - X_m = ค่าความต้านทานของการสร้างสนามแม่เหล็กที่แกนเหล็ก (Ω)

2.1.5 การสูญเสียและการส่งผ่านกำลังงาน

การเปลี่ยนกำลังงานไฟฟ้าให้เป็นกำลังงานกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเกิดขึ้นที่โรเตอร์ กำลังไฟฟ้าอินพุทไม่ได้เกิดจากการป้อนไฟฟ้าให้กับโรเตอร์โดยตรงแต่เป็นการถ่ายทอดผ่านทางช่องอากาศด้วยการเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่ขึ้นที่โรเตอร์ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานชนิดอื่นๆ กระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้แก่ กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก ส่วนที่เหลือจะเป็นกำลังงานกลที่ขับโหลด

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ และกำลังงานกลที่มอเตอร์เหนี่ยวนำจ่ายแก่โหลด แสดงได้ด้วยแผนภูมิ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภูมิการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากแผนภูมิกำลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำในรูปแรงดันและกระแสไฟฟ้าอินพุต (input power) เข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์ (stator copper loss) และการสูญเสียในแกนเหล็ก (core loss) ในรูปของความร้อน โดยที่กำลังส่วนที่เหลือจะถูกส่งผ่านช่องอากาศให้กับโรเตอร์เรียกว่ากำลังงานในช่องอากาศ (power across air gap) เมื่อถ่ายเทกำลังงานให้กับโรเตอร์ส่วนหนึ่งจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากความต้านทาน (rotor copper loss) ส่วนที่เหลือจะเป็นกำลังงานที่ส่งออกจากโรเตอร์ (electromagnetic power) ซึ่งเป็นกำลังงานทางกล เมื่อเปลี่ยนเป็นกำลังงานกลแล้ว จะเกิดกำลังสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านลมขณะมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุน (friction and windage loss) จากนั้นกำลังงานที่เหลือจะเป็นกำลังงานทางกลไปขับโหลด (output power)

การสูญเสียในแกนเหล็ก (core loss) เกิดขึ้นได้ที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนด้วยความเร็วใกล้เคียงความเร็วซิงโครนัส การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวของโรเตอร์กับสนามแม่เหล็กหมุนมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ ด้วยเหตุนี้การสูญเสียในแกนเหล็กทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงรวมไว้ด้วยกันในส่วนสเตเตอร์เท่านั้น

ในขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานและแรงต้านทานลมมากขึ้น แต่จะทำให้การสูญเสียในแกนเหล็กลดลง จึงรวมการสูญเสียเหล่านี้ไว้ด้วยกันเรียกว่า rotational loss and core loss และจะพิจารณาให้เป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับค่าความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลง

กำลังไฟฟ้าอินพุตที่ป้อนให้กับมอเตอร์ (input power) แสดงดังสมการที่ (2.4)

$$P_{in} = 3V_1 I_1 \cos \phi_1 \quad (2.4)$$

กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานขดลวดสเตเตอร์ (stator copper loss) แสดงดังสมการที่ (2.5)

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \quad (2.5)$$

กำลังในช่องอากาศ (power across air-gap) แสดงดังสมการที่ (2.6)

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.6)$$

กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานในขดลวดโรเตอร์ (rotor copper loss) แสดงดังสมการที่ (2.7)

$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 = sP_g = P_g - P_e \quad (2.7)$$

กำลังที่ออกจากโรเตอร์ (electromagnetic power) แสดงดังสมการที่ (2.8)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1-s)P_g \quad (2.8)$$

แรงบิดที่ได้จากการเหนี่ยวนำในโรเตอร์ (electromagnetic torque) แสดงดังสมการที่ (2.9)

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_r} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2.9)$$

กำลังที่ไปขับโหลด (output power) แสดงดังสมการที่ (2.10)

$$P_{out} = P_e - P_r = T_o \omega_r \quad (2.10)$$

แรงบิดทางกล (output torque) แสดงดังสมการที่ (2.11)

$$T_o = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad (2.11)$$

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} = \frac{4\pi f}{p} \quad (2.12)$$

$$\omega_r = \frac{2\pi N_r}{60} = (1-s)\omega_s \quad (2.13)$$

โดยที่

ω_s : ความเร็วซิงโครนัสเชิงมุม (rad/sec)

ω_r : ความเร็วโรเตอร์เชิงมุม (rad/sec)

กำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ในสมการที่ (2.7) กำลังที่สูญเสียจากความต้านทานขดลวดโรเตอร์ในสมการที่ (2.9) และกำลังสูญเสียในส่วนของ rotational and core loss เมื่อกำลังสูญเสียทั้งสามส่วนรวมกันจะเป็นกำลังสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำ (power loss)

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} \quad (2.14)$$

ประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ (η) นิยมคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (2.15)$$

หรือ

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100 \quad (2.16)$$

2.1.6 การทดสอบเมื่อไร้ภาระทางกล (No-load test)

โดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากับขนาดพิกัดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำคือ 380 โวลต์โดยไม่มีภาระทางกล ขณะไม่มีภาระทางกลจะทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีความเร็วรอบโรเตอร์ (N_r) ใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัส ค่าสลิปจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เปรียบเสมือนการเปิดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้มอเตอร์เหนี่ยวนำจะสูญเสียในรูปการสูญเสียในแกนเหล็กการสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์และการสูญเสียในรูปการหมุน (rotational loss) ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ คือ R_c และ X_m ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าต่อเฟส ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบขณะไร้ภาระทางกลได้แก่ กำลังไฟฟ้าอินพุต (P_o) แรงดันไฟฟ้า (V_o) กระแสไฟฟ้าอินพุต (I_o) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ($\cos \phi_o$) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่า R_c และ X_m ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$P_o = V_o I_o \cos \phi_o \quad (2.17)$$

$$\phi_o = \cos^{-1} \left(\frac{P_o}{V_o I_o} \right) \quad (2.18)$$

$$R_c = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (2.19)$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_o \sin \phi_o} \quad (2.20)$$

2.1.7 การทดสอบยึดโรเตอร์ (Block-rotor test)

โดยทำการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้อยู่กับที่ ขณะนี้ค่าสลิปมีค่าเท่ากับหนึ่งเปรียบเสมือนการลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า จากนั้นจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจนกระทั่งถึงค่าพิกัดกระแสไฟฟ้าและพิกัดความถี่ ในการทดสอบนี้กำหนดว่าค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก มีค่าน้อยมากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบคือ X_1, X_2 และ R_2 ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าต่อเฟส ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบขณะจับยึดโรเตอร์ได้แก่ กำลังไฟฟ้าอินพุต (P_b) แรงดันไฟฟ้า (V_b) กระแสไฟฟ้าอินพุต (I_b) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ($\cos \phi_b$) สามารถนำไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_b = V_b I_b \cos \phi_b \quad (2.21)$$

$$\phi_b = \cos^{-1} \left(\frac{P_b}{V_b I_b} \right) \quad (2.22)$$

$$Z_b = \frac{V_b \angle 0^\circ}{I_b \angle -\phi_b} = R_b + jX_b \quad (2.23)$$

$$R_2 = R_b - R_1 \quad (2.24)$$

$$X_1 + X_2 = X_b \quad (2.25)$$

ซึ่ง Z_b = ค่าอิมพีแดนซ์ขณะจับยึดโรเตอร์ (Ω)
 R_b = ค่าความต้านทานไฟฟ้าขณะจับยึดโรเตอร์ (Ω)
 X_b = ค่าความต้านทานรีแอกแตนซ์รีวไหลขณะจับยึดโรเตอร์ (Ω)
 โดยที่ ค่าของความต้านทาน R_1 ได้จากการทดสอบ VI-Method

2.1.8 การทดสอบ VI-Method test

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ขดใดขดหนึ่ง แล้วค่อยๆปรับแรงดันขึ้นทีละน้อย จนกระทั่งถึง พิกัดกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อหาค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟและความชันจะเป็นค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

$$R_1 = \frac{\Delta V_{dc}}{\Delta I_{dc}} \quad (2.26)$$

2.1.9 การจำแนกมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor Classification)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ ถูกออกแบบตามมาตรฐาน class ต่างๆเพื่อให้ได้คุณสมบัติในการสตาร์ท และทำงานปกติที่ดีตามลักษณะการใช้งานต่างๆ ได้แบ่งการออกแบบได้ดังนี้

Design class A: มีแรงบิดขณะสตาร์ทปกติ ขนาดกระแสสตาร์ทปกติมีค่าสลิปต่ำ ซึ่งการออกแบบใน class นี้โรเตอร์จะเป็นแบบ single cage และมีความต้านทานต่ำมีคุณสมบัติขณะทำงานที่ดี ขณะโหลดพิกัดมีค่า slip ต่ำและประสิทธิภาพสูง แรงบิดสูงสุดประมาณ 200 เปอร์เซ็นต์ ของแรงบิดขณะโหลดพิกัด และเกิดขึ้นได้ในขณะที่ ค่าสลิปน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ แรงบิดที่แรงดันพิกัดจะมีค่าอยู่ประมาณ 200 เปอร์เซ็นต์ (มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็ก) ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (มอเตอร์

เหนียวขนาดใหญ่) ของแรงบิดโหลดพิกัด มอเตอร์เหนียวที่ได้รับบริการออกแบบ class A มีข้อเสียคือ มีกระแสขณะสตาร์ทสูง (500- 800 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด)

Design class B: มีแรงบิดขณะสตาร์ทปกติ มีค่าสลลิปต่ำ มอเตอร์เหนียวที่ออกแบบใน class นี้ จะมีแรงบิดขณะสตาร์ทเช่นเดียวกับมอเตอร์เหนียวใน class A โดยที่กระแสสตาร์ทมีค่าประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ (ของ class A) ดังนั้นจึงสามารถสตาร์ทมอเตอร์เหนียวขนาดใหญ่ (เมื่อเทียบกับมอเตอร์เหนียวใน class A) ด้วยแรงดันพิกัดได้จากการที่ออกแบบให้มีลิกเกอร์แอกแต่นซ์สูงทำให้กระแสในขณะสตาร์ทต่ำ ในขณะที่โหลดพิกัดสลลิปต่ำและประสิทธิภาพดีเช่นเดียวกับมอเตอร์เหนียวใน class A แต่เนื่องจาก ลิกเกอร์แอกแต่นซ์สูง จึงทำให้ power factor ลดลงและแรงบิดสูงสุดต่ำ (อยู่ประมาณ 200 เปอร์เซ็นต์ ของแรงบิดขณะ โหลดพิกัด)

Design class C: มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูง, ขนาดกระแสขณะสตาร์ทต่ำ มอเตอร์เหนียวที่ออกแบบใน class นี้มีโรเตอร์ แบบ double-cage ค่าความต้านทานสูงกว่ามอเตอร์เหนียวที่ออกแบบใน class B, ประสิทธิภาพขณะทำงานปกติต่ำกว่าและมีสลลิปสูงกว่ามอเตอร์เหนียวใน class A, B.

Design class D: มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูง, slip สูง มอเตอร์เหนียวในการออกแบบ class นี้ปกติมีโรเตอร์แบบ single-cage และความต้านทานสูง (เช่นทองเหลือง) ซึ่งให้แรงบิดขณะสตาร์ทสูง กระแสขณะสตาร์ทต่ำ slip ขณะที่เกิดแรงบิดสูงสุดจะมีค่าอยู่ประมาณ 50-100 เปอร์เซ็นต์และหมุนด้วย slip สูง (ขณะ โหลดพิกัด) ประมาณ 7-11 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพทำงานปกติต่ำ

2.2 หลักการหาค่าที่เหมาะสม

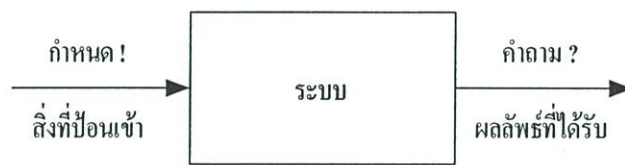
2.2.1 พื้นฐานการออกแบบที่เหมาะสม

การวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์มักจะเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ ระบบ ณ ที่นี้หมายถึง สิ่งที่ต้องการทำการศึกษหรืออาจจะกล่าวได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นจะถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนของระบบที่ศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ของระบบ โดยที่เราไม่ต้องทำการศึกษากับระบบจริง โดยทั่วไป แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้มาจากหลักการหรือกฎทางธรรมชาติที่นักวิทยาศาสตร์ได้สังเกตและทำการศึกษาค้นคว้ามาแล้ว เป็นต้นว่าหลักการอนุรักษ์พลังงาน หลักการอนุรักษ์มวลสาร กฎของนิวตันที่ใช้อธิบายกลศาสตร์ของสสาร กฎของโอห์ม เป็นต้น

แนวความคิดโดยทั่วไปของการออกแบบทางด้านวิศวกรรมจะมีขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการออกแบบ (device specification) การพิจารณาผลที่ได้จากหลักการทางทฤษฎี (conceptual solution) การพิจารณาผลที่ได้ทางปฏิบัติ (practical solution) และการตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบแล้ว จะเห็นได้ว่าการออกแบบด้วยแนวความคิดนี้ผู้ออกแบบสามารถพิจารณาเปลี่ยนแปลงแก้ไขแนวทางการออกแบบ

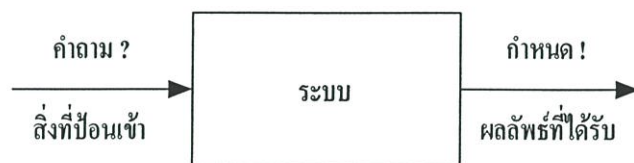
ได้ระหว่างการออกแบบจนทำให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ วิธีการออกแบบนี้จะเป็นการออกแบบโดยวิธีแก้ปัญหาโดยตรง ซึ่งวิธีการแก้ปัญหามี 2 ลักษณะคือ การแก้ปัญหาโดยตรงและการแก้ปัญหาแบบย้อนกลับ

การแก้ปัญหาโดยตรง (direct problem solving) คือการพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากระบบว่าจะเป็นอย่างใดเมื่อสิ่งที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.7 เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจจะสมมติว่าระบบในรูปที่ 2.7 คือ $z = x + y$ จะเห็นว่า สิ่งที่ป้อนเข้าสู่ระบบคือ x และ y ในขณะที่ผลลัพธ์ที่ได้รับจากระบบคือ z ถ้าเรากำหนดให้ $x = 10$ และ $y = 20$ เราสามารถคำนวณหาคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้รับจากระบบคือ $z = 30$



รูปที่ 2.5 การแก้ปัญหาโดยตรง

การแก้ปัญหาแบบย้อนกลับ (inverse problem solving) วิธีการแก้ปัญหาแบบนี้จะกำหนดผลลัพธ์ที่ต้องการได้จากระบบ โดยคำถามคือจะต้องป้อนสิ่งใดเข้าสู่ระบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่กำหนดเพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจให้พิจารณาจากรูปที่ 2.8 โดยสมมติอีกครั้งว่าถ้าระบบคือ $z = y + x$ ถ้าเรากำหนดให้ $z = 30$ เราจะมีคำถามว่า x และ y ควรจะเป็นอย่างไร ในกรณีนี้คำตอบที่เป็นไปได้มีมากกว่าหนึ่งคำตอบ ไม่ใช่เพียงคำตอบ $x = 10$ และ $y = 20$ เท่านั้นอาจจะเป็น $x = 15$ และ $y = 15$ ก็ได้ ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาลักษณะนี้อาจจะกำหนดเงื่อนไขของสิ่งที่ป้อนเข้าก็ได้ เช่น $0 < x, y < 20$ แนวทางการแก้ปัญหาแบบย้อนกลับนี้เป็นแนวของหลักการหาค่าที่เหมาะสม

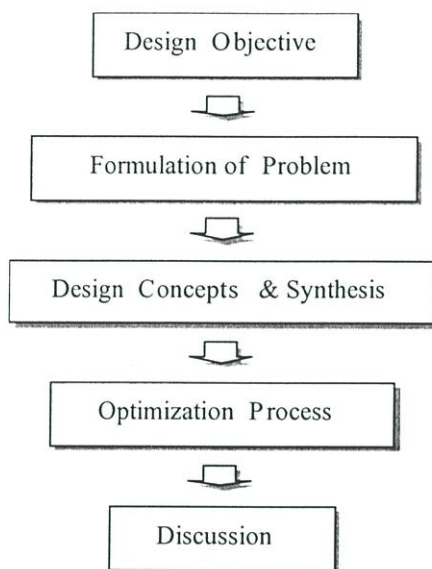


รูปที่ 2.6 การแก้ปัญหาแบบย้อนกลับ

2.2.2 การออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม [3]

การออกแบบโครงสร้างหรือระบบต่าง ๆ ในงานวิศวกรรมจะมีการกำหนดเป้าหมายและเงื่อนไขขึ้นเพื่อให้ตรงกับความต้องการใช้งาน ซึ่งการออกแบบโครงสร้างหรือระบบต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อนซึ่งจะทำให้การออกแบบด้วยแผนผังดังรูปที่ 2.7 จะเป็นไปได้ด้วยความยุ่งยากและ

จำเป็นต้องใช้ความรู้และประสบการณ์ของผู้ออกแบบอย่างสูง ผลลัพธ์อาจเกิดจากการลองผิดลองถูกจนกระทั่งได้ค่าที่มีความเหมาะสมตามเป้าหมายที่ต้องการซึ่งต้องเสียเวลาในการออกแบบอีกทั้งโอกาสที่จะได้ค่าที่เหมาะสมตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ก็มีความเป็นไปได้น้อยและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบหรือราคาของวัสดุก็จำเป็นต้องทำการลองผิดลองถูกใหม่ซึ่งทำให้เสียเวลาและต้นทุนในการสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบ



รูปที่ 2.7 แผนผังขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสม

จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้มีการนำเสนอหลักการออกแบบที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมช่วยในการออกแบบ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.7 และจากแผนผังขั้นตอนการออกแบบที่เหมาะสมตามรูปที่ 2.7 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

2.2.2.1 กำหนดเป้าหมายการออกแบบ

การกำหนดเป้าหมายการออกแบบ (design objective) คือการกำหนดความต้องการที่จะให้ผลของการออกแบบนั้นมีลักษณะเป็นอย่างไรตามเงื่อนไขที่กำหนด

2.2.2.2 กำหนดรูปแบบของปัญหา

กำหนดรูปแบบของปัญหา (formulation of problem) เป็นการศึกษาวิธีและขั้นตอนต่างๆของสิ่งที่ต้องการออกแบบ รวบรวมสมการที่ใช้ในการออกแบบในส่วนที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายที่ต้องการให้ได้เพียงพอ ทั้งนี้เพราะจะช่วยนำไปสู่การกำหนดสมการเป้าหมายและเงื่อนไขที่ถูกต้อง

2.2.2.3 หลักการออกแบบและการสังเคราะห์

หลักการและการสังเคราะห์การออกแบบ (design concept and synthesis) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของสมการที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จัดความสัมพันธ์ของสมการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกันเพื่อให้แสดงถึงสิ่งที่เป้าหมายต้องการ รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบและตัวแปรที่เลือกใช้

2.2.2.4 การหาค่าที่เหมาะสม

การหาค่าที่เหมาะสม (optimization process) เป็นวิธีเชิงตัวเลขในการหาค่าที่เหมาะสม โดยทั่วไปวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ ดิเทอร์มินิสติก (deterministic) เป็นการหาค่าที่เหมาะสมโดยพื้นฐานของเกรเดียน และสโตชาสติก (stochastic) เป็นการหาค่าที่เหมาะสมโดยพื้นฐานของความน่าจะเป็น

2.2.2.5 อภิปรายผลการออกแบบ

อภิปรายผลการออกแบบ (discussion) เป็นการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้หลังจากกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมว่ามีลักษณะเป็นตามเป้าหมายและเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งการที่ผลลัพธ์ไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการนั้นอาจเกิดจากการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่ผิดพลาดหรือสาเหตุใดก็ตามที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นหลังการออกแบบจะต้องมีการนำผลลัพธ์มา อภิปรายเสมอเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเสมอ

2.2.3 หลักการเบื้องต้นของการหาค่าที่เหมาะสม

โดยทั่วไปการหาค่าที่เหมาะสมจะเป็นการหาค่าตัวแปรของฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function) และฟังก์ชันเงื่อนไข (constraints function) ที่กำหนด [5] ซึ่งรูปแบบของฟังก์ชันเป้าหมาย และเงื่อนไขจะแสดงดังสมการที่ 2.27 – 2.30 ดังนี้

$$\text{Minimize } F(\mathbf{x}) \quad \text{Objective Function} \quad (2.27)$$

Subject to

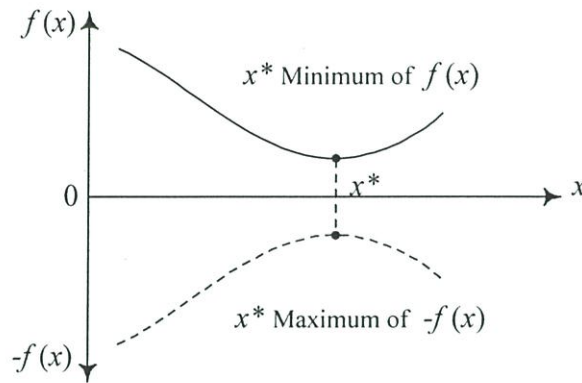
$$g_j(\mathbf{x}) \leq 0 \quad j = 1, \dots, l \quad \text{Inequality Constraint} \quad (2.28)$$

$$h_k(\mathbf{x}) = 0 \quad k = 1, \dots, m \quad \text{Equality Constraint} \quad (2.29)$$

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \quad i = 1, \dots, n \quad \text{Side Constraint} \quad (2.30)$$

เมื่อ $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$ เป็นเวกเตอร์ของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบฟังก์ชันเป้าหมายและฟังก์ชันเงื่อนไขในการหาค่าที่เหมาะสมซึ่งอาจจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้นก็ได้ สมการที่

2.27 เป็นสมการที่แสดงถึงฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมซึ่งอาจเป็นการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันก็ได้ จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า x^* เป็นจุดต่ำสุดของฟังก์ชัน $f(x)$ และเป็นจุดสูงสุดของฟังก์ชัน $-f(x)$ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจะมีความหมายเดียวกันกับการหาค่าสูงสุดของค่าลบของฟังก์ชันนั้น



รูปที่ 2.8 ค่าตอบของค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน $f(x)$ เป็นจุดเดียวกันกับค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $-f(x)$

สมการที่ 2.28 แสดงฟังก์ชันเงื่อนไขที่น้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ (inequality constraint) ซึ่งในการออกแบบอาจจะมีเงื่อนไข กำหนดเป็นฟังก์ชันที่อยู่ในรูปของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อให้ฟังก์ชันนั้นมีค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนด

สมการที่ 2.29 เป็นสมการที่แสดงถึงฟังก์ชันของเงื่อนไขที่เท่ากับศูนย์ (equality constraint) ซึ่งในการออกแบบอาจจะมีเงื่อนไข กำหนดเป็นฟังก์ชันที่อยู่ในรูปของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อให้ฟังก์ชันนั้นมีค่าเท่ากับค่าที่กำหนด

สมการที่ 2.30 เป็นสมการที่ใช้กำหนดช่วงของค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบเพื่อป้องกันการได้คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ

โดยทั่วไปวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ ดิเทอร์มินิสติก (Deterministic) เป็นการหาค่าที่เหมาะสมโดยพื้นฐานของแกรเดียน และสโตคาสติก (Stochastic) เป็นการหาค่าที่เหมาะสมโดยพื้นฐานของความน่าจะเป็น

2.3 จีเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithms)

จีเนติกอัลกอริธึม [4-5] คือ อัลกอริธึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (optimization) โดยมีวิธีการขยายพันธุ์ทางธรรมชาติการคัดเลือก (reproduction) โดยธรรมชาติ (natural selection) จะทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมที่สุดและจะถ่ายทอด

คุณสมบัติไปยังโครโมโซมลูก โดยมีตัวดำเนินการของจีเนติกอัลกอริทึม (operators of genetic algorithms) ซึ่งประกอบด้วย

1. การคัดเลือก (reproduction)
2. การสร้างโครโมโซม (crossover)
3. การกลายพันธุ์ (mutation)

จีเนติกอัลกอริทึมเหมาะสำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่บางครั้งอาจไม่สามารถหาค่าที่ถูกต้องแม่นยำ (exact optimum) แต่มีนักวิจัยหลายคนได้ใช้จีเนติกอัลกอริทึมช่วยในการหาค่าให้ได้ค่าใกล้เคียงที่สุดแล้วจึงใช้วิธีการอื่นเพื่อเอาคำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ

จีเนติกอัลกอริทึมแตกต่างจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสม (optimization) อื่นๆ ดังนี้

1. การทำงานแบบเอากลุ่มตัวแปรมาทำเป็นรหัส (coding)
2. การค้นหาคำตอบจากจำนวนโครโมโซมทั้งหมด (population)
3. ใช้ข้อมูลจากผลลัพธ์ที่ได้มา
4. ใช้กระบวนการเฟ้นสุ่มทางสถิติ

จีเนติกอัลกอริทึมมีการทำงานแบบเอากลุ่มตัวแปรมาทำเป็นรหัส โดยจะไม่บกรูปแบบสมการฟังก์ชันและตัวแปรโดยตรง และยังมีการค้นหาคำตอบจากจำนวนโครโมโซมทั้งหมดซึ่งเป็นโครโมโซมที่ผ่านการคัดเลือกแล้วดังนั้นโอกาสของการค้นหาคำตอบได้จะมีมากขึ้น เทคนิคการค้นหาคำตอบอื่นเช่น gradient techniques ต้องใช้ผลการคำนวณหรือผลจากการวิเคราะห์ที่ดัดแปลงแล้วเพื่อหาจุดอ้างอิงให้ช่วยค้นหาคำตอบต่อไปได้แต่จีเนติกอัลกอริทึมค้นหาคำตอบโดยการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลหรือค่าผลลัพธ์ที่ได้มาโดยไม่มีการดัดแปลงซึ่งเป็นแนวทางในการค้นหาคำตอบต่อไป และนอกจากนี้จีเนติกอัลกอริทึมยังใช้กระบวนการเฟ้นสุ่มทางสถิติใช้เป็นแนวทางในการค้นหาคำตอบด้วยเช่นกัน

2.3.1 ตัวดำเนินการทางจีเนติกอัลกอริทึม (Operator of genetic algorithms)

แบบจำลองทางพันธุกรรมที่นำมาใช้ในจีเนติกอัลกอริทึมถูกเรียกว่าโครโมโซม (chromosome) ในโครโมโซมประกอบด้วยบิตจำนวน n บิต ค่าของบิตในของแต่ละโครโมโซมที่นิยมใช้มี 3 แบบคือ

1. บิต 0 หรือบิต 1 (binary coding)
2. บิตจำนวนเต็ม (integer coding)
3. บิตจำนวนจริง (real number coding)

ค่าบิตในแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของงานค่าบิต 0 หรือบิต 1 เป็นทฤษฎีที่ยอมรับและถูกออกแบบมานานแล้ว ข้อดีแบบบิต 0 หรือ บิต 1 คือลดขนาดช่วงการหาค่าที่เหมาะสม (optimization space) ลงแต่การใช้งานในบางอย่างทำให้เกิดการสูญเสียค่าความละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งถ้าค่าบิตเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริง ขนาดช่วงการหาค่าที่เหมาะสม (optimization space) จะมีขนาดใหญ่กว่าและมีความละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้มากกว่าซึ่งความมีประสิทธิภาพของจินตคณิตอัลกอริทึมขึ้นอยู่กับตัวดำเนินการทางจินตคณิตอัลกอริทึมซึ่งตัวดำเนินการจินตคณิตอัลกอริทึมประกอบด้วย

1. การคัดลอก
2. การสร้างโครโมโซมลูก
3. การกลายพันธุ์
4. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจินตคณิตอัลกอริทึม

ซึ่งวิธีการของตัวดำเนินการทางจินตคณิตอัลกอริทึมสามารถดูได้ในภาคผนวก ก

2.4 การคิดค่าไฟฟ้า [6]

การไฟฟ้าได้เรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหลายตามอัตราค่าไฟฟ้า โดยในโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้านี้ได้จัดแบ่งผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็น 7 ประเภท แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำมาใช้เพียง 2 ประเภทเท่านั้น ได้แก่ กิจการขนาดกลาง และ กิจการขนาดใหญ่

2.4.1 ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

- 2.4.1.1 ความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge)
- 2.4.1.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge)
- 2.4.1.3 ค่าไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum Charge)
- 2.4.1.4 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor Charge)
- 2.4.1.5 ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ(Ft)
- 2.4.1.6 ค่าบริการ (Service Charge)
- 2.4.1.7 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)

รายละเอียดของส่วนประกอบของค่าไฟฟ้านี้สามารถดูได้จากภาคผนวก ข

2.4.2 กิจการขนาดกลาง

กิจการขนาดกลางนี้จะแบ่งการคิดอัตราไฟฟ้าได้ 2 แบบ คือ อัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff) ซึ่งแสดงข้อมูลของการคิดค่าไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 2.1 และ ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 กิจการขนาดกลางที่ใช้อัตราปกติ

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ หน่วย)	ค่าบริการ(บาท/ เดือน)
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70	1.6660
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	196.26	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	221.50	1.7314

ตารางที่ 2.2 กิจการขนาดกลางที่ใช้ค่าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

อัตรารายเดือน	ค่าความต้องการพลังงาน ไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	2.8408	1.2246	228.17

On peak : เวลา 09.00-22.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล

Off peak : เวลา 22.00-09.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล

: เวลา 00.00-24.00 น. วันเสาร์- วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ และวันหยุดราชการ
ตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคล และวันหยุดชดเชย)

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจน บริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมี ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัด หน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.4.3 กิจการขนาดใหญ่

กิจการขนาดใหญ่นี้จะแบ่งการคิดอัตราไฟฟ้าได้ 2 แบบ คือ อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff : TOD Tariff) และ อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) ซึ่งแสดงข้อมูลของการคิด ค่าไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 2.3 และ ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 กิจการขนาดใหญ่ที่ใช้อัตราตามช่วงเวลาของวัน(Time of Day Tariff : TOD Tariff)

อัตรารายเดือน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า(บาท/ กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ หน่วย)
	On Peak	Partial Peak	Off Peak	ทุกช่วงเวลา
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	285.05	58.88	0	1.7034
แรงดันต่ำกว่า12 กิโลโวลต์	332.71	68.22	0	1.7314

On Peak : เวลา 18.30-21.30 น. ของทุกวัน

Partial Peak: เวลา 08.00-18.30 น. ของทุกวันคิดค่าความต้องการเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง

On Peak

Off Peak : เวลา 21.30-08.00 น. ของทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

ตารางที่ 2.4 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU)

อัตรารายเดือน	ค่าความต้องการ พลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	2.8408	1.2246	228.17

On peak : เวลา 09.00-22.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล

Off peak : เวลา 22.00-09.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ และวันพืชมงคล

: เวลา 00.00-24.00 น. วันเสาร์- วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ และวันหยุดราชการ
ตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคล และวันหยุดชดเชย)

ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 1000 กิโลวัตต์ขึ้นไป และมี

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.5 การจัดการพลังงานของมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

ค่าใช้จ่ายพลังงานของมอเตอร์เป็นต้นทุนระยะยาวที่สำคัญในการลงทุนของโรงงาน ในกรณีที่จะพิจารณาจัดซื้อมอเตอร์ใหม่เพื่อการทดแทนตัวเดิมหรือการติดตั้งเพิ่มเติม การเลือกมอเตอร์โดยการพิจารณาเพียงด้านราคาที่ถูกที่สุดอาจจะเป็นทางเลือกที่ผิดสำหรับการลงทุนในระยะยาว การเลือกมอเตอร์ควรคำนึงถึงข้อได้เปรียบของค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานที่ต่างกันถึงแม้จะมีค่าเพียงเล็กน้อยแต่อาจจะมีผลต่อการลงทุนทางด้านค่าใช้จ่ายพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้งานมอเตอร์นั้น ซึ่งในจุดนี้จะใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ [7] มาช่วยในการพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการคิดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่ ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจตลอดระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้งานมอเตอร์นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยหลักการทางเศรษฐศาสตร์ที่จะนำมาใช้นั้น ได้แก่ ค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เงินเฟ้อ ค่าเสื่อมราคา และ ค่าภาษี

ซึ่งรายละเอียดของ ค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เงินเฟ้อ ค่าเสื่อมราคา และ ค่าภาษีนี้สามารถดูได้จากภาคผนวก ค ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงาน

2.6 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้ามีการใช้งานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากจึงเป็นเหตุให้ต้องทำการพิจารณาถึงการใช้พลังงานของมอเตอร์ว่าจะใช้มอเตอร์ตัวเดิมต่อไปหรือจะทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าเข้าไปใช้งานแทน ซึ่งในส่วนนี้ผู้พิจารณาก็ควรต้องมาทำการเปรียบเทียบดูปัจจัยต่างๆของการลงทุนในการซื้อมอเตอร์ว่าจะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเป็นอย่างไร ถ้าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวใหม่มีค่าน้อยกว่าการใช้มอเตอร์ตัวเดิมในกรณีนี้ผู้พิจารณาก็จะเห็นได้ว่าควรจะลงทุนซื้อมอเตอร์ตัวใหม่มาทำการเปลี่ยนทดแทน แต่ถ้าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวใหม่มีค่ามากกว่าการใช้มอเตอร์ตัวเดิมในกรณีนี้ผู้พิจารณาก็จะเห็นได้ว่าควรจะใช้มอเตอร์ตัวเดิมทำงานต่อไป ซึ่งปัจจัยที่มีส่วนในการตัดสินใจเกี่ยวกับการลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่นั้น ได้แก่ ราคามอเตอร์ใหม่ จำนวนชั่วโมงที่ใช้ต่อปี จำนวนอายุการใช้งาน อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ อัตราดอกเบี้ย อัตราเงินเฟ้อ ค่าเสื่อมราคา และอัตราภาษี

2.6.1 การคำนวณการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ในหัวข้อนี้จะทำการยกตัวอย่างการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ โดยตัวอย่างที่จะนำเสนอนี้จะทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ในระบบ 1 ตัวกับมอเตอร์ใหม่ที่จะนำมาเปลี่ยน

ทดแทนจำนวน 1 ตัว ซึ่งข้อมูลของมอเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะมีข้อมูลดังตารางที่ 2.5 ค่าประสิทธิภาพ แรงบิด และกำลังเอาต์พุท ของมอเตอร์ทั้ง 2 นั้นได้จากการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง (FEE) และการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก (EPMI) ซึ่งจาก ข้อมูลประสิทธิภาพและกำลังเอาต์พุทที่ได้จากตารางนี้ ผู้ใช้งานจะสามารถนำมาคำนวณหาค่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้โดยการให้สมการ (2.15) และ ผู้ใช้งานจะสามารถนำมาคำนวณหาค่าพลังงาน ไฟฟ้าตลอดปีได้เมื่อผู้ใช้งานทราบจำนวนชั่วโมงการใช้งานตลอดปีของมอเตอร์ซึ่งจะแสดงได้ดัง ตารางที่ 2.6 ซึ่งประเภทกิจการที่ใช้ คือ ขนาดกลาง ขนาดแรงดัน 12 kV

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการเปลี่ยนทดแทน

	มอเตอร์ที่ใช้งาน	มอเตอร์ใหม่
โรงงาน	มันส์ัมปะหลัง	-
แผนก	ส่งออก	-
รายผลิต	12	-
ยี่ห้อมอเตอร์	Mitsubishi	SIEMENS
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)	5.5	5.5
พิกัดแรงดัน(โวลต์)	380	400
พิกัดกระแส(แอมป์)	11.8	10.6
ความเร็ว(เฮิร์ต)	50	50
ขั้ว	4	4
ความเร็วพิกัด(rpm)	1430	1455
%โหลดใช้งาน	85.27	85.27
กำลังเอาต์พุท(กิโลวัตต์)	4.69	4.704
แรงบิด(นิวตัน-เมตร)	31.1	30.73
ประสิทธิภาพ(%)	83.45	89.42
ราคามอเตอร์(บาท)	-	33800
ส่วนลด(%)	-	20
Efficiency Rating	-	EFF1

ตารางที่ 2.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดปี

อัตราไฟฟ้า TOU		ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	
ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้า	เวลาการใช้งาน (h/Y)	มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ (kWh/Y)	มอเตอร์ใหม่ (kWh/Y)
09:00-22:00 น. จันทร์-ศุกร์	2400	13487.89	12587.38
22:00-09:00 น. จันทร์-ศุกร์รวมทั้ง 00:00-24:00 น. เสาร์- อาทิตย์และ วันหยุดราชการ	4320	24278.19	22657.29

หมายเหตุ อัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ(Ft) 0.8544 บาทต่อกิโลวัตต์ ค่าบริการ 228.17 บาท

จากตารางที่ 2.6 จะสามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มาทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตลอดปีได้ดังนี้ (อัตราค่าพลังงานไฟฟ้านี้สามารถดูได้จากตารางที่ 2.2)

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

ค่าพลังงานไฟฟ้า	=	$(13487.89 \times 2.6590) + (24278 \times 1.1914)$	
	=	65274.89	บาท
ค่าบริการ	=	228.17	บาท
ค่าไฟฟ้า(Ft)	=	$(13487.89 + 24278.19) \times 0.8544$	
	=	32267.34	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า	=	$65274.89 + 228.17 + 32267.34$	
	=	97770.4	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม	=	97770.4×0.07	
	=	6843.928	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า(รวมVAT)	=	104614.34	บาท

มอเตอร์ที่ใหม่ที่นำมาเปลี่ยนทดแทน

ค่าพลังงานไฟฟ้า	=	$(12587.38 \times 2.6590) + (22657.29 \times 1.1914)$	
	=	60463.84	บาท
ค่าบริการ	=	228.17	บาท
ค่าไฟฟ้า(Ft)	=	$(12587.38 + 22657.29) \times 0.8544$	
	=	30113.05	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า	=	$60463.84 + 228.17 + 30113.05$	
	=	90805.06	บาท

ภาษีมูลค่าเพิ่ม	=	90805.06 × 0.07	
	=	6356.35	บาท
รวมเงินค่าไฟฟ้า(รวมVAT)	=	97161.41	บาท

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

	มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่	มอเตอร์ใหม่ 1
พิกัดมอเตอร์(kw)	5.5	5.5
กำลังขับ โหลด(kw)	4.69	4.69
ประสิทธิภาพ(%)	83.45	89.42
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(Kwh/Y)	37766.08	35244.86
ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ปี)	104614.34	97161.41
อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้	TOU	TOU
ค่าUnit (แบบปกติ)	-	-
ค่าUnit (On-Peak)	2.695	2.695
ค่าUnit (Off-Peak)	1.1914	1.1914
ค่าUnit (ทุกช่วงเวลา)	-	-
Ft (บาท/กิโลวัตต์)	0.8544	0.8544
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าFt(%)	30	30
ค่าบริการ (บาท/เดือน)	228.17	228.17
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%)	7	7
ปีแรกในการดำเนินงาน	-	2007
อายุที่คาดว่าจะใช้งาน	-	10
ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา	-	10
มูลค่าซาก	-	0
อัตราผลตอบแทน	-	10
อัตราภาษี	-	7
อัตราเงินเฟ้อ	-	6.2
วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา	-	เส้นตรง
จำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อปี	6720	6720
ราคามอเตอร์	-	33800
ค่าติดตั้ง	-	0
ส่วนลด(%)	-	20
ราคารวมมอเตอร์	-	27040

ดังนั้นถ้ามีการเปลี่ยนทดแทนเป็นเวลา 1 ปีจะสามารถประหยัดรายจ่ายค่าไฟฟ้าเป็นเงิน 104614.34-97161.41 เท่ากับ 7452.93 บาท ถ้าทำการพิจารณาโดยทำการคิดว่าค่าของเงินไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับเวลา แสดงว่าถ้าทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ใหม่นี้จะใช้เวลาในการคืนทุนเท่ากับ $27040 \div 7452.93$ เท่ากับ 3.63 ปี แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าของเงินนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาและในส่วนของค่าไฟฟ้า F_t นั้นจะเป็นค่าที่มีการผันผวนเป็นอย่างมากซึ่งจะทำให้การประหยัดค่าใช้จ่ายในแต่ละปีนั้นมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเพื่อที่จะให้ได้ค่าความถูกต้องแม่นยำที่สุดนั้นจะต้องใช้ หลักการของค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าดอกเบี้ย ค่าเงินเฟ้อ ค่าภาษี ค่าเสื่อมราคา ฯลฯ ซึ่งตารางที่ 2.7 จะแสดงข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ในการคำนวณถึงค่าใช้จ่ายตลอดช่วงอายุการใช้งานนี้จะเป็นการวิเคราะห์ถึงค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีที่คิดรวมค่าภาษีและค่าเสื่อมราคา แล้วนำค่าที่ได้นี้ไปแปลงเป็นค่าของเงินในปัจจุบันซึ่งเหตุที่ต้องทำการแปลงเป็นค่าของเงินในปัจจุบันนี้ก็เพื่อที่จะนำค่าของเงินที่ประหยัดได้ในแต่ละปีนี้ไปหักออกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อมอเตอร์โดยเมื่ออายุการใช้งานถึงกำหนดที่ตั้งไว้แล้วปรากฏว่าเมื่อนำค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีที่เปลี่ยนเป็นค่าของเงินในปัจจุบันไปหักออกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อมอเตอร์ได้กำไรก็แสดงว่าผู้ใช้งานควรจะทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ แต่ถ้าเมื่อนำค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีที่เปลี่ยนเป็นค่าของเงินในปัจจุบันไปหักออกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อมอเตอร์แล้วปรากฏว่าขาดทุนก็แสดงว่าผู้ใช้งานไม่ควรจะทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

2.6.2 หลักการวิเคราะห์ตลอดช่วงการใช้งาน

2.6.2.1 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปี

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีนี้จะมิค่าไม่เท่ากันเนื่องจากค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมของการไฟฟ้า เช่น ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากราคาฐานที่ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าในปี 2543 อัตราค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติมีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ บาทต่อหน่วย ดังนั้นในการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานนี้ผู้วิเคราะห์จะต้องทำคาดคะเนถึงค่า F_t ว่าในแต่ละปีนั้นจะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนเป็นอย่างไรด้วยเพื่อที่จะให้เกิดความแม่นยำในการวิเคราะห์ตัดสินใจในการพิจารณาที่จะเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

2.6.2.2 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีหลังหักภาษี

ค่าภาษีที่คิดในเรื่องของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์นี้จะแบ่งได้เป็น

1. ภาษีที่เกิดจากกำไรที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้า
2. ภาษีที่เกิดจากค่าเสื่อมราคา

โดยค่าภาษีที่เกิดจากผลกำไรที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้านี้จะต้องนำมาลบกับผลกำไรที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้า ส่วนภาษีค่าเสื่อมราคานี้จะเป็นค่าภาษีที่จะนำมาเพิ่มให้กับผลกำไรที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าเนื่องจากค่าเสื่อมราคานี้เป็นค่าเสียผลประโยชน์ ซึ่งจะมีสมการภาษีค่าเสื่อมดังสมการ (2.31)

$$\text{ภาษีค่าเสื่อมราคา} = \text{อัตราภาษี} \times \text{ค่าเสื่อมราคาในแต่ละปี} \quad (2.31)$$

2.6.2.3 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีหลังหักภาษีเมื่อเทียบเป็นค่าเงินปัจจุบัน

จากที่ทราบกันแล้วว่าค่าของเงินในแต่ละปีนั้นมีค่าไม่เท่ากันดังนั้นถ้าต้องการที่จะนำค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีมาทำการหักลบกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อมอเตอร์นี้จะต้องทำการเปลี่ยนค่าของเงินของค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีมาเป็นค่าของเงินในปัจจุบันซึ่งจะมีสมการดังนี้

$$P = \frac{F}{(1+i)^{N-1}} \quad (2.32)$$

โดย F แทน ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในปีที่ N

N แทน ปีที่ใช้งานมอเตอร์ ($N = 1, 2, 3, \dots, n$)

n แทน อายุการใช้งานมอเตอร์ (ปี)

2.6.2.4 ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในแต่ละปีหลังหักภาษีสะสม

ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเป็นค่าใช้จ่ายที่ได้ทำการหักลบค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อมอเตอร์แล้วซึ่งถ้าค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ในปีใดเมื่อทำการหักออกจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนซื้อมอเตอร์แล้วปรากฏว่าได้ค่าเป็นบวกก็แสดงว่าในปีนี้จะเกิดการคืนทุนทันที

2.7 การเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ

ในการติดตั้งมอเตอร์เพิ่มเติมเข้าไปในระบบนั้นผู้พิจารณาจะต้องทำการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานให้มีความคุ้มค่ามากที่สุดตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งในจุดนี้ผู้พิจารณาจะต้องทำการ

เปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ใหม่ด้วยกัน โดยจุดที่จะทำการพิจารณาก็คือ ประสิทธิภาพ ราคาของมอเตอร์ และปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวกับการลงทุนซึ่งได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.6 โดยหลักการเปรียบเทียบก็จะเหมือนกันกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ก็อาจจะพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายตั้งแต่ตอนลงทุนซื้อมอเตอร์จนกระทั่งถึงกำหนดอายุที่คาดว่าจะใช้งาน โดยถ้าค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ตัวไหนมีค่าน้อยที่สุดหรือถึงจุดคุ้มทุนเร็วที่สุด ก็ควรที่จะเลือกมอเตอร์ตัวนั้นเข้ามาใช้งานในระบบ

2.7.1 หลักการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ

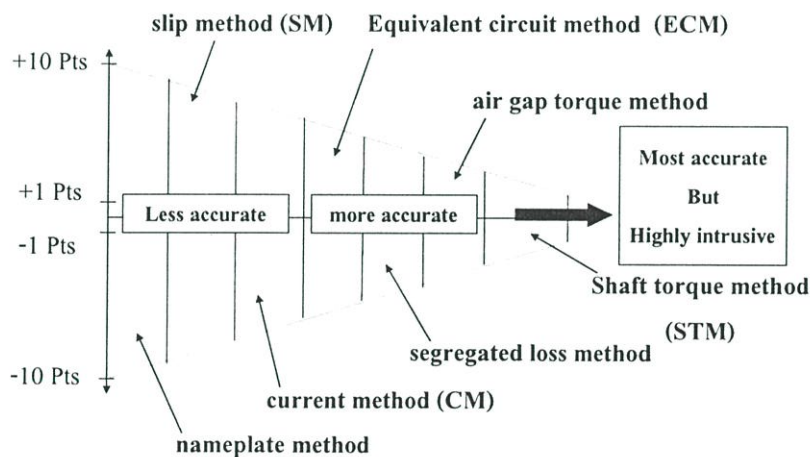
ในการคำนวณในเรื่องของการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบนี้จะมีหลักการคำนวณเกี่ยวกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์และ การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานเหมือนกันกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์โดยจะเปลี่ยนจากมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่เป็นมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 เท่านั้น

บทที่ 3

การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส

3.1 บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากโดยพลังงานส่วนใหญ่จะนำไปจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสปัญหาที่น่าสนใจคือ ทำอย่างไรจึงจะทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานจริง ในกรณีที่มอเตอร์ได้มีการใช้งานในระยะเวลาไม่นานๆ หรือมอเตอร์ได้มีการพันขดลวดใหม่เมื่อมีการเสียหาย ในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานมีด้วยกันหลายวิธี [1] ดังรูปที่ 3.1 วิธีการใช้ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัด การวัดความเร็วรอบมอเตอร์ การวัดค่ากระแส จะเป็นวิธีการที่ง่ายแต่มีความผิดพลาดสูง ส่วนการวัดค่าแรงบิดทางกล เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูงแต่จำเป็นต้องมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อนทำให้ต้องใช้เวลามากและค่าใช้จ่ายสูง ในกระบวนการทดสอบ ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงข้อดี ข้อเสียของวิธีการต่างๆดังที่ได้กล่าวมา



รูปที่ 3.1 ค่าความแม่นยำของวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Percentages, Pts)

3.2 กระบวนการพื้นฐานในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งาน

3.2.1 Nameplate Method

วิธีนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์ที่มีความยุ่งยากน้อยที่สุดเพราะค่าประสิทธิภาพที่ได้นั้นเอามาจากข้อมูลบนแผ่นป้ายมอเตอร์ วิธีนี้เป็นการสมมติว่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์คงที่ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่าประสิทธิภาพนั้นจะไม่เท่ากันในแต่ละสภาวะโหลด

นอกจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาแล้ววิธี Nameplate Method นั้นยังมีสาเหตุอื่นอีกดังนี้

- มอเตอร์ถูกพันใหม่ ทำให้ข้อมูลบน Nameplate กับความเป็นจริงไม่ตรงกัน
- ข้อมูลจาก Nameplate เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบกลุ่มมอเตอร์
- ข้อมูลจาก Nameplate ได้มาจากการทดสอบตามมาตรฐานที่ต่างกัน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขนาด 75 kW จากข้อมูล nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ

IEEE 112 Method B	JEC37	IEC34-2
90.0%	93.1%	92.7%

การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้ข้อมูลจาก nameplate มีหลายมาตรฐานด้วยกัน ที่นิยมมี 3 แบบ คือ

1. NEMA MG1 (National Electrical Manufacturers Association) [8]
2. JEC (Japanese Electrotechnical Committee)
3. IEC (International Electrotechnical Commission) [9]

จากตารางสามารถทำการสรุปได้ว่าถ้ามอเตอร์ตัวเดียวกันแต่ทำการทดสอบตามมาตรฐานที่ต่างกันก็จะทำให้ค่าประสิทธิภาพที่ได้ในแต่ละการทดสอบนั้นไม่เท่ากัน

3.2.2 Slip Method (SM)

วิธีการนี้เป็นขบวนการในการหาค่ากำลังไฟฟ้าเอาท์พุทของมอเตอร์โดยสมมติว่ากำลังไฟฟ้าเอาท์พุท จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนค่าสลลิปขณะใช้งานกับค่าสลลิปที่พิกัด โดยใช้สมการพื้นฐานดังนี้

$$Load(p.u.) = \frac{N_{syn} - N_{r(Measured)}}{(N_{syn} - N_{fl(Nameplate)}) \left(\frac{V_{Nameplate}}{V_{Measured}} \right)^2} \quad (3.1)$$

$$P_{out} = P_{rated(Nameplate)} \times Load(p.u.) \quad (3.2)$$

$$\%Efficiency = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (3.3)$$

N_{syn}	คือ ความเร็วซิงโครนัส (รอบต่อนาที)
$N_{r(Measured)}$	คือ ความเร็วขณะทำการวัด (รอบต่อนาที)
$N_{fl(Nameplate)}$	คือ ความเร็วพิกัดบนแผ่นป้ายพิกัด (รอบต่อนาที)
$V_{Nameplate}$	คือ แรงดันพิกัดบนแผ่นป้ายพิกัด (โวลต์)
$V_{Measured}$	คือ แรงดันขณะทำการวัดมอเตอร์ (โวลต์)
$Load(p.u.)$	คือ สภาวะโหลดที่มอเตอร์ทำงาน
P_{out}	คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตขณะมอเตอร์ทำงาน
$P_{rated(Nameplate)}$	คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตที่พิกัดบนแผ่นป้ายมอเตอร์
P_{in}	คือ กำลังไฟฟ้าอินพุตขณะมอเตอร์ทำงาน
$\%Efficiency$	คือ ค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์ทำงาน

ความแตกต่างของความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วของมอเตอร์ก็คือ ค่าสลิป (slip) โดยที่ความเร็วของมอเตอร์ จะใช้ optical tachometer วัด ซึ่งเป็นกระบวนการวัดที่มีความยุ่งยากน้อย ทำให้ความคลาดเคลื่อนต่ำ

วิธีการสลิปนี้จะเป็นวิธีการที่ดีกว่าวิธี Nameplate เพราะค่าประสิทธิภาพที่ได้ในแต่ละสภาวะโหลดนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน

NEMA MG1-1 [8] ได้กล่าวว่า ผลต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วที่พิกัดสามารถที่จะแปรเปลี่ยนได้ถึง 20% เมื่อทำการวัดที่พิกัดแรงดัน ความถี่ โหลด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากที่ได้กล่าวมานี้หมายความว่าสลิปที่แผ่นป้ายพิกัดสามารถที่จะไม่ถูกต้องได้ถึง 20% เมื่อมอเตอร์ทำงานที่หน้างาน ดังนั้นในส่วนนี้จึงเป็นเหตุให้สมการที่ (3.1) เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

โดยทั่วไปความเร็วขณะไร้ภาระโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัส ดังนั้น สภาวะที่มอเตอร์ขับ โหลดน้อยๆ นั้นจะส่งผลให้วิธีสลิปมีค่าความถูกต้องแม่นยำมากกว่าสภาวะที่มอเตอร์ขับ โหลดหนัก

3.2.3 Current Method (CM)

วิธีการนี้เป็นขบวนการในการหาลำดับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของมอเตอร์โดยสมมติว่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุต จะแปรผันตรงกับอัตราส่วนค่ากระแสขณะใช้งานกับค่ากระแสที่พิกัดโดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

$$Load(p.u.) = \left(\frac{I_{Measured}}{I_{fl(Nameplate)}} \right) \times \left(\frac{V_{Measured}}{V_{Nameplate}} \right) \quad (3.4)$$

$$P_{out} = P_{rated}(\text{Nameplate}) \times \text{Load}(p.u.) \quad (3.5)$$

$I_{Measured}$ คือ กระแสที่ทำการวัดด้านขาเข้าของมอเตอร์ ณ load ใดๆ
 $I_{fl}(\text{Nameplate})$ คือ กระแสที่ได้จากการอ่านที่แผ่นป้ายพิกัดของ มอเตอร์

เห็นได้ว่าสมการในรูปของกระแสนี้เป็นสมการในรูปของสมการเส้นตรง แต่ในความเป็นจริงแล้วสัดส่วนระหว่างกระแสกับโหลดจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมการเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด จึงได้สมการดังนี้

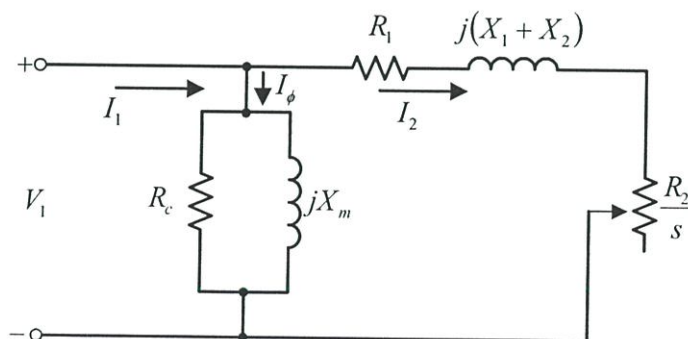
$$\text{Load}(p.u.) = \left(\frac{I_{Measured} - I_{nl}}{I_{fl}(\text{Nameplate}) - I_{nl}} \right) \left(\frac{V_{Measured}}{V_{Nameplate}} \right) \quad (3.6)$$

I_{nl} คือ กระแสของมอเตอร์ ขณะ no-load

จากสมการที่ (3.6) นั้นจะเห็นว่าวิธีการกระแสนี้จะมีความยุ่งยากมากขึ้นเนื่องจากต้องทำการวัดค่าของกระแสที่สภาวะไร้โหลด

3.2.4 Equivalent Circuit Method (ECM)

เป็นวิธีการหาพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อทำนายสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรจะหาจากการทดสอบไว้ภาระโหลดและการทดสอบจับยึดโรเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



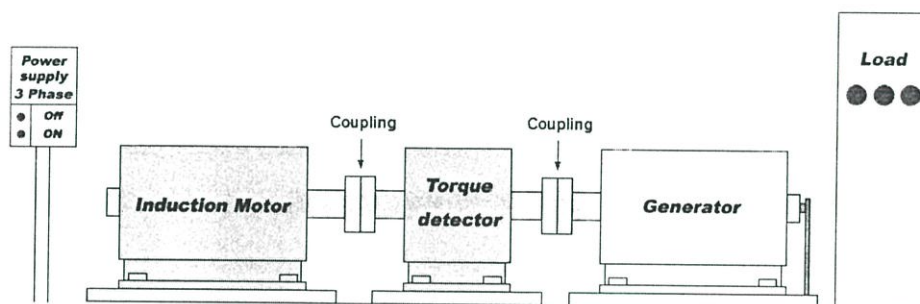
รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสแบบประมาณ (approximate equivalent circuit)

ข้อดี คือ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำเนื่องจากทราบค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลจึงทำให้สามารถหาค่าสมรรถนะต่างๆของมอเตอร์ที่สถานะโหลดต่างๆได้

ส่วนข้อเสีย คือ เนื่องจากวิธีการนี้ต้องทำการทดสอบไว้ภาระโหลดและทำการจับยึดมอเตอร์ซึ่งต้องทำการปลดมอเตอร์จากหน้างานมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จากที่ได้กล่าวมานี้จะเห็นว่าวิธีนี้เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก เสียเวลา และ ค่าใช้จ่ายสูง

3.2.5 Shaft Torque Method (STM)

เป็นวิธีง่าย และมีความแม่นยำมากที่สุดนั่นก็คือ การวัดโดยตรงที่แกนเพลลา ซึ่งเราจะไม่ได้นำค่าต่างๆมาลบเพื่อที่จะไปหาค่าประสิทธิภาพวิธีนี้นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการต่อ Torque Detector

ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ ต้องทำการปลดมอเตอร์ออกมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะเห็นว่าวิธีนี้เป็นวิธีการที่ยุ่งยาก เสียเวลา และ ค่าใช้จ่ายสูง

3.3 วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่ใช้งานจริง

จากวิธีการต่างๆที่ได้เสนอมานี้ข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการ Nameplate method, SM และ CM นั้นจะเป็นวิธีการที่สามารถหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงได้ ซึ่งในแต่ละวิธีจากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าความถูกต้องแม่นยำนั้นมีค่าต่ำ ส่วนวิธี ECM และ STM นั้นจะมีความแม่นยำสูง แต่จะมีความยุ่งยาก ใช้เวลานาน และมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องทำการปลดมอเตอร์มาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอ วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่ใช้งานจริง (FEE) ซึ่งวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องปลดมอเตอร์ออกจากการใช้งานและไม่ต้องวัดค่ากำลังทางกลที่เกิดขึ้น โดยวิธีการนี้จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และความเร็ว

รอบของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเท่านั้น ร่วมกับวิธีเอนดิคอัลกอริทึมซึ่งวิธีการนี้จะอาศัยหลักการของวงจรสมมูลที่เพิ่มค่าพารามิเตอร์ของการสูญเสียจาก stray load loss เข้าไปในวงจรสมมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่า

3.4 สรุป

ในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงวิธีการต่างๆที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสซึ่งในแต่ละวิธีจะมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน และจากการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของวิธีการต่างๆดังรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าวิธีการ SM และ CM ซึ่งใช้วิธีการวัดค่าความเร็วรอบและค่ากระแสของมอเตอร์ขณะใช้งานเท่านั้นจึงมีความคลาดเคลื่อนสูงไม่เหมาะที่จะใช้ในการพิจารณา ค่าประสิทธิภาพ สำหรับวิธีการ ECM จากการทดสอบปกติ(No-load and Block-rotor Tests) จะมีความแม่นยำปานกลาง และวิธีการ STM จะเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดโดยทั้งสองวิธีหลังนี้จำเป็นต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก เสียค่าใช้จ่ายสูงและไม่สะดวกในกรณีที่มีมอเตอร์ใช้งานอยู่ในระบบ ซึ่งในงานวิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการ FEE โดยวิธีการนี้จะมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและประหยัดเพื่อใช้ในการจัดการพลังงานโดยใช้หลัก การวงจรสมมูลของมอเตอร์เช่นเดียวกัน

ในบทต่อไปจะอธิบายถึงหลักการ และกระบวนการทำงานของวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่ใช้ใช้งานจริง และจะแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในแต่ละวิธี SM CM ECM FEE และ STM

บทที่ 4

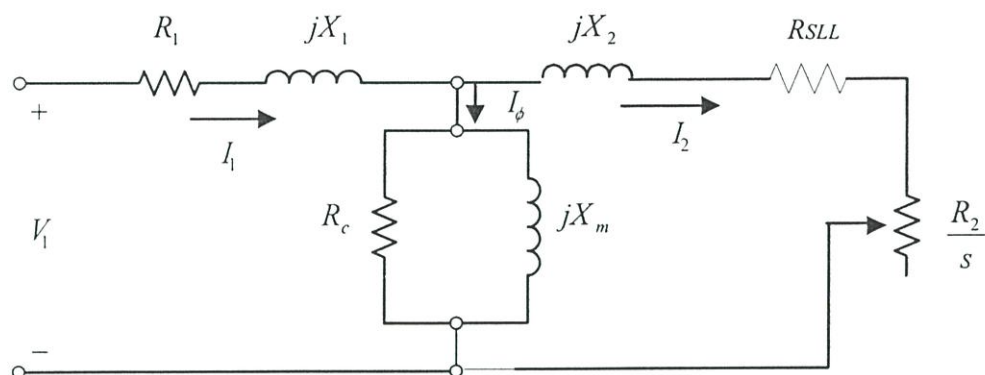
วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริง

4.1 บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากโดยพลังงานส่วนใหญ่จะนำไปจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ปัญหาที่น่าสนใจคือ ทำอย่างไรจึงจะทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะทำงานจริง ในกรณีที่มอเตอร์ได้มีการใช้งานในระยะเวลาต่างๆ หรือมอเตอร์ได้มีการพันขดลวดใหม่เมื่อมีการเสียหาย ในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์มีด้วยกันหลายวิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 โดยวิธีการใช้ข้อมูลจากป้ายพิกัด การวัดความเร็วรอบมอเตอร์การวัดค่ากระแส จะเป็นวิธีที่ง่ายแต่มีความผิดพลาดสูง ส่วนการวัดค่าแรงบิดทางกล เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำสูงแต่จำเป็นต้องมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อนทำให้ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูงในกระบวนการทดสอบ ในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะทำงานจริง (FEE) โดยมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและเป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้เวลาน้อย ต้นทุนต่ำแต่มีความแม่นยำสูง และในบทนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งจะใช้วิธี STM เป็นตัวหลักในการเปรียบเทียบเนื่องจากวิธีนี้จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุด และในตอนท้ายจะแสดงวิธีการใช้โปรแกรม FEE

4.2 การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริง [10]

การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานจริงที่นำเสนอจะใช้หลักการพื้นฐานของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลสามารถประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากการวัด ณ จุดที่ใช้งานจริงของมอเตอร์เพียงจุดเดียวและข้อมูลจากป้ายพิกัดร่วมกับวิธีจินตคณิตออลกอริทึม โดยไม่ต้องใช้วิธีการทดสอบแบบ no-load และ blocked rotor ซึ่งจะมีความยุ่งยาก เสียเวลา และค่าใช้จ่ายสูงถ้ามอเตอร์ได้ติดตั้งอยู่แล้ว สำหรับข้อมูล ณ จุดที่ใช้งานของมอเตอร์ที่วัดค่าเพียงจุดเดียวนั้นจะมีข้อมูลที่วัดได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบ วงจรสมมูลมอเตอร์ต่อเฟสที่ใช้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบสมบรูณ์ (six-impedance)

4.3 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

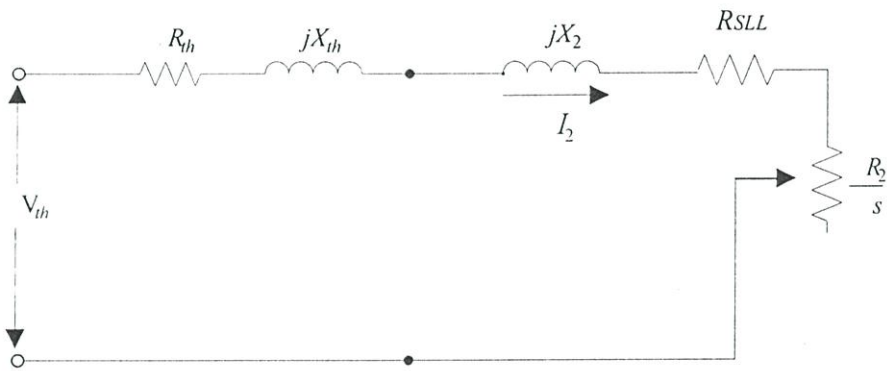
โดยทั่วไปวงจรสมมูลจะไม่คิดค่าความสูญเสียจาก Stray load loss ซึ่งจะมีผลทำให้การคำนวณหาค่าสมรรถนะมีความผิดพลาดมากขึ้นเนื่องจากหลักความจริงว่าค่าความสูญเสียนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าแรงบิดกำลังสอง [IEEE standard 112] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มค่าความสูญเสีย stray load loss นี้เข้าไปด้วยซึ่งแสดงเป็นค่าความต้านทาน R_{SLL} ดังรูปที่ 4.1 และจะมีค่าดังสมการ (4.1)

$$R_{SLL} = \frac{m(1-s_f)R_2}{s_f} \quad (4.1)$$

เมื่อ m เป็นอัตราส่วนของค่าความสูญเสียจาก R_{SLL} กับพิกัดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า ($0.009 < m < 0.02$) และ s_f เป็นค่าสลิปที่พิกัด

การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้หลักการหาค่าที่เหมาะสมเชิงเลขด้วยวิธีจินตคณิตออลกอริธึมนำไปประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์โดยอ้างอิงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบสมบรูณ์ที่คิดค่าความสูญเสีย Stray load loss เพิ่มเข้าไปในวงจร เมื่อทราบค่าวงจรสมมูลทางไฟฟ้าจะสามารถทำการคำนวณหาค่าสมรรถนะของมอเตอร์ที่ภาระทางกลต่างๆ ได้ กำหนดให้ $R_1, R_2, jX_1, jX_2, jX_m, R_c$ และ R_{SLL} เป็นค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟส s เป็นค่าสลิป

จากวงจรสมมูลรูปที่ 4.1 เมื่อนำมาพิจารณาวงจรสมมูลตามความหมายในทฤษฎีของเทวินิน ดังรูปที่ 4.2 เมื่อ V_{th}, R_{th} และ X_{th} เป็นค่าแรงดัน ความต้านทานและลิกเกจรีแอคแตนซ์ตามความหมายทฤษฎีเทวินิน



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าตามความหมายในทฤษฎีของเทวินิน

$$\vec{V}_{Th} = \frac{R_c // jX_m}{R_1 + jX_1 + R_c // jX_m} \times \vec{V}_1 \quad (4.2)$$

$$\vec{Z}_{Th} = R_{Th} + jX_{Th} = R_c // jX_m // (R_1 + jX_1) \quad (4.3)$$

ค่าพารามิเตอร์จากวงจรสมมูลทั้งแบบสมบูรณ์และแบบเทวินินนั้นจะสามารถนำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

- ค่ากระแสไฟฟ้าที่โรเตอร์ (Rotor Current)

$$\vec{I}_2 = \frac{\vec{V}_{Th}}{\left(R_{Th} + \left(\frac{R_2}{s} \right) \right) + (jX_{Th} + jX_2)} \quad (4.4)$$

- ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ (Induce Voltage)

$$\vec{E}_1 = \vec{I}_2 \times \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right) \quad (4.5)$$

- ค่ากระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์ (Stator Current)

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \frac{\vec{E}_1}{R_c} + \frac{\vec{E}_1}{jX_m} \quad (4.6)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าอินพุท (Power Input)

$$P_1 = 3 \times V_1 \times I_1 \times PF \quad (4.7)$$

ซึ่ง ค่า PF คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor)

- ค่ากำลังสูญเสียไฟฟ้าที่ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Copper Loss)

$$P_{cu1} = 3 \times I_1^2 \times R_1 \quad (4.8)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดโรเตอร์ (Rotor Copper Loss)

$$P_{cu2} = 3 \times I_2^2 \times R_2 \quad (4.9)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Loss)

$$P_{core} = 3 \times \frac{E_1^2}{R_c} \quad (4.10)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจาก Stray load loss

$$P_{Stray} = 3 \times I_2^2 \times R_{SLL} \quad (4.11)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด (Total Loss)

$$Loss = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{core} + P_{Stray} \quad (4.12)$$

- ค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุท (Output Power)

$$P_2 = P_1 - Loss \quad (4.13)$$

- ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \quad (4.14)$$

- ค่าแรงบิดที่เพลามอเตอร์ (Shaft Torque)

$$T_{sh} = \frac{P_2}{\omega_m} \quad (4.15)$$

การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลสามารถประมาณค่าโดยใช้การหาค่าที่ต่ำที่สุดของฟังก์ชัน F

$$F(Z_{total}) = \left[\frac{I_{1,cal}}{I_{1,mea}} - 1 \right]^2 + \left[\frac{P_{in,cal}}{P_{in,mea}} - 1 \right]^2 \quad (4.16)$$

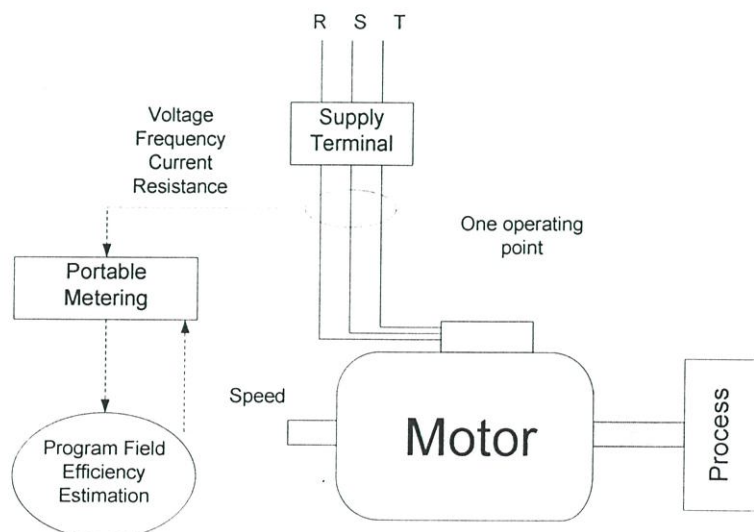
เมื่อ $I_{1,cal}$ และ $I_{1,mea}$ เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดตามลำดับ $P_{in,cal}$ และ $P_{in,mea}$ เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณและจากการวัดตามลำดับ

$$Fitness = \frac{100}{100 + F_{objection}} \quad (4.17)$$

จากสมการที่ (4.16) ถ้าค่าที่ได้ออกมามีค่าน้อย (ในทางทฤษฎีเท่ากับ 0) นั้นหมายถึงความผิดพลาดที่น้อยมาก และจากสมการที่ (4.17) ถ้าผลที่ได้ออกมามีค่าเท่ากับ 1 นั้นหมายถึงเราสามารถประเมินประสิทธิภาพได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

4.4 กระบวนการวัดข้อมูล

วิธีการประมาณค่าสมรรถนะมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่ใช้งานจริงโดยหลักการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีจินตคณิตอัลกอริทึมนั้นในทางปฏิบัติจะทำการวัด ค่ากระแส ค่าแรงดัน ความถี่ และ ความเร็วของมอเตอร์ขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานอยู่ในระบบโดยกระบวนการวัดนี้จะสามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กระบวนการวัดข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานอยู่ในระบบ

4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆของมอเตอร์ที่ได้จากวิธีการต่างๆ ได้แก่ ECM, STM, FEE, CM, SM โดยทำการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพิกัด 2.2 และ 5.5 กิโลวัตต์ในห้องปฏิบัติการตามวิธี ECM และ STM โดยมีข้อมูลของมอเตอร์ในแคทาล็อกตามตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2 ขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการทำการทดสอบ No-load และ Block-Rotor Test (ECM) และทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ความถี่ กระแสไฟฟ้าอินพุท กำลังไฟฟ้าอินพุท และความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะทำการวัดที่ภาระใดๆ (STM) โดยข้อมูลที่วัดได้จากการทดสอบวัดแรงบิดทางกล (สามารถดูรายละเอียดได้ที่ภาคผนวก ง.) เหล่านี้จะสามารถนำมาใช้กับวิธี SM CM ECM และ FEE ได้

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลมอเตอร์จากแคทาล็อก Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz, 4 pole

Load (%)	Current (A)	Power Factor	Efficiency(%)	Speed (rpm)	Torque (N-m)
100	4.92	0.82	83.0	1420	14.8
75	3.95	0.78	82.0	-	-
50	3.16	0.66	80.0	-	-

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลมอเตอร์จากแคทาล็อก Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz, 4 pole

Load (%)	Current (A)	Power Factor	Efficiency(%)	Speed (rpm)	Torque (N-m)
100	11.6	0.84	86.0	1430	36.75
75	8.94	0.82	85.0	-	-
50	6.49	0.77	83.0	-	-

โดยเฉพาะวิธี ECM และ FEE นั้นจะสามารถประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรสมมูลซึ่งแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.3 ถึง ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากการทำ no-load และ block-rotor ของมอเตอร์

Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz

R_1	R_2	$(X_1 + X_2)$	R_c	X_m
3.48	3.16	7.14	1186.5	93.43

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากการทำ no-load และ block-rotor ของมอเตอร์

Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz

R_1	R_2	$(X_1 + X_2)$	R_c	X_m
1.33	1.27	3.54	740.67	50.51

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากวิธี FEE ของมอเตอร์

Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz

Load (%)	R_1	R_2	X_1	X_2	R_c	X_m	m
100.21	2.45	2.25	10.45	6.20	475.56	188.79	0.018
92.52	2.52	2.47	4.95	16.08	476.06	198.08	0.017
84.39	2.56	2.38	9.96	5.00	475.81	118.50	0.016
76.56	2.25	2.48	11.42	1.26	475.81	103.70	0.009
68.17	2.13	2.18	12.28	19.40	476.31	157.37	0.019
60.28	2.18	2.35	11.18	15.97	476.06	122.54	0.014
52.32	2.51	2.34	10.88	21.41	475.81	114.32	0.017

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้จากวิธี FEE ของมอเตอร์

Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz

Load (%)	R_1	R_2	X_1	X_2	R_c	X_m	m
98.51	1.04	0.84	2.37	0.48	321.49	42.38	0.015
91.45	0.93	0.89	1.53	2.84	305.46	42.37	0.017
84.35	1.04	0.83	4.18	3.24	305.78	57.57	0.020
76.84	0.98	0.85	0.00	11.46	305.30	74.68	0.010
69.92	1.04	0.84	3.84	1.41	305.46	44.14	0.020
63.37	0.84	0.89	1.88	4.55	305.62	47.39	0.012
56.36	1.04	0.86	3.31	0.87	305.46	43.23	0.020
49.56	1.01	0.94	2.41	7.98	305.30	51.54	0.018

จากนั้นค่าประสิทธิภาพและแรงบิดที่ได้ ณ จุดที่ทำงาน ในแต่ละวิธีจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 ถึง ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์การประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ

Motor 2.2 kW On-site Measurement					Estimated Efficiency (%)				
Load(%)	V	A	W	r/min	SM	CM	ECM	FEE	STM
100.21	380.2	5.05	2850	1417	81.47	79.36	82.04	79.59	77.36
92.52	380.4	4.67	2600	1422	83.93	80.39	82.31	78.57	78.28
84.39	380.3	4.34	2340	1432	81.30	83.02	82.74	79.46	79.34
76.56	380.3	4.01	2100	1437	83.93	85.47	82.68	80.22	80.20
68.17	380.5	3.74	1830	1446	82.55	91.47	82.34	79.31	81.96
60.28	380.4	3.46	1660	1453	79.21	93.29	82.57	78.52	79.89
52.32	380.3	3.23	1450	1460	77.17	99.70	81.93	76.30	79.37

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์การประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ

Motor 5.5 kW On-site Measurement					Estimated Efficiency (%)				
Load(%)	V	A	W	r/min	SM	CM	ECM	FEE	STM
98.51	380.4	11.62	6630	1435	78.36	83.10	85.99	83.29	81.72
91.45	380.3	11.23	6130	1439	79.54	86.86	85.79	83.03	82.06
84.35	380.5	10.44	5620	1440	85.33	88.08	85.81	82.92	82.55
76.84	380.2	9.63	5100	1450	78.36	89.53	86.59	82.55	82.87
69.92	380.3	8.88	4590	1454	80.10	91.73	86.69	83.04	83.79
63.37	380.4	8.24	4150	1461	75.11	94.14	86.99	83.25	83.99
56.36	380.3	7.56	3690	1465	75.81	97.14	86.90	82.04	84.01
49.56	380.2	6.96	3250	1468	78.69	101.54	86.49	80.64	83.86

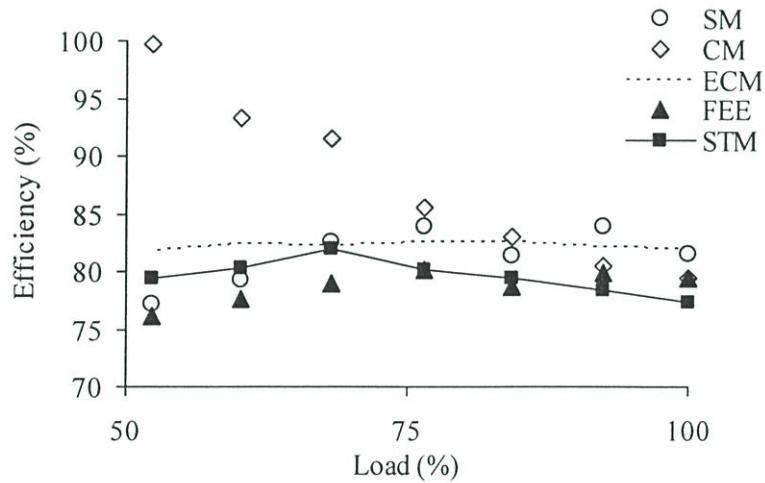
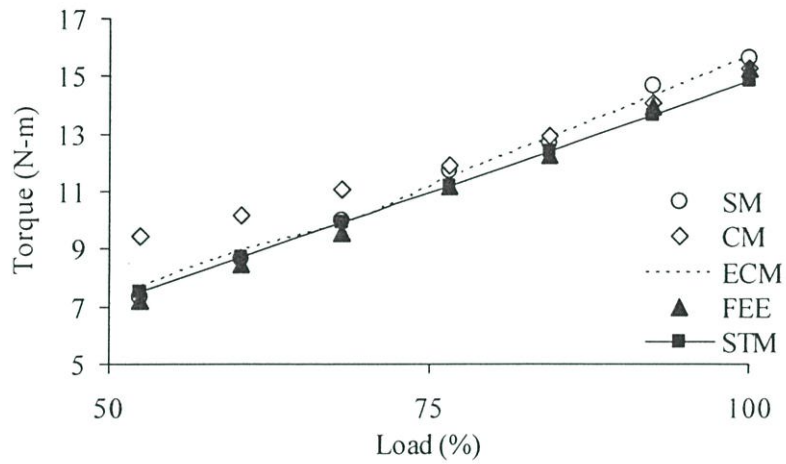
ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์การประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์ Mitsubishi 2.2 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ

Motor 2.2 kW On-site Measurement					Estimated Torque (N-m)				
Load(%)	V	A	W	r/min	SM	CM	ECM	FEE	STM
100.21	380.2	5.05	2850	1417	15.64	15.23	15.76	15.29	14.85
92.52	380.4	4.67	2600	1422	14.65	14.04	14.37	13.72	13.66
84.39	380.3	4.34	2340	1432	12.68	12.95	12.91	12.40	12.37
76.56	380.3	4.01	2100	1437	11.71	11.93	11.54	11.20	11.18
68.17	380.5	3.74	1830	1446	9.97	11.05	9.95	9.59	9.90
60.28	380.4	3.46	1660	1453	8.64	10.18	9.01	8.57	8.71
52.32	380.3	3.23	1450	1460	7.32	9.46	7.77	7.24	7.52

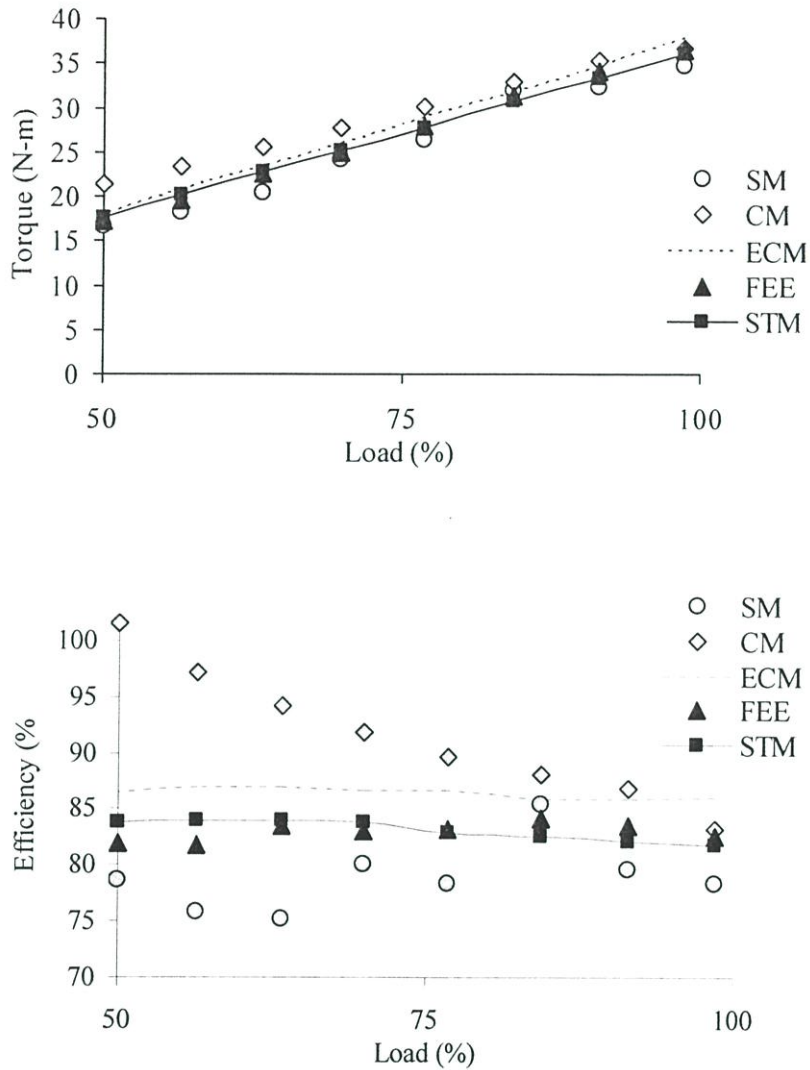
ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์การประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์ Mitsubishi 5.5 kW, 380 V, 50 Hz ขณะทำงานในระบบ

Motor 5.5 kW On-site Measurement					Estimated Torque (N-m)				
Load(%)	V	A	W	r/min	SM	CM	ECM	FEE	STM
98.51	380.4	11.62	6630	1435	34.57	36.66	37.93	36.75	36.04
91.45	380.3	11.23	6130	1439	32.36	35.34	34.89	33.78	33.36
84.35	380.5	10.44	5620	1440	31.80	32.83	31.98	30.90	30.75
76.84	380.2	9.63	5100	1450	26.32	30.07	29.08	27.73	27.82
69.92	380.3	8.88	4590	1454	24.15	27.65	26.13	25.03	25.24
63.37	380.4	8.24	4150	1461	20.37	25.53	23.59	22.58	22.77
56.36	380.3	7.56	3690	1465	18.23	23.36	20.90	19.73	20.19
49.56	380.2	6.96	3250	1468	16.64	21.46	18.28	17.05	17.72

รูปที่ 4.4 ถึง 4.5 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้จากการใช้วิธีต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากวิธี STM จะเป็นค่าที่เชื่อถือได้มากที่สุดเพราะได้มาจากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้และกำลังทางกลจริงของมอเตอร์ตัวนั้นๆ



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ 2.2 kW, 380 V, 50 Hz



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ 5.5 kW, 380 V, 50 Hz

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.5 ในกรณีค่าแรงบิดของมอเตอร์ วิธีการส่วนใหญ่ให้ผลที่แตกต่างกันเล็กน้อย ยกเว้นวิธี CM และ SM ซึ่งจะแตกต่างกันเพราะใช้ข้อมูลในการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการอื่นๆ ในกรณีค่าประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่าวิธี FEE จะมีค่าใกล้เคียงกับวิธี STM เพราะใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งาน และพบว่าการใช้วิธี CM และ SM จะมีความคลาดเคลื่อนอย่างมากถึงแม้จะใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งาน เช่นเดียวกันจึงไม่เหมาะที่ใช้ในการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเพื่อนำค่าที่ได้มาจัดการพลังงาน

4.6 ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของเทคนิคการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง ซึ่งใช้ข้อมูลจากบทความวิชาการ [10] โดยทำการทดสอบมอเตอร์ 2 ขนาด พิกัด 7.5 และ 75 กิโลวัตต์ ซึ่งมีข้อมูลของป้ายพิกัด (nameplate) แสดงในตารางที่ 4.11 และข้อมูลการวัดนั้น ได้แก่ ค่าแรงดัน ค่ากระแส กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะทำงานที่ภาระใดๆ ข้อมูลที่วัดได้นี้จะนำไปป้อนให้กับโปรแกรมเพื่อประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรสมมูลจากนั้นค่าประสิทธิภาพโดยประมาณของมอเตอร์ ณ จุดที่ทำงานอยู่จะสามารถคำนวณหาได้โดยใช้หลักการของวงจรสมมูล ผลลัพธ์การประมาณค่าประสิทธิภาพและแรงบิดของมอเตอร์ที่ทดสอบทั้งสองขนาดแสดงดังตารางที่ 4.12 ถึง ตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัด

Rated(kW)	Hz	V	A	r/min	Pole
7.5	50	380	15.2	1445	4
75	50	400/690	131/76	1488	4

ตารางที่ 4.12 ผลการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์พิกัด 7.5 kW ขณะทำงานในระบบ

Motor 7.5 kW (10 hp) On-site Measurement				Efficiency (%)	
V	A	Watt (kW)	r/min	FEE	IEEE-112 (B)
380.4	14.96	8.52	1446	87.24	86.85
380.4	11.71	6.38	1461	88.55	87.53
380.4	8.82	4.28	1475	87.80	86.56

ตารางที่ 4.13 ผลการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์พิกัด 75 kW ขณะทำงานในระบบ

Motor 75 kW (100 hp) On-site Measurement				Efficiency (%)	
V	A	Watt (kW)	r/min	FEE	IEEE-112 (B)
400	132.5	78.53	1489	95.90	95.8
400	103.8	59.07	1492	96.25	95.9
400	77.8	39.68	1495	96.08	95.5

ตารางที่ 4.14 ผลการประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์พิกัด 7.5 kW ขณะทำงานในระบบ

Motor 7.5 kW (10 hp) On-site Measurement				Torque (N-m)	
V	A	Watt (kW)	r/min	FEE	IEEE-112 (B)
380.4	14.96	8.52	1446	49.09	48.9
380.4	11.71	6.38	1461	36.92	36.4
380.4	8.82	4.28	1475	24.33	23.8

ตารางที่ 4.15 ผลการประมาณค่าแรงบิดมอเตอร์พิกัด 75 kW ขณะทำงานในระบบ

Motor 75 kW (100 hp) On-site Measurement				Torque (N-m)	
V	A	Watt (kW)	r/min	FEE	IEEE-112 (B)
400	132.5	78.53	1489	482.98	482.4
400	103.8	59.07	1492	363.89	362.62
400	77.8	39.68	1495	243.53	242.05

จากผลการทดสอบการประมาณค่าประสิทธิภาพและแรงบิดด้วยวิธี FEE ซึ่งวิธีนี้จะใช้ข้อมูลของแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และ ความเร็วรอบ นั้นพบว่าค่าประสิทธิภาพและแรงบิดที่ได้จากการคำนวณ คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไม่เกิน 2 % ณ จุดใช้งานนั้นๆ ซึ่งทำให้สามารถนำวิธีการนี้ไปประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์แต่ละตัวที่ใช้งานอยู่จริงในระบบได้อย่างสะดวก

4.7 วิธีการใช้งานโปรแกรมในส่วนของการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งาน

เพื่อให้สะดวกต่อการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงานอยู่ในระบบ จึงได้นำเสนอออกมาในรูปแบบของโปรแกรม Visual Basic 6 ซึ่งประโยชน์ของโปรแกรมนี้จะเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งจะง่ายและสะดวกในการใช้งานแก่ผู้ใช้งาน

ขั้นตอนที่ 1.

เมื่อทำการเริ่มต้นใช้งาน โปรแกรมจะมีหน้าต่างหลักของโปรแกรมดังรูปที่ 4.6 เมื่อทำการกดปุ่มการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงแล้วจะปรากฏหน้าจอการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงขึ้นมามีดังรูปที่ 4.7 โดยการใช้งานในส่วนนี้ผู้ใช้งานจะต้องทำการกรอกข้อมูลต่างๆของมอเตอร์ลงไปซึ่งข้อมูลที่กรอกนั้นจะเป็นข้อมูลที่แผ่นป้ายพิกัดมอเตอร์และข้อมูลที่ได้จากการวัดทางไฟฟ้าของมอเตอร์ ซึ่งจากหน้าจอนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าถ้าช่องข้อมูลไหนที่สำคัญไม่กรอกไม่ได้ช่องข้อมูลนั้นจะเป็นสีเหลือง



รูปที่ 4.6 หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน

รายละเอียดมอเตอร์

โรงงาน: ไร่ประด รามผลิต: 118

แผนก: สิ่งปลูก ติดตั้งปี: ไม่ระบุ

วันที่ทำการวัด: วัน: 13/2 / 2550

ป้ายกำกับมอเตอร์

บริษัทที่ผลิต: Mitsubishi

หมายเลขมอเตอร์: ไม่ระบุ

หมายเลขโครงการมอเตอร์: ไม่ระบุ

มาตรฐานการออกแบบ: Nema Design B

พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์): 5.5

พิกัดแรงดัน: 380

พิกัดกระแส(แอมป์): 11.6

ตัวประกอบกำลัง(%): ไม่ระบุ

ความเร็วพิกัด: 1430

แฟลตเตอร์บริการ: ไม่ระบุ

ความถี่: 50

ขั้ว: 2

ชนิดของนาน: ไม่ระบุ

ชนิดห่อหุ้มหมต: ไม่ระบุ

ข้อมูลจากการวัดขณะมอเตอร์ทำงาน

การต่อขดลวด: สตาร์

แรงดันระหว่างสาย(โวลต์): ab 380.2

ความต้านทาน (R1): วัดได้ วัดไม่ได้

ความถี่ขณะใช้งาน: 50

กำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์): ca 380.4

กระแส (แอมป์): a 10.4 b 10.44 c 10.5

ความเร็วขณะใช้งาน(รอบ/นาที): 1440

การประมาณค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์ทำงาน

กำลังเอาต์พุต(กิโลวัตต์):

แรงบิดขณะใช้งาน(นิวตัน-เมตร): จำนวน

มอเตอร์ทำงานเปอร์เซ็นต์โหลดที่:

ประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะทำการวัด(%):

หน้าหลัก

จัดเก็บในระบบฐานข้อมูล

รูปที่ 4.7 หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง

ขั้นตอนที่ 2

ถ้าข้อมูลที่กรอกนั้น ไม่ถูกต้องเมื่อทำการกดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบข้อมูล และจะโชว์กล่องคำเตือนขึ้นมาว่าข้อมูลที่กรอกลงไปนั้น ไม่ถูกต้องดังรูป 4.8 และผู้ใช้โปรแกรม สามารถที่จะแก้ไขให้ถูกต้องได้

รายละเอียดมอเตอร์

โรงงาน รถมอเตอร์
 แหมก ดัดตั้งปี

วันที่ทำการวัด
 วัน

ป้ายกำกับมอเตอร์

บริษัทที่ผลิต
 หมายเลขมอเตอร์
 หมายเลขโครมอเตอร์
 มาตรฐานการออกแบบ
 พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)
 พิกัดแรงดัน
 พิกัดกระแส(แอมป์)
 ตัวประกอบกำลัง(%)
 ความเร็วพิกัด
 เฟดเตอร์บริการ

ข้อมูลจากการวัดขณะมอเตอร์ทำงาน

การต่อขดลวด แรงดันระหว่างสาย(โวลต์) ความต้านทาน (R1)
 อดได้ อดไม่ได้
 ab
 ความถี่ขณะใช้งาน bc
 50 กำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์) ca
 5.62

ภาพขณะมอเตอร์ทำงาน

ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (k) c
 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (k) b
 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (k) a
 ความเร็วขณะใช้งาน(รอบ/นาที)
 การประมาณค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์

ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง(กิโลวัตต์)
 แรงบิดขณะใช้งาน(นิวตัน-เมตร)
 มอเตอร์ทำงานเปอร์เซ็นต์โหลดที่
 ประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะทำการวัด(%)

ปุ่ม: ค่าถาม, หน้าหลัก, จัดเก็บในระบบฐานข้อมูล

รูปที่ 4.8 หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อทำการใส่ข้อมูลผิด

ขั้นตอนที่ 3

เมื่อทำการกรอกข้อมูลถูกต้องครบถ้วนแล้วจะสามารถทำการกดปุ่มคำนวณ (หมายเลข 1) ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ (หมายเลข 2) ซึ่งค่าที่ต้องการนั้นจะได้แก่ ค่าประสิทธิภาพ ค่าแรงบิด ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดใช้งาน และค่ากำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ดังรูป 4.9 ซึ่งถ้าผู้ใช้งานต้องการจัดเก็บข้อมูลก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่มจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล (หมายเลข 3)

รายละเอียดมอเตอร์

โรงงาน รถมอเตอร์
 แหมก ดัดตั้งปี

วันที่ทำการวัด
 วัน

ป้ายกำกับมอเตอร์

บริษัทที่ผลิต
 หมายเลขมอเตอร์
 หมายเลขโครมอเตอร์
 มาตรฐานการออกแบบ
 พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)
 พิกัดแรงดัน
 พิกัดกระแส(แอมป์)
 ตัวประกอบกำลัง(%)
 ความเร็วพิกัด
 เฟดเตอร์บริการ

ข้อมูลจากการวัดขณะมอเตอร์ทำงาน

การต่อขดลวด แรงดันระหว่างสาย(โวลต์) ความต้านทาน (R1)
 อดได้ อดไม่ได้
 ab
 ความถี่ขณะใช้งาน bc
 50 กำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์) ca
 5.62

ภาพขณะมอเตอร์ทำงาน

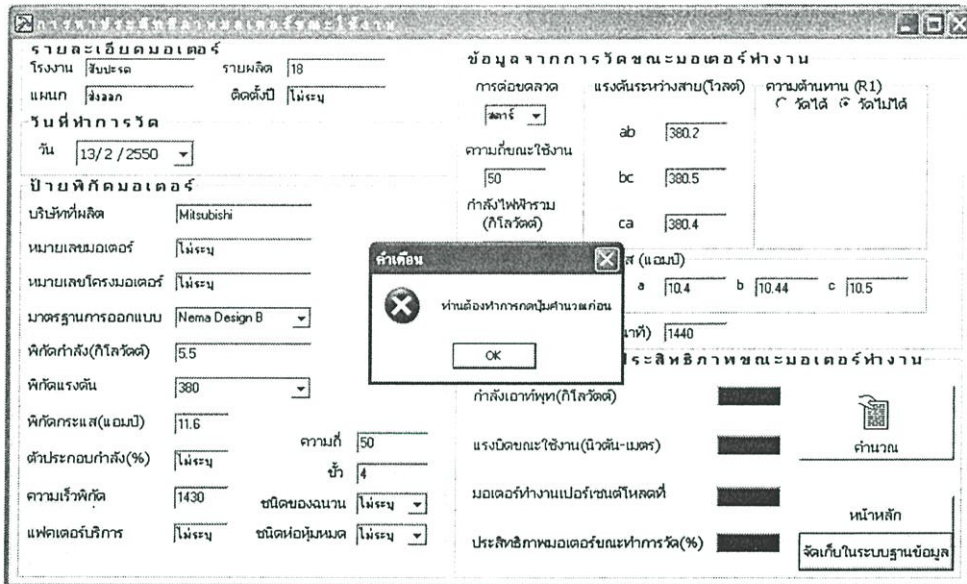
ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (k) c
 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (k) b
 ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง (k) a
 ความเร็วขณะใช้งาน(รอบ/นาที)
 การประมาณค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์

ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง(กิโลวัตต์)
 แรงบิดขณะใช้งาน(นิวตัน-เมตร)
 มอเตอร์ทำงานเปอร์เซ็นต์โหลดที่
 ประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะทำการวัด(%)

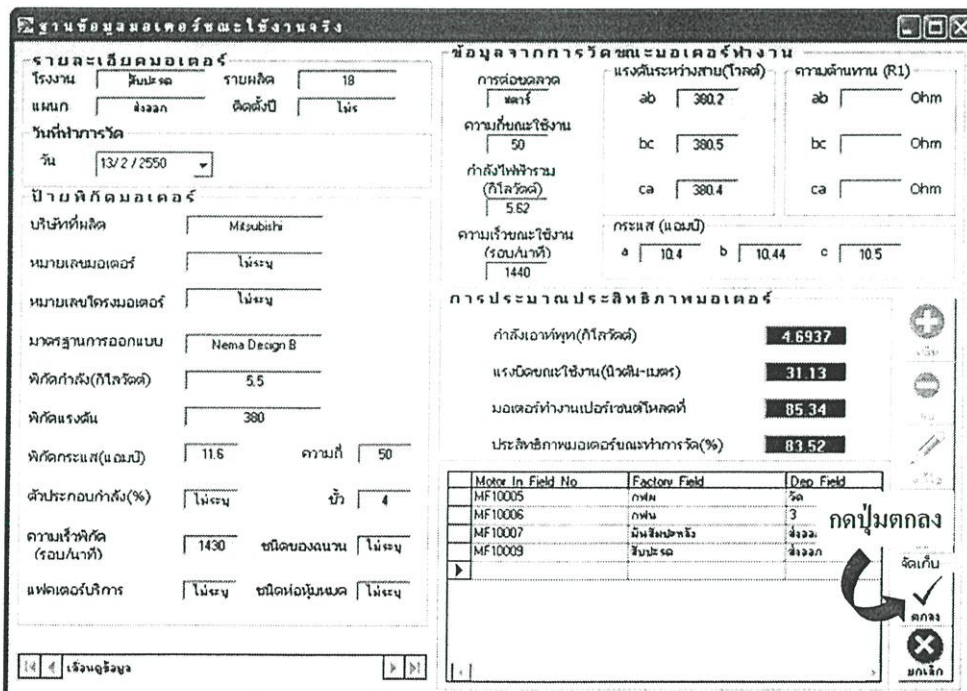
ปุ่ม: ค่าถาม, หน้าหลัก, จัดเก็บในระบบฐานข้อมูล

รูปที่ 4.9 หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อทำการกดปุ่มคำนวณ

ถ้ายังไม่ได้ทำการกดปุ่มคำนวณแล้วกดปุ่มจัดเก็บลงในระบบฐานข้อมูล โปรแกรมจะตรวจสอบและจะปรากฏกล่องคำเตือนว่าให้ทำการกดปุ่มคำนวณก่อนดังรูป 4.10 เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้นแล้วผู้ใช้งานต้องการที่จะจัดเก็บข้อมูลก็สามารถทำได้โดยการกดที่ปุ่มจัดเก็บลงในระบบฐานข้อมูล ก็จะปรากฏหน้าจอฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริงขึ้นมาดังรูป 4.11 แล้วกดปุ่มตกลง



รูปที่ 4.10 หน้าจอหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อยังไม่ได้กดปุ่มคำนวณแล้วกดปุ่มจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล



รูปที่ 4.11 หน้าจอฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริง

และในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการแก้ไข หรือทำการลบข้อมูลที่ไม่ต้องการออกจากระบบฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริงได้ ซึ่งการแก้ไขข้อมูลนั้นจะสามารถแก้ไขได้เฉพาะช่องสี่ขามเท่านั้น ดังรูปที่ 4.12 ข้อมูลที่ทำการจัดเก็บลงไปในระบบฐานข้อมูลนี้ผู้ใช้งานจะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในเรื่องของการจัดการพลังงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ได้

ฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริง

รายละเอียดมอเตอร์

โรงงาน: รางผลิต:

แผนก: ติดตั้งปี:

วันที่ทำการวัด: วัน:

ป้ายพิกัดมอเตอร์

บริษัทที่ผลิต:

หมายเลขมอเตอร์:

หมายเลขโครงมอเตอร์:

มาตรฐานการออกแบบ:

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์):

พิกัดแรงดัน:

พิกัดกระแส (แอมป์): ความถี่:

ตัวประกอบกำลัง (%): ขั้ว:

ความเร็วพิกัด (รอบ/นาที): ชนิดของฉนวน:

แพลตฟอร์มบริการ: ชนิดท่อรับลม:

ความเร็วรอบ:

ข้อมูลจากการวัดขณะมอเตอร์ทำงาน

การตอบสนอง: แรงดันระหว่างสาย (โวลต์): ความต้านทาน (R1): Ohm

ความถี่ขณะใช้งาน: bc Ohm

กำลังไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์): ca Ohm

ความเร็วขณะใช้งาน (รอบ/นาที): กระแส (แอมป์):

a b c

การประมาณประสิทธิภาพ

กำลังเอาต์พุต (กิโลวัตต์):

แรงบิดขณะใช้งาน (นิวตัน-เมตร): **31 13**

มอเตอร์ทำงานเปอร์เซ็นต์โหลดที่: **85 34**

ประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะทำการวัด (%): **83 52**

Motor In Field No	Factory Field	Disp. Field
MF10005	ภพ	วัด
MF10006	ภพ	3
MF10007	มันสีปะทัง	ส่งออก
MF10009	สีบระด	ส่งออก
MF10010	สีบระด	ส่งออก

ปุ่ม: **แก้ไข**, **ลบข้อมูล**, **จบ**, **แก้ไข**, **ลบ**, **จัดเก็บ**

รูปที่ 4.12 หน้าจอฐานข้อมูลมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเมื่อผู้ใช้งานต้องการแก้ไขหรือลบข้อมูล

4.8 สรุป

วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำที่นำเสนอนี้เป็นแนวทางใหม่ในการหาสมรรถนะต่างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริงโดยใช้หลักการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ในขณะที่มอเตอร์กำลังทำงานจริงอยู่ในระบบเพียงจุดเดียวร่วมกับหลักการของจินตคณิตออลกอริทึม โดยข้อมูลนี้จะนำไปใช้ประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้รวมค่าพารามิเตอร์ Stray Load Loss เข้าไปในวงจรสมมูลเพื่อทำให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำดีขึ้นซึ่งวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบมอเตอร์ตามวิธีการทั่วไปซึ่งมีความยุ่งยาก ใช้เวลานาน เสียค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องหยุดระบบการผลิตและถอดมอเตอร์เพื่อนำไปทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้เช่นเดียวกัน โดยมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอื่นๆ ในด้านความสะดวก ใช้เวลาสั้น ประหยัดและมีความ

แม่นยำไม่แตกต่างจากวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน (ค่าผิดพลาดประมาณ 2%) และมีความถูกต้องมากกว่าวิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงแบบอื่นๆ เช่น การใช้ข้อมูลจากป้ายพิกัด (Nameplate Method) การวัดความเร็วรอบ (Slip Method) และการวัดกระแส (Current Method) โดยไม่ใช้ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล

ในการใช้งานในส่วนของการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงนี้ เพื่อความสะดวกแก่การใช้งานจึงได้จัดทำออกมาในรูปแบบของโปรแกรม Visual Basic 6 (VB6) ซึ่งข้อดีของโปรแกรมนี้อีกคือการใช้งานจะเป็นแบบ Graphic User Interface ก็คือโปรแกรมนี้อาจสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจการใช้งานโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานต้องการที่จะทราบค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ที่กำลังทำงานอยู่ในระบบ ก็จะสามารถทำได้อย่างง่ายดาย ด้วยการนำ Lap Top ไปที่หน้างานแล้วทำการใช้งานโปรแกรมได้ทันที หรือทำการจดข้อมูล แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์ในขณะใช้งานจริง และข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัด แล้วจึงนำข้อมูลมากรอกลงไปโปรแกรมเพื่อที่จะให้โปรแกรมทำการคำนวณหาค่าสมรรถนะต่างๆที่ต้องการออกมา

บทที่ 5

วิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

5.1 บทนำ

ในปัจจุบันการเลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในงานอุตสาหกรรมมักจะไม่ให้ความสำคัญในเรื่องประสิทธิภาพของมอเตอร์ในขณะที่น่าไปใช้งานจริง ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในการจัดซื้อมอเตอร์โดยทั่วไปคือการไม่พิจารณาถึงต้นทุนจริงๆ ของการใช้พลังงานในระยะยาว ตัวอย่างเช่น ผู้ที่รับผิดชอบในการสั่งซื้อมักจะมุ่งเน้นถึงเรื่องราคาของมอเตอร์โดยละเลยการพิจารณาถึงความเหมาะสมของประสิทธิภาพมอเตอร์เมื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการนั่นคือให้ความสำคัญน้อยในด้านค่าใช้จ่ายจริงของการใช้พลังงานไฟฟ้าในระยะยาว โดยทั่วไปข้อมูลของมอเตอร์จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิตต่างๆ ส่วนใหญ่จะระบุค่าประสิทธิภาพที่ 50, 75 และ 100% ของพิกัดมอเตอร์ แต่ในการนำไปใช้งานจริงมอเตอร์นี้อาจจะทำงานอยู่ที่ 80, 85, 90 % ของพิกัดก็ได้ ซึ่งไม่มีข้อมูลประกอบการพิจารณาอาจจะมีผลทำให้การประเมินค่าใช้จ่ายของพลังงานคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางการพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิตต่างๆ เมื่อนำไปใช้งานจริง โดยที่ผู้สั่งซื้อสามารถทราบถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ในกรณีที่ใช้งานในสภาพภาระทางกลที่ไม่ได้ระบุไว้ในแคทาล็อกซึ่งเป็นการสนับสนุนแนวความคิดในการดำเนินงานการให้มีอาคารและโรงงานประหยัดไฟฟ้าโดยจะต้องเสริมสร้างทัศนคติให้ผู้ที่เกี่ยวข้องตระหนักถึงการประหยัดพลังงาน ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ภาระทางกลต่างๆ โดยที่ไม่ต้องทำการทดสอบมอเตอร์แต่เป็นวิธีการที่ใช้ข้อมูลที่ได้จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิตมาทำนายหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยอาศัยหลักการของวงจรสมมูลควบคู่กับหลักการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีจินตคณิต

5.2 การทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ [11]

วิธีการทดสอบนี้จะเป็นการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ภาระทางกลต่างๆ โดยที่ไม่มีการทดสอบจริง แต่เป็นวิธีการที่ใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ความถี่ จำนวนขั้ว กระแสไฟฟ้าอินพุท ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท ประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพที่ภาระทางกล 75 % ความเร็ว แรงบิด และแรงบิดสูงสุด มาใช้ในการทำนายค่า

ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้หลักการหาค่าที่เหมาะสมเชิงเลขด้วยวิธีจินตคณิต อัลกอริธึมนำไปประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์โดยอ้างอิงวงจรมูลทางไฟฟ้าแบบสมบูรณ์ที่คิดค่าความสูญเสีย Stray load loss เพิ่มเข้าไปในวงจรดังที่ได้กล่าวมาแล้วจากหัวข้อ 4.2 และสามารถคำนวณหาค่าสมรรถนะของมอเตอร์ที่ภาระทางกลต่างๆ ได้ดังสมการที่ (4.1) ถึง (4.14) แต่ในหัวข้อนี้จะเพิ่มการคำนวณในส่วนของค่าแรงบิดสูงสุดเข้าไปด้วย โดยจะมีสมการดังนี้

- ค่าสลิปสูงสุด (Slip Maximum)

$$S_{\max} = \frac{R_2}{\left(\sqrt{(R_{Th} + R_{SLL})^2 + (X_{Th} + X_2)^2} \right)} \quad (5.1)$$

- ค่ากระแสโรเตอร์ที่สลิปสูงสุด (Maximum Rotor Current)

$$\bar{I}_{2\max} = \frac{\vec{V}_{Th}}{\left(R_{Th} + \left(\frac{R_2}{S_{\max}} \right) + R_{SLL} \right) + (jX_{Th} + jX_2)} \quad (5.2)$$

- ค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum Torque)

$$T_{\max} = \frac{3 \times (I_{2\max})^2 \times \left(\left(\frac{R_2}{S_{\max}} \right) + R_{SLL} \right)}{\omega_s} \quad (5.3)$$

5.3 กระบวนการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาลอก

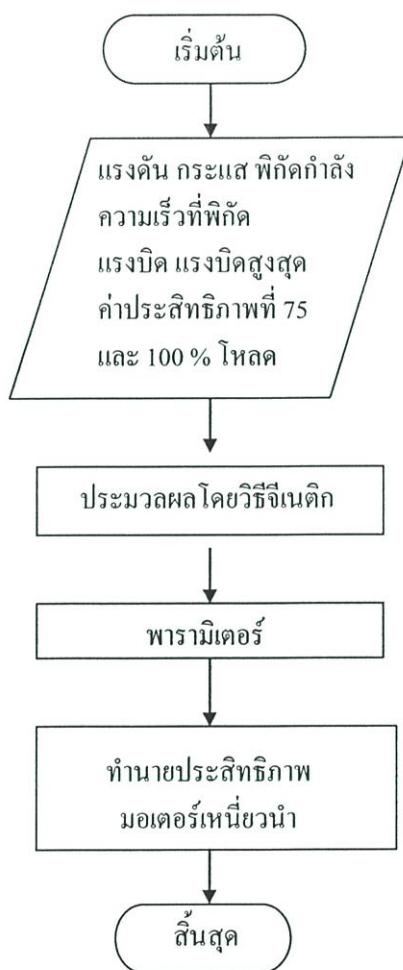
กระบวนการทำนายนี้ข้อมูลที่ใช้จะประกอบไปด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าอินพุต ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังเอาต์พุตพิกัด ประสิทธิภาพพิกัด แรงบิดพิกัด ความถี่ จำนวนขั้ว แรงบิดสูงสุด ประสิทธิภาพที่ภาระทางกล 75% และความเร็วกพิกัด โดยใช้ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจากแคทาลอก โดยอ้างอิงวงจรมูลแบบสมบูรณ์ที่คิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจาก Stray Load Loss ซึ่งประมวลผลด้วยจินตคณิตอัลกอริธึม โดยการทดสอบนี้ จะมีฟังก์ชันเป้าหมายดังสมการที่ (5.4)

$$F_{\text{objective}} = \frac{1}{2} \left[\frac{I_{FL,cal}}{I_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{P_{FL,cal}}{P_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{PF_{FL,cal}}{PF_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \quad (5.4)$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{Eff_{FL,cal}}{Eff_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{T_{\max,cal}}{T_{\max,cata}} - 1 \right]^2$$

เมื่อ $I_{FL.cal}, P_{FL.cal}, Loss_{FL.cal}, Eff_{FL.cal}, T_{FL.cal}, T_{max.cal}$ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งได้แก่ค่าของกระแสไฟฟ้าอินพุท กำลังเอาต์พุท ความสูญเสียทั้งหมด ประสิทธิภาพ แรงบิดที่พิกัด และค่าแรงบิดสูงสุดตามลำดับ

ส่วนค่าของ $I_{FL.cata}, P_{FL.cata}, Loss_{FL.cata}, Eff_{FL.cata}, T_{FL.cata}, T_{max.cata}$ เป็นข้อมูลมอเตอร์ที่ได้จากแคทาล็อกบริษัทผู้ผลิต ซึ่งได้แก่ค่าของกระแสไฟฟ้าอินพุท กำลังเอาต์พุท ความสูญเสียทั้งหมด ประสิทธิภาพ แรงบิดที่พิกัด และ ค่าแรงบิดสูงสุด ตามลำดับ โดยกระบวนการทำงานของวิธีนี้แสดงดังรูปที่ 5.1.

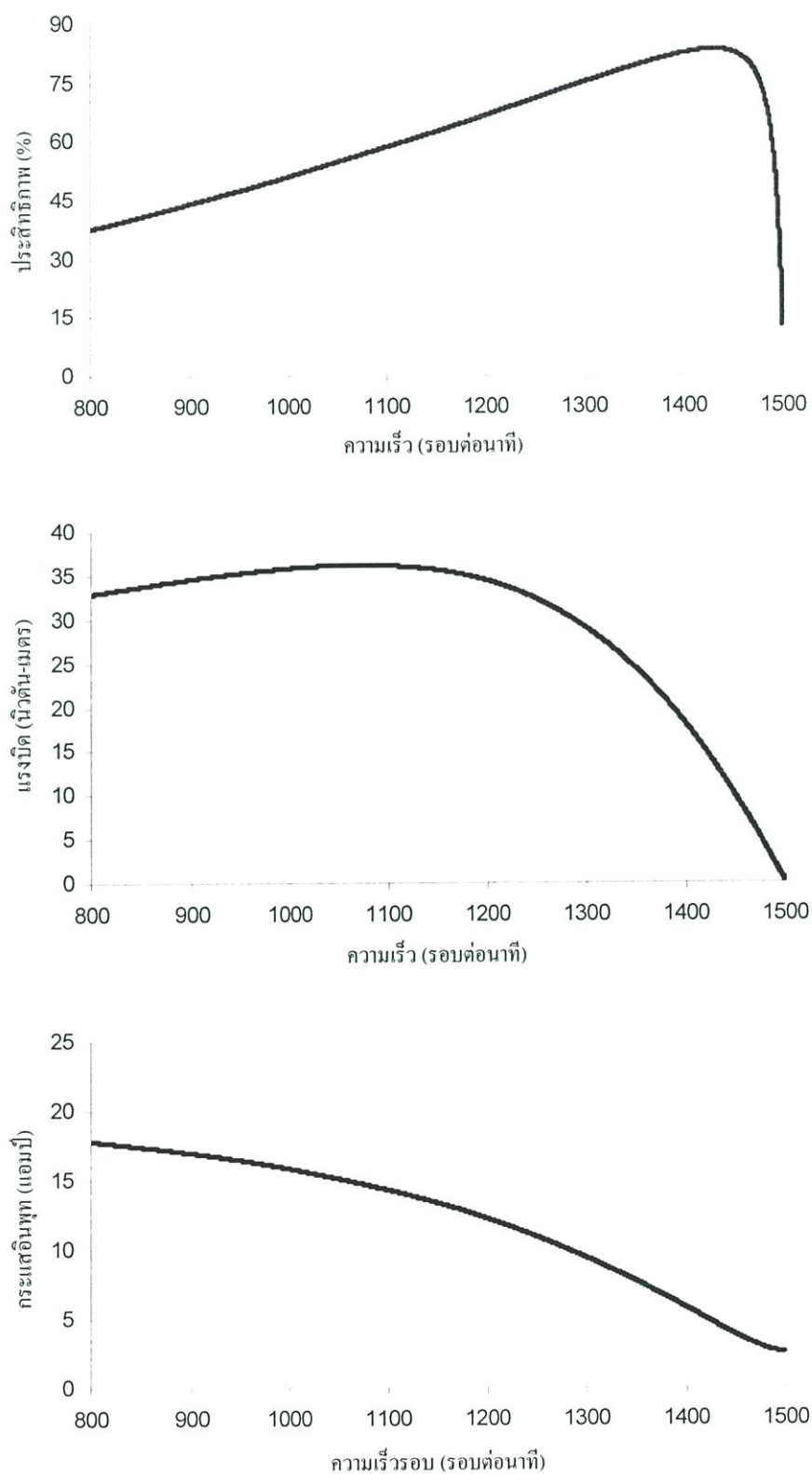


รูปที่ 5.1. แผนภูมิของวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

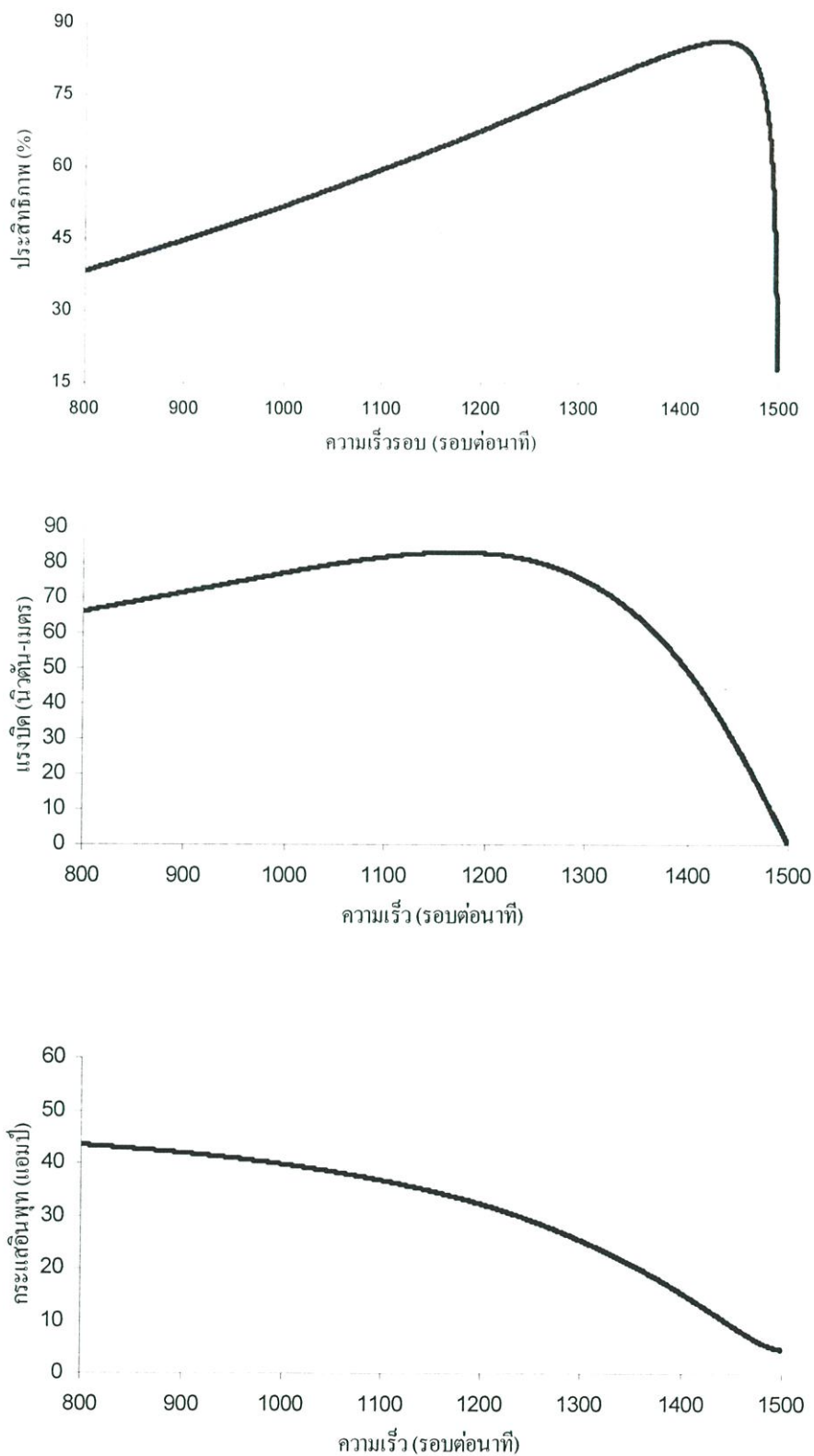
5.4 การทดสอบและผลลัพธ์

กระบวนการทดสอบการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก ในการทดสอบจะใช้มอเตอร์ขนาด 2.2 และ 5.5 kW สำหรับแคทาล็อกยี่ห้อ Mitsubishi ซึ่งข้อมูลแคทาล็อกของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้ในการทดสอบ แสดงได้ดังตารางที่ 5.1 ซึ่ง และข้อมูลที่ได้

รูปที่ 5.2 และ รูปที่ 5.3. แสดงกราฟการทำนายค่าของประสิทธิภาพ แรงบิด และ กระแสไฟฟ้าอินพุทของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 5.2. การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2.2 kW



รูปที่ 5.3 การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 5.5 kW

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเทคนิคการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก ซึ่งยี่ห้อที่ใช้ในการทดสอบนั้น ได้แก่ ABB Siemens BrookCrompton Teco ซึ่งยี่ห้อ ABB,

Siemens, Teco นั้นจะเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (Premium Efficiency, EFF1) และ ซี้อ BrookCrompton นั้นจะเป็นมอเตอร์ประหยัดพลังงาน (Energy Efficiency, EFF2) [12] โดยทำการทดสอบมอเตอร์ 4 ขนาด พิกัด 7.5 , 22 , 37 และ 75 kW สามารถดูได้จากภาคผนวก จ

5.5 อธิบายการใช้งานโปรแกรมการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

เพื่อความสะดวกในการใช้งานในการทำนายประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก จึงได้นำเสนอออกมาในรูปของโปรแกรม Visual Basic 6 ซึ่งประโยชน์ของโปรแกรมนี้จะเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งจะง่ายและสะดวกแก่ผู้ใช้งาน

ขั้นตอนที่ 1.

ที่หน้าจอหลักของโปรแกรมดังรูปที่ 5.4 ให้ผู้ใช้งานกดปุ่ม การทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก แล้วจะปรากฏหน้าจอค้นหามอเตอร์ใช้งาน โดยการใช้งานในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถที่จะเลือกมอเตอร์ที่ต้องการทำนายประสิทธิภาพได้จาก

กรณีที่1 แคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล ดังรูปที่ 5.5

กรณีที่2 แคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบ ฐานข้อมูล ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.4 หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน

ค้นหามอเตอร์ใช้งาน

เลือกใช้ข้อมูล

แคทาล็อกที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูล

แคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูล

บริษัทผู้ผลิต: VEM Motor | พิกัดแรงดัน (โวลต์): 400 | ความถี่: 50

ความเร็วขงโครนีส (รอบ/นาที): 1500 | พิกัดมอเตอร์ (กิโลวัตต์): 7.5 | ขั้ว: 4

Efficiency Rating: EFF3

ไอซ์ทั้งหมด | คัทเอาท์

Motor List Id	บริษัทผู้ผลิต	มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	พิกัดแรงดัน	พิกัดกำลัง	ประสิทธิภาพที่100%	ปี
ML10023	siemens	EFF2	400	5.5	86	88
ML10025	AEG	EFF2	400	5.5	85.9	88
ML10026	AEG	EFF3	400	5.5	85	88
ML10027	Rotor bv	EFF3	400	5.5	82.5	81
ML10028	AEG	EFF2	400	7.5	87.3	88
ML10029	VEM Motor	EFF3	400	7.5	86	88
ML10030	siemens	EFF1	400	2.2	86.5	88
ML10031	siemens	EFF2	400	2.2	82	84
ML10032	AEG	EFF3	400	2.2	78.9	75

เลือกข้อมูล

ย้อนกลับ

รูปที่ 5.5 หน้าจอโปรแกรมเมื่อผู้ใช้งานเลือกแคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล

ค้นหามอเตอร์ใช้งาน

เลือกใช้ข้อมูล

แคทาล็อกที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูล

แคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

ข้อมูลที่มีอยู่

บริษัทผู้ผลิต	ประสิทธิภาพ (%)	ตัวประกอบกำลัง (%)
siemens	100% โหลด 92	100% โหลด 86
ไม่ระบุ	75% โหลด 92.3	75% โหลด --
1LA9 166-4KA..	50% โหลด 91	50% โหลด --

มาตรฐานการออกแบบ: IEC Design N

พิกัดแรงดัน: 400

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 15

ความเร็วขงโครนีส (รอบ/นาที): 1500

ความถี่พิกัด (รอบต่อนาที): 1480

ชนิดห่อหุ้ม: ไม่ระบุ

ชนิดขงฉนวน: Class F

พิกัด (นิวตัน-เมตร): พิกัด 98, สูงสุด(%FL) 330, สดาร์ท(%FL) --

กระแสขง (แอมป์): พิกัด 27.5, สูงสุด(%FL) --, สดาร์ท(%FL) --

น้ำหนก (กก.): ไม่ระบุ

แฟลเตอร์บริการ: ไม่ระบุ

ราคาขงมอเตอร์: 75000

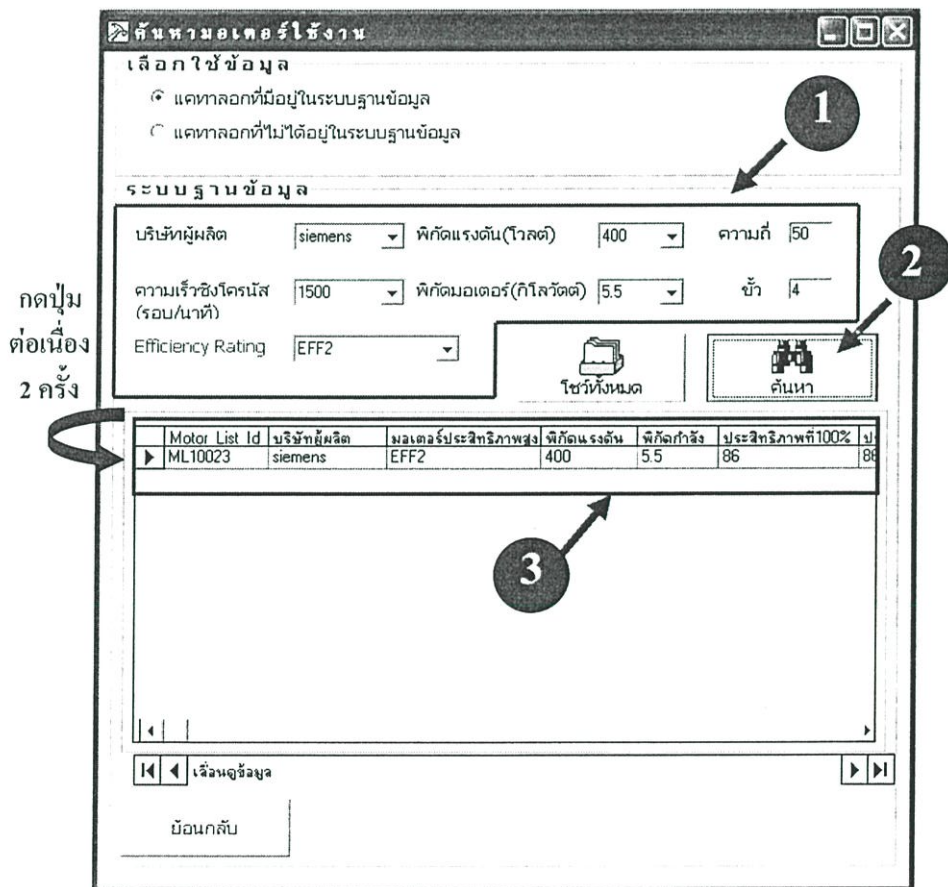
Efficiency Rating: EFF1

ย้อนกลับ | คัดไป

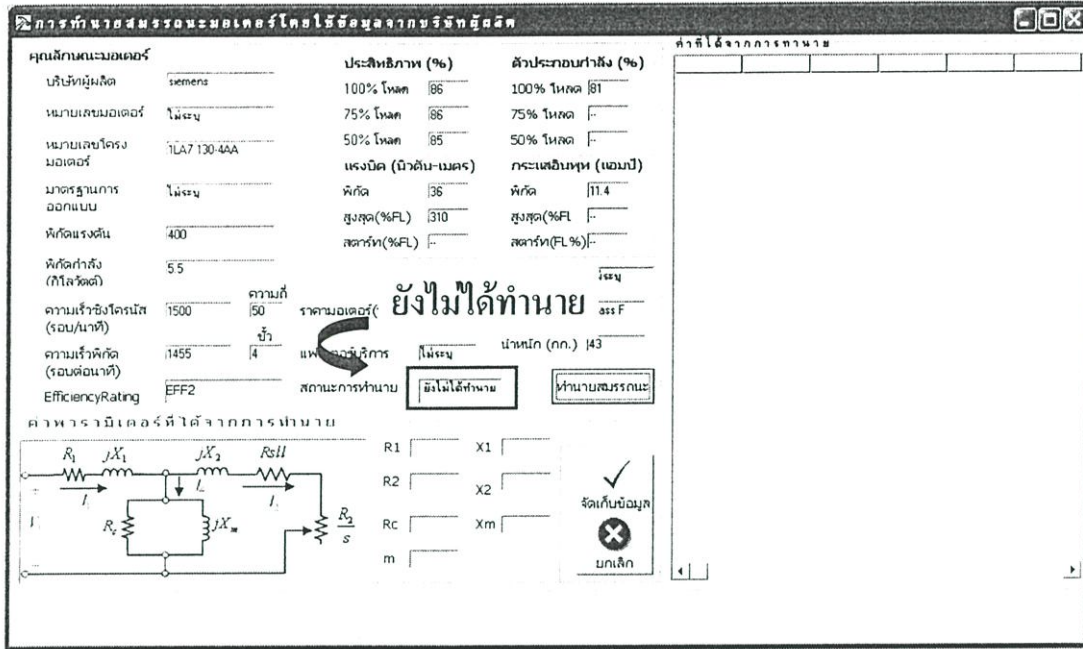
รูปที่ 5.6 หน้าจอโปรแกรมเมื่อผู้ใช้งานเลือกแคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2.

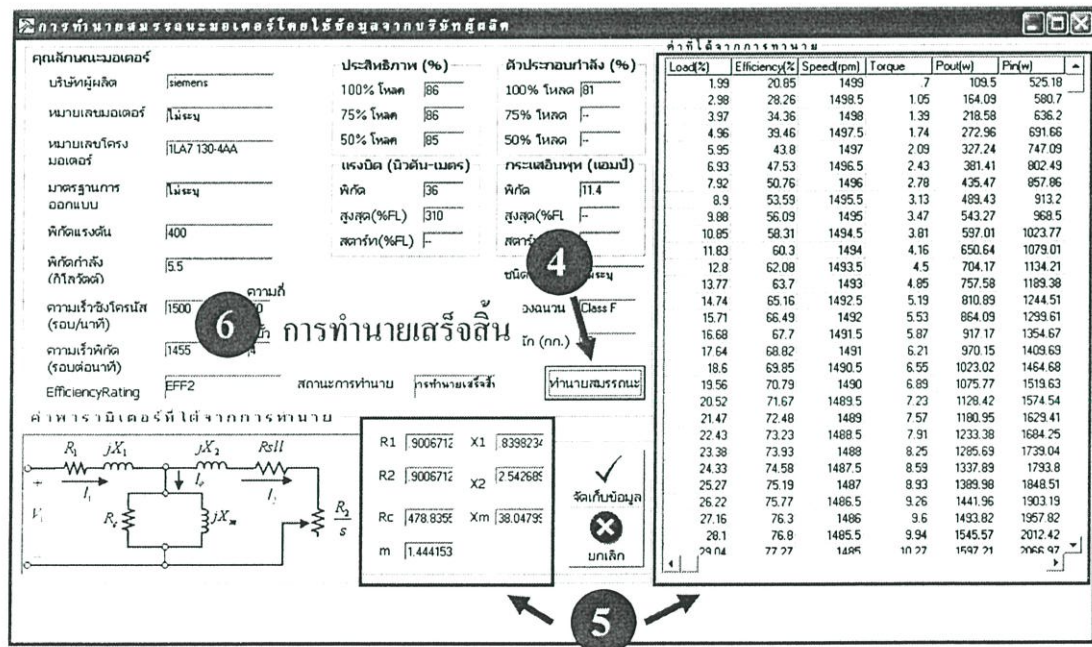
เมื่อทำการเลือกกรณีที่ 1 แคลทาลอกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล ผู้ใช้งานจะสามารถค้นหามอเตอร์ที่ต้องการได้ โดยจะสามารถทำการเลือก(หมายเลข1)ได้ทั้ง ยี่ห้อ พิกัดแรงดัน พิกัดมอเตอร์ ความเร็ว Efficiency Rating และเมื่อทำการเลือกเสร็จแล้วให้ทำการกดปุ่มค้นหา(หมายเลข2) โปรแกรมก็จะทำการค้นหาและได้ผลลัพธ์(หมายเลข3) ดังรูปที่ 5.7 (หรือต้องการให้โปรแกรมแสดงข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดในระบบฐานข้อมูลก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่มโชว์ทั้งหมด) และผู้ใช้งานจะสามารถที่จะเลือกมอเตอร์ที่ต้องการได้โดยทำการกดปุ่มต่อเนื่อง 2 ครั้งที่มอเตอร์ที่ต้องการแล้วหน้าจอการทำนายประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคลทาลอกจะปรากฏดังรูปที่ 5.8 และเมื่อทำการกดปุ่มทำนายสมรรถนะ (หมายเลข4) โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ และค่าเอาต์พุตต่างๆออกมา (หมายเลข5) ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.7 หน้าจอโปรแกรมค้นหามอเตอร์ใช้งานที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล



รูปที่ 5.8 หน้าจอโปรแกรมทำนายสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตที่อยู่ในฐานข้อมูล



รูปที่ 5.9 ผลลัพธ์การทำนายสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตที่อยู่ในฐานข้อมูล

สังเกต ที่ช่องสถานะการทำงาน ก่อนกดปุ่มทำนายสมรรถนะจะปรากฏคำว่า ยังไม่ได้ทำนาย แต่เมื่อ กดปุ่มทำนายแล้ว จะปรากฏคำว่า การทำนายเสร็จสิ้น (หมายเลข6)

คุณลักษณะมอเตอร์

เบ้าหุ้มผู้ผลิต Siemens

ขนาดเฟรมมอเตอร์ ไม่ระบุ

หมายเลขโครงมอเตอร์ TLA7 130-4AA

มาตรฐานการออกแบบ ไม่ระบุ

พิกัดแรงดัน 400

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์) 5.5

ความเร็วซิงโครส (รอบ/นาที) 1500

ความเร็วพิกัด (รอบ/นาที) 1455

EfficiencyRating EFF2

ประสิทธิภาพ (%)

100% โหลด 86

75% โหลด 86

50% โหลด 85

แรงบิด (นิวตัน-เมตร) พิกัด 36

สูงสุด(%FF) พิกัด 36

พิกัด(%) พิกัด 36

ตัวประกอบกำลัง (%)

100% โหลด 81

75% โหลด 75

50% โหลด 75

กระแสมอเตอร์ (แอมป์) พิกัด 11.4

สูงสุด(%FL) พิกัด 11.4

พิกัด(FL%) พิกัด 11.4

ค่าที่ได้จากการคำนวณ

Load(%)	Efficiency(%)	Speed(rpm)	Torque	Pout(w)	Pin(w)
1.99	20.85	1499	7	109.5	525.18
2.98	28.26	1498.5	1.05	164.09	590.7
3.97	34.36	1498	1.39	218.58	636.2
4.96	39.46	1497.5	1.74	272.96	691.66
5.95	43.8	1497	2.09	327.24	747.09
6.93	47.53	1496.5	2.43	381.41	802.49
7.92	50.76	1496	2.78	435.47	857.86
8.9	53.59	1495.5	3.13	489.43	913.2
9.88	56.09	1495	3.47	543.27	968.5
10.85	58.31	1494.5	3.81	597.01	1023.77
11.83	60.3	1494	4.16	650.54	1079.01
12.8	62.08	1493.5	4.5	704.17	1134.21
13.77	63.7	1493	4.85	757.58	1189.38
14.74	65.16	1492.5	5.19	810.89	1244.51
15.71	66.49	1492	5.53	864.09	1299.61
16.68	67.7	1491.5	5.87	917.17	1354.67
17.64	68.82	1491	6.21	970.15	1409.69
18.6	69.85	1490.5	6.55	1023.02	1464.68
19.55	70.79	1490	6.89	1075.77	1519.63
20.5	71.67	1489.5	7.23	1128.42	1574.54
21.45	72.48	1489	7.57	1180.95	1629.41
22.4	73.23	1488.5	7.91	1233.38	1684.25
23.39	73.93	1488	8.25	1285.69	1739.05
24.33	74.58	1487.5	8.59	1337.89	1793.8
25.27	75.19	1487	8.93	1389.98	1848.51
26.22	75.77	1486.5	9.26	1441.96	1903.19
27.16	76.3	1486	9.6	1493.82	1957.82
28.1	76.8	1485.5	9.94	1545.57	2012.42
29.04	77.27	1485	10.27	1597.21	2066.97

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ

R1 : 9006712 X1 : 8398234

R2 : 9006712 X2 : 2542688

Rc : 478.8359 Xm : 38.04795

m : 1.444153

รูปที่ 5.10 จัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายลงฐานข้อมูล

รูปที่ 5.10 จัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายลงฐานข้อมูล

และเมื่อผู้ใช้งานต้องการจัดเก็บข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลให้ทำการกดปุ่มจัดเก็บ(หมายเลข7) ดังรูปที่ 5.10 และเมื่อการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้น โปรแกรมจะขึ้นกล่องคำเตือนว่าจัดเก็บลงฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว(หมายเลข8) โดยข้อมูลที่ทำการจัดเก็บลงไปในระบบฐานข้อมูลนี้ผู้ใช้งานจะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในเรื่องของการจัดการพลังงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ได้ หรือการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบได้

ขั้นตอนที่ 3.

เมื่อทำการเลือกกรณีที่ 2 แคลคูลอกที่ไม่อยู่ในระบบฐานข้อมูล(คือข้อมูลจากแคลคูลอกมอเตอร์ที่ผู้ใช้งานไม่ได้ทำการคีย์ใส่ไว้ในระบบฐานข้อมูลของโปรแกรม) แล้วจะปรากฏหน้าจอที่ให้ทำการกรอกข้อมูลมอเตอร์ที่ต้องการทำนาย โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องกรอกนั้นช่องที่กรอกจะเป็นสี่เหลี่ยม เมื่อผู้ใช้งานกรอกข้อมูลเสร็จแล้วให้กดปุ่มถัดไป(หมายเลข1) (ช่องสี่เหลี่ยมนี้ถ้าผู้ใช้งานลืมกรอกหรือใส่ข้อมูลผิดเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มถัดไป โปรแกรมจะทำการตรวจสอบและจะขึ้นกล่องคำเตือนผู้ใช้งานว่าผู้ใช้งานลืมกรอกข้อมูลหรือใส่ข้อมูลผิด(หมายเลข2) ดังรูปที่ 5.11

เลือกใช้ข้อมูล

แคทาล็อกที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูล

แคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

ข้อมูลที่มีอยู่

บริษัทผู้ผลิต	ประสิทธิภาพ (%)	ตัวประกอบกำลัง (%)
siemens	100% โหลด 92	100% โหลด 86
ไม่ระบุ	75% โหลด 92.3	75% โหลด ..
ไม่ระบุ	50% โหลด 91	50% โหลด ..

หมายเหตุ: IEC Design ค่าเตือน

ท่านยังไม่ใส่ค่าความเร็วพิกัด

OK

1 → **ถัดไป**

รูปที่ 5.11 หน้าจอแคทาล็อกมอเตอร์ที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

แล้วหน้าจอการทำนายประสิทธิภาพมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกจะปรากฏ ดังรูปที่ 5.12 และเมื่อทำการกดปุ่มทำนายสมรรถนะ(หมายเลข3)โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ และค่าเอาต์พุตต่างๆออกมา(หมายเลข4) ดังรูปที่ 5.13

สังเกต ที่ช่องสถานะการทำนาย ก่อนกดปุ่มทำนายสมรรถนะจะปรากฏคำว่า *ยังไม่ได้ทำนาย* แต่เมื่อกดปุ่มทำนายแล้ว จะปรากฏคำว่า *การทำนายเสร็จสิ้น* (หมายเลข5) และเมื่อผู้ใช้งานต้องการจัดเก็บข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลให้ทำการกดปุ่มจัดเก็บ(หมายเลข6) ดังรูปที่ 5.13 และเมื่อการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้น โปรแกรมจะขึ้นกล่องคำเตือนว่าจัดเก็บลงฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว(หมายเลข 7) โดยข้อมูลที่ทำการจัดเก็บลงไปในระบบฐานข้อมูลนี้ผู้ใช้งานจะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ใน เรื่องของการจัดการพลังงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์หรือการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบได้

การกำหนดสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

คุณลักษณะมอเตอร์

บริษัทผู้ผลิต: Siemens

ประสิทธิภาพ (%): 100% โหลด 92

ค่าประกอบกำลัง (%): 100% โหลด 86

หมายเลขมอเตอร์: ไม่ระบุ

ประสิทธิภาพ (%): 75% โหลด 92.3

ประสิทธิภาพ (%): 75% โหลด

หมายเลขโครงมอเตอร์: 1LA9 166-4KA

ประสิทธิภาพ (%): 50% โหลด

ประสิทธิภาพ (%): 50% โหลด

มาตรฐานการออกแบบ: IEC Design N

แรงบิด (นิวตัน-เมตร): 98

กระแสเกินพิกัด (เอมพี): 27.5

มาตรฐานการออกแบบ: IEC Design N

พิกัด: 98

พิกัด: 27.5

พิกัดแรงดัน: 400

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 15

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 15

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1500

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1500

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1460

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1460

EfficiencyRating: EFF1

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการทำนาย

การทำนายเสร็จสิ้น

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการทำนาย

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการทำนาย

Load[%]	Efficiency[%]	Speed[rpm]	Torque	Pou[w]	Pin[w]
2.67	45.43	1499	2.56	401.22	883.18
4.01	55.33	1498.5	3.83	601.5	1087.03
5.34	62.1	1498	5.11	801.56	1290.84
6.68	67	1497.5	6.39	1001.39	1494.6
8.01	70.72	1497	7.66	1200.98	1698.3
9.34	73.63	1496.5	8.94	1400.34	1901.95
10.66	75.96	1496	10.21	1599.45	2105.52
11.99	77.88	1495.5	11.48	1798.32	2309.03
13.31	79.48	1495	12.76	1996.94	2512.47
14.64	80.83	1494.5	14.03	2195.3	2715.82
15.96	81.99	1494	15.3	2393.41	2919.1
17.28	82.99	1493.5	16.57	2591.25	3122.29
18.59	83.86	1493	17.84	2788.83	3325.39
19.91	84.63	1492.5	19.11	2986.14	3528.39
21.22	85.31	1492	20.37	3183.18	3731.3
22.53	85.91	1491.5	21.64	3379.93	3934.1
23.84	86.45	1491	22.91	3576.41	4136.79
25.15	86.94	1490.5	24.17	3772.6	4339.38
26.46	87.38	1490	25.43	3968.5	4541.85
27.76	87.77	1489.5	26.7	4164.11	4744.19
29.06	88.13	1489	27.96	4359.42	4946.42
30.36	88.46	1488.5	29.22	4554.42	5148.51
31.66	88.76	1488	30.48	4749.13	5350.48
32.96	89.04	1487.5	31.74	4943.52	5552.3
34.25	89.29	1487	32.99	5137.6	5753.99
35.54	89.52	1486.5	34.25	5331.37	5955.53
36.83	89.73	1486	35.5	5524.81	6156.92
38.12	89.93	1485.5	36.76	5717.93	6358.16
39.4	90.11	1485	38.01	5910.73	6559.24

รูปที่ 5.12 หน้าจอโปรแกรมทำนายสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

การกำหนดสมรรถนะมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

คุณลักษณะมอเตอร์

บริษัทผู้ผลิต: Siemens

ประสิทธิภาพ (%): 100% โหลด 92

ค่าประกอบกำลัง (%): 100% โหลด 86

หมายเลขมอเตอร์: ไม่ระบุ

ประสิทธิภาพ (%): 75% โหลด 92.3

ประสิทธิภาพ (%): 75% โหลด

หมายเลขโครงมอเตอร์: 1LA9 166-4KA

ประสิทธิภาพ (%): 50% โหลด

ประสิทธิภาพ (%): 50% โหลด

มาตรฐานการออกแบบ: IEC Design N

แรงบิด (นิวตัน-เมตร): 98

กระแสเกินพิกัด (เอมพี): 27.5

มาตรฐานการออกแบบ: IEC Design N

พิกัด: 98

พิกัด: 27.5

พิกัดแรงดัน: 400

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 15

พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 15

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1500

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1500

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1460

ความเร็วขดลวด (รอบ/นาที): 1460

EfficiencyRating: EFF1

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการทำนาย

การทำนายเสร็จสิ้น

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการทำนาย

ค่าหารามอเตอร์ที่ได้จากการทำนาย

Load[%]	Efficiency[%]	Speed[rpm]	Torque	Pou[w]	Pin[w]
2.67	45.43	1499	2.56	401.22	883.18
4.01	55.33	1498.5	3.83	601.5	1087.03
5.34	62.1	1498	5.11	801.56	1290.84
6.68	67	1497.5	6.39	1001.39	1494.6
8.01	70.72	1497	7.66	1200.98	1698.3
9.34	73.63	1496.5	8.94	1400.34	1901.95
10.66	75.96	1496	10.21	1599.45	2105.52
11.99	77.88	1495.5	11.48	1798.32	2309.03
13.31	79.48	1495	12.76	1996.94	2512.47
14.64	80.83	1494.5	14.03	2195.3	2715.82
15.96	81.99	1494	15.3	2393.41	2919.1
17.28	82.99	1493.5	16.57	2591.25	3122.29
18.59	83.86	1493	17.84	2788.83	3325.39
19.91	84.63	1492.5	19.11	2986.14	3528.39
21.22	85.31	1492	20.37	3183.18	3731.3
22.53	85.91	1491.5	21.64	3379.93	3934.1
23.84	86.45	1491	22.91	3576.41	4136.79
25.15	86.94	1490.5	24.17	3772.6	4339.38
26.46	87.38	1490	25.43	3968.5	4541.85
27.76	87.77	1489.5	26.7	4164.11	4744.19
29.06	88.13	1489	27.96	4359.42	4946.42
30.36	88.46	1488.5	29.22	4554.42	5148.51
31.66	88.76	1488	30.48	4749.13	5350.48
32.96	89.04	1487.5	31.74	4943.52	5552.3
34.25	89.29	1487	32.99	5137.6	5753.99
35.54	89.52	1486.5	34.25	5331.37	5955.53
36.83	89.73	1486	35.5	5524.81	6156.92
38.12	89.93	1485.5	36.76	5717.93	6358.16
39.4	90.11	1485	38.01	5910.73	6559.24

แจ้งเตือน: จดเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว !!!

รูปที่ 5.13 จดเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายลงฐานข้อมูล

การเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลของแคตาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งการใช้งานโปรแกรมในส่วนนี้สามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก จ

5.6 สรุป

การเลือกซื้อมอเตอร์จากแคตาล็อกของบริษัทผู้ผลิต โดยคำนึงถึงการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยวิธีการนี้จะเป็นวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากแคตาล็อกของบริษัทผู้ผลิตโดยใช้หลักการนำข้อมูลจากแคตาล็อกมอเตอร์ เช่น แรงดันไฟฟ้า ความถี่ จำนวนขั้วกระแสไฟฟ้า เพาเวอร์แฟกเตอร์ พิกัดกำลังไฟฟ้า ความเร็วพิกัด แรงบิดสูงสุด ประสิทธิภาพที่ 75% และ 100% ร่วมกับหลักการของจินตนิมิตอัลกอริทึม โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำไปประเมินค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลที่ได้รวมค่าพารามิเตอร์ Stray Load Loss เข้าไปในวงจรสมมูลเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำดีขึ้นและจะสามารถหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้จากวงจรสมมูลนี้ ซึ่งข้อได้เปรียบของวิธีการนี้ก็คือว่ามันเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก เพราะไม่จำเป็นต้องนำมอเตอร์ไปทดสอบและสามารถทำนายสมรรถนะของมอเตอร์ได้ทุกสภาวะ โหลดที่ไม่ได้ระบุไว้ในแคตาล็อก ซึ่งผลการทำนายประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแคตาล็อกปรากฏว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความผิดพลาดไม่เกิน 1%

ในการใช้งานในส่วนของวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคตาล็อกนี้ เพื่อความสะดวกแก่การใช้งานจึงได้จัดทำออกมาในรูปแบบของโปรแกรม Visual Basic 6 (VB6) ซึ่งข้อดีของโปรแกรมนี้จะเป็นแบบ Graphic User Interface ก็คือโปรแกรมนี้จะสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจการใช้งานโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานต้องการที่จะทราบค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ ณ สภาวะโหลดที่ไม่ได้ระบุไว้ในแคตาล็อกก็จะสามารถทำได้อย่างง่ายด้วยการนำข้อมูลที่ใช้ในการทำนายจากแคตาล็อกไปกรอกลงในโปรแกรม โปรแกรมก็จะทำการคำนวณค่าที่ต้องการออกมาให้ผู้ใช้งานทราบได้ทันที

บทที่ 6

โปรแกรมการพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส สำหรับการจัดการพลังงาน

6.1 บทนำ

โปรแกรมการจัดการพลังงานนี้เป็นโปรแกรมที่สามารถนำมาช่วยในการตัดสินใจทั้งในเรื่องของการเลือกมอเตอร์ใหม่มาทำการเปลี่ยนทดแทนกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ หรือ ช่วยตัดสินใจในการเลือกระหว่างมอเตอร์ใหม่ที่จะเข้ามาติดตั้งใช้งานในระบบ โดยโปรแกรมนี้อาจทำการคำนวณในเรื่องของการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานของมอเตอร์ตลอดอายุการใช้งานซึ่งในการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานให้ได้ค่าความถูกต้องแม่นยำที่สุดนั้นจะต้องใช้ หลักการของค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าดอกเบี้ย ค่าเงินเฟ้อ ค่าภาษี และ ค่าเสื่อมราคาโดยประโยชน์ของโปรแกรมนี้อาจช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ หรือทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำ

6.2 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

6.2.1 หลักการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากโดยพลังงานส่วนใหญ่จะนำไปจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเนื่องจากมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาถูกและมีความทนทานสูง ดังนั้นถ้าพิจารณาถึงการจัดการพลังงานโดยการนำมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง (EFF1 class : high efficiency, EFF2 class : energy efficiency) [12] มาทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เดิมที่ใช้งานอยู่ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่านั้น (ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานสามารถหาได้จากโปรแกรมซึ่งอธิบายไปแล้วในหัวข้อ 4.5) จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานที่ใช้จะสามารถประหยัดลงได้ ดังนั้นถ้าพิจารณาแบบง่ายๆโดยการซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาเปลี่ยนทดแทนก็เป็นอันเสร็จสิ้นแต่เมื่อทำการพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่ายังมีปัจจัยอื่นๆอีกที่มีส่วนสำคัญกับการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ได้แก่ ค่าดอกเบี้ย ค่าเงินเฟ้อ ค่าภาษี และ ค่าเสื่อมราคา และระยะเวลาการใช้งาน ซึ่งผู้รับผิดชอบในการตัดสินใจในการเลือกซื้อมอเตอร์จะต้องนำปัจจัยต่างๆเหล่านี้มาเป็นข้อพิจารณาเพิ่มเข้าไปด้วย เพื่อที่จะทำให้การตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6.2.2 ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

6.2.2.1 ราคามอเตอร์และส่วนลดในการซื้อมอเตอร์

ในการที่จะซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งานนั้นจะเห็นได้ว่าราคาของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีราคาแพงมากซึ่งในตอนนี้ผู้จัดซื้อจะต้องพิจารณาให้ถี่ถ้วนว่า ถ้าทำการเปลี่ยนมอเตอร์ที่ประสิทธิภาพสูงเข้ามาใช้งานแทนมอเตอร์ตัวเดิมแล้วปรากฏว่ามีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลดลงกว่าการใช้มอเตอร์ตัวเดิมตลอดอายุการใช้งาน (ซึ่งก็คือการประหยัดค่าไฟฟ้านั่นเอง) แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาตอนที่ซื้อมอเตอร์แล้วปรากฏว่า

กรณีที่ 1 ค่าใช้จ่ายในการซื้อมอเตอร์ใหม่สูงกว่าค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในช่วงอายุการใช้งานที่กำหนด ดังนั้นในกรณีนี้ก็ไม่ควรที่จะทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามถ้าเวลาการใช้งานมอเตอร์มากขึ้นก็อาจจะคุ้มทุนได้

กรณีที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการซื้อมอเตอร์ใหม่ต่ำกว่าค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในช่วงอายุการใช้งานที่กำหนด ดังนั้นในกรณีนี้ก็ควรที่จะทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ และถ้าการใช้งานมอเตอร์มากขึ้นก็จะทำให้ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้มากขึ้นด้วย

ประโยชน์ของการใช้โปรแกรมในส่วนนี้ก็คือสามารถที่จะปรับราคาของมอเตอร์ได้โดยโปรแกรมจะสามารถให้ผู้ที่ใช้โปรแกรมกรอกข้อมูลในช่องส่วนลดในการซื้อมอเตอร์ได้ซึ่งข้อมูลที่กรอกนี้จะขึ้นอยู่กับการเจรจาระหว่างฝ่ายจัดซื้อกับฝ่ายขายมอเตอร์ว่าสามารถที่จะให้ส่วนลดได้มากน้อยเท่าไร ซึ่งการปรับลดในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สำคัญในการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ได้เป็นอย่างมาก

6.2.2.2 เวลาการใช้งานมอเตอร์และอายุการใช้งานมอเตอร์

เวลาการใช้งานมอเตอร์ก็คือเวลาขณะมอเตอร์ทำงาน(ชั่วโมงต่อปี)คูณกับจำนวนอายุการใช้งานมอเตอร์(ปี)โดยเวลาการใช้งานมอเตอร์จะส่งผลอย่างมากในการพิจารณาตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เนื่องจาก

กรณีที่ 1 ถ้ามอเตอร์มีจำนวนชั่วโมงการทำงานมากก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประหยัดมากขึ้นจึงทำให้เกิดการคืนทุนได้เร็ว

กรณีที่ 2 ถ้ามอเตอร์มีจำนวนชั่วโมงการทำงานน้อยก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประหยัดได้น้อยก็จะทำให้เกิดการคืนทุนได้ช้า

ประโยชน์ของโปรแกรมในส่วนนี้ก็คือสามารถที่จะทำการปรับเปลี่ยนในเรื่องของจำนวนชั่วโมงขณะมอเตอร์ทำงาน(ชั่วโมงต่อปี)หรือจำนวนอายุการใช้งานมอเตอร์(ปี)ได้ ซึ่งสามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว สะดวกต่อการพิจารณาในการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

6.2.2.3 อัตราดอกเบี้ย (อัตราผลตอบแทน)

ในการกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ยนี้จะเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อการพิจารณาในการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เป็นอย่างไรเพราะจะเกี่ยวข้องกับค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งสามารถดูรายละเอียดของหลักการนี้ได้ในภาคผนวก ค ดังนั้นเพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการกำหนดค่าอัตราดอกเบี้ยจึงขอยกตัวอย่างที่ 6.1 มาอธิบายให้ผู้ใช้งานเกิดความเข้าใจดังนี้

ตัวอย่างที่ 6.1 สมมติว่ามีเงินอยู่ 30,000 บาท ควรจะนำเงินไปลงทุนกับโครงการใดใน 2 โครงการนี้ จึงจะเกิดความคุ้มค่ามากที่สุดในระยะเวลา 10 ปี

โครงการที่ 1 นำเงินจำนวนนี้ไปฝากธนาคารเป็นระยะเวลา 10 ปี ในอัตราดอกเบี้ย 20 %

โครงการที่ 2 นำเงินจำนวนนี้ไปลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่ ซึ่งการลงทุนนี้จะทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละปีขึ้นมาตลอดระยะเวลา 10 ปี

วิเคราะห์โครงการที่ 1 ไม่ต้องทำการวิเคราะห์เนื่องจากทราบอยู่แล้วว่าได้ดอกเบี้ย 20 %

วิเคราะห์โครงการที่ 2 ในโครงการที่ 2 นี้จะต้องทำการวิเคราะห์ว่าในแต่ละปี เมื่อใช้งานมอเตอร์ใหม่แล้วจะสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้เป็นเงินเท่าไรในแต่ละปี และจะต้องนำเงินในแต่ละปีนี้ไปทำการคำนวณเทียบเป็นค่าของเงินในปัจจุบันซึ่งในการเทียบนี้จะใช้อัตราดอกเบี้ย (อัตราผลตอบแทน) เท่ากับ 20% แล้วจึงนำเงินในส่วนนี้มาทำการหักลบกับเงินทุน 30,000 บาท ถ้าผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่า

กรณีที่ 1 ค่าที่ได้เท่ากับ 0 แสดงว่าการลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่จะเกิดผลกำไร(ดอกเบี้ย)เท่ากับ 20% ดังนั้นในกรณีนี้ผู้ลงทุนจะทำการเลือกลงทุนกับโครงการใดใน 2 โครงการนี้ก็

กรณีที่ 2 ค่าที่ได้น้อยกว่า 0 แสดงว่าการลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่จะเกิดผลกำไร(ดอกเบี้ย)น้อยกว่า 20% ดังนั้นในกรณีนี้ผู้ลงทุนควรจะทำการเลือกลงทุนกับโครงการที่ 1 จะให้ผลกำไรคุ้มค่ากว่าการลงทุนกับโครงการที่ 2

กรณีที่ 3 ค่าที่ได้มากกว่า 0 แสดงว่าการลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่จะเกิดผลกำไร(ดอกเบี้ย)มากกว่า 20% ดังนั้นในกรณีนี้ผู้ลงทุนควรจะทำการเลือกลงทุนกับโครงการที่ 2 จะให้ผลกำไรคุ้มค่ากว่าการลงทุนกับโครงการที่ 1

จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าการกรอกข้อมูลในส่วนของอัตราดอกเบี้ย (อัตราผลตอบแทน) นั้นก็คืออัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการลงทุนนั่นเอง

6.2.2.4 อัตราเงินเฟ้อ

ในการกรอกข้อมูลที่ช่องอัตราเงินเฟ้อของ โปรแกรม ข้อมูลนี้ผู้ใช้งานจะต้องทำการคาดคะเนเอาเองเพราะว่าค่าเงินเฟ้อนี้จะเกี่ยวข้องกับค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งสามารถดูรายละเอียดของหลักการนี้ได้ในภาคผนวก ค ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับความเป็นจริง ผู้ใช้งานจะต้องติดตามสถานการณ์เศรษฐกิจบ้านเมืองจึงจะสามารถกรอกข้อมูลในส่วนนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

6.2.2.5 ค่าเสื่อมราคาและมูลค่าซาก

ในเรื่องของวิธีการคิดค่าเสื่อมราคานี้โปรแกรมสามารถที่จะให้ผู้ใช้งานเลือกได้ 2 วิธีคือวิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง และการคิดค่าเสื่อมราคาแบบผลรวมจำนวนปี ซึ่งสามารถดูรายละเอียดของการคิดค่าเสื่อมราคานี้ได้ในภาคผนวก ค ส่วนในเรื่องของมูลค่าซากนี้จะเป็นราคามอเตอร์เมื่อมอเตอร์สิ้นอายุการใช้งานนั่นเอง

6.2.2.6 อัตราภาษี

การกรอกข้อมูลในส่วนนี้แล้วแต่กรมสรรพากรจะเป็นผู้กำหนดว่าค่าภาษีในขณะนั้นมีค่าเท่าไร ส่วนหลักการเกี่ยวกับค่าภาษีนี้ผู้ใช้งานสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค

6.2.2.7 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft นี้จะเป็นค่าที่ผู้ใช้งานจะต้องคาดคะเนเอาเอง ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับความเป็นจริง ผู้ใช้งานจะต้องติดตามสถานการณ์เศรษฐกิจบ้านเมืองจึงจะสามารถกรอกข้อมูลในส่วนนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

6.2.3 อธิบายการใช้งานโปรแกรมในส่วนของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ในหัวข้อนี้จะทำการอธิบายการใช้งานโปรแกรมพร้อมยกตัวอย่างการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ โดยตัวอย่างที่จะนำเสนอจะทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ในระบบ 1 ตัวกับมอเตอร์ใหม่ที่จะนำมาเปลี่ยนทดแทนจำนวน 3 ตัว ซึ่งข้อมูลของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้จะมีข้อมูลดังตารางที่ 6.1 ค่าประสิทธิภาพ แรงบิดของมอเตอร์ใหม่ทั้งสามนั้นจะได้อาจการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกซึ่งได้อธิบายการใช้งานไว้แล้วในบทที่ 5

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

	มอเตอร์ที่ใช้งาน	มอเตอร์ใหม่1	มอเตอร์ใหม่2	มอเตอร์ใหม่3
โรงงาน	อ้อย	-	-	-
แผนก	ส่งออก	-	-	-
รายผลิต	20	-	-	-
ยี่ห้อมอเตอร์	Mitsubishi	SIEMENS	AEG	SIEMENS
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)	5.5	5.5	5.5	7.5*
พิกัดแรงดัน(โวลต์)	400	400	400	400
พิกัดกระแส(แอมป์)	11.6	10.6	11.6	14.3
ความถี่(เฮิร์ต)	50	50	50	50
ขั้ว	4	4	4	4
ความเร็วพิกัด(rpm)	1430	1455	1440	1455
%โหลดใช้งาน	84.73	84.73	84.73	62.13
กำลังเอาท์พุท(กิโลวัตต์)	4.66	4.704	4.72	4.704
แรงบิด(นิวตัน-เมตร)	30.9	30.73	31.12	30.5
ประสิทธิภาพ(%)	82.92	89.42	86.07	90.37
ราคามอเตอร์(บาท)	-	33800	27000	43200
ส่วนลด(%)	-	20	0	20
Efficiency Rating	-	EFF1	EFF2	EFF1

หมายเหตุ * เป็นมอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดสูงกว่าการใช้งาน

สังเกตจากข้อมูลของมอเตอร์ใหม่ทั้งสามตัวนี้จะมีปัจจัยที่มีผลกับการตัดสินใจไม่เหมือนกัน เช่น ประสิทธิภาพ ราคา พิกัด ฯลฯ (แต่การนำไปใช้งานจะนำไปใช้งานที่พิกัดกำลังเดียวกัน) จึงทำให้การตัดสินใจในการเลือกมอเตอร์นั้นเป็นไปได้ยากและขาดความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นประโยชน์ของโปรแกรมนี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถหาประสิทธิภาพมอเตอร์เพื่อนำมาทำการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนที่ 1.

ที่หน้าจอหลักของโปรแกรมดังรูปที่ 6.1 ให้ทำการกดปุ่มการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์แล้วจะปรากฏหน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ขึ้นมาดังรูปที่ 6.2 ให้ทำการกดปุ่มเลือกมอเตอร์ (หมายเลข 1) แล้วจะปรากฏหน้าจอฐานข้อมูลมอเตอร์ที่ได้ทำการหาประสิทธิภาพขณะใช้งานขึ้นมา แล้วให้ทำการ

เลือกมอเตอร์ที่ต้องการ (หมายเลข 2) จะนำมาเปลี่ยนทดแทน เมื่อทำการเลือกเสร็จแล้วให้กดปุ่มตกลง ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.1 หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน

รูปที่ 6.2 หน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

รายงานข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง

รายละเอียดมอเตอร์
 โรงงาน รายนัด
 แขนง ติดตั้งปี
 วันที่ทำการวัด

ป้ายติดมอเตอร์
 บริษัทผู้ผลิต
 หมายเลขมอเตอร์
 หมายเลขโคดมอเตอร์
 มาตรฐานการออกแบบ
 พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)
 ทิศกระแส
 พิกัดกระแส (แอมป์) ความถี่
 ตัวประกอบกำลัง (%) ขั้ว
 ความเร็ว (รอบ/นาที) ชนิดของขนาด
 แผงควบคุม ชนิดหรือรุ่น

ข้อมูลจากการวัด
 การต่อขดลวด และ Ohm Ohm Ohm b c
 ความเร็วขณะใช้งาน (รอบ/นาที)
 การประมาณประสิทธิภาพมอเตอร์
 กำลังเอาต์พุต (กิโลวัตต์) แรงบิดขณะใช้งาน (นิวตัน-เมตร)
 มอเตอร์ทำงานเปอร์เซ็นต์โหลดที่ ประสิทธิภาพขณะทำงาน (%)

Motor In Field No	Factory Field	Disc Field	Line Process
MF10005	กษ	ข	44
MF10007	ข	วังม	12
MF10009	วังม	วังม	18
MF10010	วังม	วังม	18
MF10011	วังม	วังม	20
MF10012	วังม	วังม	33
MF10013	วังม	วังม	20

Frame 7

รูปที่ 6.3 หน้าจอฐานข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริง

ขั้นตอนที่ 2.

ตอนนี้หน้าจอจะกลับมาที่หน้าการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์อีกครั้งแต่คราวนี้ให้ผู้ใช้งานทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ (หมายเลข 3) ดังรูปที่ 6.4 เมื่อผู้ใช้งานทำการกดปุ่มเลือกมอเตอร์แล้วหน้าจอเลือกมอเตอร์ใหม่เพื่อทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์จะปรากฏดังรูปที่ 6.5

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

คุณลักษณะมอเตอร์ มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

บริษัทผู้ผลิต หมายเลขมอเตอร์
 พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์) ความถี่
 ความเร็วขณะใช้งาน (รอบ/นาที) จำนวนขั้ว
 แรงดันพิกัด (โวลต์) โหลด (%)
 กระแสขั้ว ประสิทธิภาพ (%)

เลือกมอเตอร์

คุณลักษณะมอเตอร์ มอเตอร์ใหม่

บริษัทผู้ผลิต หมายเลขมอเตอร์
 พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์) ความถี่
 ความเร็วขณะใช้งาน (รอบ/นาที) จำนวนขั้ว
 แรงดันพิกัด (โวลต์) โหลด (%)
 กระแสขั้ว ประสิทธิภาพ (%)

เลือกมอเตอร์

รูปที่ 6.4 หน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เมื่อเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

เลือกมอเตอร์ใหม่เพื่อเปลี่ยนทด

มอเตอร์ใหม่ที่ต้องการนำมาเปลี่ยน

เลือกใช้ข้อมูล

แคทาล็อกที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูล

แคทาล็อกที่ไม่ได้อยู่ในระบบฐานข้อมูล

คุณลักษณะมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
Mitsubishi	โมระบบ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1440	4
แรงดันเฟส (โวลต์)	โหลด (%)
400	84.73
กระแสเบสท์	ประสิทธิภาพ
10.44	82.92

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

มอเตอร์ใหม่

บริษัทผู้ผลิต: siemens พิกัดแรงดัน (โวลต์): 400

พิกัดมอเตอร์ (กิโลวัตต์): 5.5 ความเร็วเชิงโคโรนา (รอบ/นาที): 1500

Efficiency Rating: EFF1

ความถี่: 50 ขั้ว: 4

4

โซฟิต

ค้นหา

บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขประสิทธิภาพ	พิกัดแรงดัน	พิกัดกำลัง	ประสิทธิภาพ 100%	ประสิทธิภาพ 75%
siemens	EFF1	400	5.5	89.5	89.5

5 กดปุ่มต่อเนื่อง 2 ครั้ง

← | →

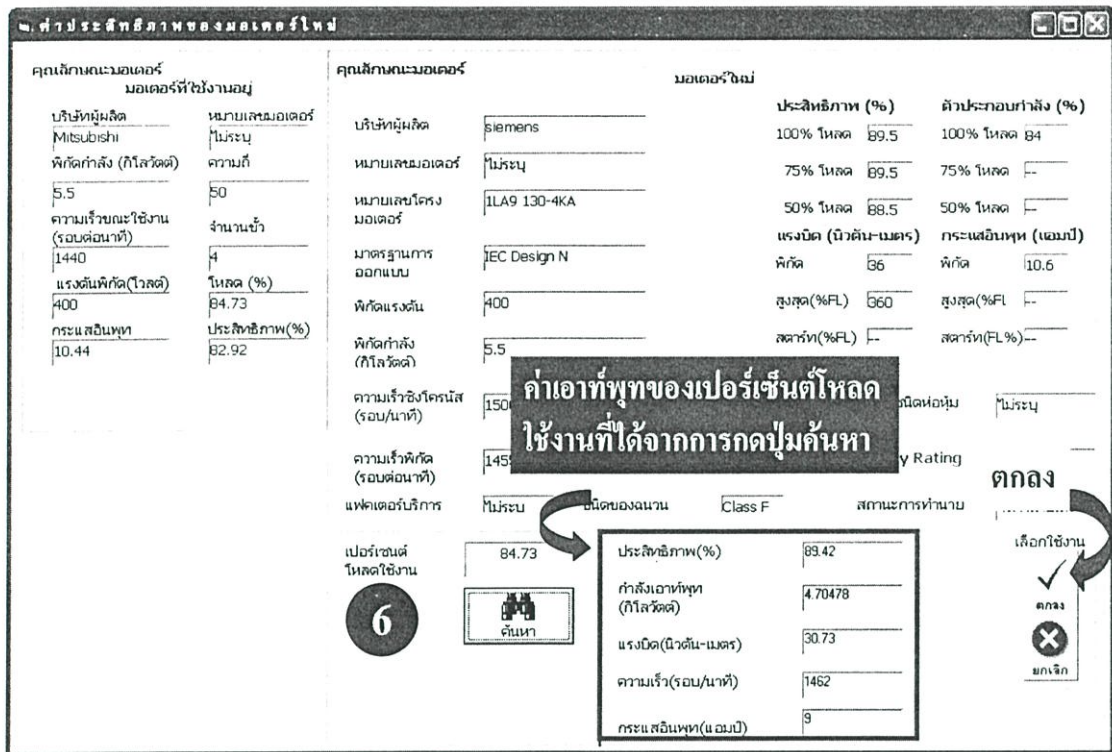
← | → เร็วสุด

รูปที่ 6.5 หน้าจอเลือกมอเตอร์ใหม่เพื่อทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือกมอเตอร์ใหม่ที่จะนำมาเปลี่ยนทดแทนได้จาก

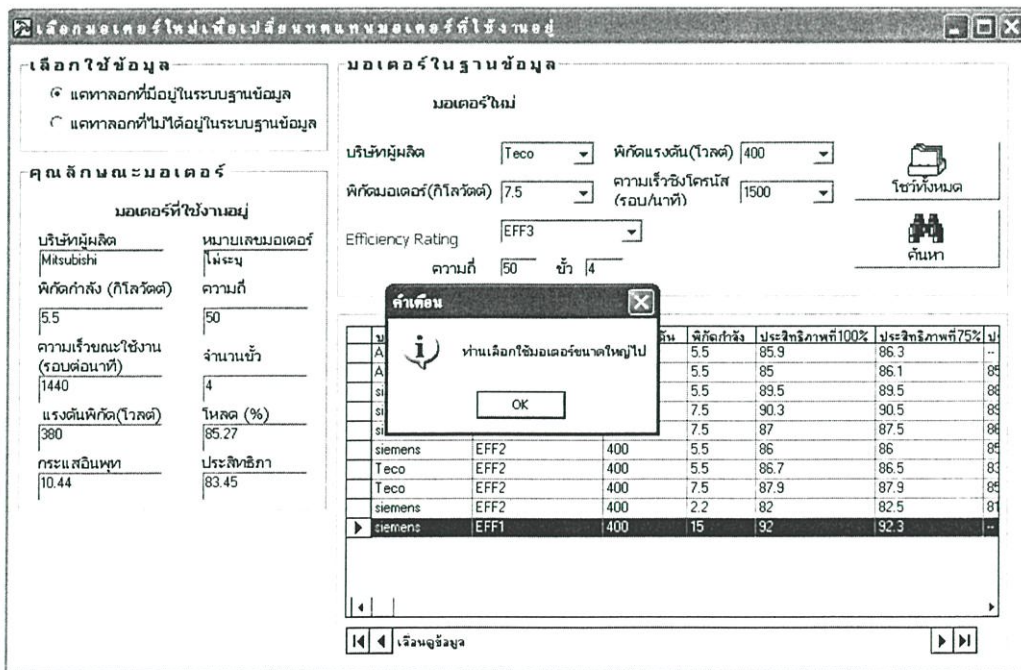
กรณีที่ 1 ทำการเลือกใช้แคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล (ข้อมูลจากฐานข้อมูลในส่วนนี้จะผ่านการทำนายประสิทธิภาพมาแล้วทั้งสิ้น) ผู้ใช้งานก็จะสามารถทำการค้นหา (หมายเลข 4) มอเตอร์ที่จะนำมาเปลี่ยนทดแทนได้โดยทำการกดปุ่มค้นหาแล้วทำการกดปุ่มต่อเนื่อง 2 ครั้ง (หมายเลข 5) ที่มอเตอร์ที่ต้องการ (มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1) แล้วหน้าจอค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่จะปรากฏในหน้าจอนี้เมื่อทำการกดปุ่มค้นหา (หมายเลข 6) โปรแกรมจะทำการค้นหาค่าเอาต์พุตต่างๆของมอเตอร์ใหม่ ณ พิกัดกำลังเท่ากับกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ดังรูปที่ 6.6

กรณีที่ 2 มีขั้นตอนการใช้งานเหมือนกับหัวข้อที่ 5.6 เริ่มต้นใช้งานโปรแกรมขั้นตอนที่ 3 ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องทำการกรอกข้อมูลจากแคทาลอกมอเตอร์ที่ต้องการจะใช้ในการเปลี่ยนทดแทนซึ่งยังไม่ได้ใส่ไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรมลงไปแล้วจึงให้โปรแกรมทำนายค่าเอาต์พุต ณ สภาวะโหลดต่างๆออกมาแล้วหน้าจอค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่จะปรากฏ ในหน้าจอนี้เมื่อทำการกดปุ่มค้นหาโปรแกรมจะทำการค้นหาค่าเอาต์พุตต่างๆของมอเตอร์ใหม่ ณ พิกัดกำลังเท่ากับกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ เสร็จแล้วให้กดปุ่มตกลงดังรูปที่ 6.6

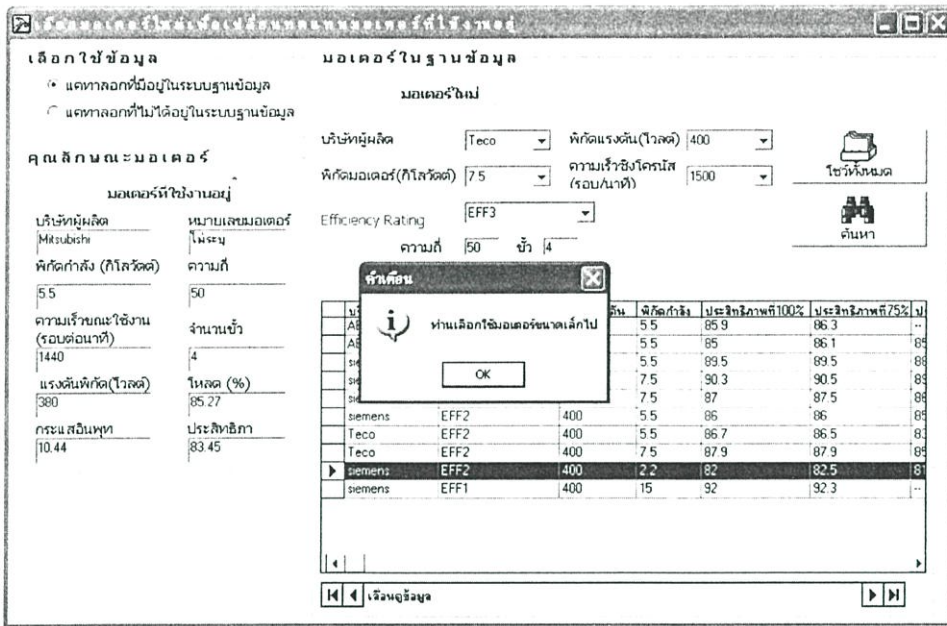


รูปที่ 6.6 หน้าจอค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่

หมายเหตุ ในการเลือกมอเตอร์ใหม่นั้นทางโปรแกรมจะตรวจสอบด้วยว่ามอเตอร์ใหม่ที่น่ามาเปลี่ยนกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่นั้นมีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไปด้วยดังรูปที่ 6.7 และดังรูปที่ 6.8



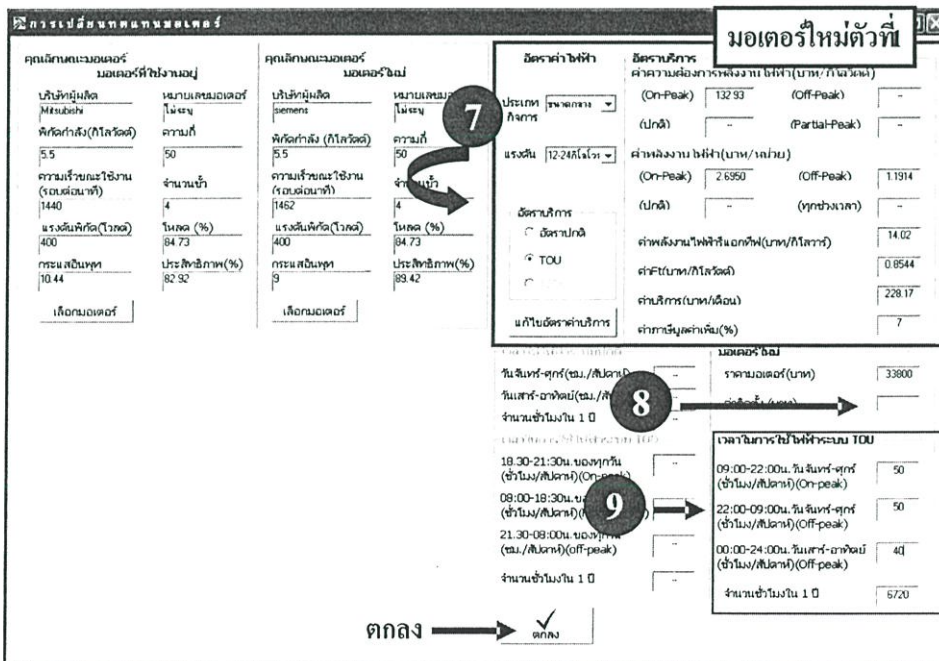
รูปที่ 6.7 หน้าจอแสดงคำเตือนเมื่อเลือกมอเตอร์ขนาดใหญ่เกินไป



รูปที่ 6.8 หน้าจอแสดงคำเตือนเมื่อเลือกมอเตอร์ขนาดเล็กเกินไป

ขั้นตอนที่ 3.

เมื่อทำการเลือกมอเตอร์เสร็จแล้วจะกลับมาที่หน้าการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์อีกครั้ง แล้วให้ผู้ใช้งานเลือกอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้งาน (หมายเลข 7) ต่อมาให้ทำการกรอกค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมอเตอร์ลงไป (หมายเลข 8) และกรอกเวลาในการใช้งานมอเตอร์ลงไป (หมายเลข 9) เมื่อทำการกรอกข้อมูลเสร็จแล้วให้ทำการกดปุ่มตกลง ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 เลือกและกรอกข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าและเวลาการทำงานที่ใช้ของมอเตอร์ตัวที่ 1

แล้วผลการคำนวณการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจะแสดงออกมาและถ้าต้องการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานมอเตอร์ก็ให้ทำการกดปุ่มวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน ดังรูปที่ 6.10 ซึ่งการคำนวณในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณที่เท่ากันในแต่ละปี (Annual Saving) เพราะการคำนวณในส่วนนี้ยังไม่ได้รวมปัจจัยที่มีส่วนสำคัญกับการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ในระยะยาวลงไป โดยการคำนวณในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณที่อาศัยหลักการที่ว่าในแต่ละปีจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เท่ากันซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะประหยัดได้ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าของเงินจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นการคำนวณในส่วนนี้ผู้พิจารณาจะนำมาใช้ในการตัดสินใจไม่ได้ ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะพิจารณาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นผู้ใช้งานจะต้องทำการกดปุ่มวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน (หมายเลข 10)

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

บริษัทผู้ผลิต	ยี่ห้อมอเตอร์
ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1440	4
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	โหลด (%)
400	84.73
กระแสไฟฟ้า	ประสิทธิภาพ (%)
10.44	82.32

มอเตอร์ใหม่

บริษัทผู้ผลิต	ยี่ห้อมอเตอร์
semone	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1462	4
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	โหลด (%)
400	84.73
กระแสไฟฟ้า	ประสิทธิภาพ (%)
9	83.42

อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทกิจการ:

แรงดัน:

อัตราบริการ

อัตราบริการ: อัตราปกติ

TOU

...

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ค่าความถี่ (บาท/กิโลวัตต์)

(On-Peak)	132.93	(Off-Peak)	--
(ปกติ)	--	(Partial-Peak)	--

ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)

(On-Peak)	2.6950	(Off-Peak)	1.1914
(ปกติ)	--	(ทุกช่วงเวลา)	--

ค่าพลังงานไฟฟ้าแยกตัว (บาท/กิโลวัตต์): 14.02

ค่า F (บาท/กิโลวัตต์): 0.8544

ค่าบริการ (บาท/เดือน): 228.17

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (%): 7

การประหยัดพลังงาน

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่		มอเตอร์ใหม่	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	37766.77	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	35021.48
ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	104372.1	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	96795.22
ประหยัดพลังงานได้		ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	
พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	2745.29	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวม (บาท/ปี)	7586.88
		ระยะเวลาที่คืนทุนโดยประมาณ (ปี)	4.46

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ราคามอเตอร์รวม (บาท)	33800
วันจันทร์-ศุกร์ (ชม./สัปดาห์)	--
วันเสาร์-อาทิตย์ (ชม./สัปดาห์)	--
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	0
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	0

เวลาในการใช้ไฟฟ้าระบบ TOU

18:30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์) (On-peak)	--
09:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Partial-peak)	--
21:30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์) (off-peak)	--
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	--
09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (On-peak)	50
22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Off-peak)	50
00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Off-peak)	40
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720

วิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน (10)

รูปที่ 6.10 ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 ทำการเปลี่ยนทดแทน

ขั้นตอนที่ 4.

เมื่อหน้าจอวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานปรากฏ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลต่างๆ ลงไปได้ ดังรูป 6.11 โดยข้อมูลที่กรอกลงไปนี้จะเป็ข้อมูลที่มีส่วนสำคัญที่มีผลต่อการพิจารณาตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ทั้งสิ้นซึ่งผู้ใช้งานสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆเหล่านี้ได้จากหัวข้อ 6.2.2 เมื่อทำการกรอกข้อมูลลงไปครบแล้วก็กดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและให้ผลลัพธ์ออกมาดังรูป 6.12

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ค่าใช้จ่ายในการซื้อมอเตอร์ใหม่

ราคามอเตอร์ (บาท) 33900
 ราคาค่าติดตั้ง (บาท) 0
 ส่วนลดมอเตอร์ (%) 21
 ราคามอเตอร์รวม (บาท) 27040

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ
 ปีแรกในการดำเนินการ 2007
 อายุที่คาดว่าจะใช้งาน (ปี) 10
 ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา (ปี) 10
 มูลค่าซาก (บาท) 0
 อัตราผลตอบแทน (%) 10
 อัตราภาษี (%) 7
 อัตราเงินเฟ้อ (%) 6.2
 วิธีคำนวณราคา เงินตรง

แผนการใช้ไฟฟ้ารายปี

วันจันทร์-ศุกร์ (ชม./สัปดาห์) --
 วันเสาร์-อาทิตย์ (ชม./สัปดาห์) --
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี --

แผนการใช้ไฟฟ้ารายสัปดาห์ TOU

18.30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์) (On-peak) --
 08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Partial-peak) --
 21.30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์) (off-peak) --
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี --
 เวลาในการใช้ไฟฟ้าระบบ TOU

09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (On-peak) 50
 22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Off-peak) 50
 00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Off-peak) 40
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี 6720

การเปลี่ยนแปลงเทคนิคมอเตอร์

พิกัดมอเตอร์ 5.5 พิกัดมอเตอร์ 5.5
 กำลังที่ใช้กับโหลด (กิโลวัตต์) 4.66 กำลังที่ใช้กับโหลด (กิโลวัตต์) 4.66
 ประสิทธิภาพมอเตอร์ตัวเดิม 82.92 ประสิทธิภาพมอเตอร์ตัวใหม่ 89.42
 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) 37756.77 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) 35021.48
 ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี) 104372.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี) 96785.22

กรอกข้อมูล

ค่า Ft (บาท/กิโลวัตต์) 0.8544 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft (%) 30
 ค่าบริการ 228.17
 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7

ปี	ลงทุนซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้	ค่าเสื่อม	กำไรหลังหัก	กำไรหลังหัก	กำไรหลังหัก
2007	27040	7587	2704	-19795	-19795	-19795
2008	0	8340	2704	7945	6801	-12934
2009	0	9319	2704	8856	6489	6505
2010	0	10592	2704	10040	6298	-207
2011	0	12245	2704	11577	6216	6009
2012	0	14396	2704	13578	6241	12250
2013	0	17191	2704	16177	6365	18615
2014	0	20825	2704	19557	6587	25202

บันทึกข้อมูลและจัดเรียงมอเตอร์ใหม่ บันทึกข้อมูลและสรุป

รูปที่ 6.11 การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 มาทำการทดแทน

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ค่าใช้จ่ายในการซื้อมอเตอร์ใหม่

ราคามอเตอร์ (บาท) 33900
 ราคาค่าติดตั้ง (บาท) 0
 ส่วนลดมอเตอร์ (%) 20
 ราคามอเตอร์รวม (บาท) 27040

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ
 ปีแรกในการดำเนินการ 2007
 อายุที่คาดว่าจะใช้งาน (ปี) 10
 ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา (ปี) 10
 มูลค่าซาก (บาท) 0
 อัตราผลตอบแทน (%) 10
 อัตราภาษี (%) 7
 อัตราเงินเฟ้อ (%) 6.2
 วิธีคำนวณราคา เงินตรง

แผนการใช้ไฟฟ้ารายปี

วันจันทร์-ศุกร์ (ชม./สัปดาห์) --
 วันเสาร์-อาทิตย์ (ชม./สัปดาห์) --
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี --

แผนการใช้ไฟฟ้ารายสัปดาห์ TOU

18.30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์) (On-peak) --
 08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Partial-peak) --
 21.30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์) (off-peak) --
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี --
 เวลาในการใช้ไฟฟ้าระบบ TOU

09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (On-peak) 50
 22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Off-peak) 50
 00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์) (Off-peak) 40
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี 6720

การเปลี่ยนแปลงเทคนิคมอเตอร์

พิกัดมอเตอร์ 5.5 พิกัดมอเตอร์ 5.5
 กำลังที่ใช้กับโหลด (กิโลวัตต์) 4.66 กำลังที่ใช้กับโหลด (กิโลวัตต์) 4.66
 ประสิทธิภาพมอเตอร์ตัวเดิม 82.92 ประสิทธิภาพมอเตอร์ตัวใหม่ 89.42
 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) 37756.77 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) 35021.48
 ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี) 104372.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี) 96785.22

กรอกข้อมูล

ค่า Ft (บาท/กิโลวัตต์) 0.8544 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft (%) 30
 ค่าบริการ (บาท/เดือน) 228.17
 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7

ผลลัพธ์การคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้

อัตราเงินเฟ้อ (%) 6.2 (ช่วงของสหภาพ (บาท/ปี) (On-peak))
 จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี 6720

ปี	ลงทุนซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้	ค่าเสื่อม	กำไรหลังหัก	กำไรหลังหัก	กำไรหลังหัก
2007	27040	7587	2704	-19795	-19795	-19795
2008	0	8340	2704	7945	6801	-12934
2009	0	9319	2704	8856	6489	6505
2010	0	10592	2704	10040	6298	-207
2011	0	12245	2704	11577	6216	6009
2012	0	14396	2704	13578	6241	12250
2013	0	17191	2704	16177	6365	18615
2014	0	20825	2704	19557	6587	25202

บันทึกข้อมูลและจัดเรียงมอเตอร์ใหม่ บันทึกข้อมูลและสรุป

รูปที่ 6.12 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 มาทำการทดแทน

ตารางที่ 6.2 จะทำการแสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

	มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่	มอเตอร์ใหม่ 1	มอเตอร์ใหม่ 2	มอเตอร์ใหม่ 3
พิกัดมอเตอร์(kw)	5.5	5.5	5.5	7.5*
กำลังขับโหลด(kw)	4.69	4.69	4.69	4.69
ประสิทธิภาพ(%)	82.92	89.42	86.07	90.37
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(Kwh/Y)	37766.77	35244.86	36616.47	34873.43
ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ปี)	104372.1	97402.05	101193.12	96.376.08
อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้	TOU	TOU	TOU	TOU
ค่าUnit (แบบปกติ)	-	-	-	-
ค่าUnit (On-Peak)	2.695	2.695	2.695	2.695
ค่าUnit (Off-Peak)	1.1914	1.1914	1.1914	1.1914
ค่าUnit (ทุกช่วงเวลา)	-	-	-	-
Ft (บาท/กิโลวัตต์)	0.8544	0.8544	0.8544	0.8544
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าFt(%)	30	30	30	30
ค่าบริการ (บาท/เดือน)	228.17	228.17	228.17	228.17
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%)	7	7	7	7
ปีแรกในการดำเนินงาน	-	2007	2007	2007
อายุที่คาดว่าจะใช้งาน	-	10	10	10
ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา	-	10	10	10
มูลค่าซาก	-	0	0	0
อัตราผลตอบแทน	-	10	10	10
อัตราภาษี	-	7	7	7
อัตราเงินเฟ้อ	-	6.2	6.2	6.2
วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา	-	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
จำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อปี	6720	6720	6720	6720
ราคามอเตอร์	-	33800	27000	43200
ค่าติดตั้ง	-	0	0	0
ส่วนลด(%)	-	20	0	20
ราคารวมมอเตอร์	-	27040	27000	34560

หมายเหตุ * เป็นมอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดสูงกว่ามอเตอร์ที่ใช้งาน

ตารางที่ 6.3 จะแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวที่ 1 มาทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

ตารางที่ 6.3 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 1

ปี	ลงทุน ซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้ ต่อปี	ค่าเสื่อม	กำไรหลัง หักภาษี	กำไรหลังหัก ภาษี(YB)	กำไรหลังหักภาษี สะสม(YB)
2007	-27040	7587	2704	-19795	-19795	-19795
2008	0	8340	2704	7945	6801	-12994
2009	0	9319	2704	8856	6489	-6505
2010	0	10592	2704	10040	6298	-207
2011	0	12245	2704	11577	6216	6009
2012	0	14396	2704	13578	6241	12250
2013	0	17191	2704	16177	6365	18615
2014	0	20825	2704	19557	6587	25202
2015	0	25550	2704	23951	6905	32107
2016	0	31692	2704	29663	7321	39428
สรุป	**ปี2011 กำไร 6,009 บาท ใช้เวลาคืนทุน 5 ปี *ปีสุดท้าย ปี2016 กำไร 39,428 บาท**					

หมายเหตุ YB เป็นค่าของเงินเทียบเท่าที่ปีปัจจุบัน

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

คุณลักษณะมอเตอร์ มอเตอร์ที่ใช้ในงานอยู่

บริษัทผู้ผลิต Mitsubishi
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์) 5.5
ความเร็วขณะใช้งาน(รอบต่อนาที) 1440
แรงดันพิกัด(โวลต์) 400
กระแสต้นเหตุ 10.44
เลือกมอเตอร์

คุณลักษณะมอเตอร์ มอเตอร์ใหม่

บริษัทผู้ผลิต
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)
ความเร็วขณะใช้งาน(รอบต่อนาที)
แรงดันพิกัด(โวลต์)
กระแสต้นเหตุ

หมายเลขมอเตอร์
ความถี่
จำนวนขั้ว
โหลด (%)
ประสิทธิภาพ (%)

เลือกมอเตอร์

12
เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่

อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทกิจการ ผลิตกลาง
แรงดัน 12.24 กิโลโวลต์

อัตราบริการ
 อัตราปกติ
 TOU
 TSD

แก้ไขอัตราค่าบริการ

อัตราค่าบริการ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า(บาท/กิโลวัตต์)

(On-Peak) 132.93 (Off-Peak) --
(ปกติ) -- (Partial-Peak) --

ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย)

(On-Peak) 2.6950 (Off-Peak) 1.1914
(ปกติ) -- (ทุกช่วงเวลา) --

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แยกตัว(บาท/กิโลวัตต์) 14.02
ค่าไฟ(บาท/กิโลวัตต์) 0.8544
ค่าบริการ(บาท/เดือน) 228.17
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%) 7

เวลาใช้ไฟฟ้าแบบปกติ

วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์) --
วันเสาร์-อาทิตย์(ชม./สัปดาห์) --
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี --

เวลาใช้ไฟฟ้าแบบอัตรา TOU

18:30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak) --
08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Partial-peak) --
21:30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์)(off-peak) --
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี --

หมายเหตุอื่น

ราคามอเตอร์(บาท) --
ค่าติดตั้ง (บาท) 0

On-peak ชั่วโมง/สัปดาห์รวม TOU

09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak) 50
22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak) 50
00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak) 40
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี 6720

ตกลง

รูปที่ 6.13 หน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เมื่อเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2

ขั้นตอนที่ 5.

หลังจากได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ 1 มาใช้งานแทนแล้วให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่มบันทึกข้อมูลและทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ (หมายเลข 11) (เมื่อกดปุ่มนี้ทางโปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลและผลลัพธ์การคำนวณของมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 และจะกลับไปทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ต่อไป) เมื่อกดปุ่มแล้วจะปรากฏหน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์อีกครั้งในหน้าจอนี้ให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่มเลือกมอเตอร์ (หมายเลข 12) ดังรูปที่ 6.13 แล้วให้ผู้ใช้งานเลือกมอเตอร์ใหม่ 2 ได้ตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 6.

เมื่อทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ 2 ได้แล้วโปรแกรมจะกลับมาหน้าจอการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์อีกครั้ง ในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องค่าติดตั้งเพียงค่าเดียวเท่านั้น (หมายเลข 13) เนื่องจากในการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ 1, 2 และ 3 นั้น อัตราค่าไฟฟ้าและเวลาการใช้งานนั้นจะต้องมีค่าที่เท่ากันดังรูปที่ 6.14 เสร็จแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่มตกลงแล้วผลการคำนวณการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจะแสดงออกมาและถ้าต้องการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานมอเตอร์ก็ให้ทำการกดปุ่มวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน (หมายเลข 14) ดังรูปที่ 6.15

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2

คุณเลือกมอเตอร์: มอเตอร์ใช้งานอยู่

บริษัทผู้ผลิต: Mitsubisi	หมายเลขมอเตอร์: ไม่ระบุ	บริษัทผู้ผลิต: AEG	หมายเลขมอเตอร์: ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 5.5	ความถี่: 50	พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์): 5.5	ความถี่: 50
ความเร็วขณะใช้งาน (รอบต่อนาที): 1440	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์): 400	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์): 400	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์): 400
กระแสไฟฟ้า (แอมป์): 10.44	ประสิทธิภาพ (%): 82.92	ประสิทธิภาพ (%): 84.73	ประสิทธิภาพ (%): 84.73

ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทกิจการ: ผลิตถาวร

แรงดัน: 12-24kV โวลต์

อัตราบริการ: อัตราปกติ TOU ...

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์): (On-Peak) 132.93, (Off-Peak) --, (Partial-Peak) --

ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย): (On-Peak) 2.6950, (Off-Peak) 1.1914, (ทุกช่วงเวลา) --

ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคาร (บาท/กิโลวัตต์): 14.02

ค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์): 0.8544

ค่าบริการ (บาท/เดือน): 228.17

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (%): 7

การคำนวณ

วันจันทร์-ศุกร์ (ชม./สัปดาห์): 27000

วันเสาร์-อาทิตย์ (ชม./สัปดาห์): 0

จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี: 0

จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี: 6720

ตกลง → ตกลง

รูปที่ 6.14 กรอกรวมเวลาการใช้งานและค่าติดตั้งที่ใช้ของมอเตอร์ตัวที่ 2

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

คุณลักษณะมอเตอร์ มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

บริษัทผู้ผลิต Mitsubishi	หมายเลขมอเตอร์ ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)	ความถี่ 50
ความเร็วขณะใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว 4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%) 84.73
กระแสขั้ว	ประสิทธิภาพ(%) 82.92

เลือกมอเตอร์

คุณลักษณะมอเตอร์ มอเตอร์ใหม่

บริษัทผู้ผลิต JAE	หมายเลขมอเตอร์ ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)	ความถี่ 50
ความเร็วขณะใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว 4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%) 84.73
กระแสขั้ว	ประสิทธิภาพ(%) 86.08

เลือกมอเตอร์

การประหยัดพลังงาน

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่		มอเตอร์ใหม่	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	37766.77	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	36380.35
ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	104372.1	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	100540.6
ประหยัดพลังงานได้		ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	
พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	1386.42	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวม(บาท/ปี)	3831.5
		ระยะเวลาที่คืนทุนโดยประมาณ (ปี)	7.05

อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทกิจการ: **อัตราบริการ** (On-Peak) 132.93 (Off-Peak) -- (ปกติ) -- (Partial-Peak) --

แรงดัน: ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย) (On-Peak) 2.6950 (Off-Peak) 1.1914 (ปกติ) -- (ทุกช่วงเวลา) --

อัตราบริการ: อัตราปกติ TOU -- ค่าพลังงานไฟฟ้าแยกทัพ(บาท/กิโลวัตต์) 14.02 ค่าไฟ(บาท/กิโลวัตต์) 0.8544 ค่าบริการ(บาท/เดือน) 228.17 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%) 7

แก้ไขอัตราค่าบริการ

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2

ค่าความถี่ของมอเตอร์ (กิโลวัตต์)

วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์)	--	รวมมอเตอร์(บาท)	27000
วันเสาร์-อาทิตย์(ชม./สัปดาห์)	--	ค่าติดตั้ง (บาท)	0
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	--		

ช่วงเวลาของมอเตอร์ (กิโลวัตต์)

18.30-21.30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)	--	09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)	50
08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Partial-peak)	--	22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak)	50
21.30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์)(off-peak)	--	00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak)	40
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	--	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720

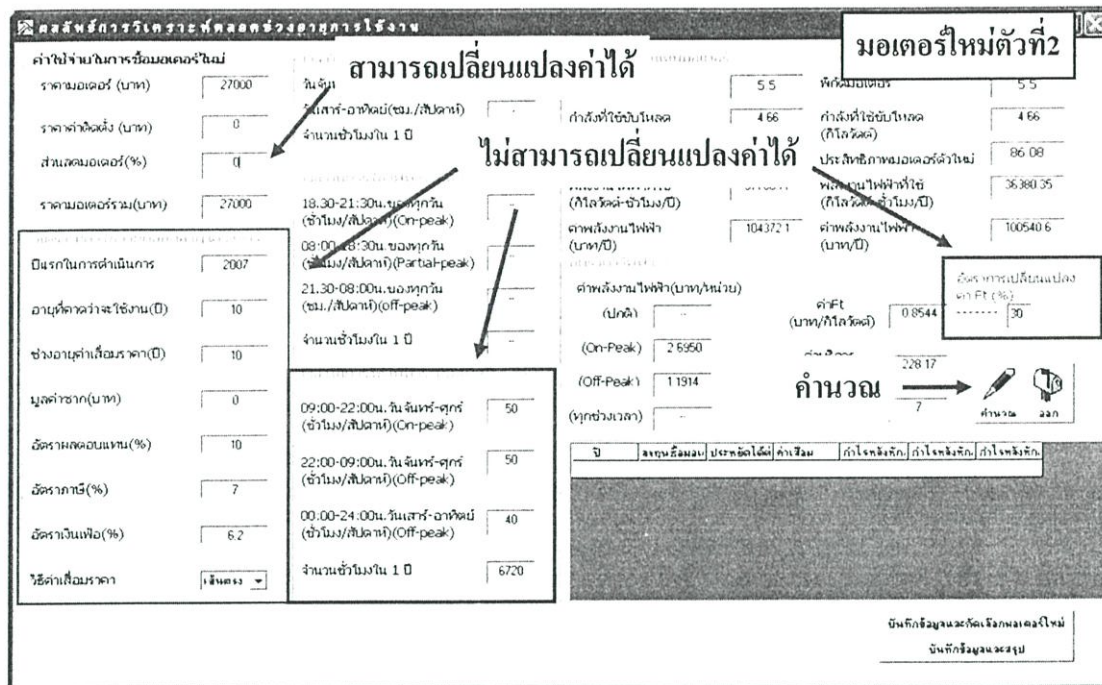
ตกลง

รูปที่ 6.15 ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ทำการเปลี่ยนทดแทน

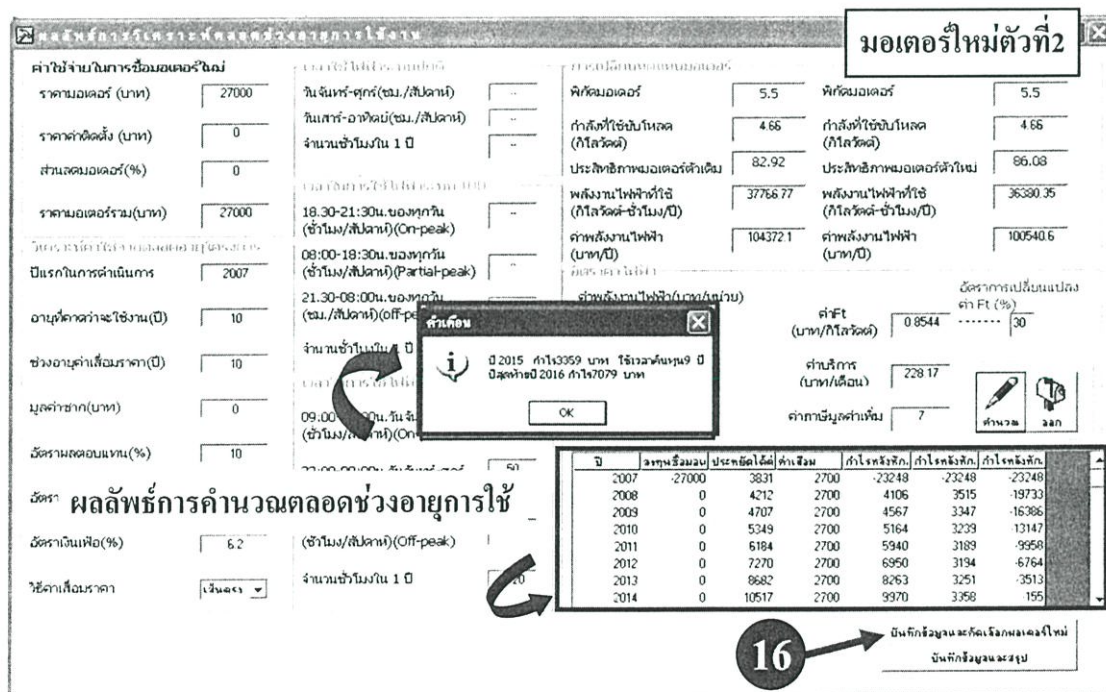
ขั้นตอนที่ 7

เมื่อหน้าจอผลลัพธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานปรากฏที่หน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องส่วนลดมอเตอร์เท่านั้นส่วนช่องต่างๆที่เหลือผู้ใช้งานจะไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากในการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ 1, 2 และ 3 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณานั้นจะต้องมีค่าเท่ากันถึงจะเปรียบเทียบกันได้ดังรูป 6.16 เสร็จแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและให้ผลลัพธ์ออกมาดังรูป 6.17

ตารางที่ 6.4 จะแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวที่ 2 มาทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่



รูปที่ 6.16 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 มาทำการทดแทน



รูปที่ 6.17 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 มาทำการทดแทน

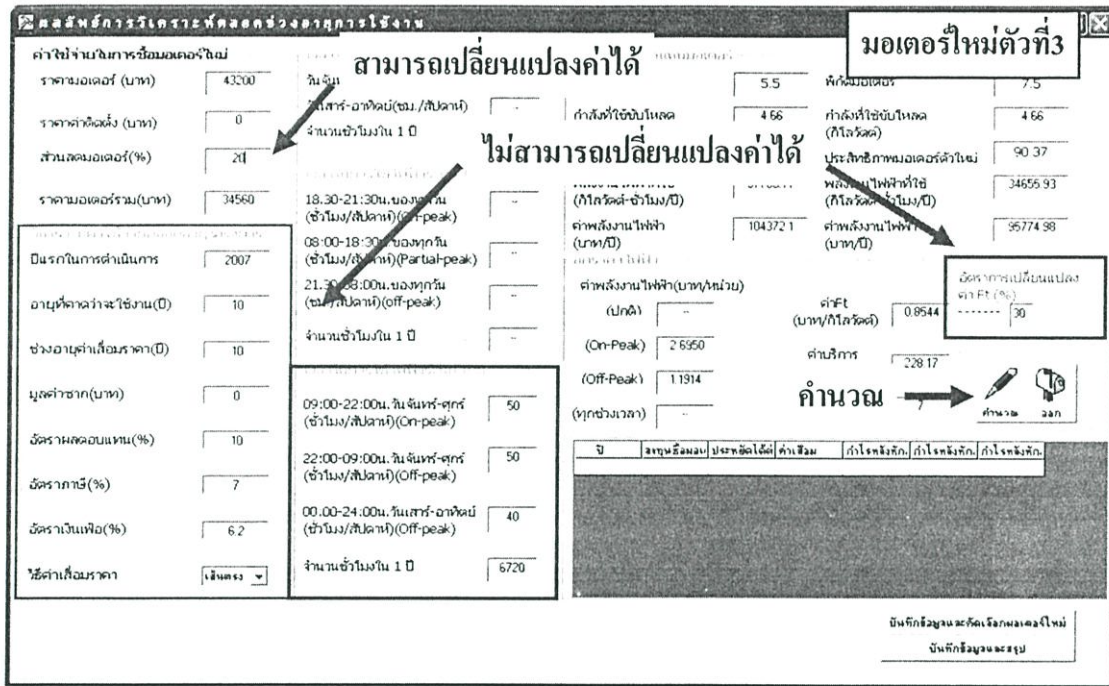
ตารางที่ 6.4 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 2

ปี	ลงทุน ซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้ ต่อปี	ค่าเสื่อม	กำไรหลัง หักภาษี	กำไรหลังหัก ภาษี(YB)	กำไรหลังหักภาษี สะสม(YB)
2007	-27000	3831	2700	-23248	-23248	-23248
2008	0	4212	2700	4106	3515	-19733
2009	0	4707	2700	4567	3347	-16386
2010	0	5349	2700	5164	3239	-13147
2011	0	6184	2700	5940	3189	-9958
2012	0	7270	2700	6950	3194	-6764
2013	0	8682	2700	8263	3251	-3513
2014	0	10517	2700	9970	3358	-155
2015	0	12903	2700	12189	3514	3359
2016	0	16005	2700	15074	3720	7079
สรุป	**ปี2015 กำไร 3,359 บาท ใช้เวลาคืนทุน 9 ปี *ปีสุดท้าย ปี2016 กำไร 7079 บาท**					

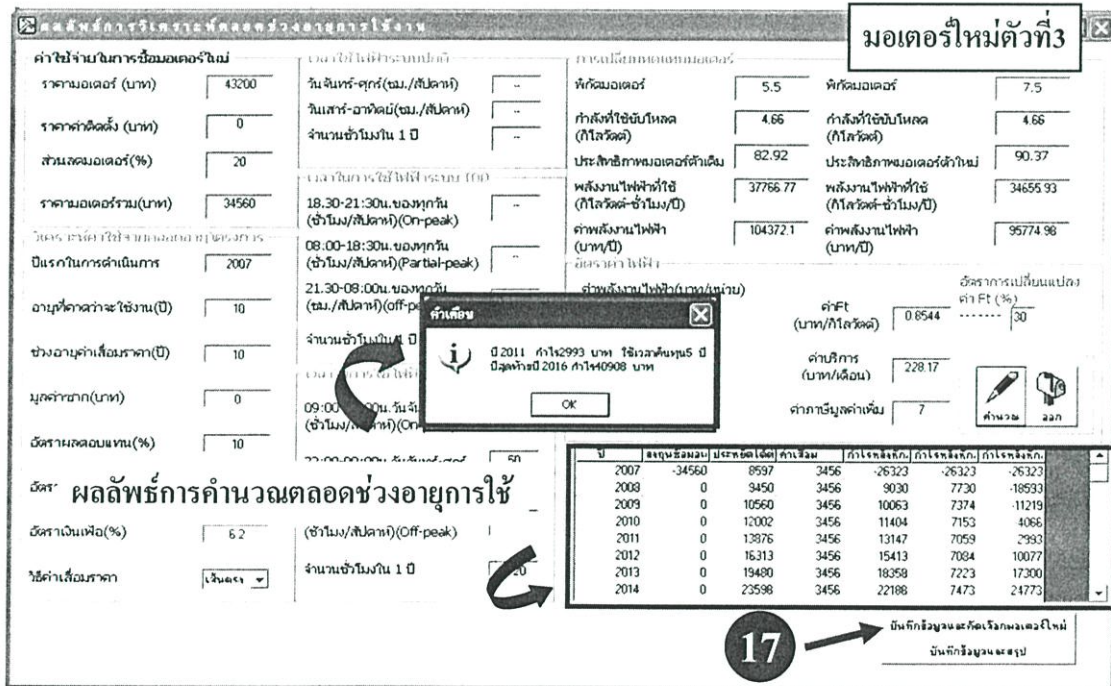
หมายเหตุ YB เป็นค่าของเงินเทียบเท่าที่ปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 8.

ต่อไปจะทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 ซึ่งสามารถทำได้โดยการกดปุ่มบันทึกข้อมูลและคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ (หมายเลข 16) (เมื่อกดปุ่มนี้ทางโปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลและผลลัพธ์การคำนวณของมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 และจะกลับไปทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 ต่อไป) ในการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 นี้จะมีขั้นตอนการคัดเลือกดังขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และเมื่อหน้าจอผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานปรากฏ ซึ่งในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องส่วนลดมอเตอร์เท่านั้น ส่วนช่องต่างๆที่เหลือผู้ใช้งานจะไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากในการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ 1, 2 และ 3 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณานั้นจะต้องมีค่าเท่ากันถึงจะเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 6.18 เสร็จแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและให้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 6.19 ตารางที่ 6.5 จะแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวที่ 3 มาทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่



รูปที่ 6.18 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์หัตถผลการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 มาทำการทดแทน



รูปที่ 6.19 ผลลัพธ์การวิเคราะห์หัตถผลการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 มาทำการทดแทน

ตารางที่ 6.5 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 3

ปี	ลงทุน ซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้ ต่อปี	ค่าเสื่อม	กำไรหลัง หักภาษี	กำไรหลังหัก ภาษี (YB)	กำไรหลังหักภาษี สะสม (YB)
2007	-34560	8597	3456	-26323	-26323	-26323
2008	0	9450	3456	9030	7730	-18593
2009	0	10560	3456	10063	7374	-11219
2010	0	12002	3456	11404	7153	-4066
2011	0	13876	3456	13147	7059	2993
2012	0	16313	3456	15413	7084	10077
2013	0	19480	3456	18358	7223	17300
2014	0	23598	3456	22188	7473	24773
2015	0	28952	3456	27167	7833	32606
2016	0	35912	3456	33640	8302	40908
สรุป	**ปี2011 กำไร 2,993 บาท ใช้เวลาคืนทุน 5 ปี *ปีสุดท้าย ปี2016 กำไร 40,908 บาท**					

หมายเหตุ YB เป็นค่าของเงินเทียบเท่าที่ปัจจุบัน

สรุปการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนของมอเตอร์

ตัวชี้วัด	วันที่วิเคราะห์	วันที่วิเคราะห์
7	1/3/2550	17/20/19

มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

บริษัทผู้ผลิต: AEG

หมายเลขมอเตอร์: 5.5

กำลังกำลัง (กิโลวัตต์): 4

ค่าสัมประสิทธิ์โหลด (กิโลวัตต์): 4.66012

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์): 400

กระแสไฟฟ้า (แอมป์): 11.6

ความเร็วมอเตอร์ (รอบต่อนาที): 1440

ความถี่ (เฮิรตซ์): 50

ประสิทธิภาพ (%): 82.92

มอเตอร์ที่นำมาเปลี่ยนทดแทน

บริษัทผู้ผลิต: Siemens

หมายเลขมอเตอร์: 7.5

กำลังกำลัง (กิโลวัตต์): 4

ค่าสัมประสิทธิ์โหลด (กิโลวัตต์): 4.66

แรงดันไฟฟ้า (โวลต์): 400

กระแสไฟฟ้า (แอมป์): 10

ความเร็วมอเตอร์ (รอบต่อนาที): 1473

ความถี่ (เฮิรตซ์): 50

ประสิทธิภาพ (%): 90.37

ปี	ลงทุน	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ (บาท)	ค่าเสื่อม (บาท)	กำไรหลังหักภาษี (บาท)	กำไรหลังหักภาษีสะสม (บาท)
2007	-27040	7587	2704	-19795	-19795
2008	0	8340	2704	6801	12994
2009	0	9319	2704	8056	6489
2010	0	10592	2704	10040	6298
2011	0	12245	2704	11577	6216
2012	0	14396	2704	13578	6241
2013	0	17191	2704	16177	6365
2014	0	20835	2704	19657	6587

สรุปการวิเคราะห์

AN10007

18

รูปที่ 6.20 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานมอเตอร์ที่คุ้มค่ากับการใช้งานที่สุด

ขั้นตอนที่ 9.

เมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ครบ 3 ตัว (ตามตัวอย่าง) ต่อไปจะให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่มบันทึกและสรุป เมื่อกดปุ่มนี้แล้วหน้าจอสรุปการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์จะปรากฏดังรูปที่ 6.20 ซึ่งในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการกดปุ่มสรุปเพื่อที่จะให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์และสรุปได้ว่ามอเตอร์ใหม่ตัวไหนถ้านำมาเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่แล้วจะเกิดความคุ้มค่าที่สุด

6.3 การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบ

6.3.1 หลักการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบ

การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบจะหมายถึง กรณีที่ทางโรงงานต้องการที่จะเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าไปติดตั้งใหม่หรือติดตั้งเพิ่มเติมในระบบ ดังนั้นในการที่จะเลือกมอเตอร์ให้ได้ประโยชน์คุ้มค่ากับการใช้งานที่สุดผู้ใช้งานจะต้องทำการพิจารณาในเรื่องของพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ตลอดช่วงอายุการใช้งานซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาในเรื่องค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาดังนั้นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญกับการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบนี้จะเหมือนกันกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เข้ามาใช้งานในระบบ ดังนั้นผู้รับผิดชอบในการตัดสินใจในการเลือกซื้อมอเตอร์จะต้องนำปัจจัยต่างๆเหล่านี้มาเป็นข้อพิจารณาเพิ่มเข้าไปด้วย เพื่อที่จะทำให้การตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

6.3.2 ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบ

ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบนั้นจะเป็นปัจจัยเดียวกันกับปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้ในหัวข้อ 6.3.2

6.3.3 อธิบายการใช้งานโปรแกรมการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบ

ในหัวข้อนี้จะทำการอธิบายการใช้งานโปรแกรมพร้อมยกตัวอย่างการวิเคราะห์การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบ โดยตัวอย่างที่จะนำเสนอนี้จะทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ใหม่ทั้งหมด 4 ตัว ซึ่งข้อมูลของมอเตอร์ทั้ง 4 นี้จะมีข้อมูลดังตารางที่ 6.6 ค่าประสิทธิภาพ แรงบิดของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 4 นั้นได้จากการทำนายประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก (EPMI)

ตารางที่ 6.6 ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

	มอเตอร์ใหม่1	มอเตอร์ใหม่2	มอเตอร์ใหม่3	มอเตอร์ใหม่4
ยี่ห้อมอเตอร์	AEG	SIEMENS	TECO	SIEMENS
พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)	5.5	5.5	5.5	7.5*
พิกัดแรงดัน(โวลต์)	400	400	400	400
พิกัดกระแส(แอมป์)	11.7	10.6	11.5	14.3
ความถี่(เฮิร์ต)	50	50	50	50
ขั้ว	4	4	4	4
ความเร็วพิกัด(rpm)	1430	1455	1440	1455
%โหลดใช้งาน	85	85	85	62.33
กำลังเอาต์พุต(กิโลวัตต์)	4.675	4.675	4.675	4.675
แรงบิด(นิวตัน-เมตร)	31.07	30.73	31.04	30.5
ประสิทธิภาพ(%)	86.04	89.42	86.68	90.9
ราคามอเตอร์(บาท)	24000	33800	26000	43200
ส่วนลด(%)	30	20	25	20
Efficiency Rating	EFF3	EFF1	EFF2	EFF1

หมายเหตุ * เป็นมอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดสูงกว่าการใช้งาน

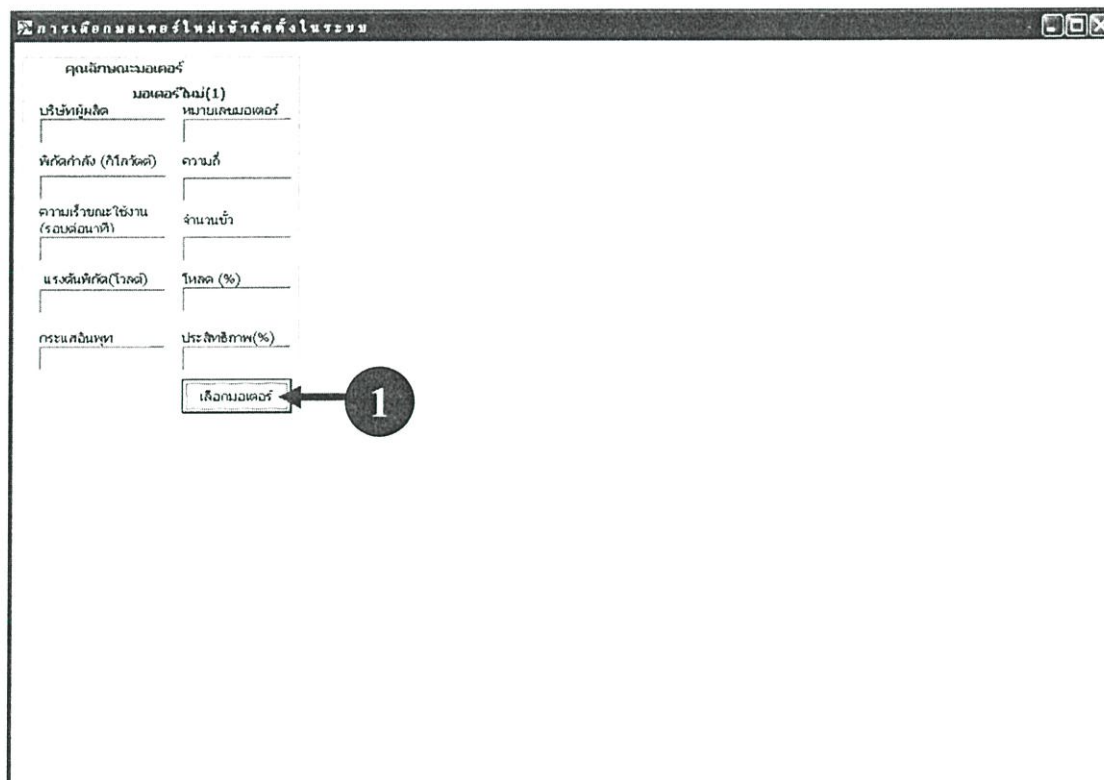
สังเกตจากข้อมูลของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 4 ตัวนี้จะมีปัจจัยที่มีผลกับการตัดสินใจไม่เหมือนกัน เช่น ประสิทธิภาพ ราคา พิกัด ฯลฯ (แต่การนำไปใช้งานจะนำไปใช้งานที่พิกัดกำลังเดียวกัน) จึงทำให้การตัดสินใจในการเลือกมอเตอร์นั้นเป็นไปได้ยากและขาดความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นประโยชน์ของโปรแกรมนี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานทำการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนที่1.

หน้าจอหลักของโปรแกรมดังรูปที่ 6.21 ให้ทำคปุมการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบแล้วจะปรากฏหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบขึ้นมาดังรูปที่ 6.22 ให้ทำการคปุมเลือกมอเตอร์ (หมายเลข1) แล้วจะปรากฏหน้าจอเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 ขึ้นมาแล้วให้ทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ที่ต้องการจะนำเข้ามาใช้งานในระบบซึ่งข้อมูลมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 นั้นจะสามารถเลือกได้จาก



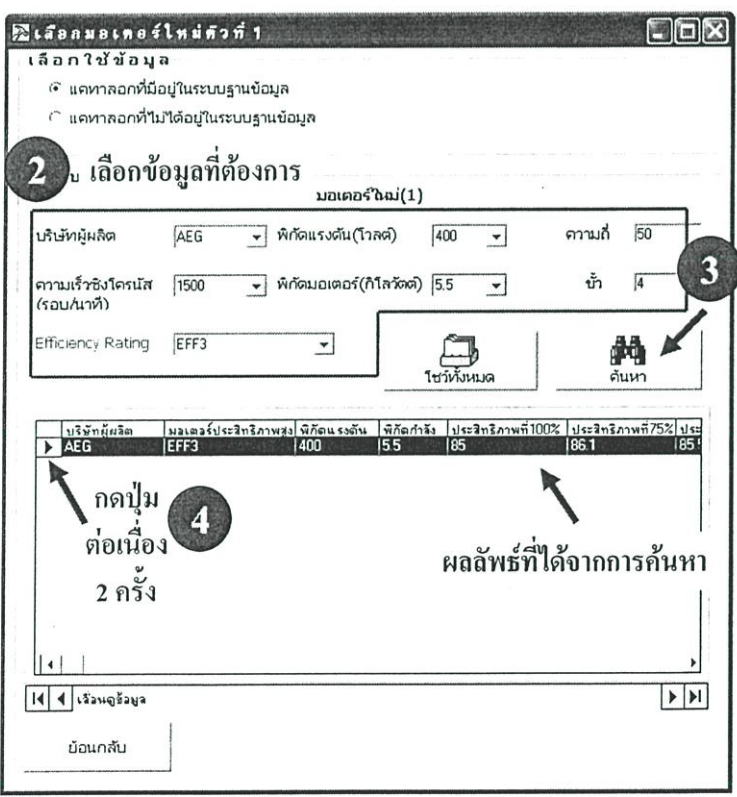
รูปที่ 6.21 หน้าจอหลักโปรแกรมการจัดการพลังงาน



รูปที่ 6.22 หน้าจอการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบ

กรณีที่ 1 ทำการเลือกใช้แคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งข้อมูลจากฐานข้อมูลในส่วนนี้จะผ่านการทำนายประสิทธิภาพมาแล้วทั้งสิ้น ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเลือก(หมายเลข 2)มอเตอร์ที่จะนำมาใช้งานได้โดยทำการกดปุ่มค้นหา(หมายเลข 3)แล้วทำการกดปุ่มต่อเนื่อง 2 ครั้ง(หมายเลข 4)ที่มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 ที่ต้องการดังรูปที่ 6.23 แล้วหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใช้งานจะปรากฏ ในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะต้องทำการกรอกค่าเปอร์เซ็นต์โหลด(กำลังเอาต์พุตที่ใช้ขับ โหลด)ที่จะนำมอเตอร์มาใช้งานแล้วจึงทำการกดปุ่มค้นหาโปรแกรมจะทำการค้นหาค่าเอาต์พุตต่างๆของมอเตอร์ใหม่ตัวที่1ออกมาดังรูปที่ 6.24

กรณีที่ 2 มีขั้นตอนการใช้งานเหมือนกับ หัวข้อที่ 5.6 เริ่มต้นใช้งานโปรแกรมขั้นตอนที่ 3 ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องทำการกรอกข้อมูลจากแคทาล็อกมอเตอร์ที่ต้องการจะใช้ในการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบซึ่งยังไม่ได้ใส่ไว้ในฐานข้อมูลของ โปรแกรม แล้วจึงให้โปรแกรมทำนายค่าเอาต์พุต ณ สภาวะโหลดต่างๆออกมา แล้วหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใช้งานจะปรากฏ ในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะต้องทำการกรอกค่าเปอร์เซ็นต์โหลด(กำลังเอาต์พุตที่ใช้ขับ โหลด)ที่จะนำมอเตอร์มาใช้งาน (หมายเลข 5) แล้วจึงทำการกดปุ่มค้นหา (หมายเลข 6) โปรแกรมจะทำการค้นหาค่าเอาต์พุตต่างๆของมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 ออกมาดังรูปที่ 6.24 เมื่อได้ค่าเอาต์พุตที่ต้องการแล้วให้กดปุ่มตกลง



รูปที่ 6.23 เลือกมอเตอร์ใช้งานตัวที่ 1

การเลือกมอเตอร์ใช้งาน

ข้อมูลที่มีอยู่

บริษัทผู้ผลิต	AEG	ประสิทธิภาพ (%)	100% โหลด	85	ตัวประกอบกำลัง (%)	100% โหลด	81
หมายเลขมอเตอร์	ไม่ระบุ	75% โหลด	86.1	75% โหลด	--	75% โหลด	--
หมายเลขโครงมอเตอร์	AM 112M BA	50% โหลด	85.5	50% โหลด	--	50% โหลด	--
มาตรฐานการออกแบบ	ไม่ระบุ	แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	พิกัด	36.7	พิกัด	พิกัด	11.7
พิกัดแรงต้น	400	สูงสุด(%FL)	290	สูงสุด(%FL)	--	สูงสุด(%FL)	--
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	5.5	สตาร์ท(%FL)	--	สตาร์ท(%FL)	--	สตาร์ท(%FL)	--
ความเร็วซิงโครนัส (รอบ/นาที)	1500	ความถี่	50	ขั้ว	4		
ความเร็วพิกัด (รอบต่อนาที)	1430	น้ำหนัก(กก.)	39				
ชนิดหม้อ	ไม่ระบุ	แฟลตเตอร์บริการ	ไม่ระบุ	Efficiency Rating			
ชนิดขั้ว			00	EFF3			

5 กรอกเปอร์เซ็นต์โหลดใช้งาน

กรอกเปอร์เซ็นต์โหลดใช้งาน

6 ค้นหา

ประสิทธิภาพ (%)	86.04
กำลังเอาต์พุต (กิโลวัตต์)	4694
แรงบิด (นิวตัน-เมตร)	31.07
ความเร็ว (รอบ/นาที)	1442.5
กระแสอินพุต (แอมป์)	10

เลือกใช้งาน

ตกลง

ยกเลิก

รูปที่ 6.24 กรอกเปอร์เซ็นต์โหลดที่ต้องการใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 1

การเลือกมอเตอร์ใหม่หรือคัดทิ้งในระบ

คุณลักษณะมอเตอร์		คุณลักษณะมอเตอร์	
มอเตอร์จิม(1)		มอเตอร์จิม(2)	
บริษัทผู้ผลิต	AEG	บริษัทผู้ผลิต	
หมายเลขมอเตอร์	ไม่ระบุ	หมายเลขมอเตอร์	
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	5.5	พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	
ความถี่	50	ความถี่	
ความเร็วซิงโครนัส (รอบต่อนาที)	1442.5	ความเร็วซิงโครนัส (รอบต่อนาที)	
จำนวนขั้ว	4	จำนวนขั้ว	
แรงดันพิกัด (โวลต์)	400	แรงดันพิกัด (โวลต์)	
โหลด (%)	85	โหลด (%)	
ประสิทธิภาพ (%)	86.04	ประสิทธิภาพ (%)	
กระแสอินพุต (แอมป์)	11.7	กระแสอินพุต (แอมป์)	
เลือกมอเตอร์		เลือกมอเตอร์	

7

รูปที่ 6.25 เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่2เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ขั้นตอนที่ 2.

ตอนนี้หน้าจอจะกลับมาที่หน้าการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบอีกครั้ง แต่คราวนี้ให้ผู้ใช้งานทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 (หมายเลข 7) ที่ต้องการนำมาใช้งานดังรูปที่ 6.25 เมื่อผู้ใช้งานทำการกดปุ่มเลือกมอเตอร์แล้วหน้าจอเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 จะปรากฏดังรูปที่ 6.26 ในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ได้จาก

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ที่จะนำมาเปรียบเทียบกับตัวที่ 1

เลือกใช้ข้อมูล

- ใช้แคทาล็อกที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูล
- แคทาล็อกที่นำเข้ามาอยู่ในระบบฐานข้อมูล

คุณลักษณะมอเตอร์

มอเตอร์ใหม่(1)	
บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
AEG	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1442.5	4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)
400	85
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ (%)
11.7	92.04

มอเตอร์ตัวที่ 1

ย้อนกลับ

มอเตอร์ใหม่(2)

บริษัทผู้ผลิต: siemens พิกัดมอเตอร์ (กิโลวัตต์): 5.5

พิกัดแรงดัน(โวลต์): 400 ความเร็วเชิงโรตัส (รอบต่อนาที): 1500

Efficiency Rating: EFF1 ความถี่: 50 ขั้ว: 4

บริษัทผู้ผลิต	มอเตอร์ประสิทธิภาพ	พิกัดแรงดัน	พิกัดกำลัง	ประสิทธิภาพที่ 100%	ประสิทธิภาพที่ 75%
siemens	EFF1	400	5.5	83.5	83.5

8 ใช้ใหม่

9 กดปุ่มต่อเนื่อง 2 ครั้ง

เริ่มตรวจสอบ

รูปที่ 6.26 เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2

กรณีที่ 1 ทำการเลือกใช้แคทาล็อกที่อยู่ในระบบฐานข้อมูล (ข้อมูลจากฐานข้อมูลในส่วนนี้จะผ่านการทำนายประสิทธิภาพมาแล้วทั้งสิ้น) ผู้ใช้งานก็จะสามารถทำการค้นหามอเตอร์ที่จะนำมาใช้งานได้โดยทำการกดปุ่มค้นหา (หมายเลข 8) แล้วทำการกดปุ่มต่อเนื่อง 2 ครั้งที่มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ที่ต้องการ แล้วหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใช้งานจะปรากฏ ในหน้าจอนี้ค่าเปอร์เซ็นต์โหลด (กำลังเอาต์พุตที่ใช้ขับโหลด) จะมีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์โหลดใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 1 แล้วจึงทำการกดปุ่มค้นหา โปรแกรมจะทำการค้นหาค่าเอาต์พุตต่างๆของมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ออกมาดังรูปที่ 6.27

กรณีที่ 2 มีขั้นตอนการใช้งานเหมือนกับ หัวข้อที่ 5.6 เริ่มต้นใช้งานโปรแกรมขั้นตอนที่ 3 ซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องทำการกรอกข้อมูลจากแคทาลอกมอเตอร์ที่ต้องการจะใช้ในการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบซึ่งยังไม่ได้ใส่ไว้ในฐานข้อมูลของโปรแกรม แล้วจึงให้โปรแกรมทำนายค่าเอาต์พุต ณ สภาวะโหลดต่างๆออกมา แล้วหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใช้งานจะปรากฏ ในหน้าจอนี้ค่าเปอร์เซ็นต์โหลด (กำลังเอาต์พุตที่ใช้ขับโหลด) จะมีค่าเท่ากับกับค่าเปอร์เซ็นต์โหลดใช้งานของมอเตอร์ตัวที่ 1

ขั้นตอนที่ 3.

เมื่อทำการเลือกมอเตอร์เสร็จแล้วโปรแกรมจะกลับมาที่หน้าจอการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบอีกครั้ง แล้วขั้นตอนต่อไปให้ผู้ใช้งานทำการเลือกอัตราค่าไฟฟ้าที่ทางโรงงานใช้ (หมายเลข 11) ต่อมาให้ทำการกรอกค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมอเตอร์ลงไป (ถ้ายังไม่ได้รวมอยู่ในราคามอเตอร์) (หมายเลข 12) และ กรอกเวลาในการใช้งานมอเตอร์ลงไปเมื่อทำการกรอกข้อมูลเสร็จแล้วให้ทำการกดปุ่มตกลงดังรูปที่ 6.28 แล้วผลการคำนวณการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจะแสดงออกมาและถ้าต้องการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานมอเตอร์ก็ให้ทำการกดปุ่มวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน (หมายเลข 13) ดังรูปที่ 6.29

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1		มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2	
บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์	บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
AEG	ไม่ระบุ	Siemens	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความเร็ว	พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความเร็ว
5.5	50	5.5	50
ความเร็วขณะใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว	ความเร็วขณะใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1442.5	4	1462	4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหนด (%)	แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหนด (%)
400	85	400	85
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ (%)	กระแส อินพุท	ประสิทธิภาพ (%)
11.7	86.04	9	89.42

อัตราค่าไฟฟ้า		อัตราบริการ	
ประเภทกิจการ	ค่าความถ่วงถ่วงงานไฟฟ้า(บาท/กิโลวัตต์)	(On-Peak)	(Off-Peak)
อุตสาหกรรม	(ปกติ)	285.05	58.85
แรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย)	(On-Peak)	(Off-Peak)
1224V	(ปกติ)		1.7034
อัตราบริการ	ค่าพลังงานไฟฟ้าพิเศษ(บาท/กิโลวัตต์)		14.02
TOU	ค่าไฟ(บาท/กิโลวัตต์)		0.8544
TOU	ค่าบริการ(บาท/เดือน)		7
เก็บโดยอัตราค่าบริการ	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม		

มอเตอร์ใหม่		(1)	(2)
วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์)	ราคามอเตอร์(บาท)	24000	33800
วันเสาร์-อาทิตย์(ชม./สัปดาห์)			
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี			

เวลาในการใช้ไฟฟ้าระบบ TOU	
18:30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)	20
08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Partial-peak)	70
21:30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์)(off-peak)	70
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720

รูปที่ 6.28 กรอกเวลาการใช้งานและค่าติดตั้งที่ใช้ของมอเตอร์ตัวใหม่ที่ 2

มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1		มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2		อัตราค่าไฟฟ้า		อัตราบริการ	
บริษัทผู้ผลิต AEG		บริษัทผู้ผลิต Siemens		ประเภทกิจการ: ผลิตไฟฟ้า		ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่	พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่	แรงดัน: 12.24 กิโลโวลต์	อัตราบริการ	(On-Peak)	285.05 (Off-Peak)
5.5	50	5.5	50	อัตราบริการ	(ปกติ)	(Partial-Peak)	58.85
ความเร็วและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว	ความเร็วและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว	อัตราบริการ	ค่าพลังงานไฟฟ้าสี่แควต (บาท/กิโลวัตต์)	(On-Peak)	(Off-Peak)
1442.5	4	1462	4	TOU	ค่า F1 (บาท/กิโลวัตต์)	(ปกติ)	(ทุกช่วงเวลา)
แรงดันพิกัด (โวลต์)	โหลด (%)	แรงดันพิกัด (โวลต์)	โหลด (%)	TOD	ค่าบริการ (บาท/เดือน)		1.7034
400	85	400	85	แก้ไขอัตราค่าบริการ	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม		14.02
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ (%)	กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ (%)	วันจันทร์-ศุกร์ (ชม./สัปดาห์)	ราคามอเตอร์ (บาท)	(1)	(2)
11.7	86.04	9	89.42	วันเสาร์-อาทิตย์ (ชม./สัปดาห์)	24000		33800
	เลือกมอเตอร์		เลือกมอเตอร์	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	ค่าติดตั้ง (บาท)	0	0
มอเตอร์ใหม่ (1)		มอเตอร์ใหม่ (2)		เวลาในการใช้ไฟฟ้าระบบ TOD			
ราคามอเตอร์รวม (บาท)	24000	ราคามอเตอร์รวม (บาท)	33800	18:30-21:30 น. ของทุกวัน (เช้าโมง/สัปดาห์) (On-peak)	20	09:00-22:00 น. วันจันทร์-ศุกร์ (เช้าโมง/สัปดาห์) (On-peak)	--
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	41729.43	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	40152.09	08:00-18:30 น. ของทุกวัน (เช้าโมง/สัปดาห์) (Partial-peak)	70	22:00-09:00 น. วันจันทร์-ศุกร์ (เช้าโมง/สัปดาห์) (Off-peak)	--
ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	114207.02	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	103890.09	21:30-08:00 น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์) (Off-peak)	70	00:00-24:00 น. วันเสาร์-อาทิตย์ (เช้าโมง/สัปดาห์) (Off-peak)	--
ประหยัดพลังงานได้		ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้		จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	--
พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	1577.34	ค่าใช้จ่าที่ประหยัดได้รวม (บาท/ปี)	4316.93				
% เศรษฐผลต่อช่วงอายุการใช้งาน		ระยะเวลาที่คืนทุน (ปี)		ตกลง			
		2.27					

รูปที่ 6.29 ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 มาใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ซึ่งการคำนวณในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณที่เท่ากันในแต่ละปี (Annual Saving) เพราะการคำนวณในส่วนนี้ยังไม่ได้รวมปัจจัยที่มีส่วนสำคัญกับการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ในระยะยาวลงไป โดยการคำนวณในส่วนนี้จะเป็นการคำนวณที่อาศัยหลักการที่ว่าในแต่ละปีจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้เท่ากันซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะประหยัดได้ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าของเงินจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังนั้นการคำนวณในส่วนนี้ผู้พิจารณาจะนำมาใช้ในการตัดสินใจไม่ได้ดังนั้นถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะพิจารณาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นผู้ใช้งานจะต้องทำการคำนวณวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเพื่อที่จะทำให้การพิจารณาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ประโยชน์ของการคำนวณที่เท่ากันในแต่ละปี (Annual Saving) นี้ก็คือสมมติว่าถ้าหากผลการคำนวณออกมาว่าถ้าใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 นี้แทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 จะเกิดความคุ้มค่าในอีก 50 ปีข้างหน้าซึ่งในกรณีนี้ก็จะทำให้ผู้พิจารณาสามารถที่จะตัดสินใจได้เลยว่าไม่ควรนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 นี้มาทำการเปลี่ยนทดแทนกับมอเตอร์ตัวที่ 1 เพราะเวลาการคุ้มทุนนั้นยาวนานเกินไป

ตารางที่ 6.7 จะทำการแสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการคัดเลือกระหว่างมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2,3 และ 4

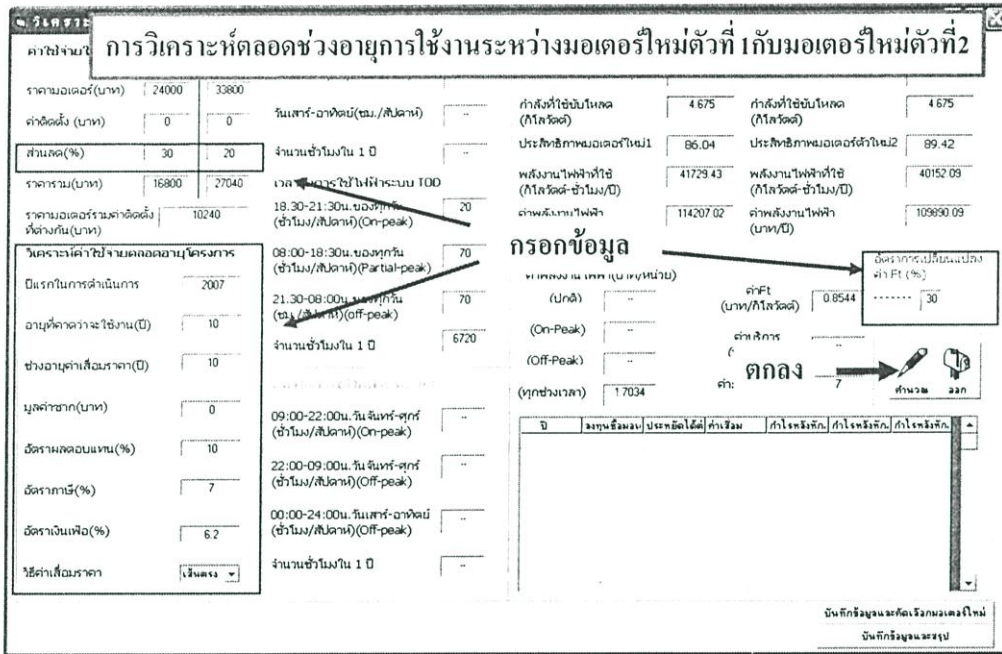
ตารางที่ 6.7 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่

	มอเตอร์ใหม่ 1	มอเตอร์ใหม่ 2	มอเตอร์ใหม่ 3	มอเตอร์ใหม่ 4
พิกัดมอเตอร์(kw)	5.5	5.5	5.5	7.5*
กำลังขับโหลด(kw)	4.675	4.675	4.675	4.675
ประสิทธิภาพ(%)	86.04	89.42	86.68	90.37
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(Kwh/Y)	41729.43	40152.09	41421.32	39727.87
ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ปี)	114207.02	109890.09	113363.77	108729.07
อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้	TOD	TOD	TOD	TOD
ค่าUnit (แบบปกติ)	-	-	-	-
ค่าUnit (On-Peak)	-	-	-	-
ค่าUnit (Off-Peak)	-	-	-	-
ค่าUnit (ทุกช่วงเวลา)	1.7034	1.7034	1.7034	1.7034
Ft (บาท/กิโลวัตต์)	0.8544	0.8544	0.8544	0.8544
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าFt(%)	30	30	30	30
ค่าบริการ (บาท/เดือน)	-	-	-	-
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%)	7	7	7	7
ปีแรกในการดำเนินงาน	2007	2007	2007	2007
อายุที่คาดว่าจะใช้งาน	10	10	10	10
ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา	10	10	10	10
มูลค่าซาก	0	0	0	0
อัตราผลตอบแทน	10	10	10	10
อัตราภาษี	7	7	7	7
อัตราเงินเฟ้อ	6.2	6.2	6.2	6.2
วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
จำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อปี	6720	6720	6720	6720
ราคามอเตอร์	24000	33800	26000	43200
ค่าติดตั้ง	0	0	0	0
ส่วนลด(%)	30	20	25	20
ราคารวมมอเตอร์	16800	27040	19500	34560

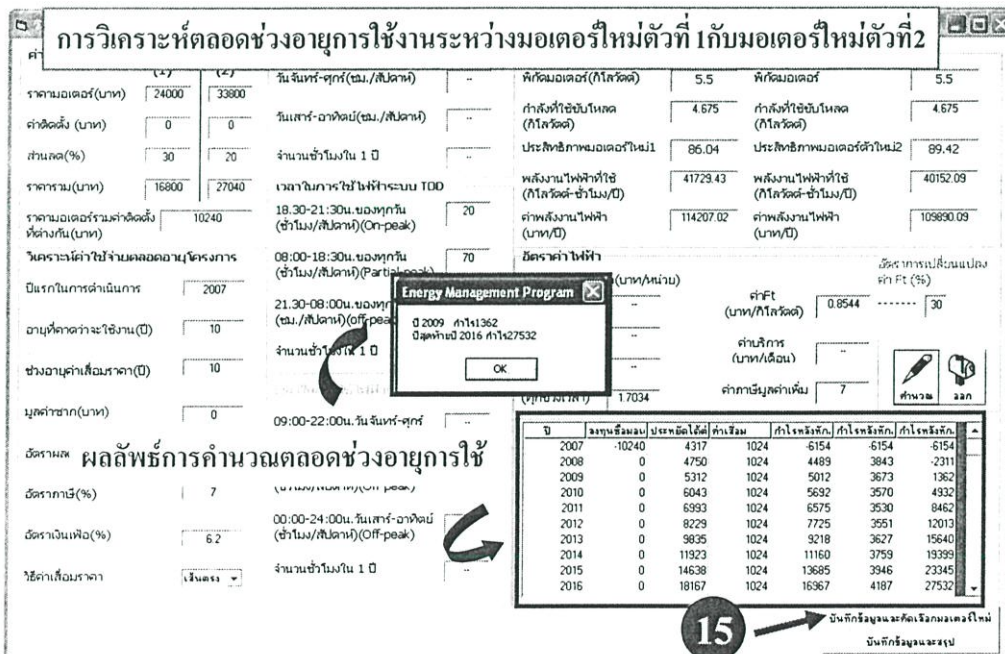
หมายเหตุ * เป็นมอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดสูงกว่าการใช้งาน

ขั้นตอนที่ 4. เมื่อหน้าจอวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานปรากฏ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลต่างๆ ลงไปได้ดังรูปที่ 6.30 โดยข้อมูลที่กรอกลงไปนี้จะเป็ข้อมูลที่มีส่วนสำคัญที่มีผลต่อการพิจารณาตัดสินใจ

ในการเลือกมอเตอร์เข้ามาใช้งานทั้งสิ้น (ผู้ใช้งานสามารถทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆเหล่านี้ได้จากหัวข้อ 6.4.2) เมื่อทำการกรอกข้อมูลลงไปครบแล้วก็กดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและให้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 6.31



รูปที่ 6.30 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2



รูปที่ 6.31 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 ใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ตารางที่ 6.8 จะแสดงผลพัทธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2

ตารางที่ 6.8 ผลพัทธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ใหม่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ 2

ปี	ลงทุน ซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้ ต่อปี	ค่าเสื่อม	กำไรหลัง หักภาษี	กำไรหลังหัก ภาษี(YB)	กำไรหลังหักภาษี สะสม(YB)
2007	-10240	4317	1024	-6154	-6154	-6154
2008	0	4750	1024	4489	3843	-2311
2009	0	5312	1024	5012	3673	1362
2010	0	6043	1024	5692	3570	4932
2011	0	6993	1024	6575	3530	8462
2012	0	8229	1024	7725	3551	12013
2013	0	9835	1024	9218	3627	15640
2014	0	11923	1024	11160	3759	19399
2015	0	14638	1024	13685	3946	23345
2016	0	18167	1024	16967	4187	27532
สรุป	**ปี2009 กำไร 1362 บาท ใช้เวลาคืนทุน 3 ปี *ปีสุดท้าย ปี2016 กำไร 27532 บาท**					

หมายเหตุ YB เป็นค่าของเงินเทียบเท่าที่ปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 5.

หลังจากได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 แล้วให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่มบันทึกข้อมูลและทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ (หมายเลข 15) (เมื่อกดปุ่มนี้ ทางโปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลและผลลัพธ์การคำนวณของการเปรียบเทียบมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2 และจะกลับไปทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3) เมื่อกดปุ่มแล้วจะปรากฏหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบอีกครั้งในหน้าจอนี้ให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่มเลือกมอเตอร์(หมายเลข 16) ดังรูปที่ 6.32 แล้วให้ผู้ใช้งานเลือกมอเตอร์ใหม่ 3 ได้ตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วในขั้นตอนที่ 2

การเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบ

คุณลักษณะมอเตอร์		คุณลักษณะมอเตอร์		อัตราค่าไฟฟ้า		ค่าความถี่ของพลังงานไฟฟ้า(บาท/กิโลวัตต์)	
บริษัทผู้ผลิต	ขนาดลมอเตอร์	บริษัทผู้ผลิต	ขนาดลมอเตอร์	ประเภทกิจการ	ขนาดใหม่	(On-Peak)	285.05
AEG	โมเมนตัม			แรงดัน	12-240 โวลต์	(Off-Peak)	..
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่	พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่	อัตราบริการ		(Partial-Peak)	58.85
5.5	50			<input type="radio"/> TOU		(On-Peak)	..
ความเร็วรอบและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว	ความเร็วรอบและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว	<input checked="" type="radio"/> TOO		(Off-Peak)	..
1442.5	4			แก้ไขอัตราค่าบริการ		(ทุกช่วงเวลา)	1.7034
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)	แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)			ค่าพลังงานไฟฟ้าสิ้นออกชีพ(บาท/กิโลวัตต์)	14.02
400	85					ค่าF(บาท/กิโลวัตต์)	0.6544
กระแสเกินเหตุ	ประสิทธิภาพ(%)	กระแสเกินเหตุ	ประสิทธิภาพ(%)			ค่าบริการ(บาท/เดือน)	..
11.7	86.04					ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม	7
	เลือกมอเตอร์		เลือกมอเตอร์				

วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์)	(1)	(2)
..
..
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี

วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์)	ราคามอเตอร์(บาท)	..
..	24000	..
..
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	0	0

เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3

..ของทุกวัน (On-peak)
08:00-18:30น.ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Partial-peak)	70	..
21.30-08:00น.ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์)(off-peak)	70	..
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720	..

ตกลง

รูปที่ 6.32 เลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่3เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ใหม่ตัวที่1

ขั้นตอนที่ 6.

เมื่อทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ 3 ได้แล้วโปรแกรมจะกลับมาหน้าจอการเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบอีกครั้ง ในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องค่าติดตั้งเพียงค่าเดียวเท่านั้น (หมายเลข 17) เนื่องจากในการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ 1 ,2 ,3 และ 4 นั้น อัตราค่าไฟฟ้า และ เวลาการใช้งานนั้นจะต้องมีค่าที่เท่ากันดังรูปที่ 6.33 เสร็จแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่มตกลงแล้วผลการคำนวณการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจะแสดงออกมาและถ้าต้องการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานมอเตอร์ก็ให้ทำการกดปุ่มวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน (หมายเลข 18) ดังรูปที่ 6.34

มอเตอร์ใหม่ตัวที่1

มอเตอร์ใหม่(1)	
บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
AEG	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1442.5	4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)
400	85
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ(%)
11.7	86.04

เลือกมอเตอร์

มอเตอร์ใหม่ตัวที่3

มอเตอร์ใหม่(2)	
บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
Teco	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1450	4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)
400	85
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ(%)
10	86.68

เลือกมอเตอร์

ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้

ตกลง →

อัตราค่าไฟฟ้า	
ค่าความถ่วงการดำเนินงาน ไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	
(On-Peak)	285.05 (Off-Peak) --
ประเภทกิจการ	(ปกติ) -- (Partial-Peak) 58.85
แรงดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
12-245โวลท์	(On-Peak) -- (Off-Peak) --
	(ปกติ) -- (ทุกช่วงเวลา) 1.7034
อัตราบริการ	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่แยกไฟ(บาท/กิโลวัตต์)
TOU	14.02
TOU	ค่าฟ(บาท/กิโลวัตต์) 0.8544
แก้ไขอัตราค่าบริการ	ค่าบริการ(บาท/เดือน) --
	ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7

วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์)		(1)	(2)
วันเสาร์-อาทิตย์(ชม./สัปดาห์)	จำนวนมอเตอร์(บาท)	24000	26000
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	ค่าติดตั้ง (บาท)	0	0

18:30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)		20	09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)	--
08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Partial-peak)	70	22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak)	--	
21:30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์)(off-peak)	70	00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak)	--	
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	--	

รูปที่ 6.33 กรอกรวมเวลาการใช้งานและค่าติดตั้งที่ใช้ของมอเตอร์ตัวใหม่ที่ 3

มอเตอร์ใหม่ตัวที่1

มอเตอร์ใหม่(1)	
บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
AEG	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1442.5	4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)
400	85
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ(%)
11.7	86.04

เลือกมอเตอร์

มอเตอร์ใหม่ตัวที่3

มอเตอร์ใหม่(2)	
บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์
Teco	ไม่ระบุ
พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	ความถี่
5.5	50
ความเร็วรอบและใช้งาน (รอบต่อนาที)	จำนวนขั้ว
1450	4
แรงดันพิกัด(โวลต์)	โหลด (%)
400	85
กระแสอินพุท	ประสิทธิภาพ(%)
10	86.68

เลือกมอเตอร์

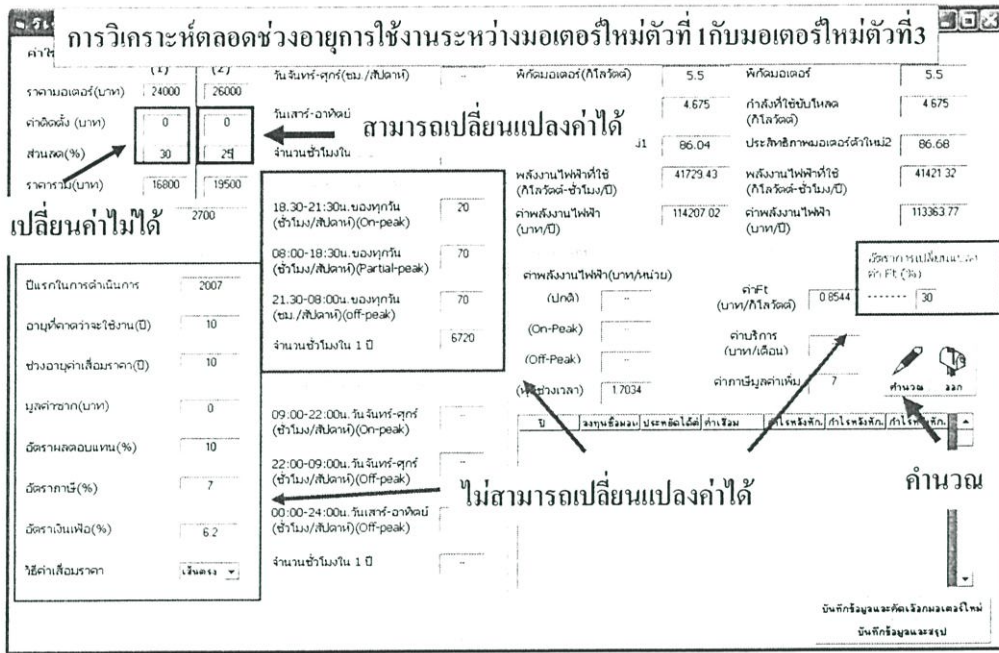
มอเตอร์ใหม่(1)		มอเตอร์ใหม่(2)	
ราคามอเตอร์รวม(บาท)	24000	ราคามอเตอร์รวม(บาท)	26000
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	41729.43	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	41421.32
ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	114207.02	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/ปี)	113363.77
ประสิทธิผลพลังงานไฟ		ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	
พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	308.11	ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้รวม(บาท/ปี)	843.25
วิเคราะห์ผลลดอย่างยาวนาน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	2.37

ตกลง →

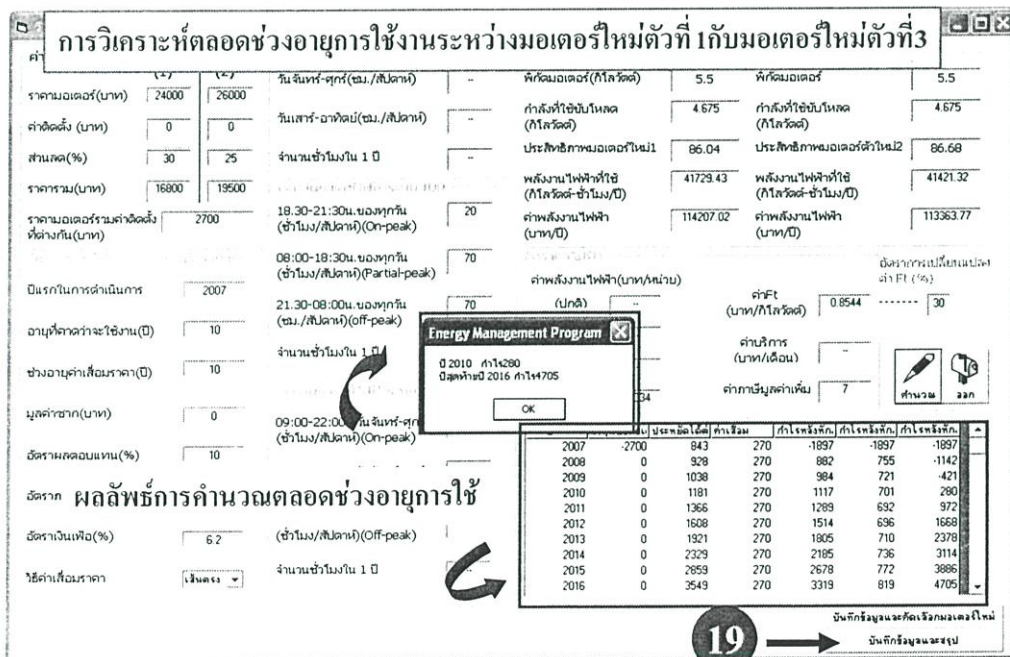
วันจันทร์-ศุกร์(ชม./สัปดาห์)		(1)	(2)
วันเสาร์-อาทิตย์(ชม./สัปดาห์)	ราคามอเตอร์(บาท)	24000	26000
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	ค่าติดตั้ง (บาท)	0	0

18:30-21:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)		20	09:00-22:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(On-peak)	--
08:00-18:30น. ของทุกวัน (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Partial-peak)	70	22:00-09:00น. วันจันทร์-ศุกร์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak)	--	
21:30-08:00น. ของทุกวัน (ชม./สัปดาห์)(off-peak)	70	00:00-24:00น. วันเสาร์-อาทิตย์ (ชั่วโมง/สัปดาห์)(Off-peak)	--	
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	6720	จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	--	

รูปที่ 6.34 ผลการประหยัดพลังงานเมื่อใช้มอเตอร์ใหม่ตัวที่3 มาใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1



รูปที่ 6.35 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ผลตลอดช่วงอายุการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3



รูปที่ 6.36 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 ใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

ขั้นตอนที่ 7.

เมื่อนำจอผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานปรากฏ ที่หน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องส่วนลดมอเตอร์เท่านั้น (ยกเว้นช่องส่วนลดของมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1) ส่วนช่องต่างๆที่เหลือผู้ใช้งานจะไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากในการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ 1, 2, 3 และ 4 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณานั้นจะต้องมีค่าเท่ากันถึงจะเปรียบเทียบกันได้ ดังรูปที่ 6.35 เสร็จแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่มคำนวณ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและให้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 6.36

ตารางที่ 6.9 จะแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 มาใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

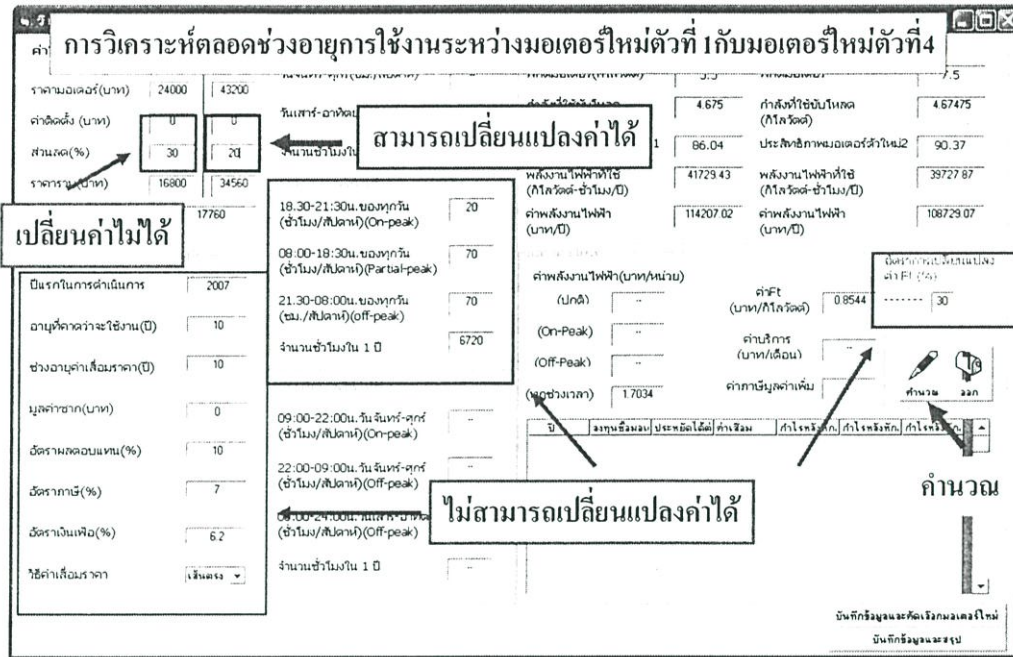
ตารางที่ 6.9 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของมอเตอร์ใหม่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ 3

ปี	ลงทุน ซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้ ต่อปี	ค่าเสื่อม	กำไรหลัง หักภาษี	กำไรหลังหัก ภาษี(YB)	กำไรหลังหักภาษี สะสม(YB)
2007	-2700	843	270	-1897	-1897	-1897
2008	0	928	270	882	755	-1142
2009	0	1038	270	984	721	-421
2010	0	1181	270	1117	701	280
2011	0	1366	270	1289	692	972
2012	0	1608	270	1514	696	1668
2013	0	1921	270	1805	710	2378
2014	0	2329	270	2185	736	3114
2015	0	2859	270	2678	772	3886
2016	0	3459	270	3319	819	4750
สรุป	**ปี2010 กำไร 280 บาท ใช้เวลาคืนทุน 4 ปี *ปีสุดท้าย ปี2016 กำไร 4705 บาท**					

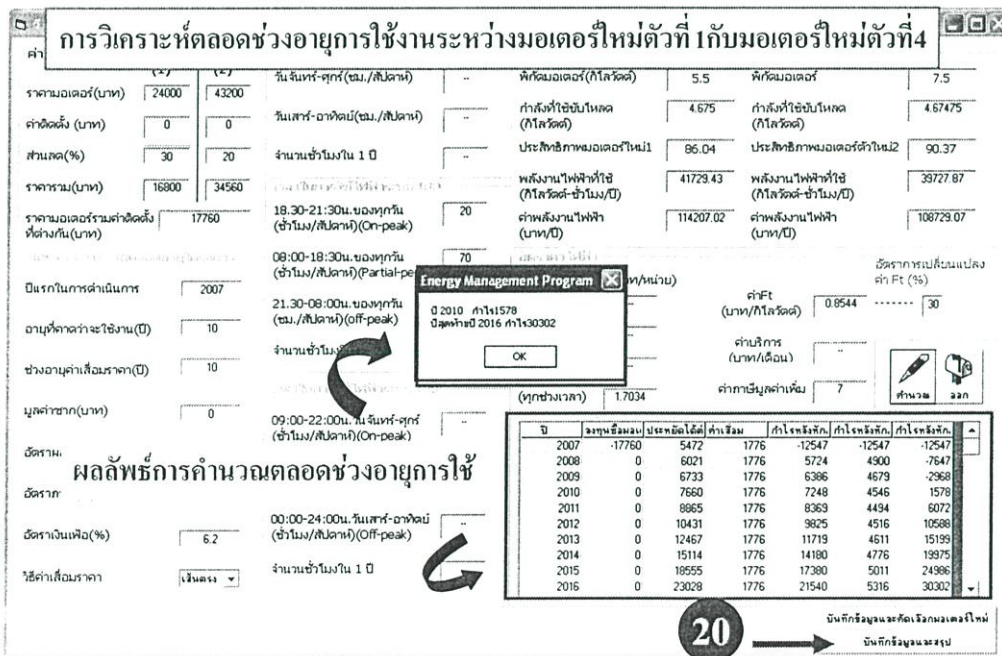
หมายเหตุ YB เป็นค่าของเงินเทียบเท่าที่ปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 8.

ต่อไปจะทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 4 ซึ่งสามารถทำได้โดยการกดปุ่มบันทึกข้อมูลและคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ (เมื่อกดปุ่มนี้ ทางโปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูลและผลลัพธ์การคำนวณของมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 3 และจะกลับไปทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 4 ต่อไป) ในการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 4 นี้จะมีขั้นตอนการคัดเลือกดังขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 ซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 6.37 กรอกข้อมูลการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 4



รูปที่ 6.38 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานเมื่อนำมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 4 ใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

และเมื่อหน้าจอตีพิมพ์การวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานปรากฏ ซึ่งในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงค่าในช่องส่วนลดมอเตอร์เท่านั้น(ยกเว้นช่องส่วนลดของมอเตอร์ตัวที่1)ส่วนช่องต่างๆที่เหลือผู้ใช้งานจะไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากในการเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างมอเตอร์ใหม่ 1 ,2 ,3 และ 4 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณานั้นจะต้องมีค่าเท่ากันถึงจะเปรียบเทียบกันได้ดังรูปที่ 6.37 เสร็จแล้วให้ผู้ใช้งานกดปุ่มคำนวณโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและให้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 6.38

ตารางที่ 6.10 จะแสดงผลการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 4 มาใช้งานแทนมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1

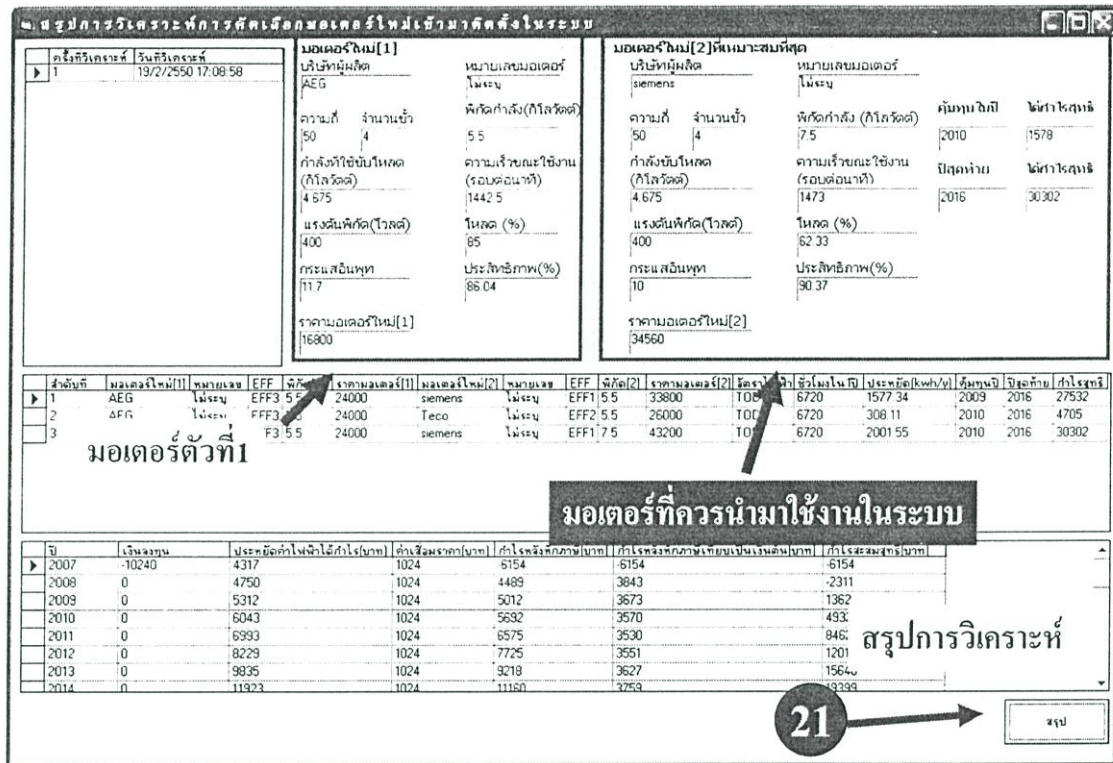
ตารางที่ 6.10 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดอายุการใช้งานของมอเตอร์ใหม่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ 4

ปี	ลงทุน ซื้อมอเตอร์	ประหยัดได้ ต่อปี	ค่าเสื่อม	กำไรหลัง หักภาษี	กำไรหลังหัก ภาษี(YB)	กำไรหลังหัก ภาษี(YB) สะสม(YB)
2007	-17760	5472	1776	-12547	-12547	-12547
2008	0	6021	1776	5724	4900	-7647
2009	0	6733	1776	6386	4679	-2968
2010	0	7660	1776	7248	4546	1578
2011	0	8865	1776	8369	4494	6072
2012	0	10431	1776	9825	4516	10588
2013	0	12467	1776	11719	4611	15199
2014	0	15114	1776	14180	4776	19975
2015	0	18555	1776	17380	5011	24986
2016	0	23028	1776	21540	5316	30302
สรุป	**ปี 2010 กำไร 1578 บาท ใช้เวลาคืนทุน 4 ปี *ปีสุดท้าย ปี 2016 กำไร 30302 บาท**					

หมายเหตุ YB เป็นค่าของเงินเทียบเท่าที่ปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 9

เมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ครบ 4 ตัวต่อไปจะให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่มบันทึกและสรุป (หมายเลข 20) เมื่อกดปุ่มนี้แล้วหน้าจอสรุปรายการวิเคราะห์การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาติดตั้งใช้งานในระบบจะปรากฏดังรูปที่ 6.39 ซึ่งในหน้าจอนี้ผู้ใช้งานจะสามารถทำการกดปุ่มสรุป(หมายเลข 21) เพื่อที่จะให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์และสรุปได้ว่ามอเตอร์ใหม่ตัวไหนถ้านำมาใช้งานแล้วจะเกิดความคุ้มค่าที่สุด



รูปที่ 6.39 สรุปผลลัพธ์การวิเคราะห์ตลอดการใช้งานมอเตอร์ที่คุ้มค่ากับการใช้งานที่สุด

การใช้โปรแกรมในส่วนของการเรียกดูผลการวิเคราะห์ทั้งในเรื่องของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์และการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานนั้นสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ข

6.4 สรุป

โปรแกรมการจัดการพลังงานนี้เป็นโปรแกรมที่สามารถนำมาช่วยในการตัดสินใจทั้งในเรื่องของการเลือกมอเตอร์ใหม่มาทำการเปลี่ยนทดแทนกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ หรือ ช่วยตัดสินใจในการเลือกระหว่างมอเตอร์ใหม่กับมอเตอร์ใหม่ที่จะเข้ามาติดตั้งใช้งานในระบบ โดยในการใช้งานโปรแกรมนี้ผู้ใช้งานสามารถที่จะทำได้อย่างง่ายดาย สะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำ โดยทำการเลือกมอเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์และทำการป้อนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ลงไปในตัว โปรแกรม โปรแกรมก็จะทำการเปรียบเทียบและสรุปให้ผู้ใช้งานทราบได้ทันทีว่าควรจะเลือกมอเตอร์ตัวใดมาทำการใช้งานจึงจะเกิดความคุ้มค่าที่สุดได้ แต่ในการกรอกข้อมูลต่างๆที่มีส่วนในการพิจารณาตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนหรือการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่ตัวผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ความเข้าใจที่ดีในเรื่องค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าดอกเบี้ย ค่าเงินเฟ้อ ค่าภาษี และ ค่าเสื่อมราคา ฯลฯ เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่วิเคราะห์นั้นมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น

โปรแกรมการจัดการพลังงานนี้เป็นโปรแกรมที่สามารถนำมาช่วยในการตัดสินใจทั้งในเรื่องของการเลือกมอเตอร์ใหม่มาทำการเปลี่ยนทดแทนกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ หรือ ช่วยตัดสินใจในการเลือกระหว่างมอเตอร์ใหม่กับมอเตอร์ใหม่ที่จะเข้ามาติดตั้งใช้งานในระบบ โดยโปรแกรมนี้อาจทำการคำนวณในเรื่องของการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานของมอเตอร์ตลอดอายุการใช้งานซึ่งในการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานให้ได้ค่าความถูกต้องแม่นยำที่สุดนั้นจะต้องใช้หลักการของค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าดอกเบี้ย ค่าเงินเฟ้อ ค่าภาษี และ ค่าเสื่อมราคาโดยประโยชน์ของโปรแกรมนี้อาจช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ หรือทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำ

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 บทนำ

การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงานที่ได้ นำเสนอนี้เพื่อที่จะให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งานผู้วิจัยจึงได้จัดทำออกมาให้อยู่ในรูปแบบของ โปรแกรมและจะเรียกว่า โปรแกรมการพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการ จัดการพลังงาน โดยจะมีจุดเด่นในเรื่องของการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง (FEE) และ การทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก (EPMI) ซึ่ง จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะทำการพิจารณาตัดสินใจในเรื่องของการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่เข้าทดแทน หรือการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำ โดย ไม่จำเป็นต้องนำมอเตอร์ไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

7.2 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์จะเป็นการพิจารณาถึงค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดลงได้เมื่อมีการ เปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าดังนั้นผู้พิจารณาจึงจำเป็นต้องทราบถึงค่าประสิทธิภาพ ของมอเตอร์ตัวเดิมขณะใช้งานจริงและค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวใหม่ ณ สภาวะการทำงาน เดียวกันกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ ซึ่งในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวเดิมขณะ ใช้งานจริงนี้ ผู้ใช้งานสามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลจากการวัด ณ จุดที่ใช้งานจริงของมอเตอร์เพียงจุดเดียวและ ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัดมาทำการกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมซึ่งมีวิธีการใช้งานดังหัวข้อ 4.7 ส่วน การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวใหม่ ณ สภาวะการทำงานเดียวกันกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่นั้นจะ สามารถทำได้โดยวิธีการใช้งานดังหัวข้อ 5.5

ในหัวข้อนี้จะทำการยกตัวอย่างการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่ 1 ตัวกับมอเตอร์ใหม่ที่ต้องการจะนำมาเปลี่ยนทดแทนจำนวน 3 ตัว ซึ่งข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัดและข้อมูลที่ได้จากการวัด ณ จุด ทำงานของมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่จะแสดงได้ดังตารางที่ 7.1 และตารางที่ 7.2 ส่วนข้อมูลจากแคทาล็อกของ มอเตอร์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพจะแสดงได้ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลจากแผ่นป้ายพิกัดของมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

Rated(kW)	Hz	V	A	r/min	Pole
7.5	50	380	15.2	1445	4

ตารางที่ 7.2 ข้อมูลการวัดทางไฟฟ้า ณ จุดทำงานของมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

Motor 7.5 kW (10 hp)			
On-site Measurement			
V	A	Watt (kW)	r/min
380.4	11.71	6.38	1461

ตารางที่ 7.3 ข้อมูลจากแคทาล็อกของมอเตอร์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพ

400 V , 50 Hz , 4 Pole

Manufacturer	Rated kW	Maximum Torque(%)	Current (Amp)	Power Factor	Speed (rpm)	Torque (N-m)	Efficiency	Efficiency
							100%Load	75%Load
Siemens	7.5	360	14.3	0.84	1455	49	90.3	90.5
Teco	7.5	230	14.9	0.83	1445	49.6	87.9	87.9
Siemens	11	320	20.5	0.85	1460	72	91.5	92

ตารางที่ 7.4 จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง

ตารางที่ 7.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง

พิกัดมอเตอร์ ที่ใช้งานอยู่(kW)	ผลลัพธ์ที่ได้จาก โปรแกรมที่คำนวณ โดยการใช้วิธี FEE			
	กำลังเอาต์พุต(kW)	แรงบิด(Nm)	เปอร์เซ็นต์โหลด	ประสิทธิภาพ(%)
7.5	5.68	37.14	75.76	89.06

ตารางที่ 7.5 จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่ที่จะนำมาเปลี่ยนทดแทน ณ สถานะการใช้งานเดียวกันกับมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

ตารางที่ 7.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่ที่ต้องการจะนำมาเปลี่ยนทดแทน

Manufacturer	Rated(kW)	Output Power (kW)	Torque(N-m)	Load (%)	Efficiency (%)
Siemens	7.5	5.68	37.01	75.76	90.79
ABB	11	5.68	36.63	51.65	90.84
Siemens	11	5.68	37.17	51.65	90.73

ตารางที่ 7.6 จะทำการแสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 7.6 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

	มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่	มอเตอร์ใหม่ 1	มอเตอร์ใหม่ 2	มอเตอร์ใหม่ 3
พิกัดมอเตอร์(kw)	7.5	7.5	11*	11*
กำลังขับโหลด(kw)	5.68	5.68	5.68	5.68
ประสิทธิภาพ(%)	89.06	90.79	90.84	90.73
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(Kwh/Y)	45935.77	45060.47	45031.7	45086.3
ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ปี)	135042.15	132468.93	132384.37	132544.87
อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้	TOU	TOU	TOU	TOU
ค่าUnit (แบบปกติ)	-	-	-	-
ค่าUnit (On-Peak)	2.695	2.695	2.695	2.695
ค่าUnit (Off-Peak)	1.1914	1.1914	1.1914	1.1914
ค่าUnit (ทุกช่วงเวลา)	-	-	-	-
Ft (บาท/กิโลวัตต์)	0.8544	0.8544	0.8544	0.8544
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าFt(%)	30	30	30	30
ค่าบริการ (บาท/เดือน)	228.17	228.17	228.17	228.17
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%)	7	7	7	7
ปีแรกในการดำเนินงาน	-	2007	2007	2007
อายุที่คาดว่าจะใช้งาน	-	20	20	20
ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา	-	20	20	20
มูลค่าซาก	-	0	0	0
อัตราผลตอบแทน	-	15	15	15
อัตราภาษี	-	7	7	7
อัตราเงินเฟ้อ	-	6.2	6.2	6.2
วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา	-	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
จำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อปี	7200	7200	7200	7200
ราคามอเตอร์	-	43200	40000	59000
ค่าติดตั้ง	-	0	0	0
ส่วนลด(%)	-	30	25	30
ราคารวมมอเตอร์	-	30240	30000	41300

หมายเหตุ * เป็นมอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดสูงกว่ามอเตอร์ที่ใช้งาน

ตารางที่ 7.7 จะแสดงข้อสรุปของมอเตอร์ใหม่ทั้งสามที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของ โปรแกรมเมื่อทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

ตารางที่ 7.7 ข้อสรุปของมอเตอร์ใหม่ทั้งสามที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของ โปรแกรมเมื่อทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ที่ใช้งานอยู่

มอเตอร์ใหม่	พิกัด (kW)	ราคารวม มอเตอร์	ประสิทธิภาพ (%)	ประเภทมอเตอร์ ประสิทธิภาพ	สรุปการวิเคราะห์ การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์
Siemens	7.5	30240	90.79	EFF1	ปี 2023 ค่าไร 961 บาท คืนทุน 17 ปี ปีสุดท้ายปี 2026 ค่าไร 7986 บาท
ABB	11*	30000	90.84	EFF1	ปี 2022 ค่าไร 40 บาท คืนทุน 16 ปี ปีสุดท้ายปี 2026 ค่าไร 9457 บาท
Siemens	11*	41300	90.73	EFF1	ขาดทุน

หมายเหตุ * เป็นมอเตอร์ใหม่ที่มีพิกัดสูงกว่ามอเตอร์ที่ใช้งาน

7.3 การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ

การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบจะหมายถึง กรณีที่ทางโรงงานต้องการที่จะเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าไปติดตั้งใหม่หรือติดตั้งเพิ่มเติมในระบบ ดังนั้นในการที่จะเลือกมอเตอร์ให้ได้ประโยชน์คุ้มค่ากับการใช้งานที่สุดผู้ใช้งานจะต้องทำการพิจารณาในเรื่องของพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ตลอดช่วงอายุการใช้งานซึ่งจะเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของมอเตอร์เมื่อนำไปใช้งาน โดยทั่วไป ข้อมูลของมอเตอร์จากแคทาล็อกจะระบุค่าประสิทธิภาพที่ 50, 75 และ 100% ของพิกัดมอเตอร์ แต่ในการนำไปใช้งานจริงมอเตอร์นี้อาจจะทำงานอยู่ที่ 80, 85, 90 % ของพิกัดก็ได้ซึ่งไม่มีข้อมูลประกอบการพิจารณาซึ่งอาจจะมีผลทำให้การประเมินค่าใช้จ่ายของพลังงานคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิตต่างๆเมื่อนำไปใช้งานจริง (EPMI) ซึ่งในการใช้งานนั้นจะต้องทำการกรอกข้อมูลที่อยู่ในแคทาล็อกลงไป โปรแกรมโดยข้อมูลที่ใช้นั้นจะได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าอินพุต ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังเอาต์พุตพิกัด ประสิทธิภาพพิกัด แรงบิดพิกัด ความถี่ จำนวนขั้ว แรงบิดสูงสุด ประสิทธิภาพที่ภาระทางกล 75% และความเร็วพิกัด ซึ่งวิธีการใช้งานโปรแกรมนั้นจะมีวิธีการใช้งานดังหัวข้อ 5.6

ในหัวข้อนี้จะทำการยกตัวอย่างการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ โดยตัวอย่างที่จะนำเสนอจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งจะนำมาใช้งานในสถานะโหลดที่เดียวกัน โดยข้อมูลจากแคตาลอกของมอเตอร์ทั้ง 4 ที่จะใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์แสดงดังตารางที่ 7.8 และ ตารางที่ 7.9 จะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 4 โดยกำหนดสถานะ โหลดที่จะนำมอเตอร์ไปใช้งานนั้นมีค่าเท่ากับ 60 kW

ตารางที่ 7.8 ข้อมูลจากแคตาลอกของมอเตอร์ใหม่ที่ใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพ

400 V , 50 Hz , 4 Pole

Manufacturer	Rated kW	Maximum Torque(%)	Current (Amp)	Power Factor	Speed (rpm)	Torque (N-m)	Efficiency 100%Load	Efficiency 75%Load
Rotor bv	75	255	133	0.88	1480	483.9	93.1	92.9
Siemens	75	240	130	0.86	1482	483	94.7	94.7
AEG	75	270	140	0.85	1485	482.3	94.8	94.7
AEG	90*	270	168	0.85	1480	580.7	95.2	95

ตารางที่ 7.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมในส่วนของการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 4 ตัวโดยกำหนดสถานะ โหลดที่จะนำมอเตอร์ไปใช้งานนั้นมีค่าเท่ากับ 60 kW

Manufacturer	Rated(kW)	Output Power (kW)	Torque(N-m)	Load (%)	Efficiency (%)
Rotor bv	75	60	390.12	80	93.98
Siemens	75	60	395.31	80	94.44
AEG	75	60	395.65	80	95.07
AEG	90*	60	386.02	66.67	94.71

ตารางที่ 7.10 จะทำการแสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการคัดเลือกระหว่างมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 1 กับมอเตอร์ใหม่ตัวที่ 2, 3 และ 4 เข้าใช้งานในระบบ และตารางที่ 7.11 จะแสดงข้อสรุปของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 4 ที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของโปรแกรมเมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ

ตารางที่ 7.10 ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณตลอดช่วงอายุการใช้งานเมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบ

	มอเตอร์ใหม่ 1	มอเตอร์ใหม่ 2	มอเตอร์ใหม่ 3	มอเตอร์ใหม่ 4
ยี่ห้อ	Rotor bv	Siemens	AEG	AEG
พิกัดมอเตอร์(kw)	75	75	75	90*
กำลังขับ โหลด(kw)	60	60	60	60
ประสิทธิภาพ(%)	93.98	94.44	95.07	94.71
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้(Kwh/Y)	484188.13	481829.73	478636.79	480480.15
ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/ปี)	1305772.09	1299411.92	1290801.11	1295772.33
อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้	TOD	TOD	TOD	TOD
ค่าUnit (แบบปกติ)	-	-	-	-
ค่าUnit (On-Peak)	-	-	-	-
ค่าUnit (Off-Peak)	-	-	-	-
ค่าUnit (ทุกช่วงเวลา)	1.666	1.666	1.666	1.666
Ft (บาท/กิโลวัตต์)	0.8544	0.8544	0.8544	0.8544
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าFt(%)	30	30	30	30
ค่าบริการ (บาท/เดือน)	-	-	-	-
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม(%)	7	7	7	7
ปีแรกในการดำเนินงาน	2007	2007	2007	2007
อายุที่คาดว่าจะใช้งาน	15	15	15	15
ช่วงอายุค่าเสื่อมราคา	15	15	15	15
มูลค่าซาก	0	0	0	0
อัตราผลตอบแทน	10	10	10	10
อัตราภาษี	7	7	7	7
อัตราเงินเฟ้อ	6.2	6.2	6.2	6.2
วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
จำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อปี	6720	6720	6720	6720
ราคามอเตอร์	104000	312000	28300	335000
ค่าติดตั้ง	0	0	0	0
ส่วนลด(%)	0	40	15	15
ราคารวมมอเตอร์	104000	187200	240550	284750
Efficiency Rated	EFF3	EFF1	EFF1	EFF1

ตารางที่ 7.11 ข้อเสนอของมอเตอร์ใหม่ทั้ง 3 ที่ได้จากการวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานของโปรแกรมเมื่อทำการคัดเลือกมอเตอร์เข้าใช้งานในระบบแทนการเลือกใช้มอเตอร์ยี่ห้อ Rotor bv

มอเตอร์ใหม่	พิกัด (kW)	ราคามอเตอร์	ประสิทธิภาพ (%)	ประเภทมอเตอร์ประสิทธิภาพ	สรุปการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์
Siemens	75	187200	94.44	EFF1	ปี 2020 ค่าไร 4874 บาท ใช้เวลาคืนทุน 13 ปี ปีสุดท้ายปี 2021 ค่าไร 14317 บาท
AEG	75	240550	95.07	EFF1	ปี 2017 ค่าไร 13187 บาท ใช้เวลาคืนทุน 10 ปี ปีสุดท้ายปี 2021 ค่าไร 91256 บาท
AEG	90	284750	94.71	EFF1	ขาดทุน

7.4 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอโปรแกรมการพิจารณาการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นการลดต้นทุนในการผลิตโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งวิธีการที่โปรแกรมใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพนั้นจะมีอยู่ 2 วิธีคือ 1. วิธีการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง(FEE) และ 2. วิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต(EPMI) ซึ่งวิธีการทั้งสองนี้จะใช้หลักการพื้นฐานของวงจรสมมูลทางไฟฟ้าร่วมกับวิธีจินตคติอัลกอริทึม โดยไม่จำเป็นต้องนำมอเตอร์ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะมีความยุ่งยาก เสียเวลา และค่าใช้จ่ายสูง

จากผลลัพธ์การวิจัยในเรื่องของการประมาณค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะใช้งานจริงนั้นจะเห็นได้ว่าวิธี FEE จะมีความแม่นยำกว่าวิธี SM CM และ ECM ส่วนในเรื่องของการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกนั้นจะเห็นได้ว่ามีความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการเหล่านี้มาใช้ในการพิจารณาในเรื่องของการจัดการพลังงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของค่าใช้จ่ายพลังงานของมอเตอร์เป็นต้นทุนระยะยาวที่สำคัญในการลงทุนของโรงงาน ในกรณีที่จะพิจารณาจัดซื้อมอเตอร์ใหม่เพื่อการทดแทนมอเตอร์ตัวเดิมหรือการติดตั้งเพิ่มเติม การเลือกซื้อมอเตอร์โดยการพิจารณาเพียงด้านราคาที่ถูกที่สุดอาจจะเป็นทางเลือกที่ผิดสำหรับการลงทุนในระยะยาว การเลือกมอเตอร์ควรคำนึงถึงข้อได้เปรียบของค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานที่ต่างกันถึงแม้จะมีค่าเพียงเล็กน้อยแต่อาจจะมีผลต่อการลงทุนทางด้านค่าใช้จ่ายพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้มอเตอร์นั้น ซึ่งในการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอด

ตามเวลาซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ค่าดอกเบี้ย ค่าเงินเฟ้อ ค่าภาษี และ ค่าเสื่อมราคา โดยประโยชน์ของโปรแกรมนี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะวิเคราะห์ถึงปัจจัยสำคัญต่างๆที่มีผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ หรือทำการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาใช้งานในระบบได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำ

7.5 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมการพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงานที่ได้นำเสนอเป็นโปรแกรมที่อยู่ในรูปแบบของ Graphic User Interface (GUI) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ง่ายต่อการใช้งานและผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมนี้อาจมีความถูกต้องแม่นยำที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้คือ

1. ในการใช้งานโปรแกรมผู้ใช้งานควรมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งสามารถศึกษาได้จาก บทที่ 2 หรือตามหนังสือเกี่ยวกับเศรษฐศาสตร์ทั่วไป ที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อที่จะให้การตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนหรือการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าระบบนั้นทำได้ถูกต้อง
2. วิธี FEE ที่นำเสนอนี้จะเป็นการประมาณค่าประสิทธิภาพขณะมอเตอร์ทำงานโดยวิธีการนี้จะกำหนดให้มอเตอร์มีการใช้งานคงที่ตลอดเวลา ซึ่งในความเป็นจริงการทำงานของมอเตอร์นั้นจะไม่คงที่เนื่องจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงของโหลด (Load Profile) ดังนั้น ในอนาคตเพื่อที่จะทำให้วิธี FEE มีความเหมาะสมกับการใช้งานจริงมากขึ้นก็ควรที่จะต้องพัฒนาวิธี FEE ให้สามารถที่จะวิเคราะห์ถึงสภาวะการทำงานของมอเตอร์ที่ไม่คงที่ต่อไป
3. ในเรื่องของการจัดการพลังงานในส่วนของการคิดค่าไฟฟ้านั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่ได้ทำการคิดค่าไฟฟ้าในส่วนของการต้องการพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น ในอนาคตเพื่อที่จะให้การวิเคราะห์ในส่วนของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์และการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในระบบให้มีความแม่นยำและเหมาะสมกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ก็ควรที่นำค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้านี้เข้าไปคิดในค่าไฟฟ้าด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.S.Hsu, J.D.Kueck, M. Olszewski, D.A. Casada, P.J.Otaduy, and L.M Tolbert, “**Comparison of induction motor field efficiency evaluation methods**” IEEE Transactions on Industry Appli., vol. 34, issue:1, pp. 117-125, Jan./Feb. 1998.
- [2] ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, “เอกสารประกอบการสอน วิชา **Electrical Machines**”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] Chaiwut Chat-uthai. “**The Development of Non-Linear Constrained Optimisation Methods Applied to Electromagnetic Devices.**” Ph.D.Thesis of the University of London and for the Diploma of Membership of Imperial College. 1995.
- [4] David E. Goldberg. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.** Reading, Massachusetts : Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989
- [5] Zbigniew Michalewicz. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs.** 3rd Ed. New York : Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1996.
- [6] การไฟฟ้านครหลวง, “**อัตราการคิดค่าไฟฟ้า**”, ตุลาคม 2548
- [7] วิวัฒน์ อภิสิทธิ์ภิญโญ, “**เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม Engineering Economics**”, โอเดียนซอฟต์แวร์ เทคโนโลยี
- [8] NEMA Standards Publication No. MG1, National Electrical Manufacturers Association (NEMA), Washington, D.C., 1993
- [9] Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machinery From Tests, IEC 34-2, 1996
- [10] ธนวิวัฒน์ ภูมิภาค, ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, “**วิธีการแบบประหยัดสำหรับการประมาณค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง**”, การประชุมวิชาการทางไฟฟ้า ครั้งที่ 27, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, PW18, หน้า 69-72 , พฤศจิกายน 2547.
- [11] T. Phumiphak, T. Kedsoi and C. Chat-uthai, “**Efficiency Prediction for Induction Motor Based on Manufacturer Information**”, Proc. Of the ECTI International Conference, Thailand, pp. 762-765, May 2005
- [12] A.Boglietti, A.Cavagnino, M. Lazzari, and M.Pastorelli, “**International Standards for the Induction Motor Efficiency Evaluation: A Critical Analysis of the Stray-Load Loss Determination,**” IEEE Transactions of Industry Applications, Sept/Oct 2004

ภาคผนวก ก.
ตัวดำเนินการทางจີเนติกอัลกอริธึม

ตัวดำเนินการทางจีเนติกอัลกอริทึม

1. การคัดเลือก (reproduction or selection)

การคัดเลือกเป็นกระบวนการที่จะตัดสินว่าโครโมโซมใดจะคงอยู่ในรุ่น (generation) เพื่อนำไปคัดลอกต่อไป โดยจะตัดสินจากฟังก์ชันของแต่ละโครโมโซมความน่าจะเป็น (probability) ของแต่ละโครโมโซมที่จะถูกคัดเลือกซึ่งแทนด้วย $P_{select}(i)$ หาได้จากสมการ (ก.1)

$$P_{select}(i) = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^k f_j} \quad (ก.1)$$

โดยที่ f_i คือค่าฟังก์ชันของแต่ละโครโมโซม

ส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดเลือก (num_i) เพื่อนำไปจับคู่และสร้างโครโมโซมลูกสามารถหาได้จากสมการ (ก.2)

$$num_i = N * P_{select}(i) \quad (ก.2)$$

โดยที่ N คือจำนวนโครโมโซมทั้งหมด (population size)

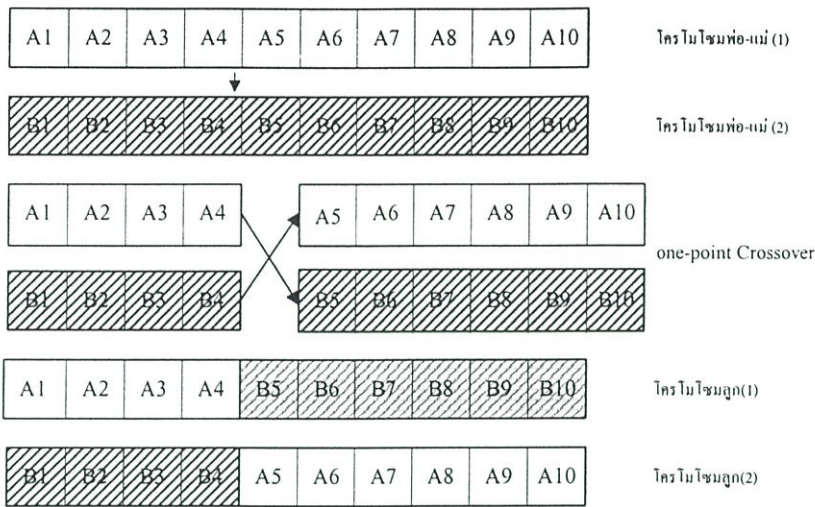
กระบวนการที่ตัดสินว่าโครโมโซมใดจะยังอยู่เพื่อนำไปคัดลอกในรุ่นต่อไปโดยตัดสินจากความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซม ถ้าเป็นบิตแบบไบนารีจะใช้เทคนิควงล้อรูเล็ตและบิตเป็นจำนวนจริงหรือจำนวนเต็มจะใช้ normalized geometric

ในกระบวนการของการคัดเลือกนี้บางครั้งอาจมีวิธีการบางส่วนที่แตกต่างกันไป เช่น จำนวนโครโมโซมที่ถูกการคัดเลือก (num_i) ซึ่งในงานวิจัยของ Randy L.Haupt ได้ใช้วิธีการคัดเอา 50% ของจำนวนโครโมโซมจากโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันที่ดีที่สุดของทั้งหมดมาเป็นโครโมโซมพ่อแม่ ส่วนงานวิจัยของ Koji Shimojima , Yasuhisa Hasegawa และ Toshio Fukuda โดยใช้วิธีการคัดเอาโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันสูงกว่าค่าฟังก์ชันที่กำหนดไว้เท่านั้นแล้วจึงทำการสุ่มคัดเอาเพื่อเป็นโครโมโซมพ่อแม่เป็นต้น

2. การสร้างโครโมโซมลูก (crossover)

หลังจากกระบวนการคัดเลือกได้โครโมโซม พ่อ-แม่แล้วการสร้างโครโมโซมลูก หรือการ (crossover) เป็นกระบวนการขั้นต่อไปซึ่งโดยทั่วไปมี 3 วิธี

วิธีของ one-point crossover คือการสุ่มค่าตั้งแต่ 1 ถึง $n-1$ เพื่อหาตำแหน่งในการ crossover โดยที่ n คือค่าจำนวนบิตทั้งหมดในโครโมโซมดังตัวอย่างรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การสร้างโครโมโซมลูกแบบ one-point crossover

จากรูปที่ ก.1 โครโมโซม พ่อ-แม่ (1) และโครโมโซม พ่อ-แม่ (2) นำมาสร้างโครโมโซมลูกแบบ one-point crossover โดยมีตำแหน่งสำหรับการครอสโอเวอร์ที่สุ่มได้คือ 4 ทำให้โครโมโซมลูก 2 โครโมโซมที่มีการสลับกันของโครโมโซม พ่อ-แม่ ณ ตำแหน่งบิตที่ 4

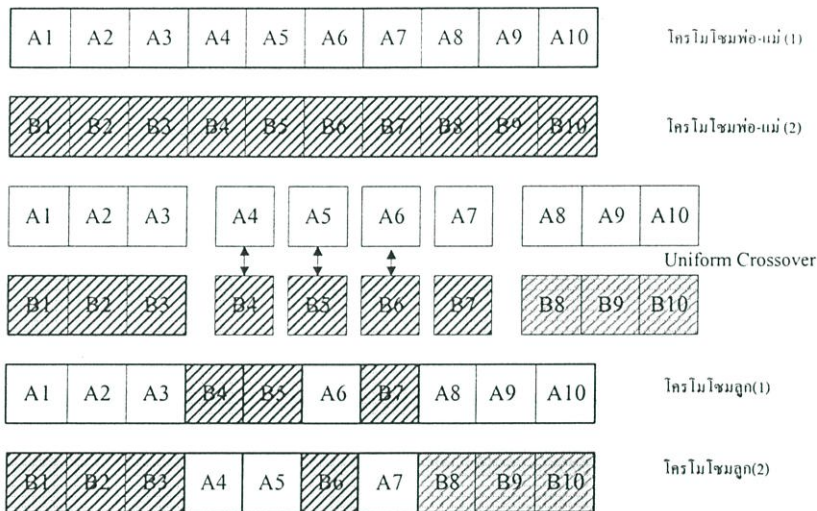
วิธี two-point crossover คือการสุ่มค่า 2 ค่า ตั้งแต่ 1 ถึง $n-1$ เพื่อตำแหน่ง 2 ตำแหน่งในการครอสโอเวอร์แล้วทำการสลับบิต โดยการเอาบิตที่อยู่ระหว่างค่าตำแหน่งบิตที่สุ่มได้ 2 ตำแหน่งมาสลับกันระหว่างโครโมโซม พ่อ-แม่ (1) กับโครโมโซม พ่อ-แม่ (2) เพื่อให้ได้โครโมโซมลูก 2 ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 การสร้างโครโมโซมลูกแบบ two-point crossover

จากตัวอย่างรูปที่ ก.2 เป็นการสร้างโครโมโซมลูกแบบ two-point crossover ค่าตำแหน่งบิตที่สุ่มได้คือ 3 และ 6 โดยการสลับค่าบิตที่อยู่ระหว่าง 3 กับ 6 ของโครโมโซม พ่อ-แม่ ทั้ง 2 โครโมโซมจะได้โครโมโซมลูก 2 โครโมโซม

วิธี uniform crossover คือกำหนดจำนวนบิตที่ต้องการแลกเปลี่ยนกันระหว่างโครโมโซม พ่อ-แม่ (1) กับโครโมโซม พ่อ-แม่ (2) แล้วสุ่มจำนวนบิตที่ได้โดยทั่วไปจำนวนบิตที่แลกเปลี่ยนกันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0% ถึง 5 % ดังตัวอย่างรูปที่ ก.3

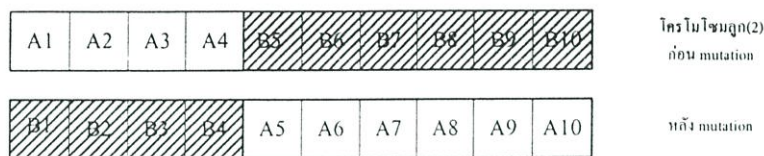


รูปที่ ก.3 การสร้างโครโมโซมลูกแบบ uniform crossover

จากรูปที่ ก.3 กำหนดให้จำนวนบิตที่ต้องการแลกเปลี่ยนมีค่าเท่ากับ 30% ดังนั้น 30% ของจำนวนบิตทั้งหมดคือ 10 บิต มีค่าเท่ากับ 3 บิต แล้วสุ่มตำแหน่งบิตที่ 3 ตำแหน่ง โดยมีค่าที่สุ่มได้คือ 4, 5, 7 ดังนั้น โครโมโซมลูกที่ได้จะมีการแลกเปลี่ยนบิตกันระหว่างบิตที่ 4, 5, 7 ของโครโมโซม พ่อ-แม่ (1) กับโครโมโซม พ่อ-แม่ (2)

3. การกลายพันธุ์ (mutation)

หลังจากได้โครโมโซมลูกยังมีตัวดำเนินการอีกชนิดหนึ่งคือ การกลายพันธุ์โดยมีวิธีการคือ ทำการสุ่มโครโมโซมลูกแล้วสุ่มตำแหน่งบิตในโครโมโซมนั้นเพื่อเปลี่ยนค่าของบิตในโครโมโซมดังกล่าวเนื่องจากโครโมโซมลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์ของโครโมโซม พ่อ-แม่นั้น มีส่วนประกอบของพันธุกรรมที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง การกลายพันธุ์จึงสามารถป้องกันข้อบกพร่องดังกล่าวได้ วิธีการกลายพันธุ์ของโครโมโซมลูกแสดงตัวอย่างดังรูป ก.4



รูปที่ ก.4 การกลายพันธุ์ (mutation)

จากรูปที่ ก.4 ตำแหน่งที่ถูกสุ่มให้มีการกลายพันธุ์คือตำแหน่งที่ 3 โดยมีค่าบิตเปลี่ยนจาก B3 เป็น B'3 โดยที่ค่าของบิตโครโมโซมที่ใช้เป็นแบบบิต 0 หรือ 1 ค่าของ B'3 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 หรือ 0 เป็น 1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าของ B3 แต่สำหรับค่าบิตที่เป็นแบบจำนวนเต็มหรือจำนวนจริง ค่าของ B'3 จะเป็นค่าที่เกิดจากการสุ่มค่าจำนวนเต็มสำหรับโครโมโซมมีค่าบิตเป็นจำนวนเต็มและจำนวนจริงสำหรับโครโมโซมที่มีค่าบิตเป็นจำนวนจริง

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจินตિકอัลกอริธึม

ในการใช้จินตિકอัลกอริธึม ซึ่งประกอบด้วยตัวดำเนินการต่างๆตามที่ได้อธิบายมาแล้ว ตัวดำเนินการที่ถือว่าเป็นตัวดำเนินการหลักของจินตિકอัลกอริธึมได้แก่ตัวดำเนินการ คrossover และ ตัวดำเนินการกลายพันธุ์ เนื่องจากการ crossover เป็นการสร้างโครโมโซมชิ้นใหม่ โดยจากโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกแล้วส่วนการกลายพันธุ์เป็นการเพิ่มโอกาสในเปลี่ยนค่าของบิต ดังนั้นปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดผลการทำงานของจินตિકอัลกอริธึมได้แก่จำนวนโครโมโซมทั้งหมด (population size, $Popsiz$ e), ความน่าจะเป็นจากการสร้างโครโมโซมลูก (crossover rate or crossover probability, P_c) และ ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (mutation rate or mutation probability, P_m)

- จำนวนโครโมโซมทั้งหมด (population size, $Popsiz$ e)

จำนวนโครโมโซมหรือ $Popsiz$ e คือค่าจำนวนโครโมโซมทั้งหมดที่กำหนดขึ้นในกระบวนการของจินตિકอัลกอริธึมยังมีค่า $Popsiz$ e มากจะทำให้มีตัวเลือกมากขึ้นด้วยแต่ทั้งนี้การกำหนดค่า $Popsiz$ e ขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนดผู้ใช้เองหรือความซับซ้อนของงานที่จะนำมาค้นหาคำตอบ (optimization)

- ค่าความน่าจะเป็นของการสร้างโครโมโซมลูก (crossover probability, P_c)

ค่าความน่าจะเป็นของการสร้างโครโมโซมลูกหรือค่า P_c คือค่าความน่าจะเป็นที่จะทำให้เกิดการครอสโอเวอร์ของโครโมโซม พ่อ-แม่ โดยทั่วไปจะกำหนดให้ P_c มีค่าอยู่ในช่วง 0.75 ถึง 0.95 ได้มีการเสนอแนะการหาจำนวนโครโมโซมที่จะถูกครอสโอเวอร์ ไว้ดังสมการ (ก.3)

$$N_x = P_c * Popsizе \quad (ก.3)$$

โดยที่ N_x คือจำนวนโครโมโซมที่จะถูกครอสโอเวอร์
 $Popsizе$ คือจำนวนโครโมโซมทั้งหมด

หรืออีกวิธีหนึ่งของการคัดเลือกโครโมโซมที่ใช้ค่า P_c เป็นแนวทางโดยในแต่ละโครโมโซมจะสุ่มค่า r โดยที่ r มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยมีเงื่อนไขว่า $r < P_c$ โครโมโซมนั้นจะถูกครอสโอเวอร์แล้วทำการจับคู่โครโมโซมแบบสุ่มเพื่อทำการครอสโอเวอร์

- ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (mutation probability, P_m)

ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์หรือค่า P_m เป็นปัจจัยอีกค่าหนึ่งที่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ซึ่งทุกบิตในโครโมโซมลูกจะมีโอกาสในการกลายพันธุ์โดยทั่วไปจะกำหนดให้ P_m มีค่าอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 0.1 และค่า P_m มักจะกำหนดให้มีค่าน้อยๆเพื่อให้โครโมโซมที่ดีมีโอกาสถูกทำลายน้อยลง Dejong ได้เสนอแนะว่าค่า P_m ควรมีค่าแปรผกผันกับ $Popsizе$ และ H essner และ Manner ได้เสนอแนวทางการหาค่า P_m โดยประมาณดังสมการที่ (ก.4) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกค่า P_m

$$P_m = \frac{1}{Popsizе \times \sqrt{m}} \quad (ก.4)$$

โดยที่ m คือจำนวนบิตใน 1 โครโมโซมนอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะในจำนวนบิตที่จะถูกกลายพันธุ์ดังสมการที่ (ก.5)

$$N_m = P_m \times m \times Popsizе \quad (ก.5)$$

โดยที่ N_m คือจำนวนบิตทั้งหมดที่ถูกกลายพันธุ์ m คือจำนวนบิตใน 1 โครโมโซม

เมื่อได้ค่า P_m แล้วในแต่ละโครโมโซมจะถูกสุ่มค่า r โดยที่ r มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยมีเงื่อนไขว่าถ้า $r < P_m$ โครโมโซมนั้นจะถูกเลือกให้มีบิตที่ถูกกลายพันธุ์

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ตัวดำเนินการครอสโอเวอร์เป็นตัวดำเนินการหลักของจีเนติกอัลกอริธึม การครอสโอเวอร์ จึงถือเป็นกระบวนการหลักที่ทำให้จีเนติกอัลกอริธึมเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสม ที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ดังนั้น ค่า P_c จึงมักถูกกำหนดให้มีค่าสูงแต่วิธีการครอสโอเวอร์ จะนำเอาโครโมโซมพ่อแม่ ที่อยู่ติดกันมาครอสโอเวอร์กัน หรือจะกระทำโดยการสุ่มเอาโครโมโซมพ่อแม่ มาครอสโอเวอร์ กันก็ได้และเช่นเดียวกันกับการกลายพันธุ์ ผู้ใช้อาจสุ่มเอาโครโมโซมลูกขึ้นมาเพื่อทำการกลายพันธุ์ หรือสุ่มจากค่า r ของแต่ละโครโมโซมเพื่อเปรียบเทียบกับค่า P_m ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดผู้ใช้เอง L.Haupt ได้เสนอแนะการใช้จีเนติกอัลกอริธึมเพื่อให้เกิดการลู่เข้าสู่คำตอบ (algorithms convergence) อย่างได้ผลมากขึ้น โดยได้มีข้อเสนอแนะดังนี้คือ

1. เพิ่มจำนวนการกลายพันธุ์
2. เพิ่มจำนวนโครโมโซม (*Popsiz*e)
3. เพิ่มเต็มเงื่อนไขหรือบังคับ (constrains) ของปัญหาที่ต้องวิเคราะห์

จากข้อเสนอแนะดังกล่าวอาจช่วยให้สามารถหาคำตอบได้ดีขึ้นหรือรวดเร็ว แต่ Randy L. Haupt ได้กล่าวถึงปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการลู่เข้าสู่คำตอบ convergence เช่นจำนวนบิตโครโมโซม ถ้ายังจำนวนบิตมากค่าความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) ของคำตอบจะมีค่ามากการหาค่าที่เหมาะสม(optimization) จะมีตัวเลือกเพื่อให้ใกล้คำตอบมากขึ้นแต่จะทำให้แต่ถ้าเกิดการลู่เข้าสู่คำตอบ convergence จะช้า และต้องใช้หน่วยความจำในการทำงานของจีเนติกอัลกอริธึมดังกล่าวมาก

ขั้นตอนการทำงานของจีเนติกอัลกอริธึมมีดังนี้คือ

- 1.การสร้างจำนวนโครโมโซมและจำนวนบิต (initialization)
- 2.การหาค่าฟังก์ชัน (cost function)
- 3.การคัดเลือก (reproduction or selection)
- 4.การสร้างโครโมโซมลูก (crossover)
- 5.การกลายพันธุ์ (mutation)

การทำงานของจีเนติกอัลกอริธึมพันธุเริ่มต้นจากโครโมโซมจำนวน k โครโมโซมซึ่งในแต่ละโครโมโซมประกอบด้วยจำนวน n บิต โครโมโซมดังกล่าวเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังสมการที่ (ก.6)

$$\text{โครโมโซม } (k) = \{ \text{บิต1, บิต2, ..., บิต n} \} \quad (\text{ก.6})$$

โดยที่ค่า k มีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนโครโมโซมที่ต้องการ

คำนวณหาค่าของแต่ละฟังก์ชันของแต่ละโครโมโซม ซึ่งค่าฟังก์ชันที่ได้แต่ละโครโมโซมจะมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากค่าของบิตในแต่ละโครโมโซมมีค่าแบบสุ่ม (randomly) จากนั้นทำการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อเรียงลำดับโครโมโซมใหม่โดยการคัดเลือกโครโมโซมจะคัดเลือกค่าฟังก์ชันแต่ละโครโมโซม โดยเรียงลำดับจากโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันใกล้เคียงกับที่ต้องการมากที่สุดไปยังค่าที่น้อยที่สุด แล้วทำการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด ณ รุ่น (generation) นั้นซึ่งเรียกโครโมโซมเหล่านี้ว่าโครโมโซมพ่อ-แม่ (parent) จากโครโมโซมพ่อ-แม่ที่ได้สามารถสร้างโครโมโซมลูก (offspring) ได้โดยการ crossover การสร้างโครโมโซมลูกกระทำด้วยวิธีใดก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ หลังจากได้โครโมโซมลูกแล้ว ทำการกลายพันธุ์ หรือ mutation กับโครโมโซมลูกดังกล่าวแล้วหาฟังก์ชันใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด ไปยังค่าที่การน้อยสุดทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ,3 , 4 และ 5 จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการ

ภาคผนวก ข.
ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

ความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge)

ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge)

เป็นค่าไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้ไปในรอบเดือนนั้นๆ อัตราค่าไฟฟ้ามีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าในส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การดำเนินงาน และค่าเชื้อเพลิง โดยแบ่งออกไปตามระดับแรงดัน เรียกเป็น Energy Cost

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum Charge)

ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor Charge)

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกิน จะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ในอัตราร้อยละ 14.02 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้นเศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ(Ft)

เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้อยู่ในการควบคุมของการไฟฟ้า เช่น ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า เปลี่ยนแปลงไปจากมาตรฐานที่ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าในปี 2543 อัตราค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติมีหน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ บาทต่อหน่วย

ค่าบริการ (Service Charge)

เป็นค่าบริการเกี่ยวกับเครื่องวัด ค่าบริการจดหน่วย จัดทำใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า และการดำเนินงานจัดเก็บเงินค่าไฟฟ้า มีหน่วยเป็น บาทต่อเดือน ค่าไฟฟ้าส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนค่าบริการของผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีความชัดเจน เรียกเป็น Customer Cost

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)

ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ ปัจจุบันเก็บในอัตราส่วนร้อยละ 7

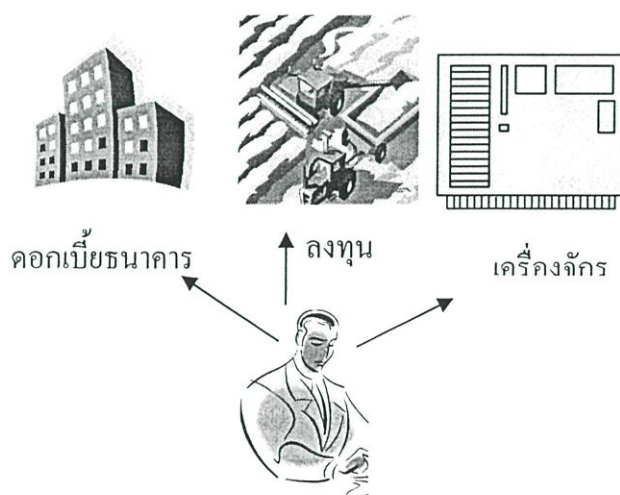
ภาคผนวก ค.
ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงาน

1. ค่าของเงินที่เปลี่ยนตามเวลา

ในการฝากเงินกับธนาคารผู้ฝากจะได้รับดอกเบี้ยในช่วงเวลาหนึ่ง ตามอัตราดอกเบี้ยที่กำหนดไว้ เป็นความจริงที่ว่า 1 บาทที่ได้รับในอนาคตจะมีค่าน้อยกว่าเงิน 1 บาทที่มีอยู่ในปัจจุบัน จากความสัมพันธ์ระหว่างดอกเบี้ยและเวลา เราสามารถจะกำหนดค่านิยามค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือเงิน 1 บาทที่มีอยู่ในปัจจุบัน จะมีค่ามากกว่าเงิน 1 บาทที่จะได้รับในอีก 5 ปีข้างหน้า ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าเงิน 1 บาทที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถนำมาลงทุน และมีโอกาสได้รับผลตอบแทนเป็นเวลา 5 ปี จึงมีค่ามากกว่า 1 บาทที่จะได้รับในเวลานั้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเงินมีอำนาจการหา (Earning Power) ดังนั้นเงิน 1 บาทในปัจจุบันจะมีค่าเท่ากับผลรวมของเงิน 1 บาทกับดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นในเวลา 5 ปี

ดังนั้นในการลงทุนซื้อมอเตอร์ก็จะต้องมาคำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนตามเวลานี้ด้วย ตัวอย่าง เช่น สมมติว่า ถ้าซื้อมอเตอร์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงราคา 20000 บาทมาใช้งานแทนมอเตอร์เก่าที่มีประสิทธิภาพต่ำโดยคาดว่าอายุการใช้งานเป็นเวลา 10 ปี ถ้าไรจากการลงทุนนี้ก็คือนำเงินไปจ่ายไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ตลอดช่วงอายุการใช้งานซึ่งสมมติเป็นเงิน 30000 บาท แต่ถ้ามองอีกแง่หนึ่ง ถ้านำเงิน 20000 บาท ไปลงทุนอย่างอื่นดังรูปที่ ค.1 หรือนำเงินไปฝากธนาคารที่อัตราดอกเบี้ยค่าหนึ่งตลอด 10 ปี(ถ้าไรจากการลงทุนหรือจากการฝากเงินกับธนาคารก็คือ ดอกเบี้ยนั่นเอง) สมมติปรากฏว่าได้กำไรจากการลงทุนหรือฝากเป็นเงิน 25000 บาท แสดงว่าในกรณีนี้การลงทุนซื้อมอเตอร์ใหม่นั้นเป็นที่น่าสนใจกว่าการนำเงินไปลงทุนหรือฝากธนาคาร จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าในการลงทุนที่จะซื้อมอเตอร์นั้นจะต้องพิจารณาถึง ค่าดอกเบี้ย ด้วย



รูปที่ ค.1 การดำเนินการเลือกซื้อโดยวิธีคุ้มค่าที่สุด

- ดอกเบี้ยและอัตราดอกเบี้ย (Interest and Interest Rate)

ดอกเบี้ย คือ จำนวนเงินซึ่งจ่ายตอบแทนให้เป็นผลประโยชน์เมื่อมีการกู้ยืม ในแง่ของการลงทุนอาจจะพิจารณาได้ว่า ดอกเบี้ย คือผลประโยชน์หรือกำไรที่จะได้รับหลังจากผลิตสินค้าออกสู่ท้องตลาดแล้ว

อัตราดอกเบี้ย คือ จำนวนดอกเบี้ยที่คำนวณได้จาก 1 หน่วยของเงินต้นที่เพิ่มขึ้นใน 1 หน่วยเวลา โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ เช่น 5%, 10% โดยทั่วไป 1 หน่วยเวลาในการคำนวณคือ 1 ปี แต่หากกำหนดเป็นอย่างอื่นจะต้องมีการระบุหน่วย เช่น 3% ต่อเดือน, 2% ต่อเดือน

วิธีการคำนวณหาดอกเบี้ย

การคำนวณหาดอกเบี้ยนั้นจะทำการคำนวณเมื่อครบรอบของดอกเบี้ย โดยมีอัตราดอกเบี้ยและเวลาเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณ ซึ่งสามารถคำนวณหาดอกเบี้ยได้จากการคำนวณแบบดอกเบี้ยเชิงเดียว (Simple interest) หรือ ดอกเบี้ยทบต้น (Compound interest)

1. ดอกเบี้ยเชิงเดียว (Simple interest)

การคิดดอกเบี้ยแบบเชิงเดียวเป็นการคำนวณหาดอกเบี้ยในทุกๆ จำนวนรอบโดยใช้วิธีอัตราดอกเบี้ยที่เท่ากัน ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$I = (iP)N \quad (\text{ค.1})$$

โดย I แทน ดอกเบี้ย

i แทน อัตราดอกเบี้ย

P แทน เงินต้น

N แทน จำนวนรอบของดอกเบี้ย

ดังนั้นในการคำนวณดอกเบี้ยแบบดอกเบี้ยเชิงเดียว จึงเป็นการหาผลรวมของเงินต้นกับดอกเบี้ยที่ N ซึ่งก็คือ การหาค่าของเงินในอนาคต ดังสมการ (ค.2)

$$F = P(I + iN) \quad (\text{ค.2})$$

โดย F แทน จำนวนเงินสุดท้ายหรือเงินอนาคตโดยจะมีค่ารวมของเงินต้นกับดอกเบี้ย

2. ดอกเบี้ยทบต้น (Compound interest)

การคิดดอกเบี้ยทบต้นเป็นการเพิ่มมูลค่าของเงินต้น ด้วยการนำเอาดอกเบี้ยของรอบที่ไม่มีการจ่ายเงินไปรวมเงินต้นของรอบถัดไป ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณดอกเบี้ยจำนวนเงินที่ต้องจ่ายคืนก็จะเพิ่มจำนวนขึ้นตาม ดังสมการ (ค.3)

$$F = P(1 + i)^N \quad (\text{ค.3})$$

2. เงินเฟ้อ

ในการวิเคราะห์ถึงการตัดสินใจในการลงทุนนอกจากการพิจารณาถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรอุปกรณ์ ภาษีแล้วยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ “ เงินเฟ้อ ” ซึ่งในการที่ไม่พิจารณาถึงเงินเฟื่อนี้อาจจะทำให้การตัดสินใจในการลงทุนผิดพลาดได้ โดยสังเกตได้จากในช่วงเศรษฐกิจของประเทศไทยปี พ.ศ. 2530 – 2539 มีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจที่สูงสุดได้จากอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอยู่ที่ร้อยละ 8 ต่อปี

แต่เมื่อปลายปี 2539 ถึงปี 2540 สภาวะเศรษฐกิจเกิดการผันผวนอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าเงินบาทอ่อนตัวมาก จากระดับราคา 26 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ กลายมาเป็น 46 บาทต่อดอลลาร์สหรัฐ ส่งผลทำให้ภาครัฐและเอกชนประสบปัญหาเศรษฐกิจชะงัก ค่าครองชีพสูงขึ้น มูลค่าของเงินลดลง เกิดภาวะเงินเฟ้อ และการว่างงาน จากผลดังกล่าว เป็นตัวอย่างที่ต้องทำให้ในการทำธุรกิจหรือ การวิเคราะห์โครงการลงทุนต่างๆ จึงต้องพิจารณาถึงค่าของเงินเฟ้อที่ส่งผลถึงการลงทุน

ความหมายของเงินเฟ้อ

เงินเฟ้อ หมายถึง การที่ระดับของราคาสินค้าและบริการมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการที่สินค้านั้นราคาสูงขึ้นยังไม่ถือว่าเป็นเงินเฟ้อจะต้องมีราคาสูงอย่างต่อเนื่องจึงจะถือว่าเป็นเงินเฟ้อ หรืออีกความหมายหนึ่งของเงินเฟ้อก็คือ การที่มูลค่าของเงินมีมูลค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจะมีผลทำให้ความสามารถในการซื้อสินค้าหรือบริการลดลง ส่วนสถานการณ์ที่ตรงข้ามกับเงินเฟ้อก็คือ

“ เงินฝืด ” (Deflation) เงินฝืด คือ การที่ระดับราคาสินค้าและบริการมีราคาตกลง ทำให้อำนาจการซื้อสูงขึ้น ลักษณะของราคาสินค้าและบริการที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้ ไม่ใช่เป็นเพียงสินค้าชนิดใดชนิดหนึ่งแต่จะเป็นสินค้าโดยรวมโดยทั่วไป สินค้าบางชนิดราคาสูงขึ้นสินค้าบางชนิดราคาตกลง แต่ภาพรวมแล้วราคาสินค้าไม่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นสถานการณ์นี้ไม่ถือว่าเป็นเงินเฟ้อ เงินเฟ้อสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. เงินเฟ้ออย่างอ่อน

เงินเฟ้ออย่างอ่อน เป็นระดับการเพิ่มขึ้นของราคาสินค้าและบริการ โดยภาพรวมภายใน 1 ปี เพิ่มขึ้นไม่เกิน 5% อาจจะเพิ่มขึ้นช้าๆ ราวปีละ 2 3 หรือ 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเงินเฟ้ออย่างอ่อนนี้จะถือว่าเป็นสภาวะที่ดีที่สุดสภาพเศรษฐกิจ เพราะการที่สินค้านั้นมีราคาเพิ่มขึ้นไม่มาก ผู้ผลิตเมื่อเห็นราคาดีก็

ขยายการผลิต ส่งผลทำให้เกิดการจ้างงาน อัตราการว่างงานก็จะลดลง ส่วนผู้บริโภคการเพิ่มขึ้นของราคาของสินค้ายังไม่มาก ผู้บริโภคก็จะมีความสามารถในการซื้ออยู่

2. เงินเฟ้อปานกลาง

เงินเฟ้อปานกลางเป็นระดับการเพิ่มขึ้นของราคาสินค้าและบริการโดยภาพรวมภายใน 1 ปี เพิ่มขึ้นไม่เกิน 20% เงินเฟ้อระดับนี้จะส่งผลทำให้ ผู้ที่มีรายได้น้อยประสบปัญหาด้านค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นอำนาจการซื้อลดลง ส่วนผู้ที่มีรายได้ระดับปานกลางถึงระดับสูงจะยังไม่ประสบปัญหามากนัก

3. เงินเฟ้ออย่างรุนแรง

เงินเฟ้ออย่างรุนแรงเป็นระดับการเพิ่มของราคาสินค้าและบริการโดยภาพรวมภายใน 1 ปี สูงเกิน 20% เงินเฟ้ออย่างรุนแรงที่จะทำลายสภาพของเศรษฐกิจซึ่งสินค้าและบริการนั้นจำเป็นจะต้องใช้เงินจำนวนมาก ในการที่จะซื้อหรือได้มา สภาพการณ์อย่างนี้มักจะประสบสภาพการณ์ที่บ้านเมืองเกิดภาวะสงคราม ภัยพิบัติต่างๆ

- การวิเคราะห์ระหว่างอัตราเงินเฟ้อและอัตราดอกเบี้ย

จากหลักการในเรื่องค่าของเงินที่เปลี่ยนตามเวลานั้นจะเกี่ยวข้องกับ ค่าเงินเฟ้อ และค่าดอกเบี้ยทั้งสิ้น ดังนั้นในการพิจารณาในเรื่องค่าของเงินในแต่ละช่วงเวลานี้จะต้องทำการรวม อัตราเงินเฟ้อและอัตราดอกเบี้ยเข้าไปดังสมการ (ค.4)

$$i = i' + \bar{f} + i'\bar{f} \quad (\text{ค.4})$$

กำหนดให้	i	แทน อัตราดอกเบี้ยรวมอัตราเงินเฟ้อ
	i'	แทน อัตราดอกเบี้ย
	\bar{f}	แทน อัตราเงินเฟ้อ

3. ค่าเสื่อมราคา

ในการลงทุนเพื่อประกอบกิจการทางด้านธุรกิจ รายได้ที่ได้รับการประกอบกิจการจะต้องนำมาคิดหักค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ธุรกิจได้ลงทุนไปในกิจการไม่ว่าจะเป็นค่าใช้จ่ายทางตรง ค่าใช้จ่ายทางอ้อม เพื่อให้ทราบถึงผลกำไรที่แท้จริงของกิจการที่ได้รับการดำเนินงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหักค่าใช้จ่ายที่ได้ลงทุนไปกับสินทรัพย์นั้นถือเป็นค่าใช้จ่ายที่กิจการจะต้องนำมาคิดเป็นต้นทุน ไม่ว่าจะเป็นการลงทุนไปกับ สิ่งก่อสร้าง อาคาร โรงงาน เครื่องจักร รถบรรทุก ฯลฯ สาเหตุก็เนื่องมาจากสินทรัพย์นั้นลดลง ซึ่งการลดลงของมูลค่าของสินทรัพย์นั้นลดลง ซึ่งการลดลงของมูลค่าของสินทรัพย์นี้จะเรียกว่าการเสื่อมราคา ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการธุรกิจจะต้องมีการคิดมูลค่า

ให้กับค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์เพื่อหักเป็น ต้นทุนของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทดแทนการเสื่อมราคาของสินทรัพย์ที่ได้ลงทุนไป

- ความหมายของค่าเสื่อมราคา

สำหรับความหมายของค่าเสื่อมราคานั้น ได้มีหลากหลายศัพท์บัญญัติได้ให้ความหมายของคำนี้ไว้เช่น

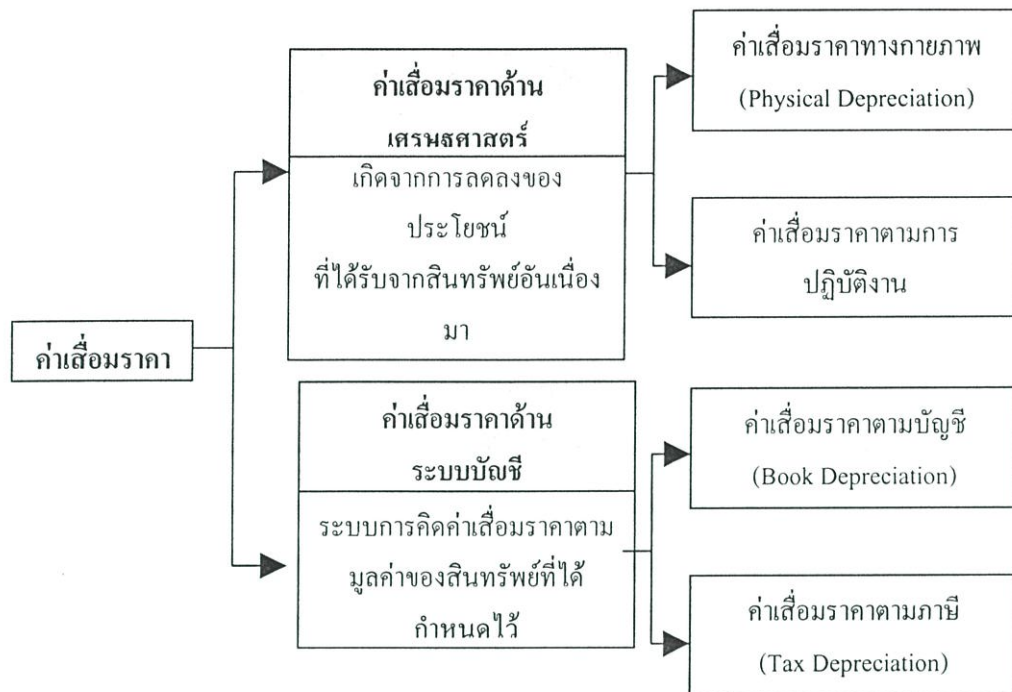
มาตรฐานการบัญชีของไทยฉบับที่ 32 ได้ให้คำนิยามของค่าเสื่อมราคาไว้ว่า ค่าเสื่อมราคา หมายถึง การปันส่วนมูลค่าเสื่อมสภาพของสินทรัพย์อย่างมีระบบตลอดอายุการใช้งานที่ได้ประมาณไว้

American Institute of Certified Accountants (AICPA) ได้ให้คำนิยามความหมายของค่าเสื่อมราคาว่าเป็นวิธีการจัดสรรต้นทุน หรือมูลค่าของสินทรัพย์ประเภททุนหักมูลค่าซากตามอายุการใช้งานของสินทรัพย์นั้นๆ อย่างมีระเบียบและเป็นเหตุเป็นผล

นอกจากนี้ยังมีอีกหลากหลายความหมายที่ได้ให้ไว้กับคำว่าค่าเสื่อมราคาแต่โดยรวมสามารถอธิบายได้ว่า ค่าเสื่อมราคา หมายถึง วิธีการคิดมูลค่าเงินลงทุนอย่างเป็นระบบสำหรับการเสื่อมสภาพของสินทรัพย์ถาวรที่ได้ลงทุนไปตลอดอายุการใช้งานสินทรัพย์นั้นๆ

- มูลเหตุของการเสื่อมราคาของสินทรัพย์ (Asset Depreciation)

ในด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมนั้น ค่าเสื่อมราคาจะเกิดขึ้นกับการประกอบธุรกิจที่มีการลงทุนไปกับสินทรัพย์ถาวร (Fixed Asset) เช่น วัสดุอุปกรณ์ เครื่องจักร โรงงาน อาคาร หรือ สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงาน หรือกิจกรรมซึ่งก่อให้เกิดรายได้แก่ธุรกิจที่มีใช้การส่วนตัว ยกเว้นที่ดินจะไม่มีการคิดค่าเสื่อมราคา ถึงแม้จะเป็นส่วนหนึ่งของสินทรัพย์ดำเนินงานที่ช่วยก่อให้เกิดรายได้ของธุรกิจ สำหรับสินทรัพย์ถาวรที่มีเพื่อใช้ในการดำเนินงานนั้นถือเป็นการลงทุนที่ธุรกิจลงทุนในปัจจุบัน เพื่อหวังผลกำไรที่จะได้รับในอนาคต แต่เมื่อนำสินทรัพย์เข้ามาใช้ในการประกอบธุรกิจ การชำรุดหรือเสียหายของวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ย่อมเกิดขึ้นได้ ตามอายุและลักษณะของการใช้งานเรียกว่า การเสื่อมสภาพของสินทรัพย์ ส่งผลทำให้ผลผลิตที่ได้รับนั้นลดลง และผลกำไรที่ธุรกิจคาดว่าจะได้รับนั้นลดลงไปด้วย



รูปที่ ค.2 ประเภทของค่าเสื่อมราคา

รูปที่ ค.2 แสดงถึงประเภทของค่าเสื่อมราคาที่ยาแนกไว้ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1. ค่าเสื่อมราคาทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Depreciation)
2. ค่าเสื่อมราคาด้านระบบบัญชี (Accounting Depreciation)

- ค่าเสื่อมราคาด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Depreciation)

ค่าเสื่อมราคาด้านเศรษฐศาสตร์เป็นการเสื่อมราคาของสินทรัพย์ที่เกิดขึ้นจากการลดลงของผลประโยชน์ที่ได้รับจากสินทรัพย์ อันเนื่องมาจากการใช้งานและระยะเวลา ซึ่งแบ่งได้เป็นการเสื่อมราคาทางกายภาพ และการเสื่อมราคาตามการปฏิบัติงาน

ค่าเสื่อมราคาทางกายภาพ หมายถึง การเสื่อมราคาของสินทรัพย์ที่เกิดขึ้นจากการลดลงของผลประโยชน์ที่ได้รับผลผลิตลดลงจากการใช้งานสินทรัพย์นั้น ซึ่งความเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นนั้นอาจมาจาก

- 1) การเสื่อมคุณภาพของอุปกรณ์ เช่น การเกิดสนิม ผุพัง หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมี
- 2) การสึกหรออันเนื่องมาจากการใช้งานซึ่งการเสื่อมราคาทางกายภาพนี้ เป็นการเสื่อมราคาของผู้ประกอบการจำเป็นต้องใช้จ่ายเพื่อการซ่อมบำรุงด้วยมูลค่าสูง

ค่าเสื่อมราคาตามการปฏิบัติงาน หมายถึง การเสื่อมสภาพของสินทรัพย์อันเนื่องมาจากความด้อยคุณภาพ หรือความไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานของสินทรัพย์นั้น ๆ ต่อสภาพปัจจุบัน

เช่น ความล้ำสมัย, มีเทคโนโลยีที่ใหม่กว่า, หมดอายุการรับประกัน, การขาดประสิทธิภาพในการสนองตอบความต้องการของผู้บริโภค เป็นต้น

โดยทั่วไปในการประกอบธุรกิจการคิดค่าเสื่อมราคามักใช้การคิดค่าเสื่อมราคาด้วยระบบบัญชีเนื่องจากการคิดค่าเสื่อมราคาด้วยระบบทางการเงิน ซึ่งถือเป็นข้อมูลที่ต้องการและเป็นแนวทางหลักที่สำคัญ แต่เนื่องด้วยการเสื่อมราคานั้นมีรูปแบบของการประเมินค่าของสินทรัพย์ที่หลากหลายและแตกต่างกัน จึงต้องมีการคิดค่าเสื่อมราคาด้วยวิธีการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ แต่ยังคงตั้งอยู่บนพื้นฐานของค่าเสื่อมราคาด้วยระบบบัญชียกตัวอย่างเช่น หากบริษัทลงทุนซื้อเครื่องจักรเพื่อประกอบธุรกิจ มีความเป็นไปได้ว่าบริษัทจะได้รับกำไรจากเครื่องจักรนั้นลดลงตามอายุการใช้งานที่ผ่านไปในแต่ละปี สาเหตุหลักก็เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร ส่งผลธุรกิจต้องสูญเสียรายได้ที่ควรได้รับจากการลงทุน ดังนั้นเพื่อเป็นการชดเชยของรายได้หรือประโยชน์ที่สูญเสียไปในแต่ละปี บริษัทจึงต้องคิดค่าเสื่อมราคาด้วยการประเมินสินทรัพย์โดยคิดหักมูลค่าการตลาดของเครื่องจักรออกจากมูลค่าการซื้อเครื่องจักรจะได้ค่าเสื่อมราคาแสดงได้ดังสมการ (ค.5)

$$\text{ค่าเสื่อมราคาด้านเศรษฐศาสตร์} = \text{มูลค่าการซื้อ} - \text{มูลค่าตลาด} \quad (\text{ค.5})$$

สำหรับวิธีการวัดในลักษณะนี้ถือเป็นการวัดค่าเสื่อมราคาที่ยาก เนื่องจากคิดค่าเสื่อมราคาจากมูลค่าที่ลดลงของสินทรัพย์ตามราคาซื้อขายในตลาด แต่ถือเป็นวิธีที่ไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากขาดความเป็นระบบในการตรวจสอบมูลค่าการตลาดที่แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสินทรัพย์นั้นมีมูลค่าทางการตลาดที่ต่ำมาก ธุรกิจอาจจะต้องตัดรายการของสินทรัพย์นั้นออกจากระบบบัญชี

- ค่าเสื่อมราคาด้านบัญชี (Accounting depreciation)

ค่าเสื่อมราคาด้านระบบบัญชีเป็นการคิดค่าเสื่อมราคาให้กับสินทรัพย์อย่างมีระบบ โดยปันส่วนทุนที่ธุรกิจลงทุนไปกับสินทรัพย์มาเป็นค่าใช้จ่ายในแต่ละรอบบัญชีตลอดอายุของสินทรัพย์นั้น โดยทั่วไปการคิดค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์จะถือเอาค่าเสื่อมราคาด้านระบบบัญชีเป็นมาตรฐาน เนื่องจากการจัดทำบัญชีของสินทรัพย์ที่ธุรกิจเป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์อย่างมีระบบเพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการคิดค่าเสื่อมราคา

นอกจากความเป็นระบบซึ่งเกิดจากการจัดทำบัญชีของสินทรัพย์แล้วนั้น ค่าเสื่อมราคาด้านระบบบัญชียังครอบคลุมถึงการคิดค่าเสื่อมราคาตามข้อกำหนดด้านภาษี โดยกำหนดวิธีการหักภาษีค่าสึกหรอและการคิดค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์ไว้ชัดปฏิบัติ สำหรับประเทศไทยได้มีการใช้พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยการหักค่าสึกหรอและค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์เป็นข้อกำหนด สำหรับการคิดค่าเสื่อมราคาและการสึกหรอของทรัพย์สินไว้อย่างชัดเจนด้วย

ด้วยเหตุของความมีระบบในการคิดค่าเสื่อมราคาด้ำนระบบบัญชี จึงสามารถกำหนดได้ว่า หากรุรกิจมีการประกอบการและมีการลงทุนในสินทรัพย์ การคิดค่าเสื่อมราคาเพื่อใช้ในการลงบัญชี สินทรัพย์และหักภาษีจะใช้การคิดค่าเสื่อมราคาด้ำนระบบบัญชีเป็นหลัก ควบคู่กับข้อกำหนดตามมาตรฐานการบัญชีและ/หรือกฎหมายทางด้ำนภาษี หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าเสื่อมราคาด้ำนระบบบัญชี เป็นการคิดค่าเสื่อมราคาที่เป็นมาตรฐานและเป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไป

- ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมราคาของสินทรัพย์

ในการคิดค่าเสื่อมราคาของสินทรัพย์นั้นมีปัจจัยหลายประการที่จะต้องคำนึงถึง โดยขั้นต้น จะต้องตรวจสอบสินทรัพย์เหล่านั้นก่อนว่ามีเกณฑ์ที่เข้าข่ายการเสื่อมราคาหรือไม่ เช่น

- สินทรัพย์นั้นถูกนำไปใช้งานซึ่งก่อให้เกิดรายได้แก่ธุรกิจหรือกิจการ
- สินทรัพย์นั้นมีการกำหนดอายุการใช้งาน ซึ่งต้องมีอายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี
- สินทรัพย์นั้นสามารถสึกหรอ ผุพัง ล้าสมัย หรือ เสื่อมสภาพ

ดังที่ได้กล่าวไปในตอนต้นแล้วว่า สินทรัพย์ที่อยู่ในเกณฑ์ของการคิดค่าเสื่อมราคา คือสินทรัพย์ถาวร เช่น อาคาร เครื่องจักร อุปกรณ์ และยานพาหนะ แต่จะต้องไม่ใช่สินค้าที่ผลิตหรือมีไว้เพื่อการขายเพราะถือว่าเป็นสินทรัพย์ปกติที่ธุรกิจจัดหามาโดยมีวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้เพื่อการจำหน่ายให้แก่ลูกค้า นอกจากนี้หากพาหนะที่มีการใช้งานในธุรกิจเป็นการใช้งานส่วนตัวก็ไม่สามารถคิดค่าเสื่อมราคาได้ ยกเว้นกรณีใช้ยานพาหนะนั้นเพื่อประโยชน์ในงานของธุรกิจหรือกิจการ

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ทราบว่า การเสื่อมราคานั้นเกิดขึ้นกับสินทรัพย์ถาวร แต่ในการคิดค่าเสื่อมราคาจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อการคิดค่าเสื่อมราคา ได้แก่

1. ต้นทุนของสินทรัพย์ (Cost Basis)
2. อายุการใช้งาน (Useful Life)
3. มูลค่าซาก (Salvage Value)
4. วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation Method)

- ต้นทุนของสินทรัพย์ (Cost Basis of an Asset)

ต้นทุนของสินทรัพย์หมายถึง มูลค่ารวมของการลงทุนเพื่อการได้มาซึ่งสินทรัพย์นั้น คือค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปในการซื้อสินทรัพย์และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่เกิดกับสินทรัพย์ตลอดอายุการใช้งาน สำหรับมูลค่ารวมนั้นโดยทั่วไปนอกจากจะหมายถึงค่าใช้จ่ายที่เป็นราคาของสินทรัพย์ที่รวมภาษีแล้ว ยังรวมถึงค่าใช้จ่ายที่ธุรกิจจะต้องมีการจ่ายค่าดำเนินการที่เกิดกับสินทรัพย์ด้วย เช่น ค่าขนส่ง ค่าจัดเตรียมสถานที่ และค่าติดตั้ง ซึ่งต้องมีการคิดค่าใช้จ่ายที่เป็นเหล่านี้ตลอดอายุการใช้งาน

ดังนั้นมูลค่ารวมจึงมีค่าที่มากกว่าราคาของสินทรัพย์ แต่หากมีส่วนลดทางการค้า และค่าภาษีรับคืน จะต้องนำจำนวนเงินเหล่านี้ไปหักออกจากราคาของสินทรัพย์ด้วยจึงจะได้ต้นทุนที่แท้จริงของสินทรัพย์

วิธีการคิดค่าเสื่อมราคา

วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาถือเป็นรูปแบบที่สำคัญในการคำนวณหาค่าเสื่อมราคาให้กับสินทรัพย์ การที่กิจการจะเลือกวิธีการในการคิดค่าเสื่อมราคา จะต้องใช้วิธีการนั้นตลอดรอบบัญชี ยกเว้นหากได้รับผลประโยชน์จากสินทรัพย์นั้นเปลี่ยนแปลงไป กิจการสามารถที่จะปรับปรุงแบบของวิธีการในการคิดค่าเสื่อมราคาได้แต่จะต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของหลักการทางด้านบัญชี และเป็นที่ยอมรับของสรรพากร สำหรับวิธีการคิดค่าเสื่อมราคากิจการสามารถที่จะทำการคำนวณหาค่าเสื่อมราคาจะใช้วิธีการมูลค่าตามบัญชี (Book Depreciation Method) ซึ่งเป็นการคิดค่าเสื่อมราคาโดยการใช้ข้อมูลทางด้านบัญชีจากงบดุล

วิธีการมูลค่าตามบัญชี (Book Depreciation Method)

วิธีการมูลค่าตามบัญชี เป็นวิธีการคำนวณหาค่าเสื่อมราคาโดยใช้ข้อมูลทางบัญชีที่ถือเป็นหลักการวิเคราะห์ค่าเสื่อมราคาในด้านการเงิน ถึงแม้วิธีการนี้จะไม่ตรงตามหลักของกาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมที่ยึดภาษีรายได้และดอกเบี้ยเป็นข้อสำคัญในการคำนวณค่าเสื่อมราคา แต่ก็ถือเป็นวิธีการที่ใช้กัน โดยทั่วไปและยึดแนวทางของการคำนวณทางด้านภาษีเป็นหลักสำคัญ โดยกำหนดวิธีการในการคิดค่าเสื่อมราคา 2 วิธี

1. วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง
2. วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่ง

- ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง (Straight – Line Method)

วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงเป็นการคิดค่าเสื่อมราคาโดยยึดหลักของการปันส่วนมูลค่าของสินทรัพย์ออกเป็นค่าเสื่อมราคาเท่ากันในแต่ละปีตลอดอายุการใช้งาน การคิดค่าเสื่อมราคาในลักษณะนี้จะเน้นถึงความง่ายและสะดวกในการหาค่าเสื่อมราคา แต่ไม่ได้มีการพิจารณาในรายละเอียดอื่น ๆ เช่น ต้นทุน , ดอกเบี้ย , ประสิทธิภาพการใช้งาน ฯลฯ เพียงแต่สมมุติให้ข้อมูลต่างๆ มีความถูกต้อง สำหรับสมการที่ใช้ในการหาค่าเสื่อมราคาของวิธีการแบบเส้นตรงต่างๆ มีความถูกต้อง สำหรับสมการที่ใช้ในการหาค่าเสื่อมราคาของวิธีการแบบเส้นตรงสามารถเขียนได้ดังสมการ (2.54)

$$D_n = \frac{(I - S)}{N} \quad (ค.6)$$

เมื่อ	D_n	แทน	ค่าเสื่อมราคาจ่ายต่อปีที่ n
	I	แทน	ต้นทุนของสินทรัพย์
	S	แทน	มูลค่าซากเมื่อปีสุดท้ายของอายุการใช้งาน
	N	แทน	อายุการใช้งาน

- ค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่ง (Accelerated Method)

วิธีการค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่ง เป็นการคิดค่าเสื่อมราคาให้กับสินทรัพย์ถาวรปีแรกๆ มาก และลดลงเรื่อยๆ ในปีถัดไป จนกระทั่งหมดอายุการใช้งานของสินทรัพย์นั้นๆ สาเหตุในการคิดค่าเสื่อมราคาในรูปแบบนี้ก็เนื่องจากแนวคิดที่ว่าเมื่อกิจการนำสินทรัพย์เข้ามาใช้ในกิจการในช่วงแรกกิจการจะได้รับผลประโยชน์มากแต่จะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ อันเนื่องมาจากการเสื่อมประสิทธิภาพของสินทรัพย์นั้นตามเวลา จึงเป็นเหตุให้กิจการต้องมีการใช้จ่ายไปกับการซ่อมหรือบำรุงสินทรัพย์เพิ่มขึ้นทุกปีเพื่อให้ประสิทธิภาพของสินทรัพย์คงเดิม สำหรับวิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่ง โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีผลรวมจำนวนปี
2. วิธีราคาตามบัญชีที่ลดลง

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบผลรวมจำนวนปีเท่านั้น

- วิธีผลรวมจำนวนปี (Sum – of – Year’s – Digits (SOYD) Method)

วิธีผลรวมจำนวนปีเป็นวิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบอัตราเร่ง โดยถือว่าประโยชน์ที่ได้จากการใช้สินทรัพย์จะเป็นส่วนกลับกับลำดับที่ใช้ เช่น หากสินทรัพย์มีอายุการใช้งาน 10 ปี ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานปีที่ 1 จะเป็น 10 เท่า ของปีที่ 10 ดังนั้นจึงคิดค่าเสื่อมราคาของปีที่หนึ่ง 10 ส่วน และปีต่อไปลดน้อยลงตามลำดับสำหรับการคำนวณแบบ SOYD จะต้องทำการรวมจำนวนปีของอายุการใช้งานเพื่อใช้เป็นฐานของการคำนวณนับตั้งแต่ปีที่ 1,2,3,...,N เป็นปีสุดท้ายของการใช้งาน สามารถคำนวณหาผลรวมของจำนวนปีโดยเริ่มจากปีที่ 1 ถึง N ได้จากสมการ (ค.7)

$$SOYD = \frac{N(N+1)}{2} \quad (ค.7)$$

เมื่อ $SOYD$ แทน ผลรวมจำนวนปี

เมื่อต้องการทราบถึงอัตราค่าเสื่อมราคาต่อปี (D_n) จะใช้อัตราส่วนของค่าเสื่อมราคาซึ่งจะมีลักษณะเป็นเศษส่วน โดยส่วนที่เป็นตัวหารคือผลรวมจำนวนปี ($SOYD$) และเศษที่เป็นตัวตั้งนั้นมีหลักการว่า ถ้าเป็นปีแรกคือจำนวนอายุการใช้งานทั้งหมด (N) สำหรับปีที่ 2 เศษที่เป็นตัวตั้งคือจำนวนอายุการใช้งานหักลบด้วยอายุการใช้งานที่ผ่านไปในที่นี้คือ 1 ปีที่ผ่านไป ($N - 1$) สำหรับปีที่ 3 เศษที่เป็นตัวตั้งคือ จำนวนอายุการใช้งานทั้งหมดหักลบด้วยอายุการใช้งานที่ผ่านไปในที่นี้คือ 2 ปีที่ผ่านไป ($N - 2$) ส่วนในปีต่อๆ ไปนั้นสามารถทำได้ในทำนองเดียวกันต่อเนื่องกันไป สำหรับค่าเสื่อมราคาแต่ละปีนั้นเป็นการคำนวณหาโดยการนำอัตราส่วนของอายุการใช้งานที่ยังคงมีประโยชน์เหลืออยู่กับผลรวมจำนวนปีคูณกับต้นทุนของสินทรัพย์หลังจากหักมูลค่าซากแสดงได้ดังสมการ (ก.8)

$$D_n = \frac{N - n + 1}{SOYD} (I - S) \quad (\text{ก.9})$$

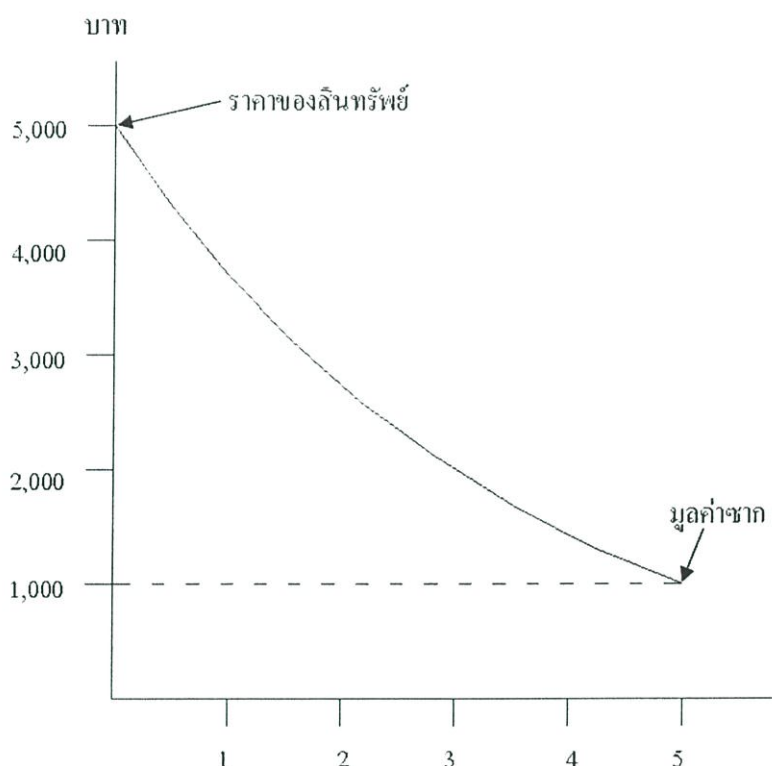
4. อายุการใช้งาน (Useful Life)

หลังจากที่กิจการได้มีการซื้อสินทรัพย์นั้นเข้ามาใช้งานในกิจการ นอกจากจะต้องลงบัญชีสินทรัพย์ที่ประกอบไปด้วยต้นทุนของสินทรัพย์ตามที่กล่าวไปข้างต้น สินทรัพย์นั้นจะจึงมีการกำหนดอายุการใช้งานของสินทรัพย์ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่กิจการพิจารณาว่าจะได้รับประโยชน์จากการใช้งาน หรือได้รับผลผลิตจากสินทรัพย์นั้นคุ้มค่าและตามความสามารถ การกำหนดอายุการใช้งานของสินทรัพย์นั้น นอกจากจะยึดตามข้อกฎหมายหรือพระราชกฤษฎีกาที่มีการกำหนดไว้ กิจการยังสามารถที่จะกำหนดอายุการใช้งานของสินทรัพย์ได้ โดยอาศัยประสบการณ์ด้านการใช้งานสินทรัพย์ต่างๆ ที่กิจการเคยมี เช่น เครื่องจักรที่มีวัสดุประกอบคล้ายคลึงเครื่องจักรเดิมหรือพิจารณาจากประสิทธิภาพของสินทรัพย์โดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น

ในกรณีที่กิจการไม่มีประสบการณ์ในการพิจารณาหรือวิเคราะห์อายุการใช้งานของสินทรัพย์นั้นอาจจะใช้การประมาณการและทบทวนอายุการใช้งานของ สินทรัพย์อย่างสม่ำเสมอ เช่น สินทรัพย์ประเภทที่มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว หรือสินทรัพย์ที่ขาดประสิทธิภาพในการสนองตอบความต้องการของผู้บริโภค แต่หากยังไม่สามารถที่จะประเมินอายุการใช้งานของสินทรัพย์ได้อย่างถูกต้อง กิจการสามารถใช้ข้อมูลจากสถาบัน Internal Revenue Service (IRS) เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดอายุการใช้งานจากสินทรัพย์ได้โดยรูปแบบการกำหนดอายุการใช้งานของสินทรัพย์ของ IRS จะใช้ข้อมูลจากการเก็บประวัติอายุการใช้งานของสินทรัพย์ในแต่ละกลุ่มกำหนดเป็นขอบเขตของค่าเสื่อมราคา (Asset Depreciation Range หรือ ADRs) ใช้ในการกำหนดอายุการใช้งานของสินทรัพย์

5. มูลค่าซาก (Salvage Value)

มูลค่าซากจะเป็นการประเมินราคาของสินทรัพย์เมื่อสิ้นอายุการใช้งาน การสิ้นอายุการใช้งานนี้อาจครอบคลุมถึง การขาย การแลกเปลี่ยน หรือ การหมดสภาพ หากกิจการกำหนดมูลค่าซากเป็นศูนย์ก็ไม่จำเป็นต้องนำไปพิจารณาเพื่อหาค่าเสื่อมราคา ในทางตรงกันข้ามหากมีการกำหนดมูลค่าซากกิจการจะต้องนำมูลค่าซากนี้ไปใช้สนนการคิดค่าเสื่อมราคาด้วย ซึ่งนอกเหนือจากการคิดมูลค่าซากเมื่อสิ้นอายุการใช้งานแล้วนั้น หากกิจการมีการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงสินทรัพย์ให้สามารถใช้งานได้เกินกว่าอายุการการใช้งานที่กำหนด มูลค่าซากนั้นจะมีมูลค่าลดลงตามระยะเวลา แสดงได้ดังรูปที่ ค.3



รูปที่ ค.3 มูลค่าซากมีค่าลดลงตามระยะเวลา

6. ค่าภาษี

- การวิเคราะห์ต้นทุนภาษี (Tax Cost Analysis)

แม้ว่าแนวปฏิบัติเกี่ยวกับภาษีนั้นยังคงเป็นสิ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาแต่กระบวนการวิเคราะห์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้สามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนภาษีซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ รูปแบบของภาษีที่รัฐบาลเรียกเก็บนั้นอาจมีหลายลักษณะ แต่สำหรับในที่นี้จะมุ่งเน้นไปที่ส่วนของภาษีเงินได้ (Income Taxes) ไม่ว่าธุรกิจจะมีผลการดำเนินงานเป็นกำไรหรือขาดทุนก็ตามธุรกิจเหล่านั้นยังมี

ความเกี่ยวข้องกับภาษีเงินได้อย่างแน่นอน ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะละเลยถึงผลกระทบของภาษีเงินได้ที่มีต่อการประเมินค่าโครงการได้ เนื้อหาในส่วนต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงผลกระทบของภาษีเงินได้ที่มีผลต่อธุรกิจ

- กระแสเงินสดหลังภาษี (After – Tax Cash Flow)

กระแสเงินสดสุทธิของโครงการเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะลงทุนในโครงการใดโครงการหนึ่งของธุรกิจได้หรือไม่ กระแสเงินสดสุทธิของโครงการนั้นมีความหมายถึงกระแสเงินสดหลังภาษี เนื่องจากจะมีการคำนวณถึงค่าภาษีเงินได้รวมไปด้วยในการประเมินค่าโครงการลงทุนต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับภาษีเงินได้เพื่อประมาณการกำไรสุทธิที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการดำเนินงานเมื่อตัดสินใจที่จะลงทุนในโครงการเหล่านั้น ในการตัดสินใจลงทุนของธุรกิจนั้นหลักการทั่วไป คือ ผู้บริหารจะยอมรับในโครงการลงทุนเมื่อคาดการณ์ว่าโครงการลงทุนนั้นจะเพิ่มความมั่งคั่งให้กับธุรกิจ ซึ่งหมายความว่ารายได้ของโครงการจะมีจำนวนมากกว่าต้นทุนของโครงการหรือกล่าวได้ว่าโครงการนั้นจะทำให้ธุรกิจมีกำไร แต่ถ้าโครงการลงทุนใดที่ส่งผลทำให้ความมั่งคั่งในธุรกิจลดลงแสดงว่าต้นทุนของโครงการสูงกว่ารายได้ของโครงการ หรือกล่าวได้ว่าโครงการนั้นมีผลการดำเนินงานขาดทุน การประเมินค่าจำนวนของผลกำไรหรือขาดทุนของโครงการที่เกิดขึ้นในแต่ละปี จะถูกนำมาพิจารณามาเพื่อคำนวณภาษีแล้วนำไปกระทบยอดกับกำไรที่จะต้องเสียภาษีทำให้ทราบถึงกำไรสุทธิหลังภาษีหรือกระแสเงินสดหลังภาษีต่อไป สำหรับมูลค่าของกำไรสุทธิหลังภาษีในแต่ละงวดเวลาของโครงการลงทุนที่คำนวณตามหลักทางการบัญชีนั้นเป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่า กำไรสุทธิ (Net Income)

- การคำนวณกำไรสุทธิ (Calculation of Net Income)

การประเมินค่ากำไรสุทธิของงวดเวลาใดเวลาหนึ่งโดยการนำค่าใช้จ่ายหักออกจากรายได้สำหรับงวด คำนิยามที่เกี่ยวข้องซึ่งควรทราบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. รายได้ของโครงการเป็นรายได้ที่เกิดจากรวมการสมควรได้รับหรือหาได้ อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่กิจการได้จัดหา หรือส่งมอบสินค้า หรือการบริการใด ๆ ให้แก่ลูกค้า ดังนั้นรายได้จึงมาจากการขายสินค้าหรือเป็นรายได้จากการเรียกเก็บค่าบริการหรือค่าธรรมเนียมจากลูกค้า

2. ค่าใช้จ่ายของโครงการเป็นต้นทุนของการดำเนินงานของกิจการ ซึ่งจะมีส่วนช่วยสนับสนุน หรือสร้างรายได้ในการดำเนินงานสำหรับงวดเวลา ค่าใช้จ่ายโดยปกติที่เกิดขึ้น เช่น สนับสนุน หรือสร้างรายได้ในการดำเนินงานสำหรับงวดเวลา ค่าใช้จ่ายโดยปกติที่เกิดขึ้น เช่น ต้นทุนสินค้าที่ขาย (ค่าแรงงาน, วัสดุคิบ, วัสดุสิ้นเปลืองใช้ไป) ค่าเสื่อมราคา เงินเดือนพนักงานในสำนักงาน ต้นทุนการดำเนินงาน (ค่าเช่าอาคารสำนักงาน ค่าเบี้ยประกันภัยทรัพย์สิน ค่าสาธารณูปโภค) และค่าภาษีเงินได้เป็นต้น

- การจัดการเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายค่าเสื่อมราคา (Treatment of Depreciation Expenses)

เมื่อเริ่มทำธุรกิจหรือเมื่อมีการขยายโครงการดำเนินงานต่างๆ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน กิจการอาจมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตัดสินใจที่จะเลือกลงทุนในสินทรัพย์ดำเนินงานระยะยาว เช่น อาคาร อุปกรณ์ เครื่องจักร หรือรถบรรทุก เป็นต้น ต้นทุนของทรัพย์สินเหล่านี้จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายของกิจการ วิธีการปฏิบัติเกี่ยวกับต้นทุนการผลิตและค่าใช้จ่ายดำเนินงาน กล่าวคือ รายจ่ายเพื่อการลงทุนนั้นจะถูกปันส่วนเป็นค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของทรัพย์สิน เนื่องจากการสึกหรอหรือการเสื่อมสภาพของสินทรัพย์ ดังนั้นกิจการจึงไม่สามารถนำต้นทุนของสินทรัพย์ทั้งจำนวน ไปหักออกจากรายได้เพื่อคำนวณกำไรสุทธิของปีแรกที่เริ่มโครงการลงทุน แต่จะต้องนำสินทรัพย์ของโครงการลงทุนระยะยาวนั้นมาคำนวณหาค่าเสื่อมราคาเพื่อที่จะปันส่วนเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับงวดแทน ค่าเสื่อมราคาที่คำนวณได้นั้นจะนำไปรวมกับค่าใช้จ่ายอื่นๆ และนำไปหักออกจากรายได้ที่เกิดขึ้นในงวดเวลาเดียวกันทำให้ทราบถึงมูลค่ากำไรสุทธิสำหรับงวด จะเห็นได้ว่าค่าเสื่อมราคานั้นจะมีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้มูลค่าของกำไรที่จะนำมาเสียภาษีเงินได้นั้นมีจำนวนลดลง สำหรับกำไรที่จะต้องเสียภาษีและภาษีเงินได้ (Taxable Income and Income Taxes) สามารถคำนวณได้ดังนี้

- กำไรที่จะต้องนำมาเสียภาษีหรือกำไรก่อนภาษีนั้นคำนวณหาดังสมการ (ค.10) :

$$\text{กำไรที่จะต้องเสียภาษี} = \text{รายได้} - \text{ค่าใช้จ่าย(รวมค่าเสื่อมราคา)} \quad (\text{ค.11})$$

- เมื่อคำนวณกำไรที่จะต้องเสียภาษีได้แล้วสามารถคำนวณหาค่าภาษีเงินได้ดังสมการ (ค.12)

$$\text{ภาษีเงินได้} = \text{อัตราภาษี} \times \text{กำไรที่จะต้องเสียภาษี} \quad (\text{ค.13})$$

- และเมื่อต้องการประมาณการกำไรสุทธิสามารถทำได้โดยสมการ (ค.14)

$$\text{กำไรสุทธิ} = \text{กำไรที่จะต้องเสียภาษี} - \text{ภาษีเงินได้} \quad (\text{ค.15})$$

ภาคผนวก ง.

ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการวัดค่าแรงบิด

ข้อมูลและผลลัพธ์จากการทดสอบการวัดค่าแรงบิด

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 2.2 kW

Step Load(%)	$V_{(av)}$ (V)	$I_{(av)}$ (A)	P_m (W)	N_r (rpm)	T (N-m)
100.21	220	5.05	2850	1417	14.85
92.52	220	4.67	2600	1422	13.66
84.39	220	4.34	2340	1432	12.37
76.55	220	4.01	2100	1437	11.18
68.17	220	3.74	1830	1446	9.90
60.28	220	3.46	1660	1453	8.71
52.31	220	3.23	1450	1460	7.52
44.30	220	3.02	1230	1468	6.33
36.85	220	2.85	1040	1475	5.24
29.28	220	2.67	840	1479	4.16
21.72	220	2.60	650	1486	3.07
14.04	220	2.52	470	1490	1.98

ตารางที่ ง.2 ผลที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 2.2 kW

Step Load(%)	$V_{(av)}$ (V)	$I_{(av)}$ (A)	P_m (W)	P_{out} (w)	Efficiency (%)
100.21	220	5.05	2850	2205	77.35
92.52	220	4.67	2600	2036	78.28
84.39	220	4.34	2340	1857	79.34
76.55	220	4.01	2100	1684	80.20
68.17	220	3.74	1830	1500	81.96
60.28	220	3.46	1660	1326	79.89
52.31	220	3.23	1450	1151	79.37
44.30	220	3.02	1230	975	79.22

ตารางที่ ง.2 (ต่อ)

Step Load	$V_{(av)}$ (V)	$I_{(av)}$ (A)	P_{in} (W)	P_{out} (w)	Efficiency (%)
36.85	220	2.85	1040	811	77.96
29.28	220	2.67	840	644	76.70
21.72	220	2.60	650	477	73.51
14.04	220	2.52	470	310	65.76

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 5.5 kW

Step Load(%)	$V_{(av)}$ (V)	$I_{(av)}$ (A)	P_{in} (W)	N_r (rpm)	T (N-m)
98.50	220	11.62	6630	1435	36.03
91.45	220	11.23	6130	1439	33.36
84.35	220	10.44	5620	1440	30.75
76.84	220	9.62	5100	1450	27.82
69.92	220	8.87	4590	1454	25.24
63.37	220	8.23	4150	1461	22.77
56.36	220	7.56	3690	1465	20.19
49.55	220	6.96	3250	1468	17.72
43.14	220	6.42	2830	1476	15.34
36.84	220	5.92	2410	1480	13.06
30.18	220	5.56	2030	1482	10.69
23.83	220	5.20	1630	1487	8.41

ตารางที่ ง.4 ผลที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าขณะรับภาระทางกลพิกัด 5.5 kW

Step Load(%)	$V_{(av)}$ (V)	$I_{(av)}$ (A)	P_{in} (W)	P_{out} (w)	Efficiency (%)
98.50	220	11.62	6630	5418	81.72
91.45	220	11.23	6130	5030	82.05
84.35	220	10.44	5620	4639	82.55
76.84	220	9.62	5100	4226	82.87

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

Step Load	$V_{(av)}$ (V)	$I_{(av)}$ (A)	P_{in} (W)	P_{out} (w)	Efficiency (%)
69.92	220	8.87	4590	3846	83.79
63.37	220	8.23	4150	3485	83.98
56.36	220	7.56	3690	3100	84.00
49.55	220	6.96	3250	2726	83.86
43.14	220	6.42	2830	2373	83.85
36.84	220	5.92	2410	2026	82.5
30.18	220	5.56	2030	1660	81.78
23.83	220	5.20	1630	1311	80.43

ภาคผนวก จ.

ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาลอก

ตัวอย่างข้อมูลมอเตอร์จากแคตาลอก ABB

General purpose aluminium motors

Technical data for totally enclosed squirrel
cage three phase motors



IP 55 – IC 411 – Insulation class F, temperature rise class B

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency		Power factor cos φ 100%	Current		Torque		
				Full load 100%	3/4 load 75%		I_N	I_s	T_N	T_s	T_{max}
			400 V 50 Hz				Basic design				
1500 r/min = 4 poles											
1.1	M3AA 90 L	3GAA 092 312-→E	1420	83.9	84.3	0.80	2.4	6.1	7.4	2.9	3.4
1.5	M3AA 100 LA	3GAA 102 311-→E	1440	85.6	85.5	0.82	3.2	6.9	10	2.8	3.4
2.2	M3AA 100 LC	3GAA 102 313-→E	1450	86.8	86.5	0.77	4.8	8.5	14.5	4.0	4.6
3	M3AA 112 MA	3GAA 112 021-→C	1455	87.5	87.8	0.81	6.2	7.9	19.7	2.7	3.7
4	M3AA 112 M	3GAA 112 022-→C	1455	89.3	89.6	0.76	8.6	8.5	26.3	3.0	4.1
5.5	M3AA 132 S	3GAA 132 023-→C	1460	89.3	90.5	0.84	10.6	7.6	36	2.2	3.4
7.5	M3AA 132 M	3GAA 132 024-→C	1450	90.1	91.4	0.87	14	8.5	49	3.3	3.2
11	M3AA 160 M	3GAA 162 101-→C	1465	91.5	92.0	0.83	21	7.9	72	3.4	3.4
15	M3AA 160 L	3GAA 162 102-→C	1455	91.8	92.0	0.84	28.5	9.6	98	2.9	3.2
18.5	M3AA 180 M	3GAA 182 101-→C	1470	92.3	92.3	0.84	35	7.0	120	3.1	2.7
22	M3AA 180 L	3GAA 182 102-→C	1470	93.1	93.6	0.85	40	8.5	143	3.6	2.9
30	M3AA 200 MLB	3GAA 202 001-→C	1475	93.4	93.6	0.84	55	7.0	194	2.5	2.8
37	M3AA 225 SMA	3GAA 222 001-→C	1490	93.6	93.6	0.84	68	6.6	239	2.4	2.5
45	M3AA 225 SMB	3GAA 222 002-→C	1490	94.2	94.2	0.83	83	6.7	290	2.7	2.6
55	M3AA 250 SMA	3GAA 252 001-→C	1490	94.6	94.6	0.86	98	7.5	355	2.3	2.8
75	M3AA 280 SMA	3GAA 282 001-→C	1490	94.8	95.0	0.86	132	7.1	486	3.4	3.5
90	M3AA 280 SMB	3GAA 282 002-→C	1475	95.0	95.5	0.88	157	7.7	583	5.0	3.2
1500 r/min = 4 poles			400 V 50 Hz				High-output design				
1.85	¹⁾ M3AA 90 L	3GAA 092 003-→E	1390	79.5	78.1	0.80	4.4	4.5	13	2.2	2.4
2.2	¹⁾ M3AA 90 LB	3GAA 092 004-→E	1390	80.3	81.0	0.83	4.85	4.5	15	2.2	2.4
4	¹⁾ M3AA 100 LC	3GAA 102 003-→E	1420	81.0	81.7	0.82	8.65	5.5	27	2.5	2.8
5.5	¹⁾ M3AA 112 MB	3GAA 112 002-→C	1425	84.5	85.5	0.83	11.4	7.1	37	2.8	3.1
9.2	¹⁾ M3AA 132 MBA	3GAA 132 004-→C	1445	87.8	89.2	0.87	17.5	7.2	61	2.7	2.7
11	¹⁾ M3AA 132 MB	3GAA 132 003-→C	1450	88.8	89.9	0.86	21	7.7	72	2.5	2.5
18.5	¹⁾ M3AA 160 LB	3GAA 162 103-→C	1450	90.5	90.5	0.84	36	6.9	122	2.9	2.9
30	¹⁾ M3AA 180 LB	3GAA 182 103-→C	1465	92.5	92.5	0.84	56	6.9	195	3.2	2.8
37	¹⁾ M3AA 200 MLB	3GAA 202 002-→C	1475	93.4	93.4	0.84	68	7.8	236	3.6	3.2
48	¹⁾ M3AA 200 MLC	3GAA 202 003-→C	1470	93.6	94.1	0.84	89	8.1	311	4.4	3.2
55	¹⁾ M3AA 225 SMC	3GAA 222 003-→C	1480	94.6	94.6	0.84	100	7.3	355	3.1	2.8
73	¹⁾ M3AA 225 SMD	3GAA 222 004-→C	1475	94.2	94.5	0.85	132	8.1	473	4.5	3.2
75	M3AA 250 SMB	3GAA 252 002-→C	1490	94.8	95.0	0.86	132	7.1	486	3.4	3.5
95	¹⁾ M3AA 250 SMC	3GAA 252 003-→C	1475	94.8	95.1	0.88	165	7.3	616	4.7	3.1

¹⁾ Temperature rise class F.

²⁾ On request.

The bullets in the product code indicate choice of mounting arrangement, voltage and frequency, generation code (see ordering information page).

ตัวอย่างข้อมูลมอเตอร์จากแคตาลอก SIEMENS

3-phase motors

1LA · Aluminium housing · Basic version

■ 50 Hz

The motors can also be used for 60 Hz according to EPACT, see Pages 3/6 and 3/7.

For further details, see "Technical information", "Motors for the US market".

Rated output kW	Size	Order No. Order No. supplement for voltage and type of construction, see table below	Efficiency class η	Operating data at rated output					Starting torque For direct-on-line starting as multiple of the rated torque	Starting current current	Stalling torque torque	Torque class KL	Moment of inertia J kg m ²	Weight kg Type of constr. IM B 3 approx.	
				Rated speed rpm	Efficiency %	Power factor p.f.	Rated current at 400 V A	Rated torque Nm							
3000 rpm, 2-pole, 50 Hz															
0.09	56 M	1LA9 050-2KA ..		2830	68.0	68.0	0.79	0.24	0.30	2.9	4.5	3.0	16	0.00015	3
0.12		1LA9 053-2KA ..		2830	69.0	69.0	0.81	0.31	0.40	2.6	4.3	2.8	16	0.00020	4
0.18	63 M	1LA9 060-2KA ..		2840	70.0	70.0	0.78	0.48	0.61	2.5	4.8	3.1	16	0.00022	4
0.25		1LA9 063-2KA ..		2830	70.0	70.0	0.82	0.63	0.84	2.3	4.9	2.5	16	0.00026	5
0.37	71 M	1LA9 070-2KA ..		2840	74.0	74.0	0.77	0.94	1.2	3.1	6.5	3.1	16	0.00041	6
0.55		1LA9 073-2KA ..		2835	75.0	75.0	0.75	1.42	1.9	3.0	6.3	2.9	16	0.00050	7
0.75	80 M	1LA9 080-2KA ..		2870	80.0	80.0	0.84	1.65	2.5	3.5	8.3	3.2	16	0.0010	10
1.1		1LA9 083-2KA ..	1	2860	84.0	84.0	0.89	2.15	3.7	3.2	7.0	3.2	16	0.0013	12
1.5	90 S	1LA9 090-2KA ..	1	2890	85.0	85.0	0.87	2.95	5.0	3.5	7.0	3.5	16	0.0018	15
2.2	90 L	1LA9 096-2KA ..	1	2890	86.5	86.5	0.87	4.25	7.3	3.5	7.0	3.5	16	0.0022	18
3	100 L	1LA9 106-2KA ..	1	2890	87.0	87.0	0.88	5.70	9.9	3.1	7.0	3.2	16	0.0044	24
4	112 M	1LA9 113-2KA ..	1	2905	88.5	88.5	0.89	7.40	13	2.6	7.0	3.2	16	0.0077	35
5.5	132 S	1LA9 130-2KA ..	1	2930	89.5	89.5	0.90	9.90	18	2.4	7.0	3.2	16	0.019	43
7.5		1LA9 131-2KA ..	1	2930	90.5	90.5	0.92	13.0	24	2.5	7.0	3.1	16	0.024	56
11	160 M	1LA9 163-2KA ..	1	2945	91.0	91.0	0.90	19.4	36	2.3	7.0	3.1	16	0.044	73
15	160 M	1LA9 164-2KA ..	1	2945	91.5	91.5	0.90	26.3	49	2.3	7.0	3.1	16	0.051	82
18.5	160 L	1LA9 166-2KA ..	1	2940	92.3	92.5	0.92	31.5	60	2.3	7.0	3.1	16	0.065	102
22	180 M	1LA9 183-2WA ..	1	2945	93.0	93.2	0.89	38.0 ¹⁾	71	2.5	7.2	3.3	16	0.090	131
30	200 L	1LA9 206-2WA ..	1	2950	93.5	93.5	0.89	52.0	97	2.4	7.0	3.2	16	0.16	185
37		1LA9 207-2WA ..	1	2950	94.0	94.1	0.89	64.0 ¹⁾	120	2.4	7.0	3.3	16	0.20	214
1500 rpm, 4-pole, 50 Hz															
0.06	56 M	1LA9 050-4KA ..		1390	61.0	61.0	0.66	0.22	0.42	2.7	3.1	2.8	16	0.00027	3
0.09		1LA9 053-4KA ..		1390	62.0	62.0	0.68	0.31	0.62	2.7	3.2	2.8	16	0.00035	4
0.12	63 M	1LA9 060-4KA ..		1395	66.0	66.0	0.65	0.41	0.82	2.6	3.5	2.6	16	0.00037	4
0.18		1LA9 063-4KA ..		1340	62.0	62.0	0.68	0.62	1.3	2.9	3.2	2.5	16	0.00045	5
0.25	71 M	1LA9 070-4KA ..		1410	70.0	70.0	0.64	0.81	1.7	3.2	4.3	3.1	16	0.00076	6
0.37		1LA9 073-4KA ..		1395	71.0	71.0	0.73	1.03	2.6	2.8	4.2	3.0	16	0.00095	7
0.55	80 M	1LA9 080-4KA ..		1410	77.0	77.0	0.78	1.32	3.7	2.8	5.6	2.9	16	0.0017	10
0.75		1LA9 083-4KA ..		1400	81.0	81.0	0.75	1.80	5.1	3.6	5.8	3.5	16	0.0024	12
1.1	90 S	1LA9 090-4KA ..	1	1440	84.0	84.0	0.77	2.45	7.3	2.7	6.4	3.2	16	0.0033	15
1.5	90 L	1LA9 096-4KA ..	1	1440	85.0	85.0	0.77	3.30	9.9	3.1	6.7	3.4	16	0.0040	18
2.2	100 L	1LA9 106-4KA ..	1	1435	86.5	86.5	0.82	4.55	15	3.1	7.0	3.6	16	0.0062	25
3		1LA9 107-4KA ..	1	1435	87.5	87.7	0.81	6.10	20	3.5	7.0	3.9	16	0.0077	30
4	112 M	1LA9 113-4KA ..	1	1440	88.5	89.0	0.81	8.10	27	2.8	6.9	3.2	16	0.014	37
5.5	132 S	1LA9 130-4KA ..	1	1455	89.5	89.5	0.84	10.6	36	2.9	7.0	3.6	16	0.023	45
7.5	132 M	1LA9 133-4KA ..	1	1455	90.3	90.5	0.84	14.3	49	3.0	7.0	3.6	16	0.029	60
11	160 M	1LA9 163-4KA ..	1	1460	91.5	92.0	0.85	20.5	72	2.7	6.9	3.2	16	0.055	81
15	160 L	1LA9 166-4KA ..	1	1460	92.0	92.3	0.86	27.5	98	2.9	7.0	3.3	16	0.072	107
18.5	180 M	1LA9 183-4WA ..	1	1465	92.5	93.0	0.84	34.5 ¹⁾	121	2.5	7.0	3.2	16	0.15	125
22	180 L	1LA9 186-4WA ..	1	1465	93.0	93.4	0.84	40.5 ¹⁾	143	2.6	7.3	3.4	16	0.19	145
30	200 L	1LA9 207-4WA ..	1	1465	93.5	94.0	0.87	53.0	196	2.6	7.0	3.2	16	0.32	199

Higher outputs under "1LG - Cast iron housing" on Page 3/16.

Order No. supplements

See Page 3/5.

ตัวอย่างข้อมูลมอเตอร์จากแคทาล็อก TECO



Performance Data

10

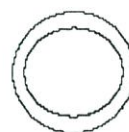
1.1kW-110kW TEFC, CLASS F INSULATION, S1 (MCR) DUTY

kW	Full Speed (rpm)	Frame No.	Rated Torque (Nm)		Current (amp) at volts			Efficiency (%) at load			Power Factor at load			D.O.L. Starting current (%FLC)	D.O.L. Starting Torque (%FLT)	Break down Torque (%FLT)	Rotor Inertia (kg.m ²)	Max load Inertia (kg.m ²)	Sound pressure (dB(A)) (1m, 1000Hz)	Weight (kg)
			340	400	415	100%	75%	50%	100%	75%	50%									
11	2865	D90	3.67	2.42	2.30	2.22	841	849	83.5	0.82	0.76	0.64	740	305	315	0.0010	0.015	55	16	
11	1420	D90S	7.40	2.69	2.35	2.46	84.0	84.8	83.3	0.74	0.65	0.50	660	330	345	0.0020	0.050	46	22	
11	940	D90L	11.17	2.92	2.77	2.67	83.0	80.0	77.0	0.69	0.60	0.48	582	240	290	0.0040	0.120	42	25	
15	2875	D90S	4.98	3.38	3.21	3.10	85.3	85.9	84.8	0.79	0.71	0.57	775	310	340	0.0012	0.018	60	22	
15	1420	D90L	10.09	3.48	3.31	3.19	85.1	86.1	85.5	0.77	0.68	0.55	680	320	330	0.0030	0.075	49	27	
15	930	D100L	15.40	3.54	3.37	3.25	83.5	83.0	81.5	0.77	0.72	0.60	623	240	250	0.0069	0.207	45	33	
2.2	2865	D90L	7.33	4.65	4.42	4.26	85.6	86.5	85.5	0.84	0.77	0.65	810	330	340	0.0034	0.014	60	25	
2.2	1440	D100L	14.59	4.88	4.63	4.46	86.5	86.7	85.6	0.79	0.72	0.58	793	299	353	0.0054	0.081	53	34	
2.2	955	D12M	22.00	5.35	5.08	4.89	84.5	84.0	82.0	0.74	0.67	0.55	606	210	260	0.0071	0.178	45	39	
3	2860	D100L	10.02	5.91	5.61	5.41	86.7	88.5	89.1	0.89	0.86	0.78	800	300	350	0.0029	0.029	62	33	
3	1460	D100L	19.62	6.60	6.27	6.04	87.4	87.6	86.0	0.79	0.68	0.55	800	300	360	0.0067	0.101	53	35	
3	965	D132S	29.69	6.73	6.39	6.16	88.0	87.6	83.0	0.77	0.75	0.63	741	200	300	0.0274	0.685	49	56	
4	2830	D12M	13.3	7.48	7.11	6.85	88.0	89.2	88.9	0.92	0.90	0.85	720	210	330	0.0050	0.050	65	40	
4	1445	D12M	26.4	8.58	8.15	7.86	88.5	88.7	87.3	0.80	0.74	0.61	650	240	340	0.0091	0.137	55	44	
4	970	D132M	39.4	8.95	8.50	8.19	86.0	85.0	83.2	0.79	0.73	0.60	743	210	310	0.0343	0.858	52	71	
5.5	2925	D132S	18.0	10.5	10.0	9.6	89.0	89.9	87.1	0.89	0.87	0.79	780	215	355	0.0104	0.104	68	59	
5.5	1455	D132S	36.1	11.6	11.0	10.6	89.4	89.9	89.3	0.81	0.75	0.64	740	240	330	0.0205	0.308	61	61	
5.5	960	D132M	54.7	12.2	11.6	11.1	87.0	86.0	84.0	0.79	0.77	0.66	654	190	270	0.0431	1.078	57	75	
7.5	2925	D132S	24.5	14.5	13.7	13.2	90.0	90.0	88.5	0.88	0.84	0.74	795	205	390	0.0121	0.121	65	62	
7.5	1460	D132M	49.1	15.3	14.5	14.0	90.3	90.9	90.3	0.83	0.77	0.65	781	250	380	0.0296	0.444	61	73	
7.5	970	D160M	73.8	16.2	15.4	14.8	89.0	89.0	87.0	0.79	0.75	0.64	674	240	260	0.0300	2.000	60	108	
11	2945	D160M	35.7	20.4	19.4	18.7	91.0	90.8	89.2	0.90	0.88	0.82	750	218	349	0.0370	0.370	75	107	
11	1465	D160M	71.7	21.8	20.7	20.0	90.9	91.6	91.0	0.84	0.82	0.75	695	208	291	0.0724	1.086	62	113	
11	975	D160L	107.7	23.8	22.6	21.8	89.0	90.5	89.0	0.79	0.73	0.63	737	280	280	0.1080	2.700	60	131	
15	2940	D160M	48.7	27.6	26.2	25.3	91.5	92.0	91.1	0.90	0.89	0.84	739	208	340	0.0432	0.432	73	117	
15	1470	D160L	97.4	28.9	27.4	26.4	91.9	92.4	91.7	0.86	0.82	0.72	760	226	309	0.0929	1.394	63	133	
15	970	D180L	147.7	31.6	30.0	28.9	90.2	90.7	89.5	0.80	0.76	0.72	650	230	250	0.1670	4.175	60	171	
18.5	2935	D160L	60.2	34.1	32.4	31.2	91.6	91.9	91.0	0.90	0.88	0.82	710	215	327	0.0525	0.368	70	134	
18.5	1470	D180M	120.2	35.2	33.4	32.2	92.4	92.6	91.7	0.87	0.83	0.73	734	224	348	0.1350	1.350	63	167	
18.5	975	D200L	181.2	38.1	36.2	34.9	90.0	90.1	89.5	0.82	0.78	0.69	650	230	250	0.3020	3.624	76	216	
22	2950	D180M	71.2	39.8	37.8	36.5	92.3	92.1	90.5	0.91	0.89	0.82	775	260	373	0.0710	0.497	73	169	
22	1470	D180L	142.9	42.0	39.9	38.5	92.7	93.1	92.5	0.86	0.82	0.72	707	214	325	0.1360	1.360	63	181	
22	975	D200L	215.4	43.9	41.7	40.2	91.7	90.9	90.0	0.83	0.80	0.71	619	220	250	0.3420	4.104	63	225	
30	2950	D200L	97.1	53.4	50.7	48.9	93.1	93.1	92.0	0.92	0.92	0.88	750	226	331	0.1190	0.833	79	220	
30	1470	D200L	194.9	53.6	50.9	49.1	93.2	93.5	92.9	0.91	0.90	0.85	646	229	281	0.2450	2.450	63	232	
30	980	D225M	292.3	59.0	56.0	54.0	92.0	91.5	90.1	0.84	0.82	0.75	590	230	230	0.5250	6.300	76	286	
37	2950	D200L	119.8	65.6	62.4	60.1	93.3	93.0	92.0	0.92	0.91	0.88	755	224	330	0.1330	0.931	79	239	
37	1475	D225S	239.5	69.4	65.9	63.6	93.6	93.8	93.2	0.87	0.85	0.78	639	210	289	0.3900	3.900	71	287	
37	985	D250M	358.7	69.5	66.0	63.6	93.0	93.1	90.2	0.87	0.85	0.75	705	230	250	0.8070	9.684	61	380	
45	2965	D225M	144.9	79.9	75.9	73.1	93.8	93.6	92.5	0.91	0.90	0.86	735	335	342	0.2210	1.547	79	297	
45	1475	D225M	291.3	83.7	79.5	76.6	93.9	94.2	93.7	0.87	0.86	0.80	662	201	299	0.4500	4.500	65	322	
45	985	D280S	436.3	86.1	81.8	78.9	93.4	93.0	91.0	0.85	0.85	0.76	705	230	250	1.3340	16.008	63	465	
55	2970	D250M	176.8	96.9	92.0	88.7	94.6	94.5	93.5	0.91	0.89	0.84	799	205	362	0.3050	2.135	82	360	
55	1480	D250M	354.9	100.4	95.4	92.0	94.4	94.6	94.0	0.88	0.86	0.81	710	225	328	0.6400	6.400	69	385	
55	984	D280M	533.8	104.6	99.4	95.8	94.0	94.0	91.5	0.85	0.83	0.75	678	140	230	1.5980	19.176	66	540	
75	2975	D280S	240.7	133.3	126.6	122.1	94.6	94.5	93.5	0.90	0.90	0.86	633	211	319	0.5840	2.920	82	510	
75	1485	D280S	482.3	134.8	128.0	123.4	95.0	95.1	94.4	0.89	0.88	0.83	675	205	335	10.450	7.315	71	510	
75	984	D315S	727.8	141.9	134.8	129.9	94.5	94.8	92.0	0.85	0.83	0.76	688	140	230	3.9400	39.400	68	861	
90	2980	D280M	288.4	160.3	152.3	146.8	95.1	95.0	93.9	0.90	0.88	0.82	799	270	350	0.6650	3.325	80	540	
90	1485	D280M	578.7	161.5	153.4	147.9	95.2	95.3	94.8	0.89	0.89	0.83	688	208	337	1.3960	9.772	68	600	
90	985	D315M	872.5	168.3	159.8	154.1	94.5	94.9	92.1	0.86	0.83	0.76	689	155	230	4.5800	45.800	66	940	
110	2975	D315S	353.1	194.4	184.7	178.0	95.1	94.8	93.7	0.90	0.90	0.87	630	197	315	11300	5.660	81	920	
110	1485	D315S	707.4	199.3	189.3	182.5	95.2	95.1	94.1	0.88	0.87	0.80	620	221	316	2.9600	20.860	78	930	
110	985	D315L	1066.4	204.6	194.3	187.3	95.0	95.3	92.5	0.86	0.84	0.77	689	140	220	5.2300	52.300	75	1110	
110	740	D315L	149.5	217.7	206.8	199.3	94.8	94.5	93.0	0.81	0.76	0.65	643	120	220	6.5500	78.600	67	1160	

ตัวอย่างข้อมูลมอเตอร์จากแคทาล็อก BROOK CROMPTON

Performance data

1500 min⁻¹ (4 pole) aluminium and cast iron



Rated Power
Full load speed (n_{FL})
Maximum speed (n_M)
Frequency (f)
Full load current (I_{FL})
Efficiency (η)
Power factor (cos φ)
Full load torque (M_{FL})
Start-up torque (M_s)
Break-down torque (M_b)
Overload torque (M_{ov})
Rated torque (M_n)

P _n				n			η			Cos φ			M _n	M _s	M _b	M _{ov}	J
kW	hp	n min ⁻¹	Type	380V A	400V A	415V A	10 %	0.75 %	0.5 %	10 %	0.75 %	0.5 %	Nm	Nm	Nm	Nm	kgm ²
0.18	0.25	1370	T-DA63MB	0.61	0.58	0.58	62.9	60.1	52.9	0.71	0.61	0.48	1.25	2.2	3.5	2.5	0.0006
0.25	0.33	1375	T-DA71MA	0.8	0.76	0.76	67.5	65.5	60.9	0.70	0.63	0.54	1.74	2.3	4.0	2.5	0.0012
0.37	0.5	1375	T-DA71MB	1.11	1.06	1.06	71.2	69.5	65.2	0.71	0.63	0.53	2.57	2.3	4.0	2.5	0.0016
0.55	0.75	1410	T-DA(DF)80MA	1.5	1.5	1.5	72.6	72.6	69.2	0.73	0.67	0.54	3.7	2.1	4.6	2.5	0.002
0.75	1.0	1400	T-DA(DF)80B	1.98	1.89	1.89	74.3	74.3	69.7	0.77	0.64	0.48	5.1	2.1	4.4	2.5	0.002
1.1	1.5	1390	T-DA(DF)90SA	2.98	2.84	2.84	76.6	79.1	75.4	0.73	0.68	0.50	7.6	2.2	4.8	2.6	0.0021
1.5	2.0	1390	T-DA(DF)90LA	3.6	3.5	3.5	78.9	79.8	77.7	0.79	0.70	0.56	10.3	2.4	4.8	2.6	0.003
2.2	3.0	1415	T-DA(DF)100LA	5.1	4.8	4.8	81.0	82.0	80.8	0.81	0.74	0.61	14.8	2.3	5.5	2.8	0.007
3.0	4.0	1415	T-DA(DF)100LB	6.7	6.4	6.4	82.6	84.2	84.2	0.82	0.75	0.64	20.3	2.4	5.3	3.0	0.007
4.0	5.5	1420	T-DA(DF)112MA	9.0	8.6	8.6	84.2	86.1	85.9	0.80	0.76	0.65	26.9	2.5	6.0	3.1	0.0095
5.5	7.5	1440	T-DA(DF)132SA	11.8	11.3	11.3	85.8	86.8	85.5	0.82	0.77	0.65	36.5	2.4	6.6	3.2	0.0214
7.5	10	1445	T-DA(DF)132MA	14.6	14.6	14.6	87.1	87.4	86.8	0.85	0.79	0.74	49.6	2.4	7.1	3.0	0.0296
11	15	1445	T-DA(DF)132MB	22.7	21.6	21.6	88.4	88.4	86.5	0.83	0.80	0.71	72.7	2.4	7.1	3.1	0.062
11	15	1450	T-DA(DF)160MA	21.1	21.1	21.1	88.4	88.9	87.9	0.85	0.81	0.72	72.4	2.4	6.4	3.1	0.062
15	20	1455	T-DA(DF)160LA	29.6	28.2	28.2	89.4	90.1	88.4	0.86	0.82	0.73	98.4	2.3	7.4	3.0	0.092
18.5	25	1465	T-DA(DF)180MA	37	36	35	90.0	90.0	88.6	0.85	0.80	0.70	121	2.3	7.0	3.1	0.139
22	30	1460	T-DA(DF)180LA	43	41	41	90.5	90.6	89.8	0.86	0.80	0.71	144	2.2	6.8	3.3	0.158
30	40	1470	T-DA(DF)200L	57	54	54	91.4	91.3	90.3	0.88	0.85	0.78	195	2.2	6.5	2.8	0.262
37	50	1477	TU-DF225S	71	67	65	92.0	92.2	91.1	0.86	0.86	0.83	239	2.1	6.5	2.7	0.406
45	60	1477	TU-DF225M	86	82	78	92.5	92.6	91.6	0.86	0.86	0.78	291	2.2	6.8	3.1	0.469
55	75	1470	TU-DF250MA	102	97	93	93.0	93.2	92.7	0.88	0.84	0.78	357	2.3	6.7	3.0	0.66
75	100	1481	TU-DF250MB	141	134	129	93.6	93.4	92.4	0.86	0.83	0.76	484	2.4	6.5	3.1	0.88
75	100	1481	TU-DF280S	136	130	125	93.6	93.7	92.9	0.89	0.87	0.81	484	2.2	6.2	3.0	1.12
90	125	1475	TU-DF280MA	165	157	151	93.9	94.0	93.6	0.88	0.86	0.82	583	2.4	6.5	3.1	1.46
110	150	1485	TU-DF280MB	201	191	183	94.4	94.3	93.7	0.88	0.86	0.84	707	2.4	6.6	2.8	2.68
110	150	1483	TU-DF315S	196	187	179	94.4	94.2	93.0	0.90	0.90	0.88	708	2.0	6.0	3.0	3.11
132	175	1480	TU-DF315M	240	229	219	94.7	94.8	94.1	0.88	0.88	0.84	852	2.1	6.0	3.0	3.29
160	215	1485	TU-DF315LA	282	269	258	95.4	95.4	94.7	0.90	0.89	0.83	1029	2.1	5.8	3.0	3.79
200	270	1497	TU-DF315LB	361	343	330	95.5	95.4	94.5	0.88	0.87	0.79	1285	2.1	6.0	2.7	4.49
250	335	1489	TU-DF355M	443	422	405	95.1	94.7	93.4	0.90	0.89	0.85	1603	2.1	6.5	3.2	5.67
315	420	1485	TU-DF355L	549	523	502	95.5	95.3	94.3	0.91	0.90	0.89	2026	2.0	6.1	3.1	6.66

ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

ในหัวข้อนี้จะเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเทคนิคการทำนายค่าประสิทธิภาพ โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก ซึ่งยี่ห้อที่ใช้ในการทดสอบนั้น ได้แก่ ABB Siemens BrookCrompton Teco และ Cantoni ซึ่งยี่ห้อ ABB, Siemens, Teco นั้นจะเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง(Premium Efficiency) และ ยี่ห้อ BrookCrompton นั้นจะเป็นมอเตอร์ประหยัดพลังงาน (Energy Efficiency)[11] โดยทำการทดสอบมอเตอร์ 4 ขนาด พิกัด 7.5 , 22 , 37 และ 75 kW ซึ่งมีข้อมูลที่ได้จากแคทาล็อกแสดงดังตารางที่ จ.1 ซึ่งกระบวนการทำนายค่าประสิทธิภาพนั้นได้อธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 5.3 ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากแคทาล็อกและค่าที่ได้จากโปรแกรมการทำนายนั้นแสดงได้ดังตารางที่ จ.2

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจากแคทาล็อก

Rated 7.5 kW, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Manufacturer	Maximum	Current (Amp)	Power Factor	Speed (rpm)	Torque (N-m)	Efficiency	
	Torque(%)					100%Load	75%Load
ABB	320	14	0.87	1450	49	90.1	91.4
Siemens	360	14.3	0.84	1455	49	90.3	90.5
Teco	380	14.5	0.83	1460	49.1	90.3	90.9
Brookcrompton	300	14.6	0.85	1445	49.6	87.1	87.4

Rated 22 kW, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Manufacturer	Maximum	Current (Amp)	Power Factor	Speed (rpm)	Torque (N-m)	Efficiency	
	Torque(%)					100%Load	75%Load
ABB	290	40	0.85	1470	143	93.1	93.6
Siemens	310	40.5	0.84	1470	143	93.2	93.5
Teco	325	39.9	0.86	1470	142.9	92.7	93.1
Brookcrompton	330	41	0.86	1460	144	90.5	90.6

ตารางที่ จ.1 (ต่อ)

Rated 37 kW, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Manufacturer	Maximum Torque(%)	Current (Amp)	Power Factor	Speed (rpm)	Torque (N-m)	Efficiency 100%Load	Efficiency 75%Load
ABB	250	68	0.84	1480	239	93.6	93.6
Siemens	300	67	0.85	1480	239	94	94.4
Teco	289	65.9	0.87	1475	239.5	93.6	93.8
Brookcrompton	270	67	0.86	1477	239	92.0	92.2

Rated 75 kW, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Manufacturer	Maximum Torque(%)	Current (Amp)	Power Factor	Speed (rpm)	Torque (N-m)	Efficiency 100%Load	Efficiency 75%Load
ABB	350	132	0.86	1480	486	94.8	95
Siemens	290	130	0.87	1485	482	95.1	95.2
Teco	335	128	0.89	1485	482.3	95	95.1
Brookcrompton	310	134	0.86	1481	484	93.6	93.4

ตารางที่ จ.2 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากแคทาลอก และค่าที่ได้จากโปรแกรมการทำนาย

Rated 7.5 kW 380 V, 50 Hz ,4 pole		T_{max}	T_{FL}	Efficiency 50% Load	Efficiency 75% Load	Efficiency 100% Load
ABB	Catalog	156.8	49	-	91.4	90.1
	Program	156.78	49.2	91.56	91.26	90.07
Siemens	Catalog	176.4	49	-	90.5	90.3
	Program	176.38	49.11	89.73	90.63	90.28
Teco	Catalog	186.6	49.1	90.3	90.9	90.3
	Program	186.56	49.08	90.34	90.89	90.3
Brook Crompton	Catalog	148.8	49.6	86.8	87.4	87.1
	Program	148.78	49.58	85.55	87.23	87.1

ตารางที่ จ.2 (ต่อ)

Rated 22 kW 380 V, 50 Hz, 4 pole		T_{max}	T_{FL}	Efficiency 50% Load	Efficiency 75% Load	Efficiency 100% Load
ABB	Catalog	414.7	143	-	93.6	93.1
	Program	414.69	142.95	93.09	93.51	93.1
Siemens	Catalog	443.3	143	-	93.5	93.2
	Program	443.29	142.95	92.68	93.4	93.2
Teco	Catalog	464.4	142.9	92.5	93.1	92.7
	Program	464.42	142.9	92.45	93.03	92.69
Brook	Catalog	475.2	144	89.8	90.6	90.5
Crompton	Program	475.22	143.94	89.3	90.56	90.5

Rated 37 kW 380 V, 50 Hz, 4 pole		T_{max}	T_{FL}	Efficiency 50% Load	Efficiency 75% Load	Efficiency 100% Load
ABB	Catalog	597.5	239	-	93.6	93.6
	Program	597.47	238.87	92.63	93.59	93.6
Siemens	Catalog	717	239	-	94.4	94
	Program	716.57	239.02	93.41	94.12	94
Teco	Catalog	692.2	239.5	93.2	93.8	93.6
	Program	691.34	239.55	92.95	93.74	93.6
Brook	Catalog	645.3	239	91.1	92.2	92
Crompton	Program	645.18	239.12	91.04	92.09	91.99

Rated 75 kW 380 V, 50 Hz, 4 pole		T_{max}	T_{FL}	Efficiency 50% Load	Efficiency 75% Load	Efficiency 100% Load
ABB	Catalog	1701	486	-	95	94.8
	Program	1700.37	484.97	94.62	95.05	94.81
Siemens	Catalog	1397.8	482	-	95.2	95.1
	Program	1397.74	482.02	94.9	95.31	95.09
Teco	Catalog	1615.7	482.3	94.4	95.1	95
	Program	1615.69	482.28	94.42	95.05	94.99
Brook	Catalog	1500.4	484	92.4	93.4	93.6
Crompton	Program	1500.29	483.7	92.58	93.59	93.59

หลังจากการประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรสมมูลทางไฟฟ้า จะสามารถนำไปคำนวณหาค่าสมรรถนะ ณ สภาวะโหลดต่างๆได้ ดังตารางที่ จ.3 , จ.4 และ จ.5

ตารางที่ จ.3 ผลการทำนายค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สภาวะ โหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม

Manufacturer: ABB, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	91.62	91.43	91.09	90.84	90.34
22 kW	93.41	93.52	93.47	93.41	93.23
37 kW	93.20	93.50	93.64	93.67	93.65
75 kW	94.92	95.04	95.04	95.00	94.89

Manufacturer: Siemens, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	90.33	90.59	90.63	90.56	90.41
22 kW	93.15	93.36	93.41	93.39	93.28
37 kW	93.85	94.07	94.14	94.14	94.07
75 kW	95.18	95.29	95.30	95.27	95.16

ตารางที่ จ.3 (ต่อ)

Manufacturer: Teco, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	90.78	90.91	90.84	90.75	90.48
22 kW	92.86	93.01	93.01	92.97	92.81
37 kW	93.44	93.69	93.76	93.75	93.67
75 kW	94.81	95.00	95.08	95.09	95.04

Manufacturer: BrookCrompton, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	86.53	87.08	87.31	87.33	87.22
22 kW	90.05	90.45	90.62	90.64	90.58
37 kW	91.67	92.02	92.14	92.15	92.07
75 kW	93.19	93.50	93.63	93.66	93.64

ตารางที่ จ.4 ผลการทำนายค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สภาวะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม

Manufacturer: ABB, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	29.17	34.26	39.11	41.86	46.79
22 kW	85.51	99.53	114.38	121.11	135.41
37 kW	143.87	167.26	190.04	203.95	225.66
75 kW	287.06	334.88	387.78	410.98	456.77

Manufacturer: Siemens , 400 V , 50 Hz , 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	29.17	34.25	39.23	41.55	46.62
22 kW	85.16	99.21	114.14	120.91	135.33
37 kW	142.74	166.22	189.21	203.32	225.46
75 kW	291.27	338.6	384.99	407.82	460.07

ตารางที่ จ.4 (ต่อ)

Manufacturer: Teco, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	29.04	34.14	39.13	41.45	46.56
22 kW	85.26	99.28	114.16	120.92	135.3
37 kW	142.01	167.88	190.87	202.17	226.54
75 kW	290.11	337.56	384.21	407.22	460.03

Manufacturer: BrookCrompton, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	29.15	34.22	39.36	41.87	46.98
22 kW	85.81	99.94	114.65	121.47	136.54
37 kW	141.96	167.36	189.61	204.1	227.64
75 kW	289.95	339.95	382.88	413.05	460.43

ตารางที่ จ.5 ผลการทำนายกระแสไฟฟ้าอินพุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สภาวะโหลดต่างๆที่ได้จากโปรแกรม

Manufacturer: ABB, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	9.52	10.56	11.63	12.26	13.42
22 kW	26.87	29.86	33.20	34.75	38.16
37 kW	45.57	50.72	55.98	59.31	64.65
75 kW	88.11	98.04	109.59	114.81	125.36

Manufacturer: Siemens, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	9.98	10.99	12.05	12.57	13.71
22 kW	27.56	30.48	33.76	35.30	38.67
37 kW	44.89	49.90	55.04	58.31	63.57
75 kW	85.84	96.21	106.79	112.14	124.67

ตารางที่ จ.5 (ต่อ)

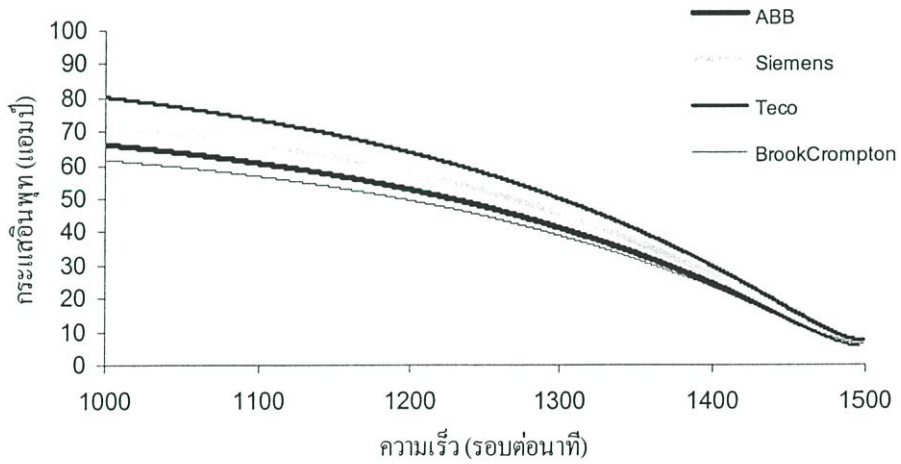
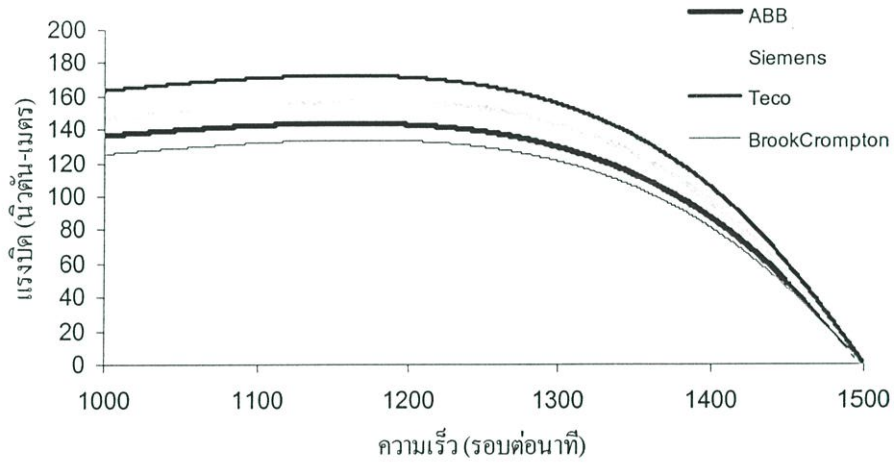
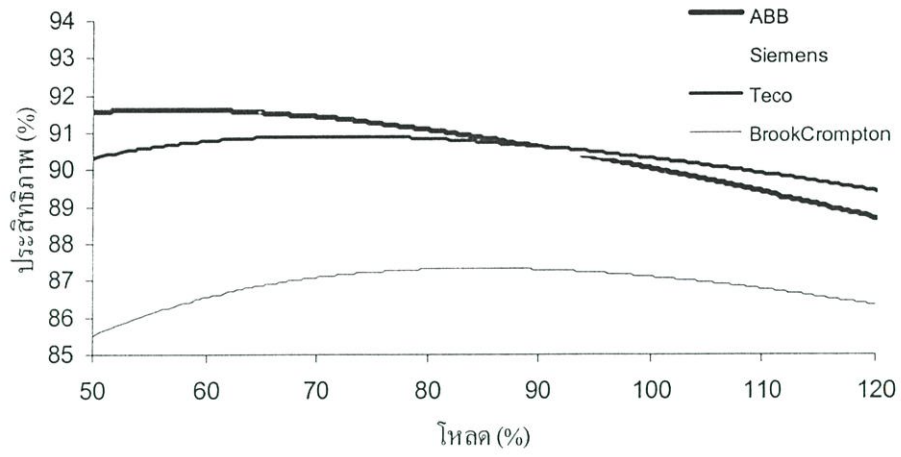
Manufacturer: Teco, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	10.35	11.30	12.31	12.80	13.92
22 kW	26.91	29.86	33.16	34.69	38.07
37 kW	43.22	48.89	54.16	56.81	62.69
75 kW	83.72	94.13	104.73	110.08	122.62

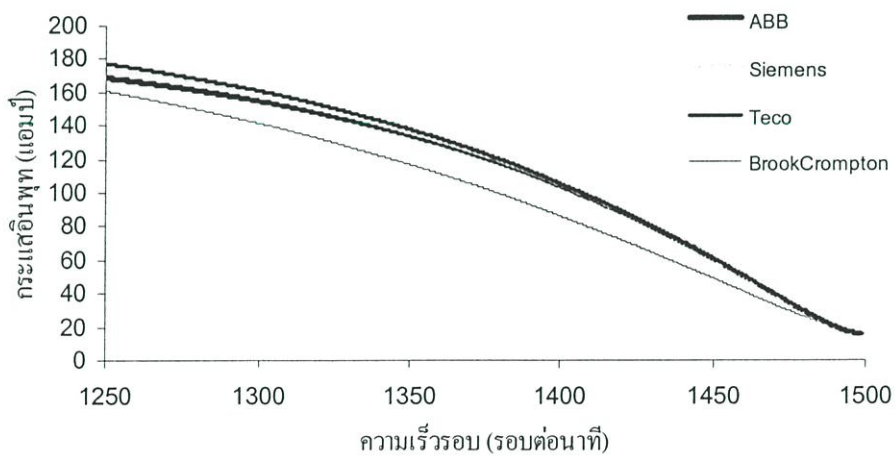
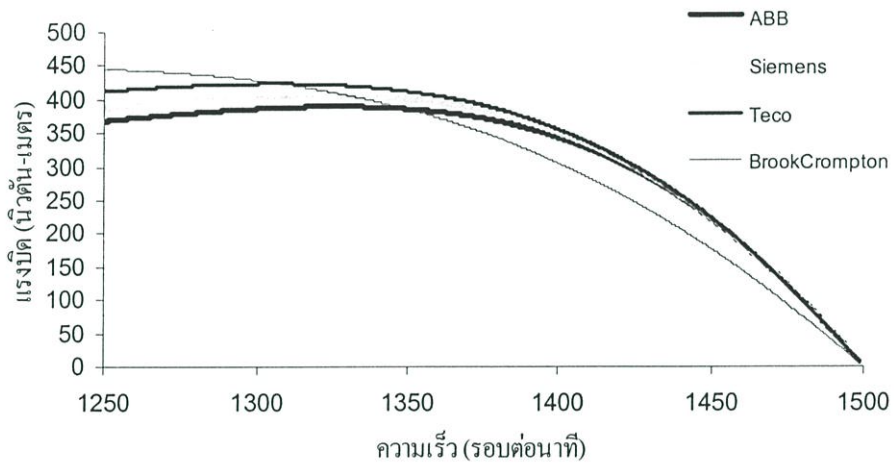
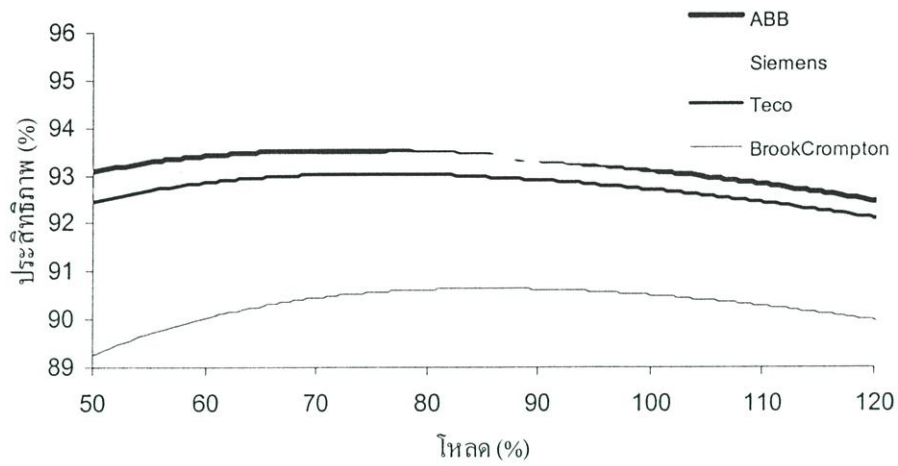
Manufacturer: BrookCrompton, 400 V, 50 Hz, 4 Pole

Rated Output	60% Load	70% Load	80% Load	85% Load	95% Load
7.5 kW	9.91	10.99	12.14	12.73	13.96
22 kW	28.06	30.99	34.20	35.94	39.24
37 kW	43.94	49.59	54.78	58.26	64.09
75 kW	89.96	100.63	110.22	117.16	128.35

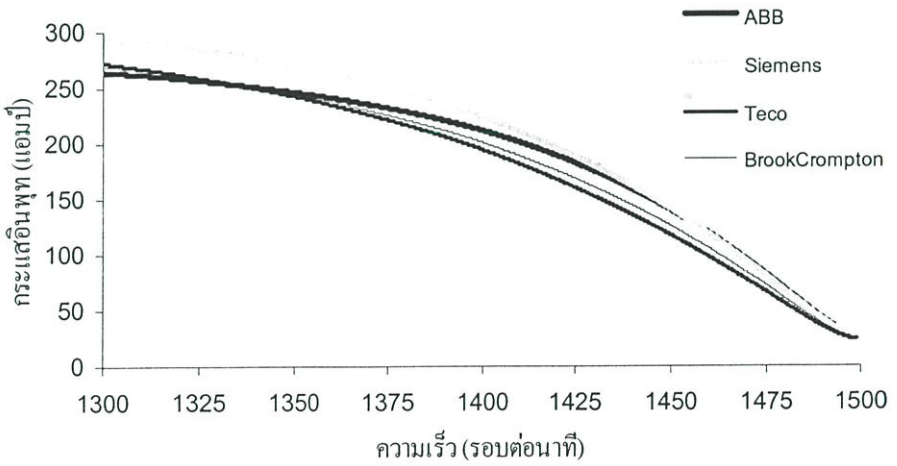
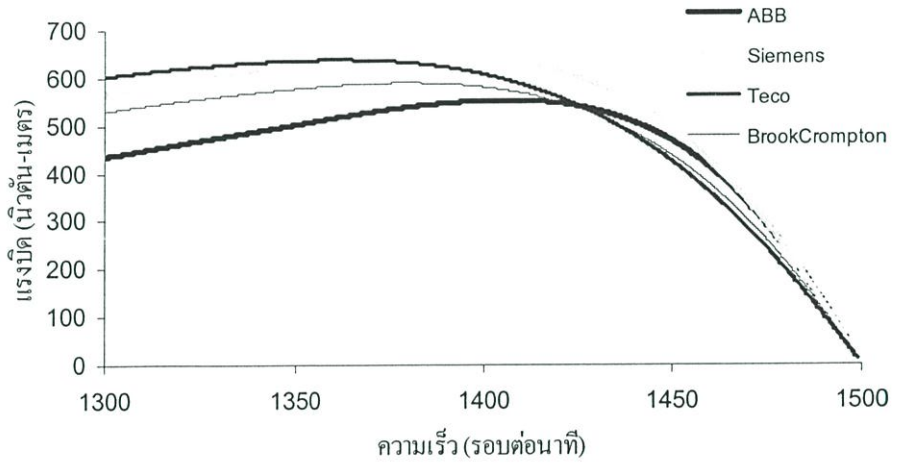
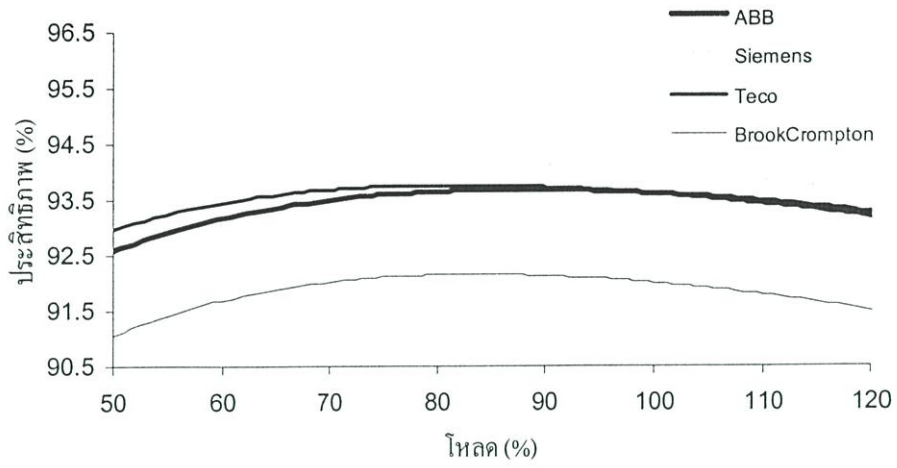
รูปที่ จ.1 รูปที่ จ.2 รูปที่ จ.3 และ รูปที่ จ.4 แสดงกราฟการทำนายค่าของประสิทธิภาพ แรงบิด และ กระแสไฟฟ้าอินพุทของมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ



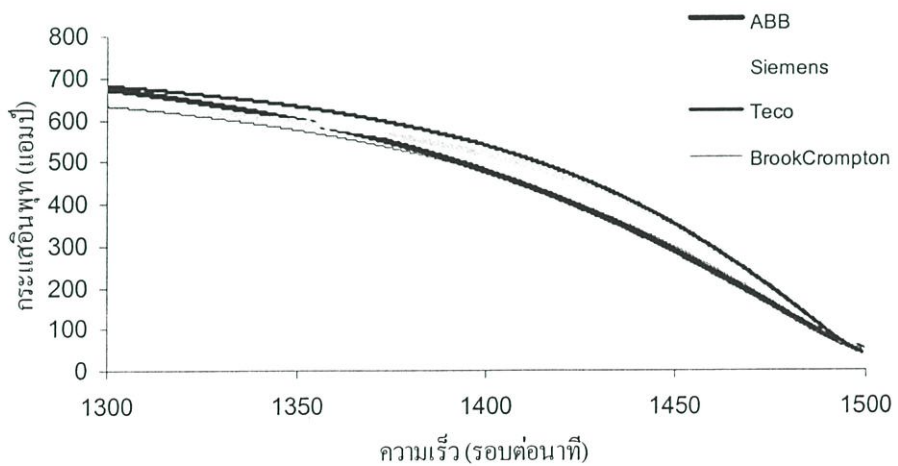
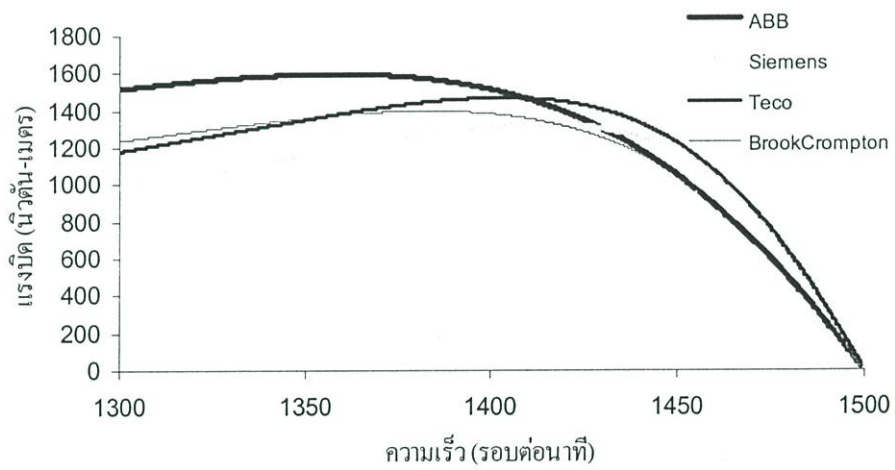
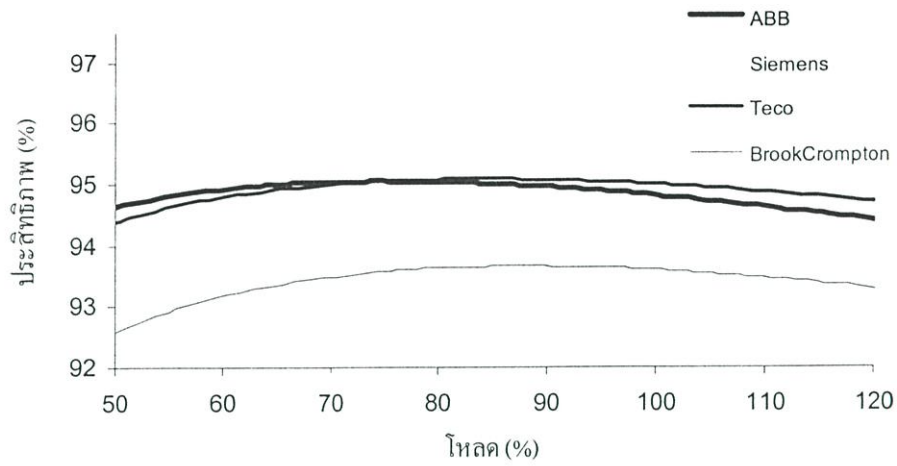
รูปที่ จ.1 การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 7.5 kW



รูปที่ จ.2 การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 22 kW



รูปที่ จ.3 การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 37 kW



รูปที่ จ.4 การทำนายค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 75 kW

ภาคผนวก ฉ.

อธิบายการใช้งานโปรแกรมในส่วนของการ เพิ่ม ลบ และแก้ไข ข้อมูลของแคทาลอก
ที่อยู่ในระบบฐานข้อมูลของโปรแกรม

ภาคผนวก ข.

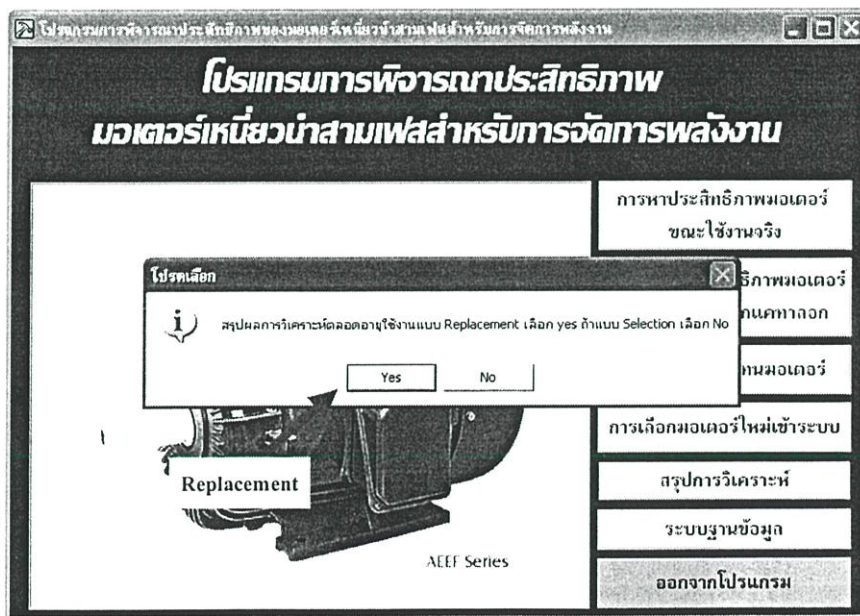
อธิบายการใช้งานโปรแกรมในส่วนของการสรุปวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน

อธิบายการใช้งานโปรแกรมในส่วนของการสรุปวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งาน

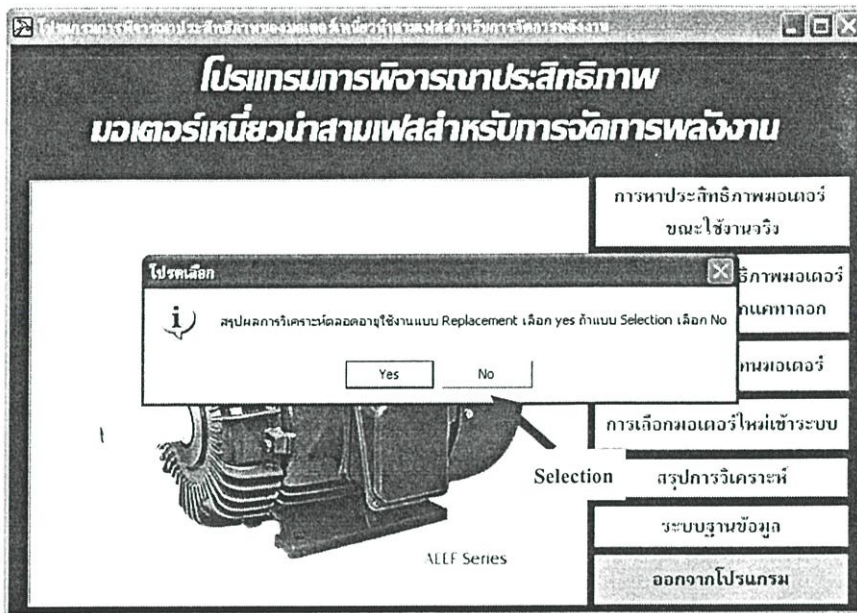
ขั้นตอนที่ 1 ที่หน้าจอหลักให้ผู้ใช้งานกดปุ่มสรุปการวิเคราะห์ (ดังรูปที่ ช.1) เมื่อกดแล้วโปรแกรมจะให้เลือกระหว่างสรุปการวิเคราะห์ของการ Replacement หรือ Selection โดยถ้าเลือกสรุปการวิเคราะห์ของการ Replacement ให้ทำการกดปุ่ม Yes (ดังรูป ช.2) แต่ถ้าเลือกสรุปการวิเคราะห์ของการ Selection ให้ผู้ใช้งานทำการกดปุ่ม No (ดังรูป ช.3)



รูปที่ ช.1 หน้าจอหลักของโปรแกรม



รูปที่ ช.2 การเลือกใช้งานการสรุปวิเคราะห์ของการ Replacement



รูปที่ ข.3 การเลือกใช้งานการสรุปวิเคราะห์ของการ Selection

ขั้นตอนที่ 2 ถ้าคลิกปุ่ม Yes แล้วหน้าจอการสรุปวิเคราะห์ตลอดช่วงอายุการใช้งานจะปรากฏซึ่งในหน้าจอนี้จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่เคยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ในแต่ละการวิเคราะห์ได้ (ดังรูป ข.4)

สรุปการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์										Replacement	
ครั้งที่วิเคราะห์	วันที่วิเคราะห์	มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
1	18/2/2550 22:35:34	บริเวทึมคิด	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
2	18/2/2550 22:37:17	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
3	19/2/2550 1:43:51	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
4	26/2/2550 21:05:09	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
5	26/2/2550 21:06:54	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
6	26/2/2550 22:19:08	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
7	1/3/2550 17:20:19	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ

ลำดับที่	โรงงาน	ขนาด	แรงดัน	มอเตอร์	กำลัง	หมายเหตุ	มอเตอร์	กำลัง	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
1	บางพรา	ซังฉก	20	Mitsubishi	7.5	ไม่ระบุ	ABB	11	ไม่ระบุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
2	บางพรา	ซังฉก	20	Mitsubishi	7.5	ไม่ระบุ	ABB	11	ไม่ระบุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ
3	บางพรา	ซังฉก	20	Mitsubishi	7.5	ไม่ระบุ	ABB	11	ไม่ระบุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ	หมายเหตุ

ปี	เงินลงทุน	ประหยัดค่าไฟฟ้าได้(บาท)	ค่าเสื่อมราคา(บาท)	ค่าโรตัทิก(บาท)	ค่าโรตัทิก(บาท)	ค่าโรตัทิก(บาท)	ค่าโรตัทิก(บาท)	ค่าโรตัทิก(บาท)	ค่าโรตัทิก(บาท)
2007	-30240	2528	1512	-27783	-27783	-27783	-27783	-27783	-27783
2008	0	2769	1512	2681	2195	2195	2195	2195	2195
2009	0	3081	1512	2971	1992	1992	1992	1992	1992
2010	0	3486	1512	3348	1838	1838	1838	1838	1838
2011	0	4014	1512	3839	1726	1726	1726	1726	1726
2012	0	4699	1512	4476	1647	1647	1647	1647	1647
2013	0	5591	1512	5305	1599	1599	1599	1599	1599
2014	0	6749	1512	6382	1525	1525	1525	1525	1525

รูปที่ ข.4 หน้าจอการสรุปวิเคราะห์ของการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 3 ถ้ากลุ่ม No แล้วหน้าจอการสรุปวิเคราะห์ห้ตลอดช่วงอายุการใช้งานจะปรากฏซึ่งในหน้าจอนี้จะสามารถเรียกดูข้อมูลที่เคยทำการวิเคราะห์การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าใช้งานในแต่ละการวิเคราะห์ได้ (ดังรูป ข.5)

สรุปการวิเคราะห์การคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้ามาคิดตั้งในระบบ

ครั้งที่วิเคราะห์	วันที่วิเคราะห์	มอเตอร์เดิม[1]	บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์	มอเตอร์เดิม[2]ที่เหมาะสมที่สุด	บริษัทผู้ผลิต	หมายเลขมอเตอร์	Selection	
1	19/2/2550 17:08:58	Rotor bv	ไม่ระบุ	ไม่มี	AEG	ไม่ระบุ	ไม่มี	หมุนในปี	ค่าไฟสุทธิ
2	27/2/2550 12:04:14	Rotor bv	ไม่ระบุ	ไม่มี	AEG	ไม่ระบุ	ไม่มี	2017	13187

ความถี่	จำนวนชั่วโมง	พิกัดกำลัง(กิโลวัตต์)	ความถี่	จำนวนชั่วโมง	พิกัดกำลัง (กิโลวัตต์)	หมุนในปี	ค่าไฟสุทธิ
50	4	75	50	4	75	2017	13187
ค่าสัมประสิทธิ์โหลด (กิโลวัตต์)	60	ความถี่รวมการใช้งาน (รวมต่ออนาที)	60	ค่าสัมประสิทธิ์โหลด (กิโลวัตต์)	1488	2021	91256
แรงดันพิกัด(โวลต์)	400	โหลด (%)	400	แรงดันพิกัด(โวลต์)	80		
กระแสอินพุท	133	ประสิทธิภาพ (%)	118	กระแสอินพุท	95.07		
รวมมอเตอร์ใหม่[1]	104000			รวมมอเตอร์ใหม่[2]	240550		

ลำดับที่	มอเตอร์ใหม่[1]	หมายเลข	EFF	พิกัด[1]	รวมมอเตอร์ใหม่[1]	มอเตอร์ใหม่[2]	หมายเลข	EFF	พิกัด[2]	รวมมอเตอร์ใหม่[2]	อัตราในเฟส	ชั่วโมงในปี	ประสิทธิภาพ(wh/v)	ต้นทุน	ปีสุดท้าย	ค่าไฟสุทธิ
1	Rotor bv	ไม่ระบุ	EFF3	75	104000	siemens	ไม่ระบุ	EFF1	75	312000	TOD	6720	2358.39	13	2021	14317
2	Rotor bv	ไม่ระบุ	EFF3	75	104000	AEG	ไม่ระบุ	EFF1	75	283000	TOD	6720	5551.33	10	2021	91256
3	Rotor bv	ไม่ระบุ	EFF3	75	104000	AEG	ไม่ระบุ	EFF1	90	335000	TOD	6720	3707.97	ขาดทุน	2021	-7151682

ปี	เงินลงทุน	ประหยัดค่าไฟที่ได้(บาท)	จ่ายซ่อมราคา(บาท)	กำไรหรือขาดทุน(บาท)	กำไรหรือขาดทุน(บาท)	กำไรหรือขาดทุน(บาท)
2007	-83200	6360	5547	-76897	-76897	-76897
2008	0	7007	5547	6905	5911	-70986
2009	0	7848	5547	7687	5633	-65353
2010	0	8941	5547	8703	5459	-59894
2011	0	10362	5547	10025	5383	-54511
2012	0	12210	5547	11744	5398	-49113
2013	0	14611	5547	13977	5499	-43614
2014	0	17733	5547	16880	5685	-37929

สรุป

รูปที่ ข.5 หน้าจอการสรุปวิเคราะห์ของการคัดเลือกมอเตอร์ใหม่เข้าติดตั้งในระบบ

ภาคผนวก ซ.
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

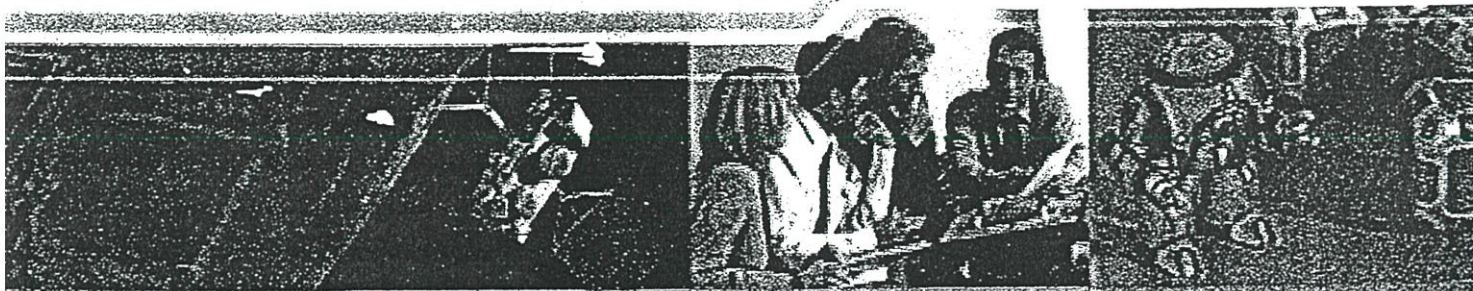
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28

28th Electrical Engineering Conference



Volume I

ระบบควบคุมและการหาค่าเหมาะที่สุด (CE)
อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE) และ
ไฟฟ้ากำลัง (PW)



ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
20-21 ตุลาคม 2548
ณ โรงแรมเบนิล วิลล่า กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 1 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในแคทาล็อกบริษัทผู้ผลิต

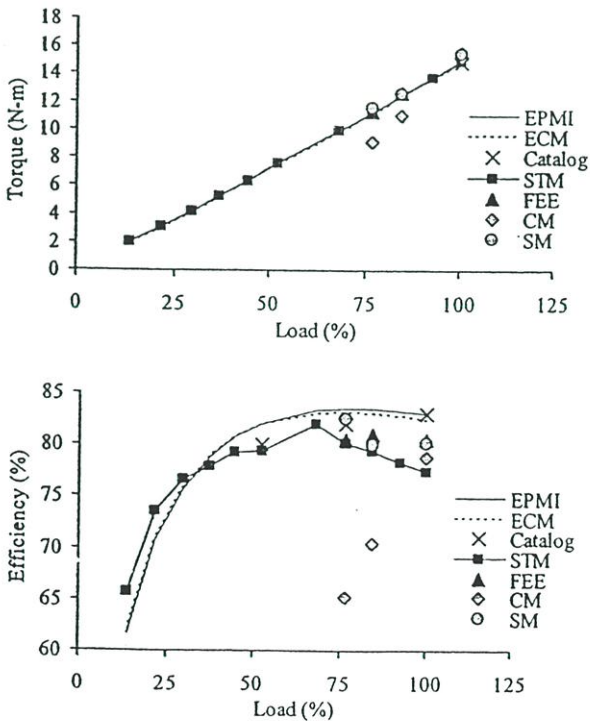
Mitsubishi 3 hp, 380 V, 50 Hz

Load (%)	Current (A)	Power Factor	Efficiency (%)	Speed (rpm)	Torque (N-m)
100	4.92	0.82	83.0	1420	14.8
75	3.95	0.78	82.0	-	-
50	3.16	0.66	80.0	-	-

Mitsubishi 7.5 hp, 380 V, 50 Hz

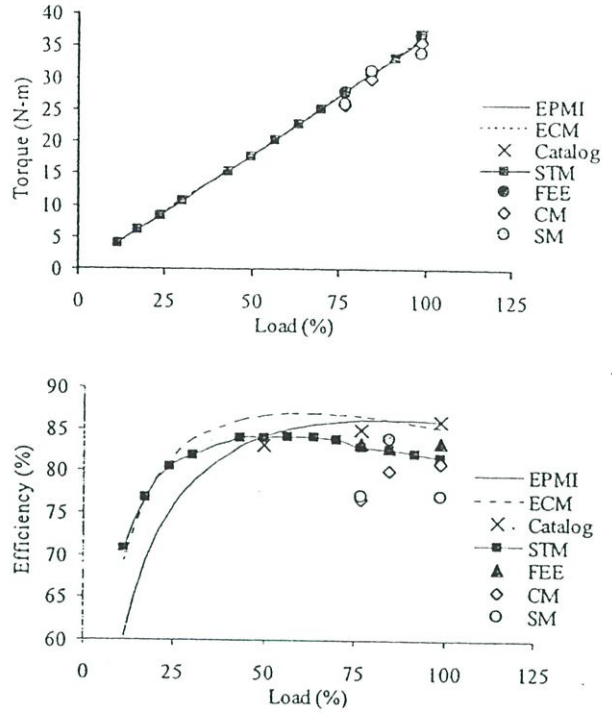
Load (%)	Current (A)	Power Factor	Efficiency (%)	Speed (rpm)	Torque (N-m)
100	11.6	0.84	86.0	1430	36.75
75	8.94	0.82	85.0	-	-
50	6.49	0.77	83.0	-	-

จากตารางที่ 1 บริษัทผู้ผลิตมอเตอร์ส่วนใหญ่จะให้ข้อมูลที่ครบถ้วนที่ 100 % load เท่านั้น ส่วนที่ 75 % และ 50 % load จะมีเพียงบางบริษัทที่ระบุข้อมูลแต่ก็ไม่ครบถ้วน ดังนั้นในกรณีที่น่ามอเตอร์ไปใช้งานที่ % load อื่น ๆ ผู้ซื้อจะไม่ทราบข้อมูลที่แม่นยำได้ รูปที่ 2 ถึง 3 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ที่ได้จากการใช้วิธีต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากวิธี STM จะเป็นค่าที่เชื่อถือได้มากที่สุดเพราะได้มาจากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้และกำลังทางกลจริงของมอเตอร์ตัวนั้น ๆ



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ 3 hp, 380 V, 50 Hz

จากรูปที่ 2 ถึง 3 ในกรณีค่าแรงบิด วิธีการส่วนใหญ่ให้ผลที่แตกต่างเล็กน้อย ยกเว้นวิธี CM (ข้อมูลกระแส) และ SM (ข้อมูลความเร็ว) ซึ่งจะแตกต่างกันมากเพราะใช้ข้อมูลในการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ 7.5 hp, 380 V, 50 Hz

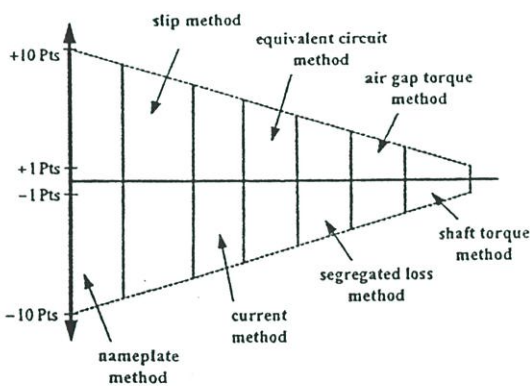
ในกรณีค่าประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าวิธี EPMI และ ECM (ไม่ใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งาน) จะมีค่าใกล้เคียงกันกับข้อมูลที่ระบุในแคทาล็อก แต่จะแตกต่างจากสภาพจริง (STM) ของมอเตอร์อย่างมากเมื่อใช้งานในช่วง 75 % load ขึ้นไป (ประมาณ 5 %) ทั้งนี้เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบได้มีการใช้งานมานานแล้ว ส่วนวิธี FEE จะมีค่าใกล้เคียงกับวิธี STM เพราะใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งาน และพบว่าการใช้วิธี CM และ SM จะมีความคลาดเคลื่อนอย่างมากถึงแม้จะใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งานเช่นเดียวกันจึงไม่เหมาะที่ใช้ในการจัดการพลังงาน ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธี EPMI จะเหมาะสำหรับการพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ใหม่โดยใช้ค่าประสิทธิภาพที่อ้างอิงกับข้อมูลในแคทาล็อก ส่วนวิธี FEE จะเหมาะสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงและใช้งานร่วมกับวิธี EPMI ในการพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าทดแทน

4. การจัดการพลังงานของมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

ค่าใช้จ่ายพลังงานของมอเตอร์เป็นต้นทุนระยะยาวที่สำคัญในการลงทุนของโรงงาน ในกรณีที่จะพิจารณาจัดซื้อมอเตอร์ใหม่เพื่อทดแทนตัวเดิมหรือการติดตั้งเพิ่มเติม การเลือกซื้อมอเตอร์โดยการพิจารณาเพียงด้านราคาที่ถูกที่สุดอาจจะเป็นทางเลือกที่ผิดสำหรับการลงทุนในระยะยาว การเลือกมอเตอร์ควรคำนึงถึงข้อได้เปรียบของค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานที่ต่างกันถึงแม้จะมีค่าเพียงเล็กน้อยแต่อาจจะมีผลต่อการลงทุนทางด้านค่าใช้จ่ายพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่คาด

PW084

จริง ดังนั้นบทความนี้ได้นำวิธีการที่ได้นำเสนอมาแล้วจาก [1] และ [2] มาพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดการพลังงานของโรงงานที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถดำเนินการได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามที่ได้มีการนำเสนอในอดีต [5] และได้แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการต่าง ๆ ดังรูปที่ 1 จากรูปจะเห็นได้ว่าวิธีการใช้ค่าสลลิป (slip method, SM) และค่ากระแส (current method, CM) ซึ่งใช้การวัดค่าความเร็วรอบและค่ากระแสของมอเตอร์ขณะใช้งานเท่านั้นจะมีความคลาดเคลื่อนสูงไม่เหมาะที่จะใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพ สำหรับวิธีการใช้วงจรมูลของมอเตอร์ (equivalent circuit method, ECM) จากการทดสอบปกติ (no-load and blocked-rotor tests) จะมีความแม่นยำปานกลาง และวิธีการวัดค่าแรงบิดทางกล (shaft torque method, STM) จะเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด โดยทั้งสองวิธีหลังนี้เป็นจะต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่ยยาก เสียค่าใช้จ่ายสูงและไม่สะดวกในกรณีที่มีมอเตอร์ใช้งานอยู่ในระบบ บทความนี้จะนำเสนอวิธีการใหม่ 2 แนวทาง คือ การใช้ข้อมูลขณะใช้งานจริง และการใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก สำหรับการพิจารณาหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อนและประหยัดเพื่อใช้ในการจัดการพลังงานโดยใช้หลักการวงจรมูลของมอเตอร์เช่นเดียวกัน



รูปที่ 1 ค่าความแม่นยำของวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์

2.1 การประมาณค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริง

วิธีการนี้เป็นการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ในขณะที่ทำงานอยู่ในระบบ (Field Efficiency Estimation, FEE) [1] โดยไม่ต้องปลดมอเตอร์ออกจากการใช้งานและไม่ต้องวัดค่ากำลังทางกลที่เกิดขึ้น ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์สามารถพิจารณาได้โดยใช้หลักการวงจรมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรมูลได้จากข้อมูลของค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่วัดได้ขณะที่ทำงาน และใช้สมการการหาค่าที่ต่ำสุดของ

$$F(Z_{total}) = \left[\frac{I_{1,cal}}{I_{1,mea}} - 1 \right]^2 + \left[\frac{P_{in,cal}}{P_{in,mea}} - 1 \right]^2 \quad (1)$$

เมื่อ Z_{total} เป็นค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรมูล $I_{1,cal}$ และ $P_{in,cal}$ เป็นค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากคำนวณตามลำดับ $I_{1,mea}$ และ

$P_{in,mea}$ เป็นค่ากระแส และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัดขณะมอเตอร์ทำงานตามลำดับ จากสมการที่ (1) จะได้ว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรมูลซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะต่าง ๆ ของมอเตอร์ได้ โดยมีความแม่นยำสูงไม่แตกต่างจากวิธีการทดสอบตามมาตรฐานเพราะใช้ข้อมูลจริงขณะทำงาน จะเห็นได้ว่าวิธีการ FEE นี้มีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอื่น ๆ ในด้านความสะดวก ใช้เวลาดำเนินการน้อย และประหยัดค่าใช้จ่ายซึ่งเหมาะสมสำหรับการประเมินการใช้พลังงานของโรงงานที่มีมอเตอร์อยู่เป็นจำนวนมาก

2.2 การทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

ข้อมูลมอเตอร์ที่ได้จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิต ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยค่าพิกัด แรงดัน กำลังทางกล (P_{FL}) กระแส (I_{FL}) ตัวประกอบกำลัง (PF_{FL}) ความเร็วรอบ ประสิทธิภาพ (Eff_{FL}) แรงบิด และแรงบิดสูงสุด (T_{max}) จากข้อมูลนี้สามารถนำมาพิจารณาทำนายค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของมอเตอร์ได้ (Efficiency Prediction based on Manufacturer Information, EPMI) [2] โดยการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรมูลจากสมการการหาค่าที่ต่ำสุดของ

$$F(Z_{total}) = \frac{1}{2} \left[\frac{I_{FL,prog}}{I_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{PF_{FL,prog}}{PF_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{P_{FL,prog}}{P_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{Eff_{FL,prog}}{Eff_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{T_{max,prog}}{T_{max,cata}} - 1 \right]^2 \quad (2)$$

เมื่อ $prog$ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม และ $cata$ เป็นค่าที่ได้จากข้อมูลแคทาล็อก อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าความแม่นยำของการทำนายสมรรถนะของมอเตอร์โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการนี้จะไม่สามารถพิจารณาเปรียบเทียบกับสมรรถนะของมอเตอร์เมื่อนำไปใช้งานจริงทั้งนี้เพราะวิธีการนี้ใช้ข้อมูลอ้างอิงตามข้อมูลที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้ในแคทาล็อกซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยโดยประมาณจากมอเตอร์จำนวนมากภายในระบบการผลิตของพิกัดนั้น ๆ วิธีการนี้จะมีประโยชน์สำหรับการพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ในกรณีถ้ามอเตอร์ไปใช้งานที่ภาระทางกลอื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่ที่พิกัดกำลัง ในลักษณะนี้จะไม่มียุ่ของค่าประสิทธิภาพในแคทาล็อก แต่วิธีการนี้จะสามารถทำนายค่าประสิทธิภาพที่ภาระทางกลนั้นได้โดยอ้างอิงจากข้อมูลต่าง ๆ ที่พิกัด

3. การเปรียบเทียบวิธีการหาสมรรถนะของมอเตอร์

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบสมรรถนะต่าง ๆ ของมอเตอร์ที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ EPMI ECM STM FEE CM SM โดยทำการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 2 ขนาดในห้องปฏิบัติการตามวิธี ECM และ STM โดยมีข้อมูลของมอเตอร์ในแคทาล็อก ตามตารางที่ 1

ว่าจะใช้งานมอเตอร์นั้น การจัดการพลังงานควรจะต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้คือปี (annual cost savings A_{saving}) ดังนี้ [6]

$$A_{saving} = P_{out} L h_r C \left(\frac{1}{E_{ex}} - \frac{1}{E_{ec}} \right) \quad (3)$$

โดย P_{out} เป็นค่าที่กักกำลังของมอเตอร์ (kW) L เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังหารด้วย 100 h_r เป็นจำนวนชั่วโมงที่ใช้งานต่อปี C เป็นค่าไฟฟ้า (บาทต่อ kWh) E_{ex} เป็นค่าประสิทธิภาพ (%) ของมอเตอร์ตัวเดิมหรือตัวที่มีค่าต่ำกว่า และ E_{ec} เป็นค่าประสิทธิภาพ (%) ของมอเตอร์ตัวใหม่หรือตัวที่มีค่าสูงกว่า จากนั้นนำค่า A_{saving} ไปพิจารณาพร้อมกับสมการหาค่าความคุ้มค่าตลอดอายุการใช้งาน (present worth life cycle PW_{saving}) ซึ่งเป็นการคำนวณค่าที่ประหยัดได้ในปัจจุบัน โดยคำนึงถึงอัตราเงินเฟ้อสำหรับค่าไฟฟ้า ดังนี้

$$i = \frac{100 + r_2}{100 + r_1} - 1 \quad (4)$$

$$PW_{saving} = A_{saving} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (5)$$

กำหนดให้ i เป็นอัตราดอกเบี้ย r_1 เป็นอัตราเงินเฟ้อสำหรับค่าไฟฟ้าทุกปี ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น r_2 เป็นอัตราดอกเบี้ยที่ต้องการ และ n เป็นจำนวนปีที่คาดว่าจะใช้งานมอเตอร์ ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่า A_{saving} และ PW_{saving} ของการเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 18.5 kW และ 22 kW จาก 2 บริษัทผู้ผลิตในกรณีที่ไม่ได้ใช้งานที่พิกัด โดยเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพระหว่างมอเตอร์ตัวเดิม (existing motor) ที่ประมาณค่าโดยวิธี FEE กับมอเตอร์ที่จะเลือกซื้อใหม่ (efficient motor) ที่ทำนายค่าโดยวิธี EPMI

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการพิจารณา ค่า A_{saving} และ PW_{saving}

Hours of operation per year	4800
Cost of kilowatt hour (Baht)	2.0
Energy cost inflation (%)	3.0
Internal rate of return (%)	10

Motor	Existing motor Eff. (%)	Efficient motor Eff. (%)	Annual savings (Baht)	PW_{saving} 10 years (Baht)	
18.5 kW	A	90.33	92.75	5,019	35,587
	S		92.47	4,452	31,565
22 kW	A	91.32	93.13	4,448	31,538
	S		93.03	4,207	29,828

A : ABB, S : SIEMENS

5. บทสรุป

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการพิจารณาจัดการพลังงานสำหรับโรงงานเพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นการลดต้นทุนในการผลิต โดยพิจารณาจากค่า A_{saving} และ PW_{saving} ซึ่งต้องมุ่งเน้นที่การตรวจสอบค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของมอเตอร์ และการเลือกซื้อมอเตอร์จากแคตาล็อกของบริษัทผู้ผลิต โดยคำนึงถึงการกำหนดประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นเมื่อนำไปใช้งานจริง จะเห็นได้ว่าวิธีการ CM และ SM ซึ่งนิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากความสะดวก แต่วิธีการเหล่านี้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอ (FEE และ EPMI) จะมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการอื่น ๆ ในด้านความสะดวก และประหยัด เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบมอเตอร์ในห้องปฏิบัติการ และผลที่ได้จากการประมาณหรือการทำนายจะมีความแม่นยำสูงกว่า

เอกสารอ้างอิง

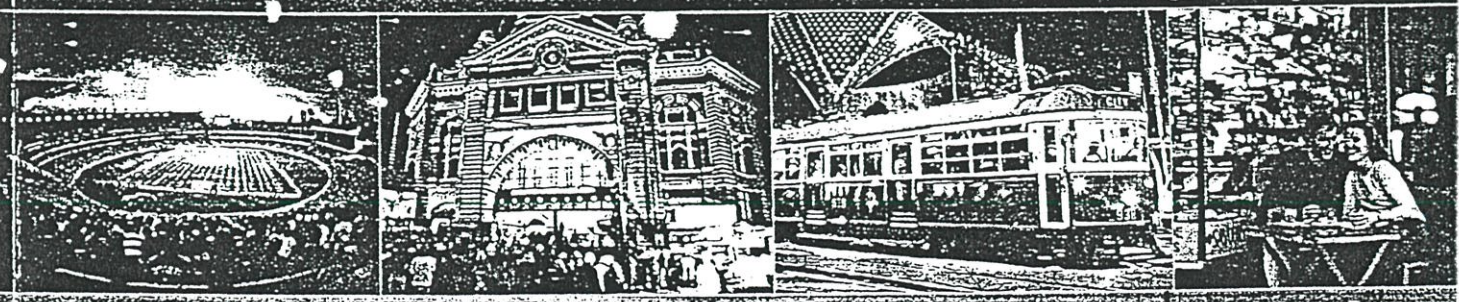
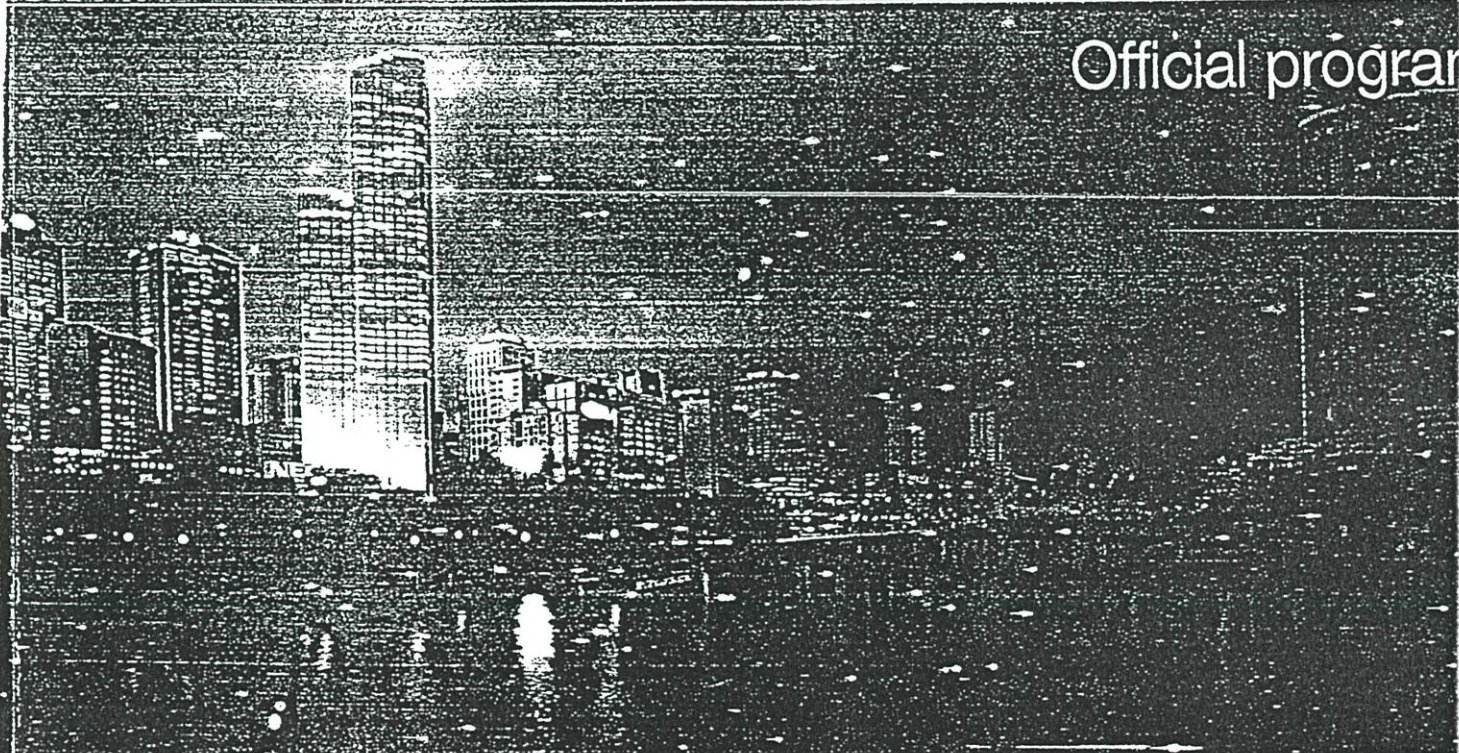
- [1] ธนภวิวัฒน์ ภูมิภาค และ ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย "วิธีการแบบประหยัดสำหรับการประมาณค่าสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 27, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, PW18, หน้า 69-72, พฤศจิกายน 2547.
- [2] T. Phumiphak, T. Kedsoi and C. Chat-uthai, "Efficiency Prediction for Induction Motor Based on Manufacturer Information," Proc. of the 2005 ECTI International Conference, Thailand, pp. 762 - 765, May 2005.
- [3] A. Boglietti, A. Cavagnino, M. Lazzari, and M. Pastorelli, "International Standards for the Induction Motor Efficiency Evaluation: A Critical Analysis of the Stray-Load Loss Determination," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40, no. 5, pp. 1294-1301, Sept./Oct. 2004.
- [4] *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generators*, IEEE Standard 112-1996, New York, May 1997.
- [5] J. S. Hsu, J. D. Kueck, M. Olszewski, D. A. Casada, P. J. Otaduy, and L. M. Tolbert, "Comparison of induction motor field efficiency evaluation methods," *IEEE Transactions on Industry Appli.*, vol. 34, issue:1, pp. 117-125, Jan./Feb. 1998.
- [6] *Energy Management Guide for Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors*, NEMA Standard Publication MG 10-2001.



Tenccon 2005 – 2005 IEEE Region 10

Melbourne, Australia
21–24 November, 2005

Official program



Tencon Technical Sessions – 24th November 2005

Promenade Room

8:00

Speaker #5: Professor Ray Jarvis

8:40

Speaker #6: Dr Malin Premaratne

ROOM	8:00 - 9:20		9:20 - 10:50		11:20 - 13:00		14:00 - 15:40
M7	PLENARY SESSION REFER ABOVE	MORNING BREAK	3B-01 Mobile and Wireless Networks	LUNCH BREAK	3C-01 Convergence Issues	AFTERNOON BREAK	3D-01 Mobile Cellular
P2			3B-02 Computer Networks		3C-02 Security Issues 2		3D-02 Security Issues 3
P1			3B-03 Filter Design and Implementation 1		3C-03 Filter Design and Implementation 2		3D-03 Filter Design and Implementation 3
P3			3B-04 Robust and Adaptive Control 1		3C-04 Robust and Adaptive Control 2		3D-04 Robust and Adaptive Control 3
M1			3B-05 Pattern Recognition 1		3C-05 Pattern Recognition 2		3D-05 Pattern Recognition 3
M2			3B-06 Wireless and Telecommunications 1		3C-06 Wireless and Telecommunications 2		3D-06 Wireless and Telecommunications 3
M3			3B-07 Bioinformatics and Biomedical		3C-07 Video Processing 1		3D-07 Video Processing 2
M4			3B-08 Sensors and their Applications		3C-08 Power Devices and Circuits 1		3D-08 Power Devices and Circuits 2
M8			3B-09 Speech Recognition and Extraction		3C-09 Circuit Analysis and Design 1		3D-09 Circuit Analysis and Design 2
M10			3B-10 Watermarking		3C-10 Power Systems Harmonics		3D-10 Machine Modelling and Simulation

3D-10

Session Title: Machine Modelling and Simulation

Chairperson: Tasso Athanasiadis

Day: Thursday

Date: 24th November 2005

Time: 2:00PM – 3:40PM

Room: M10

3D-10.1 1568963930

A Novel Half-Way Shifting Bezier Curve Model

Ferdous Sohel, Laurence Dooley, Gour Karmakar

"Bezier curves can cause a considerable gap to occur between the approximation curve and its control polygon, due to considering only the global information of the control points. In order to reduce this error in curve representations, localised information needs to be incorporated, with the main philosophy to narrow down the gap by shifting the Bezier curve points closer to the control polygon. To integrate this idea into the theoretical framework of the classical Bezier curve model, this paper presents a novel Half-way shifting Bezier Curve (HBC) model, which automatically incorporates localised information along with the global Bezier information. Both subjective and objective performance evaluations of the HBC model using upon a number of objects having arbitrary shape confirm its considerable improvement over the classical Bezier curve model without increasing the order of computational complexity."

3D-10.2 1568964850

The Influence of IGV and Relative Humidity of Air on Performance Map of Axial Flow Compressor

Zhang Xuelei

"Compressors constitute an integral part of most turbo machinery systems and are widely used in many chemical, industrial, and aerospace applications. The performance map of compressor is influenced by IGV closure angle and relative humidity of air. The calculation model of axial flow compressor is built in the paper, and the influence of IGV and relative humidity on performance map is analyzed in the paper."

3D-10.3 1568964083

New method for nano hardness measurement of single crystal Aluminum

Shahjada Pahlovy

Nano hardness is an important mechanical properties of materials most used to characterize the wear resistance of materials. In this present paper a procedure is developed for calculation of nano hardness by nano indentation and an Atomic Force Microscope (A.F.M). A three sided pyramidal diamond tip has been used for the indentation experiment. Experiment has been concluded on single crystal Aluminum (Al). The load displacement data have been used to obtain the nanoindentation hardness and the room temperature nano hardness properties of single crystal Al have been investigated at different indentation loads. Comparison of

the data obtained using nano indenter with that obtained by using new technique was briefly discussed. It has been shown that the measured nano hardness values of the material sensitively depend on the applied load of indentation. It is also shown that the measured nano hardness is smaller than nano indenter hardness.

3D-10.4 1568965015

Energy Management Program for Use of Induction Motors Based on Efficiency Prediction

Thanaphiwat Phumiphak, Thanapol Kedsoi, Chaiwut Chat-uthai

"Electric drive systems are currently responsible for the largest part of the electricity consumption. As the cost of energy increases, it is increasingly more important to remove the inefficient induction motors from operation. This paper proposes an energy management program that can help the plants to determine how much saving will be achieved by using more efficient motors. This paper focuses on the use of motor field efficiency estimation of motors without the removal of motor from service and without the output power measurement, and the use of motor efficiency prediction based on the manufacturer information. The motor efficiency evaluations are obtained from the equivalent circuit method. The test results indicate that this program is tool of accurate economic analysis for the purchase scenario. As result, it is possible to conduct on-site energy audits of existing motors in order to determine the potential savings and payback period with great confidence."

3D-10.5 1568965346

Application of Power Source Element in Power Factor Correction

Kamon Jirasereeamornkul, Marian Kazimierczuk, Itsda Boonyaroonate, Kosin Chamnongthai

"A new application of power source element in power factor correction is proposed. The power source is inserted between a bridge rectifier diodes and a large capacitance bulk capacitor to increase the conduction angle of the rectifier diodes. The power from the DC bus is transferred to power source via a loss free resistor connected with the DC bus. Analysis, design example, control scheme, and simulation results are given in this paper."

Energy Management Program for Use of Induction Motors Based on Efficiency Prediction

T. Phumiphak, T. Kedsoi and C. Chat-uthai

Abstract—Electric drive systems are currently responsible for the largest part of the electricity consumption. As the cost of energy increases, it is increasingly more important to remove the inefficient induction motors from operation. This paper proposes an energy management program that can help the plants to determine how much saving will be achieved by using more efficient motors. This paper focuses on the use of motor field efficiency estimation of motors without the removal of motor from service and without the output power measurement, and the use of motor efficiency prediction based on the manufacturer information. The motor efficiency evaluations are obtained from the equivalent circuit method. The test results indicate that this program is a tool of accurate economic analysis for the purchase scenario. As a result, it is possible to conduct on-site energy audits of existing motors in order to determine the potential savings and payback period with great confidence.

Index Terms— Induction motors, field efficiency, efficiency prediction, equivalent circuit method, on-site energy audits.

I. INTRODUCTION

INDUCTION motors which are a part of the drive system are extensively applied in the industry plants due to their low price and ruggedness. Industrial buyers often make decisions about the purchase of motors for replacement of existing motors or new installations. The industries can save a large amount of money by replacing inefficient motors with new energy-efficient ones. As the cost of energy is growing at a high rate, it is important to consider the economic impact of motor efficiency on the business when making such decisions. The energy efficiency classes for low voltage induction motors have been implemented in Europe and the U.S. [1] in order to improve energy efficiency and thus reduce carbon dioxide emissions. Therefore an increase of efficiency in motors will result in large energy savings.

In general, the European CEMEP protocol defines the efficiency classes for the industrial induction motors as follows : EFF3 class (standard efficiency) motors offer a very low efficiency and represent an uneconomic investment in most of the situations, therefore they are not recommended. On average EFF2 class (energy efficiency) motors and EFF1 class (high efficiency) motors can reduce energy losses by up to 20 % and 40 % respectively. In the case of a 15 kW motor, the EFF1 and EFF3 motors have efficiencies of 91.8 % and 88.2 % respectively. For high operating hours (more than 6000 hours per year), this means that the industry can save energy

about 4 MWh per year. The higher purchase cost of EFF1 motors can be compensated in a short time which yield an adequate return on investment.

TABLE I
EXAMPLES OF EFFICIENCY CLASS DEFINATION FOR 2-POLE AND 4-POLE

kW	EFF 3	EFF 2	EFF 1	
			2-pole	4-pole
1.1	< 76.2	\geq 76.2	\geq 82.8	\geq 83.8
2.2	< 81.0	\geq 81.0	\geq 85.6	\geq 86.4
4	< 84.2	\geq 84.2	\geq 87.6	\geq 88.3
7.5	< 87.0	\geq 87.0	\geq 89.5	\geq 90.1
11	< 88.4	\geq 88.4	\geq 90.5	\geq 91.0
15	< 89.4	\geq 89.4	\geq 91.3	\geq 91.8
37	< 92.0	\geq 92.0	\geq 93.3	\geq 93.6
55	< 93.0	\geq 93.0	\geq 94.0	\geq 94.2
90	< 93.9	\geq 93.9	\geq 95.0	\geq 95.0

From Table I, the motors are defined as totally enclosed fan ventilated, three-phase squirrel cage induction motors in the range 1.1 to 90 kW, having 2 or 4 poles rated for 400 V line, 50 Hz. These account for the largest volume on the market. All efficiency levels are based on the IEC 34-2 standard [2]. EFF1, the highest efficiency level, can at the moment only be achieved by some of the leading manufacturers.

In order to determine how much saving will be achieved by replacing the existing motor with more efficient one, there are many methods [3], [4], [5] can be used to evaluate the motor efficiency. One common method is to test the motor under load conditions and then monitor the input and output at different load points. This is the most straightforward method to measure the output power directly from the shaft without any need to calculate losses. However, this is not suitable for the field evaluation because this process involves the removal of motor from service. Obviously, this method is impractical and costly. Another accurate method relies on using the no-load and blocked-rotor test results, which is a difficult task, to estimate the motor equivalent circuit parameters.

In the plant, engineers may estimate the motor efficiency based on manufacturer information from the nameplate and input measurements, such as slip method and current method. Using these methods, a few problems may occur. First, the nameplate efficiencies of a given motor can be evaluated according to different standards. Second, the nameplate data are rounded. Third, the motor may have been rewound. Hence, the error in estimated efficiency could be very high.

The developed method [6] has been proposed to address the energy consumption in the motor whereby the efficiency of a motor in the field can be estimated quickly with minimum disturbance to the production process (without the need to disconnect motor). The aim of this paper is to propose the use of computer program for energy management which is the

T. Phumiphak is with the Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok 10530, Thailand (e-mail: kethanaphiwat@yahoo.com).

T. Kedsoi and C. Chat-uthai are with the Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand (e-mail: kchaiwu@kmitl.ac.th).

tools of economic analysis. This program can help buyers make more intelligent decisions in order to project cost savings and payback period, and to support a confidence decision regarding the investment in higher efficiency motors.

II. ACCURATE ECONOMICAL METHOD

The induction motor efficiency characterizes the energetic behavior during the conversion of the electrical power in mechanical power. Comparison of motor efficiencies is certainly a valid tool to justify the use of one motor over another. The efficiency is mainly a function of output load, horsepower rating, and speed which can be defined as

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{\text{mechanical}}}{P_{\text{electrical}}} = \frac{P_{\text{mechanical}}}{P_{\text{mechanical}} + \text{Losses}} \quad (1)$$

where $P_{\text{mechanical}}$ denotes output power at the motor shaft, and $P_{\text{electrical}}$ is electrical power absorbed from the supply. The difference of these two powers is the total motor losses which can be subdivided into stator and rotor copper losses, iron and mechanical losses, and stray load losses. The Stray load losses are the additional fundamental and high-frequency losses in the iron; strand and circulating-current losses in the stator winding; and harmonic losses in the rotor conductors under load. These losses are assumed to be proportional to the torque squared [7].

The evaluation of motor efficiency in this paper is based on the equivalent circuit method [3]. Most circuit models used in the past eliminated these losses because it is very difficult to model and their phenomena are still under discussion. Note that neglecting such losses will introduce a significant error in estimating the efficiency. It is important to remark that the operating of motor at loads substantially different from rated load may result in a change in motor efficiency. A moderate increase of a few percentages points in motor efficiency can represent a rather significant decrease in percentage of motor losses. In order to improve the accuracy of the estimation, the equivalent circuit model used in this present work has already included the stray load losses parameter as described in the previous paper [6].

A. Field Efficiency Estimation

This method focuses on the efficiency estimation of an actual motor without the need for removing motor from the process and without the need to measure the output power. The motor equivalent circuit parameters can be estimated by using a few sets of data from the field test and nameplate information coupled with the genetic algorithms. The test data are input voltage, current, electrical power, stator resistance and speed of the motor obtained from the measured values at either one operating point test (OPT) or two operating points test (TPT). The motor circuit parameters can be found by minimizing the error of objective function (2)

$$F_{\text{objective}} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{I_{li,cal}}{I_{li,mea}} - 1 \right|^2 + \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{ini,cal}}{P_{ini,mea}} - 1 \right|^2 \quad (2)$$

where $I_{li,cal}$ and $P_{ini,cal}$ are the calculated values of input current and power respectively. $I_{li,mea}$ and $P_{ini,mea}$ are the measured values when $n=1$ (OPT) and $n=2$ (TPT). Then the field efficiency of motor can be obtained in a short time.

TABLE II
SUMMARY RESULTS OF ESTIMATED FIELD EFFICIENCY FOR
4-POLE MOTOR AT VARIOUS LOADS USING TPT AND OPT

75 kW Methods	Motor Load			
	2/4	3/4	4/4	5/4
TPT 50% & 75%	94.5	95.2	95.1	94.6
50% & 100%	94.6	95.3	95.2	94.7
75% & 100%	94.5	95.3	95.2	94.7
IEEE 112 Method B	95.5	95.9	95.8	95.5
OPT 50%	94.3	-	-	-
75%	-	96.2	-	-
100%	-	-	95.9	-

Considering the results obtained in Table II, it can be stated with confidence that this simple fast and low-cost method will yield virtually the same results (error about 1%) as using the sophisticated standard tests.

B. Efficiency Prediction Based on Manufacturer Information

In forecasting the efficiency of a given motor from the manufacturer catalog, the nominal efficiency or the minimum efficiency must be mentioned. Both of these values are of use to the prospective purchaser of a motor. The nominal efficiency should be used in estimating the power required to supply a number of motors. The minimum efficiency permits the motor user the assurance of having received the specified level of performance. All manufactured motors are subject to variances associated with materials and manufacturing methods. No two motors will perform exactly the same, even though they are of the same design and produced on the same assembly line. The manufacturer information usually describes the motor behavior with a set of magnitudes such as full load mechanical power (P_{FL}), current (I_{FL}), slip (s_{FL}), power factor (PF_{FL}), efficiency (Eff_{FL}), maximum torque (T_{max}) and full load torque (T_{FL}). The motor parameters can be estimated by using the usual information from manufacturer catalog coupled with the genetic algorithms in order to minimize the error of (3)

$$F_{\text{objective}} = \frac{1}{2} \left[\frac{I_{FL,prog}}{I_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{PF_{FL,prog}}{PF_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{P_{FL,prog}}{P_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{Eff_{FL,prog}}{Eff_{FL,cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{T_{max,prog}}{T_{max,cata}} - 1 \right]^2 \quad (3)$$

where subscript *cata* stands for the value from catalog data, and *prog* stands for the calculated value obtained from

numerical program. As a result of (3), then the motor parameters can be obtained and it is possible to predict the efficiency of motor in the catalog at any load.

The results in Table III indicate that the acceptable predicted efficiencies compared to those achieved from manufacturer information are obtainable (different within 1%).

TABLE III
SUMMARY RESULTS OF PREDICTED EFFICIENCY FOR 4-POLE MOTOR
AT VARIOUS LOADS USING MANUFACTURER INFORMATION

kW	Motor Load	60%	75%	90%	100%
45	Catalog	-	94.20	-	94.20
	Program	94.12	94.36	94.33	94.22
200	Catalog	-	-	-	96.20
	Program	96.28	96.35	96.25	96.13

C. Cost Savings and Payback

The accurate field efficiency estimation and efficiency prediction based on manufacturer information then can be used to determine the economics of investing in buying new energy-efficient motors. The annual cost savings (A_{saving}) in Baht (\$1 = 40 Baht) is determined using the following formula

$$A_{saving} = P_{out} L h_r C \left(\frac{1}{E_{ex}} - \frac{1}{E_{ee}} \right) \quad (4)$$

where P_{out} stands the motor rated in kW, L is the percentage of full load divided by 100, h_r is the annual operating hours, C is the average energy costs, E_{ex} and E_{ee} denote for the existing motor efficiency and the new energy-efficient motor efficiency rating in percent respectively. It is suggested that the Present Worth Life Cycle method [8] should be used. This technique relies on calculating the present value of the achieved savings taking into account the cost of capital and the inflation rate for energy cost as the following equation

$$i = \frac{100 + r_2}{100 + r_1} - 1 \quad (5)$$

$$PW_{saving} = A_{saving} \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (6)$$

where i is the effective interest rate, r_1 is the expected annual rate of energy cost inflation, r_2 is the required internal rate of return on investments, n is the expected operating lifetime of the motor and PW_{saving} denotes present worth of savings which can then be used to determine the feasibility of investment. Then the payback period n_{PB} (years) required to recover the differential investment for a new motor can be determined as

$$n_{PB} = \frac{\ln \left(\frac{A_{saving}}{i C_{motor} - A_{saving}} \right)}{\ln(1+i)} \quad (7)$$

where C_{motor} denotes the motor cost.

III. ENERGY MANAGEMENT PROGRAM

This economic evaluation is a useful program to determine the relative advantage of motor information with different efficiencies. Choosing which motor to buy based on the lowest price may lead to an incorrect economic choice. The program results can help the user to choose the alternative that is the most profitable for the business. One question of interest is whether it is economically justified to replace the existing motors with the new motors of higher efficiency. Comparison must be made between continuing to operate the existing motor and removing the existing motor and replacing it with a new motor. If the existing motor has been in service for many years and has a very low efficiency relative to the new motor, and the cost of electricity is very high, then it is possible that a replacement will be economically attractive. Therefore, it is worthwhile to measure the efficiency of existing motors, and the evaluation method (field efficiency estimation) used must have the potential of quickly estimating the actual efficiency of motors on-site with high accuracy in order to make a decision with great confidence.

Figs. 1-2 show the procedures of energy management program. The nameplate information of the existing motor has been prepared as shown in Fig. 1, and the field measurement is then made at operating load (need not be close to no-load or full-load) while the motor is in service as shown in Fig. 2. Fig. 3 shows the estimated efficiency performances of the existing motor. The next step is to determine the efficiency performances of the new energy-efficient motors using the efficiency prediction based on manufacturer information as shown in Fig. 4. Fig. 5 shows how efficiency considerations between the existing motor and a new motor can effect the replacement decision such as annual cost savings, new motor efficiency and payback period.

Fig. 1. Nameplate information of the existing 55 kW motor.

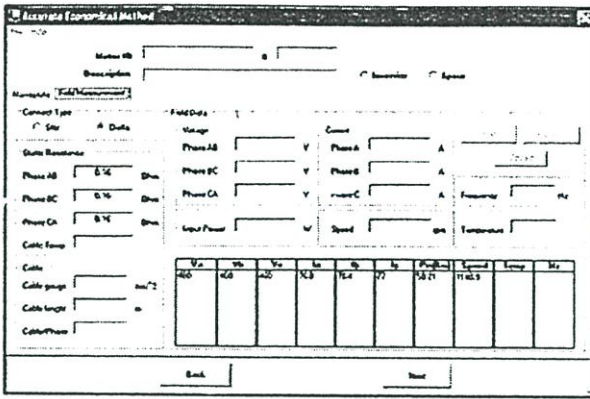


Fig. 2. Field measurement of the existing 55 kW motor at operating load.

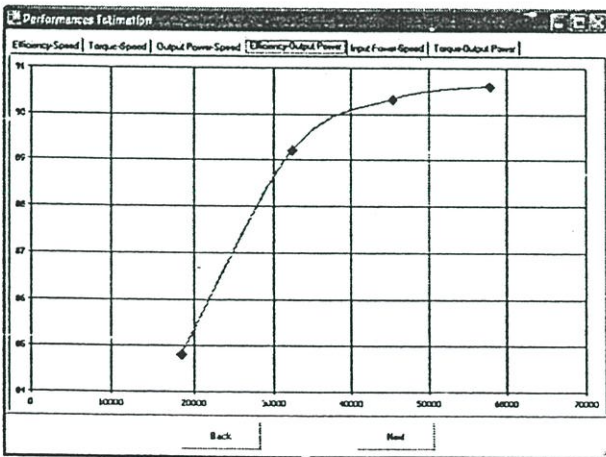
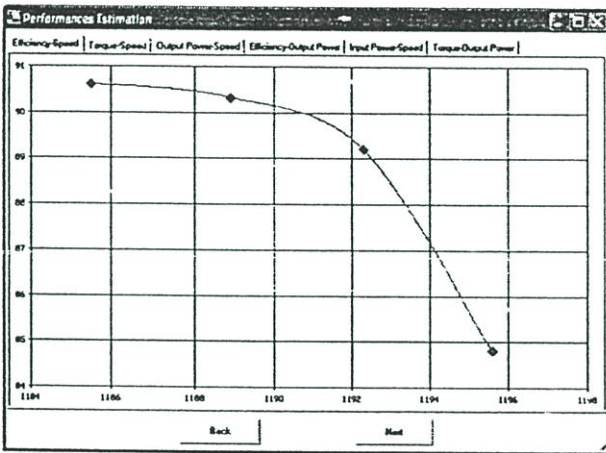


Fig. 3. Estimated efficiency performances of the existing 55 kW motor.

IV. DISCUSSION OF RESULTS

The following is a review of the results obtained on three different size existing motors (18.5 kW, 22 kW, and 55 kW). The nameplate information of the motors are shown in Table IV. Table V illustrates the field test data of these motors measured while they are in service and the results of estimated efficiency at their operating load are tabulated in Table VI.

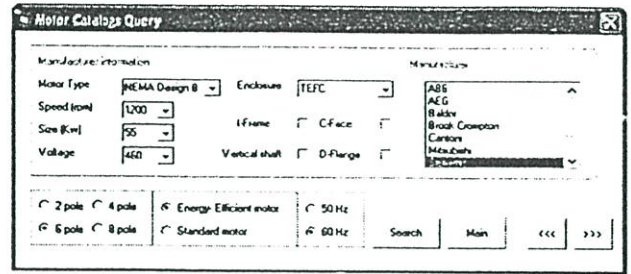


Fig. 4. Efficiency prediction of the new energy-efficient motor based on manufacturer information

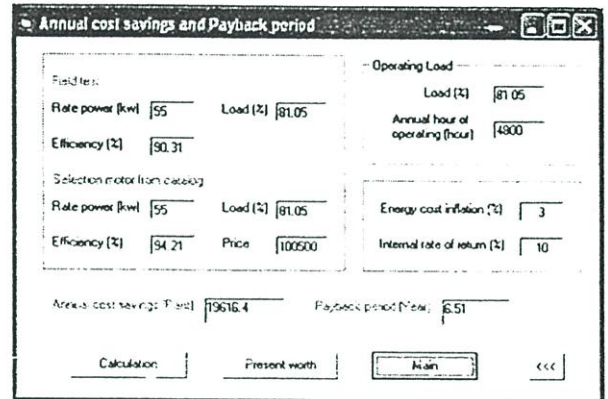


Fig. 5. Efficiency considerations for the replacement decision.

TABLE IV
NAMEPLATE INFORMATION OF EXISTING MOTORS

Motor	18.5 kW	22 kW	55 kW
Hz	50	50	60
V	380	380	460
A	35	43	91
r/min	1460	1465	1185
Pole	4	4	6

TABLE V
FIELD TEST DATA OF EXISTING MOTORS

Motor	18.5 kW	22 kW	55 kW
Input Voltage (V)	380.8	381.5	460
Input Current (A)	35.64	42.12	76.4
Input Power (kW)	20.23	24.0	50.21
Speed (r/min)	1459	1467	1188.9

TABLE VI
SUMMARY RESULTS OF ESTIMATED EFFICIENCY FOR EXISTING MOTORS AT OPERATING LOAD

Motor	18.5 kW	22 kW	55 kW
Output Power (kW)	18.25	21.77	45.35
Operating Load (%)	97.84	98.96	81.05
Efficiency (%)	90.33	91.32	90.31
Torque (N-m)	119.37	144.1	364.11

Table VII presents the results of predicted efficiency based on manufacturer information for the new motors at the same operating load as the existing motor. The predicted efficiency performances of these motors at any load are also illustrated in Fig. 6. It can be seen that the motor efficiencies at any load which are not available in manufacturer catalog can be predicted. Table VIII shows the summary results of how much savings can be achieved. In order to determine the payback period for the economics of investment, the example results of 55 kW motor are demonstrated in Table IX. The results show that the estimated payback period can vary from 4 years up to 7 years depending on the hours of operation and the cost per kilowatt-hour. It is important to mention that the efficiency figure used must be the efficiency value at actual load since the fact that the efficiency of motor can vary significantly across the load.

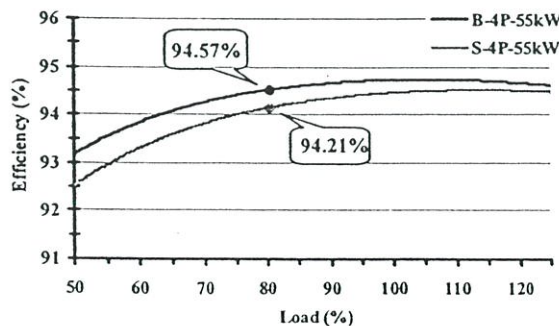
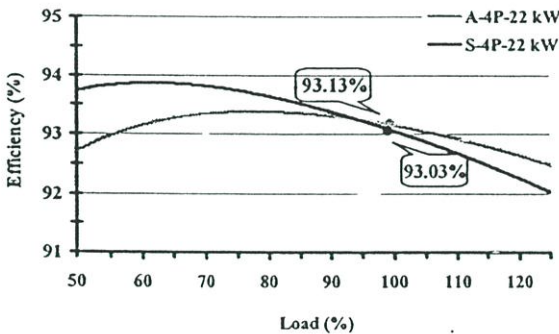
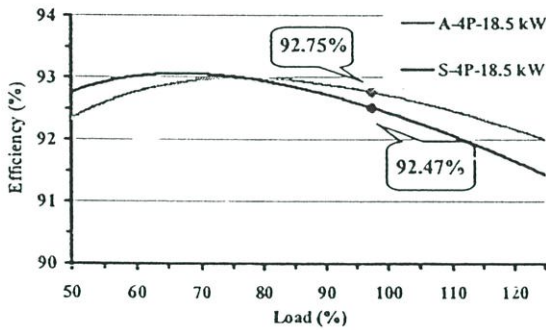


Fig. 6. Predicted Performances of the new motors based on manufacturer information.

TABLE VII
SUMMARY RESULTS OF PREDICTED EFFICIENCY FOR NEW MOTORS AT OPERATING LOAD BASED ON MANUFACTURER INFORMATION

Motor		18.5 kW	22 kW	55 kW
Output Power (kW)		18.25	21.77	45.35
Operating Load (%)		97.84	98.96	81.05
Efficiency (%)	Motor A	92.75	93.13	-
	Motor B	-	-	94.57
	Motor S	92.47	93.03	94.21
	Existing	90.33	91.32	90.31

A : ABB, B : BALDOR, S : SIEMENS

TABLE VIII
SUMMARY RESULTS OF ANNUAL COST SAVINGS AND PRESENT WORTH OF SAVINGS FOR NEW MOTORS AT OPERATING LOAD

Hours of operation per year		4800			
Cost of kilowatt hour (Baht)		2.0			
Energy cost inflation (%)		3.0			
Internal rate of return (%)		10			
Motor	Existing motor efficiency (%)	Efficient motor efficiency (%)	Annual savings (Baht)	PW _{saving} 10 years (Baht)	
18.5 kW	A	92.75	5,019	35,587	
	S	92.47	4,452	31,555	
22 kW	A	93.13	4,448	31,538	
	S	93.03	4,207	29,828	
55 kW	S	94.21	19,616	139,085	
	B	94.57	21,345	151,345	

TABLE IX
EXAMPLE RESULTS OF PAYBACK PERIOD DETERMINATION FOR MOTOR S AND MOTOR B AT OPERATING LOAD

Motor	Manufacturer	
55 kW	S	B
Cost of new motor (Baht)	100,500	112,500
Efficient motor efficiency (%)	94.21	94.57
Existing motor efficiency (%)	90.31	
Hours of operation per year	4800	
Cost of kilowatt-hour (Baht)	2.0	
Annual saving (Baht)	19,616	21,345
Payback period (years)	6.51	6.74
Hours of operation per year	4800	
Cost of kilowatt-hour (Baht)	3.0	
Annual saving (Baht)	29,425	32,018
Payback period (years)	4.02	4.15
Hours of operation per year	6000	
Cost of kilowatt-hour (Baht)	2.0	
Annual saving (Baht)	24,520	26,682
Payback period (years)	4.96	5.3

V. CONCLUSION

The proposed energy management program for use of the induction motors has been described. This program relies on the technique for estimating efficiency of the existing motor based on on-site measurement coupled with the technique for predicting efficiency performance of motor from catalog based on manufacturer information. The advantages of this proposed

program are that it is a simple procedure to quickly estimate the efficiency of motor in the field while the motor is operating, and it is possible to predict the efficiency of motor operated at any load in which the data is not available in the manufacturer catalog. The results indicate that the acceptable estimated efficiencies and predicted efficiencies are obtainable (error about 1%). It is worth noting that this proposed program is suitable for conducting on-site energy audits of actual motors and provides information for the decisions to immediately replace motors with more efficient ones. It is also suitable for the purchase scenario of the motor selection which can project cost savings and payback period and this can support the right decision in purchasing the new energy-efficient motors.

V. REFERENCES

- [1] A. Boglietti, A. Cavagnino, M. Lazzari, and M. Pastorelli, "International Standards for the Induction Motor Efficiency Evaluation: A Critical Analysis of the Stray-Load Loss Determination," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40, no. 5, pp. 1294-1301, Sept./Oct. 2004.
- [2] *Methods for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machinery From Tests*, IEC 34-2, 1996.
- [3] J. S. Hsu, J. D. Kueck, M. Olszewski, D. A. Casada, P. J. Otaduy, and L. M. Tolbert, "Comparison of induction motor field efficiency evaluation methods," *IEEE Transactions on Industry Appl.*, vol. 34, issue:1, pp. 117-125, Jan./Feb. 1998.
- [4] K. S. Huang, Q. H. Wu, and D. R. Turner, "Effective identification of induction motor parameters based on fewer measurements," *IEEE Transactions on Energy Conv.*, vol. 17, no. 1, pp. 55-60, March 2002.
- [5] T. Phumiphak and C. Chat-uthai, "Estimation of induction motor parameters based on field test coupled with genetic algorithm," *Proceedings of 2002 International Conference on Power System Technology, PowerCon 2002*, vol. 2, Kunming, China, pp. 1199-1203, Oct. 2002.
- [6] T. Phumiphak and C. Chat-uthai, "An Economical Method for Induction Motor Field Efficiency Estimation for Use in On-site Energy Audit and Management," *Proceedings of International Conference on Power System Technology, PowerCon 2004*, vol. 1, Singapore, pp. 1-5, Nov. 2004.
- [7] *IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generators*, IEEE Standard 112-1996, New York, May 1997.
- [8] *Energy Management Guide for Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors*, NEMA Standard Publication MG 10-2001.



Thanaphiwat Phumiphak was born in Bangkok, Thailand. He received the M.Eng. degree in electrical engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, in 2000. Since 2000, he has been with the Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok, Thailand. His research interests include electrical machines, design optimization and drives.



Thanapol Kedsoi was born in Pijit, Thailand. He received the B.Eng. degree in electrical engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, in 2003. Since 2004, he has been with the Electrical Machines Research Laboratory of the Department of Electrical Engineering, KMITL, where he is currently student of the master's degree in electrical engineering. His research interests include electrical machines, design optimization.



Chaiwut Chat-uthai was born in Nakornsawan, Thailand. He received the M.Eng. degree in electrical engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand in 1985, and the Ph.D. degree from the Imperial College of Science, Technology & Medicine, University of London, UK, in 1995. Since 1986, he has been with the Electrical Machines Research Laboratory of the Department of Electrical Engineering, KMITL, where he is currently an

Associate Professor. His research interests include electrical machines, and design optimization.

การพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงาน

Efficiency Consideration of Three-phase Induction Motor for Use in Energy Management

ธนพล เกตุสร้อย* ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย* ธนภวิวัฒน์ ภูมิภาค**

* ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร 10530

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้ามีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงมาก การพิจารณาถึงผลกระทบของค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ที่มีต่อการลงทุนเป็นสิ่งสำคัญ บทความนี้จะนำเสนอวิธีการพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงาน โดยการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานจริงและการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตในกรณีที่โรงงานต้องการพิจารณาสั่งซื้อมอเตอร์ใหม่ทดแทนมอเตอร์ตัวเดิมซึ่งมีปัญหา หรือต้องการจะติดตั้งมอเตอร์เพิ่มในระบบ จากการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของมอเตอร์เมื่อใช้วิธีการต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอจะมีประโยชน์ในด้านความรวดเร็วและมีความแม่นยำสูงซึ่งเหมาะสำหรับการจัดการพลังงานของโรงงานเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน มอเตอร์เหนี่ยวนำ การประมาณประสิทธิภาพขณะใช้งาน การทำนายประสิทธิภาพ

Abstract

As the cost of energy is growing at a high rate, it is important to consider the economic impact of motor efficiency on the business. This paper proposes the method for considering efficiency of three-phase induction motors for energy management. The field efficiency estimation and efficiency prediction based on manufacturer information techniques are presented. These techniques can be used for the purchase of motors for replacement of inefficient existing motors or new installations. The compared results of motor performances obtained from various techniques show that these proposed techniques are fast and high accuracy which are suitable for industrial energy management in order to determine the cost saving regarding the investment.

Keywords: energy management, induction motor, field efficiency estimation, efficiency prediction.

1. บทนำ

ระบบขับเคลื่อน (drive system) ซึ่งมีการใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากในโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้มอเตอร์เป็นส่วนที่ให้พลังงานกล และจะนิยมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสทั้งนี้เนื่องมาจากมีราคาไม่สูงมากนักและมีความทนทานสูง โดยทั่วไปแล้วฝ่ายจัดซื้อของโรงงานอาจจะต้องการพิจารณาสั่งซื้อมอเตอร์ใหม่ในกรณีที่โรงงานมีความ

ต้องการที่จะเปลี่ยนมอเตอร์แทนตัวเดิมซึ่งมีปัญหา หรือต้องการจะติดตั้งมอเตอร์เพิ่มในระบบ เนื่องจากในปัจจุบันอัตราค่าไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างมาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์จำเป็นจะต้องให้ความสำคัญกับค่าสมรรถนะต่าง ๆ ของมอเตอร์มากกว่าราคาของมอเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าประสิทธิภาพขณะที่นำไปใช้งานจริงซึ่งมอเตอร์นั้นอาจจะไม่ได้ทำงานที่พิกัด ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพนี้จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว ที่ผ่านมามีการนำเสนอแนวทางวิธีการประมาณค่าสมรรถนะของมอเตอร์ขณะที่ใช้งานจริง [1] และวิธีการทำนายประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต [2] ซึ่งใช้การประมวลผลค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีอินเตกัลลอรี่ธึม

ในบทความนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการพิจารณาสมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงานในกรณีที่โรงงานต้องการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวใหม่ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น (EFF1 class : high efficiency, EFF2 class : energy efficiency [3]) ทดแทนตัวเดิมที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าปกติซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้งานมานานแล้ว หรือมีการพันขดลวดใหม่เนื่องจากเกิดความเสียหาย และในกรณีที่โรงงานต้องการเพิ่มมอเตอร์ใหม่ในระบบการผลิต

2. วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

การพิจารณาถึงค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดลงได้เมื่อมีการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่จำเป็นจะต้องทราบถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวเดิมขณะใช้งานจริงเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้กับข้อมูลสมรรถนะของมอเตอร์ใหม่ที่ได้จากแคตาล็อกของบริษัทผู้ผลิต จะเห็นได้ว่าทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการวางแผนการจัดการพลังงานที่เชื่อถือได้ ดังนั้นวิธีการตรวจสอบหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งาน (field efficiency) จะต้องมีความแม่นยำสูง และมีความสะดวกในการตรวจสอบโดยไม่จำเป็นต้องปลดมอเตอร์ออกจากระบบการผลิตเพื่อทำการทดสอบตามมาตรฐานเช่น IEEE Standard 112 [4] ในห้องปฏิบัติการซึ่งจะเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ เนื่องจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ในการเลือกซื้อมอเตอร์ใหม่ ฝ่ายจัดซื้อจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จากข้อมูลในแคตาล็อก โดยต้องคำนึงถึงสภาพภาระทางกลจริงของมอเตอร์ตัวเดิมในกรณีเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่หรือสภาพภาระทางกลที่ต้องการใช้งานจริงในกรณีติดตั้งมอเตอร์ใหม่ซึ่งอาจจะไม่ได้ทำงานที่พิกัดกำลังของมอเตอร์มีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพอาจจะไม่ใช่ค่าตามที่ระบุในแคตาล็อก จะเห็นได้ว่าผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพก็จะคลาดเคลื่อนจากความเป็น

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธนพล เกตุสร้อย
 วัน เดือน ปี เกิด 15 กุมภาพันธ์ 2525 ที่พิจิตร
 ประวัติการศึกษา 2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ผลงานวิจัยขณะกำลังศึกษาที่ได้รับการตีพิมพ์

1. “ การพิจารณาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับการจัดการพลังงาน” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 28, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ,20-21 ตุลาคม 2548 ภูเก็ต
2. “ Efficiency Prediction for Induction Motor Based on Manufacturer Information,” Proc. of the 2005 ECTI International Conference ,Thailand, pp. 762-765, May 2005.
3. “ Energy Management Program for Use of Induction Motors Based on Efficiency Prediction”, IEEE Tencon, Melbourne, Australia, 21-24 November, 2005