



การปรับปรุงระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับภาระการทำงานเย็น
โดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ : กรณีศึกษาโรงแรมโนโวเทล

พีรเชษฐ ทับทิมทอง

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2554

The Improvement of Air-conditioning System for Optimum Cooling

Load with Variable Speed Drives: A case of Novotel Hotel

PEERACHET TUBTIMTHONG

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science Department of Building

Technology Management Graduate School, Dhurakij Pundit University

2011

เลขทะเบียน.....	0218173
วันลงทะเบียน.....	- 6 ก.ย. 2554
เลขเรียกหนังสือ.....	๖๙๖.๙๓๘๕ คท๙๑๑๗ [๒๕๕๔] ๘๑

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เรื่อง “การปรับปรุงระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็น โดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ: กรณีศึกษาโรงแรมโนโวเทล” ได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดิเกะ บุนนาค ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำให้ความรู้ค่าปริกษาคงตลอดระยะเวลาของการวิจัย อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์แผนกช่างซ่อมบำรุงของโรงแรมที่กรุณาช่วยในการตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลระบบปั๊มส่งน้ำเย็นของปรับอากาศ พร้อมทั้งให้ความรู้จึงทำให้สารนิพนธ์จึงสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากสารนิพนธ์ เป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าว

พีรเชษฐ ทับทิมทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๘
กิตติกรรมประกาศ.....	๑๑
สารบัญตาราง.....	๗
สารบัญรูป.....	๘
รายการสัญลักษณ์.....	๙
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....	5
2.2 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ.....	6
2.3 บัมพ์น้ำ.....	13
2.4 ระบบควบคุมความเร็วรอบ.....	23
2.5 แนวคิดพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงการ.....	30
2.6 แนวคิดเกี่ยวกับอัตราส่วนลด.....	32
2.7 อายุโครงการ.....	33
2.8 แนวคิดเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายของโครงการ.....	33
2.9 แนวคิดเกี่ยวกับผลประโยชน์ของโครงการ.....	35
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
3 วิธีการดำเนินการ.....	41
3.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นระบบ บัมพ์น้ำเย็นในระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษา.....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสม.....	42
3.3 ขั้นตอนการศึกษาเครื่องมือวัดและโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้า.....	43
3.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลต้นทุนทางการเงินของโครงการ.....	46
3.5 ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล.....	49
4 ผลการศึกษา.....	50
4.1 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับความเร็วรอบมอเตอร์.....	51
4.2 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ทางไฟฟ้ากับความเร็วรอบมอเตอร์.....	51
4.3 ความสัมพันธ์ของเพาเวอร์แฟคเตอร์กับความเร็วรอบมอเตอร์.....	52
4.4 ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้ง VSD.....	53
4.5 ค่าความคุ้มค่าในการลงทุน.....	54
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	59
5.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ.....	60
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม.....	64
ภาคผนวก.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดต้นความเย็นของคอมเพรสเซอร์.....	9
2.2 ความแตกต่างของการวิเคราะห์โครงการ ทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงิน.....	32
4.1 ค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งอุปกรณ์ ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์น้ำเย็นของระบบปรับอากาศ.....	55
4.2 ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง.....	56
4.3 ต้นทุน – ผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการ.....	57

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศ.....	5
2.2 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window type)	6
2.3 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)	7
2.4 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนใต้เพดาน.....	7
2.5 เครื่องปรับอากาศแบบฝังเพดาน.....	8
2.6 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว.....	8
2.7 เครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็น ส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ.....	11
2.8 หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลสวนทางกับน้ำ.....	11
2.9 หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลตัดผ่านกันกับน้ำ.....	12
2.10 เครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็น ส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ.....	13
2.11 แผนผังการจำแนกประเภทปั๊ม.....	14
2.12 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะ ผ่านออกจากใบพัด (Impeller) ของปั๊มเซนตริฟลูกอล.....	16
2.13 ลักษณะทั่วไปของเรือนปั๊ม (Casing) ของปั๊มแบบเซนตริฟลูกอล.....	16
2.14 ปั๊มเซนตริฟลูกอลแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรือนปั๊มมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว (a) และสองช่อง (b)	17
2.15 ปั๊มเซนตริฟลูกอลแบบมีครีบริบผันน้ำ (Diffuser Type) ซึ่งมีครีบริบช่วยให้การเปลี่ยนทิศทางการไหลของ ของเหลวในห้องสูบลมสม่ำเสมอดีขึ้น.....	18
2.16 ปั๊มเซนตริฟลูกอลแบบเทอร์ไบน์ (Regenerative Turbine)	18
2.17 ปั๊มแบบ Vertical Turbine ขนาด 3 ชั้น(Stage)และรูปขยายของโบริวล์ 1 ชุด.....	20
2.18 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด (a) ในแนวรัศมี (Radial Flow) (b) ในแนวทำมุมเอียงกับเพลลา (Mixed Flow) และ(c) ในแนวขนานกับเพลลา (Axial Flow)	20

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
2.19 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนติฟูกอล (รูป a และ b)	22
2.20 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนติฟูกอล (รูป c, d, e, f และ g)	23
2.21 การควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว.....	26
2.22 แสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยอุปกรณ์ ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD)	26
2.23 ความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลของน้ำกับ พลังงานที่ปั๊มต้องการและแรงดันน้ำ.....	27
2.24 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ ของมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ.....	28
3.1 อาคาร โรงแรมกรณีศึกษา.....	42
3.2 ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศก่อนการติดตั้งระบบ VSD.....	42
3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM)	44
3.4 การติดตั้ง Power meter ที่ตู้ MDB.....	45
3.5 Power meter รุ่น PM 700.....	45
3.6 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ยี่ห้อ Danfoss รุ่น VLT 6000 Series.....	47
3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว รอบมอเตอร์ยี่ห้อ Danfoss รุ่น VLT 6000 Series.....	47
4.1 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับความเร็วรอบมอเตอร์.....	51
4.2 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ทางไฟฟ้ากับความเร็วรอบมอเตอร์.....	52
4.3 ความสามารถในการทำความเย็นระบบปรับอากาศห้องผ่าตัดแต่ละห้อง.....	53
4.4 ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้ง VSD.....	54

รายการสัญลักษณ์

AHU	Air Handling Unit
ASHRAE	American Society of Heating , Refrigerating and Air- conditioning Engineers
BCR	Benefit Cost Ratio
cfu	Colony found unit
COP	Coefficient of Performance
EER	Energy Efficiency Ratio
EIRR	Economic Internal Rate of Return
FCU	Fan coil unit
FIRR	Financial Internal Rate of Return
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol
IRR	Internal Rate of Return:
LCA	Life Cycle Assessment
MTBF	Mean Time Between Failure
N	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
NPV	Net Present value
OR	Operating Room
PC	Present cost
Peak Load	ค่าความต้องการพลังงานสูงสุด
PVB	Present Value Benefit
PVC	Present Value Cost

หัวข้อสารนิพนธ์	การปรับปรุงระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นโดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบกรณีศึกษา : โรงแรมโนโวเทล
ชื่อผู้เขียน	พีรเชษฐ ทับทิมทอง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดิเกะ บุนนาค
สาขาวิชา	การจัดการเทคโนโลยีในอาคาร
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศสำหรับอาคารประเภทโรงแรม มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางการเงินในการลงทุนติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive :VSD) ปั้มน้ำเย็นเพราะระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษาได้ออกแบบให้มีขนาดการทำความเย็นมากกว่าภาระโหลดที่ต้องการ (Over design) จึงจำเป็นต้องติดตั้ง VSD และหลังจากการติดตั้งก็ต้องการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

จากการศึกษาโดยเก็บข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่องตามมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Energy Data Monitoring ; EDM) ก่อนและหลังการปรับปรุงโดยจะต้องทำการทดสอบหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสมกับระบบปรับอากาศ ซึ่งพบว่าความถี่ที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศของโรงแรมแห่งนี้มีค่าเท่ากับ 33 Hz ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบมีค่าเท่ากับ 960 rpm อันเป็นค่าต่ำที่สุดที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ 68.97 %

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ พบว่าโครงการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,456,880.96 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 15.41 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 255.15% ในช่วงเวลาของอายุโครงการ 15 ปี ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 12.00 ต่อปี

คำสำคัญ : ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ / การวิเคราะห์ทางการเงิน /ระบบปรับอากาศ

Thematic Paper Title	The Improvement of Air-conditioning System for Optimum Cooling Load with Variable Speed Drives : Novotel Hotel case study
Author	Peerachet Tubtimthog
Thematic paper Advisor	Asst.Prof. Dr. Tika Bunnag
Department	Building Technology Management
Academic Year	2010

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the return on investment of the variable speed drive on chilled water pump in the hotel building. The experiment was to measure the value of financial investment after installing the VSD on chilled water pump as the air-conditioning system was oversized for the hotel building.

After the continuous study of basics of electricity by the use of Energy Data Monitoring Program both before and after the amendment in order to find the demand charge on right frequency for air-conditioning system of this hotel is at 33 Hz at the speed of 960 rpm which is the lowest possible speed of the motor. The energy saving was about 68.97 %.

According to the analysis ,the result shown that the NPV of the air-conditioning system was equaled to 3,456,880.96 baht. BCR was equaled to 7.85 and the IRR was 122.18% for the project life of 15 years at the ratio reduction rate of 12 per year.

Keywords : Variable Speed drive / Analyze the financial / Energy saving

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมรวมทั้งการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการพลังงานของประเทศสูงขึ้นตลอดในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้ความต้องการพลังงานก็จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกอบกับแหล่งพลังงานของประเทศมีจำกัด จึงต้องอาศัยการนำเข้าเป็นจำนวนมากทำให้สัดส่วนการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศสูงกว่าร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานทั่วทั้งประเทศ นอกจากนั้นการสำรวจและพัฒนาพลังงานใหม่ๆ ในประเทศไม่เพียงแต่จะสูญเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมากแล้วนั้นยังจะต้องสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติซึ่งอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบในระยะยาว อย่างไรก็ตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศไทยก็ยังคงมีการขยายตัวของชุมชนเมืองมากยิ่งขึ้น ดังนั้นที่ดินจึงมีราคาสูง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่าทางพาณิชย์กรรมมากที่สุดจึงนิยมที่จะสร้างอาคารสูงเพื่อใช้ในการประกอบการต่างๆ จึงเป็นผลพวงให้ต้องมีการติดตั้งระบบปรับอากาศในอาคารสูงเหล่านี้เพื่อเหตุผลคือการทำให้เกิดภาวะความสบายของผู้ทำงานหรือพักอาศัย เช่น การปรับอุณหภูมิ การกรองมลพิษจากอากาศ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีระบบปรับอากาศหลากหลายประเภทให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

ปัจจุบันอาคารขนาดใหญ่ได้ให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนขององค์กรมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของคุณค่าด้านพลังงานเนื่องจากเป็นต้นทุนที่มีศักยภาพทำให้ต้นทุนขององค์กรลดลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อองค์กรมากนัก อีกทั้งทางภาครัฐยังให้การสนับสนุนทางการเงินและภาษีเพื่อส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย ซึ่งการใช้พลังงานของอาคารนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่นๆ ซึ่งระบบปรับอากาศถือเป็นระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึง ร้อยละ 60-65 (ที่มา: <http://www.alinehomecare.com/deta/EnergyInoffice.htm>) จึงถือว่ามีความสำคัญในการปรับปรุงมากที่สุด ทั้งนี้การลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศนั้นสามารถดำเนินการได้หลากหลายมาตรการ เช่น การลดอุณหภูมิด้านความเย็นจ่ายการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อน การออกแบบระบบให้มีขนาดเหมาะสม เป็นต้น

การออกแบบระบบปรับอากาศให้มีความเหมาะสมพอดีกับอาคารนั้นเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ (chiller) ที่มีราคาสูงยากต่อการปรับเปลี่ยนระบบใหม่หากยังไม่หมดอายุใช้งาน ซึ่งทำให้ออกจากจะสามารถทำความเย็นเกินความต้องการจนเกินสภาวะความสบายของมนุษย์แล้วยังต้องใช้พลังงานมากอีกด้วย ซึ่งมักจะแก้ไขปัญหาโดยการการปรับหรือวาล์วที่หน้าปั๊มซึ่งทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่วาล์วหรือใช้ Bypass Valve เป็นการลดปริมาณน้ำและแรงดันส่วนเกินเพื่อควบคุมปริมาณน้ำและแรงดันให้ได้ตามค่าที่ต้องการซึ่งเป็นการแก้ปัญหาในส่วนของการทำงานของระบบปรับอากาศให้กับผู้ใช้งานแต่ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ไขให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้จึงได้มีการนำระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive : VSD) มาใช้ควบคุมปั๊มขับเคลื่อนของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะช่วยให้มีการใช้พลังงานตามภาระที่ระบบต้องใช้งานอย่างแท้จริง ทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไปในระบบปรับอากาศย่อมส่งผลให้มีต้นทุนลงทุนในการติดตั้ง และเกิดข้อสงสัยว่าจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่ จึงมักที่จะละเอียดและปล่อยให้ปัญหาของการทำความเย็นเกินความต้องการ (Over design) ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเกิดขึ้นโดยไม่จำเป็น

จากหลักการการหาพลังงานของมอเตอร์ที่ใช้ขับปั๊มหรือพัดลมชนิด Centrifugal นั้นจะใช้พลังงานดังนี้

$$\text{Power} = (\text{Flow} \times \text{Head}) / (\text{Efficiency pump} \times \text{Efficiency motor})$$

ดังนั้นหากต้องการลดการใช้พลังงานของมอเตอร์ จึงต้องศึกษาระบบก่อนว่าสามารถลดการใช้พลังงานในส่วนใดได้บ้าง เช่น การลดอัตราการไหลหรือ flow , การลด head เป็นต้น แล้วจึงนำมาคำนวณการใช้พลังงานของมอเตอร์ใหม่ เพื่อหาผลการประหยัดพลังงานโดยศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็น (Chiller Water Pump) ขนาด 37 kW. 380 V ของโรงแรมโนโวเทล โลตัส กรุงเทพ สุขุมวิท 33 พบว่า สามารถลดอัตราการไหลของน้ำโดยที่ head นั้นไม่สูญเสีย และไม่มีผลกระทบต่อห้องพักทั้งหมด

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลการประหยัดพลังงานจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนส่งน้ำเย็นในระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) สำหรับอาคารประเภทโรงแรมพร้อมทั้งศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนของการนำระบบนี้มาใช้งานจริงเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตั้งมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารประเภทโรงแรม โดยทำการศึกษาจากโรงแรมโนโวเทล โลตัส กรุงเทพ สุขุมวิท 33 เป็น โรงแรมกรณีศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษาวิจัย

1. เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นระบบปรับอากาศประเภททำน้ำเย็น (Water Chiller) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม
2. เพื่อศึกษาผลการประหยัดพลังงานจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม
3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้เป็นมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาเฉพาะระบบปรับอากาศของโรงแรมโนโวเทล
2. ตรวจสอบวัดและเก็บข้อมูลตามมาตรฐาน International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) แบบต่อเนื่องโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Energy Data Monitoring ; EDM)
3. เปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของโรงแรมก่อนและหลังการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบของปั๊มน้ำเย็น (Chiller Water pump)
4. ศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินหากจะปรับปรุงประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ โดยใช้ตัวชี้วัดความคุ้มค่าทางการเงินคือ
 - 4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value, NPV)
 - 4.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio, BCR)
 - 4.3 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นข้อมูลในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมความเร็วรอบของระบบปรับอากาศสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา
2. ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสำหรับอาคารโรงแรม
3. ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบของระบบปรับอากาศ สำหรับอาคารโรงแรม

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานศึกษาที่เกี่ยวข้อง

การปรับอากาศ คือ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในบริเวณหนึ่งเพื่อสร้างความสบาย ให้เป็นไปตามความต้องการ ซึ่งต้องควบคุมความบริสุทธิ์และความเคลื่อนไหวของอากาศและเสียงอีกด้วย โดยทั่วไปแล้ว การปรับอากาศสามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. การปรับอากาศเพื่อความสบายเป็นการปรับอากาศที่มุ่งส่งเสริมสุขภาพในส่วนความสบายและประสิทธิภาพในการทำงานของผู้คนที่อาศัยอยู่ในที่นั้น เช่น การปรับอากาศในบ้าน สำนักงาน และโรงพยาบาล เป็นต้น

2. การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นการปรับอากาศเพื่อควบคุมภาวะบรรยากาศในกระบวนการผลิต การทำงานวิจัย และการเก็บรักษาผลผลิตต่างๆ เช่น การปรับอากาศในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โรงงานทอผ้า โรงงานผลิตอาหาร ฯลฯ

ดังนั้น จึงต้องมีการเลือกระบบการปรับอากาศให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันระบบปรับอากาศที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 3 ระบบ โดยแบ่งตามลักษณะการส่งความเย็น

1. ระบบอากาศทั้งหมด (All-air system) คือระบบที่ส่งเฉพาะอากาศที่ถูกทำความเย็นแล้วไปยังบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ ระบบนี้เหมาะสำหรับระบบเล็กๆ เช่น บ้านพักอาศัย หรือสำนักงานขนาดเล็ก

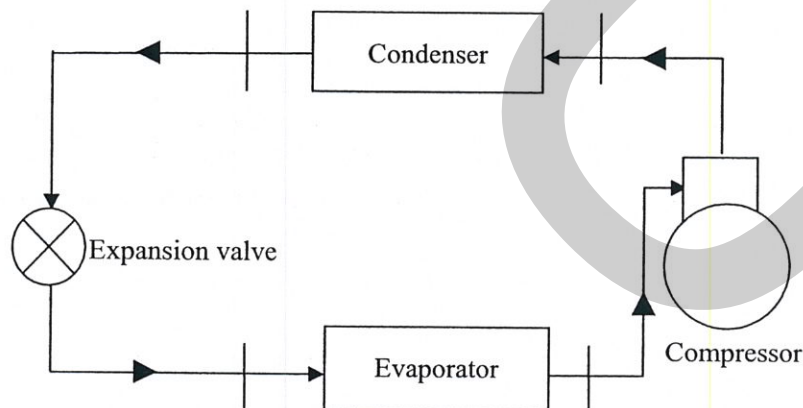
2. ระบบน้ำทั้งหมด (All-water system) คือระบบที่ส่งเฉพาะน้ำที่ถูกทำความเย็นจากส่วนกลางไปยังบริเวณที่ต้องการปรับอากาศแต่ละแห่ง ระบบนี้เหมาะกับการใช้งานในเชิงพาณิชย์เกือบทุกประเภท เนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่า และใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยกว่าระบบอากาศล้วน

3. ระบบน้ำและอากาศ (Water-air system) คือระบบที่ส่งทั้งน้ำเย็นและอากาศจากส่วนกลางไปยังพื้นที่ปลายทางแต่ละห้อง โดยการนำเอาข้อดีของระบบน้ำที่สามารถนำพาความเย็นส่วนใหญ่ไปได้ดีกว่า และข้อดีของอากาศที่สามารถส่งด้วยความเร็วสูงกว่า จึงทำให้ใช้เนื้อที่ปล่อยและเพดานไม่มากนัก แต่ต้นทุนในการของระบบนี้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ

นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศยังมีชื่อเรียกต่างกันตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และการใช้งาน เช่น เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันแต่หลักการทำงานของระบบปรับอากาศที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายจะเป็นระบบเดียวกันคือ ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

2.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

การทำงานของส่วนต่างๆในระบบทำความเย็น จะเริ่มขึ้นเมื่อสารทำความเย็นถูกทำให้ร้อนโดยใช้คอมเพรสเซอร์ในการทำงานอัดสารทำความเย็นให้มีความดันและอุณหภูมิไอสารทำความเย็นสูงขึ้นจนกลายเป็นไอร้อนยิ่งยวด (Superheat vapor) ทำให้ได้ไอของสารทำความเย็นที่ความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น (สภาวะที่ 1) จากนั้นไอของสารทำความเย็นจะเข้าสู่ชุดควบแน่น (Condenser) ซึ่งจะระบายความร้อนออกจากระบบ ไอสารทำความเย็นและจะกลายสภาพจากไอร้อนยิ่งยวดให้กลายเป็นของเหลวทั้งหมดในสภาวะอุณหภูมิคงที่ (สภาวะที่ 2) ภายใต้สภาวะดังกล่าวสารทำความเย็นเหลวเมื่อไหลผ่านเมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Valve) ความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นจะลดลงซึ่งส่งผลให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวสามารถไปรับความร้อนในพื้นที่ทำความเย็นได้ (สภาวะที่ 3) ชุดท่อสารทำความเย็นในชุดคอยล์เย็น (Evaporator) จะรับความร้อนจากอากาศบริเวณผิววนอกของชุดท่อทำความเย็นและเมื่อสารทำความเย็นเหลวรับความร้อนอย่างเพียงพอแล้ว สารทำความเย็นจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอทั้งหมด (สภาวะที่ 4) ซึ่งจะถูกส่งกลับไปยังคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นการเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศ

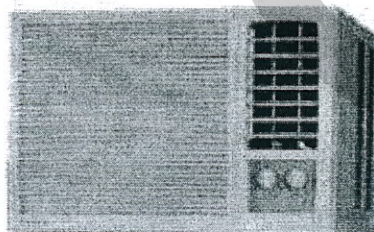
ซึ่งอุปกรณ์หลักของ ระบบปรับอากาศโดยทั่วไป ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ชนิด ได้แก่

1. เครื่องอัดไอ (Compressor) มีหน้าที่ทำให้สารทำงานไหลเวียนในระบบและอัดไอสารทำงานให้มีอุณหภูมิสูงพอ ที่จะกลั่นตัวเป็นของเหลวในเครื่องควบแน่นได้
2. เครื่องควบแน่น (Condenser) มีหน้าที่ทำให้สารทำงานกลั่นตัวจากสถานะไอเป็นของเหลว สารทำงานจะคายความร้อนและกลั่นตัวเป็นของเหลวในเครื่องควบแน่นนี้ ดังนั้นจึงต้องมีสารอื่นมารับความร้อน เช่น น้ำ หรือ อากาศที่อยู่รอบๆ
3. วาล์วลดความดัน (Expansion valve) เป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานให้พอเหมาะกับความต้องการในการดูดกลืนความร้อนที่เครื่องทำระเหย และทำหน้าที่ลดความดันของสารทำงาน เพื่อให้สารทำงานที่ผ่านวาล์วลดความดันมีสถานะเป็นของเหลวที่ความดันต่ำ
4. เครื่องทำระเหย (Evaporator) สารทำงานที่มีสถานะเป็นของเหลวความดันต่ำและมีอุณหภูมิต่ำ เมื่อได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อยที่เครื่องทำระเหยกลายเป็นไอและดูดความร้อนบริเวณรอบๆเครื่องทำระเหย ทำให้อากาศบริเวณนั้นมีอุณหภูมิต่ำลง

2.2 ประเภทของเครื่องปรับอากาศ (ที่มา : วัชร มั่งวิฑิตกุล , 2550 : 82-83)

ระบบปรับอากาศที่บางคนเรียกว่า ระบบปรับอากาศ (Air – Conditioning System) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Air – Conditioner ในปัจจุบันกลายเป็นสำคัญที่เกือบทุกอาคารต้องมีการติดตั้งทั้งสิ้น โดยเครื่องปรับอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

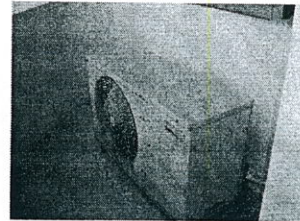
2.2.1 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window type) คือ เครื่องปรับอากาศที่มีอุปกรณ์หลักของวงจรทำความเย็นครบชุดอยู่ในเครื่องเดียวกัน และออกแบบให้เหมาะสมกับการติดตั้งที่หน้าต่าง โดยด้านทำความเย็นจะติดตั้งในห้อง ส่วนด้านที่ระบายความร้อนจะยื่นออกไปดังรูปที่ 2.2 ซึ่งปัจจุบันไม่นิยมนำมาใช้แล้วเนื่องจากสิ้นเปลืองพลังงานมาก



รูปที่ 2.2 เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง (Window type)

ที่มา : <http://www.sz-wholesale.com>

2.2.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เครื่องปรับอากาศชนิดนี้สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกคือเครื่องเป่าลมเย็น (คอยล์เย็น) ตั้งอยู่ภายในอาคาร ประกอบด้วย อีวาเพอร์เรเตอร์ ถังลดความดันและพัดลมจ่ายลมเย็น ส่วนที่สองคือเครื่องระบายความร้อน (คอยล์ร้อน) ตั้งอยู่ภายนอกอาคารประกอบด้วย คอนเดนเซอร์ และคอมเพรสเซอร์ ส่วนใหญ่มีขนาดตั้งแต่ 1- 50 ตัน ติดตั้งได้ทั้งที่ได้เพดานหรือบนพื้นราบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสวยงามและความเหมาะสมกับห้อง

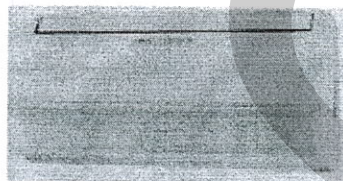


รูปที่ 2.3 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ที่มา : <http://www.sldirect.co.th-FAQ>

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนิยมใช้กันมาก (<http://www.mixdd.com/chooseair.php>) เนื่องจากไม่มีเสียงดังรบกวน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท มีรายละเอียดดังนี้

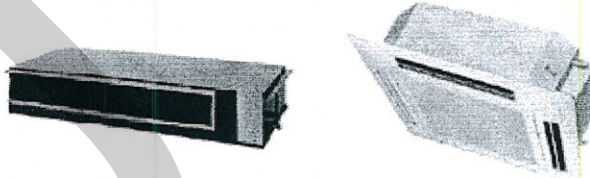
1.1) เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนเพดาน (floor type/ Ceiling) เป็นเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องที่มีพื้นที่ตั้งแต่เล็ก เช่น ห้องนอน ไปจนถึงห้องที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น สำนักงาน ร้านอาหาร ห้องประชุม โดยเลือกการติดตั้งได้ทั้งตั้งพื้นหรือแขวนเพดาน ใช้งานได้หลากหลายเข้าได้กับทุกสถานที่และการระบายลมดี



รูปที่ 2.4 เครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น/แขวนใต้เพดาน

ที่มา : <http://www.sldirect.co.th-FAQ>

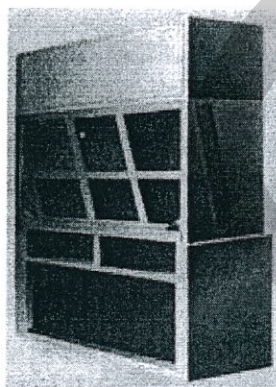
1.2) เครื่องปรับอากาศแบบฝังเพดาน (Built-in type) เป็นเครื่องปรับอากาศที่เน้นความสวยงามโดยการซ่อน หรือฝังอยู่ใต้ฝ้าหรือเพดานห้องเหมาะกับห้องที่ต้องการเน้นความสวยงามโดยที่ต้องการให้เห็นเครื่องปรับอากาศน้อยที่สุด ดังนั้นจึงติดตั้งยากเนื่องจากต้องทำการฝังเข้าตู้ หรือเพดานห้อง นอกจากนี้การดูแลรักษาทำได้ไม่สะดวก



รูปที่ 2.5 เครื่องปรับอากาศแบบฝังเพดาน

ที่มา : <http://www.sldirect.co.th-FAQ>

2.2.3 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (Packaged Unit) โครงสร้างเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง แต่มีขนาดใหญ่กว่า มีทั้งชนิดที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ เรียกว่า Packaged Air Cooled system และชนิดที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ เรียกว่า Packaged Water Cooled system การใช้น้ำระบายความร้อนมักจะทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีการระบายความร้อนที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยทั่วไปนิยมใช้ในอาคารสำนักงานแบ่งให้เช่า สะดวกต่อการคิดค่าไฟฟ้า ควบคุมได้โดยผู้เช่า ถ้าระบายความร้อนด้วยน้ำจะใช้ระบบหล่อเย็นซึ่งประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นและหอผึ่งน้ำจากส่วนกลางเพื่อระบายความร้อน



รูปที่ 2.6 เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (Packaged Unit)

ที่มา : http://www.voltas.com/acnr/images/pnd_split_units/i_packaged.jpg

2.2.4 ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller)

เครื่องปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางหมายถึงกลุ่มของเครื่องทำความเย็นหนึ่งเครื่องหรือมากกว่าที่จ่ายน้ำเย็นให้กับเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กและเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่จุดต่างๆ ของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร โดยเครื่องทำน้ำเย็นไม่จำเป็นต้องวางอยู่ตำแหน่งศูนย์กลางเมื่อเทียบกับอาคารทั้งหลายและจำนวนเครื่องทำความเย็นอาจมีหนึ่งหรือสองเครื่องหรือมากกว่าตามขนาดและการใช้งานของอาคาร ซึ่งอาจมีการกระจายสถานที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางออกไปถึงสองสามแห่งเนื่องจากพื้นที่การติดตั้งในช่วงแรกไม่เพียงพอ สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ เครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) และเครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเนื่องจากมีอุปกรณ์ประกอบระบบหลายประเภทที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น หอผึ่งน้ำและเครื่องส่งน้ำระบายความร้อน เป็นต้น

สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางนั้น สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนระบบทำความเย็นและส่วนระบบระบายความร้อน ซึ่งในส่วนของระบบทำความเย็นจะใช้คอมเพรสเซอร์ในการขับเคลื่อนสารทำความเย็นซึ่งพลังงานที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์จะเป็นพลังงานไฟฟ้า สามารถแบ่งขนาดของเครื่องปรับอากาศได้ตามลักษณะของเครื่องคอมเพรสเซอร์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดตันความเย็นของคอมเพรสเซอร์

ชนิดของคอมเพรสเซอร์	ขนาดตันความเย็น โดยประมาณ
1. แบบลูกสูบ (Reciprocating)	3 – 200 ตันความเย็น
2. แบบสโครล (Scroll)	15 – 60 ตันความเย็น
3. แบบโรตารี (Rotary)	50 – 1300 ตันความเย็น
4. แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal)	150 – 2000 ตันความเย็น

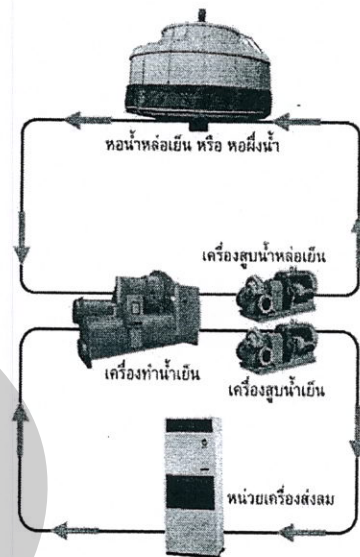
ส่วนระบบทำความเย็น มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ คูลเลอร์ (Cooler) ของเครื่องทำน้ำเย็น โดยมีเครื่องสูบน้ำ (Water Pump) จะทำหน้าที่ดูดน้ำเย็นที่ถูกส่งผ่านเข้าไปในระบบแล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิน้ำเย็นที่ค่าโดยประมาณ $12-13^{\circ}\text{C}$ ($54 - 56^{\circ}\text{F}$) ที่สภาวะการทำงานเต็มตัวของเครื่องทำน้ำเย็นส่งเข้าคูลเลอร์และจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นภายในเครื่องทำให้น้ำเย็นที่ออกจากคูลเลอร์จะมีอุณหภูมิต่ำลง โดยจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ $7-8^{\circ}\text{C}$ ($44 - 46^{\circ}\text{F}$) น้ำเย็นนี้จะถูกส่งเข้าระบบเพื่อตอบสนองกับภาระการทำความเย็นของระบบต่อไป

ส่วนระบบระบายความร้อน มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ คอนเดนเซอร์ (Condenser) ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนของสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็น โดยการระบายความร้อนสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การระบายความร้อนด้วยน้ำและการระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.2.4.1 การระบายความร้อนด้วยน้ำ

การระบายความร้อนด้วยน้ำจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นในระบบได้แก่ เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) และหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ดังรูปที่ 2.7 สำหรับการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะทำหน้าที่ส่งน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อช่วยในการระบายความร้อน โดยน้ำที่รับความร้อนจากสารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิสูงประมาณ $35-38^{\circ}\text{C}$ ($95-100^{\circ}\text{F}$) ถูกส่งไประบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำ จนอุณหภูมิน้ำลดลงประมาณ $30-33^{\circ}\text{C}$ ($85-90^{\circ}\text{F}$) จึงถูกส่งกลับมาที่คอนเดนเซอร์เพื่อหมุนเวียนระบายความร้อนต่อไป ซึ่งจะต้องอาศัยอุปกรณ์หลักดังต่อไปนี้

- เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ไป เป็นพลังงานกล คือ เครื่องสูบน้ำจะลดความดันด้านดูดของตัวมันให้ต่ำลงเพื่อให้ของเหลวสามารถไหลเข้ามาได้ และจะเพิ่มแรงดันไปยังของเหลวทำให้ของเหลวดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านระบบต่างๆ ที่ต่อออกจากเครื่องสูบน้ำได้ สำหรับงานระบบทำความเย็นมักนิยมใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งแบบแนวนอน (Horizontal) และเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งแบบแนวตั้ง (Vertical) เนื่องจากเครื่องสูบน้ำถูกใช้งานในหลายๆ ส่วนของระบบทำความเย็น เพื่อความสะดวกในการพิจารณา เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในส่วนระบบทำความเย็นมักถูกเรียกว่า เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน



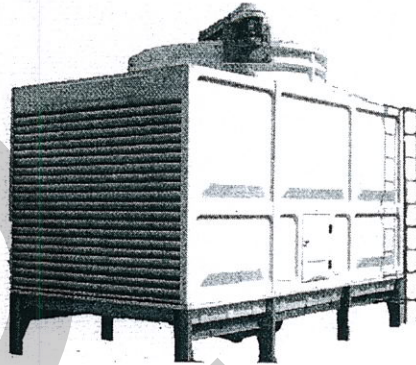
รูปที่ 2.7 เครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ

- หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศโดยจะช่วยในการระบายความร้อน ทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้อุณหภูมิต่ำลง นอกจากนี้การใช้งานหอผึ่งน้ำในระบบทำความเย็นปัจจุบันนิยมใช้อยู่ 2 ประเภท คือ หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลสวนทางกับน้ำ (Counter Flow) และหอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลตัดผ่านกันกับน้ำ (Cross Flow) ซึ่งหอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลสวนทางกับน้ำหอผึ่งน้ำประเภทนี้มีราคาถูกแต่ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก การดูแลบำรุงรักษาก่อนข้างยาก โครงสร้างทำด้วยวัสดุประเภทไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลสวนทางกับน้ำ

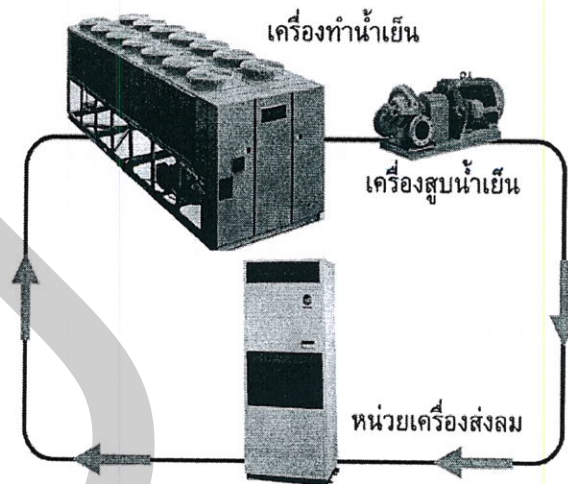
หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลตัดผ่านกันกับน้ำ หอผึ่งน้ำประเภทนี้จะที่มีราคาสูงเนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยดูแลบำรุงรักษาได้ง่าย โครงสร้างทำด้วยวัสดุประเภทโลหะ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลตัดผ่านกันกับน้ำ

2.2.4.2 การระบายความร้อนด้วยอากาศ

เครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ ลักษณะของงานที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้ จะมีลักษณะของงานที่มีความต้องการความเย็นไม่มาก (ไม่เกิน 500 Ton) ซึ่งต้องการความสะดวกในการติดตั้ง และต้องการลดภาระการดูแลรักษา หรือใช้งานในโครงการที่ไม่สามารถหาที่มีคุณภาพมาใช้ระบายความร้อนได้ อย่างไรก็ตามเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศย่อมมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ (โดยทั่วไปเครื่องระบายความร้อนด้วยอากาศจะกินไฟประมาณ 1.4 – 1.6 kW/Ton) โดยน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกปั๊มน้ำเย็น (Chiller Water Pump) จ่ายเข้าสู่ระบบไปยัง FCU และ AHU ที่อุณหภูมิน้ำเย็นประมาณ 7 °C เมื่อใช้งานผ่าน FCU หรือ AHU แล้วน้ำเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็นประมาณ 12 °C และถูกส่งกลับมายังเครื่องทำน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง ระบบปั๊มน้ำเย็นนี้ต้องมีการติดตั้งท่อน้ำเย็น (Chilled Water Pipe) และท่อส่งน้ำเย็น (Supply Chilled Water Pipe) และท่อน้ำเย็นกลับ (Return Chilled Water Pipe) ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งจะต้องหุ้มฉนวน เพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็นของน้ำหรือการควบแน่น (Condensation) เนื่องจากความเย็นของท่อจะทำให้ไอน้ำในอากาศควบแน่นมาเป็นหยดน้ำที่ท่อ



รูปที่ 2.10 เครื่องปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.3 ปั๊มน้ำ

ปั๊ม หรือ เครื่องสูบ อาจให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการพลังงานที่นำมาเพิ่มให้แก่ของเหลวนั้นอาจได้มาจากเครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม หรือพลังงานแหล่งอื่นๆ ก็ได้

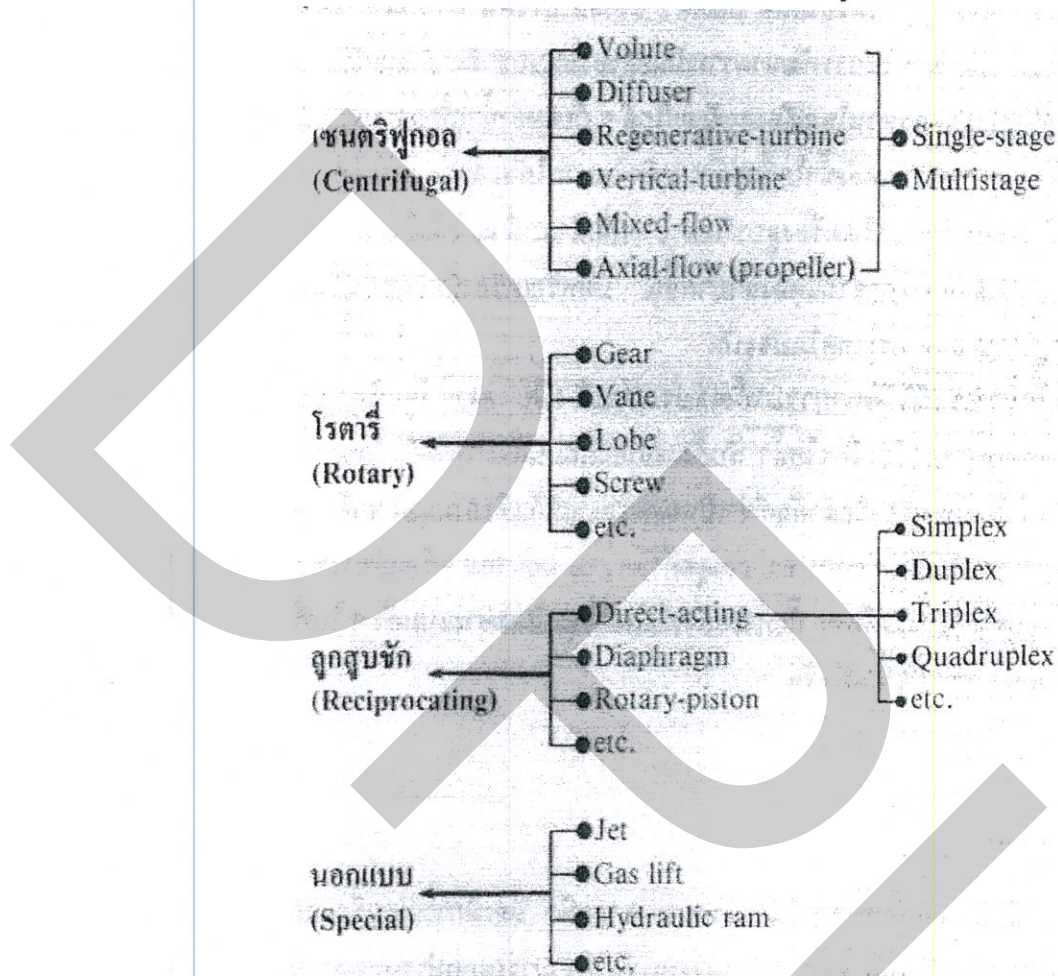
2.3.1 การแยกประเภทปั๊ม

ปัจจุบันได้มีการผลิตปั๊มออกจำหน่ายมากมายหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปจนบางครั้งทำให้เกิดการสับสน ดังนั้นจึงได้มีการจัดหมวดหมู่เพื่อให้สามารถแยกประเภทและเรียกชื่อได้ชัดเจนขึ้น การแยกประเภทอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกัน

1. แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของเหลวในปั๊มนี้นี้

- ก. ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มประเภทนี้บางครั้ง เรียกว่าเป็นประเภท Roto-dynamic
- ข. ประเภทโรตารี (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
- ค. ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
- ง. นอกแบบ (Special) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

ในแต่ละประเภทตามที่กล่าวมาแล้วยังมีการตัดแบ่งออกไปเป็นแบบต่างๆ อีกหลายแบบ และมีชื่อเรียกของแต่ละแบบแตกต่างกันออกไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แผนผังการจำแนกประเภทปั๊ม

2. แยกประเภทตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ

ก. ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Non-Positive Displacement) ปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอาจจัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้

ข. ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารีและลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

นอกจากการแบ่งประเภทสองแบบตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังอาจแบ่งแยกปั๊มตามวัสดุประสงค์ใช้งานของแต่ละแบบด้วย เช่น ปั๊มดับเพลิง ปั๊มลม ปั๊มสุญญากาศ เป็นต้น ปั๊มเหล่านี้

จะประกอบกันเป็นชุดโดยมีอุปกรณ์สำหรับใช้งานที่ออกแบบไว้โดยเฉพาะและไม่เหมาะที่จะนำไปใช้อย่างอื่น

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาเฉพาะในส่วนของเครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่งหรือเซนติฟูกอลปั๊ม โดยสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงนั้นขึ้นอยู่กับความเร็ว (Speed ; n) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด (Impeller diameter ; D) โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะของการทำงานที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำกับความเร็ว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด สามารถหาได้จากกฎของปั๊ม (pump law) คือ

$$Q_1/Q_2 = n_1 D_1 / n_2 D_2 \quad 2.1$$

$$H_1/H_2 = n_1^2 D_1^2 / n_2^2 D_2^2 \quad 2.2$$

$$P_1/P_2 = n_1^3 D_1^3 / n_2^3 D_2^3 \quad 2.3$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหล

H = เหนด

P = กำลังการขับ

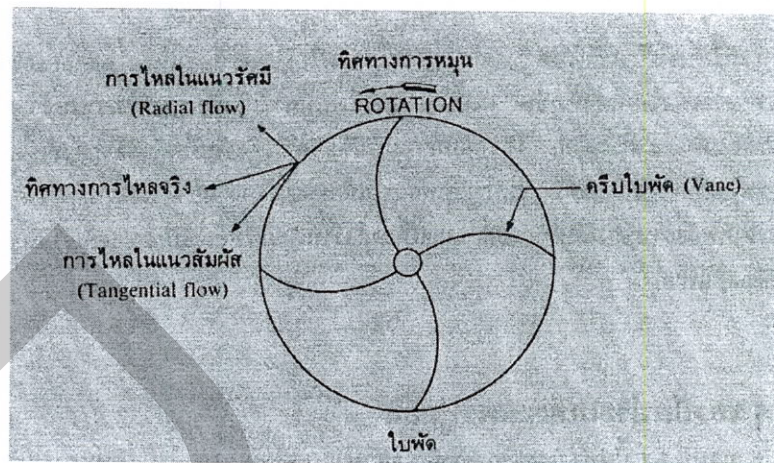
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด

n = ความเร็ว

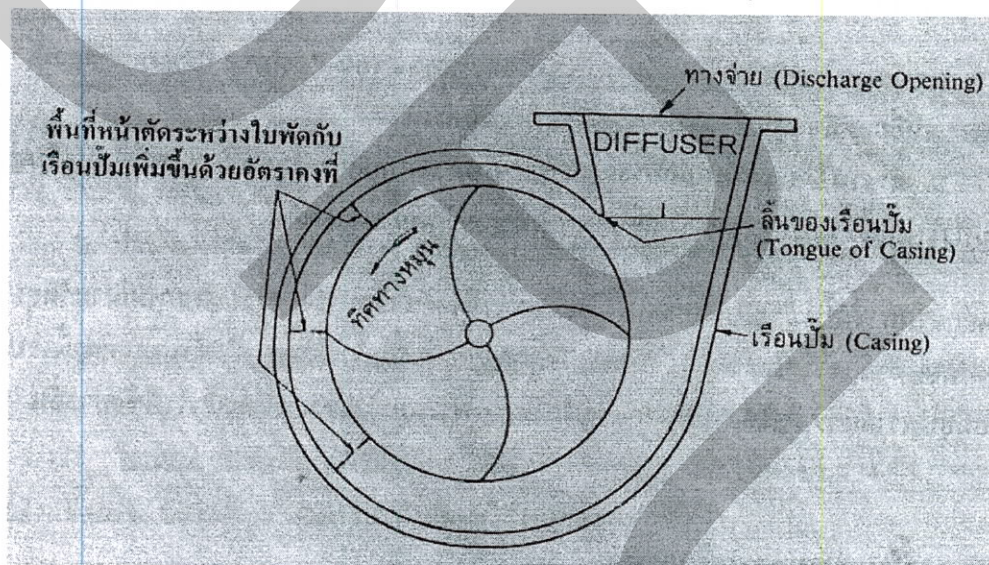
2.3.2 การทำงานของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล

ปั๊มแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดหรืออิมเพลเตอร์ (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทโดยการผลัดกันของครีปใบพัด (Vance) ต่อของเหลวที่อยู่รอบๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) และเป็นผลไม่ให้เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลัดกันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง ดังรูปที่ 2.12

โดยหลักกลศาสตร์ เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง ความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในสถานะปิดมากพอ ความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความกดดันของบรรยากาศ ดังนั้นปั๊มแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูด (Suction Opening) อยู่ที่ศูนย์กลางใบพัด



รูปที่ 2.12 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด (Impeller) ของปั๊มเซนตริฟลูกอล



รูปที่ 2.13 ลักษณะทั่วไปของเรือนปั๊ม (Casing) ของปั๊มแบบเซนตริฟลูกอล

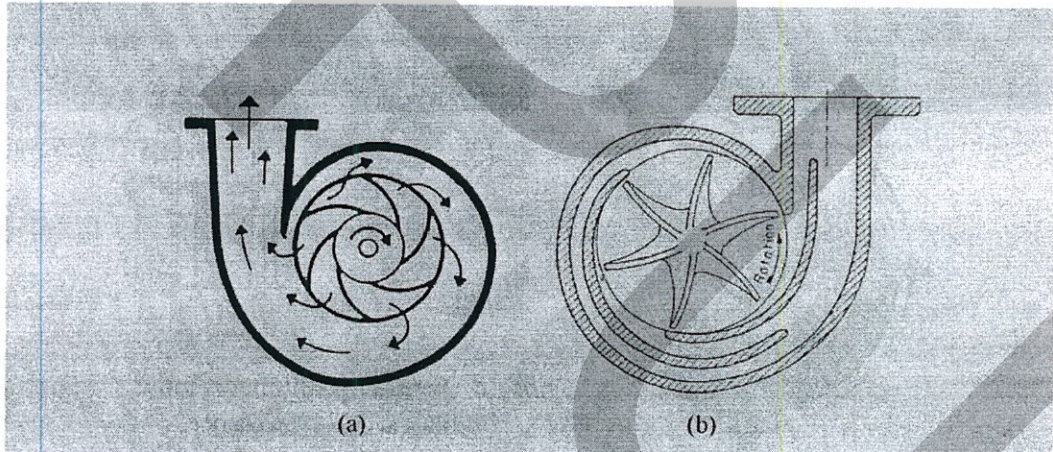
ของเหลวที่ถูกดูดเข้าทางศูนย์กลาง เมื่อถูกผลักดันออกไปด้วยแรงผลักดันของครีบบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ก็จะไหลออกมาตลอดแนวเส้นรอบวง ดังนั้นใบพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ในเรือนปั๊ม (Casing) เพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่ทางจ่าย (Discharge Opening) เพื่อต่อเข้ากับท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลักดันออกมานี้จำเป็นต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของใบพัด ดังนั้นจะมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในของเรือนปั๊มเข้ามาชิดกับขอบของใบพัดมาก จุดดังกล่าวนี้เรียกว่า ลิ้นของเรือนปั๊ม (Tongue of the Casing) ลักษณะโดยทั่วไปของเรือนปั๊มจะดูได้จากรูปที่ 2.13

จากเส้นของเรอีนบีมไปตามทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีของเหลวไหลออกมามากขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงของใบพัดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นช่องว่างซึ่งเป็นการเดินทางของของเหลวระหว่างผนังของเรอีนบีมกับใบพัดก็จะต้องเพิ่มขนาดนั้นด้วย โดยหลักการแล้วอัตราการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดจะคงที่เพื่อให้ความเร็วของการไหลสม่ำเสมอซึ่งจะเป็นผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม ความเร็วของการไหลจะลดลงเนื่องจากพลังงานบางส่วนถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานศักย์ (Potential Energy) ในรูปของความดัน (Pressure head) แทน

2.3.3 ประเภทของบีมประเภทเซนตริฟลูกอล

ตามรูปที่ 1.1 บีมประเภทเซนตริฟลูกอลสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกหลายแบบคือ

1. แบบหอยโข่ง (Volute Type ดังรูปที่ 2.14) เป็นแบบพื้นฐานของบีมประเภทนี้ กล่าวคือ เป็นแบบที่ของเหลวที่ไหลเข้ามาสู่ศูนย์กลางของใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลลาแล้วไหลออกทำมุม 90 องศา กับทิศทางที่ไหลเข้าช่องทางเดินของของเหลวจากเส้นของเรอีนบีมมีพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นรอบวงในทิศทางการหมุนของใบพัด บางแบบมีการเพิ่มช่องทางเดินให้มากขึ้นเช่นในรูปที่ 1.4 (b) การดัดแปลงดังกล่าวนี้จะช่วยให้แรงกดดันเพลลาของบีมมีความสมดุลดีขึ้น

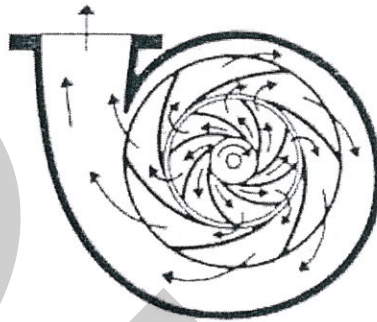


รูปที่ 2.14 บีมเซนตริฟลูกอลแบบหอยโข่ง (Volute) ที่เรอีนบีมมีช่องทางเดินของของเหลวเพียงช่องเดียว (a) และสองช่อง (b)

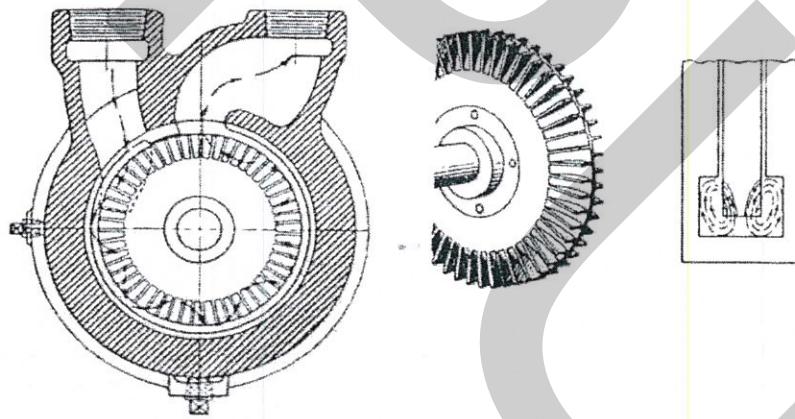
2. แบบมีครีบน้ำ (Diffuser Type รูปที่ 2.15) บีมแบบนี้มีลักษณะของใบพัดและรูปร่างภายนอกของเรอีนบีม (Casing) เหมือนกับแบบแรกทุกประการ จะผิดกันเพียงแต่ภายในจะมีครีบน้ำ (Guide Vanes) เพิ่มขึ้นมา ครีบดังกล่าวซึ่งติดอยู่กับเรอีนบีมจะช่วยให้ของเหลวที่ถูกผลักดันออกมาค่อยๆ เบนทิศทางไปสู่ช่องทางเดินซึ่งเป็นส่วนโค้งได้ดีขึ้น ทำให้มีการสูญเสีย

พลังงานน้อยลง และเป็นผลให้การเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) มาเป็นพลังงานศักย์ในรูปของความดัน (Pressure Head) มีประสิทธิภาพดีขึ้น

3. แบบเทอร์ไบน์ (Turbine Type ดังรูปที่ 2.16) ปัมแบบนี้เรียกว่าแบบ Vortex, Periphery หรือ Regenerative Turbine



รูปที่ 2.15 ปัมเซนตริฟลูกอลแบบมีครีบบ้าน้ำ (Diffuser Type) ซึ่งมีครีบบ้าน้ำช่วยให้การเปลี่ยนทิศทางการไหลของของเหลวในห้องสูบสม่ำเสมอดีขึ้น



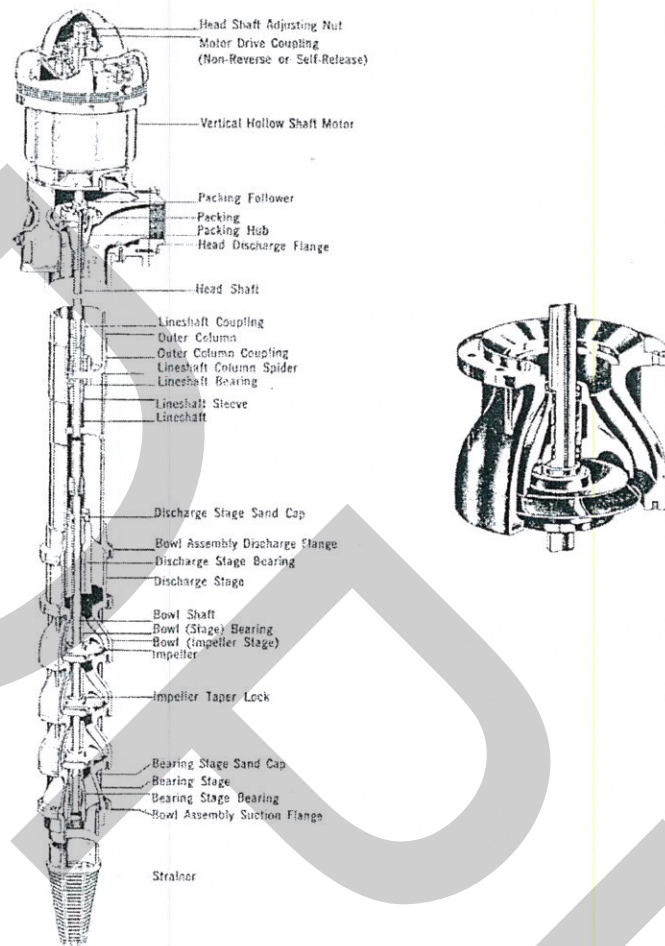
รูปที่ 2.16 ปัมเซนตริฟลูกอลแบบเทอร์ไบน์ (Regenerative Turbine)

ลักษณะพิเศษคือ ใบพัดจะเป็นแผ่นกลมมีความหนา ครีบบนของใบพัดเกิดจากการเซาะร่องบนขอบของแผ่นใบพัด ทำให้เกิดเป็นแผ่นครีบบ้าน้ำ และสั้นในแนวรัศมี (Radial Direction) ขณะที่ของเหลวไหลเข้ามาจากทางดูดช่องว่างระหว่างครีบบ้าน้ำจะถูกเหวี่ยงออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แต่เนื่องจากผนังของเรือนปั๊มปิดกั้นอยู่ ของเหลวดังกล่าวก็จะวิ่งย้อนกลับเข้า

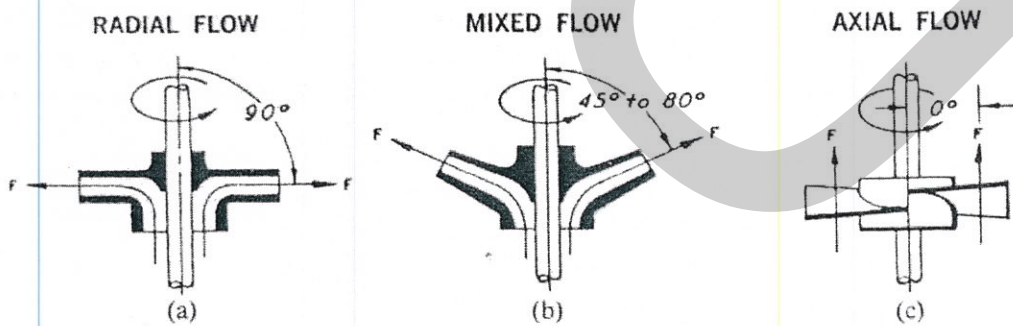
มาสู่ช่องว่างระหว่างใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปอีก ขบวนการดังกล่าวจะซ้ำกันอยู่เช่นนี้จนกว่าจะถึงช่องทางจ่าย (Discharge Opening) พลังงานที่ของเหลวได้รับจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่ของเหลววิ่งเข้ามาสู่ช่องว่างระหว่างครีบบของใบพัดและถูกเหวี่ยงออกไปซึ่งมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 50 ครั้ง ถ้าจำนวนครั้งมากพลังงานศักย์ของของเหลว ก็จะมากตามขึ้นไปด้วย

4. แบบ Vertical Turbine Type รูปที่ 2.17) ปัมแบบนี้เดิมทีเดียวผลิตขึ้นมาสำหรับสูบน้ำจากบ่อบาดาล ดังนั้นบางครั้งเรียกว่าปัมน้ำบาดาล (Deep Well หรือ Deep Well Turbine Pump) โดยแท้จริงแล้วใบพัดของปัมแบบนี้ไม่ใช่เป็นแบบเทอร์ไบน์ แต่เป็นแบบ Radial Flow หรือ Mixed Flow ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป เนื่องจากส่วนประกอบทั้งหมดของปัมจะต้องประกอบกันเป็นท่อนทรงกระบอกเพื่อให้สามารถบรรจุลงในท่อบ่อน้ำบาดาลได้ และบ่อบาดาลส่วนใหญ่มีระดับน้ำลึกมาก ปัมชุดเดียวอาจให้พลังงานศักย์ไม่พอ ปัมแบบนี้จึงต้องออกแบบให้ใบพัดและเรือนปัมหลายชุดต่อเข้าด้วยกันได้เป็นชั้นๆ โดยอาศัยเพลลาหมุนใบพัดท่อนเดียวกัน เรือนปัม (Casing) จะต้องดัดแปลงให้รับน้ำจากใบพัดแล้วส่งขึ้นไปสู่ทางดูดของใบพัดตัวบนได้ และเนื่องจากลักษณะของเรือนปัมแตกต่างจากแบบหอยโข่ง (Volute) ชื่อของส่วนนี้จึงเปลี่ยนไปเรียกว่าโบว์ล (Bowl) ภายในโบว์ลจะประกอบด้วยครีบบันน้ำซึ่งมีลักษณะของแบบครีบบันน้ำ (Diffuser) โบว์ลหนึ่งชุดจะเทียบได้กับปัม 1 เครื่อง ปัมแบบ Vertical Turbine โดยทั่วๆ ไปมีโบว์ลมากกว่าหนึ่งชั้น (Stage) ซ้อนกัน ในกรณีที่ว่านี้ก็อาจจำเป็นต้องบอกจำนวนชั้นควบคู่ไปกับการเรียกชื่อปัมด้วย เช่น Single-stage Vertical Turbine, Three-stage Deep Well Turbine สำหรับปัมที่มีโบว์ลชั้นเดียวและสามชั้น เป็นต้น

5. Mixed Flow ปัมสองแบบแรกที่ข้างต้น คือแบบหอยโข่ง (Volute) และแบบมีครีบบันน้ำ (Diffuser) เป็นแบบที่เรียกชื่อตามลักษณะของเรือนปัมที่ทำหน้าที่รวบรวมหรือผันของเหลวที่ไหลออกจากใบพัดไปสู่ช่องทางจ่าย



รูปที่ 2.17 ปัมแบบ Vertical Turbine ขนาด 3 ชั้น (Stage) และรูปขยายของบอว์ล 1 ชุด



รูปที่ 2.18 ทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด (a) ในแนวรัศมี (Radial Flow) (b) ในแนวทำมุมเอียงกับเพลลา (Mixed Flow) และ (c) ในแนวขนานกับเพลลา (Axial Flow)

ใบพัดที่ใช้กับปั๊มทั้งสองแบบส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็น Radial Flow คือของเหลวไหลเข้าสู่ศูนย์กลางของใบพัดในแนวขนานกับเพลาลแล้วไหลออกด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกจะทำมุม 90 องศากับทิศทางที่มันไหลเข้าดังรูปที่ 2.18

สำหรับปั๊มแบบ Mixed Flow นั้นเป็นชื่อที่เรียกตามลักษณะของใบพัด หรือทิศทางการไหลของของเหลวออกจากใบพัด ปั๊มหรือใบพัดแบบนี้จะเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยทั้งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและแรงผลักดันของแผ่นใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลลา ของเหลวที่ไหลออกจะทำมุม 45 องศา ถึง 80 องศา กับแกนของเพลลา (รูปที่ 2.18b) ปั๊มแบบนี้ให้เฮด (Head) น้อยกว่าแบบ Radial Flow แต่จะให้อัตราการสูบสูงกว่า ใบพัดแบบ Mixed Flow ใช้กันมากในแบบ Vertical Turbine

ปั๊มแบบ Mixed Flow นี้จะให้เฮดตั้งแต่ 3 ถึง 50 m. ต่อใบพัด 1 ชุด อัตราการสูบมากได้ถึง $7,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ความเร็วปกติของใบพัด 1,450 rpm. หรือมากกว่า

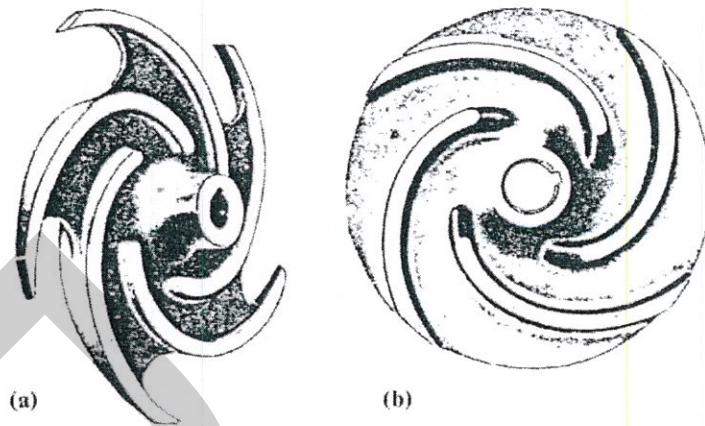
6. Axial Flow (รูปที่ 2.18c) ในปั๊มแบบ Axial Flow ของเหลวที่ไหลเข้าและออกจากใบพัดมีทิศทางขนานกับแกนของเพลลา แรงที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลวเป็นแรงผลักดันในทิศทางการไหลเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้ให้เฮดตั้งแต่ประมาณ 50 เซนติเมตร ถึง 7 เมตรต่อใบพัด 1 ชุด อัตราการสูบอาจมากได้ถึง $100,000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ความเร็วปกติของใบพัด 1,160 rpm. หรือมากกว่า

2.3.4 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟลูกอล

เนื่องจากว่าใบพัดของปั๊มเซนตริฟลูกอลได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานมากมายหลายชนิด การจำแนกประเภทอาจจะพิจารณาได้จากลักษณะของแผ่นใบพัด งานประกบ (Shroud) ลักษณะการไหลของของเหลวเข้าและออกจากใบพัด หรือวัตถุประสงค์ใช้งานของมัน ใบพัดที่ได้รับการแยกประเภทตามหลักการข้างต้นมีดังนี้คือ

1. ใบพัดเปิด (Open Impeller) โดยทั่วไปแล้วครีบบางของใบพัดจะยึดอยู่กับงานประกบ (Shroud) สำหรับใบพัดที่จัดอยู่ในประเภทนี้จะมีแผ่นครีบบางส่วนยื่นออกมาจากงาน คือรัศมีของงานจะเล็กกว่ารัศมีของใบพัด ดังรูปที่ 2.19a

2. ใบพัดกึ่งเปิด (Semi-open Impeller) เป็นแบบที่รัศมีของงานประกบเท่ากับรัศมีของใบพัด ใบพัดประเภทนี้มีงานประกบเพียงด้านเดียว อีกด้านหนึ่งของใบพัดจะไม่มีฝาปิดดังรูปที่ 2.19b



รูปที่ 2.19 ลักษณะใบพัดของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล (รูป a และ b)

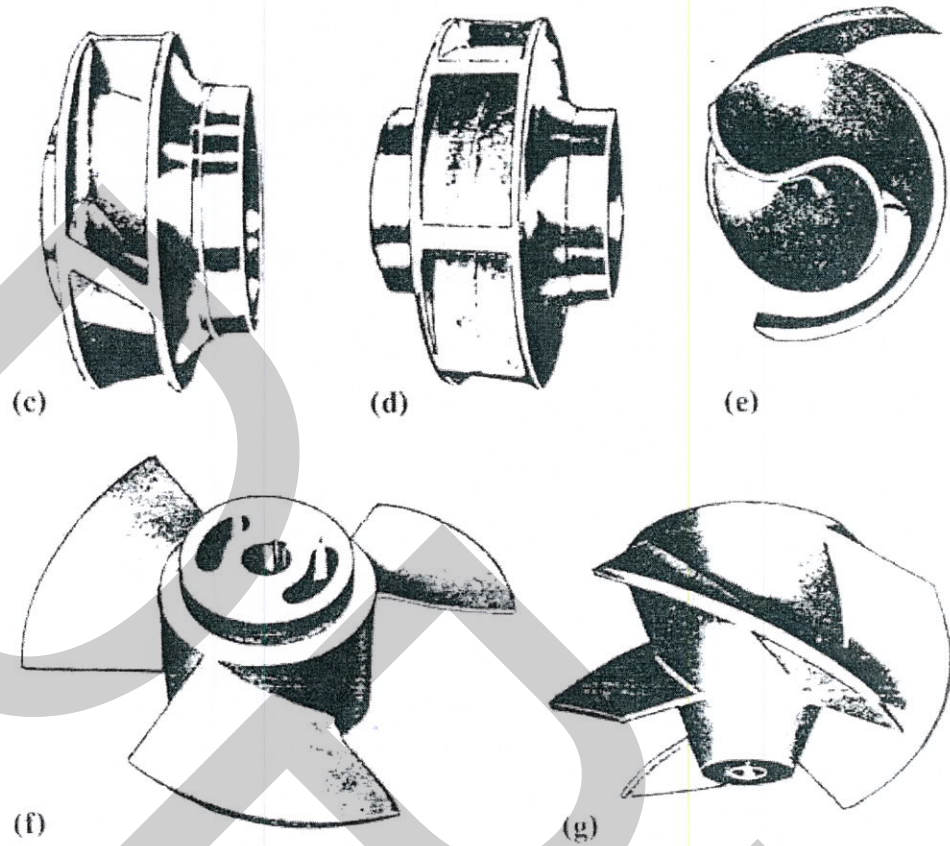
3. ใบพัดกึ่งปิด (Closed Impeller) (รูปที่ 2.19c และ d) เป็นแบบที่ใบพัดปิดอยู่ด้วยจานประกบ 2 แผ่น ในรูป 2.19c มีทางให้ของเหลวไหลเข้าหรือทางดูดเพียงด้านเดียว เรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิด ดูดด้านเดียว (Closed, single suction impeller) สำหรับรูป 2.19d มีทางดูด 2 ด้าน เรียกว่าเป็นแบบใบพัดปิด ดูดสองด้าน (Closed, double suction impeller)

4. Paper-stock Impeller (รูปที่ 2.19e) เป็นใบพัดที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษให้ใช้กับของเหลวที่มีความเข้มข้นเหลว (Consistency) สูง เดิมทีเดียวใบพัดแบบนี้ออกแบบไว้ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ต่อมานำมาใช้กับของเหลวอื่นด้วยแต่ก็ยังเรียกชื่อเดิมอยู่

5. Propeller (รูปที่ 2.19f) เป็นใบพัดที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยการผลักดันในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการไหลเข้ามาสู่ใบพัดเพียงอย่างเดียว ไม่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปั๊มที่มีใบพัดประเภทนี้เรียกว่า Axial Flow Pump.

6. Mixed Flow (รูปที่ 2.19g) เป็นแบบที่ของเหลวไหลเข้ามาสู่ใบพัดในแนวขนานกับแกนของเพลลา แต่ตอนไหลออกจะทำมุม 45° ถึง 80° กับทิศทางเดิม กล่าวคือ การขับเคลื่อนของเหลวมีทั้งแรงขับเคลื่อนในทิศทางเดียวกันกับการไหลเข้ามาสู่ใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

7. Radial Flow เป็นใบพัดแบบที่ของเหลวถูกขับเคลื่อนออกไปโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพียงอย่างเดียว ทิศทางการไหลออกทำมุมฉากกับการไหลเข้า



รูปที่ 2.20 ลักษณะใบพัดของขั้วแบบเซนติฟูคอล (รูป c, d, e, f และ g)

2.4 ระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive ;VSD)

Variable Speed Drive (VSD) หรือโดยทั่วไปเรียกว่า อินเวอร์เตอร์ ได้ผสมผสานเทคโนโลยี Proportional Integral Differential (PID) และ Programmable Logic Controller (PLC) ผ่านการพัฒนามาอย่างยาวนาน ในปัจจุบันมีฟังก์ชันการทำงานที่ง่ายขึ้น สามารถติดต่อและควบคุมได้ด้วยคอมพิวเตอร์โดยตรงหรือโปรแกรมผ่านทาง Operating Panel ซึ่งมีระบบสัญญาณ Input และ Output แบบดิจิทัลและอนาล็อก มีหน้าที่ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ ในที่นี้หมายถึง มอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ

2.4.1 หลักการทำงานของระบบ VSD

การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถทำได้หลายวิธี แต่จะกล่าวถึงวิธีที่ได้ผลรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูงนั่นคือ การปรับความเร็วรอบโดยระบบไฟฟ้า การปรับความเร็วรอบโดยระบบไฟฟ้านั้นมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ อินเวอร์เตอร์ในระบบเทคโนโลยีสมัยใหม่ อินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมโดยระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสม

ในการทำงานเป็นอย่างมากเพราะมีความเที่ยงตรงในการทำงานสูงนอกจากนี้แล้วยังสามารถออกแบบให้มีความคล่องตัวในการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์แต่ละประเภท โดยที่ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมอุปกรณ์จากภายนอกและยังสามารถต่อกับระบบศูนย์กลางควบคุม (central control) ได้ ก่อนที่จะกล่าวถึงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ก็จะขออธิบายถึงคุณสมบัติและการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเสียก่อน โดยการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็กหมุน (rotating field) ที่เกิดขึ้นที่ขดลวดที่อยู่กับที่หรือขดลวดสเตเตอร์ โดยขนาดของมันจะขึ้นอยู่กับสนามแม่เหล็กขนาดของแรงเคลื่อนที่จ่ายเข้าไป แรงเคลื่อนนี้ส่วนใหญ่จะตกคร่อมที่ขดลวดสเตเตอร์ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะประมาณเท่ากับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปนั่นเอง โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับค่าต่างๆ เหล่านี้

- จำนวนฟลักแม่เหล็กต่อขั้วของมอเตอร์
- จำนวนรอบต่อขั้วของขดลวดสเตเตอร์
- ความถี่ของสนามแม่เหล็กหมุน (ปกติเท่ากับความถี่ของไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป)

ถ้าจะให้ฟลักแม่เหล็กคงที่ในทุกย่านความเร็วจะต้องรักษาอัตราส่วนระหว่างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำกับความถี่ของสนามแม่เหล็กหมุนให้คงที่ตลอดเวลาความสัมพันธ์เชิงเส้นนี้เรียกว่า constant V/f (V/Hz) Motor Driver หรือ Variable Voltage Variable Frequency Driver (VVVF drives) โดยทั่วไปการเพิ่มแรงเคลื่อนให้เกินจากจุดที่ V/F ratio คงที่ จะไม่ทำให้เกิดแรงบิดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัวแต่จะทำให้มอเตอร์กินกระแสเพิ่มขึ้นมากในรูปของการสูญเสีย การทำงานนอกเหนือจากช่วง V/F ratio คงที่ที่สามารถขยายช่วงความเร็วของมอเตอร์ให้สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเร็วพิกัดก็ได้ โดยการเพิ่มความถี่ด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ให้สูงให้สูงกว่าความถี่พิกัด ขณะที่จ่ายแรงเคลื่อนคงที่ ที่ค่าความเร็วพิกัด ให้แรงเคลื่อนมีค่าสูงสุด

ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักแม่เหล็กกับความถี่ เมื่อจ่ายแรงเคลื่อนคงที่ที่ความเร็วสูงกว่าพิกัด ฟลักแม่เหล็กจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น (ความเร็วสูงขึ้น) โดยลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ V/f ที่ลดลงและความสามารถของมอเตอร์ที่จะจ่ายแรงนำก็จะลดลงด้วย โดยกระแสเต็มพิกัดจะให้แรงบิดน้อยลง เมื่อความเร็วสูงขึ้น ขณะเดียวกันกำลังด้านเอาต์พุตจะคงที่ ซึ่งจะมีการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์รูปแบบที่เหมาะสมกับ constant power characteristic ในช่วงความเร็วสูงกว่าพิกัดนี้

การใช้งานในช่วงที่ 2 ของ constant V/f ratio คือการใช้งานที่ต่ำกว่าความเร็วพิกัด ซึ่งแรงเคลื่อนตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นที่ขดลวดของสเตเตอร์จะมีมากขึ้น โดยแรงเคลื่อนตกคร่อมนี้ทำให้ฟลักแม่เหล็กลดลงและขณะที่เพิ่มความถี่ของไฟลดลงเข้าใกล้ 0 Hz แรงเคลื่อนที่ตีที่ตีที่สุดจะเท่ากับที่เกิดที่สเตเตอร์ (stator IR drop) และเพื่อให้ฟลักแม่เหล็กคงที่ที่ความเร็วต่ำ แรงเคลื่อนที่ป้อนเข้า

จะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยผลของความต้านทานที่สเตเตอร์ การชดเชยดังกล่าวเรียกว่า voltage boost ซึ่ง drive ส่วนใหญ่จะมีส่วนฟังก์ชันนี้รวมอยู่ด้วยและปกติสามารถเพิ่มการบูสต์ให้เข้ากับลักษณะเชิงเส้นได้ในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้นจะคงที่ ซึ่งจะมีการประยุกต์ใช้งานมอเตอร์หลายรูปแบบที่เหมาะสมกับ constant power characteristic ในช่วงความเร็วสูงกว่าพิกัดนี้

การใช้งานช่วงนี้ที่ 2 ของ constant V/f ratio คือ การใช้งานที่ต่ำกว่าความเร็วพิกัด ซึ่งแรงเคลื่อนตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นที่ขดลวดของสเตเตอร์จะมีผลมากขึ้น โดยแรงเคลื่อนตกคร่อมนี้ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลดลงและขณะที่เพิ่มความถี่ของไฟลวดลงเข้าใกล้ 0 Hz แรงเคลื่อนที่ดีที่สุดจะเท่ากับที่เกิดที่สเตเตอร์ (stator IR drop) และเพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กคงที่ที่ความเร็วต่ำ แรงเคลื่อนที่ป้อนเข้าจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยผลของความต้านทานที่สเตเตอร์ การชดเชยดังกล่าวเรียกว่า voltage boost ซึ่ง drive ส่วนใหญ่จะมีส่วนฟังก์ชันนี้รวมอยู่ด้วย และปกติจะสามารถเพิ่มการบูสต์ให้เข้ากับลักษณะเชิงเส้นได้ในขณะที่ความถี่เพิ่มขึ้น

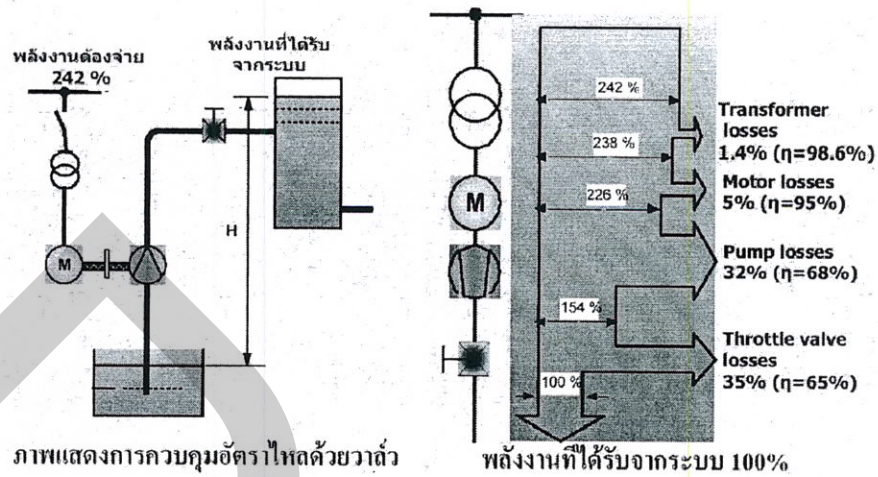
ทั้งนี้หลักการทำงานของ VSD นั้นจะอาศัยหลักการพื้นฐานที่ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะขึ้นกับความถี่ทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในมอเตอร์ ดังนั้นหากปรับความถี่ทางไฟฟ้าเสียใหม่ก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบใหม่ที่ต้องการ และเนื่องจากการทำงานที่ความเร็วรอบอื่น ๆ เรายังคงต้องการเพื่อให้มอเตอร์มีแรงบิดเหมือนเดิมเพียงแต่ความเร็วรอบเปลี่ยนไปเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.23 แรงบิดนี้จะสัมพันธ์กับฟลักซ์แม่เหล็กในวงจรแม่เหล็กของมอเตอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ แรงดันต่อความถี่ (V/f) ยกกำลังสอง ดังนั้นเมื่อเราเปลี่ยนความถี่ไปจึงจำเป็นต้องปรับแรงดันให้เปลี่ยนไปด้วยเพื่อรักษาอัตรา V/f ให้คงที่ นี่จึงเป็นเหตุให้อุปกรณ์นี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า VVVF (Variable Voltage Variable frequency)

ซึ่งหลักการทำงานนั้นจะอาศัยทฤษฎีความเร็วรอบมอเตอร์ คือ

$$N = \frac{120f}{P} \quad 2.4$$

เมื่อ

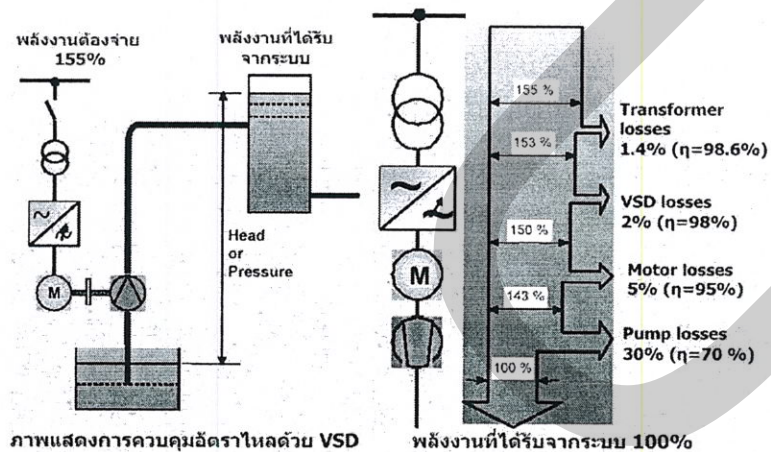
N	คือ	ความเร็วรอบมอเตอร์ (rpm/min)
f	คือ	ความถี่ (Hz)
P	คือ	จำนวนขั้ว (Pole)



ภาพแสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว

รูปที่ 2.21 การควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว

จากรูปที่ 2.21 การควบคุมอัตราการไหลของน้ำสามารถทำได้โดยการควบคุมที่วาล์ว ในขณะที่มอเตอร์ยังคงหมุนด้วยความเร็วพิกัดคงที่ เครื่องสูบน้ำก็ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบพิกัดเท่ากับมอเตอร์ ทำให้เกิดความสูญเสียที่วาล์วประมาณ 35% ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเหลือ 68% หรืออีกนัยหนึ่งก็คือเกิดการสูญเสียที่เครื่องสูบน้ำ 32% จากพลังงานทั้งหมดที่จ่ายให้แก่เครื่องสูบน้ำ



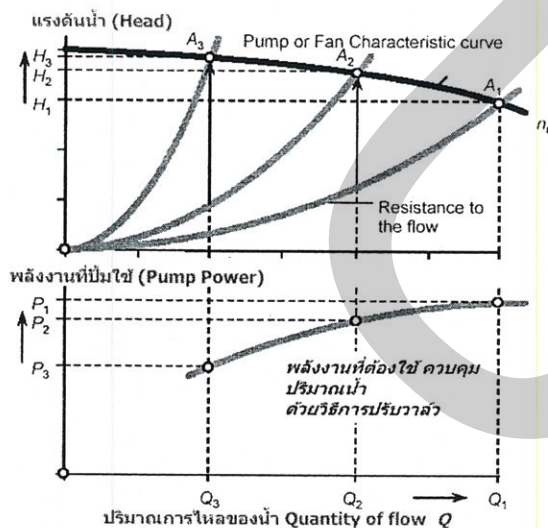
ภาพแสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วย VSD

รูปที่ 2.22 แสดงการควบคุมอัตราการไหลด้วยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลของน้ำ แรงดัน ความเร็วรอบ และพลังงานนั้นมี ความสัมพันธ์ตามหลักทฤษฎี คือ ปริมาณการไหลของน้ำจะแปรผันกับความเร็วยรอบ แรงดันแปร

ผันกับความเร็วยกกำลังสอง และพลังงานแปรผันกับความเร็วยกกำลังสาม ดังนั้นตามทฤษฎีเมื่อสามารถเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ หรือเครื่องสูบน้ำ เพื่อควบคุมปริมาณการไหล จะทำให้ปริมาณน้ำที่ผ่านเครื่องสูบน้ำด้วยแรงดันน้ำคงที่ จะเป็นไปตามกฎ Affinity Law โดยความต้านทานในท่อจะไม่เพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานที่ใช้จะลดลงตามทฤษฎี กล่าวคือเมื่อต้องการปริมาณลดลง พลังงานที่ใช้จะลดลงตามอัตราส่วนความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำยกกำลังสาม (n^3) จากกฎของ Affinity Laws ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นเป็นทฤษฎีที่ทราบกันมานานแล้ว ทำให้มีผู้คิดค้นวิธีควบคุมความเร็วรอบออกมาหลายๆ แบบ ตามเทคโนโลยีในแต่ละยุคแต่ละสมัย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับสถานะการณ์ สิ่งแวดล้อม และความคุ้มค่าในแง่การลงทุนเป็นไป

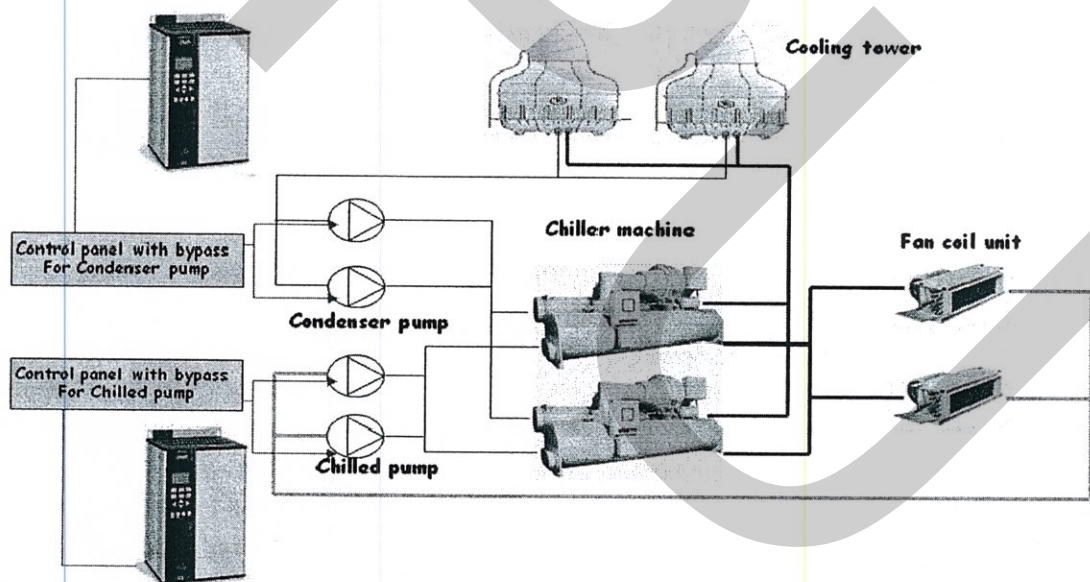
จากรูปที่ 2.21 และ 2.22 เมื่อให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบคงที่ และทำการควบคุมปริมาณการไหลโดยใช้วาล์วบีบท่อทำให้เล็กลง ค่าสูญเสียในท่อ หรือค่าความต้านทานของท่อจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้จุดตัดจากจุด A_1 เป็นจุดตัด A_2 และ A_3 โดยจุดตัดของเส้นกราฟของแรงดันน้ำเปลี่ยนจากจุด H_1 เป็น H_2, H_3 ปริมาณน้ำที่ไหลออกจะลดลงจาก Q_1 ไปเป็น Q_2 และ Q_3 ดังนั้นกำลังที่เครื่องสูบน้ำต้องการจะเปลี่ยนจากจุด P_1 เป็นจุด P_2 และ P_3 เมื่อลดปริมาณน้ำโดยใช้วาล์วควบคุม พลังงานที่ใช้ก็ลดลงจาก P_1 ไปเป็น P_2 และ P_3 แต่การลดลงนั้นไม่มากเมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมอัตราการไหลด้วย VSD จากกฎของ Affinity Laws สำหรับเครื่องสูบน้ำหรือพัดลมแบบหอยโข่ง



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลของน้ำกับพลังงานที่ปั๊มต้องการและแรงดันน้ำ

ในระบบน้ำเย็น (Chilled water) วิธีที่ใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำและแรงดันให้ได้ตามค่าที่ต้องการ ระบบเดิมส่วนใหญ่จะเป็นการปรับหัววาล์ว ที่หน้า Pump ซึ่งทำให้เกิด Pressure drop คร่อมที่ Valve หรือบางระบบอาจจะมีการใช้ Bypass Valve เป็นการลดปริมาณน้ำ และแรงดันส่วนเกิน เป็นต้น ทำให้ปริมาณน้ำรวมทั้งจ่าย ตลอดเวลาที่ ปั๊มทำงานเกิน ค่าที่ต้องการอยู่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าไฟแล้วจะเป็นปริมาณไฟฟ้าที่สูญเสียไปอยู่ตลอดเวลาเช่นกัน เมื่อคิดเทียบเป็นปริมาณไฟฟ้าที่มีความเป็นไปได้ของการสูญเสียไปใน 1 ปี รวมถึงปีต่อไปจะเป็นค่าไฟจำนวน มหาศาล ซึ่งน่าเสียดายเป็นอย่างยิ่ง เช่น การปรับหัววาล์วเพื่อลดปริมาณน้ำจาก 100% มาที่ 70% พลังงานจะลดลงเพียง ประมาณ 5% เท่านั้น ทำให้ค่าใช้จ่ายของน้ำต่อ ลิตรสูงขึ้นเมื่อปริมาณการใช้น้ำจริง น้อยกว่าที่ได้ออกแบบไว้

วิธีการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สูงสุดคือปริมาณน้ำจะสามารถปรับเปลี่ยน ได้ตามการเพิ่มหรือลดความเร็วของมอเตอร์ปั๊ม โดยการใช้ VSD ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณน้ำให้เป็นไปตามค่าที่ต้องการใช้งานที่แท้จริงพลังงานที่ใช้จะลดลง เป็นสัดส่วนยกกำลังสามนั่นหมายความว่า ในกรณีที่ Load ไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนักเราจะใช้ VSD เพื่อลดการ Oversize ของการออกแบบที่มีการเลือกปั๊มมีขนาดเกินจุดใช้งานอยู่ หรือระบบน้ำที่ใช้การปรับหัววาล์ว



รูปที่ 2.24 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ

2.4.2 ประเภทของระบบ VSD

ระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive ;VSD) นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบตามกระบวนการควบคุม ได้ดังนี้

- ระบบแปรเปลี่ยนปริมาณน้ำ (Variable Water Volume; VVV) ระบบปรับอากาศชนิดนี้จะควบคุมการทำงานของเครื่องสูบน้ำเย็น ให้ส่งน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็นต่างๆของอาคาร ในปริมาณที่สอดคล้องกับความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัยวาล์วควบคุม 2 ทาง (Two way control Valve) ลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับระบบแบบแปรเปลี่ยนปริมาณอากาศ ทั้งนี้เป็นไปตามกฎของบีมที่ว่ากำลังงานแปรผันกับความเร็วยกกำลังสาม

- ระบบแปรเปลี่ยนปริมาณอากาศ (Variable Air Volume ; VAV) เป็นระบบที่ออกแบบให้จำนวนลมเย็นที่จะเข้าสู่ห้องปรับอากาศแปรเปลี่ยนไปตามภาระความร้อนที่เข้าในพื้นที่ปรับอากาศโดยสามารถควบคุมเป็นจุดย่อยๆได้ ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบปริมาณลมส่งได้ ซึ่งหลักการการทำงานของระบบนี้คือ จะมีอุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมหลายกล่อง โดยแต่ละกล่องจะจ่ายลมไปยังหัวจ่ายลมไปยังหัวจ่ายลมตามจำนวนที่แต่ละพื้นที่ต้องการอย่างเหมาะสม การใช้ระบบ VAV จะสามารถควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศได้ดีและลดพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศได้โดยตรง แต่จะต้องพิจารณาใช้ระบบที่เหมาะสมและราคาในการลงทุนของทั้งระบบยังสูงมาก

- ระบบแปรเปลี่ยนปริมาณสารทำความเย็น (Variable Refrigerant Volume; VRV) คือระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำยาปรับอากาศเป็นสื่อความเย็น โดยมีความสามารถปรับปริมาณสารทำความเย็นที่ส่งออกจากตัวคอมเพรสเซอร์เข้าสู่ Fan coil เปลี่ยนแปลงตามความต้องการ ระบบนี้จะใช้พลังงานน้อยกว่าระบบ CRV ที่ปริมาณสารทำความเย็นที่ส่งออกจากคอมเพรสเซอร์จะมีปริมาณคงที่ตลอดเวลา การที่ระบบ VRV สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณสารทำความเย็นส่งผลให้สามารถควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศได้ดีกว่าระบบเดิม

2.4.3 ส่วนประกอบของระบบ VSD

ระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive ;VSD) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ดังนี้

- ชุดควบคุมเครื่องสูบน้ำ (Pump Controller) เป็นตัวสั่งการ Variable Speed Drive รวมทั้งส่งสัญญาณให้ทำการเปิด ปิด เพิ่ม ลด ความเร็ว และสลับการทำงานของระบบ VSD ทั้งนี้จำเป็นจะต้องออกแบบในการป้องกันไม่ให้เครื่องสูบน้ำทำงานที่จุดไม่เหมาะสมหรือจุดที่เครื่องสูบน้ำจะเสียหายได้ และจะต้องออกแบบให้สั่งการให้เครื่องสูบน้ำทำงานเฉพาะช่วงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่านั้น

- ชุดควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากที่สุด ทำงานโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงความถี่และแรงดันใหม่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วย rectifier และไปเก็บที่ Capacitor แล้วใช้ Inverter เปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่อีกครั้งไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

- เครื่องตรวจจับและส่งสัญญาณ (Sensors and Transmitter) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมเครื่องสูบน้ำ เพื่อสั่งการทำงานของระบบ ซึ่งสัญญาณที่จะส่งไปนั้นจะได้รับจากการตรวจจับสถานะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แรงดัน อัตราการไหล เป็นต้น ซึ่งจำเป็นจะต้องติดตั้งเครื่องตรวจจับในบริเวณที่ถูกต้องเพื่อให้ได้สัญญาณสั่งการที่มีความแม่นยำ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

- ปั๊มน้ำและมอเตอร์ (Pump and Motor) เป็นอุปกรณ์ที่แสดงผลการทำงานจากการสั่งการของระบบ ดังนั้นเพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีปัญหาน้อยที่สุดจึงจำเป็นต้องเลือกขนาดเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมกับระบบการควบคุม

2.5 แนวคิดพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงการ (กฤษฎี กงเจริญ, 2548: 20)

การวิเคราะห์โครงการเป็นวิธีการแสดงการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดภายใต้จุดมุ่งหมาย หรือความต้องการของสังคมในรูปแบบที่มีความสะดวกเหมาะสม เพราะการวิเคราะห์โครงการจะมีการประเมินถึงผลประโยชน์ (Benefit) และค่าใช้จ่าย (Cost) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดอายุของแต่ละโครงการ แล้วปรับเป็นตัวรวม (Common Denominator) ซึ่งถ้าหากผลการวิเคราะห์ปรากฏว่า เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการดำเนินการของโครงการแล้ว ผลประโยชน์มีมากกว่าค่าใช้จ่ายตามที่ปรับแล้ว โครงการนั้นก็จะเป็นโครงการที่ให้ผลประโยชน์คุ้มค่า การวิเคราะห์โครงการจึงมีส่วนในการช่วยตัดสินใจที่จะใช้ทรัพยากรไปอย่างมีประสิทธิภาพตามหลักวิชาการ (ประสิทธิ์ อ่างถึงใน กฤษฎี กงเจริญ, 2548 : 20) ซึ่งการวิเคราะห์โครงการจะทำได้ 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ทางการเงินและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.5.1 การวิเคราะห์ทางการเงิน

เป็นการวิเคราะห์การลงทุนทางด้านเอกชนเป็นสำคัญ เพราะเป็นการวิเคราะห์ที่มุ่งหมายเพื่อหาผลตอบแทนทางการเงิน หรือความสามารถในการทำกำไรในโครงการรวมถึงการวางแผนทางการเงินที่เหมาะสมกับโครงการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าถ้ามีการดำเนินงานตามโครงการแล้วจะไม่มีปัญหาทางการเงินในทุกขั้นตอนตลอดอายุโครงการ

การวิเคราะห์ต้นทุนทางการเงิน (Financial Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่ดูถึงมูลค่าของต้นทุนที่เป็นตัวเงินที่ต้องใช้จ่ายไปกับการลงทุนโครงการหรือเรียกว่าค่าใช้จ่ายขั้นต้น (Primary Cost) ในการลงทุนเพื่อดำเนินการและบำรุงรักษาโครงการ หรือเรียกว่าค่าใช้จ่ายโดยตรงของ

โครงการ (Direct Cost) ส่วนในด้านของการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินเป็นการวิเคราะห์ที่ดูถึงมูลค่าของผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ของโครงการที่เป็นตัวเงินที่เกิดจากการดำเนินงานของโครงการ หรือเรียกว่าผลประโยชน์ทางตรง (Direct Benefit) หรือผลตอบแทนขั้นต้น (Primary benefit)

การวิเคราะห์ทางการเงินมีข้อดีคือทำให้ผู้ลงทุนในโครงการได้รู้ว่าจะต้องใช้งบประมาณเท่าใดในการลงทุน และได้ผลตอบแทนเป็นจำนวนเงินเท่าใดจากการดำเนินโครงการ เพื่อวางแผนทางการเงินของโครงการในด้านต่างๆ เช่น งบกำไรและการขาดทุน งบกระแสเงินสด งบดุล เป็นต้น

2.5.2 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐกิจว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ให้ผลตอบแทนต่อระบบเศรษฐกิจส่วนรวมของประเทศหรือไม่ เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้ได้รับผลตอบแทนต่อส่วนรวมมากที่สุด ผลการวิเคราะห์จะปรากฏออกมาในรูปของผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้สูงหรือต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป ถ้าสูงกว่าโครงการนั้นก็ถือว่าเป็นโครงการที่ดีทางเศรษฐกิจ (Economically Sound or Profitable) ถ้าต่ำกว่าเป็นโครงการที่ไม่ดีทางเศรษฐกิจ (Economically Unwise or Unprofitable) การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจจึงมีส่วนช่วยอย่างสำคัญต่อการตัดสินใจในการที่จะรับหรือปฏิเสธโครงการ

การวิเคราะห์ต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่นอกจากจะดูถึงมูลค่าของต้นทุนที่เป็นตัวเงินที่ต้องมีการใช้จ่ายไปในการลงทุนโครงการหรือเรียกว่าเป็นค่าใช้จ่ายขั้นต้น (Primary Cost) แล้วยังรวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายขั้นรอง (Secondary Cost) หรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีตัวตน (Intangible Costs) ที่เกิดจากการดำเนินการของโครงการอีกด้วย และเช่นเดียวกันในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ คือ เป็นการวิเคราะห์ถึงผลประโยชน์ทางตรง (Direct Benefit) หรือผลตอบแทนขั้นรอง (Secondary Benefit) รวมถึงผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตน (Intangible Benefit) เพื่อที่จะได้ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการที่เกิดขึ้นต่อระบบเศรษฐกิจส่วนรวมของประเทศ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีต่อการตัดสินใจลงทุนเองหน่วยงานราชการหรือรัฐบาล

ดังนั้นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่เน้นถึงผลประโยชน์ต่อเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศกับความเป็นไปได้ทางการเงินที่เน้นถึงความสามารถในการทำกำไรของโครงการจึงมีความแตกต่างกันทั้งด้านวัตถุประสงค์และองค์ประกอบของสิ่งที่นำมาวิเคราะห์ดังตารางที่ 2.9 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ทางการเงินมีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุน โครงการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงในห้องผ่าตัด จะมีการ

วิเคราะห์ทางการเงินในส่วน of ค่าใช้จ่ายขั้นต้น (Primary Cost) และผลประโยชน์ทางตรง (Direct Benefit) หรือผลตอบแทนขั้นต้น (Primary benefit) ของการดำเนินโครงการเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยไม่มีการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างของการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์และทางการเงิน

รายการ	การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis)	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)
1. วัตถุประสงค์	วิเคราะห์ผลตอบแทนของเงินลงทุน ของผู้เป็นเจ้าของทุน	วิเคราะห์ผลตอบแทนสุทธิของ โครงการที่สังคมส่วนรวมได้รับ
2. ราคา	ใช้ราคาตลาด (Market Price)	ใช้ราคาเงาหรือราคาที่เหมาะสมถึง มูลค่าทางเศรษฐกิจที่แท้จริง (Shadow Price)
3. ภาษี	ถือเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายของโครงการ	ถือเป็นรายการ โอนเงินของโครงการ ไปให้รัฐบาลจึงไม่นำมาคิด
4. เงินอุดหนุน	ถือเป็นรายได้ของโครงการ	เป็นการ โอนเงินของรัฐบาลไปให้ โครงการจึงไม่นำมาคิด
5. ดอกเบี้ยที่เกิด จากการใช้ทุน (Interest)	ดอกเบี้ยของการลงทุนจะนำไปหัก ออกจากผลตอบแทนของโครงการ	ไม่แยกรายการดอกเบี้ยออกจาก ผลตอบแทนของโครงการดอกเบี้ยที่ เกิดจะไม่นำมาคิด
6. ผลตอบแทน	คำนวณจากผลตอบแทนทางตรง	คำนวณจากผลตอบแทนทั้งทางตรง และทางอ้อม
7. อัตราคิดลด (Discount Rate)	อัตราดอกเบี้ยจากการกู้ยืม	ต้นทุนค่าเสียโอกาสของทุน

2.6 แนวคิดเกี่ยวกับอัตราส่วนลด (กฤษฎณ์ คงเจริญ, 2548 : 26-27)

การปรับค่าของเวลาถูกกำหนดโดยปัจจัย 2 ชนิด คือช่วงเวลาระยะเวลาปัจจุบันและอนาคตของโครงการ และอัตราดอกเบี้ยที่เลือกใช้ กล่าวคือยิ่งอัตราดอกเบี้ยยิ่งสูงและระยะเวลาที่จะได้รับผลตอบแทนยาวนาน มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์จะยิ่งน้อยลงเท่านั้น

การเลือกอัตราส่วนลด (Discount Rate) เพื่อใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสามารถแยกออกได้เป็น 3 อัตรา (ซูชีพ อ้างถึงใน กฤษฎณ์ คงเจริญ , 2548 : 26) ได้แก่

1. อัตราตัดขาด (Cut Off Rate) สำหรับการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ อัตราตัดขาดที่ใช้คือ ค่าเสียโอกาสของทุนซึ่งจะเป็นอัตราที่สะท้อนถึงทางเลือกของสังคมโดยส่วนรวมระหว่างผลตอบแทนในปัจจุบันและอนาคต อัตรานี้จะเป็นอัตราผลตอบแทนของเงินทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินงาน ซึ่งจะเป็นผลตอบแทนเงินทุนหน่วยสุดท้าย แต่แนวคิดนี้ยังมีความยุ่งยากในการนำไปปฏิบัติเพราะไม่มีใครทราบว่าค่าเสียโอกาสของทุนจริงๆเป็นเท่าใด ทางออกตามข้อเสนอแนะของ Little and Mirrlees คือให้ใช้หลักประสบการณ์ในการเลือกอัตราส่วนลด หรือที่ Gittinger แนะนำให้ใช้ตาม Rule of Thumb คือให้ใช้อัตราส่วนลดร้อยละ 12 ต่อปี เป็นอัตราที่นิยมเลือกใช้กันทั่วไป ทั้งนี้เพราะประเทศต่างๆส่วนมากมีความเห็นว่าค่าเสียโอกาสของทุนในประเทศที่กำลังพัฒนาจะอยู่ระหว่างร้อยละ 8 - 15 ต่อปี ดังนั้นสำหรับประเทศไทยอัตราคิดลดในการวิเคราะห์โครงการทางด้านเศรษฐกิจในช่วงภาวะปกติมักใช้อัตราคิดลดร้อยละ 10 - 12 ต่อปี

2. อัตรากู้ยืม (Borrowing Rate) คืออัตรากู้ยืมที่ประเทศต้องจ่ายเพื่อที่จะใช้กับโครงการที่องค์กรคาดว่าจะต้องมีการกู้ยืมเงินจากแหล่งเงินทุนมาลงทุนในโครงการ

3. อัตราความชอบตามเวลาทางสังคม (Social Time Preference Rate) โดยทั่วไปอัตราคิดลดที่ใช้กับผลตอบแทนอนาคตต่อสังคมโดยรวมจะมีค่าต่ำกว่าอัตราคิดลดต่อบุคคล เพราะสังคมมีช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าบุคคล หมายความว่าอัตราคิดลดของโครงการสาธารณะจะมีค่าต่ำกว่าโครงการเอกชน

2.7 อายุโครงการ

อายุของโครงการคือ ช่วงเวลาที่โครงการยังคงให้ผลประโยชน์ ความหมายนี้อายุของโครงการจะขึ้นอยู่กับผลตอบแทนทางการเงินที่โครงการยังคงสามารถทำได้ หรือพิจารณาตามอายุการใช้งานของทรัพย์สินประเภททุน (Capital) ที่สำคัญต้องยึดเหตุผลทางวิศวกรรม (จิรชนม์ อ้างถึงใน กฤษฎณ์ คงเจริญ, 2548 : 27)

2.8 แนวคิดเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายของโครงการ

ค่าใช้จ่ายของโครงการตามแนวเศรษฐศาสตร์ หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตที่นำมาใช้กับโครงการ หรือหมายความว่า เป็นโอกาสที่ระบบเศรษฐกิจต้องเสียสละทรัพยากรให้กับโครงการนี้แทนที่จะนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น ซึ่งต่างจากค่าใช้จ่ายทางการเงินที่มีการจ่ายจริงเป็นตัวเงิน โดยค่าใช้จ่ายของโครงการแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายขั้นต้น (Primary Cost) เท่านั้น ซึ่งค่าใช้จ่ายดังกล่าว หมายถึง มูลค่าการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตเพื่อการลงทุนเพื่อดำเนินการและบำรุงรักษาโครงการจัดว่าเป็นค่าใช้จ่ายโดยตรงของโครงการ (Direct Cost) ซึ่งประกอบด้วย

1.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) คือมูลค่าของทรัพยากรที่ใช้ไปเพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกหรือเป็นฐานของระบบการผลิต โดยทั่วไปจะประกอบด้วย

- ที่ดิน และสิ่งก่อสร้าง
- ค่าสถานที่
- ค่าวิชาชีพวิศวกรที่ปรึกษา
- ค่าอุปกรณ์และวัตถุดิบ
- ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินการ เช่น ค่าการจัดการ ค่าการวิเคราะห์โครงการ

1.2 ค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost) คือมูลค่าของการใช้ทรัพยากร หรือปัจจัยในการผลิตที่ใช้ไปเพื่อดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการให้สามารถดำเนินการไปได้ตามปกติ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 3 ประเภท คือ

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง เช่น ค่าแรงงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าวัตถุดิบ
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารและดำเนินการ เช่น ค่าจ้างผู้ดูแลระบบ
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าภาษี ค่าประกัน

ในระยะเริ่มแรกของการดำเนินงานค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาจะมีจำกัดแต่เมื่อผ่านการใช้งานมาระยะหนึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการประมาณค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จึงมักจะนิยมประมาณเป็นค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะมีส่วนสอดคล้องกับปริมาณการผลิตและการดำเนินงาน

โดยในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้คิดต้นทุนในส่วน of ค่าใช้จ่ายในการลงทุนจากต้นทุนค่าอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศและค่าแรงงานในการติดตั้งระบบ ในส่วนของค่าดำเนินงานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในแต่ละปีตลอดอายุโครงการ 10 ปี กำหนดให้มีเท่ากับร้อยละ 0.5 ของมูลค่าการลงทุน

2. ค่าใช้จ่ายขั้นรอง (Secondary Costs) คือค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกิดขึ้นจากการมีโครงการซึ่งบางครั้งเรียกค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Costs) อาจจะถูกประกอบด้วยค่าใช้จ่ายทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายทางเศรษฐกิจที่ทำให้ทรัพยากรเกิดการสูญเสีย โดยเฉพาะการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ ต้องรวมเอาผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นภายนอกโครงการเข้ามารวมพิจารณาโครงการด้วย

3. ค่าใช้จ่ายที่ไม่มีตัวตน (Intangible Costs) ค่าใช้จ่ายของโครงการยังอาจแบ่งเป็นประเภทที่ไม่มีตัวตนและมีตัวตนก็ได้โดยค่าใช้จ่ายที่มีตัวตนได้แก่ค่าใช้จ่ายขั้นต้นและขั้นรองที่กล่าวมาแล้ว ส่วนค่าใช้จ่ายที่ไม่มีตัวตนได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่สัมผัสไม่ได้ เช่น โครงการที่เสนอมีผลกระทบต่อสุนทรียภาพ เป็นต้น

2.9 แนวคิดเกี่ยวกับผลประโยชน์ของโครงการ

ผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการ หมายถึง ผลประโยชน์ทั้งหมดของโครงการ โดยผลประโยชน์หรือผลตอบแทนของโครงการสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. ผลประโยชน์ทางตรง (Direct Benefit) หรือผลตอบแทนขั้นต้น (Primary Benefit) ซึ่งหมายถึง ผลอันเป็นเป้าหมายของโครงการหรือวัตถุประสงค์หลักของโครงการ โดยอาจเป็นผลประโยชน์ที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพ การลดต้นทุนจากการสูญเสีย โดยผลที่ได้จะมีส่วนช่วยให้วัตถุประสงค์ของโครงการมีค่าสูงขึ้น

ในการศึกษาครั้งนี้มีการคิดคำนวณผลประโยชน์ทางตรงของโครงการโดยคิดจากผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์หลักของโครงการ คือผลประโยชน์ที่ได้จากค่าพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นผลประโยชน์ทางตรงของโครงการจึงคิดได้จากมูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่โครงการสามารถประหยัดได้ (Energy Saved)

2. ผลประโยชน์ทางอ้อม (Indirect Benefit) หรือผลตอบแทนขั้นรอง (Secondary Benefit) โครงการเกิดเนื่องมาจากผลทางตรงชักนำให้เกิด โดยผลที่เกิดจากการประหยัดภายนอกหรือผลกระทบภายนอกทางด้านบวก (External Benefit) ของโครงการที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมหรือสังคมภายนอก

3. ผลประโยชน์ที่ไม่มีตัวตน (Intangible Benefit) คือส่วนผลประโยชน์ที่สัมผัสไม่ได้ เช่น ผลของโครงการที่กระทบต่อสุนทรียภาพ หรือความรู้สึก ซึ่งผลประโยชน์ประเภทนี้ไม่สามารถคิดเป็นมูลค่าได้

จากการศึกษางานวิจัยและโครงการด้านเศรษฐศาสตร์ทำให้ทราบถึงหลักเกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบของโครงการจะเน้นถึงผลตอบแทนที่ได้รับโดยรวมทั้งนี้สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบไม่ต้องปรับค่าของเวลาเป็นเกณฑ์การตัดสินใจ สำหรับโครงการลงทุนต่ำ ระยะสั้นไม่เกิน 1 ปี หรือเป็นโครงการที่ต้องการตรวจสอบอย่างคร่าวๆ

2. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนแบบปรับค่าของเวลาเป็นเกณฑ์การตัดสินใจ สำหรับโครงการระยะเวลามากกว่า 1 ปี ผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการจะเกิดขึ้นในระยะเวลาต่างๆกันตลอดอายุของโครงการ โดยทั่วไปสมการแบ่งเป็น 3 ประเภทโดยมีรายละเอียดของสมการดังต่อไปนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) คือจำนวนผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับตลอดระยะเวลาโครงการที่ได้ปรับค่าของเวลาแล้ว ซึ่งอาจจะมีค่าเป็นศูนย์ บวก หรือลบ ขึ้นอยู่กับมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม (Present Value Benefit : PVB) หักออกด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม (Present Value Cost : PVC) ของโครงการนั้น โดยมีหลักเกณฑ์การตัดสินใจที่ยอมรับโครงการคือต้องมีค่า NPV มากกว่าศูนย์ แสดงว่าจำนวนผลประโยชน์สุทธินั้นมีค่าเป็นบวก จะถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน

$$NPV = PVB - PVC \quad 2.5$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}; t = 1 \text{ ถึง } n \quad 2.6$$

เมื่อ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

PVB = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์

PVC = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

n = อายุของโครงการ (ปี)

t = ระยะเวลาของโครงการ (ปี) เมื่อ t = 1, 2, ..., n

B = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

i = อัตราดอกเบี้ย

2) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio , BCR) คือมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตลอดอายุของโครงการหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดอายุของโครงการ โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจยอมรับคือ BCR ต้องมากกว่าหนึ่งจึงถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุนแต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ คือโครงการใหญ่ที่มีผลตอบแทนสูงและย่อมมีค่าใช้จ่าย

สูง ดังนั้นแม้ BCR จะมีค่ามากกว่าหนึ่งแต่อาจจะ เกินไม่มาก ทั้งที่โครงการนี้อาจจะมีรายได้ทั้งหมดมากกว่าโครงการอื่นที่เล็กกว่าแต่มีค่า BCR สูงกว่าก็เป็นได้ กรณีเช่นนี้อาจทำให้การตัดสินใจผิดพลาดจึงควรมีการใช้เกณฑ์การตัดสินใจอย่างอื่นประกอบด้วย

$$BCR = PVB / PVC \quad 2.7$$

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n B_t / (1+i)^t}{C_0 / (1+i)^0} ; t = 1 \text{ ถึง } n \quad 2.8$$

3) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return , IRR) คือ ผลตอบแทนของเงินลงทุนตลอดอายุโครงการเป็นร้อยละ หรืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เกณฑ์การตัดสินใจลักษณะนี้มีความคล้ายคลึงกับการหาค่า NPV โดยเปลี่ยนจากอัตราดอกเบี้ย i มาเป็นอัตราคิดลด r โดยอัตราผลตอบแทนนั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Financial Internal Rate of Return และ Economic Internal Rate of Return

3.1 FIRR (Financial Internal Rate of Return) สำหรับวิเคราะห์โครงการทางการเงินเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทุน หรืออัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถ้า FIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยของเงินกู้ยืม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน

3.2 EIRR (Economic Internal Rate of Return) ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเสียโอกาสของทรัพยากรที่นำมาใช้ในโครงการหรืออัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงของสังคม ถ้า EIRR มีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงของสังคม ถือว่าโครงการนั้นคุ้มค่าต่อการลงทุน

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} ; t = 1 \text{ ถึง } n \quad 2.9$$

เกณฑ์การตัดสินใจที่จะยอมรับโครงการก็คือค่า r มีค่ามากกว่าค่าเสียโอกาสของ ทุน หรืออัตราดอกเบี้ยเฉพาะและค่า r ในที่นี้ก็คือค่า IRR นั้นเอง

โดยกำหนดให้

n = อายุของโครงการ (ปี)

t = ระยะเวลาของโครงการ (ปี) เมื่อ $t = 1, 2, \dots, n$

B = ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t

C = ต้นทุนของโครงการในปีที่ t

r = อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ NPV เท่ากับ 0

i = อัตราดอกเบี้ย

PVB = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์

PVC = ผลรวมมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กล่าวถึงอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งก็คือ มอเตอร์ที่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญของของเครื่องนำไปใช้ในเครื่องมือและระบบต่างๆ เช่น ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบอัดอากาศ ระบบสูบน้ำ เป็นต้น การอนุรักษ์พลังงาน โดยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ให้เกิดการประหยัดพลังงานและให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี ในที่นี้การดำเนินการครั้งนี้ได้กล่าวถึงการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่สำหรับอาคาร ดังนั้นหากมีการประหยัดพลังงาน ซึ่งระบบปรับอากาศมีอิทธิพลมากที่สุดเนื่องจากการใช้พลังงานงานไฟฟ้ามากถึงร้อยละ 50 – 70 ดังนั้นจึงได้มีการค้นคว้าวิธีการประหยัดพลังงานของการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

สิทธิชัย บุญปิยทัศน์ (2547) ได้นำเสนอวิทยานิพนธ์เรื่องการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการคืนพลังงานสลิปแบบเซอร์เบียสให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบสูงขึ้น โดยใช้อินเวอร์เตอร์ซ็อบเปอร์ทำงานในโหมดพัลส์วิดมอดดูเลชัน พร้อมทั้งลดฮาร์โมนิกของกระแสที่ไหลเข้าระบบ โดยนำกระแสจากอินเวอร์เตอร์ซ็อบเปอร์ป้อนเข้าสู่วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบบริดจ์คู่และส่งผ่านหม้อแปลงที่ต่อแบบเคลด้าสตาร์ สมรรถนะของระบบถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยการเพิ่มการควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ให้ตอบสนองต่อโหลดที่มากกระทบ การทำงานของระบบที่นำเสนอนี้แสดงให้เห็นโดยทำการทดสอบมอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำแบบวาล์วโรเตอร์ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ ควบคุมค่าสลิปให้อยู่ในย่าน 0.3-0.6 ทดสอบตั้งแต่สภาวะไร้โหลดจนถึงพิกัดโหลด

การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบควบคุมแรงบิดโดยตรงไร้เซนเซอร์วัดความเร็วรอบของ จริญญา สุริยะวิจิตรวงศ์ (2546) กล่าวถึงในปัจจุบันการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำได้มีการใช้เอ็นโคดเดอร์วัดความเร็วรอบมอเตอร์และไม่ใช้เอ็นโคดเดอร์วัดความเร็วรอบจะต้องออกแบบมารองรับเอ็นโคดเดอร์ด้วย ซึ่งทำให้มอเตอร์ราคาแพงกว่าปกติและต้องติดตั้งเอ็นโคดเดอร์ด้วย จึงได้วิจัยวิธีการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบควบคุมแรงบิดโดยตรงไร้เซนเซอร์วัดความเร็วรอบด้วยวิธีแบบจำลองอ้างอิง (Model Reference Adaptive System, MRAS) มาใช้ในการประมาณหาค่าความเร็วรอบมอเตอร์ ในส่วนของการควบคุมแรงบิดโดยตรงได้ใช้แบบจำลองกระแส (Current Model) และแบบจำลองแรงดัน (Voltage Model) หาค่าฟลักซ์คล่องสเตเตอร์ ตัว

ควบคุมแบบฮีสเตอร์ซิสของขนาดฟลักซ์เครื่องสเตเตอร์และแรงบิด ตารางสวิตช์เวกเตอร์แรงดัน และได้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ศึกษาพฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำในการควบคุมแบบแรงบิด โดยตรงไร้เซนเซอร์วัดความเร็วรอบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลของบอร์ด eZdsp™ TMS320LF2407/2407A ขนาด 16 บิต ทำหน้าที่ประมวลผลทางคณิตศาสตร์ในการทดสอบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำมีขนาด 1.1 kW กระแส 2.6 A แรงดัน 400V และความเร็วรอบ 1400 rpm

ยงยุทธ นารายณ์ (2545) กล่าวถึงการประยุกต์ใช้พีดีบลิวเอ็มไทรสเตอร์อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสลีปริง โดยอาศัยหลักการป้อนกำลังไฟฟ้าสลิปกลับคืนสู่แหล่งจ่ายเอซีไลน์ ซึ่งสามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในย่านที่ต่ำกว่าความเร็วรอบซิงโครนัส โดยการปรับอัตราการมอดหรือมุมเลื่อนเฟสของกระแสในลักษณะคลื่นพีดีบลิวเอ็ม ที่ถูกป้อนกลับไปยังเอซีไลน์ สัญญาณควบคุมทั้งหมดของกระแสในลักษณะคลื่นพีดีบลิวเอ็ม ซึ่งสามารถปรับอัตราการมอดและปรับเลื่อนมุมเฟสได้ที่ค่าต่าง ๆ จะสร้างจากไมโครโปรเซสเซอร์ โดยก่อนอื่นกระแสในลักษณะคลื่นพีดีบลิวเอ็มที่สร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่ สามารถปรับค่าอัตราการมอดและมุมเลื่อนเฟสนี้จะมีการพิสูจน์ความถูกต้อง โดยการนำไปเปรียบเทียบกับผลที่วิเคราะห์ทางทฤษฎี จากนั้น โดยการใช้คลื่นกระแสพีดีบลิวเอ็มนี้ในระบบขับเคลื่อนที่นำเสนอก็สามารถแสดง ให้เห็นว่าพีดีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ชนิดคอมมิวเตทแบบบั้งคั้งนี้สามารถให้ ช่วงของการปรับมุมเลื่อนเฟสที่กว้างกว่า กล่าวคือจาก 90 องศา ถึง 270 องศา เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมเลื่อนเฟสจาก 90 องศา ถึง 180 องศา ซึ่งเป็นกรณีของอินเวอร์เตอร์ทั่วไปแบบไลน์คอมมิวเตท คุณสมบัติดังกล่าวนี้ จะให้ข้อดีในเรื่องอินพุทเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบที่สามารถปรับปรุงให้มี ค่าสูงกว่า เนื่องจากที่ค่ามุมเลื่อนเฟสในช่วง 180 องศา ถึง 270 องศา นั้น ระบบที่นำเสนอนี้สามารถป้อนกลับคืนได้ทั้งกำลังไฟฟ้าแอมป์และกำลังไฟฟ้ารี แอมป์สู่เอซีไลน์ ในขณะที่ระบบสามารถป้อนกลับคืนสู่เอซีไลน์ได้เฉพาะกำลังไฟฟ้าแอมป์ในกรณีของไลน์คอมมิวเตทอินเวอร์เตอร์ทั่วไป ในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้ทำการคำนวณวิเคราะห์หาค่าปริมาตรต่าง ๆ ทั้งทางกลและทางไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อน เช่น ทอร์ค กำลังไฟฟ้าสลิปอินพุทเพาเวอร์แฟกเตอร์และประสิทธิภาพของระบบ เป็นต้น และผลที่ได้จากการคำนวณนี้ยังได้นำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อยืนยันความถูกต้อง ซึ่งปรากฏว่าได้ผลที่สอดคล้องกันและระบบที่นำเสนอนี้สามารถทำงานได้เป็นที่ น่าพอใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน (2528) นำเสนอการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมความเร็ว รอบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงความถี่ไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงความถี่ไฟฟ้าใช้การเปรียบเทียบสัญญาณระหว่าง

สามเหลี่ยมกับ สัญญารูปซายน์ หรือเรียกว่าการปรับตามความกว้างพัลส์ (PWM) เมื่อได้สัญญาณจากการเปรียบเทียบที่แยกเป็นสองเฟสแล้ว จึงนำไปเข้าสู่ชุดสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อขับมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส จากผลการทดสอบและปรับชุดสร้างสัญญาณให้เหมาะสมเพื่อขับมอเตอร์แล้ว ปรากฏว่าสามารถขับมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสได้ โดยไม่ต้องตัดขดลวดช่วยหมุนออก ถ้าหากค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดหลักและขดลวดช่วยหมุนมีค่าใกล้เคียงกัน การควบคุมความเร็วรอบจะมีเสถียรมากยิ่งขึ้น

วีรพล พรหมมา (2548) ได้ทำการวิเคราะห์มูลค่าทางการเงินจากการประหยัดพลังงานจากการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ของปั๊มระบบทำความเย็นแบบเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) ของโรงแรม ฮอลิเดย์ อินน์ สีลม ด้วยการติดตั้งชุดอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์จำนวน 3 เครื่อง กับมอเตอร์ขับปั๊มจำนวน 5 เครื่อง โดยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ 1 เครื่อง จะติดตั้งเพื่อควบคุมปั๊มน้ำจำนวน 2 เครื่อง แต่มอเตอร์ปั๊มจะถูกใช้งานที่ละเครื่องสลับกัน ซึ่งทำการเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าประกอบด้วย ค่ากระแส ความต่างศักย์ และความถี่ไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้กำลังงานสูงสุดในแต่ละวัน คือเวลา 19.00 น. ทั้งก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว นำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และคำนวณค่าตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ระยะเวลาการคืนทุน ผลตอบแทนการลงทุน และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ผลจากการวัดค่าทางไฟฟ้าและคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า พบว่าการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 20.17% และประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 99,000 kWh /year คิดเป็นเงินประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 249,000 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาการคืนทุนที่ 5.4 ปี ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 183% และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 2,232,000 บาท

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ สำหรับอาคารประเภทโรงแรมนั้นสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความต้องการพลังงานของปั้มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ (Chilled water pump) ขนาด 37 kW ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive :VSD) โดยจะทำการทดสอบหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสมกับระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษา แล้วนำมาคำนวณผลประโยชน์เพื่อใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน โดยจะใช้เกณฑ์การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในของ โครงการ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

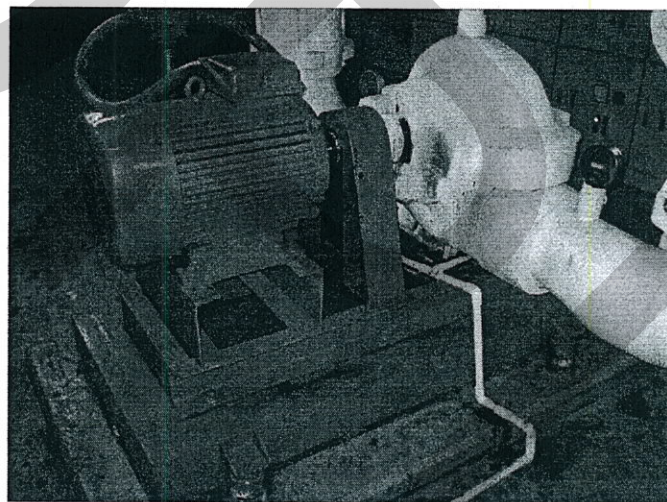
- 3.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นระบบปั้มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศของโรงแรม
- 3.2 ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสม
- 3.3 ขั้นตอนการศึกษาเครื่องมือวัดและโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้า
- 3.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลต้นทุนทางการเงินของโครงการ
- 3.5 ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล

3.1 ขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นระบบปั้มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษา

โรงแรมที่ทำการศึกษาคือโรงแรม โนวเทล โลดส์ ตั้งอยู่เลขที่ 1 ซ. แดงอุดม ถ.สุขุมวิท 33 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110 เป็นโรงแรมระดับ 4 ดาว ห้องพัก 224 ห้อง ดังรูปที่ 3.1 โดยศึกษาเฉพาะระบบปั้มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ ขนาด 37 kW ค่าแรงดันไฟฟ้า 380 V ช่วงความถี่ 50 Hz ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 อาคาร โรงแรมกรณีศึกษา



รูปที่ 3.2 ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศก่อนการติดตั้งระบบ VSD

3.2 ขั้นตอนการทดสอบค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสม

ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ขับเคลื่อนส่งน้ำเย็นในระบบปรับอากาศประเภททำน้ำเย็น (Water Chiller) สำหรับอาคารประเภทโรงแรมกรณีศึกษาเป็นระบบที่ควบคุมการทำงานโดยมนุษย์ (Manual) ซึ่งถูกนำมาใช้งานเป็นครั้งแรกเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำเย็นของระบบปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็นเกินกว่าความต้องการ (Over design) ของอาคาร ดังนั้นจึงจะต้องมีการทดสอบค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสม โดยจะใช้ VSD (Variable Speed

Drive :VSD) ทำการลดค่าความถี่วันละ 1 Hz ระหว่างค่าความถี่ 50 - 32 Hz พร้อมทำการตรวจวัด และเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบ

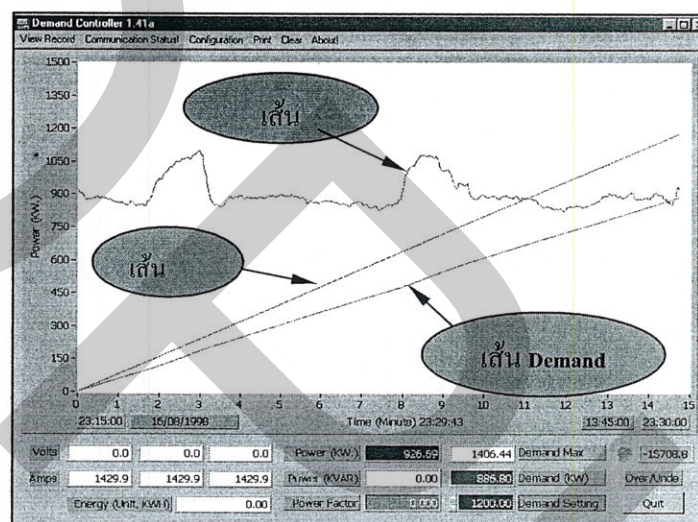
3.3 ขั้นตอนการศึกษาเครื่องมือวัดและโปรแกรมเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้า

ข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้าเป็นข้อมูลชนิดปฐมภูมิที่สามารถนำไปคำนวณผลการประหยัดพลังงานและมูลค่าการประหยัดจากโครงการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Varian Speed drive; VSD) ป้อนสู่นำเข้าของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะต้องเก็บข้อมูลในช่วงก่อนและหลังการติดตั้งระบบดังกล่าว ทั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลจะใช้วิธีการเก็บข้อมูลตามมาตรฐาน International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) แบบต่อเนื่องโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Energy Data Monitoring; EDM) ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์และชุดอุปกรณ์พลังงานไฟฟ้า ดังนี้

- โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจสอบและประมวลผลของค่าทางไฟฟ้าในขณะที่อุปกรณ์ทำงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และสามารถเก็บรวบรวมค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของอุปกรณ์ชนิดต่อเนื่องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การใช้พลังงานและสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ของ VSD ว่าควรมีการลดหรือเพิ่มความถี่ในการทำงานของอุปกรณ์ได้ในช่วงระยะเวลาใด โดยสามารถใช้ได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติคือ

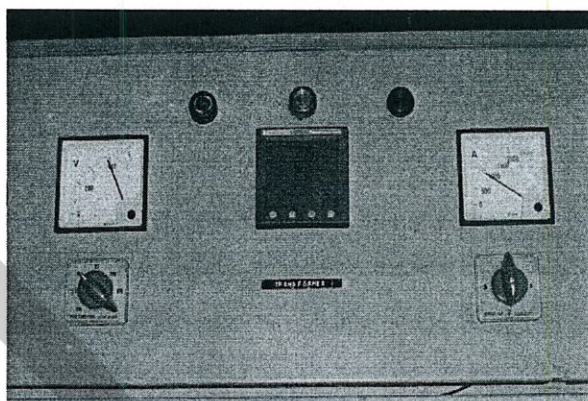
1. CPU. : Celeron 500MHz. (Up)
2. Memory : 64 MB. (Up.)
3. Hard Drive : 2 GB. (Up.) and FAT32
4. Display : Super VGA. (800 X 600)
5. Mouse : PS/2
6. OS : Windows 98SE/2000/XP
7. Software : Microsoft Office 97
8. Serial : RS-422/485

ทั้งนี้โปรแกรมดังกล่าวสามารถบันทึกและแสดงสภาพการใช้ไฟฟ้าได้ตลอด 1 เดือน มีความละเอียดสูงสุด 1 วินาที แสดงกราฟ คำนวณค่าไฟฟ้าได้ทั้งแบบ TOD, TOU หรือแบบปกติ และแสดงค่า Maximum Demand, Minimum Demand เวลาที่เกิด Maximum Demand ค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมด และค่า Load Factor ดังนั้นจึงสามารถนำค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ผลการประหยัดได้ ทั้งนี้โปรแกรมดังกล่าวจะต้องใช้คู่กับเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่กับตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (Main Distribute Board; MDB) ของระบบปรับอากาศ ซึ่งก็คือ เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Power meter) รุ่น PM 700

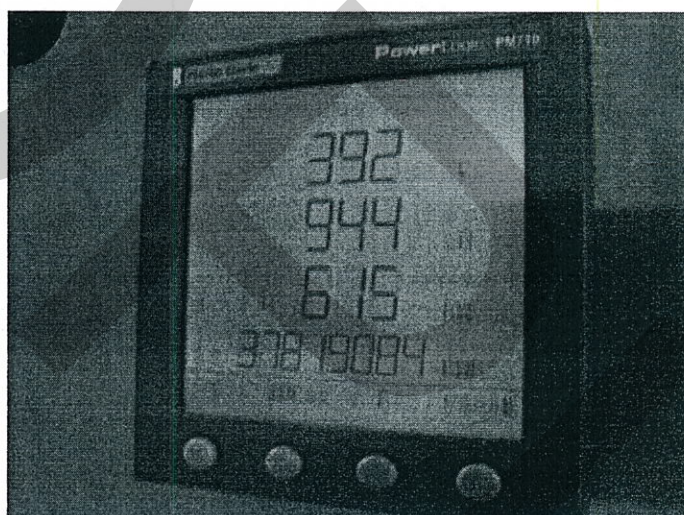


รูปที่ 3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM)

- เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Power meter) ยี่ห้อ Merlin Gerin รุ่น PM710 เป็นเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าประเภทติดตั้งถาวรที่ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า (MDB) ของระบบปรับอากาศทำหน้าที่ในการรับสัญญาณค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบซึ่งสามารถแสดงค่าได้ที่หน้าจอของอุปกรณ์และส่งค่าดังกล่าวไปเก็บรวบรวมที่ฐานข้อมูลของคอมพิวเตอร์ โดยจะต้องใช้ร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM) ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$



รูปที่ 3.4 การติดตั้ง Power meter ที่ตู้ MDB



รูปที่ 3.5 Power meter รุ่น PM 700

- ข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้าที่ดำเนินการบันทึก คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (kW) และค่าความถี่ (Hz) โดยข้อมูลดังกล่าวจะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้
- ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อปี (บาท/ปี)
- ค่าความถี่ใช้งานที่เหมาะสมกับปั๊มน้ำเย็น
- ค่าความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าและค่าความถี่
- ค่าความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าและค่าความเร็วรอบมอเตอร์

3.4 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลต้นทุนทางการเงินของโครงการ

ต้นทุนหรือรายจ่าย (Cost) ทางการเงินของโครงการประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน คือค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งระบบ และค่าดำเนินการ โดยสามารถแสดงถึงต้นทุนของโครงการในแต่ละส่วนดังนี้

1. ค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้ง (Investment Cost) คือ
 - 1) ค่าลงทุนระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นระบบปรับอากาศ
 - 2) ค่าแรงงานในการติดตั้ง
 - 3) ภาษีมูลค่าเพิ่ม
 - 4) ค่าติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่นๆ
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating) คือ
 - 1) ค่าพลังงานไฟฟ้าจากปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ
 - 2) ค่าแรงงาน
 - 3) ค่าอะไหล่ซ่อมแซม

3.4.1 ต้นทุนแรกเริ่มดำเนินการ

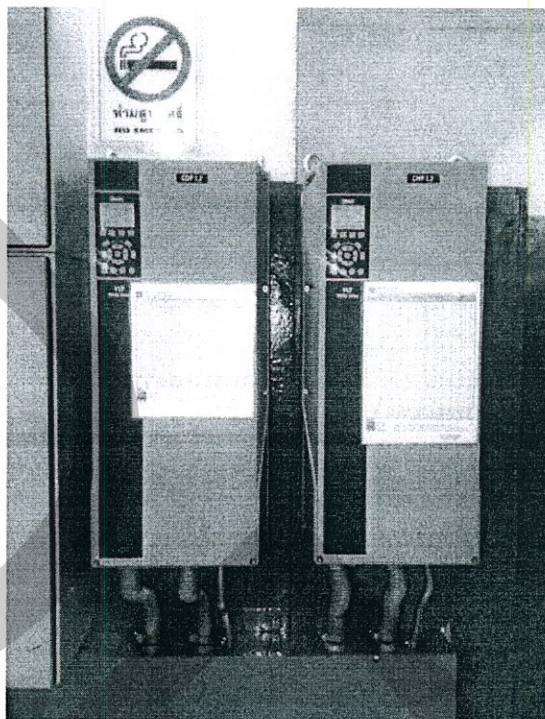
ต้นทุนแรกเริ่มดำเนินการ เป็นต้นทุนในการจัดซื้ออุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบและการติดตั้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาด และประสิทธิภาพการนำไปใช้งาน โดยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) ที่โรงแรมกรณีศึกษาได้เลือกติดตั้งก็คือยี่ห้อ Danfoss รุ่น VLT 6000 Series ที่มีการออกแบบให้เหมาะสมกับความต้องการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบปั้มน้ำเย็นของโรงแรมกรณีศึกษาซึ่งระบบควบคุมความเร็วรอบมีลักษณะดังนี้

- ขนาด 1.1-45 kW/220 VAC และ 1.1-450 kW 380-450 VAC
- ตัวอุปกรณ์ IP20/NEMA1 และกันฝุ่นกันน้ำ IP54/NEMA12
- อุปกรณ์มาตรฐานป้องกันฮาร์โมนิก, PID และอื่นๆ
- พอร์ตติดต่อสื่อสารมาตรฐาน RS485
- RAIL TIME CLOCK มีรูปแบบของการควบคุมสูงสุด 20 รูปแบบ โดยไม่ต้องใช้

แบตเตอรี่ Back UP

- การติดตั้งสายไฟระหว่าง VLT ถึง MOTOR ได้ถึง 300 เมตร

สำหรับค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์สำหรับติดตั้งกับปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศขนาด 37 kW ราคา 239,874.21 บาท สืบราคาอุปกรณ์จากบริษัท Danfoss Sp. z o.o. ul. Chrzanowska <http://www.danfoss.pl> e-mail: info@danfoss.pl



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ยี่ห้อ Danfoss รุ่น VLT 6000 Series



รูปที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ยี่ห้อ Danfoss รุ่น VLT 6000 Series

3.4.2 ต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

ต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้านั้นจะต้องรวบรวมข้อมูลในช่วงก่อนและหลังการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศเพื่อใช้ในการคำนวณหาผลประหยัด ซึ่งจะต้องใช้ค่าทางไฟฟ้าพื้นฐานในการคำนวณค่าใช้จ่าย ซึ่งรวบรวมข้อมูลได้โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM) ที่ใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าประเภทติดตั้งถาวรกับระบบปรับอากาศรุ่น PM500 สำหรับการใช้จ่ายไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการเช่าพักอาศัยโดยผ่านเครื่องหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียวนั้นจัดอยู่ในประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง มีการคิดค่าพลังงานไฟฟ้า ดังนี้

ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน = (จำนวนพลังงานไฟฟ้า x อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า) + ค่าบริการรายเดือน

ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) = จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft

ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % = (ส่วนที่ 1 + ส่วนที่ 2) x 7 %

รวมเงินค่าไฟฟ้าทั้งหมด = (ส่วนที่ 1 + ส่วนที่ 2 + ส่วนที่ 3)

ทั้งนี้ในการศึกษาจะใช้สมการที่ 3.1 สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าดังนี้

$$C_E = N \times P \times hr \times C \quad \dots\dots\dots 3.1$$

กำหนดให้

C_E	=	ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า
N	=	จำนวนปั๊มน้ำเย็นของปรับอากาศ
P	=	กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำเย็นของปรับอากาศ (kW)
t_0	=	เวลาการทำงานของปั๊มน้ำเย็นของปรับอากาศ (hr/day)
C	=	ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยขององค์กร (Bath/kWh)

3.4.3 การคำนวณผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการ

ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าอะไหล่อุปกรณ์ของระบบปรับอากาศสามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าของไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นระบบปรับอากาศ ดังสมการต่อไปนี้คือ

$$B_d = PC_e - PC_i \quad \dots\dots\dots 3.2$$

เมื่อ B_d = มูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้ในช่วงระยะเวลา 1 ปี

- PC_c = มูลค่าไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม
ความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นระบบปรับอากาศ
ในช่วงระยะเวลา 1 ปี
- PC_i = มูลค่าไฟฟ้าที่ใช้หลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม
ความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นระบบปรับอากาศ
ในช่วงระยะเวลา 1 ปี

3.5 ขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการวิเคราะห์ข้อมูล

โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มีการใช้เงื่อนไขเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

- 3.3.1 อัตราคิดลดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้อัตราส่วนลดร้อยละ 12 ต่อปี เนื่องจากเป็น
ค่าเสียโอกาสของทุนสำหรับประเทศไทย (สุทธิ อ้างถึงใน กฤษณ์ คงเจริญ, 2548 : 26) และ
กำหนดให้เป็นอัตราคงที่ตลอดอายุโครงการ
- 3.3.2 อายุโครงการ 15 ปีตามอายุการใช้งานขั้นต่ำของควบคุมความเร็วรอบปั้มน้ำระบบปรับ
อากาศ ตามที่ผู้ผลิตกำหนด
- 3.3.3 กำหนดให้มีการคิดคำนวณเฉพาะค่าใช้จ่ายขั้นต้นเท่านั้น คือ จะมีการคิดคำนวณ
ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการลงทุนจัดสร้างระบบและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา
เครื่องปรับอากาศ โดยไม่คิดรวมต้นทุนภายนอก (External Cost)
- 3.3.4 กำหนดให้มีการคิดคำนวณเฉพาะผลประโยชน์ทางตรงของโครงการจากผลประโยชน์ที่
เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์หลักของโครงการ คือมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลข้อมูล

การวิเคราะห์และการสรุปผลข้อมูลจะมุ่งเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับ
การใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศกับพลังงานที่ใช้ใน
ระบบว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้มูลค่าทาง
การเงินเป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่า ซึ่งการวิเคราะห์จะใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ค่าความเร็วรอบของปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ
2. ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง
3. ค่าความถี่ทางไฟฟ้า
4. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
5. อัตราผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน
6. อัตราผลตอบแทนภายใน

บทที่ 4

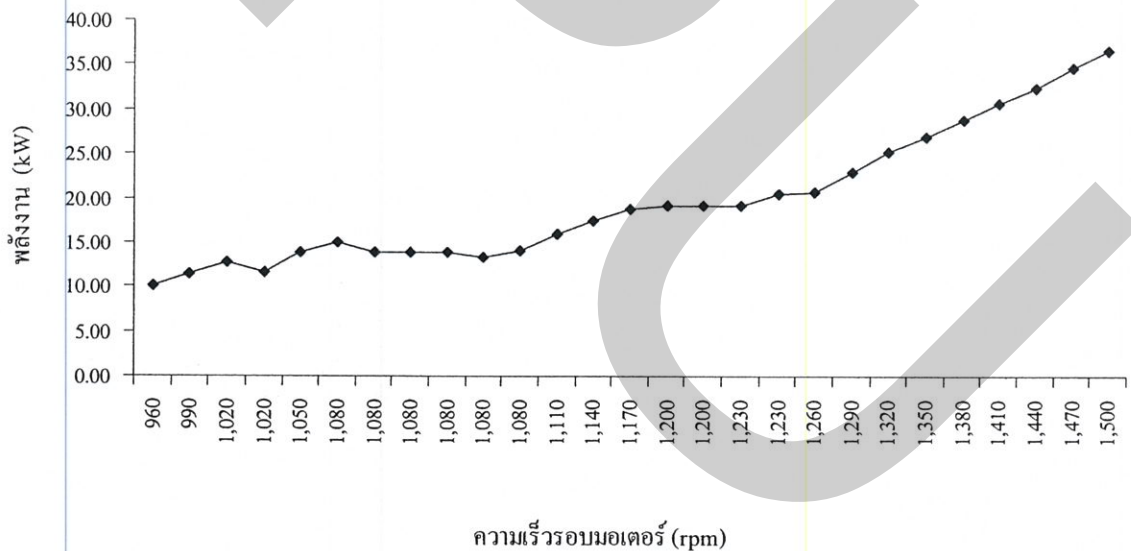
ผลการศึกษา

การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มส่งน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ สำหรับอาคารประเภทโรงแรมนั้นสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความต้องการพลังงานของปั๊มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ (Chilled water pump) ขนาด 37 kW ของโรงแรมกรณีศึกษาก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive :VSD) โดยจะทำการทดสอบหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสมกับระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษา แล้วนำค่าผลประโยชน์มาใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน โดยจะใช้เกณฑ์การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ โดยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลทางไฟฟ้าพื้นฐานเพื่อใช้คำนวณผลประโยชน์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM) รวบรวมข้อมูลและใช้ข้อมูลทางด้านต้นทุนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน โดยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่นำมาใช้งานนั้นมีอายุการใช้งาน 15 ปี ตามที่ผู้ผลิตกำหนด และใช้อัตราคิดลดสำหรับการวิเคราะห์ให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 12 ซึ่งเป็นค่าเสียโอกาสของทุนสำหรับประเทศไทย ซึ่งวิเคราะห์ผลการศึกษาดังนี้

1. ค่าความเร็วรอบของปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ
2. ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง
3. ค่าความถี่ทางไฟฟ้า
4. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์
5. ความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ

4.1 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับความเร็วมอเตอร์

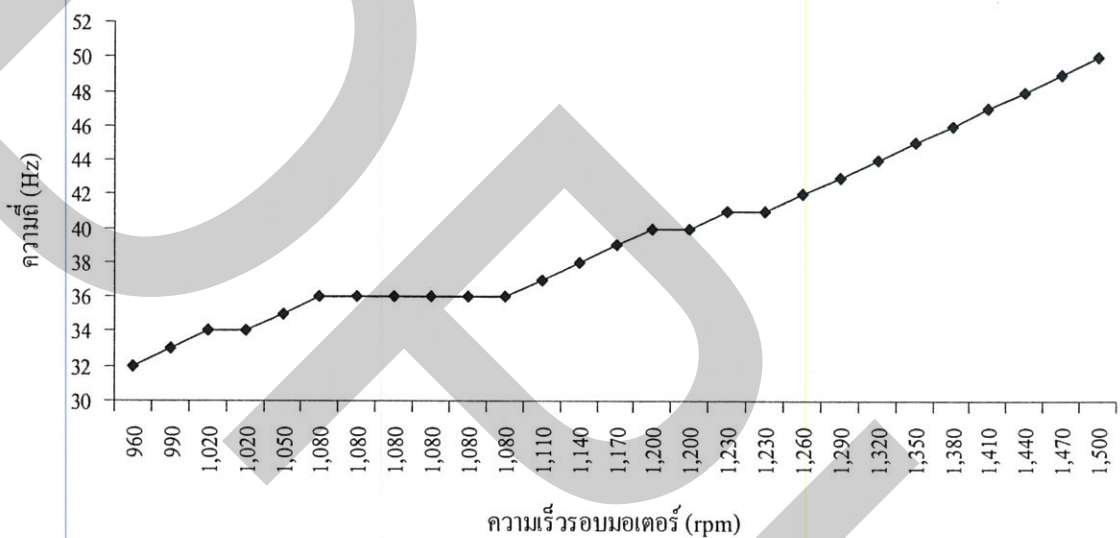
จากการทดสอบปรับเปลี่ยนความถี่ในช่วงเวลาในทดสอบจำนวน 30 วัน ระหว่างค่าความถี่ 50 Hz -31 Hz สำหรับอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ พบว่าเมื่อความเร็วมอเตอร์ปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศลดลงจะทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องสูบน้ำลดลงและความต้านทานในท่อจะไม่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากผลการตรวจวัดพบว่าเมื่อความเร็วมอเตอร์ลดลง 30 rpm หรือ 2 % ของความเร็วมอเตอร์ที่ 1500 rpm ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศจะลดลงเฉลี่ย 1.37 kW อย่างไรก็ตามหากปรับความถี่ให้ลดลงเกินกว่าระดับ 33 Hz หรือความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่า 990 rpm จะทำให้มอเตอร์ปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศไม่สามารถทำงานได้ ดังรูปที่ 4.2 จากการทดสอบพบว่าค่าการทำงานที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานคือที่ 33 Hz ที่ความเร็วมอเตอร์ 990 rpm. การใช้พลังงานอยู่ที่ 11.38 kW สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 68.97 % จากความเร็วมอเตอร์ปกติ ซึ่งเป็นไปจะเป็นไปตามกฎ Affinity Law ที่ว่าเมื่อสามารถเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์ หรือเครื่องสูบน้ำ เพื่อควบคุมปริมาณการไหล จะทำให้ปริมาณน้ำที่ผ่านเครื่องสูบน้ำด้วยแรงดันน้ำคงที่ โดยความต้านทานในท่อจะไม่เพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานที่ใช้จะลดลงตามทฤษฎี



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับความเร็วมอเตอร์

4.2 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ทางไฟฟ้ากับความเร็วรอบมอเตอร์

หลักการทำงานของ VSD นั้นจะอาศัยหลักการพื้นฐานของความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งจะแปรผันกับความถี่ทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปในมอเตอร์ ดังนั้นหากปรับความถี่ทางไฟฟ้าเสียใหม่ ก่อนป้อนเข้ามอเตอร์ มอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วรอบใหม่ที่ต้องการ จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าความถี่ทางไฟฟ้ากับความเร็วรอบมอเตอร์นั้นพบว่าเมื่อความถี่ลดลงจะส่งผลให้รอบการทำงานของมอเตอร์ลดลงตามไปด้วยซึ่งจำนวนความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ลดลงนี้มีค่าเท่ากับ 30 เท่าของค่าความถี่ ดังรูปที่ 4.2

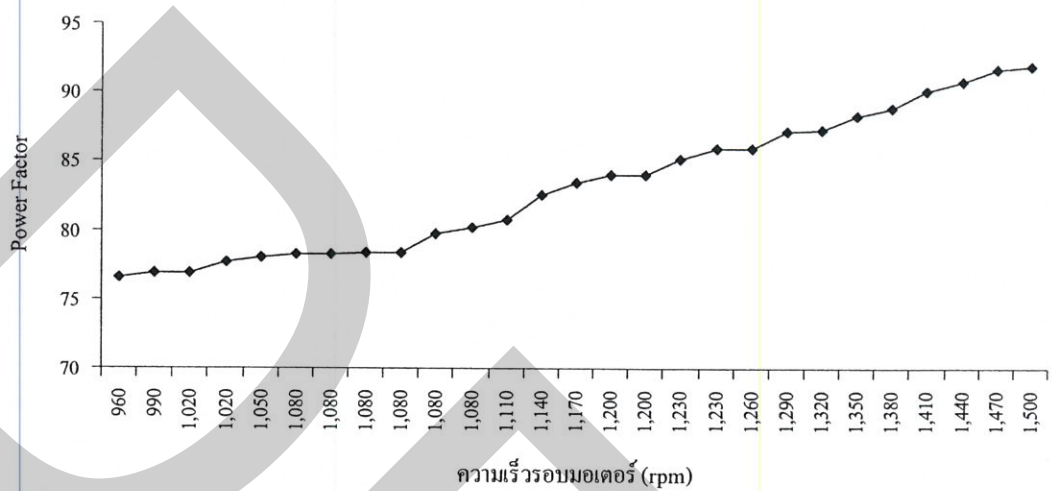


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่าความถี่ทางไฟฟ้ากับความเร็วรอบมอเตอร์

4.3 ความสัมพันธ์ของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์กับความเร็วรอบมอเตอร์

ความเร็วรอบลดลงทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ลดลง เป็นเพราะต้องใช้กระแสไฟฟ้า นำไปสร้างสนามแม่เหล็กเพิ่ม เนื่องจากต้องการให้มอเตอร์ทำงานได้ มิฉะนั้นมันจะทำงานต่อไปไม่ได้เพราะกระแสมีความถี่ลดลง จึงอาจจะทำให้มีแรงไม่พอที่จะเหนี่ยวนำให้มอเตอร์ปั้มน้ำ เพราะระบบ VSD จะทำหน้าที่ปรับความถี่เพราะควบคุมปริมาณการไหลของน้ำเย็น และเป็นการลดใช้พลังงาน ทั้งนี้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ความเร็วรอบใช้งานสูงสุดที่ค่าความถี่ 50 Hz มีค่าเท่ากับ 91.98 และค่าที่ความเร็วรอบใช้งานต่ำสุดที่ค่าความถี่ 32 Hz มีค่าเท่ากับ 76.55 ซึ่งมีค่าพิสัยของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และความเร็วรอบที่ใช้งาน เท่ากับ 15.43 และ 540 rpm ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3

ทั้งนี้พบว่าที่ค่าความถี่ 32 Hz ทำให้ความเร็วรอบต่ำเกินกว่าที่ปั้มน้ำเย็นจะทำงานได้จึงทำให้มีอัตราการไหลของน้ำน้อยมากและจะทำให้เกิดปัญหาการแข็งตัวของน้ำได้ ดังนั้นค่าความถี่ต่ำที่สุดที่ใช้งานได้ก็คือ 33 Hz

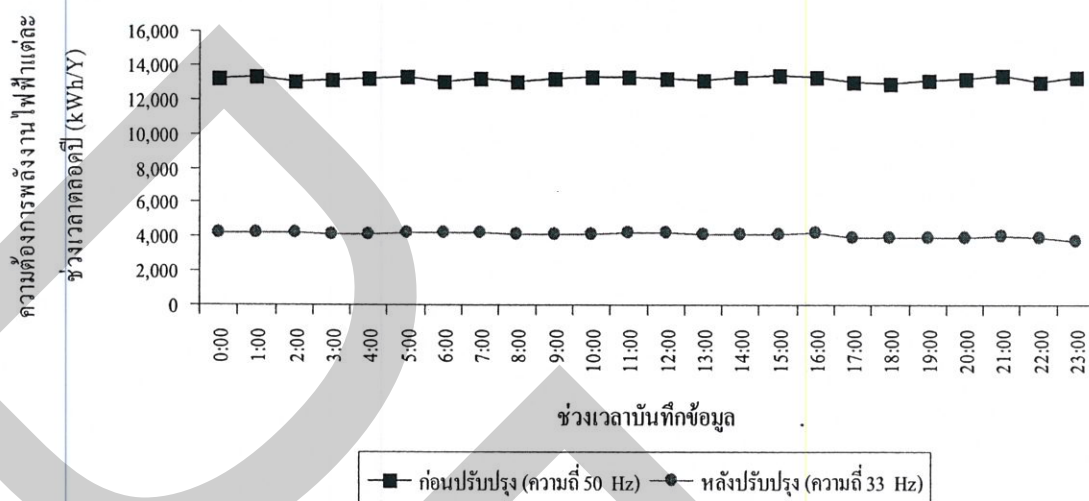


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์กับความเร็วรอบมอเตอร์

4.4 ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้ง VSD

ระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive : VSD) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมปริมาณการไหลของน้ำเย็นด้วยการลดความถี่ทางไฟฟ้าของปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ ซึ่งทำให้ค่าการใช้พลังงานลดลงตามกฎของ Affinity Law ทั้งนี้ตลอดระยะเวลา วันที่ทำการเก็บข้อมูลผลการทดสอบลดความถี่ของระบบทำให้ค่าการใช้พลังงานมีค่าลดลง โดยค่าความต้องการพลังงานก่อนการติดตั้งระบบ VSD นั้นปั้มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศจะมีค่าคงที่เนื่องจากการปรับหรือว่าถ่วงนั้นไม่ผลต่อการทำให้สภาวะอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งานลดลงเท่า นั้นจึงทำให้ความต้องการพลังงานมีค่าเต็มพิกัดของปั้มน้ำกรณีศึกษาที่มีค่าเฉลี่ย 36.67 kW ที่ค่าความถี่ทางไฟฟ้าเท่ากับ 50 Hz ทั้งนี้โรงงานทำงานวันละ 24 ชั่วโมง ดังนั้นตลอดทั้งปีจะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 316,828.8 kWh/year และเมื่อมีการติดตั้งระบบ VSD ที่ปั้มน้ำและทำการทดสอบโยลดความถี่ลงวันละ 1 Hz จนถึงที่ระดับ 32 Hz พบว่าปั้มน้ำเย็นไม่สามารถทำงานได้ที่ความถี่ระดับดังกล่าว จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าความถี่ซึ่งเป็นความถี่ต่ำสุดที่ปั้มน้ำสามารถทำงานได้คือ 33 Hz ซึ่งมีค่าความต้องการพลังงานเฉลี่ย 11.38 kW คิดเป็นมูลค่าทางพลังงานต่อปีเท่ากับ 98,323.2 kWh/year ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเลือกติดตั้งปั้มน้ำที่มีขนาดใหญ่เกินไป (Over design) ย่อมส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลือง

พลังงานและค่าใช้จ่ายไปและไม่ทำให้เกิดประโยชน์มากขึ้น โดยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับค่าความถี่ 50 และ 33 Hz สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้ง VSD

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าก่อนติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบนั้นมีความต้องการพลังงานสูงมากกว่าหลังติดตั้งถึงปีละ 218,505.6 kWh เนื่องจากการออกแบบระบบปรับอากาศในตอนแรกให้มีความใหญ่เกินกว่าความต้องการ (Over design) จึงไม่สามารถปรับเปลี่ยนใหม่ให้มีความเหมาะสมได้เนื่องจากระบบปรับอากาศยังไม่หมดอายุการใช้งาน ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบจะช่วยในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้

4.5 ความคุ้มค่าในการลงทุน

การวิเคราะห์ทางความคุ้มค่าของการลงทุน โครงการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ โดยทำการศึกษาค่าต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการ ในช่วงเวลาอายุโครงการ 15 ปี วิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของผลได้สุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนต่อทุน (BCR) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ณ ระดับคิดลดร้อยละ 12 ต่อปี โดยวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการซึ่งได้ผลดังนี้

4.5.1 ต้นทุนทางการเงินของโครงการ

ค่าลงทุนทางการเงินของโครงการในส่วนของการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศและค่าแรงงานในการติดตั้งระบบ ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายเริ่มแรกของโครงการรวมทั้งสิ้น 239,874 บาท โดยแสดงรายละเอียดของส่วนนี้ไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศ

ที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	Total
1	Danfoss VLT 6052 VSD 37kW, 380-480 V, 73 FLA	1 pc	105,615	105,615
	Option "Danfoss"FC 102P37K, VSD 37 kW			
2	Control Panel design for bypass VSD 37kW	1 lot	36,212	36,212
3	Wiring and raceway (1 VSD control 1 pumps) 6 m. distance	1 lot	54,854.50	54,854.50
4	Overhead & Profit			27,500
	รวมต้นทุนการติดตั้ง			224,182
	ภาษี (7%)			15,692.71
	รวมทั้งสิ้น			239,874.21

ที่มา : บริษัท Danfoss Sp. z o.o. ul. Chrzanowska

ทั้งนี้จากการตรวจวัดค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Varian Speed drive ; VSD) โดยเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Energy Data Monitoring (EDM) ซึ่งเก็บข้อมูลพื้นฐานทางไฟฟ้า ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดัน ความถี่ไฟฟ้า ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ พลังงานไฟฟ้า และสามารถนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง

กรณีที่พิจารณา	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (kWh/year)
ก่อนการติดตั้ง VSD	316,828.8
หลังการติดตั้ง VSD	98,323.2

4.5.2 ผลประโยชน์ทางการเงินเมื่อมีการปรับเปลี่ยนอย่างเหมาะสม

ผลตอบแทนหรือผลประโยชน์ (Benefit) ทางการเงินของโครงการ คือมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Energy Saved) โดยผลประโยชน์นี้สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบมูลค่าที่ใช้ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นระบบปรับอากาศ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากการผลการศึกษาพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นระบบปรับอากาศ ในช่วงระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 316,828.8 kWh และ 98,323.2 kWh ตามลำดับ และนำมาคิดมูลค่า โดยใช้อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของสถานประกอบการที่ราคาหน่วยละ 2.8 บาท ได้มูลค่า 887,120.64 บาทต่อปี และ 275,304.96 บาทต่อปี ตามลำดับ โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำรุงรักษาและเปลี่ยนอะไหล่ของระบบ ดังนั้นมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้จึงมีค่าเท่ากับ 611,815.68 บาทต่อปี อันเป็นผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการที่เกิดขึ้นในแต่ละปีตลอดอายุโครงการ 15 ปี

4.5.3 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน

จากการวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ 3 ตัว คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) และ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) ตามสมการที่กำหนดไว้พบว่าโครงการมีความเป็นไปได้ทางการเงิน คือโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,456,880.96 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 15.41 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 255.15% ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ จากตัวชี้วัดแต่ละตัว ได้ดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ของโครงการมีมูลค่าเท่ากับ 3,456,880.96 บาท หมายความว่า การลงทุนในโครงการเมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีมูลค่าในปัจจุบันของผลตอบแทนที่หักลบกับต้นทุน แล้วมีมูลค่าเท่ากับ 3,456,880.96 บาท ซึ่งแสดงว่าโครงการนี้สมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่ได้รับผลตอบแทนมากกว่าต้นทุนและมีค่า NPV มากกว่า 0

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 15.41 หมายความว่า การลงทุนในโครงการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศ เมื่อสิ้นสุดโครงการแล้วจะมีอัตราส่วนของผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุนที่ปรับให้เป็นมูลค่าในปัจจุบันแล้ว 15.41 เท่า ซึ่งแสดงว่าโครงการสมควรที่จะลงทุนเพราะเป็นโครงการที่มีค่า BCR มากกว่า 1

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) ของโครงการมีค่าเท่ากับ 255.15% หมายความว่าค่าเสียโอกาสของเงินทุนที่นำมาใช้ในการลงทุนในโครงการ สามารถเพิ่มขึ้นได้ 255.15% โครงการจึงจะให้ผลตอบแทนที่มากกว่าต้นทุน

ตารางที่ 4.3 ต้นทุน – ผลประโยชน์ทางการเงินของโครงการ

ปีที่	ต้นทุน	ผลประโยชน์	อัตราคิดลด (12.00%)	มูลค่าปัจจุบันของ ต้นทุน (PVC)	มูลค่าปัจจุบันของ ผลประโยชน์ (PVB)
0	239,874.21	0	1	239,874.21	239,874.21
1	0	611,815.68	0.89290	0.00	546,290.22
2	0	611,815.68	0.79720	0.00	487,739.46
3	0	611,815.68	0.71180	0.00	435,490.40
4	0	611,815.68	0.63550	0.00	388,808.86
5	0	611,815.68	0.56740	0.00	347,144.22
6	0	611,815.68	0.50660	0.00	309,945.82
7	0	611,815.68	0.45230	0.00	276,724.23
8	0	611,815.68	0.40390	0.00	247,112.35
9	0	611,815.68	0.36060	0.00	220,620.73
10	0	611,815.68	0.32200	0.00	197,004.65
11	0	611,815.68	0.28750	0.00	175,897.01
12	0	611,815.68	0.25670	0.00	157,053.09
13	0	611,815.68	0.22920	0.00	140,228.15
14	0	611,815.68	0.20460	0.00	125,177.49
15	0	611,815.68	0.18270	0.00	111,778.72
รวม (บาท)				239,874.21	3,696,755.17
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ : NPV (บาท)					3,456,880.96
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน : BCR					15.41
อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ : IRR (%)					255.15%

จากการศึกษาค่าความถี่ที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศของโรงแรมแห่งนี้พบว่ามีค่าเท่ากับ 33 Hz ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบมีค่าเท่ากับ 960 rpm อันเป็นค่าต่ำที่สุดที่มอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ เมื่อนำมาคำนวณผลการประหยัดเพื่อใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินพบว่าโครงการนี้ความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,456,880.96 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 15.41 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 255.15% ในช่วงเวลาของอายุโครงการ 15 ปี ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 12.00 ต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษานั้นมีขนาดการทำความเย็นมากกว่าภาระโหลดที่ต้องการจนเกินสภาวะความสบายของผู้ที่ใช้งาน ซึ่งก่อนทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะแก้ไขปัญหาโดยการปรับหัวที่หน้าปั๊มหรือใช้วิธี Bypass Valve เพื่อควบคุมปริมาณน้ำเย็นเพื่อปรับสภาวะความสบายให้กับผู้ใช้งานอันทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ไขให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการนำระบบควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive : VSD) การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้าไปในระบบปรับอากาศย่อมส่งผลให้มีต้นทุนลงทุนในการติดตั้ง ซึ่งเมื่อติดตั้งแล้วจึงจำเป็นที่จะต้องประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อให้โรงแรมอื่นนำไปใช้เป็นแนวทางในการตั้งมาตรการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจากการใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศสำหรับอาคารประเภทโรงแรมนั้นสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความต้องการพลังงานของปั๊มน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ (Chilled water pump) ขนาด 37 kW ของโรงแรมกรณีศึกษาก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Variable Speed Drive :VSD) โดยจะต้องทำการทดสอบหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ระดับความถี่ที่เหมาะสมกับระบบปรับอากาศของโรงแรมกรณีศึกษาซึ่งจากการทดสอบพบว่าความถี่ที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศของโรงแรมแห่งนี้มีค่าเท่ากับ 33 Hz ซึ่งจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับปั๊มส่งน้ำเย็นมีค่าเท่ากับ 960 rpm อันเป็นค่าต่ำที่สุดที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ แล้วนำมาคำนวณผลการประหยัดเพื่อใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน โดยจะใช้เกณฑ์การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนจาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ โดยอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบที่นำมาใช้งานนั้นมีอายุการใช้งาน 15 ปี ตามที่ผู้ผลิตกำหนด และใช้อัตราคิดลดสำหรับการวิเคราะห์ให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 12 ซึ่งเป็นค่าเสียโอกาสของทุนสำหรับประเทศไทย

5.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ พบว่าโครงการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,456,880.96 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 15.41 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 255.15%

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการดำเนินโครงการการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุนที่ค่าเสียโอกาสของทุนสำหรับประเทศไทยคงที่ร้อยละ 12.00 ต่อปี

ทั้งนี้การนำระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำเย็นของระบบปรับอากาศมาใช้งานภายในโรงแรมกรณีศึกษานั้นให้ประโยชน์อย่างมากในเรื่องของการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นมาตรการสำหรับโรงแรมอื่นที่มีปัญหาในเรื่องของการออกแบบระบบปรับอากาศให้มีขนาดใหญ่เกินกว่าความต้องการ (Over design) แต่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนใหม่ให้มีขนาดเหมาะสมได้เนื่องจากระบบปรับอากาศยังไม่หมดอายุการใช้งาน ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์นี้ในระบบก็เป็นการช่วยลดพลังงานและค่าใช้จ่ายลงได้

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ปั๊มน้ำเก่ามีอายุการใช้งานแล้วและต้องเปลี่ยนปั๊มน้ำใหม่ ควรมีการเลือกขนาดปั๊มน้ำที่มีขนาดที่เหมาะสมกับภาระการใช้งานจริงไม่ควรติดตั้งระบบที่มีขนาดใหญ่เกินไปเนื่องจากจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติม

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิเคราะห์ค่าทางการเงิน

การวิเคราะห์ถึงค่าความอ่อนไหวของโครงการเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เพื่อศึกษาโครงการในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลง (Dynamic) อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอน (Uncertainty) และความเสี่ยง (Risk) เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งความไม่แน่นอนเหล่านี้เกิดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความไม่แน่นอนของภาวะเศรษฐกิจ ความไม่แน่นอนทางนโยบายทางการเงินของประเทศ เป็นต้น

จากความไม่แน่นอนของอนาคตและมีความเสี่ยงในปัจจัยต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้น อันจะเป็นผลกระทบต่อต้นทุนและผลประโยชน์ได้ ถ้าต้องการให้โครงการมีความน่าเชื่อถือได้ในระยะยาว ควรมีการประเมินความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนด้วยจึงจะนำลงทุนมากยิ่งขึ้น

5.3.2 ข้อเสนอแนะการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

การใช้พลังงานในอาคาร ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบปรับอากาศและมีศักยภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระดับสูง การประหยัดไฟฟ้านั้นสามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีต่างๆ ทั้งมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนและต้องลงทุน ซึ่งผลการดำเนินการจะไม่มีผลกระทบต่อภาวะสำคัญที่ต้องการ แต่สามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยมีวิธีการประหยัดดังนี้

1) การปรับปรุงในส่วนของงานสถาปัตยกรรม

ในส่วนต่างๆของอาคารมีความสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศเป็นอย่างมาก หากมีการปรับปรุงในส่วนต่างๆของอาคาร โดยให้ความร้อนเข้ามาในห้องน้อยที่สุด เพื่อไม่ให้มีการสะสมความร้อน อันจะเป็นภาระสำหรับระบบปรับอากาศ ซึ่งมีแนวทางดังต่อไปนี้

1.1 ผนังภายนอกอาคาร ควรทาสีขาวหรือสีอ่อน เพื่อช่วยในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ เป็นการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร และควรมีการปลูกต้นไม้เพื่อกันแสงอาทิตย์ อาคารที่ปรับอากาศควรหลีกเลี่ยงการมีกระจกรับแสงในทิศตะวันตกมากเกินไป แต่ทั้งนี้หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ควรมีมู่ลี่เพื่อบังความร้อน

1.2 ผนังภายในอาคาร ควรใช้ฉนวนกันความร้อนบุผนังอีกชั้นหนึ่งเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร สำหรับเพดานภายในห้องก็ควรบุฉนวนกันความร้อนด้วยเช่นกัน ซึ่งห้องปรับอากาศที่บุฉนวนนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้และลดการสึกหรอรวมทั้งประหยัดค่าซ่อมแซมเครื่องปรับอากาศอีกด้วย

1.3 การบังแสง การบังแสงจากนอกรอาคาร จะสามารถลดการส่งผ่านความร้อนจากภายนอกอาคารได้มากกว่าการใช้ม่านหรือมู่ลี่กันแสงภายในอาคาร การบังแสงจากภายนอกอาคารสามารถใช้กันสาด โดยในประเทศไทยนั้นควรใช้กันสาดแนวนอนด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก และใช้กันสาดในแนวตั้งด้านทิศเหนือ และได้

2) การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

2.1 การปรับตั้งอุณหภูมิให้มีความเหมาะสมและอย่าปรับให้มีอุณหภูมิต่ำเกินไป เพราะนอกจากจะสิ้นเปลืองพลังงานแล้วยังมีผลต่อสุขภาพของผู้อาศัยอีกด้วย ทั้งนี้ควรปรับให้อยู่ที่ 26 °C

2.2 หมั่นทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศที่อยู่ด้านหลังของอากาศ ควรถอดออกมาทำความสะอาดอย่างน้อยเดือนละครั้ง การทำความสะอาดใหญ่ทั้งเครื่องควรให้ช่างถอดออกมาล้างปีละ 1 ครั้ง

2.3 การปิด-เปิด เครื่องปรับอากาศ ในช่วงที่อากาศไม่ร้อนจัด ควรปิดเครื่องปรับอากาศ เปิดหน้าต่างให้ลมถ่ายเท นอกจากจะเป็นการประหยัดพลังงานแล้ว ยังเป็นการถ่ายเทเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ภายในห้องระบายออกไปอีกด้วย

2.4 การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่แทนเครื่องเก่าที่มีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากใช้งานมานาน และควรมีการพิจารณาให้เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

2.5 ก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศให้เปิดพัดลมระบายอากาศออกไปก่อนเพื่อให้อากาศร้อนภายในห้องระบายออกไปก่อน และหลังจากเปิดเครื่องปรับอากาศให้ปิดพัดลมระบายอากาศเนื่องจากป้องกันไม่ให้อากาศเย็นถูกระบายออกไป

2.6 การติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้ถูกต้องตามมาตรฐาน เช่น ขนาดท่อสารทำความเย็นควรมีความยาว 5-10 เมตร การติดตั้งคอนเดนเซอร์ในระบายนได้สะดวก จะเป็นการช่วยให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำงานได้ดียิ่งขึ้น

3) การรณรงค์สร้างจิตสำนึกให้แก่ผู้พักอาศัยและพนักงานอาคาร

3.1 การติดป้ายรณรงค์ และวิธีการประหยัดพลังงานที่ทำได้ง่ายในอาคารพักอาศัย เพื่อให้ความรู้แก่ผู้พักอาศัย

3.2 เผยแพร่ความรู้การทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ พร้อมทั้งผลประโยชน์ที่จะได้รับแก่ผู้พักอาศัยเพื่อดึงดูดความสนใจให้ต้องการปฏิบัติ

3.3 ควรมีโครงการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศด้วยการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศทุกเครื่อง นอกจากนี้การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ยังเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานและยืดอายุการใช้งานอีกด้วย

5.3.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไป

การใช้พลังงานทางอ้อมในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่อันเกิดจากการออกแบบระบบให้มีขนาดใหญ่กว่าความต้องการใช้งานที่แท้จริง (Over Design) และก่อให้เกิดการใช้พลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์จึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ไขเพื่อก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายแก่องค์กร โดยผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเรื่อง แนวทางการลดใช้พลังงานทางอ้อม (Passive Energy used) ที่เกิดจากการออกแบบ Over Design และเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ได้ดังนี้

1) ศึกษาแนวทางการลดใช้พลังงานทางอ้อมที่เกิดจากการออกแบบ Over Design ของระบบประกอบอาคารต่างๆ เช่น ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบลิฟท์ ระบบปั้มน้ำสุขาภิบาล ระบบบำบัดน้ำเสีย ฯลฯ

2) ศึกษาแนวทางการออกแบบระบบประกอบอาคารให้มีขนาดพอเหมาะตรงตามมาตรฐานและเพื่อเฉพาะค่าที่จำเป็น เช่น ค่าความปลอดภัย

3) ศึกษามูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุการใช้งาน (Life cycle cost) ของระบบที่ออกแบบ Over Design สำหรับอาคารกรณีศึกษาต่างๆ

4) การศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศขณะที่มีพัดลมช่วยกระจายความเย็น โดยทำการทดสอบใช้พัดลมร่วมกับระบบปรับอากาศภายในห้อง พิจารณาจากการใช้ปัจจัยของความเร็วเพื่อทดแทนอุณหภูมิ ตัวแปรที่สำคัญคือ อุณหภูมิที่สามารถปรับเพิ่มได้โดยไม่ต้องส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน

5) การศึกษาแนวทางการควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์เพื่อการพัฒนาแบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิของระบบปรับอากาศที่คอนเดนเซอร์จะทำให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีค่า EER ที่สูง อีกทั้งการใช้พลังงานก็ยังน้อยลงรวมถึงสามารถลดการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบ Over Design ได้อีกด้วยเพราะระบบจะเย็นแบบเต็ม Btu/h นั้นเอง

6) การพัฒนาเทอร์โมสแตทแบบประหยัดพลังงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงผลของการใช้เทอร์โมสแตทต่อการใช้พลังงาน โดยการพัฒนาเทอร์โมสแตทที่สามารถควบคุมการตัดต่อของระบบปรับอากาศที่แม่นยำและป้องกันการเกิด Passive Energy อันเนื่องมาจากการควบคุมระบบ นอกจากนั้นยังสามารถพัฒนาให้เทอร์โมสแตทสามารถลดค่า Work Ratio ลงได้ในช่วงที่คนยอมรับได้อีกด้วย

7) การศึกษาถึงประสิทธิภาพของการปรับอากาศโดยใช้คอมเพรสเซอร์ที่มีการซ่อมแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ในเครื่องปรับอากาศ” โดยทดสอบเทียบค่าการใช้งานระหว่างคอมเพรสเซอร์ที่ชำรุด และมอเตอร์ใหม่ ซึ่งจะพิจารณาใช้พลังงานเป็นหลักรวมไปถึงปัจจัยความเร็วด้านลมจ่าย (Supply Air) และความเร็วด้านลมกลับ (Return Air) และอุณหภูมิภายในห้อง ตัวแปรที่สำคัญคือ ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ที่เปลี่ยนไปจากการพันมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ใหม่มีความแตกต่างกันหรือไม่ และมากน้อยอย่างไร

8) ประเมินค่าการใช้พลังงานทางอ้อมที่เกิดจากการขาดการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ เนื่องมาจากทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบมีค่าลดลง

พ.ร.บ.

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (ม.ป.ป.). การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพฯ : ผู้แต่ง.
 การไฟฟ้านครหลวง. (2551). ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสายส่ง
ไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : วิสมา เอเชีย จำกัด.
- ชูญาดา เส็งโสตะ. (2547). **สูตร & ฟังก์ชัน Excel ฉบับใช้งานจริงในสำนักงาน**. กรุงเทพฯ : เฟสท์
 ออฟเซต (1993) จำกัด.
- วัชระ มั่งวิฑิตกุล. (2550). **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและ
 โรงงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : สามลดา.
- วันชัย ริจิรวนิช และชอุ่ม พลอยมีค่า. (2550). **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์
 มหาวิทยาลัย.
- วีรศักดิ์ บุญทน. (2550). **การทำความเย็น**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วุฒิสักดิ์ ธรรมบัญญัติ และคณะ. (ม.ป.ป.). **การควบคุมแบบป้อนกลับสเตทของเครื่องปรับอากาศ
 ที่ใช้คอมเพรสเซอร์แบบเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ** (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ :
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศุภชัย ปัญญาวีร์ และจตุพร สถากุลเจริญ. (2549). **คู่มือการลดต้นทุนผลิตด้านพลังงาน**. กรุงเทพฯ
 : ส.ส.ท.
- สุวัฒน์ กุลชนปรีดา. (ม.ป.ป.). **การศึกษาการควบคุมขั้นต้นเพื่อการประหยัดพลังงานของ
 เครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ที่เปลี่ยนความเร็วรอบได้** (รายงานการวิจัย).
 กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
 เหนือ.

วิทยานิพนธ์

- กฤษณ์ คงเจริญ. (2548). การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนโครงการผลิตน้ำร้อนด้วยระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโรงพยาบาลแกลง จังหวัดระยอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จรรยา สุริยะวิจิตรวงศ์. (2546). การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบแรงบิดโดยตรงไร้เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ทองศักดิ์ ภูมิอาจ. (2549). การศึกษาผลการใช้พลังงานทางอ้อมของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ธีรพล ต้นสัจจา. (2544). กรณีศึกษาเรื่องระบบการจัดการการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศชนิด Package Water Cooled ในการบริหารอาคาร. การศึกษาโครงการเฉพาะเรื่องปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- บรรพต ประภาศิริ. (2542). การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศโดยการใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิและการบำรุงรักษาเบื้องต้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปรุ่งศักดิ์ อัดพูน. (2549). การประเมินหารูปแบบการจัดการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ปิ่นอนงค์ รัตนปทุมวงศ์. (2546). การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยบริการและต้นทุนกิจกรรมการพยาบาลผ่าตัดงานห้องผ่าตัดโรงพยาบาลระนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาพยาบาลศาสตร์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัฐศักดิ์ อัดพูน. (2541). การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ. รายงานการศึกษาค้นคว้าพิเศษประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สิทธิชัย บุญปัทสน์. (2547). การควบคุมระบบการกินพลังงานสลิปเพื่อใช้ปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาล์วโรเตอร์ให้มีสมรรถนะสูงโดยใช้อินเวอร์เตอร์ช้อปเปอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บทความ

ชาติรี บำานเกาะและคณะ. (2548, ม.ค.-มี.ค.). “การการประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศทั่วไปด้วยอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว.” วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 28, 1, หน้า 29

สุนันท์ถณี กลิ่นคล้ายกัน และคณะ. (2545, เม.ย.-มิ.ย.). “การหาเอกลักษณ์และการควบคุมเครื่องปรับอากาศที่ใช้คอมเพรสเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ.” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 12, 2, หน้า 38

สุมาลี โหมยิตาพันธุ์. (ม.ป.ป.). “ข้อควรระวังและข้อสังเกตในการใช้ VSD ในระบบปรับอากาศ.” สหกรรมวิศวกรรม, 9, หน้า 58-66

อุดม ชมชาญและคณะ. (2530, 1 มี.ค.). “เครื่องฟอกอากาศกับการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียในอากาศของห้องผ่าตัด”. สหกรรมออร์โธปิดิกส์แห่งประเทศไทย, 12, 1, หน้า 31-36

สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

กองวิจัยและพัฒนา ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง. (มกราคม 2549). สนามไฟฟ้าและ สนามแม่เหล็ก. สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2553, จาก www.mea.or.th

การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและวิธีการควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด. (14 พฤษภาคม 2553). สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2553. จาก

<http://www.smarttechthai.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538713655>

แนวทางปฏิบัติเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรมของเอเชีย. (ม.ป.ป.) เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า: เครื่องสูบลมและระบบสูบลม. สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2553, จาก www.energyefficiencyasia.org

- บริษัท ไทนามิก จำกัด. (ม.ป.ป.). การอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ VSD ในระบบทำความเย็น. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2550, จาก www.tinamics.com
- พีรพงศ์ ลิ้มประสิทธิ์วงศ์. (2546, 8 กรกฎาคม). การประหยัดพลังงานโดยการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์. สืบค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2550, จาก www.9ENGINEER/au-main/PREVES/ENERGY-SAVING-FOR-FAN-TH.PDF

เอกสารอื่น

- วีรพล พรหมมา. (2548). การวิเคราะห์มูลค่าทางการเงินและการประหยัดพลังงานจากการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ของปั๊มในระบบทำความเย็น. ครงงานวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. จังหวัดพิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- เอกภัทร ชื่นจิตกวิน และวีรพงศ์ พจน์เลิศอรุณ. (2546). การศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในห้องปิด. ครงงานวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

ภาษาอังกฤษ

Book

- Effective Solution For Energy and Production (EDM). (2000). **Demand & Energy Monitoring Energy Recording 3-D Energy Reporter Demand Controller.**

ด

พ

ภาคผนวก

ค

ตารางที่ 1 ค่าความต้องการพลังงานเฉลี่ยหลังการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

As of Date	Power (kW)	Amps	Frequency (Hz)	Volt L3	kVA	Saving (kW)	Saving/day (THB)	Saving/mth (THB)
28-Feb-07	36.66	61	50	377	40	0	-	-
1-Mar-07	34.73	59	49	373	38	2	152.32	4,569.60
2-Mar-07	32.47	55	48	374	36	5	306.64	9,139.20
3-Mar-07	30.71	53	47	375	34	6	422.52	12,675.60
4-Mar-07	28.78	50	46	376	32	8	552.72	16,581.60
5-Mar-07	26.92	47	45	375	30	10	677.60	20,328.00
6-Mar-07	25.18	45	44	373	29	12	794.64	23,839.20
7-Mar-07	22.86	40	43	375	26	14	950.04	28,501.20
8-Mar-07	20.61	37	42	374	24	16	1,101.24	33,037.20
9-Mar-07	19.20	36	41	372	23	18	1,195.88	35,876.40
10-Mar-07	20.47	37	41	373	24	17	1,110.76	33,322.80
11-Mar-07	19.24	35	40	375	23	18	1,193.64	35,809.20
12-Mar-07	19.13	35	40	375	23	18	1,201.20	36,036.00
13-Mar-07	18.86	35	39	375	23	18	1,218.84	36,565.20
14-Mar-07	17.44	33	38	375	21	20	1,314.60	39,438.00
15-Mar-07	15.99	31	37	375	20	21	1,411.76	42,352.80
16-Mar-07	14.90	29	36	375	19	22	1,485.40	44,562.00
17-Mar-07	13.87	27	36	375	18	23	1,554.28	46,628.40
18-Mar-07	13.93	27	36	375	17	23	1,550.08	46,502.40
19-Mar-07	13.92	27	36	375	18	23	1,550.71	46,521.22
20-Mar-07	13.33	26	36	376	17	24	1,590.30	47,709.08
21-Mar-07	13.95	27	36	377	18	23	1,551.76	46,552.80
22-Mar-07	13.91	27	35	376	18	23	1,584.96	46,468.80
23-Mar-07	12.71	25	34	376	16	24	1,632.40	48,972.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

As of Date	Power (kW)	Amps	Frequency (Hz)	Volt L3	kVA	Saving (kW)	Saving/day (THB)	Saving/mth (THB)
24-Mar-07	11.51	23	34	376	15	25	1,713.04	51,391.20
25-Mar-07	11.38	22	33	376	15	26	1,721.72	51,651.60
26-Mar-07	9.97	20	32	375	13	27	1,816.64	54,499.20

หมายเหตุ : ค่า Power (kW) ที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยต่อหนึ่งวัน หลังจากการปรับลด Frequency ลงวันละ 1 Frequency ด้วยอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ ค่าราคาไฟฟ้าเท่ากับ 2.80 บาทต่อหน่วย (อ้างอิงจากราคา ค่าไฟฟ้าของอาคาร ณ ปัจจุบัน) ผลการประหยัดต่อวันคำนวณเวลาที่ 24 ชั่วโมง และผลการประหยัดต่อเดือน โดยนำค่าผลการประหยัดต่อหนึ่งวัน คูณด้วยจำนวนต่อเดือน

ตารางที่ 2 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์ก่อนการติดตั้งวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
28-Feb-07	0:00	37	222	50	0.92	40	385
28-Feb-07	1:00	36	223	50	0.93	39	387
28-Feb-07	2:00	37	225	50	0.93	40	390
28-Feb-07	3:00	37	225	50	0.92	40	389
28-Feb-07	4:00	36	226	50	0.92	40	393
28-Feb-07	5:00	36	226	50	0.91	39	392
28-Feb-07	6:00	36	220	50	0.91	40	382
28-Feb-07	7:00	37	218	50	0.92	40	379
28-Feb-07	8:00	37	218	50	0.93	40	377
28-Feb-07	9:00	37	214	50	0.93	40	372
28-Feb-07	10:00	37	212	50	0.92	40	368
28-Feb-07	11:00	37	213	50	0.93	40	369
28-Feb-07	12:00	37	215	50	0.92	40	372
28-Feb-07	13:00	37	215	50	0.93	40	373
28-Feb-07	14:00	37	211	50	0.92	40	366
28-Feb-07	15:00	36	214	50	0.92	39	372
28-Feb-07	16:00	37	215	50	0.92	40	373
28-Feb-07	17:00	36	215	50	0.91	40	373
28-Feb-07	18:00	37	214	50	0.93	40	371
28-Feb-07	19:00	37	215	50	0.91	40	374
28-Feb-07	20:00	37	214	50	0.92	40	373
28-Feb-07	21:00	36	216	50	0.90	40	373
28-Feb-07	22:00	37	218	50	0.93	37	377
28-Feb-07	23:00	37	215	50	0.91	37	374

ตารางที่ 3 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 1 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
1-Mar-07	0:00	35	215	49	0.92	38	373
1-Mar-07	1:00	34	215	49	0.91	38	374
1-Mar-07	2:00	35	214	49	0.91	38	372
1-Mar-07	3:00	35	216	49	0.92	38	374
1-Mar-07	4:00	35	216	49	0.91	38	374
1-Mar-07	5:00	34	215	49	0.91	38	373
1-Mar-07	6:00	35	214	49	0.92	38	372
1-Mar-07	7:00	35	215	49	0.92	39	373
1-Mar-07	8:00	35	216	49	0.92	38	374
1-Mar-07	9:00	35	214	49	0.92	39	371
1-Mar-07	10:00	34	215	49	0.91	38	374
1-Mar-07	11:00	33	215	49	0.90	37	373
1-Mar-07	12:00	34	216	49	0.92	37	374
1-Mar-07	13:00	35	215	49	0.93	38	374
1-Mar-07	14:00	35	215	49	0.92	38	373
1-Mar-07	15:00	35	214	49	0.92	38	372
1-Mar-07	16:00	35	215	49	0.92	39	373
1-Mar-07	17:00	35	216	49	0.92	38	374
1-Mar-07	18:00	35	214	49	0.92	39	371
1-Mar-07	19:00	34	215	49	0.91	38	374
1-Mar-07	20:00	33	215	49	0.90	37	373
1-Mar-07	21:00	34	216	49	0.92	37	374
1-Mar-07	22:00	35	215	49	0.93	38	374
1-Mar-07	23:00	35	215	49	0.92	38	373

ตารางที่ 4 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 2 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
2-Mar-07	0:00	33	215	48	0.91	36	372
2-Mar-07	1:00	33	216	48	0.91	36	374
2-Mar-07	2:00	32	217	48	0.90	36	376
2-Mar-07	3:00	33	215	48	0.91	36	373
2-Mar-07	4:00	33	215	48	0.91	36	373
2-Mar-07	5:00	33	215	48	0.91	36	373
2-Mar-07	6:00	33	214	48	0.90	36	372
2-Mar-07	7:00	33	215	48	0.91	36	374
2-Mar-07	8:00	32	215	48	0.90	36	372
2-Mar-07	9:00	32	216	48	0.91	35	374
2-Mar-07	10:00	32	215	48	0.89	36	373
2-Mar-07	11:00	33	216	48	0.92	36	376
2-Mar-07	12:00	33	216	48	0.91	36	375
2-Mar-07	13:00	32	216	48	0.90	36	375
2-Mar-07	14:00	33	215	48	0.91	36	373
2-Mar-07	15:00	33	215	48	0.91	36	373
2-Mar-07	16:00	33	214	48	0.90	36	372
2-Mar-07	17:00	33	215	48	0.91	36	374
2-Mar-07	18:00	32	215	48	0.90	36	372
2-Mar-07	19:00	32	216	48	0.91	35	374
2-Mar-07	20:00	32	215	48	0.89	36	373
2-Mar-07	21:00	33	216	48	0.92	36	376
2-Mar-07	22:00	33	216	48	0.91	36	375
2-Mar-07	23:00	32	216	48	0.90	36	375

ตารางที่ 5 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 3 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
3-Mar-07	0:00	30	218	47	0.89	34	379
3-Mar-07	1:00	31	219	47	0.90	34	380
3-Mar-07	2:00	31	220	47	0.90	35	382
3-Mar-07	3:00	31	216	47	0.91	34	375
3-Mar-07	4:00	31	218	47	0.89	34	378
3-Mar-07	5:00	31	216	47	0.91	34	375
3-Mar-07	6:00	31	218	47	0.90	35	378
3-Mar-07	7:00	30	215	47	0.90	33	374
3-Mar-07	8:00	31	216	47	0.90	34	375
3-Mar-07	9:00	31	216	47	0.90	34	375
3-Mar-07	10:00	31	216	47	0.89	34	375
3-Mar-07	11:00	31	216	47	0.90	35	375
3-Mar-07	12:00	30	215	47	0.91	33	373
3-Mar-07	13:00	31	217	47	0.91	34	376
3-Mar-07	14:00	31	215	47	0.91	33	372
3-Mar-07	15:00	31	216	47	0.91	34	375
3-Mar-07	16:00	31	216	47	0.90	34	375
3-Mar-07	17:00	31	216	47	0.90	34	375
3-Mar-07	18:00	31	216	47	0.90	34	375
3-Mar-07	19:00	31	216	47	0.89	34	375
3-Mar-07	20:00	31	216	47	0.90	35	375
3-Mar-07	21:00	30	215	47	0.91	33	373
3-Mar-07	22:00	31	217	47	0.91	34	376
3-Mar-07	23:00	31	215	47	0.91	33	372

ตารางที่ 6 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 4 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
4-Mar-07	0:00	29	217	46	0.90	32	376
4-Mar-07	1:00	29	217	46	0.89	32	376
4-Mar-07	2:00	29	217	46	0.90	33	377
4-Mar-07	3:00	29	216	46	0.89	32	374
4-Mar-07	4:00	29	217	46	0.90	32	376
4-Mar-07	5:00	29	216	46	0.90	32	374
4-Mar-07	6:00	29	217	46	0.88	33	376
4-Mar-07	7:00	29	217	46	0.89	33	377
4-Mar-07	8:00	29	217	46	0.88	33	376
4-Mar-07	9:00	29	217	46	0.88	33	376
4-Mar-07	10:00	29	216	46	0.89	33	375
4-Mar-07	11:00	29	217	46	0.89	32	377
4-Mar-07	12:00	28	217	46	0.89	32	376
4-Mar-07	13:00	29	217	46	0.89	32	376
4-Mar-07	14:00	28	217	46	0.89	32	376
4-Mar-07	15:00	29	217	46	0.88	33	376
4-Mar-07	16:00	29	217	46	0.89	33	377
4-Mar-07	17:00	29	217	46	0.88	33	376
4-Mar-07	18:00	29	217	46	0.88	33	376
4-Mar-07	19:00	29	216	46	0.89	33	375
4-Mar-07	20:00	29	217	46	0.89	32	377
4-Mar-07	21:00	28	217	46	0.89	32	376
4-Mar-07	22:00	29	217	46	0.89	32	376
4-Mar-07	23:00	28	217	46	0.89	32	376

ตารางที่ 7 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 5 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
5-Mar-07	0:00	27	217	45	0.89	31	376
5-Mar-07	1:00	27	217	45	0.88	31	377
5-Mar-07	2:00	28	216	45	0.89	31	375
5-Mar-07	3:00	27	216	45	0.90	30	375
5-Mar-07	4:00	27	216	45	0.90	30	376
5-Mar-07	5:00	28	215	45	0.89	31	373
5-Mar-07	6:00	27	217	45	0.87	31	376
5-Mar-07	7:00	27	216	45	0.89	30	375
5-Mar-07	8:00	26	217	45	0.87	30	377
5-Mar-07	9:00	27	216	45	0.86	31	375
5-Mar-07	10:00	27	217	45	0.89	30	377
5-Mar-07	11:00	27	216	45	0.89	31	375
5-Mar-07	12:00	27	215	45	0.90	30	374
5-Mar-07	13:00	26	217	45	0.87	30	376
5-Mar-07	14:00	27	216	45	0.88	30	374
5-Mar-07	15:00	28	215	45	0.89	31	373
5-Mar-07	16:00	27	217	45	0.87	31	376
5-Mar-07	17:00	27	216	45	0.89	30	375
5-Mar-07	18:00	26	217	45	0.87	30	377
5-Mar-07	19:00	27	216	45	0.86	31	375
5-Mar-07	20:00	27	217	45	0.89	30	377
5-Mar-07	21:00	27	216	45	0.89	31	375
5-Mar-07	22:00	27	215	45	0.90	30	374
5-Mar-07	23:00	26	217	45	0.87	30	376

ตารางที่ 8 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 6 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
6-Mar-07	0:00	25	216	44	0.88	29	375
6-Mar-07	1:00	25	215	44	0.87	29	374
6-Mar-07	2:00	25	215	44	0.88	28	373
6-Mar-07	3:00	25	215	44	0.87	28	373
6-Mar-07	4:00	26	216	44	0.87	29	374
6-Mar-07	5:00	25	216	44	0.86	29	375
6-Mar-07	6:00	26	216	44	0.87	30	374
6-Mar-07	7:00	25	215	44	0.87	29	373
6-Mar-07	8:00	25	214	44	0.87	28	372
6-Mar-07	9:00	25	215	44	0.88	29	373
6-Mar-07	10:00	25	215	44	0.87	29	372
6-Mar-07	11:00	26	215	44	0.89	29	373
6-Mar-07	12:00	25	213	44	0.89	29	370
6-Mar-07	13:00	25	216	44	0.87	29	375
6-Mar-07	14:00	26	214	44	0.87	29	371
6-Mar-07	15:00	25	215	44	0.85	29	374
6-Mar-07	16:00	26	216	44	0.87	30	374
6-Mar-07	17:00	25	215	44	0.87	29	373
6-Mar-07	18:00	25	214	44	0.87	28	372
6-Mar-07	19:00	25	215	44	0.88	29	373
6-Mar-07	20:00	25	215	44	0.87	29	372
6-Mar-07	21:00	26	215	44	0.89	29	373
6-Mar-07	22:00	25	213	44	0.89	29	370
6-Mar-07	23:00	25	216	44	0.87	29	375

ตารางที่ 9 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 7 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
7-Mar-07	0:00	25	217	43	0.88	28	376
7-Mar-07	1:00	25	218	43	0.88	28	377
7-Mar-07	2:00	25	219	43	0.87	29	380
7-Mar-07	3:00	25	217	43	0.89	28	375
7-Mar-07	4:00	24	216	43	0.88	27	375
7-Mar-07	5:00	24	215	43	0.89	27	373
7-Mar-07	6:00	22	216	43	0.87	25	374
7-Mar-07	7:00	22	216	43	0.87	25	374
7-Mar-07	8:00	22	215	43	0.86	26	374
7-Mar-07	9:00	22	216	43	0.86	26	375
7-Mar-07	10:00	22	216	43	0.88	25	375
7-Mar-07	11:00	23	215	43	0.87	26	374
7-Mar-07	12:00	22	216	43	0.87	25	374
7-Mar-07	13:00	22	215	43	0.86	26	374
7-Mar-07	14:00	22	216	43	0.86	26	375
7-Mar-07	15:00	22	216	43	0.88	25	375
7-Mar-07	16:00	23	215	43	0.87	26	374
7-Mar-07	17:00	24	215	43	0.89	27	373
7-Mar-07	18:00	22	216	43	0.87	25	374
7-Mar-07	19:00	22	216	43	0.87	25	374
7-Mar-07	20:00	22	215	43	0.86	26	374
7-Mar-07	21:00	22	216	43	0.86	26	375
7-Mar-07	22:00	22	216	43	0.88	25	375
7-Mar-07	23:00	23	215	43	0.87	26	374

ตารางที่ 10 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 8 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
8-Mar-07	0:00	22	215	42	0.87	26	373
8-Mar-07	1:00	22	215	42	0.85	25	374
8-Mar-07	2:00	21	215	42	0.85	24	373
8-Mar-07	3:00	21	216	42	0.85	24	375
8-Mar-07	4:00	21	217	42	0.84	25	376
8-Mar-07	5:00	20	216	42	0.84	24	375
8-Mar-07	6:00	21	215	42	0.85	24	374
8-Mar-07	7:00	21	215	42	0.86	24	374
8-Mar-07	8:00	20	216	42	0.85	24	375
8-Mar-07	9:00	21	215	42	0.87	24	373
8-Mar-07	10:00	20	215	42	0.86	24	374
8-Mar-07	11:00	21	213	42	0.83	25	370
8-Mar-07	12:00	21	215	42	0.86	24	373
8-Mar-07	13:00	21	216	42	0.84	25	375
8-Mar-07	14:00	21	215	42	0.85	24	373
8-Mar-07	15:00	21	216	42	0.85	24	375
8-Mar-07	16:00	21	217	42	0.84	25	376
8-Mar-07	17:00	20	216	42	0.84	24	375
8-Mar-07	18:00	21	215	42	0.85	24	374
8-Mar-07	19:00	21	215	42	0.86	24	374
8-Mar-07	20:00	20	216	42	0.85	24	375
8-Mar-07	21:00	21	215	42	0.87	24	373
8-Mar-07	22:00	20	215	42	0.86	24	374
8-Mar-07	23:00	21	213	42	0.83	25	370

ตารางที่ 11 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 9 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
9-Mar-07	0:00	20	215	41	0.84	24	373
9-Mar-07	1:00	21	215	41	0.85	24	373
9-Mar-07	2:00	19	215	41	0.85	23	373
9-Mar-07	3:00	19	215	41	0.83	23	372
9-Mar-07	4:00	19	214	41	0.85	23	371
9-Mar-07	5:00	19	215	41	0.82	23	372
9-Mar-07	6:00	19	214	41	0.84	22	371
9-Mar-07	7:00	19	215	41	0.84	23	373
9-Mar-07	8:00	19	215	41	0.83	23	373
9-Mar-07	9:00	20	216	41	0.84	23	375
9-Mar-07	10:00	19	215	41	0.85	22	373
9-Mar-07	11:00	19	214	41	0.84	23	372
9-Mar-07	12:00	19	215	41	0.81	23	373
9-Mar-07	13:00	19	215	41	0.85	22	372
9-Mar-07	14:00	19	215	41	0.82	23	373
9-Mar-07	15:00	19	213	41	0.83	23	370
9-Mar-07	16:00	19	215	41	0.85	23	373
9-Mar-07	17:00	19	214	41	0.85	23	372
9-Mar-07	18:00	19	215	41	0.86	23	372
9-Mar-07	19:00	19	214	41	0.83	23	371
9-Mar-07	20:00	19	214	41	0.85	23	371
9-Mar-07	21:00	19	214	41	0.84	23	371
9-Mar-07	22:00	19	213	41	0.84	23	370
9-Mar-07	23:00	19	213	41	0.86	22	370

ตารางที่ 12 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 10 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
10-Mar-07	0:00	19	214	41	0.85	23	371
10-Mar-07	1:00	19	214	41	0.84	23	371
10-Mar-07	2:00	20	213	41	0.84	24	370
10-Mar-07	3:00	21	215	41	0.86	24	373
10-Mar-07	4:00	21	216	41	0.87	24	375
10-Mar-07	5:00	20	217	41	0.86	24	376
10-Mar-07	6:00	21	214	41	0.86	24	371
10-Mar-07	7:00	21	216	41	0.87	24	375
10-Mar-07	8:00	21	216	41	0.88	24	375
10-Mar-07	9:00	21	217	41	0.88	23	376
10-Mar-07	10:00	20	218	41	0.85	24	378
10-Mar-07	11:00	21	215	41	0.87	24	371
10-Mar-07	12:00	21	216	41	0.86	24	374
10-Mar-07	13:00	20	214	41	0.86	24	372
10-Mar-07	14:00	21	215	41	0.86	24	373
10-Mar-07	15:00	21	216	41	0.87	24	375
10-Mar-07	16:00	21	218	41	0.85	24	379
10-Mar-07	17:00	21	215	41	0.87	24	372
10-Mar-07	18:00	21	214	41	0.84	25	370
10-Mar-07	19:00	20	214	41	0.84	24	372
10-Mar-07	20:00	21	217	41	0.85	24	375
10-Mar-07	21:00	21	212	41	0.86	24	368
10-Mar-07	22:00	21	217	41	0.85	24	377
10-Mar-07	23:00	21	215	41	0.86	24	373

ตารางที่ 13 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 11 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
11-Mar-07	0:00	20	217	40	0.86	24	377
11-Mar-07	1:00	20	217	40	0.88	24	377
11-Mar-07	2:00	19	217	40	0.88	24	377
11-Mar-07	3:00	19	216	40	0.87	24	374
11-Mar-07	4:00	19	217	40	0.86	24	377
11-Mar-07	5:00	19	218	40	0.86	24	379
11-Mar-07	6:00	19	217	40	0.86	24	376
11-Mar-07	7:00	20	215	40	0.88	23	372
11-Mar-07	8:00	19	213	40	0.87	24	370
11-Mar-07	9:00	19	216	40	0.87	24	375
11-Mar-07	10:00	19	215	40	0.89	23	374
11-Mar-07	11:00	19	215	40	0.88	23	374
11-Mar-07	12:00	19	215	40	0.87	24	374
11-Mar-07	13:00	19	214	40	0.85	24	372
11-Mar-07	14:00	19	218	40	0.86	22	378
11-Mar-07	15:00	19	213	40	0.84	22	369
11-Mar-07	16:00	19	216	40	0.88	22	375
11-Mar-07	17:00	19	215	40	0.86	22	374
11-Mar-07	18:00	19	215	40	0.83	23	372
11-Mar-07	19:00	19	217	40	0.84	23	376
11-Mar-07	20:00	19	216	40	0.83	23	375
11-Mar-07	21:00	19	214	40	0.84	23	371
11-Mar-07	22:00	19	217	40	0.83	23	377
11-Mar-07	23:00	19	218	40	0.84	23	379

ตารางที่ 14 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 12 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
12-Mar-07	0:00	19	216	40	0.85	23	376
12-Mar-07	1:00	19	217	40	0.84	23	376
12-Mar-07	2:00	19	217	40	0.85	23	377
12-Mar-07	3:00	19	218	40	0.84	23	378
12-Mar-07	4:00	20	218	40	0.85	23	378
12-Mar-07	5:00	19	218	40	0.83	22	378
12-Mar-07	6:00	19	214	40	0.84	23	372
12-Mar-07	7:00	19	214	40	0.84	22	371
12-Mar-07	8:00	19	215	40	0.85	23	373
12-Mar-07	9:00	19	214	40	0.84	22	371
12-Mar-07	10:00	19	215	40	0.83	23	374
12-Mar-07	11:00	19	216	40	0.84	23	374
12-Mar-07	12:00	19	216	40	0.83	23	374
12-Mar-07	13:00	19	214	40	0.84	23	371
12-Mar-07	14:00	19	215	40	0.84	23	372
12-Mar-07	15:00	19	217	40	0.85	23	376
12-Mar-07	16:00	19	217	40	0.83	23	376
12-Mar-07	17:00	19	216	40	0.85	23	374
12-Mar-07	18:00	20	218	40	0.84	23	378
12-Mar-07	19:00	19	217	40	0.83	23	376
12-Mar-07	20:00	19	218	40	0.83	23	377
12-Mar-07	21:00	19	216	40	0.83	23	376
12-Mar-07	22:00	19	217	40	0.83	23	377
12-Mar-07	23:00	19	218	40	0.84	23	378

ตารางที่ 15 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 13 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
13-Mar-07	0:00	19	215	39	0.85	22	373
13-Mar-07	1:00	19	216	39	0.85	23	376
13-Mar-07	2:00	19	215	39	0.85	22	373
13-Mar-07	3:00	20	216	39	0.86	23	375
13-Mar-07	4:00	19	218	39	0.84	22	378
13-Mar-07	5:00	19	219	39	0.85	23	380
13-Mar-07	6:00	19	215	39	0.83	23	372
13-Mar-07	7:00	19	215	39	0.86	23	373
13-Mar-07	8:00	19	216	39	0.85	23	374
13-Mar-07	9:00	19	215	39	0.85	22	373
13-Mar-07	10:00	19	215	39	0.83	23	374
13-Mar-07	11:00	19	218	39	0.83	23	379
13-Mar-07	12:00	19	216	39	0.85	22	374
13-Mar-07	13:00	19	216	39	0.83	23	375
13-Mar-07	14:00	19	216	39	0.84	23	374
13-Mar-07	15:00	19	217	39	0.82	23	377
13-Mar-07	16:00	19	217	39	0.81	23	376
13-Mar-07	17:00	19	217	39	0.83	23	377
13-Mar-07	18:00	19	217	39	0.82	23	375
13-Mar-07	19:00	19	216	39	0.83	23	375
13-Mar-07	20:00	18	215	39	0.81	22	374
13-Mar-07	21:00	18	217	39	0.82	21	376
13-Mar-07	22:00	18	217	39	0.80	22	377
13-Mar-07	23:00	18	217	39	0.83	22	377

ตารางที่ 16 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 14 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
14-Mar-07	0:00	17	217	38	0.84	21	377
14-Mar-07	1:00	18	217	38	0.83	21	377
14-Mar-07	2:00	18	218	38	0.83	21	378
14-Mar-07	3:00	18	218	38	0.83	21	379
14-Mar-07	4:00	18	216	38	0.85	21	376
14-Mar-07	5:00	18	216	38	0.84	21	375
14-Mar-07	6:00	17	216	38	0.79	22	375
14-Mar-07	7:00	18	215	38	0.84	22	372
14-Mar-07	8:00	18	215	38	0.82	21	372
14-Mar-07	9:00	17	216	38	0.81	21	375
14-Mar-07	10:00	18	216	38	0.80	22	375
14-Mar-07	11:00	18	214	38	0.83	21	371
14-Mar-07	12:00	18	215	38	0.83	22	373
14-Mar-07	13:00	18	215	38	0.86	21	373
14-Mar-07	14:00	18	218	38	0.83	21	378
14-Mar-07	15:00	18	217	38	0.83	22	377
14-Mar-07	16:00	18	218	38	0.83	22	378
14-Mar-07	17:00	17	218	38	0.80	22	378
14-Mar-07	18:00	17	216	38	0.83	21	375
14-Mar-07	19:00	17	216	38	0.82	20	375
14-Mar-07	20:00	17	215	38	0.83	20	374
14-Mar-07	21:00	17	215	38	0.81	20	373
14-Mar-07	22:00	16	217	38	0.79	21	378
14-Mar-07	23:00	17	214	38	0.83	20	373

ตารางที่ 17 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 15 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
15-Mar-07	0:00	16	218	37	0.83	20	379
15-Mar-07	1:00	16	216	37	0.82	20	374
15-Mar-07	2:00	16	216	37	0.82	20	376
15-Mar-07	3:00	16	217	37	0.81	20	377
15-Mar-07	4:00	17	217	37	0.83	20	377
15-Mar-07	5:00	17	217	37	0.82	20	377
15-Mar-07	6:00	16	215	37	0.80	20	373
15-Mar-07	7:00	16	215	37	0.83	20	373
15-Mar-07	8:00	16	215	37	0.81	20	373
15-Mar-07	9:00	16	217	37	0.82	20	376
15-Mar-07	10:00	17	215	37	0.82	21	373
15-Mar-07	11:00	16	216	37	0.82	20	374
15-Mar-07	12:00	16	215	37	0.82	20	372
15-Mar-07	13:00	16	217	37	0.79	20	376
15-Mar-07	14:00	16	214	37	0.83	20	371
15-Mar-07	15:00	16	216	37	0.81	20	374
15-Mar-07	16:00	16	217	37	0.80	21	377
15-Mar-07	17:00	16	217	37	0.79	21	376
15-Mar-07	18:00	15	214	37	0.81	19	371
15-Mar-07	19:00	15	218	37	0.77	19	379
15-Mar-07	20:00	15	214	37	0.78	19	372
15-Mar-07	21:00	15	215	37	0.78	20	373
15-Mar-07	22:00	15	217	37	0.77	19	377
15-Mar-07	23:00	15	217	37	0.79	19	378

ตารางที่ 18 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 16 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
16-Mar-07	0:00	15	217	36	0.80	19	377
16-Mar-07	1:00	15	213	36	0.81	19	371
16-Mar-07	2:00	15	218	36	0.82	19	379
16-Mar-07	3:00	15	218	36	0.82	18	379
16-Mar-07	4:00	15	217	36	0.80	19	377
16-Mar-07	5:00	15	216	36	0.82	19	375
16-Mar-07	6:00	15	215	36	0.80	19	373
16-Mar-07	7:00	15	217	36	0.82	19	376
16-Mar-07	8:00	15	215	36	0.79	19	373
16-Mar-07	9:00	15	216	36	0.80	19	375
16-Mar-07	10:00	15	218	36	0.79	19	378
16-Mar-07	11:00	15	216	36	0.78	19	375
16-Mar-07	12:00	15	216	36	0.78	20	374
16-Mar-07	13:00	15	213	36	0.76	20	370
16-Mar-07	14:00	15	214	36	0.80	19	372
16-Mar-07	15:00	15	216	36	0.79	19	375
16-Mar-07	16:00	15	217	36	0.81	19	376
16-Mar-07	17:00	15	217	36	0.78	20	377
16-Mar-07	18:00	15	216	36	0.80	19	375
16-Mar-07	19:00	15	217	36	0.82	19	376
16-Mar-07	20:00	14	216	36	0.80	18	375
16-Mar-07	21:00	14	216	36	0.77	18	374
16-Mar-07	22:00	14	217	36	0.80	18	377
16-Mar-07	23:00	14	218	36	0.79	17	378

ตารางที่ 19 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 17 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
17-Mar-07	0:00	14	217	36	0.80	18	377
17-Mar-07	1:00	13	216	36	0.78	17	376
17-Mar-07	2:00	14	215	36	0.79	17	373
17-Mar-07	3:00	14	217	36	0.79	17	377
17-Mar-07	4:00	14	218	36	0.81	17	380
17-Mar-07	5:00	14	216	36	0.78	17	375
17-Mar-07	6:00	14	216	36	0.81	17	375
17-Mar-07	7:00	14	216	36	0.78	18	375
17-Mar-07	8:00	14	215	36	0.80	17	373
17-Mar-07	9:00	14	216	36	0.80	17	375
17-Mar-07	10:00	14	214	36	0.82	17	371
17-Mar-07	11:00	14	215	36	0.78	18	372
17-Mar-07	12:00	14	218	36	0.77	18	378
17-Mar-07	13:00	14	215	36	0.79	17	374
17-Mar-07	14:00	14	217	36	0.77	18	376
17-Mar-07	15:00	14	216	36	0.76	19	375
17-Mar-07	16:00	14	217	36	0.76	18	377
17-Mar-07	17:00	14	214	36	0.77	18	371
17-Mar-07	18:00	14	218	36	0.76	18	379
17-Mar-07	19:00	14	218	36	0.78	18	378
17-Mar-07	20:00	14	217	36	0.77	18	378
17-Mar-07	21:00	14	216	36	0.78	18	375
17-Mar-07	22:00	14	217	36	0.76	18	376
17-Mar-07	23:00	14	217	36	0.77	18	377

ตารางที่ 20 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 18 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
18-Mar-07	0:00	14	216	36	0.80	18	376
18-Mar-07	1:00	14	216	36	0.81	17	375
18-Mar-07	2:00	14	216	36	0.80	17	376
18-Mar-07	3:00	14	218	36	0.79	18	379
18-Mar-07	4:00	14	216	36	0.81	17	376
18-Mar-07	5:00	14	217	36	0.80	17	376
18-Mar-07	6:00	14	215	36	0.82	17	374
18-Mar-07	7:00	14	214	36	0.80	18	372
18-Mar-07	8:00	14	216	36	0.80	17	374
18-Mar-07	9:00	14	215	36	0.81	18	373
18-Mar-07	10:00	14	215	36	0.83	17	372
18-Mar-07	11:00	14	216	36	0.80	17	375
18-Mar-07	12:00	14	217	36	0.79	17	377
18-Mar-07	13:00	14	217	36	0.79	17	377
18-Mar-07	14:00	14	215	36	0.81	17	373
18-Mar-07	15:00	14	218	36	0.82	17	378
18-Mar-07	16:00	14	217	36	0.81	17	377
18-Mar-07	17:00	14	216	36	0.79	18	374
18-Mar-07	18:00	14	214	36	0.80	18	371
18-Mar-07	19:00	14	218	36	0.78	18	379
18-Mar-07	20:00	14	217	36	0.77	18	377
18-Mar-07	21:00	14	215	36	0.78	18	374
18-Mar-07	22:00	14	215	36	0.79	18	373
18-Mar-07	23:00	14	215	36	0.83	17	373

ตารางที่ 21 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 19 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
19-Mar-07	0:00	14	215	36	0.77	18	373
19-Mar-07	1:00	14	218	36	0.79	18	378
19-Mar-07	2:00	14	215	36	0.81	18	373
19-Mar-07	3:00	14	216	36	0.81	18	376
19-Mar-07	4:00	14	217	36	0.80	18	378
19-Mar-07	5:00	14	217	36	0.81	18	376
19-Mar-07	6:00	14	214	36	0.77	18	371
19-Mar-07	7:00	14	215	36	0.77	18	373
19-Mar-07	8:00	14	215	36	0.82	17	372
19-Mar-07	9:00	14	214	36	0.80	17	371
19-Mar-07	10:00	14	216	36	0.82	17	374
19-Mar-07	11:00	14	217	36	0.79	18	377
19-Mar-07	12:00	14	215	36	0.78	18	373
19-Mar-07	13:00	14	219	36	0.77	18	379
19-Mar-07	14:00	14	213	36	0.78	18	370
19-Mar-07	15:00	14	216	36	0.80	18	375
19-Mar-07	16:00	14	217	36	0.77	18	377
19-Mar-07	17:00	14	219	36	0.76	18	381
19-Mar-07	18:00	14	218	36	0.77	18	377
19-Mar-07	19:00	14	216	36	0.78	18	375
19-Mar-07	20:00	14	217	36	0.76	18	377
19-Mar-07	21:00	14	217	36	0.77	18	377
19-Mar-07	22:00	14	217	36	0.75	19	377
19-Mar-07	23:00	14	218	36	0.76	19	378

ตารางที่ 22 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 20 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
20-Mar-07	0:00	14	217	36	0.79	18	376
20-Mar-07	1:00	14	217	36	0.80	17	376
20-Mar-07	2:00	14	217	36	0.78	18	378
20-Mar-07	3:00	14	219	36	0.80	18	380
20-Mar-07	4:00	1	217	36	0.51	2	378
20-Mar-07	5:00	14	218	36	0.79	18	379
20-Mar-07	6:00	14	213	36	0.78	17	371
20-Mar-07	7:00	14	217	36	0.81	18	378
20-Mar-07	8:00	14	215	36	0.78	18	373
20-Mar-07	9:00	14	215	36	0.77	18	372
20-Mar-07	10:00	14	218	36	0.78	18	379
20-Mar-07	11:00	14	215	36	0.78	18	373
20-Mar-07	12:00	14	217	36	0.76	18	376
20-Mar-07	13:00	14	216	36	0.77	18	374
20-Mar-07	14:00	14	214	36	0.79	18	371
20-Mar-07	15:00	14	217	36	0.79	18	375
20-Mar-07	16:00	14	216	36	0.75	18	374
20-Mar-07	17:00	14	216	36	0.77	18	374
20-Mar-07	18:00	14	219	36	0.78	18	380
20-Mar-07	19:00	14	217	36	0.78	18	376
20-Mar-07	20:00	14	218	36	0.76	18	378
20-Mar-07	21:00	14	214	36	0.75	18	372
20-Mar-07	22:00	14	218	36	0.78	18	378
20-Mar-07	23:00	14	219	36	0.79	17	380

ตารางที่ 23 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 21 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
21-Mar-07	0:00	14	217	36	0.80	18	377
21-Mar-07	1:00	14	218	36	0.80	18	379
21-Mar-07	2:00	14	216	36	0.80	18	375
21-Mar-07	3:00	14	218	36	0.80	18	379
21-Mar-07	4:00	14	219	36	0.81	17	379
21-Mar-07	5:00	14	217	36	0.80	18	377
21-Mar-07	6:00	14	216	36	0.78	18	375
21-Mar-07	7:00	14	215	36	0.80	18	373
21-Mar-07	8:00	14	215	36	0.77	18	373
21-Mar-07	9:00	14	217	36	0.78	18	376
21-Mar-07	10:00	14	216	36	0.76	18	375
21-Mar-07	11:00	14	214	36	0.80	18	371
21-Mar-07	12:00	14	217	36	0.77	18	377
21-Mar-07	13:00	14	215	36	0.76	18	373
21-Mar-07	14:00	14	217	36	0.77	18	376
21-Mar-07	15:00	14	218	36	0.78	18	378
21-Mar-07	16:00	14	219	36	0.80	17	380
21-Mar-07	17:00	14	219	36	0.76	18	380
21-Mar-07	18:00	14	217	36	0.77	18	377
21-Mar-07	19:00	14	216	36	0.79	18	375
21-Mar-07	20:00	14	217	36	0.77	18	376
21-Mar-07	21:00	14	219	36	0.76	18	380
21-Mar-07	22:00	14	217	36	0.76	18	378
21-Mar-07	23:00	14	218	36	0.78	18	379

ตารางที่ 24 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 22 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
22-Mar-07	0:00	14	218	35	0.82	17	379
22-Mar-07	1:00	14	217	35	0.80	17	377
22-Mar-07	2:00	14	216	35	0.79	18	375
22-Mar-07	3:00	14	216	35	0.80	18	376
22-Mar-07	4:00	14	217	35	0.80	17	376
22-Mar-07	5:00	14	216	35	0.79	17	375
22-Mar-07	6:00	14	216	35	0.79	18	375
22-Mar-07	7:00	14	215	35	0.79	18	373
22-Mar-07	8:00	14	216	35	0.79	18	374
22-Mar-07	9:00	14	215	35	0.77	18	373
22-Mar-07	10:00	14	215	35	0.77	18	374
22-Mar-07	11:00	14	215	35	0.79	18	372
22-Mar-07	12:00	14	215	35	0.78	18	374
22-Mar-07	13:00	14	217	35	0.80	18	377
22-Mar-07	14:00	14	219	35	0.76	18	379
22-Mar-07	15:00	14	217	35	0.76	18	377
22-Mar-07	16:00	14	216	35	0.77	18	375
22-Mar-07	17:00	14	218	35	0.76	18	378
22-Mar-07	18:00	14	215	35	0.78	18	372
22-Mar-07	19:00	14	216	35	0.77	18	376
22-Mar-07	20:00	14	219	35	0.78	18	380
22-Mar-07	21:00	14	215	35	0.78	18	374
22-Mar-07	22:00	14	219	35	0.77	18	381
22-Mar-07	23:00	13	217	35	0.78	17	377

ตารางที่ 25 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 23 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
23-Mar-07	0:00	13	216	34	0.78	17	376
23-Mar-07	1:00	13	216	34	0.78	17	374
23-Mar-07	2:00	13	217	34	0.76	16	377
23-Mar-07	3:00	13	219	34	0.79	17	380
23-Mar-07	4:00	13	218	34	0.78	16	378
23-Mar-07	5:00	13	217	34	0.78	16	377
23-Mar-07	6:00	13	216	34	0.76	17	376
23-Mar-07	7:00	13	216	34	0.81	16	375
23-Mar-07	8:00	13	215	34	0.78	17	373
23-Mar-07	9:00	13	216	34	0.77	17	374
23-Mar-07	10:00	13	218	34	0.77	17	378
23-Mar-07	11:00	13	214	34	0.76	17	372
23-Mar-07	12:00	13	217	34	0.76	17	377
23-Mar-07	13:00	13	218	34	0.77	17	378
23-Mar-07	14:00	13	214	34	0.78	17	371
23-Mar-07	15:00	13	217	34	0.79	16	377
23-Mar-07	16:00	13	217	34	0.79	16	376
22-Mar-07	17:00	13	218	34	0.77	17	378
23-Mar-07	18:00	13	217	34	0.79	17	377
23-Mar-07	19:00	13	217	34	0.75	17	377
23-Mar-07	20:00	13	216	34	0.79	17	374
23-Mar-07	21:00	12	218	34	0.75	16	378
23-Mar-07	22:00	12	216	34	0.81	14	375
23-Mar-07	23:00	12	217	34	0.76	15	377

ตารางที่ 26 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 24 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
24-Mar-07	0:00	12	217	34	0.76	15	377
24-Mar-07	1:00	12	219	34	0.77	15	379
24-Mar-07	2:00	12	218	34	0.78	15	379
24-Mar-07	3:00	12	218	34	0.77	15	378
24-Mar-07	4:00	12	219	34	0.77	15	380
24-Mar-07	5:00	12	216	34	0.79	15	375
24-Mar-07	6:00	12	216	34	0.76	15	375
24-Mar-07	7:00	12	214	34	0.77	15	372
24-Mar-07	8:00	11	214	34	0.78	15	372
24-Mar-07	9:00	11	215	34	0.76	15	372
24-Mar-07	10:00	11	218	34	0.74	15	379
24-Mar-07	11:00	12	217	34	0.77	15	376
24-Mar-07	12:00	11	217	34	0.76	15	376
24-Mar-07	13:00	12	217	34	0.76	15	376
24-Mar-07	14:00	11	216	34	0.75	15	375
24-Mar-07	15:00	11	216	34	0.76	15	374
24-Mar-07	16:00	11	217	34	0.76	15	377
24-Mar-07	17:00	11	219	34	0.76	15	380
24-Mar-07	18:00	12	216	34	0.79	15	374
24-Mar-07	19:00	12	215	34	0.80	15	372
24-Mar-07	20:00	12	216	34	0.76	15	375
24-Mar-07	21:00	12	217	34	0.76	15	378
24-Mar-07	22:00	12	216	34	0.76	15	375
24-Mar-07	23:00	12	215	34	0.79	15	374

ตารางที่ 27 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 25 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
25-Mar-07	0:00	12	219	33	0.78	15	380
25-Mar-07	1:00	12	217	33	0.77	15	376
25-Mar-07	2:00	12	215	33	0.79	15	373
25-Mar-07	3:00	11	216	33	0.77	15	375
25-Mar-07	4:00	12	218	33	0.77	15	378
25-Mar-07	5:00	12	218	33	0.79	15	379
25-Mar-07	6:00	12	216	33	0.78	15	375
25-Mar-07	7:00	12	217	33	0.79	15	377
25-Mar-07	8:00	11	217	33	0.77	15	377
25-Mar-07	9:00	12	217	33	0.78	15	377
25-Mar-07	10:00	12	216	33	0.78	15	374
25-Mar-07	11:00	12	217	33	0.78	15	377
25-Mar-07	12:00	12	218	33	0.77	15	378
25-Mar-07	13:00	11	217	33	0.78	15	377
25-Mar-07	14:00	11	217	33	0.78	15	376
25-Mar-07	15:00	12	217	33	0.77	15	376
25-Mar-07	16:00	12	218	33	0.79	15	379
25-Mar-07	17:00	11	214	33	0.83	13	372
25-Mar-07	18:00	11	215	33	0.78	14	374
25-Mar-07	19:00	11	217	33	0.77	14	377
25-Mar-07	20:00	11	217	33	0.77	14	377
25-Mar-07	21:00	11	218	33	0.79	14	378
25-Mar-07	22:00	11	216	33	0.76	14	375
25-Mar-07	23:00	10	218	33	0.77	14	378

ตารางที่ 28 ค่าความต้องการพลังงานของมอเตอร์หลังการติดตั้งวันที่ 26 มีนาคม 2550

As of Date	Time	Power (kW)	Volts	Frequency	Power factor	kVA	Volts L3
26-Mar-07	0:00	11	219	32	0.79	14	380
26-Mar-07	1:00	11	218	32	0.77	14	379
26-Mar-07	2:00	11	216	32	0.79	13	374
26-Mar-07	3:00	10	218	32	0.77	13	379
26-Mar-07	4:00	11	215	32	0.78	14	374
26-Mar-07	5:00	11	214	32	0.78	14	372
26-Mar-07	6:00	10	215	32	0.76	13	372
26-Mar-07	7:00	11	218	32	0.78	14	379
26-Mar-07	8:00	10	213	32	0.76	13	369
26-Mar-07	9:00	10	217	32	0.77	14	377
26-Mar-07	10:00	10	217	32	0.78	13	376
26-Mar-07	11:00	10	218	32	0.75	13	378
26-Mar-07	12:00	10	215	32	0.78	13	373
26-Mar-07	13:00	10	214	32	0.77	13	371
26-Mar-07	14:00	10	217	32	0.77	13	376
26-Mar-07	15:00	10	216	32	0.75	13	376
26-Mar-07	16:00	9	216	32	0.75	13	376
26-Mar-07	17:00	10	217	32	0.75	13	376
26-Mar-07	18:00	10	217	32	0.76	13	377
26-Mar-07	19:00	10	217	32	0.75	13	377
26-Mar-07	20:00	9	217	32	0.75	12	376
26-Mar-07	21:00	9	217	32	0.75	12	377
26-Mar-07	22:00	9	217	32	0.76	12	378
26-Mar-07	23:00	9	215	32	0.76	12	373

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ- นามสกุล
ประวัติการศึกษา

นายพีรเชษฐ ทับทิมทอง

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2541

ประวัติการทำงาน

ผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมโรงแรมโนโวเทลโลดส์
เลขที่ 1 ซแดงอุดม ถ.สุขุมวิท 33 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา
กรุงเทพมหานคร 10110