การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ปริญญานิพนธ์

ของ

วรพจน์ งามชมภู

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กันยายน 2548

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

621 3121
ว225ก
ว 3

การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

บทคัดย่อ

ของ

วรพจน์ งามชมภู

31 ส.ค. 2549

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กันยายน 2548

ก 182158

วรพจน์ งามชมภู (2548) *การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า* ปริญญานิพนธ์ วศ ม (วิศวกรรมเครื่องกล) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะกรรมการควบคุม พลตรี ศาสตราจารย์ สมชาย สิงห์โต พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง

คำสำคัญ ค่าตัวประกอบโหลด, TOU rate, ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้พลังงานของอาคารต่างๆในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมและเป็นข้อมูลในการจัดการพลังงาน ผลการศึกษาพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2547 ทั้งสิ้น 3,051,512 kWh โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU rate ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 56 49 kWh/m^2ต่อปี ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 1 108 kW ค่าตัวประกอบโหลดเฉลี่ย 32 49% มีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 402,737 บาท/เดือน ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยเท่ากับ 1 78 บาท/kWh โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศมากที่สุด 46 76% รองลงมาคือ ระบบอื่นๆ (อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน) 26 26% ระบบแสงสว่าง 23 18% และระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 83% ตามลำดับ แนวทางในการประหยัดพลังงานมีดังนี้ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เสนอให้มีการย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกัน การปรับปรุงเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดเพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ เสนอให้มีการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ และการปรับปรุงผนังของอาคารเพื่อลดค่าความร้อนที่เข้ามาในอาคาร ระบบแสงสว่าง เสนอให้มีการเปลี่ยนโคมไฟธรรมดาเป็นโคมไฟสะท้อนแสง การลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าความสว่างสูง การเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ และการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ การดำเนินการทั้งหมดจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 394,198 79 kWh/ปี เป็นเงินที่ประหยัดได้ 861,250 บาท/ปี หรือลดลง 17 82% โดยใช้เงินลงทุน 2,674,759 บาท ระยะเวลาคืนทุน 3 10 ปี

A study of energy conservation strategies In Academic Division Chulachomklao Royal Military Academy

A THESIS

BY

WORAPOT NGAMCHOMPOO

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Engineering degree in Mechanical Engineering

at Srinakharinwirot University

September 2005

Worapot Ngamchompoo (2005) *A study of energy conservation strategies In Academic Division Chulachomklao Royal Military Academy* Master thesis M Eng (Mechanical Engineering) Bangkok Graduate School, Srinakharinwirot University Advisor Committee Major General Prof Somchai Singto, Lieutenant Colonel Asst Prof Anotai Suksangpanomrung Keywords Load Factor, TOU rate, Demand Charg

This research is the study of energy consumption in various buildings in Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy The purpose of the study is to find the energy conservation strategies The result of study is found that the annual electrical energy consumption in year 2004 is 3,051,512 kWh using the electricity fee charge of TOU rate The energy consumption index is 56 49 kWh/m^2 per year The average power demand is 1,108 kW The average load factors is 32 49% The average of electricity fee is 402,737 baht per month and the average of electricity fee charged is 1 78 baht/KWh The percentage of electricity consuming by the air-condition system is 46 76%, which is the highest The remain percentage of electricity consuming are 26 26%, 23 18% and 3 83% by the other system (other electrical equipments such as computor, printer etc), the lighting system and the power transmission system respectively The energy conservation strategies in each system are as followed In the power transmission system, the minimum load of transformer should be transmitted together The load factors should be adjusted to reduce the demand charge In the air-condition system, some air conditioning should be changed and turned to be the high efficient ones The air conditionimg should be regularly maintained The wall of buildings should be improved to reduce heat coming In the lighting system,the standard luminaries should be chaged to be the high reflection efficiency luminaries The amount of lamp at the high bright area should be reduced The standard ballasts should be changed to be higher efficient ballasts The incandescent lamp should be changed to be the compact florescent lamp If energy systems are improved as mentioned as above, the Academic Division Chulachomklao Royal Military Academy can reduce 394,198 79

kWh/year of enegy usage that is to save 861,250 baht/year or reduce of 17 82% This required an investment of 2,674,759 bath with the payback period of 3 10 years

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ของ
นายวรพจน์ งามชมภู

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)
วันที่ ๙ เดือน ตุลาคม พ ศ 2548

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

ประธาน
(พลตรี ศาสตราจารย์ สมชาย สิงห์โต)

กรรมการ
(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร อุโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร พิชัย อัษฎมังคล)

กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม
(อาจารย์ ดร ศิริพรรณ ธงชัย)

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยนี้สำเร็จผลด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พลตรี ศาสตราจารย์ สมชาย สิงห์โต และ พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ พันเอก สุภโชค สัมปัตตะวนิช ผู้อำนวยการกองวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการดำเนินการและเครื่องมือวัดที่ใช้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในเรื่องข้อมูล และความร่วมมือในการสนับสนุนดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่กองยุทธโยธา ส่วนบริการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่อำนวยความสะดวกในด้านข้อมูลอาคารและระบบไฟฟ้า และบุคลากรในส่วนการศึกษาทุกท่านที่กรุณาให้ความร่วมมือในการสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้ตลอดมา

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พ่อและแม่ ที่ได้ส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้ รวมทั้งพี่น้องและเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจที่ดีเยี่ยมตลอดมา

วรพจน์ งามชมภู

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	ขอบเขตการวิจัย	3
	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	4
2	งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
	พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535	8
	การวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคาร	9
	ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	9
	ระบบปรับอากาศ	16
	ระบบแสงสว่าง	24
	ระบบอื่นๆ	29
	การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน	30
	มูลค่าเงินสุทธิ (Net Present Value)	30
	อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return)	31
	ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	32
3	แนวทางการดำเนินการวิจัย	33
	ข้อมูลเบื้องต้นของส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	33
	ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	34
	วิธีการตรวจวัด	35
	ช่วงเวลาของการตรวจวัด	35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3(ต่อ)	ขั้นตอนการดำเนินงาน	35
	แผนการเก็บข้อมูลและตรวจวัด	36
	ลักษณะข้อมูลที่ต้องการ	36
	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	38
	แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล	38
4	ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	40
	สภาพลักษณะทั่วไปของอาคาร	40
	สัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	41
	การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า	41
	สภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบต่างๆ	44
	ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	44
	ระบบปรับอากาศ	56
	ระบบแสงสว่าง	73
	ระบบอื่นๆ	84
	ภาพรวมศักยภาพการประหยัดพลังงาน	84
	การวิเคราะห์ผลการวิจัย	84
5	สรุปและข้อเสนอแนะ	87
	สรุปผลการวิจัย	87
	ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม		92

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก ผลการบันทึกกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า	96
ภาคผนวก ข การคำนวณการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้พลังงาน	102
การคำนวณค่าการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า	102
การคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบต่างๆ	109
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนในระบบการใช้พลังงาน	111
การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลัง	111
การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ	115
การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง	129
ภาคผนวก ง ภาพประกอบงานวิจัย	155
ภาคผนวก จ แผนผัง Single Line Diagram ของอาคารต่างๆ	160
ภาคผนวก ฉ ผลการเก็บข้อมูลจากการสำรวจและตรวจวัดระบบการใช้พลังงาน (แสดงไว้ใน CD แนบท้ายเล่ม)	
การตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของโหลดย่อยในอาคารต่างๆ	
การตรวจวัดโหลดย่อยของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ตำแหน่งใช้งานไกลที่สุด	
การสำรวจการใช้พลังงานและการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	
การคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ	
การสำรวจการใช้และรายละเอียดของอุปกรณ์ในระบบแสงสว่าง	
การตรวจวัดค่าการส่องสว่างในบริเวณต่างๆ	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ซ การคำนวณค่าการถายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (แสดงไว้ใน CD แนบท้ายเล่ม)	
ประวัติย่อผู้วิจัย	169

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงมูลค่าการนำเข้าพลังงานระหว่างปี 2545 ถึง ปี 2546	1
2	แสดงสภาพลักษณะอาคารต่างๆในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	40
3	แสดงลักษณะโครงสร้างคาไฟฟ้ารายเดือน	42
4	แสดงการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ารายเดือน	43
5	การเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของส่วนการศึกษากับหน่วยงานอื่น	43
6	แสดงรายละเอียดและขนาดติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า	45
7	แสดงรายละเอียดการสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	50
8	แสดงผลการประหยัดและค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการจัดโหลด	54
9	แสดงขนาดติดตั้งเครื่องปรับอากาศ	58
10	แสดงการใช้พลังงานและการตรวจประเมินเครื่องปรับอากาศ	59
11	ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (OTTV,RTTV) ของอาคารต่างๆ	60
12	ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)	62
13	ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)	62
14	ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)	63
15	ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)	64
16	ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)	67
17	ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)	67

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

18 ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) 68
19 ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) 69
20 ผลการประหยัดพลังงานในการปรับปรุงผนังอาคาร 71
21 แสดงผลการวิเคราะห์การลงทุนแนวทางการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกอาคาร 72
22 แสดงรายละเอียดขนาดติดตั้งและดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง 74
23 แสดงค่าการส่องสว่างของแต่ละอาคาร 75
24 ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนไปใช้โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง 77
25 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก
ชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ (กรณีที่ 3 1) 80
26 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็ก
ชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ (กรณีที่ 3 2) 81
27 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพค
ฟลูออเรสเซนต์ 83
28 สรุปแนวทางการประหยัดพลังงาน 86
29 คุณสมบัติหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส 102
30 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัติ (Tr No 4) 113
31 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัติ (Tr No 10) 114
32 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยน
เครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง 119
33 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการปรับปรุง
ผนังเพื่อลดค่าความร้อนที่เข้ามา 128

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

34 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนโคมไฟธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสง 134

35 แสดงค่าความสว่างตามมาตรฐาน IES (Illumination Engineer Society) 135

36 ผลการประหยัดพลังงานแนวทางการลดจำนวนหลอดไฟบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง 136

37 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนบัลลาสแกนเหล็กเป็นบัลลาสการสูญเสียต่ำ (กรณี 3 1) 144

38 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนบัลลาสแกนเหล็กเป็นบัลลาสการสูญเสียต่ำ (กรณี 3 2) 149

39 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ 154

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างปี 2545 กับ 2546 ของส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	2
2	โครงสร้างพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535	8
3	แสดงความสัมพันธ์ค่าต่างๆทางไฟฟ้า	12
4	แสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานก่อนและหลังปรับคาเพาเวอร์แฟคเตอร์	14
5	แสดงส่วนประกอบเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า	15
6	แสดงลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง	16
7	แสดงลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	16
8	แสดงลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแพคเกจ	18
9	แสดงลักษณะเครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องส่งลมเย็น	18
10	แสดงโครงสร้างภายในหลอดไส้ (Incandescent Lamp)	24
11	แสดงลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา	25
12	แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์และอุณหภูมิสี	26
13	แสดงโครงสร้างหลอดดีซชาร์จความดันไอสูง (High Intensity Discharge Lamp)	27
14	แสดงแผนผังที่ตั้งของอาคารต่างๆ	33
15	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	41
16	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 1	46
17	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 2	46
18	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 3	46
19	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 4	47
20	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5	47
21	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 6	47
22	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7	48
23	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8	48
24	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9	48

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
25	หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 10	49
26	แสดงตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 และ Tr No 7	51
27	แสดงตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8 และ Tr No 9	51
28	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 1 (ขนาด 1,250 kVA)	96
29	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 2 (ขนาด 1,000 kVA)	97
30	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 3 (ขนาด 1,000 kVA)	97
31	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 4 (ขนาด 630 kVA)	98
32	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 (ขนาด 500 kVA)	98
33	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 6 (ขนาด 500 kVA)	99
34	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7 (ขนาด 315 kVA)	99
35	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8 (ขนาด 315 kVA)	100
36	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9 (ขนาด 315 kVA)	100
37	แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 10 (ขนาด 315 kVA)	101
38	แสดงตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น	155
39	แสดงตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบติดเพดาน	155
40	แสดงตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง	156
41	แสดงตัวอย่างการติดตั้งโคมไฟในห้องเรียน	156
42	แสดงตัวอย่างการติดตั้งโคมไฟบริเวณทางเดินในอาคาร	156
43	แสดงตัวอย่างหลอดปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp) ที่ติดตั้งใช้งานที่โรงประลองวิศวกรรม	157
44	แสดงตัวอย่างบริเวณที่มีการติดตั้งใช้งานโคมไฟสะท้อนแสง	157
45	เครื่องมือวัดค่าการส่องสว่าง	158
46	เครื่องมือวัดความเร็ว อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของลม	158
47	เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้า	158

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
48	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบหลายฟังชั่น	159
49	แผนผัง Single Line Diagram 1	161
50	แผนผัง Single Line Diagram 2	161
51	แผนผัง Single Line Diagram 3	162
52	แผนผัง Single Line Diagram 4	162
53	แผนผัง Single Line Diagram 5	163
54	แผนผัง Single Line Diagram 6	163
55	แผนผัง Single Line Diagram 7	164
56	แผนผัง Single Line Diagram 8	165
57	แผนผัง Single Line Diagram 9	165
58	แผนผัง Single Line Diagram 10	166
59	แผนผัง Single Line Diagram 11	166
60	แผนผัง Single Line Diagram 12	167
61	แผนผัง Single Line Diagram 13	167
62	แผนผัง Single Line Diagram 14	168
63	แผนผัง Single Line Diagram 15	168

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สืบเนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานภายในประเทศเพิ่มมากขึ้นทุกๆปี และไม่มีแนวโน้มจะลดลง ทำให้รัฐบาลต้องเสียคาใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการจัดหาพลังงานให้ผู้บริโภคภายในประเทศใช้อย่างพอเพียง ซึ่งลำพังการผลิตพลังงานภายในประเทศนั้นยังไม่เพียงพอจึงต้องนำเข้าพลังงานมาจากต่างประเทศดังแสดงไว้ในตาราง 1 ทำให้แต่ละปีขาดดุลการค้าเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รัฐบาลจึงได้ออกมาตรการเร่งด่วนมากมายในด้านพลังงานเพื่อเป็นการลดการใช้และการนำเข้า หนึ่งในมาตรการเร่งด่วนนั้นก็คือการประหยัดพลังงานในอาคารของหน่วยงานต่างๆและโรงงานอุตสาหกรรม

ตาราง 1 แสดงมูลค่าการนำเข้าพลังงานระหว่างปี 2545 ถึง ปี 2546

หนวย พันล้านบาท

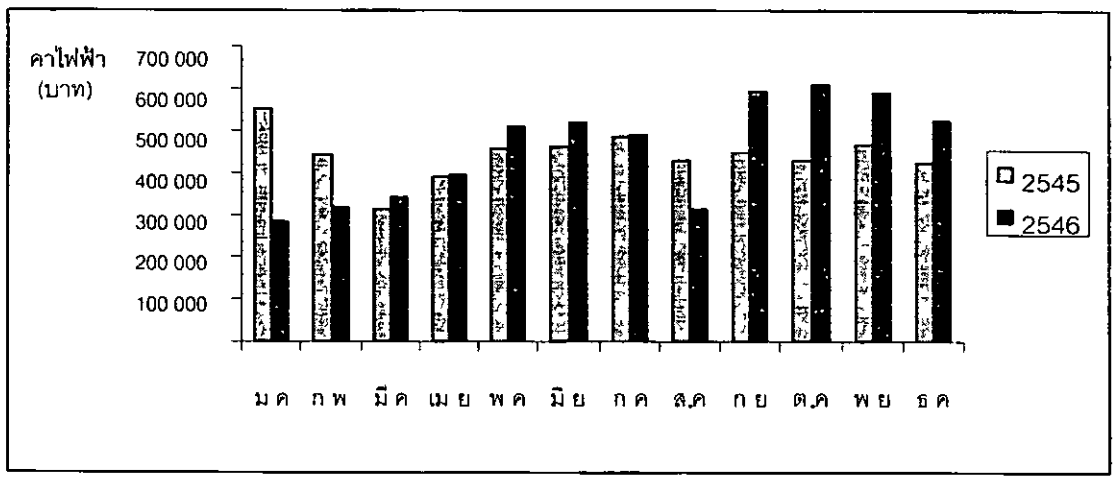
ชนิดพลังงาน	ปีนำเข้า		การเปรียบเทียบ	
	2545	2546	เพิ่มขึ้น (%)	สัดส่วน(%)
น้ำมันดิบ	287	346	20 6	85
น้ำมันสำเร็จรูป	7	9	28 6	2
ก๊าซธรรมชาติ	35	43	22 9	10
ถ่านหิน	8	9	18 5	2
ไฟฟ้า	4	4	-	1
รวม	342	411	20 2	100

ที่มา สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน(2546) รายงานสถานการณ์นโยบายและมาตรการพลังงานของไทย 2546

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ให้การศึกษาอบรมและดำเนินการฝึกนักเรียนนายร้อยเพื่อเป็นนายทหารสัญญาบัตรของกองทัพบก โดยแบ่งส่วนราชการออกเป็นกองบัญชาการ ส่วนการศึกษา ส่วนวิชาทหาร กรมนักเรียนนายร้อยรักษาพระองค์ ส่วนบริการและโรงพยาบาล

ส่วนการศึกษาเป็นหน่วยงานที่ขึ้นตรงของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า มีหน้าที่จัดการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาต่างๆให้แก่นักเรียนนายร้อย แบ่งออกเป็น 1 กองเตรียมการและควบคุมการศึกษา และ 11 กองวิชาได้แก่ กองวิชาประวัติศาสตร์ กองวิชาอักษรศาสตร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองวิชาฟิสิกส์ กองวิชาเคมี กองวิชากฎหมายและสังคมศาสตร์ กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม กองวิชาวิศวกรรมโยธา กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ

ข้อมูลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างปี 2545 กับ 2546 ของส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ได้จากการรวบรวมใบเสร็จค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดนครนายกที่แจ้งผลการใช้ ซึ่งพบว่าในปี 2545 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นจำนวนเงิน 5,293,064 บาท และ ปี 2546 เป็นจำนวนเงิน 5,485,075 บาท เพิ่มขึ้น 192,011 บาท หรือเพิ่มขึ้น 3 62% รายละเอียดของค่าไฟฟ้าแต่ละเดือนแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าระหว่างปี 2545 กับ 2546 ของส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

จะเห็นได้ว่าค่าไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังนั้นเพื่อเป็นการสนองนโยบายรัฐบาลลดการใช้และการนำเข้าพลังงาน จึงได้เกิดแนวคิดที่จะทำการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ซึ่งปัจจุบันการศึกษาการประหยัดพลังงานในสถาบันการศึกษายังมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากหลายฝ่ายมองว่าเป็นสถานที่ที่ใช้พลังงานน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ อย่างไรก็ดีแม้ว่าอัตราการใช้พลังงานจะน้อยกว่าแต่ปริมาณการใช้พลังงานก็เพิ่มขึ้นทุกๆปีย่อมมีผลกระทบต่อการนำเข้าพลังงาน

เช่นกัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในด้านการสำรวจและตรวจวัดสภาพการใช้พลังงาน เพื่อให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงาน ดัชนีการใช้พลังงาน และหาแนวทางการประหยัดพลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1 ศึกษาและตรวจวัดสภาพการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

2 วิเคราะห์การใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมและเป็นข้อมูลในการจัดการพลังงาน

ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

1 ศึกษาและตรวจวัดสภาพการใช้พลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ (อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน)

2 วิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ พร้อมทั้งหาสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบต่างๆ ดังกล่าว

3 ประเมินความเหมาะสมหาแนวทางการประหยัดพลังงานโดยใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการพิจารณา

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยทำการศึกษาและเก็บข้อมูลในแต่ละกองวิชาโดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1 สำรวจและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร สภาพทั่วไปของอาคาร โดยอาศัยแผนผังบริเวณที่ตั้งต่างๆ แบบวงจรทางเดินไฟฟ้าและการเดินสำรวจ

2 วางแผนการเก็บข้อมูลและดำเนินการเพื่อสำรวจและตรวจวัดในระบบต่างๆคือ ระบบส่งจายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ

3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและตรวจวัด เพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม

4 วิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดการพลังงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1 ทราบถึงสภาพและสัดส่วนการใช้พลังงานของระบบต่างๆในอาคาร

2 ได้ผลค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (OTTV,RTTV) อาคารต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงอาคาร

3 ได้ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับหนวยงานอื่นที่มีการศึกษามาแล้ว

4 เป็นข้อมูลในการจัดการพลังงานเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในส่วนการศึกษา

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้เป็นการทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคาร เพื่อเสนอแนะแนวทางการประหยัดพลังงานต่อเจ้าของอาคาร พร้อมทั้งนำเสนอทฤษฎีต่างๆเกี่ยวกับพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 และทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคาร

เกสร เพชรราช[1] ได้ศึกษาการจัดการการใช้พลังงานในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยศึกษาจากอาคารตัวอย่าง 4 อาคาร คือ อาคารเรียนรวม 2 อาคารเรียนและปฏิบัติการทางภาษาและสังคม อาคารคณะพลังงานและวัสดุ และสำนักหอสมุด ซึ่งเป็นตัวแทนของอาคารเก่าและอาคารใหม่ การศึกษาพบว่าในอาคารเรียนรวม 2 มีสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเป็น 17 22% ระบบปรับอากาศเป็น 54 38% และอื่นๆเป็น 28 4% อาคารเรียนและปฏิบัติ การทางภาษาและสังคมมีสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเป็น 29 24% ระบบปรับอากาศเป็น 59 48% และอื่นๆเป็น 11 28% อาคารคณะพลังงานและวัสดุมีสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเป็น 40 00% ระบบปรับอากาศเป็น 27 48% และอื่นๆเป็น 32 52% และสำนักหอสมุดมีสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเป็น 20 27% ระบบปรับอากาศเป็น 67 62% และอื่นๆเป็น12 11% สาเหตุการสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่เกิดจากพฤติกรรมของผู้ใช้งาน จึงได้เสนอมาตรการการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการใช้งานในระบบแสงสว่าง การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิในระบบปรับอากาศและการเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า พบว่าประหยัดพลังงานลงได้ทั้งหมด 1,058,896 90 บาท/ปี

เจียรนัย มาสมาน[2] ได้ทำการศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ พบว่า อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 54 40% ระบบแสงสว่าง 28 50% และระบบอื่นๆ 17 10% พร้อมทั้งได้เสนอแนวทางการประหยัดพลังงานไว้ดังนี้ 1 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการติดตั้ง Capacitor ขนาด 400 kVAR เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ จาก 0 65 ให้เป็น 0 95 ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 8 เดือน 2 การปรับปรุงขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากผลการตรวจสอบพบว่าโรงพยาบาลใช้หม้อแปลงขนาด 1,000 kVA ตัวประกอบโหลดของหม้อแปลงมีค่า 0 47 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก ดังนั้นจึงเสนอให้เปลี่ยนไปใช้หม้อแปลงที่มีขนาด 700 ถึง 800 kVA จะช่วยลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าลงได้ 3 การลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู

โรงพยาบาล ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีการถ่ายเทความร้อนผ่านทางกระจกมากกว่าทางผนังทึบ 6 ถึง 10 เท่า ดังนั้นควรลดความร้อนดังกล่าวด้วยการติดม่าน ติดฟิล์มกรองแสง หรือติดมูลี่

ปรีชา ศรีประภาคาร[3] ได้ศึกษาการจัดการพลังงานในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งมีจำนวน 23 หน่วยงาน โดยทำการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด และใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานโดยการลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งพิจารณาตามระบบ TOU rate โดยแบงศึกษาเป็น 3 ระบบคือ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ พบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานดังนี้ ระบบปรับอากาศ 20 88% ระบบแสงสว่าง 19 07% และระบบอื่นๆ 60 05% คาความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นที่เวลา 14 00 – 15 00 นาฬิกา จากมาตรการลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบแสงสว่างสามารถประหยัดได้ 936,388 51 kWh/ปี ในระบบปรับอากาศสามารถประหยัดได้ 37,915 98 kWh/ปี ในระบบอื่นๆสามารถประหยัดได้ 8,925 kWh/ปี ระยะเวลาคืนทุน 6 08 ปี

สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ[4] ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานในมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ในการศึกษาได้ทำการสุ่มตัวอย่างของประชากรระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างเป็นแบบ Stratified Random Sampling ระบบกรอบอาคารเป็นแบบ Simple Random Sampling และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการต่างๆเป็นแบบ Stratified Random Sampling จากการศึกษาพบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 66 00% ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อส่องสว่าง 5 00% และใช้พลังงานของอุปกรณ์ในห้องทำงานและห้องปฏิบัติการ 29 00% ค่า OTTV สูงสุดมีค่า 38 05 W/m^2 และค่า RTTV สูงสุดมีค่า 18 90 W/m^2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ ศ 2535 โดยได้เสนอแนวทางการประหยัดพลังงานในระยะสั้นถึงระยะปานกลางคือ 1 การรักษาความสะอาดและบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ 2 การปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศและลดการรั่วไหลของอากาศภายนอกที่เข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศ 3 การปรับปรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง 4 การลดการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งสามารถประหยัดได้ประมาณ 1,728,857 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 2 90 ปี ในระยะยาวนั้นเสนอให้มีการใช้ระบบกักเก็บความเย็นในรูปน้ำแข็งแบบ Partial Storage ซึ่งสามารถประหยัดได้ 3,124,869 บาท/ปี มีอัตราผลตอบแทน (IRR) 6 8 %

Butala V , and Novak P [5] ได้ศึกษาถึงการใช้พลังงานและศักยภาพการประหยัดพลังงานของโรงเรียนใน Slovenia จำนวน 24 โรง จากการตรวจวิเคราะห์พบว่าอาคารเหล่านี้มีการใช้พลังงานสูง และจากการสำรวจความคิดเห็นนักเรียน 60% ให้ความเห็นว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารไม่ค่อยดี การใช้พลังงานความร้อนของ Boiler และ Heat Exchanger พบว่าใช้พลังงานมากกว่า 57% ของทั้งหมด พลังงานที่สูญเสียในอาคารเรียนเป็น 89% ของพลังงานทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าค่าแนะนำ แนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารแบ่งเป็น 3 ระบบหลักๆ คือ ระบบอาคาร ระบบทำ

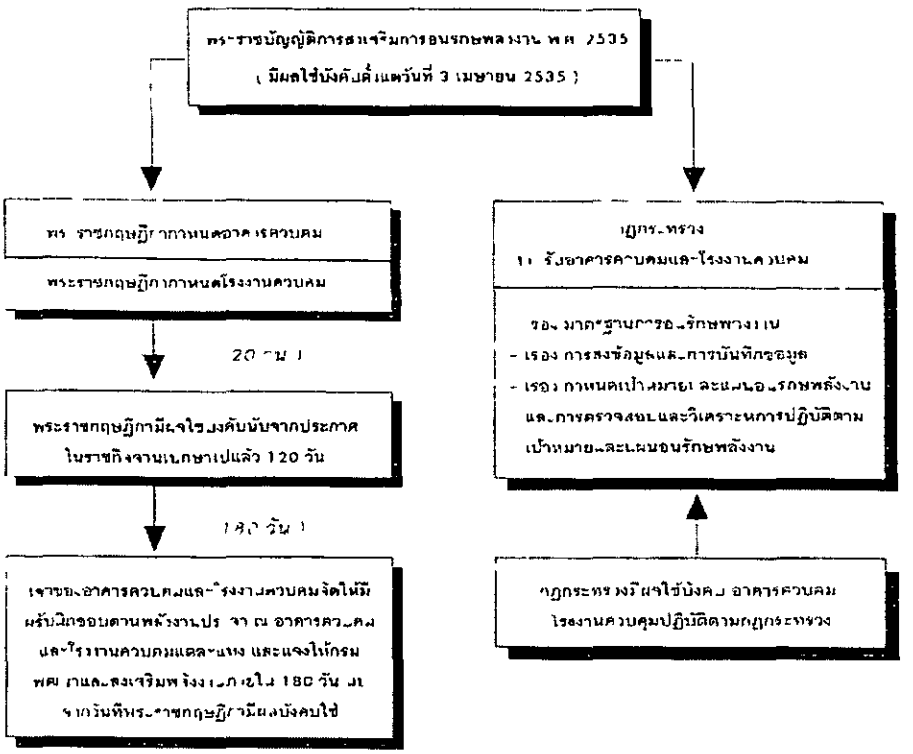
ความร้อนและระบบจัดการองค์กร โดยแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบอาคารที่คุ้มคาต่อการลงทุน คือ การติดฉนวนกันความร้อนให้กับอาคาร

Deng S M , and Burnett J [6] ได้ศึกษาการใช้พลังงานของโรงแรมในฮ่องกงจำนวน 16 โรง โดยทำการศึกษาจากการรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของปี 1995 และจากการสำรวจและบันทึกผลการปฏิบัติงานต่างๆ ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานนั้นได้ทำการวิเคราะห์จากดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ของโรงแรม (Energy Use Index ,EUI) จากการศึกษาพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดของพลังงานทั้งหมด รองลงมาคือพลังงานความร้อนและพลังงานอื่นๆ ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานในโรงแรมได้แก่ อายุการใช้งานอาคาร จำนวนห้องพัก เป็นต้น และยังพบว่าการวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงแรมจากค่า EUI นั้นยังไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงเสนอให้มีการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารของโรงแรมให้ละเอียดขึ้นอีก โดยแบ่งศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่แขกเข้าพักและส่วนที่แขกไม่ได้เข้าพัก ทั้งนี้การศึกษาการใช้พลังงานของโรงแรมควรได้รับการพัฒนาต่อไปอีก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แบ่งแนวทางการวิจัยออกเป็น 2 แนวทาง คือ การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์จากการสุ่มตัวอย่างของอาคาร และการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์จากอาคารทั้งหมด แนวทางในการประหยัดพลังงานที่น่าสนใจ คือ มาตรการที่เกี่ยวกับการบำรุงรักษา การใช้งาน และการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน ซึ่งเป็นมาตรการที่สมควรดำเนินการในลำดับต้นๆ และวิธีการประเมินความเหมาะสมของแนวทางการประหยัดพลังงานกระทำโดยใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพราะจะทำให้ได้ข้อมูลในการตัดสินใจลงทุนของหน่วยงาน

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 ได้ประกาศในพระราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 2 เมษายน 2535 มีผลบังคับใช้ในวันถัดไป พระราชบัญญัตินี้ส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานโดยรวมในประเทศและมีกฎเกณฑ์และมาตรฐานเดียวกัน โดยมีการดำเนินการส่งเสริมทั้งทางด้านเทคนิคและการเงิน ซึ่งมีการบัญญัติอาคารและโรงงานควบคุมให้ปฏิบัติตาม ต่อมาได้ออกพระราชกฤษฎีกาและกฎกระทรวงตามมา โดยมีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535

ในการดำเนินการตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 นั้น กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนชื่อเป็นกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานที่กำกับดูแลให้อาคารและโรงงานควบคุมนั้นปฏิบัติตามรวมทั้งเผยแพร่ข่าวสารข้อมูล และส่งเสริมกิจกรรมด้านการประหยัดพลังงานแก่หน่วยงานต่างๆทั้งภาครัฐและเอกชน

การวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคาร

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานซึ่งปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้แนะนำแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคาร[7] โดยแบ่งออกเป็น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในอาคารมี 3 แนวทาง คือ การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ และการปรับปรุงหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

1 การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารทั่วๆไป มีองค์ประกอบที่มีผลต่ออัตราค่าไฟฟ้าดังนี้ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และเพาเวอร์แฟคเตอร์ จากองค์ประกอบเหล่านี้การไฟฟ้าจะเรียกเก็บเงินจากลูกค้าโดยระบุค่าธรรมเนียมต่างๆไว้ดังนี้

ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) คือ ค่าธรรมเนียมที่คิดจากจำนวนการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ในหนึ่งเดือน โดยมีอัตราที่แตกต่างกันไป

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand Charge) คือ ค่าธรรมเนียมที่คิดจากจำนวนความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดของเดือนนั้น เช่น ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 คือ ธุรกิจขนาดกลาง (30 -1999 kW) ที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนสุดท้ายไม่เกิน 355,000 kWh/เดือน ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 12 - 24 kV ขึ้นไป มีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ากิโลวัตต์ละ 196 26 บาท เป็นต้น

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มี Lagging Power Factor ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการไฟฟ้ารีแอคตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดเกินกว่าร้อยละ 63 ของความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้วเฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตราเควาร์ (kVAr) ละ 14 02 บาท

จากองค์ประกอบของเงินค่าไฟฟ้าที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นว่าค่าธรรมเนียมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ามีสัดส่วนค่อนข้างสูงโดยเป็นอันดับสองรองจากค่าพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นถ้าสามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าลงได้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในแต่ละเดือนก็จะลดลงได้เอง

สาเหตุที่ต้องมีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเพราะเป็นสาเหตุหนึ่งที่แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าว่าเป็นอย่างไร ถ้าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ (ตัวประกอบโหลดก็จะต่ำ) แต่ถ้าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำ

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานก็จะสูง (ตัวประกอบโหลดก็จะสูง) ดังนั้นถ้ามีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าก็จะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน แนวทางในการพิจารณาเพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับคำวาตัวประกอบโหลดซึ่งเป็นคาที่ได้จากการวัดความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีคำจำกัดความดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลด (Load Factor)} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดต่อเดือน}}{\text{กิโลวัตต์สูงสุด} \times \text{จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}} \times 100\% \qquad (2\ 1)$$

พิจารณาสมการตัวประกอบโหลดจะเห็นว่าตัวแปรที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ตัวประกอบโหลดสูงหรือต่ำ จะมีสองตัว คือ จำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) และ กิโลวัตต์สูงสุดหรือความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ดังนั้นสามารถเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้นได้ 2 วิธีคือ 1 การลดจำนวนความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลง และ 2 การลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลงเพื่อให้สมดุลกับจำนวนความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลงอันมีผลทำให้อัตราส่วนของค่าทั้งสองเพิ่มขึ้น ในการลดจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้นั้นจะมีผลต่อการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดไม่มากนัก แต่จะส่งผลโดยตรงต่อค่าไฟฟ้าที่ลดลง

2 การแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าจริง (Real or Active Power) มีหน่วยวัดเป็น กิโลวัตต์ (kW) เป็นพลังงานที่เปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือ พลังงานกล เป็นต้น และอีกส่วนหนึ่งคือ กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ (Reactive Power) มีหน่วยวัดเป็น กิโลวาร์ (kVAr) เป็นพลังงานที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้ แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟนี้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนนี้เรียกว่า กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยวัดเป็น เควีเอ (kVA) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ และมีขนาดเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าในวงจรกับแรงดันของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏเรียกว่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor , P F) ซึ่งเป็นตัวบอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆใช้กำลังไฟฟ้าจริงเป็นอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ดังนั้นใน

ระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูง จะมีความสามารถหรือประสิทธิภาพในการทำงานดีกวาระบบไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่า

อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้งานในกิจการตางๆนั้น จะเป็นชนิดที่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีเพียงเครื่องจักรซิงโครนัส (Synchronous Machines) และคาปาซิเตอร์กำลัง (Power Capacitor) เท่านั้นที่สามารถจ่ายกำลังงานรีแอกตีฟให้กับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟได้ ดังนั้นการติดตั้งคาปาซิเตอร์เป็นวิธีทีดีที่สุดในปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้ดีขึ้น คาปาซิเตอร์กำลังมีคุณสมบัติที่ดีอยู่หลายอยางเนื่องจากราคาถูกกว่าเครื่องจักรซิงโครนัสแล้วยังติดตั้งใช้งานได้ง่าย ในทางปฏิบัติแทบไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลยเพราะไม่มีส่วนที่มีการเคลื่อนไหวและประการสำคัญคือมีกำลังงานสูญเสียในตัวเองต่ำมาก การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นจะมีผลดีต่อระบบไฟฟ้าหลายประการ เช่น

1 ลดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในวงจรตั้งแต่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจนถึงตำแหน่งที่ติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์

2 ลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าลง ซึ่งจะมีผลดีต่ออุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิล เป็นต้น

3 ลดแรงดันตกคร่อมในระบบไฟฟ้าลง ทำให้ระบบแรงดันไฟฟ้ามีความมั่นคงมากขึ้น

4 เพิ่มขีดความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้น

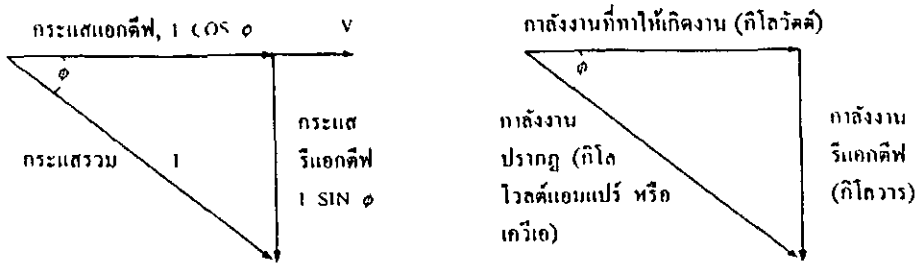
5 ลดค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้าอยู่ทุกๆเดือน

สำหรับข้อดีต่างๆที่ได้กล่าวมานั้น จะมีผลมากที่สุดก็ต่อเมื่อมีการติดตั้งคาปาซิเตอร์กับอุปกรณ์ที่มีค่าเพาเวอแฟคเตอร์ต่ำๆเท่านั้น

อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ต้องการกระแส 2 ส่วนด้วยกัน คือ

กระแสส่วนที่ทำให้เกิดการทำงาน (Active Current) เป็นกระแสที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นงานได้ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปความร้อน แสงสว่าง หรือกำลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่างๆ มีหน่วยที่ใช้วัดกำลังงานเป็น กิโลวัตต์ (kW)

กระแสส่วนที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็ก (Reactive Current) เป็นกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กซึ่งจำเป็นมากในอุปกรณ์ที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น โดยเรียกกำลังงานที่ต้องใช้ในส่วนนี้ว่า กำลังงานรีแอกตีฟ มีหน่วยวัดเป็นกิโลวาร์ (kVAr) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆแสดงได้ตามภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงความสัมพันธ์คากระแสต่างๆทางไฟฟ้า

จากภาพประกอบ 3 นั้นจะสามารถหากระแสทั้งหมดทีอุปกรณ์ไฟฟ้ารับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\text{Total Current} = \sqrt{(\text{Active Current})^2 + (\text{Reactive Current})^2} \qquad (2\ 2a)$$

$$I = \sqrt{(I\cos\phi)^2 + (I\sin\phi)^2} \qquad (2\ 2b)$$

ถ้าเอาแรงดันไฟฟ้าคูณตลอดทั้งทางด้านซ้ายและขวาของสมการที่ 2 2b จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังงานปรากฏ กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอกตีฟ ดังนี้

$$\text{Apparent Power} = \sqrt{(\text{Active Power})^2 + (\text{Reactive Power})^2} \qquad (2\ 3a)$$

$$VI = \sqrt{(VI\cos\phi)^2 + (VI\sin\phi)^2} \qquad (2\ 3b)$$

คำจำกัดความของคำว่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

เพาเวอร์แฟคเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏในวงจรไฟฟ้าใดๆ ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่โดยปกติพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\text{เพาเวอร์แฟคเตอร์} = \frac{\text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน}}{\text{กำลังงานปรากฏ}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \qquad (2\ 4)$$

หรือจากภาพประกอบ 3 จะได้ เพาเวอร์แฟคเตอร์ = $\cos\phi$ (2 5)

จากภาพประกอบ 3 จะได้ความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้

$$\cos\phi = \frac{\text{Active Power}}{\text{Apparent Power}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \qquad (2\ 6)$$

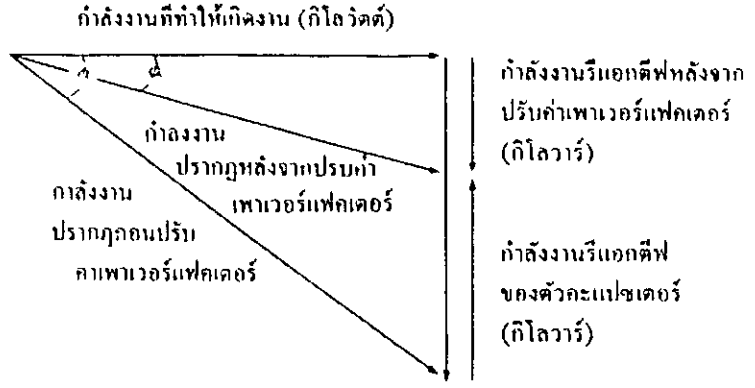
$$\tan\phi = \frac{\text{Reactive Power}}{\text{Active Power}} = \frac{\text{kVAr}}{\text{kW}} \qquad (2\ 7)$$

$$\sin\phi = \frac{\text{Reactive Power}}{\text{Apparent Power}} = \frac{\text{kVAr}}{\text{kVA}} \qquad (2\ 8)$$

ตามปกติแล้วถ้าโหลดไม่เปลี่ยนแปลง ค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงานนั้นจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏและกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดั้งนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณจะจัดอยู่ในรูปกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน คือ

กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟ = กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน $\times \tan\phi$ (2 9a)

kVAr = kW $\times \tan\phi$ (2 9b)



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าส่วนต่างๆทั้งก่อนและหลังปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

ขนาดของคาปาซิเตอร์สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม = $kW \times \tan\phi_1$ (2 10)

กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่ = $kW \times \tan\phi_2$ (2 11)

โดยที่ ϕ_1 เป็นมุมของเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม

ϕ_2 เป็นมุมของเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่

ดังนั้นขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ คือ

กำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟของคาปาซิเตอร์ = กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน$\times (\tan\phi_1 \times \tan\phi_2)$ (2 12a)

$kVAr = kW \times (\tan\phi_1 \times \tan\phi_2)$ (2 12b)

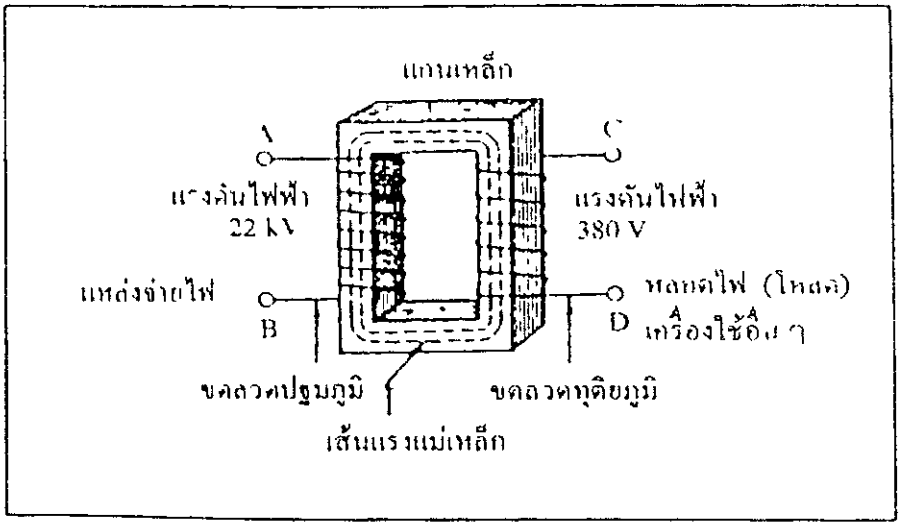
$kVAr = kW \times \Delta\tan\phi$ (2 12c)

3 การปรับปรุงหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันสูงเป็นแรงดันต่ำตามระดับการใช้งานที่ต้องการได้

3 1 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด 2 ขด คือ ขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิซึ่งพันอยู่รอบแกนเหล็กดังภาพประกอบ 5 ซึ่งขดลวดทั้งสองนี้ไม่ได้ต่อกันโดยตรงทางไฟฟ้าหากแต่ถูกกันห่างกันด้วยฉนวน เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิที่ขดลวดนี้จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กและจะถูกส่งไปยังขดลวดทุติยภูมิโดยผ่านแกนเหล็ก ทำให้เกิดแรงดัน ไฟฟ้า

ขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ สำหรับอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิเทียบกับแรงดัน ไฟฟ้าที่เกิดที่ขดลวดทุติยภูมินั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนจำนวนรอบที่พันของขดลวดทั้งสอง



ภาพประกอบ 5 แสดงส่วนประกอบเบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า

3 2 การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในหม้อแปลงไฟฟ้า แบ่งออก 2 ประเภทคือ

การสูญเสียขณะไม่มีโหลด หมายถึง การสูญเสียกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่ได้จ่ายโหลด การสูญเสียนี้เกิดขึ้นในแกนเหล็ก หรือเรียกว่า Iron Loss หรือ Core Loss ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Core Loss ในหม้อแปลงไฟฟ้า} = \text{Core Loss} \times \text{ชั่วโมงใน 1 ปี} \qquad (2\ 13)$$

การสูญเสียเนื่องจากมีโหลด หมายถึง การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลด หรือเรียกว่า Copper Loss ซึ่งหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{Coper Loss ในหม้อแปลงไฟฟ้า} = \text{Copper Loss} \times \left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2 \times \text{ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี} \qquad (2\ 14)$$

3 3 แนวทางการประหยัดพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า แนวทางที่ใช้ในการประหยัดพลังงานสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าแบ่งออก 2 หัวข้อใหญ่ๆ คือ

3 3 1 ปรับปรุงการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีวิธีการดังนี้ คือ การปลดแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (ด้านแรงสูง) ของหม้อแปลงไฟฟ้าในขณะไม่มีโหลด การย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกันเพื่อเพิ่มตัวประกอบโหลด การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (ด้านแรงดันต่ำ) ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม และการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในหม้อแปลงไฟฟ้า

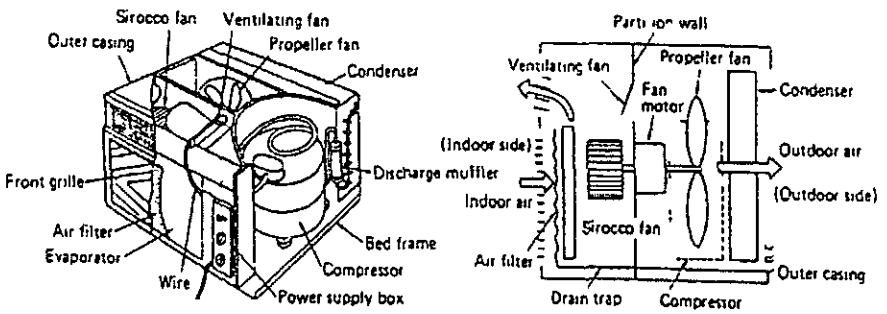
3 3 2 พิจารณาเลือกซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประสิทธิภาพสูงและให้มีขนาดที่เหมาะสมกับโหลด

ระบบปรับอากาศ

1 การจำแนกเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศในปัจจุบันส่วนมากสามารถจำแนกออกเป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ คือ

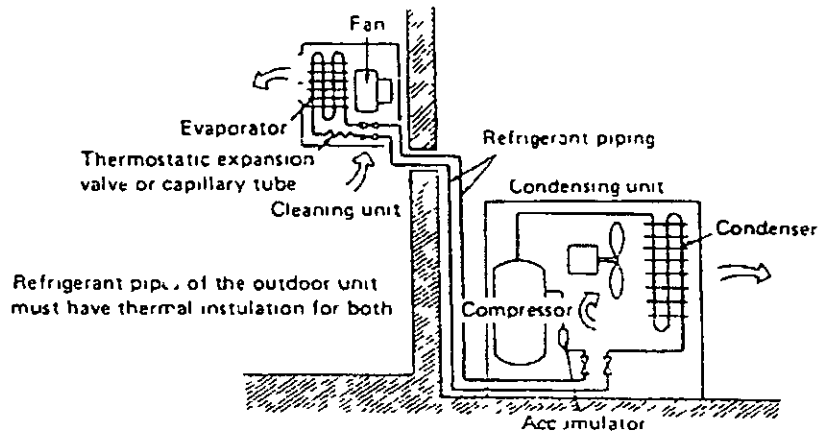
1 1 **เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง** (Window Type) เป็นชนิดที่อุปกรณ์เครื่องปรับอากาศรวมไว้ในชุดเดียวใช้ติดบริเวณผนังหรือหน้าต่างของห้องที่ต้องการปรับอากาศ โดยส่วนที่ทำความเย็นอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศและส่วนระบายความร้อนอยู่ภายนอก เป็นระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cool) ซึ่งลักษณะของเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างแสดงได้ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง

1 2 **เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน** (Split Type) เป็นเครื่องปรับอากาศที่แยกส่วนของคอนเดนเซอร์ (Condenser) และ อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) ออกจากกันเพื่อให้สะดวกในการติดตั้ง ซึ่งส่วนที่ปรับอากาศจะมีเพียงอีวาพอเรเตอร์เท่านั้นและส่วนคอนเดนเซอร์จะอยู่ภายนอกจึง

มีการระบายความร้อนได้ดีและเสียงจะเงียบกว่าแบบแรก ส่วนมากจะระบายความร้อนด้วยอากาศซึ่งลักษณะของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแสดงได้ดังภาพประกอบ 7

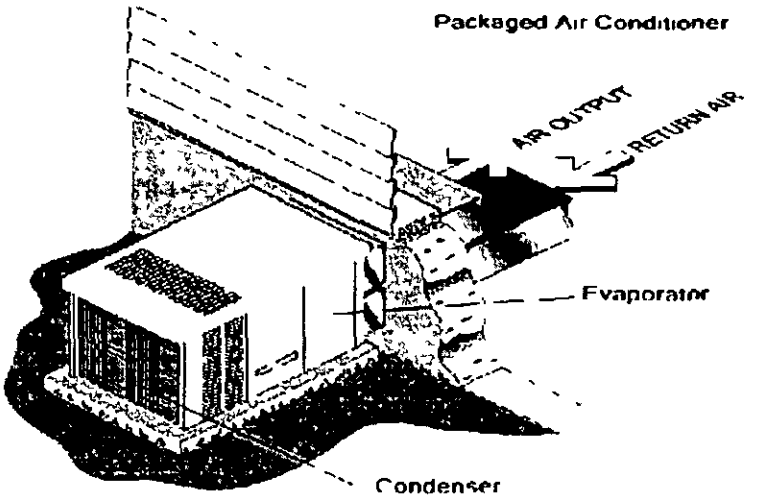


ภาพประกอบ 7 แสดงลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกสวน

1 3 **เครื่องปรับอากาศแบบแพคเกจ** (Package Type) เป็นเครื่องปรับอากาศแบบครบชุดในตัวสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดตามวิธีการระบายความร้อน ดังนี้

ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Package Air Cool) จะมีโครงสร้างเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างแตจะมีขนาดทำความเย็นมากกว่าประมาณ 3 - 30 ตันความเย็น การส่งลมเย็นจะใช้วิธีเดินท่อลม การใช้เครื่องปรับอากาศแบบนี้จะใช้สะดวกกับอาคารเนื่องจากการใช้งานจะใช้งานเฉพาะบริเวณไม่จำเป็นต้องเดินระบบประกอบ แต่จะมีข้อเสียคือใช้ไฟฟ้าประมาณ 1 45 - 1 7 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ซึ่งนับว่าใช้พลังงานมากและมีเสียงดังจึงต้องมีการติดตั้งไว้ที่ห้องเครื่องโดยเฉพาะ

ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Package Water Cool) มีลักษณะคล้ายกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศแต่แบบนี้จะใช้น้ำแทน ซึ่งน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศทำให้การระบายความร้อนได้ดีกว่า ใช้ไฟฟ้าประมาณ 1 2 กิโลวัตต์/ตันความเย็น มีอุปกรณ์ระบายความร้อนด้วยน้ำคือ หอผึ่งลม (Cooling Tower) กล่าวคือ น้ำที่ใช้ระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์จะไหลไปที่หอผึ่งลมและถูกฉีดให้กับลมที่ถูกเป่าออกจากพัดลมของหอผึ่งลม ซึ่งทำให้น้ำระเหยตัวกลายเป็นละอองและคายความร้อนให้กับลมโดยอุณหภูมิจะลดลงและตกลงสู่ถังรองน้ำ ซึ่งก็จะนำไปใช้ในกระบวนการระบายความร้อนต่อไป



ภาพประกอบ 8 แสดงลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแพคเกจ

1 4 เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller)
เครื่องปรับอากาศชนิดนี้จะใช้วิธีทำความเย็นให้กับน้ำแทนที่จะทำความเย็นให้กับอากาศโดยตรง ซึ่งจะใช้เครื่องสูบน้ำเย็น (Water Chiller Pump) ในการส่งน้ำเย็นเข้าท่อน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit , AHU) อากาศที่ร้อนจะถูกดูดเข้ามาลดอุณหภูมิและส่งออกไปบริเวณพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ ส่วนน้ำที่มีผ่านเครื่องส่งลมเย็นจะมีอุณหภูมิสูงและถูกส่งไปที่เครื่องทำน้ำเย็นโดยท่อความเย็นกลับ (Return Chiller Water Pipe) เป็นวัฏจักร เครื่องทำน้ำเย็นจะแบ่งออก 2 ชนิดตามการระบายความร้อนคือ ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำและระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งลักษณะของเครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องส่งลมเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์แสดงได้ดังภาพประกอบ 9

ภาพประกอบ 9 แสดงลักษณะเครื่องทำน้ำเย็นและเครื่องส่งลมเย็น

2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio , EER)

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างค่าความเย็นที่เครื่องปรับอากาศทำได้ต่อกำลังไฟฟ้าที่ให้กับคอมเพสเซอร์ (Compressor) โดยหาได้จากสมการ 2 15

$$EER = \frac{\text{ความสามารถการทำความเย็น (Btu/h)}}{\text{กำลังไฟฟ้าทีคอมเพสเซอร์ใช้ (Watt)}} \qquad (2\ 15)$$

3 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/Tr)

ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการทำความเย็น 1 ตัน ความเย็นของเครื่องปรับอากาศจะใช้กำลังไฟฟ้ากี่กิโลวัตต์ โดยแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ต่อตันความเย็นที่ทำได้ ซึ่งหาได้จากสมการ 2 16

$$kW/Tr = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ (kW)}}{\text{ตันความเย็นที่ทำได้ (Tr)}} \qquad (2\ 16)$$

4 แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศมี 4 วิธี ดังนี้

4 1 การใช้งานอุปกรณ์ปรับอากาศที่มีอยู่เดิมอย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานอยู่ในอาคารถ้าใช้อย่างมีหลักเกณฑ์และคำนึงถึงเรื่องการประหยัดพลังงานแล้วจะสามารถประหยัดการใช้พลังงานลงได้โดยเจ้าของอาคารไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติม มีแนวทางดังนี้

4 1 1 ควบคุมความดันคอนเดนเซอร์ให้ต่ำลง โดยลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าไประบายความร้อนในคอนเดนเซอร์ให้ต่ำลง

4 1 2 ควบคุมความดันด้านอีวาพอเรเตอร์ให้สูงขึ้น โดยปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นในเครื่องทำความเย็นให้สูงขึ้น

4 1 3 การใช้ Return Air และ Outside Air

4 2 การปรับปรุงระบบปรับอากาศที่ใช้อยู่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคารเมื่อปรับปรุงหรือติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานเพิ่มเข้าไปแล้วจะสามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมของระบบลงได้ ทั้งนี้เจ้าของอาคารจะต้องลงทุนปรับปรุงหรือติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับอาคารนั้นๆ วิธีต่างๆดังกล่าว คือ

4 2 1 การหุ้มฉนวนท่อน้ำให้มีความหนาที่เหมาะสม

4 2 2 การลดภาระความร้อนของพื้นที่ปรับอากาศ ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศส่วนมากจะมาจากภายนอกนั้นคือความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์นั้นเอง ดังนั้นในการที่จะลดภาระความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์นั้น จะต้องศึกษาดัชนีตัวหนึ่งที่แสดงความสามารถของโครงสร้างอาคารในการถ่ายเทความร้อนเข้าอาคารทางผนังและหลังคาซึ่งเรียกว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (Overall Thermal Transfer Value , OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value , RTTV) โดยในการคำนวณจะต้องเป็นไปตามหลักการที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังนี้

$$OTTV_t = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (SC)(WWR)(SF) + (U_f)(WWR)(\Delta T) \qquad (2\ 17)$$

โดยที่

$OTTV_t$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2\ ^oC$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างและของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของผนังทึบ (^oC)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ($W/m^2\ ^oC$)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 ^oC

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดด

SF = ค่าตัวประกอบรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

$$RTTV_i = (U_i)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (SC)(SRR)(SF) + (U_s)(SRR)(\Delta T) \quad (2\ 19)$$

โดยที่

$RTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคารส่วนที่พิจารณา (W/m^2)

U_i = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ ($W/m^2\ ^oC$)

SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีของหลังคาส่วนทึบ (^oC)

U_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง ($W/m^2\ ^oC$)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับประเทศไทย ค่านี้คือ 5 ^oC

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

เพราะฉะนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาอาคาร คือ

$$OTTV = \frac{(A_{01})(OTTV_1) + (A_{02})(OTTV_2) + \quad + (A_{0i})(OTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + \quad + A_{0i}} \quad (2\ 18)$$

$$RTTV = \frac{(A_{01})(RTTV_1) + (A_{02})(RTTV_2) + \quad + (A_{0i})(RTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + \quad + A_{0i}} \quad (2\ 20)$$

โดยที่ A_{0i} = พื้นที่ส่วนที่พิจารณา

ซึ่งความเหมาะสมของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และหลังคาของอาคารจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและประเภทอาคาร โดยค่ามาตรฐานที่กฎหมายได้ใช้ควบคุมอาคารให้ปฏิบัติตามนั้นจะกำหนดในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 ดังนั้น ถ้าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาของอาคารเกินกว่ากฎหมายกำหนด เจ้าของอาคารต้องปรับปรุงอาคารของตนเพื่อให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4 2 3 การเปลี่ยนไปใช้ระบบทำความเย็นแบบเก็บกักความเย็น ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้หลักการเก็บความเย็นในรูปแบบน้ำแข็งและน้ำเย็นในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) และจ่ายความเย็นที่เก็บไว้มาใช้ในช่วงเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูง (On Peak หรือ Partial Peak) ระบบเก็บกักความเย็นจะช่วยลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในด้านค่าความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ไม่ได้ช่วยให้ใช้พลังงานลดลง เพียงแต่เป็นการย้ายเวลาการใช้พลังงานจาก On Peak ไปยัง Off Peak ระบบเก็บกักความเย็นแบ่งเป็นชนิดต่างๆดังนี้

เก็บกักความเย็นในรูปน้ำเย็น (Chilled Water Storage System) เป็นการนำความร้อนสัมผัสจากน้ำเย็นมาใช้งาน ความสามารถของการทำความเย็นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำเย็นที่เก็บไว้ ถ้าต้องการให้ได้ความเย็นมากจะต้องใช้พื้นที่ในการเก็บความเย็นมาก แต่อย่างไรก็ตามการลงทุนระบบไม่สูงมากเพราะสามารถใช้ควบคู่ไปกับระบบทำความเย็นที่ติดตั้งใช้งานอยู่แล้ว และเป็นระบบไม่ซับซ้อนซึ่งหลักการทำงานคือ ในช่วง Off Peak เครื่องทำน้ำเย็นจะผลิตน้ำเย็นเก็บไว้ในถังและช่วง On Peak หรือ Partial Peak ปั๊มน้ำเย็นจะสูบน้ำเย็นจากถังไปยังเครื่องส่งลมเย็น

เก็บความเย็นในรูปแบบน้ำแข็ง (Ice Storage System) เป็นการนำความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำแข็งกลายเป็นน้ำและความร้อนสัมผัสจากน้ำ 0 ^{o}C เป็นน้ำอุณหภูมิ 6 - 7 ^{o}C มาใช้ ดังนั้นจะช่วยลดขนาดของถังเก็บได้แต่จะใช้พลังงานมากกว่าแบบแรกเพราะต้องทำความเย็นให้น้ำเป็นน้ำแข็ง

ลักษณะการทำงานของระบบเก็บกักความเย็นโดยทั่วไปมีลักษณะดังนี้

Full Storage เป็นการเก็บกักความเย็นให้เพียงพอสำหรับภาระการทำความเย็นทั้งหมด โดยเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานในช่วง Off Peak เท่านั้นและจะมีขนาดที่ใหญ่

Partial Storage เครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในช่วงเวลา Off Peak จะผลิตและเก็บความเย็นไว้ ส่วนในช่วง On Peak หรือ Partial Peak จะผลิตความเย็นเพื่อใช้ในการปรับอากาศในบางส่วนและนำความเย็นที่เก็บกักมาใช้ในส่วนที่เหลือ ระบบจะมีขนาดเล็กลงแต่ลดพลังไฟฟ้าสูงสุดได้น้อยกว่า

4 3 **การออกแบบอาคารที่มีการปรับอากาศ** การออกแบบระบบปรับอากาศและการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆเพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในอาคารที่จะสร้างใหม่นั้น ควรคำนึงถึงเรื่องการใช้พลังงานภายในอาคารซึ่งระบบปรับอากาศเป็นส่วนที่มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์สูงและจะต้องการออกแบบคลอบคลุมถึงเรื่องดังต่อไปนี้

4 3 1 การจัดทิศทางของอาคาร

4 3 2 อาคารถาวรข้างเคียง

4 3 3 การใช้ผิวผนังสะท้อนแสงหรือกระจกสะท้อนแสง

4 3 4 รูปรางอาคาร

4 3 5 หลังคา

4 3 6 การบังแสง

4 3 7 ตำแหน่งห้องเครื่องปรับอากาศ

4 3 8 การประเมินภาระความเย็น

4 3 9 การเลือกใช้อุปกรณ์ระบบปรับอากาศ

4 4 การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศจะไม่ประสบความสำเร็จถ้าปราศจากการใช้งานจริงของระบบ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายและรักษาระดับการใช้พลังงานให้ต่ำสุดมีข้อแนะนำการบำรุงรักษาในระบบปรับอากาศดังนี้

4 4 1 ทดสอบและปรับแต่งระบบเป็นครั้งคราว ซึ่งส่วนมากการปรับแต่งตอนติดตั้งครั้งแรกก็จะไม่มีการปรับแต่งอีกเลยทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงเรื่อยๆ

4 4 2 ตั้งเทอร์โมสตัท (Thermostat) ให้ควบคุมอุณหภูมิเหมาะสมกับความสบายเท่านั้น ไม่ควรตั้งเทอร์โมสตัทไว้ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดและหมั่นตรวจสอบว่าเทอร์โมสตัทสามารถทำงานได้ปกติหรือไม่

4 4 3 ควรทำความสะอาดแผงกรองอากาศและขดทำความเย็นเป็นประจำ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

4 4 4 ทำความสะอาดแผงคอนเดนเซอร์และอีวาพอเรเตอร์

4 4 5 ทำความสะอาดหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) เป็นประจำ

4 4 6 ตรวจความตึงของสายพานพัดลมและอัดจารบีเป็นประจำ

4 4 7 ตรวจสอบรอยรั่วของท่อลมที่อาจเกิดขึ้นเป็นประจำ และตรวจรอยแตกร้าวของหน้าต่างประตูและซ่อมแซมอย่างสม่ำเสมอ

ระบบแสงสว่าง

การประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสวางไม่ควรสนใจอยู่เฉพาะเรืองเศรษฐศาลตร์และประสิทธิภาพของระบบเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาชนิดของงานที่กระทำด้วยซึ่งระบบไฟฟ้าแสงสว่างอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบอื่นๆของอาคารอีกด้วย เช่น ระบบปรับอากาศของอาคาร ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างเลยที่เดียว หลักการสำคัญของการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่างมีดังต่อไปนี้

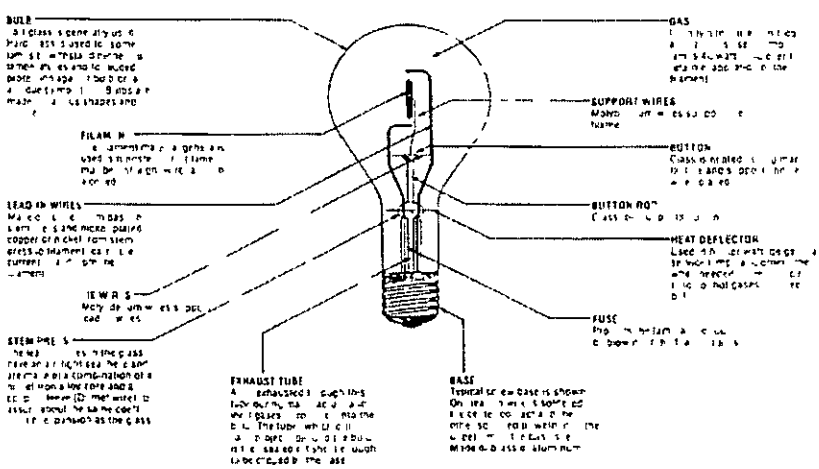
1 **การทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่ใช้แสงสว่าง**

การทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่ใช้แสงสว่าง คือ การศึกษาถึงประเภทหรือชนิดของงานที่กระทำในพื้นที่นั้นๆว่าเป็นงานชนิดใดต้องการความสว่างสูงต่ำมากน้อยเพียงใด ในขณะเดียวกันนั้นก็พิจารณาหรือเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับพื้นที่นั้นๆด้วย

2 **การเลือกใช้หลอดไฟและอุปกรณ์ร่วมที่เหมาะสม**

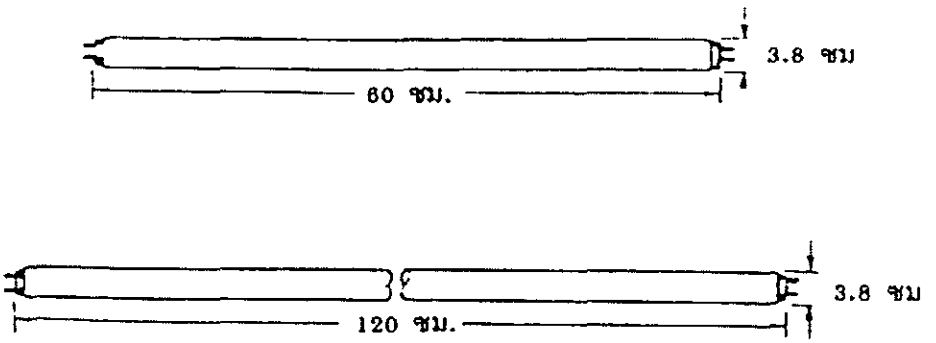
2 1 **หลอดไฟแสงสว่าง** ในการเลือกหลอดไฟฟ้าแสงสว่างใช้งานนั้นเราต้องพิจารณาแฟคเตอร์หลายๆตัวเพื่อให้ได้หลอดที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับงานนั้นๆ แฟคเตอร์ต่างๆที่ควรสนใจได้แก่ ประสิทธิภาพแสง (Luminous Efficiency) อายุการใช้งาน และสีของแสง เป็นต้น ดังนั้นเมื่อเราทราบแฟคเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการเลือกใช้หลอดแล้วต่อไปเป็นหลอดไฟชนิดต่างๆซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

2 1 1 หลอดไส้ (Incandescent Lamp) เป็นหลอดไฟที่อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อนเมื่อผ่านกระแสสู่ไส้หลอด ไส้หลอดที่ทำด้วยทั้งสเตนจะถูกทำให้ร้อนและให้แสงสว่างออกมาซึ่งหลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพแสงต่ำมาก อย่างไรก็ตามความนิยมใช้หลอดไส้ยังมีอยู่ไม่น้อยเนื่องจากราคาถูก ให้ความถูกต้องของสีสูง ติดตั้งใช้งานได้ง่าย และให้แสงสว่างทันทีที่เปิดใช้งาน โครงสร้างภายในไส้หลอดแสดงดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงโครงสร้างภายในหลอดไส้ (Incandescent Lamp)

2 1 2 **หลอดฟลูออเรสเซนต์** (Fluorescent Lamp) หลอดชนิดนี้อาศัยหลักการดีชชาร์จ (Discharge) แบบหนึ่ง กล่าวคือ เมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการดีชชาร์จในก๊าซที่มีปรอทความดันต่ำทำให้เกิดรังสีอุลตราไวโอเลต และรังสีอุลตราไวโอเลตนี้จะไปกระทบสารฟอสเฟอร์ (Phosphor) ที่ฉาบไว้ด้านในของหลอดซึ่งจะให้แสงในช่วงที่ตาคนเรามองเห็นได้ออกมา หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะแบ่งออก 3 ชนิด คือ 1 หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา ซึ่งจะมีความกว้างของหลอดวัดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ 3 8 cm กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขนาด 20 W วัดความยาวได้ 60 cm และ ขนาด 40 W ความยาว 120 cm ดังแสดงในภาพประกอบ 11 นอกจากนี้ยังมีชนิดวงกลมจะมีความกว้างประมาณ 3 2 cm



ภาพประกอบ 11 แสดงลักษณะหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา

สีของแสงที่เปล่งออกมาจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีของสารเคลือบเรืองแสง ซึ่งจะทำให้หลอดฟลูออเรสเซนต์เปล่งแสงสีต่างกันเช่น สีของแสงเป็นสีขาวจะนิยมใช้กันมากได้แก่ แสงเดย์ไลท์ (Daylight) แสงคูลไวท์ (Cool White) และแสงไวท์ (White) ส่วนแสงวอร์มไวท์ (Warm White) จะเป็นสีเหมือนแสงอาทิตย์ตอนเช้าหรือเป็นสีคล้ายกับหลอดไส้ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันตามอุณหภูมิของสีดังแสดงรายละเอียดในภาพประกอบ 12

หลอดฟลูออเรสเซนต์		อุณหภูมิสี (องศาเคลวิน)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด	แสงเดย์ไลท์ (Daylight)	5,000 7,500
"	แสงคูลไวท์ (Cool White)	4,000 4,300
"	แสงไวท์ (White)	3,500 3,800
"	แสงวอร์มไวท์ (Warm White)	3,000
"	แสงหลอดไส้ (Incandescent Light)	2,700

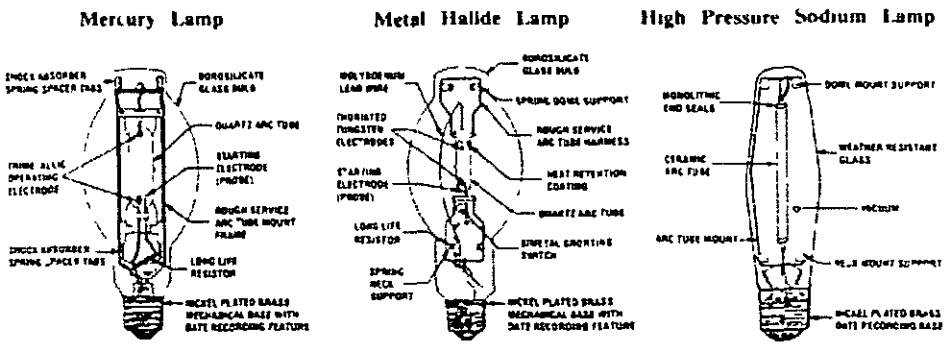
ภาพประกอบ 12 แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์และอุณหภูมิสี

2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง ซึ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่ที่ให้กำลังการส่องสว่างสูงเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดาแต่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่า ลักษณะโดยทั่วไปก็เหมือนกันโดยจะต่างกันก็เพียงหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงจะมีความเรียวกะทัดรัดกว่า สามารถนำหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงไปสวมใส่กับขาหลอดเดิมได้ทันทีโดยไม่ต้องเปลี่ยนบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ และ 3 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp) ซึ่งเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ได้มีการพัฒนาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน หลอดชนิดนี้เหมาะสมในการให้แสงสว่างโดยทั่วไปมีสีต่างๆให้เลือกและมีอายุการใช้งานนานกว่าหลอดไส้ถึง 8 เท่า เพราะใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไส้ถึง 4 เท่า ปัจจุบันหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มี 2 ชนิด คือ หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายในและภายนอก

2 1 3 หลอดดีชชาร์จความดันไอสูง (High Intensity Discharge Lamp) ซึ่งหลอดดีชชาร์จความดันไอสูงสามารถแยกออกเป็นประเภทต่างๆได้ดังนี้

หลอดไอปรอทความดันไอสูง (High Pressure Mercury Lamp , HID) หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่อาศัยหลักการดีชชาร์จในก๊าซที่มีไอปรอทความดันสูง ทำให้แสงเปล่งออกมา แสงที่ได้ออกมาจะมีแสงช่วงสีเขียวมาก จึงมีหลอดชนิดที่ฉาบสารฟอสเฟอร์ไว้ด้านในของตัวหลอดเพื่อให้รังสีอุลตราไวโอเลตกระทบเพื่อให้ได้แสงในช่วงที่ตาของเรามองเห็น ในขณะเดียวกันก็เพิ่มแสงช่วงสีแดงให้มากขึ้นโดยมีลักษณะเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า หลอดแสงจันทร์ (Mercury Fluorescent Lamp) นอกจากหลอดแสงจันทร์ซึ่งนิยมใช้กันทั่วๆไปแล้วยังมีหลอดไอปรอทความดันไอสูงมาก (High Pressure Mercury Vapour Lamp) ซึ่งในการจุดหลอดต้องใช้อิกนิเตอร์ (Ignitor) ประกอบกับบัลลาสต์ และยังมีสารบรรจุในหลอดจำพวกไอโดไดด์ของโลหะโซเดียมไอโอไดด์ ซึ่งหลอดนี้เรียกว่าหลอดเมตัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)

หลอดโซเดียมความดันไอสูง (High Pressure Sodium Lamp) หลอดชนิดนี้เป็นหลอดที่อาศัยหลักการดีซชาร์จเช่นเดียวกัน โดยอาศัยการดีซชาร์จในก๊าซที่มีไอโอเดียมความดันสูงซึ่งจะให้แสงออกมา แสงที่ได้มาจะใกล้เคียงกับหลอดไส้และมีประสิทธิภาพแสงของหลอดสูง หลอดโซเดียมความดันไอสูงนั้น จะเหมาะกับการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของไฟถนนในโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ต้องคำนึงถึงเรื่องสีมากนัก ซึ่งแสดงลักษณะโครงสร้างหลอดไว้ในภาพ ประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แสดงโครงสร้างหลอดดีซชาร์จความดันไอสูง (High Intensity Discharge Lamp)

2 2 **บัลลาสต์** เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมกระแสหรือพลังงานไฟฟ้าของหลอดและช่วยจุดหลอดในตอนเริ่มใช้งาน การทำงานร่วมกับหลอดไฟจะต้องเป็นชนิดที่มีการออกแบบให้ทำงานร่วมกันได้ ถ้าใช้งานกับหลอดผิดชนิดกันจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น จุดติดยาก หลอดเสื่อมสภาพเร็ว หลอดอายุสั้น เกิดกำลังสูญเสียในบัลลาสต์ เป็นต้น

2 3 **โคมไฟแสงสว่าง** ทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์อื่นๆ เช่น บัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ เป็นต้น และทำหน้าที่ควบคุมลำแสงให้แสงที่ออกจากโคมให้ไปตกบนพื้นที่ที่ต้องการ ในการใช้งานโคมไฟจึงไม่ควรคำนึงถึงความสวยงามแต่อย่างเดียว แต่ควรคำนึงถึงประสิทธิภาพของโคมไฟด้วย ซึ่งประสิทธิภาพโคมเป็นตัวบอกให้ทราบว่าโคมไฟสามารถให้แสงที่เปล่งจากหลอดได้มากน้อยเพียงใด

3 การออกแบบระบบแสงสว่างให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะต้องมีการออกแบบที่เหมาะสมต่อการใช้งานและคำนึงถึงเรื่องความปลอดภัยด้วย วิธีการให้แสงสว่างสามารถแบ่งออกได้ 3 วิธี คือ

3 1 **การให้แสงสว่างเท่ากันทั้งพื้นที่** (General Lighting) วิธีนี้เป็นการให้แสงสว่างจากโคมไฟที่ติดตั้งอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ การให้แสงสว่างแบบนี้มีข้อดีคือสามารถออกแบบ

ไฟฟ้าแสงสว่างได้โดยไม่ต้องทราบตำแหน่งทำงานที่แน่นอนและสามารถย้ายตำแหน่งภายหลังได้ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้โคมไฟจำนวนมาก เสียค่าใช้จ่ายสูงและไม่ประหยัดพลังงาน

3 2 **การให้แสงสว่างเฉพาะที่** (Localised General Lighting) การให้แสงวิธีนี้จะประหยัดกว่าวิธีแรก โดยการรวมพื้นที่เป็นกลุ่มๆแต่ละกลุ่มอาจต้องการความสว่างไม่เท่ากันแล้วแต่ประเภทของงานและกิจกรรม ในแบบนี้จะมีระบบไฟฟ้าแสงสว่างแยกกันอย่างอิสระทำให้สามารถปิด-เปิดใช้งานแยกกันได้ แต่มีข้อเสีย คือ หลังจากติดตั้งใช้งานไปแล้วจะย้ายตำแหน่งทำงานไม่ได้ อย่างไรก็ตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆมักจะมีกระบวนการผลิตที่ติดตั้งตายตัว ไม่ค่อยย้ายตำแหน่งมากนักทำให้สามารถพิจารณาการให้แสงสว่างวิธีนี้ได้

3 3 **การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง** (Local Lighting) การให้แสงสว่างวิธีนี้เป็นการให้แสงสว่างเสริมใช้สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรืองานตรวจแบบผลิตภัณฑ์ซึ่งต้องการให้แสงสว่างด้วยวิธีพิเศษโดยติดตั้งโคมไฟที่ตำแหน่งใกล้ผู้ทำงานหรือชิ้นงาน และให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการเท่านั้น

4 การใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงาน

ในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างนั้นบางครั้งยังเข้าใจว่าเป็นการเปิดไฟบางดวงหรือปิดไปเลยซึ่งเป็นความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ความเป็นจริงนั้นการพิจารณาถึงความเหมาะสมนั้นอาจมีผลกระทบต่อการทำงาน โดยการปิดเปิดไฟให้น้อยลงหรือปิดไปเลยนั้นเป็นการประหยัดไฟฟ้าแบบชั่วคราวและมีผลทางจิตวิทยาเพราะถ้าแสงไม่พออาจทำให้สายตาล้า และทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลงอุบัติเหตุก็มากขึ้นสภาพแวดล้อมไม่ดีซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ วิธีการเปิด-ปิดระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่จะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานสามารถกระทำได้ดังนี้

4 1 การปิดไฟแสงสว่างทั้งหมด เช่น ในเวลาหยุดพักเที่ยงให้ทำการดับไฟทั้งหมดโดยตัดที่เมนสายของไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

4 2 การปิดไฟแสงสว่างเป็นบางส่วน เช่น บริเวณที่ใช้แสงสว่างจากแสงอาทิตย์ได้หรือบริเวณที่ใช้พื้นที่ส่องสว่างเฉพาะส่วน เป็นต้น

4 3 ใช้สวิทช์ควบคุมการปิดเป็น 2 ทาง เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้ไฟแสงสว่างที่จุดต่างๆที่เหมาะสมโดยมีตัวบอก (indicator) บอกให้ทราบสภาวะการทำงานของหลอดไฟ

4 4 ใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติต่างๆ เช่น การตั้งเวลาเปิด-ปิด การใช้สวิทช์ที่ควบคุมด้วยปริมาณแสง ตลอดจนใช้อุปกรณ์ที่สามารถตั้งโปรแกรมการทำงานได้ เป็นต้น

5 การซ่อมบำรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

เมื่อใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นระยะเวลานานๆจะพบว่าความสว่างจะลดลงตามระยะเวลาเนื่องจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หลอดเสื่อมสภาพ โคมไฟสกปรกทำให้แสงลดลง เป็นต้น จากการศึกษาพบว่ามีแฟคเตอร์หลายตัวที่มีผลต่อการลดลงของคาความสวางของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงแฟคเตอร์เหล่านี้ คือ

5 1 ผลของอุณหภูมิ

5 2 ผลของระดับแรงดันไฟฟ้า

5 3 ผลจากบัลลาสต์

5 4 ผลจากการเสื่อมสภาพของวัสดุต่างๆที่ใช้ทำโคมไฟ

5 5 ผลจากเพดาน ผนัง พื้นห้องสกปรก หรือสีที่หมองคล้ำลง

5 6 ผลจากหลอดขาดหรือหลอดเสีย

5 7 ผลจากโคมไฟสกปรก

ระบบอื่น (อุปกรณ์และเครื่องใช้สำนักงาน)

โดยแนวทางการประหยัดพลังงานในอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน มีข้อแนะนำในการใช้ การบำรุงรักษาและการเลือกซื้อ ดังต่อไปนี้ คือ

1 กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า

ควรตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของกระติกน้ำร้อน ให้อยู่ในสภาพใช้งานได้เสมอ และไม่ควรตั้งไว้ในห้องที่มีการปรับอากาศ

2 คอมพิวเตอร์

2 1 ควรซื้อคอมพิวเตอร์ที่มีระบบประหยัดพลังงานเพราะจะช่วยลดค่าไฟฟ้าลงได้

2 2 ไม่ซื้อจอภาพที่มีขนาดใหญ่จนเกินไป

2 3 ปิดคอมพิวเตอร์หลังเลิกงานและปิดคอมพิวเตอร์เวลาพักกลางวัน เนื่องจากจอภาพใช้ไฟฟ้ากว่าร้อยละ 70 ของไฟฟ้าที่คอมพิวเตอร์ใช้ทั้งหมด

3 เครื่องถ่ายเอกสาร

3 1 เลือกซื้อหรือเช่าเครื่องถ่ายเอกสารที่มีระบบประหยัดพลังงาน

3 2 ปิดเครื่องถ่ายเอกสารหลังเลิกงานและดึงปลั๊กออกด้วย

4 โทรทัศน์

4 1 อย่าเสียบปลั๊กทิ้งไว้เพราะจะทำให้เกิดอันตรายและสิ้นเปลืองพลังงาน

4 2 ปิดเมื่อไม่มีคนดูและควรวางโทรทัศน์ไว้ในจุดที่มีการถ่ายเทอากาศได้ดี คือควรตั้งห่างผนังอย่างน้อยประมาณ 10 cm เพื่อการระบายความร้อนที่ดีขึ้น

4 3 ไม่ควรปรับจอภาพให้สว่างเกินไป เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

5 พัดลม

5 1 อย่าเสียบปลั๊กทิ้งไว้

5 2 พัดลมตั้งโต๊ะควรวางไว้ที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก

5 3 ทำความสะอาดพัดลมเป็นประจำ

6 เครื่องโทรสาร (Facsimile Machine)

ควรใช้เครื่องโทรสารชนิดเลเซอร์ ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานที่ใช้ได้มากกว่าโทรสารชนิดอื่นๆ

7 เครื่องพิมพ์ผล (Printer)

7 1 ควรเลือกซื้อเครื่องที่มีเครื่องหมายสัญลักษณ์ Energy Star

7 2 ปิดเครื่องพิมพ์ผลหลังเลิกงาน

7 3 ควรตรวจทานข้อความบนจอภาพโดยใช้คำสั่ง Print Preview เพื่อลดความผิดพลาดในการพิมพ์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการเงิน

การวิเคราะห์การลงทุนและการตัดสินใจที่จะลงทุนใดๆนั้นจะต้องอาศัยการวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์และการเงินเพื่อเลือกการลงทุนที่เหมาะสมและสามารถดำเนินการต่อไปได้ ดังนั้นวิธีการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงานสามารถพิจารณาได้ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

1 มูลค่าเงินสุทธิ (Net Present Value , NPV)

หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนพลังงานที่สามารถประหยัดได้ของมาตรการในรูปของตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของแผนการลงทุน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนที่จ่ายไปตอนเริ่มแผนการภายใต้อัตราลดค่า (Discount Factor) ที่กำหนด และการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิจะต้องทราบข้อมูลต่อไปนี้คือ กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุแผนการลงทุน ระยะเวลาแผนการ และอัตราลดค่า ดังสมการที่ 2 21

$$NPV = \sum_{n=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^n} - I_0 \qquad (2\ 21)$$

โดยที่ n คือ อายุของแผนการ

ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 คือ เงินลงทุนตอนเริ่มแผนการ

i คือ อัตราลดค่า

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

อัตราลดค่าที่ใช้จะมีค่าเดียวกันตลอดอายุแผนการ และจะขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดซึ่งอย่างน้อยอัตราลดค่าควรมีค่าเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ ในการตัดสินใจเลือกแผนการลงทุนที่กำลังพิจารณาควรเลือกแผนการลงทุนที่มีมูลค่าสุทธิเป็นบวก ซึ่งแสดงว่าเหมาะสมต่อการลงทุน การใช้มูลค่าปัจจุบันสิทธิอาจมีข้อจำกัดในการตัดสินใจ ในกรณีที่แผนการมีขนาดต่างกันแต่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกเท่ากัน ดังนั้นควรพิจารณาวิธีการอื่นๆประ กอบด้วย

2 **อัตราผลตอบแทนภายใน** (Internal Rate of Return , IRR)

หมายถึง อัตราลดค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิของเงินลงทุนที่ต้องจ่ายมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จะได้รับจากการประหยัดพลังงานตลอดอายุของแผนการลงทุน การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในจะต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้คือ กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ กระแสเงินสดรับรายปีตลอดอายุของแผนการลงทุน และระยะเวลาของแผนการ จากสมการภายใต้สมมุติฐานที่ว่าไม่มีมูลค่าซาก และเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี ดังสมการที่ 2 22

$$0 = \sum_{n=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^n} - I_0 \qquad (2\ 22)$$

โดยที่ n คือ อายุของแผนการ

ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n

I_0 คือ เงินลงทุนตอนเริ่มแผนการ

IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน

การคำนวณหาอัตราของผลตอบแทนภายในคือ การหาอัตราลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ โดยที่ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าหรือเท่ากับอัตราลดคาจะถือว่าแผนการน่าลงทุน

3 **ระยะเวลาคืนทุน** (Payback Period)

หมายถึง กระแสเงินสดรายรับเท่ากับกระแสเงินสดรายจายลงทุนสุทธิตอนเริ่มแผนการพอดี โดยเป็นการลงทุนครั้งเดียวในปีแรกและผลตอบแทนเท่ากันทุกปี การหาระยะเวลาคืนทุนสามารถทำได้ดังสมการที่ 2 23

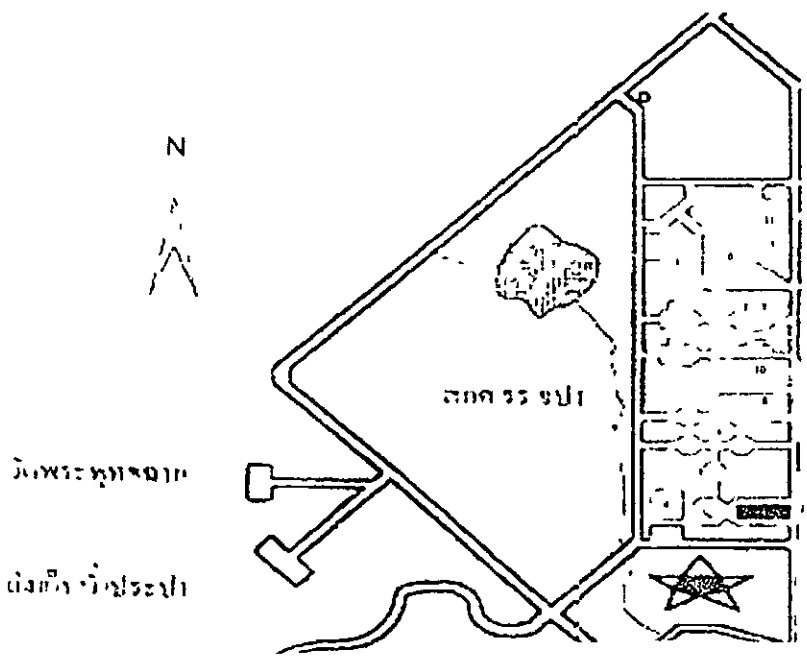
$$\text{เวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดลงทุนสุทธิ}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}} \qquad (2\ 23)$$

บทที่ 3
แนวทางการดำเนินการวิจัย

ข้อมูลเบื้องต้นของส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นหน่วยงานหนึ่งที่ให้การศึกษาอบรมและดำเนินการฝึกนักเรียนนายร้อย เพื่อเป็นนายทหารสัญญาบัตรของกองทัพบก โดยแบ่งส่วนราชการออกเป็น กองบัญชาการ ส่วนการศึกษา ส่วนวิชาทหาร กรมนักเรียนนายร้อยรักษาพระองค์ ส่วนบริการและโรงพยาบาล

ส่วนการศึกษาเป็นหน่วยงานขึ้นตรงของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า มีหน้าที่จัดการศึกษาด้านวิชาการระดับปริญญาตรีในสาขาต่างๆให้แก่นักเรียนนายร้อย โดยแบ่งออกเป็น 1 กองเตรียมการและควบคุมการศึกษาและ 11 กองวิชา ดังแสดงในภาพประกอบ 14



โดยที่

1 กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
2 กองวิชาวิศวกรรมโยธา
3 กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
4 กองวิชาประวัติศาสตร์
5 กองวิชาอักษรศาสตร์
6 กองวิชาคณิตศาสตร์
7 กองวิชาฟิสิกส์
8 กองวิชาเคมี
9 กองวิชากฎหมายและสังคม
10 กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
11 กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ
12 กองเตรียมการและควบคุมการศึกษา

ภาพประกอบ 14 แสดงแผนผังที่ตั้งของกองวิชาต่างๆ

ลักษณะการปฏิบัติงานของส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เนื่องจากเป็นหนวยงานของราชการจึงปฏิบัติงานระหว่างเวลา 8 00 - 16 00 นาฬิกา เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หยุดทำการวันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ในช่วงปิดภาคเรียนของนักเรียนนายร้อยมีการเปิดใช้เฉพาะห้องธุรการซึ่งทำให้มีการใช้พลังงานน้อยลง อาคารต่างๆในส่วนการศึกษานั้นสร้างเมื่อปี พ ศ 2529 ยกเว้นอาคารกองวิชาประวัติศาสตร์ซึ่งสร้างในปี พ ศ 2535

นักเรียนนายร้อยจะเรียนในภาคการศึกษาแบ่งเป็น 2 ภาค ซึ่งในภาคที่ 1 จะอยู่ในช่วงพฤษภาคมถึงสิงหาคม ในภาคที่ 2 อยู่ในช่วงกันยายนถึงธันวาคม และจะมีการฝึกภาคสนามในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมเป็นเวลารวม 3 เดือน

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากหลายแหล่งดังนี้

1 **ข้อมูลจากเอกสาร** เป็นข้อมูลที่ได้จากเอกสารซึ่งได้แก่ แผนผังอาคารส่วนการศึกษา แบบวงจรไฟฟ้า ข้อมูลค่าไฟฟ้า เป็นต้น โดยหาได้จากเอกสารในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เอกสารเผยแพร่ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ในกองวิชาต่างๆ

2 **ข้อมูลจากการตรวจวัด** เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัด ซึ่งเริ่มพิจารณาตั้งแต่ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นคือ หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อให้ทราบขนาดโหลดที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายจริงและทำการหากราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ตรวจวัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งโหลดย่อยต่างๆตาม Single Line Diagram ของอาคาร และวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่สำคัญ วัดค่าการส่องสว่างภายในอาคาร เพื่อให้ทราบสภาพการใช้พลังงานที่แท้จริง

3 **ข้อมูลจากการสำรวจ** เป็นข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าของเจ้าหน้าที่ นักเรียนนายร้อย และผู้ใช้ทั่วไป รวมทั้งสภาพการใช้งานต่างๆ ข้อมูลจากการสำรวจแบ่งออกดังนี้ คือ ข้อมูลจากการสำรวจในอาคาร เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า และข้อมูลจากการสำรวจนอกอาคาร เช่น สภาพแวดล้อม ลักษณะอาคาร สภาพอาคารโดยทั่วไป เป็นต้น

วิธีการตรวจวัด

วิธีการตรวจวัดเพื่อการวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน ในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 ได้แนะนำไว้ 2 ลักษณะ คือ

1 **การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง** โดยวิธีนี้จะใช้ตรวจวัดอุปกรณ์ที่มีลักษณะการใช้พลังงานที่ไม่คงที่ ในการวัดต้องการทราบรูปแบบการทำงานเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์สภาพการใช้งานได้อย่างถูกต้อง ในวิจัยนี้กำหนดให้การวัดภาระการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นการวัดแบบต่อเนื่องเพราะมีลักษณะการใช้งานไม่คงที่ ซึ่งมีการใช้งานโดยการจ่ายโหลดเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยจะทำการวัดแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 1 สัปดาห์

2 **การตรวจวัดแบบชั่วคราว** โดยวิธีนี้จะใช้ตรวจวัดอุปกรณ์ที่มีลักษณะการใช้พลังงานที่คงที่ตลอดเวลาหรือมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นในการวัดจึงไม่ต้องวัดแบบต่อเนื่องแต่อาจต้องวัดหลายๆครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้การวัดดังต่อไปนี้เป็นการตรวจวัดแบบชั่วคราว คือ การวัดความสว่างของบริเวณอาคาร การวัดเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ การตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศและโหลดย่อยต่างๆตาม Single Line Diagram ของอาคาร ซึ่งในการตรวจวัดจะดำเนินการในช่วงเวลาทำงานปกติคือ 8 00 - 16 00 นาฬิกา

ช่วงเวลาของการตรวจวัด

ในการดำเนินการตรวจวัดนั้นไม่สามารถตรวจวัดได้ตลอดทั้งปี และช่วงเวลาการตรวจวัดในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 ก็ไม่ได้มีการกำหนดไว้ เพียงแต่แนะนำว่าต้องเป็นช่วงเวลาการทำงานปกติ ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลสภาพการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงดำเนินการในช่วงที่นักเรียนนายร้อยทำการเรียนภาคทฤษฎี คือ ช่วงตุลาคมถึงมกราคม ปีการศึกษา 2547 ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานในอาคารอย่างเต็มที่

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยจะทำการศึกษาและเก็บข้อมูลไปที่ละกองวิชาทั้ง 12 กองวิชา ในแต่ละกองวิชาจะดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1 สำรวจและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร สภาพทั่วไปของอาคาร โดยอาศัยแผนผังบริเวณที่ตั้งต่างๆ แบบวงจรทางเดินไฟฟ้าและเดินสำรวจ

2 วางแผนการเก็บข้อมูลและดำเนินการสำรวจและตรวจวัดในระบบต่างๆ คือ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ

3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและตรวจวัด เพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม

4 วิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานในเชิงเศรษฐศาสตร์

แผนการเก็บข้อมูลและการตรวจวัด

การเก็บข้อมูลและการตรวจวัดจะทำให้เสร็จทีละกองวิชาไป โดยเริ่มจาก

1 กองวิชาประวัติศาสตร์
2 กองวิชาอักษรศาสตร์
3 กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์
4 กองวิชาฟิสิกส์
5 กองวิชาเคมี
6 กองวิชากฎหมายและสังคมศาสตร์
7 กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
8 กองวิชาวิศวกรรมโยธา
9 กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
10 กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
11 กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ
12 กองเตรียมการและควบคุมการศึกษา
13 หอประชุมส่วนการศึกษา

ลักษณะข้อมูลที่ต้องการ

ลักษณะข้อมูลที่ต้องการของแต่ละกองวิชาจะคล้ายๆกัน จำแนกออกเป็น 5 ลักษณะ คือ

1 ลักษณะทั่วไปของอาคาร ซึ่งประกอบด้วย

1 1 พื้นที่ใช้งานทั้งหมด (ตารางเมตร) หาได้จากการวัดพื้นที่จากแปลนการก่อสร้าง

1 2 พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร) หาได้จากการสำรวจพื้นที่ที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในอาคารนั้นๆ

1 3 ชนิดของวัสดุบริเวณผนังและหลังคา เป็นข้อมูลที่ระบุในแบบแปลนการก่อสร้างและจากการเดินสำรวจ

1 4 ลักษณะการใช้งานแต่ละห้อง ข้อมูลนี้ได้จากการเดินสำรวจ การสอบถามเจ้าหน้าและผู้ใช้งาน

2 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยเริ่มจากหม้อแปลงไฟฟ้า สายส่ง ตู้กระจายโหลดหลัก จนกระทั้งถึงอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าต่างๆ

2 1 หม้อแปลงไฟฟ้า ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

2 1 1 กำลังไฟฟ้าตามพิกัด (kVA rate) หาได้จาก Nameplate

2 1 2 กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (kW) และ คาเพาเวอร์แฟคเตอร์ (P F) หาได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่บันทึกข้อมูลได้ โดยทำการวัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 สัปดาห์

2 1 3 พลังงานไฟฟ้าทีสูญเสียในแกนเหล็กต่อปี (kWh/ปี) ได้จากการคำนวณ

2 1 4 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวดต่อปี (kWh/ปี) ได้จากการคำนวณ

2 1 5 พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียรวมต่อปี (kWh/ปี) ได้จากผลรวมการสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในขดลวด

2 2 ตู้กระจายโหลดหลัก (Main Distribution Board , MDB) ข้อมูลที่ต้องการมีดังนี้

2 2 1 แบบ Single Line Diagram ซึ่งแสดงการจ่ายโหลดใน MDB ของแต่ละอาคาร หาได้จากแบบแปลนการก่อสร้างอาคาร จากการสำรวจ และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

2 2 2 ค่าแรงดันไฟฟ้า (Volt) ค่ากระแสไฟฟ้า (Amp) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (P F) ของโหลดย่อยต่างๆในอาคาร ได้จากการใช้ Clamp Meter วัดโหลดย่อย โดยทำการวัดแบบชั่วคราวในช่วงเวลาที่มีการทำงานปกติของอาคาร

3 ระบบปรับอากาศ มีข้อมูลที่ต้องการ คือ

3 1 บริเวณที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หาได้จากการสำรวจพื้นที่ที่ติดตั้ง

3 2 จำนวนและขนาดเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในแต่ละพื้นที หาได้จากการสำรวจพื้นที่ที่ติดตั้ง

3 3 การใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของเครื่องปรับอากาศ ได้จากการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และเพาเวอร์แฟคเตอร์

3 4 ค่าความเร็วลม พื้นที่จ่ายลม (Girll Area) ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งด้านจ่ายลมเย็น (Supply Air) และทางด้านลมกลับ (Return Air) ของเครื่องปรับอากาศ จากนั้นนำค่าที่วัดได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (ERR) และค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/Tr) แล้วทำการสำรวจชั่วโมงการใช้งานต่อวัน จำนวนวันที่เปิดใช้ต่อปี สัดส่วนการใช้งานเครื่องปรับอากาศจากเจ้าหน้าที่ที่ดูแล เพื่อคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในระบบปรับอากาศ

3 5 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด หาได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

4 ระบบแสงสว่าง มีข้อมูลที่ต้องการดังนี้

4 1 แผนผังบริเวณที่ติดตั้งหลอดไฟฟ้า หาได้จากแบบแปลนการติดตั้งและเดินสำรวจ

4 2 จำนวน ขนาดติดตั้ง ชนิดของหลอดไฟ สัดส่วนการใช้งาน หาได้จากการสำรวจ

4 3 ค่าการส่องสว่างในบริเวณต่างๆเทียบกับมาตรฐานสากล (IES) หาได้จากเครื่องวัดคาการส่องสว่าง (Lux Meter) วัดค่าการส่องสว่าง

4 4 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด หาได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

5 ระบบอื่นๆ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนการสอน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องฉายแผ่นใส หรืออุปกรณ์ที่ใช้ไฟมากๆในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น ซึ่งมีข้อมูลที่ต้องการดังนี้

5 1 สำรวจลักษณะการใช้งานและชนิดของอุปกรณ์ใช้พลังงานไฟฟ้าอื่นๆ

5 2 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด หาได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ได้แก่ Clamp Meter

2 เครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ Electrical Data Logger

3 เครื่องมือวัดความเข้มของแสง ได้แก่ Lux Meter

4 เครื่องมือวัดความเร็ว อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลม

5 เครื่องคอมพิวเตอร์

6 โปรแกรมคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา

7 ตลับเมตร

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

1 **โปรแกรมคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา** (OTTV,RTTV)

โปรแกรมนี้ชื่อว่า OTTVEE version 1 0a ซึ่งพัฒนาโดยสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ โดยทำการเผยแพร่โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ในปี พ ศ 2542 ใช้กันมากในบริษัทที่ปรึกษาด้านพลังงาน ซึ่งใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อทำรายงานส่งกรมตามกฎหมาย ข้อมูลและวิธีการคำนวณจะเป็นมาตรฐานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535

2 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นมุ่งเน้นประเด็นการวิเคราะห์ที่สำคัญในระบบต่างๆดังนี้

2 1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

2 1 1 วิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

2 2 2 วิเคราะห์สภาพการใช้งานในหม้อแปลงไฟฟ้า

2 2 ระบบปรับอากาศ

2 2 1 วิเคราะห์สภาพการใช้งาน วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและดัชนีการใช้พลังงาน

2 2 2 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาของอาคาร เพื่อที่จะเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535

2 3 ระบบแสงสว่าง

2 3 1 วิเคราะห์ความสวางของบริเวณต่างๆ

2 3 2 หาดัชนีการใช้พลังงาน

2 4 ระบบอื่น (อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน)

2 4 1 สำรวจอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นนอกจากระบบหลัก

2 4 2 ศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงาน

3 การหาแนวทางการประหยัดพลังงาน

การประเมินแนวทางการประหยัดพลังงานในแต่ละระบบนั้น จะใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาความเหมาะสมในการดำเนินการ

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

สภาพลักษณะทั่วไปของอาคาร

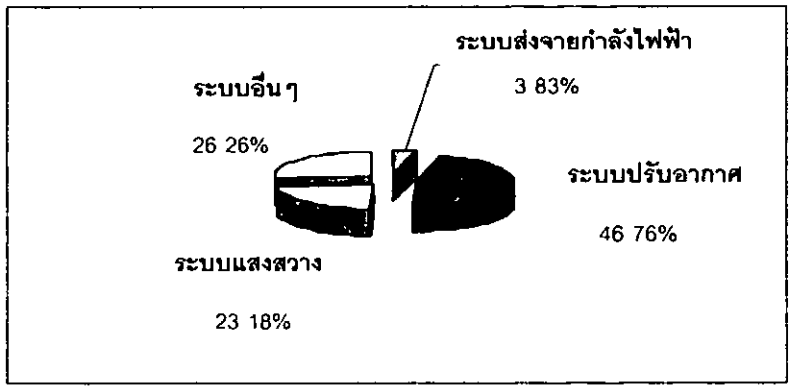
ผลการสำรวจข้อมูลและการศึกษาเบื้องต้นสภาพลักษณะทั่วไปของอาคารพบว่า ส่วนการศึกษามีอาคารใช้งานทั้งหมด 18 อาคาร ซึ่งมีการเปิดใช้อาคารในปี พ ศ 2529 ยกเว้นอาคารกองวิชาประวัติศาสตร์ ที่เพิ่งเปิดใช้ในปี พ ศ 2535 มีพื้นที่ใช้งานอาคารรวมทั้งหมด 54 012 73 m^2 แยกเป็นพื้นที่ที่มีการปรับอากาศทั้งหมด 13,650 29 m^2 รายละเอียดแต่ละอาคารแสดงไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงสภาพลักษณะอาคารต่างๆในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

อาคารที่	ชื่ออาคาร	เปิดใช้งาน (ปี)	จำนวนชั้น	ความสูงแต่ละชั้น (m)	พื้นที่ปรับอากาศ (m^2)	พื้นที่อาคาร (m^2)
1	กองบังคับการส่วนการศึกษา	2529	3	2 75	675 29	2 756 88
2	กองวิชาประวัติศาสตร์	2535	3	3 40	2 981 50	6 719 00
3	หอประชุมส่วนการศึกษา	2529	3	2 75	782 69	4 564 35
4	อาคารเรียน ก 1	2529	3	3 00	-	2 178 75
5	อาคารเรียน ก 2	2529	3	3 00	216 00	2 178 75
6	อาคารเรียน ก 3	2529	3	3 00	-	2 178 75
7	อาคารเรียน ก 4	2529	3	3 00	-	2,178 75
8	อาคารเรียน ข 1	2529	1	3 50	-	2,136 00
9	อาคารเรียน ข 2	2529	1	3 50	491 00	2 136 00
10	กองวิชาอักษรศาสตร์	2529	3	3 25	1 250 00	2 971 50
11	กองวิชากฎหมายและสังคม	2529	3	3 25	488 50	2,805 00
12	กองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	2529	3	3 25	1 212 01	2,971 00
13	กองวิชาฟิสิกส์	2529	3	3 25	621 75	3,360 00
14	กองวิชาคณิตศาสตร์	2529	2	3 50	1 299 00	3,078 00
15	กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	2529	2	3 50	487 30	1 152 00
16	กองวิชาวิศวกรรมโยธา กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมสรรพาวุธ	2529	2	3 50	1 876 25	4 168 00
17	โรงประลองวิศวกรรมเครื่องกลและสรรพาวุธ	2529	3	2 50	738 00	3,240 00
18	โรงประลองวิศวกรรมโยธาและไฟฟ้า	2529	3	2 50	531 00	3 240 00
	รวม				13,650 29	54,012 73

สัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ส่วนการศึกษามีสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุดคือ 46 76% รองลงมาคือระบบอื่นๆ (อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน) 26 26% ระบบแสงสว่าง 23 18% และระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 83% ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ารายเดือน

ภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้านั้น มีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยผ่านมิเตอร์แรงสูงของการไฟฟ้าจำนวน 3 มิเตอร์ คือ มิเตอร์หมายเลข 970-999991 หมายเลข 972-999991 และหมายเลข 974-999991 การใช้พลังงานไฟฟ้าในหน่วยราชการต่างๆมีการแยกมิเตอร์อย่างชัดเจน สามารถตรวจสอบได้จากใบเสร็จค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน ซึ่งหน่วยราชการส่วนการศึกษาจะใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านมิเตอร์แรงสูงของการไฟฟ้า หมายเลข 970-999991

ตาราง 3 เป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าย้อนหลัง 1 ปี (ม ค 47-ธ ค 47) ของส่วนการศึกษา ออกให้โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดนครนายก ซึ่งคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU rate ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 4 ซึ่งเป็นประเภทกิจการขนาดใหญ่ (ส่วนราชการ) จากตารางจะเห็นว่าส่วนการศึกษามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2547 ทั้งสิ้น 3,051,512 kWh และมีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 4,832,846 99 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 402,737 25 บาท/เดือน โดยในส่วนนี้แบ่งเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 202,589 62 บาท/เดือน ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 71,295 76 บาท/เดือน ค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ย 683 31 บาท/เดือน และค่าต้นทุนแปรผันค่าภาษีค่าบริการรวมกันเฉลี่ย 128,168 56 บาท/เดือน

ตาราง 4 เป็นผลการวิเคราะห์ค่าตัวประกอบโหลด และค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในแต่ละเดือน พบว่าเดือนตุลาคมมีค่าตัวประกอบโหลดต่ำที่สุดคือ 8 82% ทำให้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในเดือนนี้สูงถึง 4 92 บาท/kWh ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำ เนื่องจากไม่มีการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและไม่มีความสม่ำเสมอในการใช้ไฟฟ้า โดยค่าตัวประกอบโหลดและค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยของทุกเดือนมีค่าเท่ากับ 32 49% และ 1 78 บาท/kWh ตามลำดับ

ตาราง 3 แสดงลักษณะโครงสร้างค่าไฟฟ้ารายเดือน

เดือน พ ศ (2547)	คาความต้องการกำลังไฟฟ้า		คาพลังงานไฟฟ้า				ค่าปรับ P F	คา F T VAT และคาบริการ	รวมเงิน
	(Kw)	(บาท)	Peak (Kwh)	Off Peak (Kwh)	Holiday (Kwh)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)
ม ค	936 00	55 197 45	121 800 00	57 720 00	54 960 00	176 732 85	602 86	93 882 44	326 415 60
ก พ	756 00	42 211 07	111 600 00	56 280 00	48 960 00	163 714 33	630 90	101 792 80	308 349 10
มี ค	912 00	53 294 05	143 520 00	72 360 00	53 880 00	215 825 78	490 70	134 695 08	404 305 61
เม ย	675 00	37 602 55	45 181 00	52 501 00	41 310 00	99 809 36	376 54	72 718 84	210,507 29
พ ค	1 356 00	89 859 48	164 040 00	77 520 00	80 640 00	282 013 33	1 191 70	176 055 36	549 119 87
มิ ย	972 00	54 040 00	174 720 00	126 480 00	117 960 00	313 070 88	0 00	184 691 74	551 802 62
ก ค	1 308 00	82 323 18	183 720 00	79 440 00	53 760 00	270 450 32	1 247 78	171 503 24	525 524 52
ส ค	1 440 00	85 958 61	158 160 00	68 040 00	61 800 00	226 122 09	785 12	143 244 66	456 110 48
ก ย	1 308 00	76 000 12	171 600 00	67 320 00	46 320 00	225 071 61	827 18	144 229 91	446 128 82
ต ค	1 212 00	157 586 66	49,320 00	18 480 00	11 760 00	134 135 28	743 06	98 578 59	391 043 59
พ ย	1 356 00	58 648 97	141 240 00	54 600 00	46 800 00	139 009 85	518 74	93 880 74	292 058 30
ธ ค	1 068 00	62 827 02	130 440 00	54,960 00	52 320 00	185,119 78	785 12	122 749 27	371 481 19
เฉลี่ย	1 108 25	71 295 76	132 945 08	65 475 08	55 872 50	202 589 62	683 31	128 168 56	402 737 25
								รวม	4 832 846 99

ตาราง 4 แสดงการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้ารายเดือน

เดือน (พ ศ 2547)	จำนวนวัน	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (kW)	พลังงานไฟฟ้า P+OP+H (kWh)	ชั่วโมงทำงาน (hr)	ตัวประกอบโหลด (%)	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh)
ม ค	31	936 00	234,480 00	744	33 67	1 39
ก พ	28	756 00	216,840 00	672	42 68	1 42
มี ค	31	912 00	269 760 00	744	39 76	1 50
เม ย	30	675 00	138 992 00	720	28 60	1 51
พ ค	31	1,356 00	322 200 00	744	31 94	1 70
มิ ย	30	972 00	419,160 00	720	59 89	1 32
ก ค	31	1,308 00	316,920 00	744	32 57	1 66
ส ค	31	1 440 00	288 000 00	744	26 88	1 58
ก ย	30	1 308 00	285 240 00	720	30 29	1 56
ต ค	31	1 212 00	79 560 00	744	8 82	4 92
พ ย	30	1 356 00	242,640 00	720	24 85	1 20
ธ ค	31	1 068 00	237 720 00	744	29 92	1 56
รวม	365	-	3,051,512 00	8,760	-	-
				เฉลี่ย	32 49	1 78

หมายเหตุ P = PeaK OP = Off PeaK H = Holiday

ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นค่าที่แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ในช่วงระยะเวลา 1 ปี ซึ่งค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารของส่วนการศึกษามีค่าเท่ากับ 56 49 kWh/m^2 ต่อปี และจากการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารของส่วนการศึกษากับอาคารของหน่วยงานอื่นที่มีการศึกษามาแล้ว 6 แห่ง ดังแสดงไว้ในตาราง 5 จะเห็นว่าส่วนการศึกษามีค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ายังถือว่าค่อนข้างต่ำ

ตาราง 5 การเปรียบเทียบคาดัชนีการใช้พลังงานของส่วนการศึกษากับหนวยงานอื่น[1]

สถาบันการศึกษา	ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/m^2ต่อปี)
อาคารส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า	56 49
อาคารมหาวิทยาลัยกรุงเทพ(กล้วยน้ำไทย)	91 30
อาคารมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	108 80
อาคารสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา	115 00
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร	
อาคารสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์	128 00
อาคารสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคนนทบุรี	133 40
อาคารสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์	208 30

สภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงาน

การศึกษาสภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารต่างๆนั้นแบ่งออกเป็น 4 ระบบ คือ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ โดยในระบบอื่นๆ นั้นเป็นผลการสำรวจอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน ซึ่งผลการศึกษาแต่ละระบบมีดังนี้

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ผลการศึกษาสภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

1 ลักษณะการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

*การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในอาคารต่างๆ*ของส่วนการศึกษานั้นจะเริ่มจากหม้อแปลงไฟฟ้าปรับลดแรงดันของกระแสไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้า ซึ่งมีแรงดัน 22 kV ให้เป็นแรงดันใช้งาน คือ 220 Volt ในระบบไฟฟ้าเฟสเดียว และ 380 Volt ในระบบไฟฟ้าสามเฟส จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะส่งผ่านไปยังตู้กระจายโหลดหลัก (Main Distribution Board , MDB) เพื่อแยกไปตามชั้นต่างๆ โดยแสดงไว้ในแผนผัง Single Line Diagram ของแต่ละอาคาร และส่งจ่ายไปให้โหลดประเภทต่างๆของอาคารต่อไป

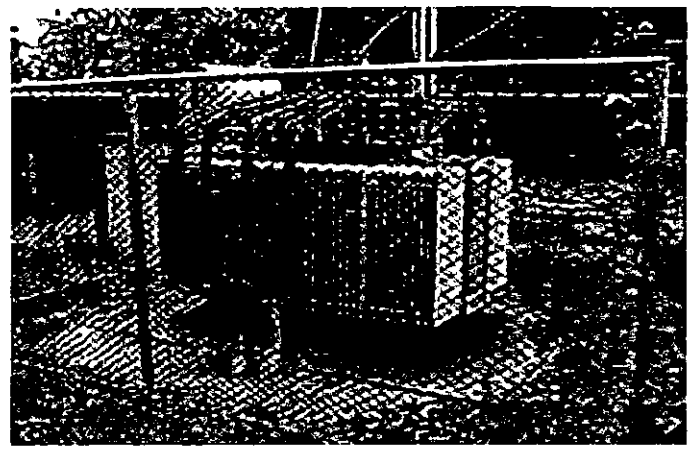
2 ลักษณะและขนาดติดตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้า

การสำรวจระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าพบว่า ในส่วนการศึกษามีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด 10 ตัว เป็นชนิดจุ่มในน้ำมัน (Oil Immerse) ทั้งหมด ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัวแสดงดังภาพประกอบ 16 ถึง ภาพประกอบ 25 มีขนาดติดตั้งรวม 6,140 kVA และมีการใช้

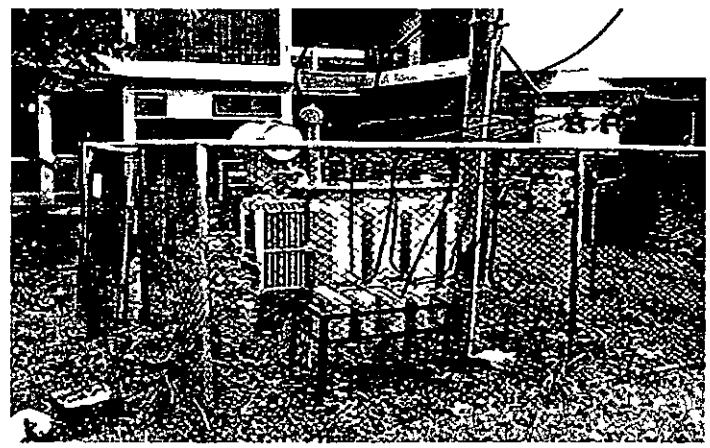
งานหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งจ่ายโหลดไฟฟ้าแบบเป็นกลุ่มสำหรับอาคารขนาดเล็ก และจ่ายโหลดไฟฟ้าแบบเดี่ยวสำหรับอาคารขนาดใหญ่โดยแสดงรายละเอียดไว้ในตาราง 6 ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้ามีอายุการใช้งานมาแล้วมากกว่า 10 ปี

ตาราง 6 แสดงรายละเอียดและขนาดติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

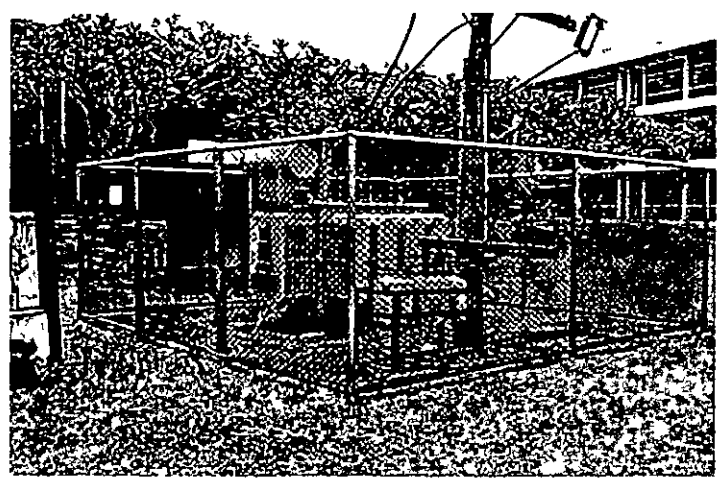
สถานที่ใช้งาน	ขนาดติดตั้ง (kVA)	ประเภท	แรงดันสูง (kV)	แรงดันต่ำ (V)	ผู้ผลิต	ปีที่ติดตั้งใช้งาน
Tr No 1 อาคารเรียน ก 1 อาคารเรียน ก 2 กองวิชาพิสิกส์ , กองวิชาเคมี	1 250	Oil Immerse	22	400/230	ศิริวัฒน์	2526
Tr No 2 หอประชุมส่วนการศึกษา กองวิชาอักษรศาสตร์ กองวิชากฎหมายและสังคม	1 000	Oil Immerse	22	400/230	ศิริวัฒน์	2524
Tr No 3 อาคารเรียน ก 3 , อาคารเรียน ก 4 อาคารเรียน ข 1 อาคารเรียน ข 2	1,000	Oil Immerse	22	400/230	ศิริวัฒน์	2524
Tr No 4 อาคารกองวิชาประวัติศาสตร์	630	Oil Immerse	22	400/230	แม็กซ์เวล	2535
Tr No 5 โรงประลองวิศวกรรมเครื่องกลและสรรพาวุธ	500	Oil Immerse	22	400/230	แม็กซ์เวล	2524
Tr No 6 โรงประลองวิศวกรรมโยธา	500	Oil Immerse	22	400/230	แม็กซ์เวล	2526
Tr No 7 กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	315	Oil Immerse	22	400/230	ไทยทราโฟ	2526
Tr No 8 กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสรรพาวุธ และกองวิชาวิศวกรรมโยธา	315	Oil Immerse	22	400/230	เอกรัฐ	2526
Tr No 9 กองวิชาคณิตศาสตร์	315	Oil Immerse	22	400/230	เอกรัฐ	2528
Tr No 10 กองบังคับการส่วนการศึกษา	315	Oil Immerse	22	400/230	เอกรัฐ	2528
รวมขนาดพิกัด	6,140					



ภาพประกอบ 16 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 1

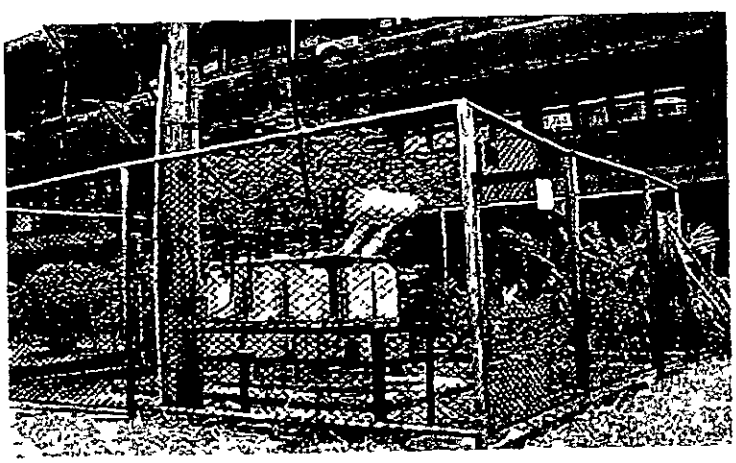


ภาพประกอบ 17 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 2

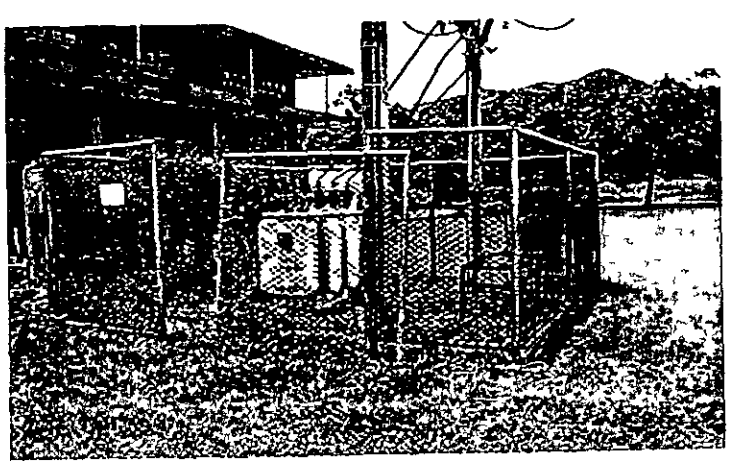


ภาพประกอบ 18 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 3

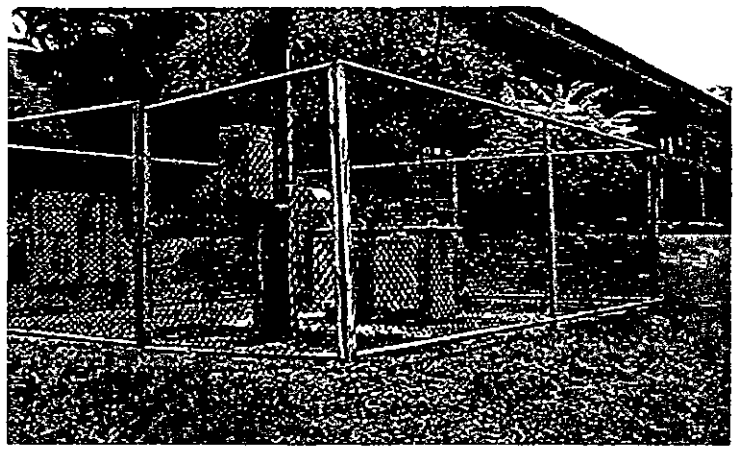
ภาพประกอบ 19 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 4



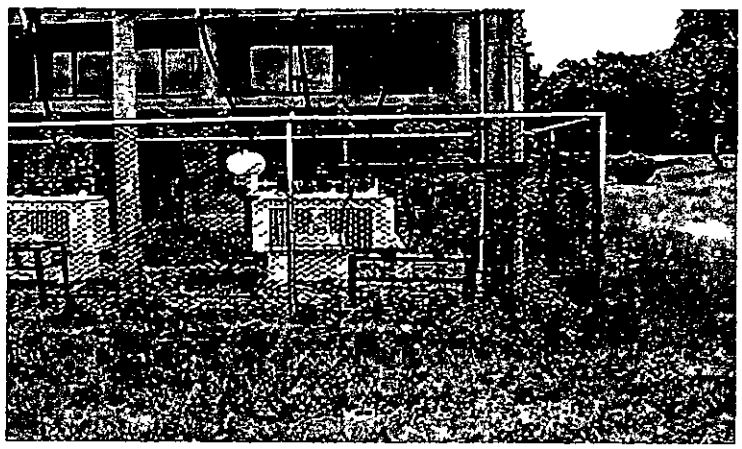
ภาพประกอบ 20 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5



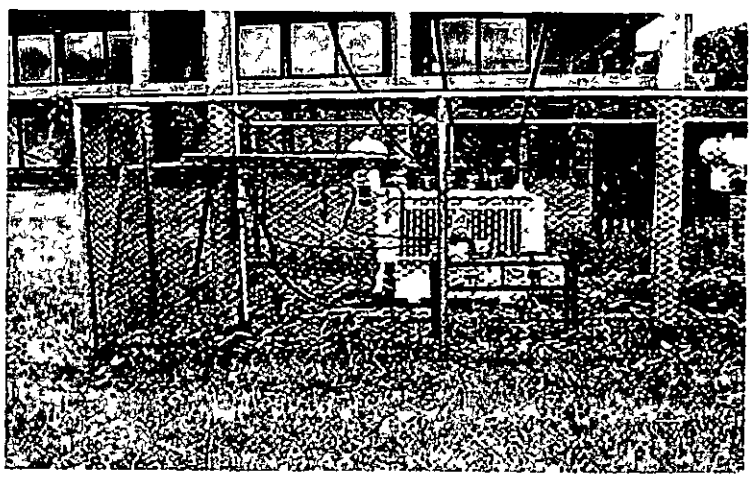
ภาพประกอบ 21 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 6



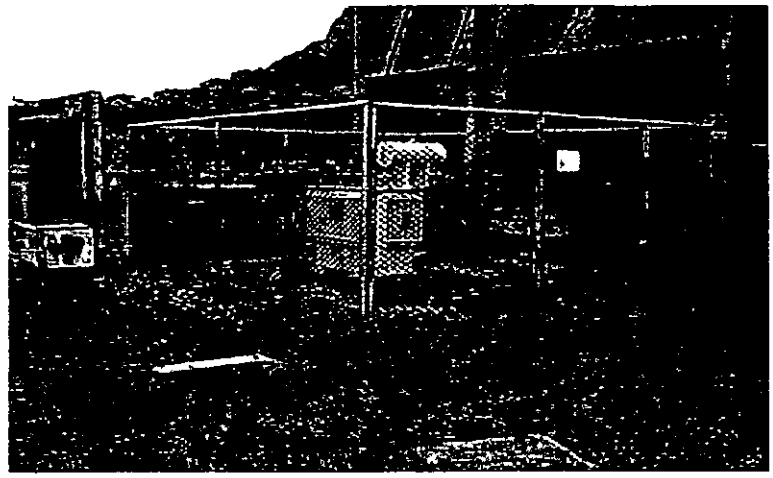
ภาพประกอบ 22 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7



ภาพประกอบ 23 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8



ภาพประกอบ 24 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9



ภาพประกอบ 25 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 10

3 การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า

ผลการศึกษาและตรวจวัดการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งานทั้งหมดภายในส่วนการศึกษาพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการสูญเสียพลังงานรวมทั้งหมด 117,001 82 kWh/ปี แยกเป็นการสูญเสียพลังงานในแกนเหล็ก (Core Loss) 116,942 kWh/ปี และการสูญเสียพลังงานในขดลวด (Copper Loss) 59 82 kWh/ปี ดังแสดงไว้ในตาราง 7 (แสดงการคำนวณในภาคผนวก ข) ซึ่งจะเห็นว่าการสูญเสียพลังงานในแกนเหล็กมีปริมาณที่มากกว่าการสูญเสียพลังงานในขดลวด นั่นเป็นเพราะว่าการสูญเสียพลังงานในแกนเหล็กนั้นมีการสูญเสียอยู่ตลอดเวลาไม่ว่าจะมีหรือไม่มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าก็ตาม แต่การสูญเสียพลังงานในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีเฉพาะเวลาที่มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น จึงทำให้มีปริมาณการสูญเสียพลังงานที่น้อยกว่า

จากตาราง 7 หม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 1 มีการสูญเสียพลังงานมากที่สุด คือ 20,148 51 kWh/ปี แยกเป็นการสูญเสียในแกนเหล็กเท่ากับ 20,148 kWh/ปี และการสูญเสียในขดลวดเท่ากับ 0 51 kWh/ปี หม้อแปลงไฟฟ้ามีขนาดติดตั้ง 1,250 kVA โดยมีการจ่ายโหลดให้อาคารจำนวน 4 อาคาร คือ อาคารเรียน ก 1 อาคารเรียน ก 2 อาคารกองวิชาฟิสิกส์ และอาคารกองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ตาราง 7 แสดงรายละเอียดการสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ลำดับที่	หม้อแปลงไฟฟ้า หมายเลข	ขนาดติดตั้ง (kVA)	การสูญเสียพลังงาน (kwh/ปี)		รวม (kWh/ปี)
			Core Loss	Copper Loss	
1	Tr No 1	1 250	20 148 00	0 51	20 148 51
2	Tr No 2	1 000	16,644 00	4 98	16 648 98
3	Tr No 3	1 000	16 640 00	1 01	16 641 01
4	Tr No 4	630	11 826 00	30 90	11 856 90
5	Tr No 5	500	10 074 00	0 93	10 074 93
6	Tr No 6	500	10 074 00	0 33	10 074 33
7	Tr No 7	315	7,884 00	0 83	7,884 83
8	Tr No 8	315	7 884 00	2 28	7,886 28
9	Tr No 9	315	7 884 00	2 24	7 886 24
10	Tr No 10	315	7,884 00	15 81	7 899 81
	รวม	6 140	116 942 00	59 82	117 001 82

5 แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

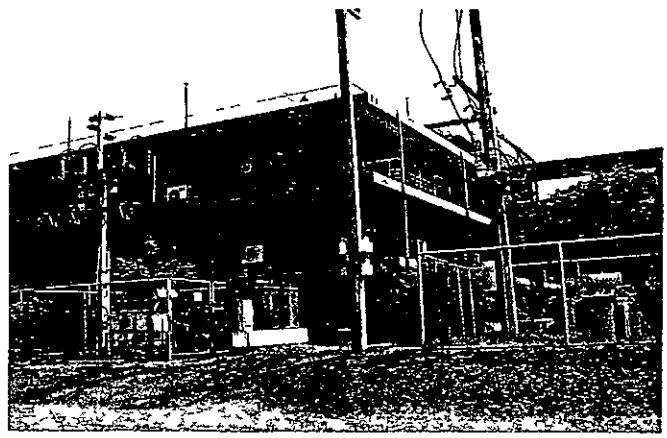
แนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมี 2 แนวทาง คือ การย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกันเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน การปรับปรุงเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดเพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า โดยในแนวทางการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าจากการวิเคราะห์การลงทุนพบว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน รายละเอียดของแต่ละแนวทางมีดังนี้

5 1 การย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกันเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

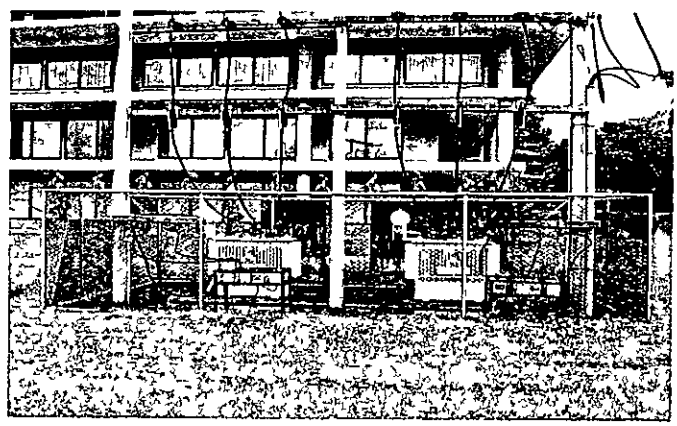
การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้ามี 2 กรณี คือ การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) และการสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) โดยที่การสูญเสียในแกนเหล็กจะมีการสูญเสียตลอดเวลาถึงแม้จะมีหรือไม่มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าก็ตาม แต่การสูญเสียในขดลวดจะมีเฉพาะในช่วงที่มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น ในกรณีที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานมากกว่า 1 ตัว เมื่อมีการใช้งานต่ำกว่าขนาดติดตั้งมากๆจนสามารถยุบรวมโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าต่างๆมารวมกันได้ จะทำให้ลดการสูญเสียพลังงานในแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าลงได้

ในการพิจารณากราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้าในภาคผนวก ก จะเห็นว่ามีหม้อแปลงหลายตัวที่มีการจ่ายโหลดน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดติดตั้ง แต่ในเบื้องต้นจะ

พิจารณาหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีตำแหน่งติดตั้งใกล้กันก่อน เนื่องจากสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องสายส่งไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงมีเพียงหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 5 กับ Tr No 7 และ Tr No 8 กับ Tr No 9 ที่เหมาะสมในการรวมโหลดเพราะตำแหน่งติดตั้งใกล้กันมากดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 26 และภาพประกอบ 27 โดยดำเนินการย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7 มาไว้กับหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 และย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9 มาไว้กับหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8



ภาพประกอบ 26 แสดงตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 และ Tr No 7



ภาพประกอบ 27 แสดงตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8 และ Tr No 9

การรวมโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น จะเหลือหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานทั้งหมด 8 ตัว คือ Tr No 1 Tr No 2 Tr No 3 Tr No 4 Tr No 5 Tr No 6 Tr No 8 และ Tr No 10 ซึ่งทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 5 และ Tr No 8 มีโหลดเพิ่มขึ้น โดยการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงได้ดังนี้

1 Tr No 5 ขนาดติดตั้ง 500 kVA (อาคารกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล)

จากการย้ายโหลดหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7 มาไว้ที่ หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 มีโหลดเพิ่มเป็น

= 4 20 + 2 98 kVA

= 7 18 kVA

การสูญเสียในแกนเหล็ก = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 1 15 kW × 24 ชั่วโมง × 365 วัน/ปี

= 10,074 kWh/ปี

การสูญเสียในขดลวด = $\text{Copper Loss} \times \left(\frac{\text{kVA}_{\text{actual}}}{\text{kVA}_{\text{rate}}}\right)^2 \times$ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= $5\ 50\ \text{kW} \times \left(\frac{7\ 18}{500}\right)^2 \times 8$ ชั่วโมง × 300 วัน/ปี

= 3 31 kWh/ปี

การสูญเสียพลังงานรวมของหม้อแปลง

= 10,074 + 3 31 = 10,077 31 kWh/ปี

2 Tr No 8 ขนาด 315 kVA (อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์)

จากการโหลดหม้อแปลง Tr No 9 มาไว้ที่ หม้อแปลง Tr No 8 ทำให้หม้อแปลง Tr No 8 มีโหลดเพิ่มขึ้นเป็น

= 4 91 + 4 88 kVA

= 9 79 kVA

การสูญเสียในแกนเหล็ก = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 0 90 kW × 24 ชั่วโมง × 365 วัน/ปี

= 7,884 kWh/ปี

การสูญเสียในขดลวด = $\text{Copper Loss} \times \left(\frac{\text{kVA}_{\text{actual}}}{\text{kVA}_{\text{rate}}}\right)^2 \times$ ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= $3\ 90\ \text{kW} \times \left(\frac{9\ 79}{315}\right)^2 \times 8$ ชั่วโมง × 300 วัน/ปี

= 9 04 kWh/ปี

การสูญเสียพลังงานรวม = 7,884 + 9 04 = 7,893 04 kWh/ปี

การสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมดหลังการรวมโหลด

= 101,240 92 kWh/ปี

การสูญเสียพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมดก่อนการรวมโหลด

= 117,001 82 kWh/ปี

ดังนั้น การสูญเสียลดลง = 117,001 82 - 101,240 92 kWh/ปี

= 15,760 90 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 15,760 90 kWh/ปี × 1 78 บาท/kWh(ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย)

= 28,054 40 บาท/ปี

ดังนั้นในการดำเนินการจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 15,760 90 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 28,054 บาท/ปี ซึ่งในแนวทางนี้ไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโดยสามารถดำเนินการโดยบุคลากรของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าได้

5 2 การปรับปรุงเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดเพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าซึ่งแสดงไว้ในตาราง 3 และ ตาราง 4 จะเห็นว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand Charge) เป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง และตัวประกอบโหลดเฉลี่ยของส่วนการศึกษามีค่าเท่ากับ 32 49% ดังนั้นควรดำเนินการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดของเดือนที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเพื่อลดค่าไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าลง วิธีการคือดำเนินการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ในแต่ละเดือน โดยการจัดโหลดและวางแผนการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งไม่ควรใช้งานพร้อมกันหลายๆเครื่อง ควรมีการเดินเครื่องสลับกันและกระจายโหลดไปในช่วงเวลาอื่นๆ หรืออาจพิจารณาติดตั้งเครื่องควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอัตโนมัติ (Automatic Demand Controller) แต่วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง

ดังนั้นวิธีการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการจัดโหลดและวางแผนการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ควรพิจารณาก่อนเพราะไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ โดยจากการศึกษาพบว่าเดือนที่มีค่าตัวประกอบโหลดต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้งปีคือเดือน เมษายน พฤษภาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ในการดำเนินการจะสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ลงได้ซึ่งผลการประหยัดพลังงานในแต่ละเดือนแสดงไว้ในตาราง 8

ตาราง 8 แสดงผลการประหยัดและค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ในการจัดโหลด

เดือน	ชั่วโมงทำงานต่อปี	ลักษณะการใช้ไฟฟ้าเดิม			ตัวประกอบโหลด (%)		กำลังไฟฟ้าสูงสุดใหม่ (kW)	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลง (kW)	ผลประหยัด (บาท/ปี)
		กำลังไฟฟ้าสูงสุด(kW)	บาท	(kWh)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง			
เมษายน	720	675 00	37 602 55	138 992 00	28 60	32 49	594 17	80 83	4 503 07
พฤษภาคม	744	1 356 00	89 859 48	322 200 00	31 94	32 49	1 332 92	23 08	1 529 71
สิงหาคม	744	1 440 00	85 958 61	288 000 00	26 88	32 49	1 191 43	248 57	14 837 79
กันยายน	720	1 308 00	76 000 12	285 240 00	30 29	32 49	1 219 35	88 65	5 150 95
ตุลาคม	744	1 212 00	157 586 66	79 560 00	8 82	32 49	329 13	882 87	114 792 06
พฤศจิกายน	720	1 356 00	58 648 97	242 640 00	24 85	32 49	1 037 24	318 76	13 786 74
ธันวาคม	744	1 068 00	62 827 02	237 720 00	29 92	32 49	983 43	84 57	4 975 03
รวม								1 727 33	159 575 36

การหาผลการประหยัดพลังงานในตาราง 8 แสดงได้ดังตัวอย่างการคำนวณผลการประหยัดพลังงานในเดือนเมษายน โดยทำการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดจาก 28 60% เป็น 32 49% และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 138,992 kWh ซึ่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 675 kW

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดใหม่} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times 100\%}{\text{ตัวประกอบโหลด (\%)} \times \text{ชั่วโมงใช้งาน/เดือน}}$$

$$= \frac{138{,}992 \text{ kWh}}{32\ 49\% \times 720 \text{ ชั่วโมง/เดือน}}$$

$$= 594\ 16 \text{ kW}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลง} = \text{กำลังไฟฟ้าเดิม} - \text{กำลังไฟฟ้าใหม่}$$

$$= 675 - 594\ 16 \text{ kW}$$

$$= 80\ 83 \text{ kW}$$

$$\text{ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยต่อบาท} = \frac{37{,}602\ 55 \text{ บาท}}{675 \text{ kW}}$$

$$= 55\ 70 \text{ บาท/kW}$$

$$\text{ดังนั้น สามารถประหยัดได้} = 80\ 83 \text{ kW} \times 55\ 70 \text{ บาท/kW}$$

$$= 4{,}503\ 07 \text{ บาท/ปี}$$

ซึ่งรวมทุกเดือนที่ทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดทั้งหมดนั้น จะสามารถลดความต้องการกำลังไฟฟ้าลงได้ 1,727 33 kW เป็นเงินที่ประหยัดได้ 159,575 36 บาท/ปี

5 3 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟตเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับนั้นมีกระแสไฟฟ้าอยู่ 2 ส่วน คือ กระแสแอคตีฟ (Active Current) และกระแสรีแอคตีฟ (Reactive Current) โดยที่กระแสแอคตีฟเป็นกระแสที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นงานในรูปแบบต่างๆได้ ส่วนกระแสรีแอกตีฟนั้นเป็นกระแสที่ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นงานได้โดยตรงแต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ต้องการเพื่อใช้สร้างสนามแม่เหล็ก ผลรวมของกระแสทั้ง 2 ส่วนนี้เรียกว่า กระแสปรากฏ (Apparent Current) ซึ่งเป็นกระแสที่แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor,P F) เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆใช้กระแสแอคตีฟเป็นอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับกระแสปรากฏ หากมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของหม้อแปลงไฟฟ้านั่นแสดงว่ากระแสปรากฏมีค่าสูงกว่าประโยชน์ที่ได้รับจากกระแสในส่วนที่ทำให้เกิดงาน ดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์คาปาซิเตอร์ (Capacitor) ซึ่งมีคุณสมบัติในการสร้างและจ่ายกระแสรีแอกตีฟให้แก่ระบบไฟฟ้าจะทำให้ความต้องการกระแสปรากฏลดลง

ผลการบันทึกกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้าพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 4 และ Tr No 10 มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า (P F =0 90) ดังนั้นจึงควรติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัติในหม้อแปลงไฟฟ้าเหล่านั้นเพื่อเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยขนาดคาปาซิเตอร์ในการติดตั้งแสดงได้ดังนี้

1 หม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 4 ขนาด 630 kVA

จากการบันทึกกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ยเท่ากับ 73 35% และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 163 31 kW

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power)} = \frac{163\ 31}{0\ 7335}$$

$$= 222\ 64\ \text{kVA}$$

ขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์หาได้จาก

$$\text{kVAr} = \text{kW} \times (\tan\phi_1 - \tan\phi_2)$$

โดยที่ $\phi_1 = \text{Cos}^{-1} 0\ 7335 = 42\ 81^\circ$

$\phi_2 = \text{Cos}^{-1} 0\ 90 = 25\ 84^\circ$

ดังนั้น $\text{kVAr} = 163\ 31\ \text{kW} \times (\tan 42\ 81^\circ - \tan 25\ 84^\circ)$

= 72 19 kVAr

2 หม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 10 ขนาด 315 kVA

จากการบันทึกกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ยเท่ากับ 77 38% และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 70 11 kW

กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) $= \frac{70\ 11}{0\ 7738}$

= 90 60 kVA

ขนาดของคาปาซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์หาได้ดังนี้

โดยที่ ϕ_1 = Cos '0 7738 = 39 30°

ϕ_2 = Cos '0 90 = 25 84°

ดังนั้น kVAr = 70 11 kW × (tan39 30° - tan25 84°)

= 13 94 kVAr

ดังนั้นควรติดตั้งคาปาซิเตอร์ขนาด 25 kVAr จำนวน 3 ชุดในหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 4 และ ขนาด 25 kVAr จำนวน 1 ชุดในหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 10 โดยตำแหน่งที่ติดตั้งคือที่ตู้กระจายโหลดหลักของระบบ ซึ่งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัตินี้จะจ่ายกระแสรีแอกตีฟแบบมีการตัดต่อวงจรอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการตลอดเวลา ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการลงทุน โดยแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค พบว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 1,125 01 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 2,002 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 68 17 ปี

จะเห็นได้ว่าการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัติที่หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองตัวนี้มีระยะเวลาคืนทุนที่นานมาก ซึ่งเป็นเพราะว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการใช้งานน้อยมากต่อปี ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนจึงไม่ควรดำเนินการแนวทางนี้

ระบบปรับอากาศ

การศึกษาสภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ ผลการศึกษาแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

1 ลักษณะทั่วไปและขนาดติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

ส่วนการศึกษามีเครื่องปรับอากาศใช้งานทั้งหมด 278 เครื่อง โดยแบ่งเป็นชนิดแยกส่วน (Split Type) จำนวน 274 เครื่อง และชนิดหน้าต่าง (Window Type) จำนวน 4 เครื่อง ซึ่งมีทั้ง

ประเภทธรรมดาและเดินท่อส่งจ่ายลมในอาคาร ขนาดติดตั้งรวมทั้งหมดของระบบปรับอากาศเท่ากับ 12,725,000 Btu/h ดังแสดงไว้ในตาราง 9 การติดตั้งใช้งานเครื่องปรับอากาศนั้นบางเครื่องมีการติดตั้งใช้งานพร้อมกับอาคารและบางเครื่องติดตั้งเพิ่มเติมเข้ามาในภายหลัง โดยมีอายุการใช้งานส่วนใหญ่ของเครื่องปรับอากาศมากกว่า 8 ปี รายละเอียดและตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ

2 การใช้พลังงานและผลการตรวจประเมินเครื่องปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานทั้งหมด 1,440,598 10 kWh/ปี ซึ่งเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงที่สุดคือ 46 76% เมื่อเทียบกับระบบทั้งหมด และมีดัชนีการใช้พลังงานเท่ากับ 264 65 Btu/hต่อm^2 จากการประเมินประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยแสดงไว้ในตาราง 10 เครื่องปรับอากาศที่มีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) น้อยกว่าหรือเท่ากับเบอร์ 3 ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเบอร์ 4 และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเบอร์ 5 มีจำนวนเท่ากับ 229 เครื่อง 37 เครื่อง และ 12 เครื่อง ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/Tr) เฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศทุกอาคารมีค่าเท่ากับ 1 47 อาคารกองวิชาประวัติศาสตร์มีขนาดติดตั้งเครื่องปรับอากาศสูงที่สุดเท่ากับ 3,658,650 Btu/h ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเท่ากับ 367,980 30 kWh/ปี โดยคิดเป็น 25 54% ของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด อาคารหอประชุมส่วนการศึกษามีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศสูงที่สุด คือ 1 69 รายละเอียดการประเมินค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน และค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องปรับอากาศทั้งหมดแสดง ไว้ใน ภาคผนวก ฉ

ตาราง 9 แสดงขนาดติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

ลำดับที่	ชนิดเครื่องปรับอากาศ	ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/h)	อายุการใช้งาน				จำนวน (เครื่อง)	รวม (Btu/h)
			0-3	3-5	5-8	>8		
			จำนวน (เครื่อง)					
1	S T	9 000	-	-	-	1	1	9 000
2	S T	12 000	-	-	2	1	3	36 000
3	S T	12 500	2	1	2	22	27	337 500
4	S T	13 000	1	-	-	-	1	13 000
5	S T	16 000	-	-	2	16	18	288 000
6	W T	16 000	-	-	-	2	2	32 000
7	S T	16 100	-	-	2		2	32 200
8	S T	16 500	-	-	-	2	2	33 000
9	S T	18 000	-	1	2	1	4	72,000
10	S T	18,300	1	-	-	-	1	18 300
11	S T	18 700	-	-	-	1	1	18 700
12	S T	20 000	-	2	1	16	19	380 000
13	W T	20,000	-	-	-	2	2	40,000
14	S T	25 000	4	-	8	5	17	425,000
15	S T	25 800	4	-	-	10	14	361,200
16	S T	28 000	-	-	1	1	2	56 000
17	S T	30 000	-		-	2	2	60 000
18	S T	32 000	-	-	-	6	6	192 000
19	S T	33 400	2	-	1	9	12	400 800
20	S T	35 300	4	-	2	8	14	494 200
21	S T	36 000	6	-	10	5	21	756,000
22	S T	38,000	-	-	-	3	3	114,000
23	S T	44,100	4	-	4	6	14	617 400
24	S T	51 200	-	5	-	-	5	256,000
25	S T	55 000	-	-	-	8	8	440,000
26	S T	56 250	-	-	-	26	26	1,462 500
27	S T	60 000	3	-	-	-	3	180 000
28	S T	60,800	8	-	-	-	8	486,400
29	S T	77 100	8	-	-	-	8	616 800
30	S T	78 500	-	-	-	9	9	706 500
31	S T	86,000	-	-	-	7	7	602 000
32	S T	106,000	-	-	-	1	1	106 000
33	S T	122 000	-	-	-	4	4	488,000
34	S T	210 500	-	-	-	9	9	1,894 500
35	S T	350,000	-	-	-	2	2	700,000
รวม			48	9	36	185	278	12 725,000

หมายเหตุ S T คือ ชนิดแยกส่วน (Split Type) , W T คือ ชนิดหน้าต่าง (Window Type)

ตาราง 10 แสดงการใช้พลังงานและการตรวจประเมินเครื่องปรับอากาศ

ชื่ออาคาร	ขนาดติดตั้งรวม (Btu/h)	ใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	ดัชนีการใช้พลังงาน (Btu/h/m^2)	EER เบอร์ ≤ 3	4	5	kW/Tr เฉลี่ย
				จำนวน (เครื่อง)			
1 กองบังคับการส่วนการศึกษา	380 900	83 016 78	138 18	19	-	-	1 55
2 กองวิชาประวัติศาสตร์	3 658 650	367 980 30	544 52	48	5	-	1 54
3 หอประชุมส่วนการศึกษา	928 000	37,587 00	203 31	7	-	-	1 69
4 อาคารเรียน ก 2	122 000	17 856 80	56 00	3	1	-	1 37
5 อาคารเรียน ข 2	1 127 400	147 913 60	527 81	12	3	2	1 30
6 กองวิชาอักษรศาสตร์	1 054,000	129,941 06	354 70	26	1	3	1 48
7 กองวิชากฎหมายและสังคม	473 000	75 532 36	168 63	12	2	1	1 45
8 กองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	947 000	85,960 06	318 75	24	5	1	1 44
9 กองวิชาฟิสิกส์	488 500	44,557 04	145 39	9	1	-	1 41
10 กองวิชาคณิตศาสตร์	1 123 000	131 097 72	364 85	17	4	1	1 53
11 กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	378 500	52 212 78	328 56	5	4	-	1 40
12 กองวิชาวิศวกรรมโยธา	1 094,900	151 758 06	262 69	23	6	2	1 48
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และวิศวกรรมสรรพาวุธ							
13 โรงประลองวิศวกรรมเครื่องกลและสรรพาวุธ	581 000	72 159 06	179 32	15	3	2	1 36
14 โรงประลองวิศวกรรมโยธา	364,000	43 025 48	112 35	9	2	-	1 51
และวิศวกรรมไฟฟ้า							
รวม	12 725,000	1,440,598 10	-	229	37	12	-
เฉลี่ย	-	-	264 65	-	-	-	1 47

3 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (OTTV,RTTV) ของอาคาร

ตาราง 11 ได้จากการใช้โปรแกรมคำนวณ OTTVEE Version 0 1a ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดยสถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำการเผยแพร่โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ใช้กันมากในบริษัทที่ปรึกษาพลังงาน ซึ่งข้อมูลลักษณะอาคารได้จากการเดินสำรวจ และข้อมูลของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างอาคารได้จากแบบแปลนการก่อสร้างอาคาร รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ช โดยในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและ

หลังคาอาคารนั้น จะนำค่าที่ประเมินได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535

ผลการประเมินจะเห็นว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังของอาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานมีทั้งหมด 11 อาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาของอาคารผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอาคาร ดังแสดงไว้ในตาราง 11 ดังนั้นจึงควรปรับปรุงผนังอาคารเฉพาะอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังต่ำกว่าค่ามาตรฐาน เพื่อการประหยัดพลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ตาราง 11 ผลการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (OTTV,RTTV) ของอาคารต่างๆ

อาคาร	OTTV (W/m^2)		ผลการประเมิน	RTTV (W/m^2)		ผลการประเมิน
	คำนวณ	มาตรฐาน		คำนวณ	มาตรฐาน	
กองบังคับการส่วนการศึกษา	80 3	55	ไมผาน	22 4	25	ผาน
กองวิชาประวัติศาสตร์	48 2	55	ผ่าน	22 4	25	ผาน
หอประชุมส่วนการศึกษา	18 7	55	ผาน	24 1	25	ผาน
อาคารเรียน ก 1	-	-	ไมมีการปรับอากาศ	-	-	ไมมีการปรับอากาศ
อาคารเรียน ก 2	68 7	55	ไมผาน	19 6	25	ผาน
อาคารเรียน ก 3	-	-	ไมมีการปรับอากาศ	-	-	ไมมีการปรับอากาศ
อาคารเรียน ก 4	-	-	ไมมีการปรับอากาศ	-	-	ไมมีการปรับอากาศ
อาคารเรียน ข 1	-	-	ไมมีการปรับอากาศ	-	-	ไมมีการปรับอากาศ
อาคารเรียน ข 2	41 4	55	ผาน	22 4	25	ผาน
กองวิชาอักษรศาสตร์	81 4	55	ไมผาน	19 4	25	ผาน
กองวิชากฎหมายและสังคม	87 4	55	ไมผาน	19 6	25	ผาน
กองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิงแวดล้อม	79 4	55	ไมผาน	19 1	25	ผาน
กองวิชาฟิสิกส์	85 3	55	ไมผาน	19 6	25	ผาน
กองวิชาคณิตศาสตร์	93 1	55	ไมผาน	16 1	25	ผาน
กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	83 9	55	ไมผาน	16 1	25	ผาน
กองวิชาวิศวกรรมโยธา	79 9	55	ไมผาน	16 1	25	ผาน
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมสรรพาวุธ	88 2	55	ไมผาน	15 4	25	ผาน
โรงประลองวิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมสรรพาวุธ	53 9	55	ผ่าน	12	25	ผาน
โรงประลองวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมไฟฟ้า	67 4	55	ไมผาน	10	25	ผาน

4 แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

แนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมี 3 แนวทาง คือ การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ และการปรับปรุงผนังของอาคารเพื่อลดคาความร้อนที่เข้ามา รายละเอียดของแต่ละแนวทางมีดังนี้

4 1 การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

เครื่องปรับอากาศในส่วนการศึกษาส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมากกว่า 8 ปี ซึ่งบางเครื่องมีประสิทธิภาพต่ำมากสังเกตได้จากค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นที่สูง จากที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 กำหนดให้เครื่องปรับอากาศชนิดหน้าต่างและชนิดแยกส่วนแบบที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศสำหรับอาคารเก่า ควรมีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นไม่เกิน 1 61 kW/Tr ดังนั้นเครื่องปรับอากาศที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสูงกว่าค่าที่กำหนดควรเปลี่ยนเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงซึ่งมีค่าสัดส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) เบอร์ 5 หรือมีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นเท่ากับ 1 13 kW/Tr ทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานลงได้

ผลการสำรวจและตรวจวัดเครื่องปรับอากาศพบว่ามีเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 66 เครื่อง โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามการใช้งานเครื่องปรับอากาศดังนี้ กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) โดยรายละเอียดและตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศแสดงไว้ใน ภาคผนวก ฉ ดังนั้นหากดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแต่ละกลุ่มจะสามารถประหยัดพลังงานได้ดังตาราง 12 ถึง ตาราง 15

ตาราง 12 ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)

หมายเลขเครื่อง	ขนาด (Btu/h)	kW/Tr ก่อนปรับปรุง	kW/Tr หลังปรับปรุง	kW/Tr ที่ลดลง	การใช้งาน (%)	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
202-2003	33 400	1 84	1 13	0 71	85	671 90	1 78	1 195 98
202-2006	12 500	1 69	1 13	0 56	85	198 33	1 78	353 03
202-2005	12,500	1 71	1 13	0 58	85	205 42	1 78	365 64
202-3005	86 000	1 76	1 13	0 63	85	1 535 10	1 78	2 732 48
202-3007	86 000	1 63	1 13	0 50	85	1,218 33	1 78	2 168 63
203-1001	20 000	1 71	1 13	0 58	85	328 67	1 78	585 03
203-1003	210,500	1 77	1 13	0 64	85	3 817 07	1 78	6 794 38
203-1005	210 500	1 71	1 13	0 58	85	3 459 22	1 78	6 157 41
203-2001	32 000	1 65	1 13	0 52	85	471 47	1 78	839 21
203-2002	32,000	1 90	1 13	0 77	85	698 13	1 78	1 242 68
212-2001	210,500	1 67	1 13	0 54	55	3,220 65	1 78	5 732 76
212-2002	16,000	1 64	1 13	0 51	55	231 20	1 78	411 54
212-2003	18 000	1 75	1 13	0 62	55	316 20	1 78	562 84
212-3002	20,000	1 80	1 13	0 67	55	379 67	1 78	675 81
รวม						16 751 35		29 817 40

ตาราง 13 ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)

หมายเลขเครื่อง	ขนาด (Btu/h)	kW/Tr ก่อนปรับปรุง	kW/Tr หลังปรับปรุง	kW/Tr ที่ลดลง	การใช้งาน (%)	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
202-1011	56 250	1 69	1 13	0 56	85	1,785 00	1 78	3 177 30
214-2011	32 000	1 70	1 13	0 57	85	1 033 60	1 78	1,839 81
	รวม					2,818 60		5,017 11

ตาราง 14 ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

หมายเลขเครื่อง	ขนาด (Btu/h)	kW/Tr ก่อนปรับปรุง	kW/Tr หลังปรับปรุง	kW/Tr ที่ลดลง	การใช้งาน (%)	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
202-2015	56,250	1 76	1 13	0 63	85	4 016 25	1 78	7 148 93
202-2017	56 250	1 66	1 13	0 53	85	3 378 75	1 78	6 014 18
202-3011	56 250	1 72	1 13	0 59	85	3,761 25	1 78	6,695 03
202-3012	56 250	1 63	1 13	0 50	85	3 187 50	1 78	5 673 75
202-3013	56 250	1 65	1 13	0 52	85	3 315 00	1 78	5,900 70
210-2008	20 000	1 69	1 13	0 56	55	821 33	1 78	1 461 97
210-2011	55 000	1 74	1 13	0 61	55	2 460 33	1 78	4 379 39
210-2010	55 000	1 95	1 13	0 82	55	3,307 33	1 78	5 887 05
210-3008	55 000	1 79	1 13	0 66	55	2 662 00	1 78	4 738 36
210-3009	55 000	1 74	1 13	0 61	55	2 460 33	1 78	4 379 39
210-3007	78,500	1 64	1 13	0 51	55	2 935 90	1 78	5 225 90
211-2006	12 500	1 68	1 13	0 55	55	504 17	1 78	897 42
214-1004	106 000	1 80	1 13	0 67	55	5 208 13	1 78	9,270 48
214-1005	210,500	1 69	1 13	0 56	55	8 644 53	1 78	15,387 27
214-2012	210 500	1 75	1 13	0 62	55	9 570 73	1 78	17 035 91
214-2013	33 400	1 79	1 13	0 66	85	1 616 56	1 78	2,877 48
219-1004	78 500	1 74	1 13	0 61	55	3 511 57	1 78	6 250 59
219-2001	78 500	1 79	1 13	0 66	55	3 799 40	1 78	6 762 93
219-2003	20,000	1 80	1 13	0 67	55	982 67	1 78	1 749 15
219-2004	16,000	1 69	1 13	0 56	55	657 07	1 78	1 169 58
		รวม				66 800 81		118,905 44

ตาราง 15 ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

หมายเลขเครื่อง	ขนาด (Btu/h)	kW/Tr ก่อนปรับปรุง	kW/Tr หลังปรับปรุง	kW/Tr ที่ลดลง	การใช้งาน (%)	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
201-1004	20,000	1 79	1 13	0 66	85	1 832 60	1 78	3 262 03
201-2001	16 000	1 86	1 13	0 73	85	1 621 57	1 78	2 886 40
201-2003	20 000	1 68	1 13	0 55	85	1 527 17	1 78	2 718 36
201-2007	25 000	1 74	1 13	0 61	85	2 117 21	1 78	3 768 63
201-3001	16 000	1 75	1 13	0 62	85	1 377 23	1 78	2 451 46
202-1001	56 250	1 69	1 13	0 56	85	4 373 25	1 78	7 784 39
202-2007	25 800	1 82	1 13	0 69	85	2 471 51	1 78	4 399 29
202-2021	56 250	1 89	1 13	0 76	85	5 935 13	1 78	10 564 52
210-1003	20,000	1 63	1 13	0 50	85	1,388 33	1 78	2 471 23
210-1009	55,000	1 79	1 13	0 66	85	5 039 65	1 78	8 970 58
210-3003	16 000	1 64	1 13	0 51	85	1 132 88	1 78	2 016 53
211-2003	78,500	1 86	1 13	0 73	85	7 955 84	1 78	14 161 40
211-3002	35 300	1 63	1 13	0 50	85	2 450 41	1 78	4 361 73
212-3006	12 500	1 68	1 13	0 55	85	954 48	1 78	1 698 97
212-3008	18,000	1 66	1 13	0 53	85	1 324 47	1 78	2 357 56
212-3011	25,000	1 80	1 13	0 67	85	2 325 46	1 78	4 139 32
212-2002	16,000	1 64	1 13	0 51	85	1,132 88	1 78	2 016 53
212-1001	18,000	1 66	1 13	0 53	85	1,324 47	1 78	2,357 56
214-2004	56,250	1 80	1 13	0 67	85	5 232 28	1 78	9 313 46
214-2005	33 400	1 77	1 13	0 64	85	2 967 70	1 78	5,282 51
214-2008	16 100	1 77	1 13	0 64	85	1 430 54	1 78	2,546 36
214-2009	12,500	1 66	1 13	0 53	85	919 77	1 78	1 637 19
215-2001	78,500	1 71	1 13	0 58	85	6 321 08	1 78	11 251 53
216-2002	12,500	1 84	1 13	0 71	85	1 232 15	1 78	2 193 22
216-2005	38,000	1 73	1 13	0 60	85	3,165 40	1 78	5 634 41
217-2001	78 500	1 69	1 13	0 56	85	6,103 11	1 78	10,863 54
217-2002	12,500	1 76	1 13	0 63	85	1 093 31	1 78	1 946 10
217-2003	12 500	1 72	1 13	0 59	85	1,023 90	1 78	1,822 53
217-2009	12,500	1 91	1 13	0 78	85	1 353 63	1 78	2 409 45
217-2010	12,500	1 79	1 13	0 66	85	1,145 38	1 78	2 038 77
		รวม				78 272 78		139,325 57

การหาผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงในแต่ละกลุ่มในตารางข้างต้น แสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน กลุ่มที่ 1 (ทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี และใช้งาน 85%) หมายเลขเครื่อง 202-2003 ตำแหน่งติดตั้งคืออาคารกองวิชาประวัติศาสตร์ ห้องทรงงาน ชั้น 2 ขนาด 33,400 Btu/h เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีค่า EER เบอร์ 5 (EER = 10 6 หรือ kW/Tr = 1 13)

กำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นก่อนปรับปรุง = 1 84 kW/Tr

กำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นหลังปรับปรุง = 1 13 kW/Tr

กำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นที่ลดลง = 1 83 – 1 13 kW/Tr

= 0 71 kW/Tr

จาก 1 ตันความเย็น (Tr) = 1,2000 Btu/h

ดังนั้น ประหยัดพลังงานได้ = $\frac{33,400 \text{Btu/h}}{1,2000} \times 0\ 71\ \text{kW/Tr} \times 8$ ชั่วโมง/วัน

$\times$ 50 วัน/ปี $\times$ 85%

= 671 91 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 671 91 kWh/ปี $\times$ 1 78 บาท/kWh(ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย)

= 1,195 98 บาท/ปี

การวิเคราะห์การลงทุนซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ค พบว่า กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 30 เครื่อง มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 7 78 ปี และสามารถประหยัดพลังงานได้ 78,272 78 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 139,325 บาท/ปี ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 14 50%

4 2 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ

ผลการสำรวจสภาพเครื่องปรับอากาศในส่วนการศึกษาพบว่า บางเครื่องแผงอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator Coil) และ แผงคอนเดนเซอร์ (Condenser Coil) มีความสกปรกมาก โดยมีฝุ่นละอองเกาะอยู่มากมาย ซึ่งเป็นเพราะสภาพการใช้งาน และสภาพแวดล้อมของบริเวณการทำงานของเครื่อง ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแผงอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ลดลง ดังนั้นควรดำเนินการทำความสะอาดแผงอีวาพอเรเตอร์ แผงคอนเดนเซอร์ และแผ่นกรองอากาศของเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยเดือนละครั้ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 840 บาทต่อเครื่องต่อปี

จากงานวิจัยของ จันทนา กุญชรรัตน์ และคณะ ซึ่งสนับสนุนทุนวิจัยโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ได้ทำการศึกษาศักยภาพการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศในการบำรุงรักษาเบื้องต้น โดยทำการเปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการบำรุงรักษา และเครื่องปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ คือดำเนินการทำความสะอาดแผงอีวาพอเรเตอร์ แผงคอนเดนเซอร์และแผ่นกรองอากาศของเครื่องปรับอากาศเดือนละครั้ง โดยทำการศึกษาทั้งเครื่องปรับอากาศสภาพใหม่และเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งาน 3 - 5 ปี ผลการศึกษาพบว่าเครื่องปรับอากาศที่มีอายุใช้งาน 3 - 5 ปี จะประหยัดพลังงานลงประมาณ 15%[9] แต่เนื่องจากผลการประหยัดพลังงานแนวทางนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพการใช้งาน สภาพแวดล้อม และผู้ผลิต เป็นต้น ดังนั้นการอ้างอิงผลการประหยัดพลังงานจึงขออ้างอิงเฉพาะในการศึกษานี้เท่านั้น เนื่องจากต้องการทราบศักยภาพการประหยัดพลังงานแนวทางนี้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการดำเนินการจัดการพลังงานตามวัตถุประสงค์การศึกษา ซึ่งหากต้องการข้อมูลอ้างอิงควรทำการศึกษาแล้วแต่กรณีไป

ส่วนการศึกษามีเครื่องปรับอากาศใช้งานทั้งหมด 278 เครื่อง โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามการใช้งานดังนี้ กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอในแต่ละกลุ่มการใช้งานแสดงได้ในตาราง 16 ถึง ตาราง 19

ตาราง 16 ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)

ขนาด Btu/h	จำนวน (เครื่อง)	พลังงาน ที่ใช้ (kWh/ปี)	พลังงาน ที่ประหยัดได้ 15% (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้า เฉลี่ย	ประหยัด พลังงานได้ (บาท/ปี)
12 500	1	499 80	74 97	1 78	133 45
20 000	1	334 40	50 16	1 78	89 28
25 000	1	731 00	109 65	1 78	195 18
32 000	2	2 839 00	425 85	1 78	758 01
33 400	5	44 361 36	6 654 20	1 78	11 844 47
56,250	3	4 148 00	622 20	1 78	1 107 52
78 500	1	1 755 60	263 34	1 78	468 75
86 000	2	6 079 20	911 88	1 78	1 623 15
210 500	4	30 047 80	4,507 17	1 78	8 022 76
รวม			13 619 33		24 242 42

ตาราง 17 ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)

ขนาด Btu/h	จำนวน (เครื่อง)	พลังงาน ที่ใช้ (kWh/ปี)	พลังงาน ที่ประหยัดได้ 15% (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้า เฉลี่ย	ประหยัด พลังงานได้ (บาท/ปี)
16,000	1	1,176 40	176 46	1 78	314 10
20,000	2	1,786 40	267 96	1 78	476 97
25,800	1	1,747 60	262 14	1 78	466 61
36 000	1	1 632 40	244 86	1 78	435 85
56 250	1	5 140 80	771 12	1 78	1 372 59
122 000	3	24,507 20	3,676 08	1 78	6 543 42
รวม			5,398 62		9,609 54

ตาราง 18 ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ

กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

ขนาด Btu/h	จำนวน (เครื่อง)	พลังงานที่ใช้ (kWh/ปี)	พลังงานที่ประหยัดได้ 15% (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	ประหยัดพลังงานได้ (บาท/ปี)
12 500	3	3,599 20	539 88	1 78	960 99
16,500	2	5 018 40	752 76	1 78	1 339 91
20 000	1	1 786 40	267 96	1 78	476 97
25 000	5	15,376 88	2 306 53	1 78	4 105 63
25 800	3	9 534 40	1 430 16	1 78	2 545 68
30 000	1	2 349 60	352 44	1 78	627 34
32 000	1	2 481 60	372 24	1 78	662 59
33,400	3	13 015 20	1 952 28	1 78	3 475 06
35 300	7	25,828 80	3 874 32	1 78	6 896 29
36,000	18	62,472 80	9,370 92	1 78	16,680 24
44 100	1	3 916 80	587 52	1 78	1 045 79
51 200	1	5,848 00	877 20	1 78	1 561 42
55,000	1	5 447 28	817 09	1 78	1 454 42
56 250	9	55,542 40	8 331 36	1 78	14 829 82
78 000	1	6,635 20	995 28	1 78	1 771 60
86 000	2	22 018 40	3,302 76	1 78	5 878 91
350,000	2	74 908 80	11,236 32	1 78	20 000 65
รวม			47 367 02		84 313 30

ตาราง 19 ผลการประหยัดพลังงานในการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

ขนาด Btu/h	จำนวน (เครื่อง)	พลังงานที่ใช้ (kWh/ปี)	พลังงานที่ประหยัดได้ 15% (kWh/ปี)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	ประหยัดพลังงานได้ (บาท/ปี)
9 000	1	1,582 70	237 41	1 78	422 58
12,000	3	6 547 38	982 11	1 78	1,748 15
12,500	11	24 890 04	3 733 51	1 78	6 645 64
16,000	12	38,151 40	5 722 71	1 78	10 186 42
16 100	1	2 415 70	362 36	1 78	644 99
18 000	3	10 145 94	1 521 89	1 78	2 708 97
18 700	1	2,865 52	429 83	1 78	765 09
20 000	13	46,847 92	7 027 19	1 78	12 508 39
25 000	10	45 048 64	6 757 30	1 78	12 027 99
25 800	10	45,231 90	6 784 79	1 78	12 076 92
28,020	2	8,713 18	1,306 98	1 78	2,326 42
30,000	1	5 414 50	812 18	1 78	1,445 67
32 000	2	11,112 22	1,666 83	1 78	2 966 96
33 400	1	5,980 94	897 14	1 78	1 596 91
35,300	5	27 322 40	4,098 36	1 78	7 295 08
36,000	2	11 212 18	1,681 83	1 78	2 993 65
38,000	2	13,561 24	2,034 19	1 78	3 620 85
44 100	9	64,390 90	9 658 64	1 78	17 192 37
51 200	4	26,072 90	3 910 94	1 78	6 961 46
55,000	1	6 264 16	939 62	1 78	1 672 53
56 250	4	36 302 14	5 445 32	1 78	9 692 67
78 500	1	11 845 26	1 776 79	1 78	3 162 68
86,000	2	28,755 16	4,313 27	1 78	7,677 63
รวม			72 101 15		128,340 04

การวิเคราะห์การลงทุนซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค พบว่ามีระยะเวลาคืนทุนเร็วทุกกลุ่ม ดังนั้นหากดำเนินการทุกกลุ่มจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 138,485 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 246,504 12 บาท/ปี มีระยะเวลาคืนทุน 0 65 ปี

4 3 การปรับปรุงผนังของอาคารเพื่อลดค่าความร้อนเข้าสู่อาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และ ค่าการถายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เป็นค่าที่บอกถึงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ตำแหน่งอาคาร วัสดุที่ใช้สร้างอาคาร เป็นต้น โดยที่ค่ามาตรฐานจะกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทและสภาพของอาคาร ดังนั้นถ้าอาคารใดมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาสูงกว่าค่ามาตรฐานมากๆควรมีการปรับปรุงอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาลง ซึ่งทำให้ประหยัดพลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศได้

ในการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง และหลังคาอาคารต่างๆ ภายในส่วนการศึกษาดังแสดงไว้ในตาราง 11 พบว่ามีอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 11 อาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอาคาร ดังนั้นจึงควรปรับปรุงเฉพาะผนังของอาคารที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารลง แนวทางในการดำเนินการคือ ทำการติดฟิล์มกรองแสงชนิด 3M รุ่น 12P ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient ,SC) 0 29 ที่กระจก ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่เข้ามาในอาคารทางด้านกระจกลดลง และทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารลดลงด้วย โดยผลการประหยัดพลังงานในการติดฟิล์มกรองแสง ในอาคารที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนั้นแสดงได้ในตาราง 20

ตาราง 20 ผลการประหยัดพลังงานในการปรับปรุงผนังอาคาร

ชื่ออาคาร	ค่า kW/Tr เฉลี่ย	ชั่วโมงทำงานเฉลี่ย	ค่า OTTV (W/m^2) ก่อนปรับปรุง	ค่า OTTV (W/m^2) หลังปรับปรุง	พื้นที่ผนัง (m^2) ผนังทึบ	พื้นที่ผนัง (m^2) ผนังโปร่งแสง	ผลการประหยัด (kWh/ปี)	เป็นเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
อาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา	1 55	1 666 00	80 30	54 40	295 00	221 00	9 812 60	17 466
อาคารเรียน ก 2	1 37	800 00	68 70	50 00	92 60	40 40	775 05	1 380
อาคารกองวิชาอักษรศาสตร์	1 45	1 176 00	81 40	53 00	492 70	443 20	12 886 97	22 939
อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม	1 45	1 450 40	87 40	53 00	240 60	269 80	10 499 11	18 688
อาคารกองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	1 44	1 234 80	79 40	54 20	406 10	336 60	9 462 39	16 843
อาคารกองวิชาฟิสิกส์	1 41	1 254 40	85 30	54 00	220 20	231 30	7 106 98	12 650
อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์	1 53	1 136 80	93 00	47 70	113 30	119 10	5 206 40	9 267
อาคารกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	1 40	1 489 60	83 90	50 30	130 30	165 40	5 891 37	10 487
อาคารกองวิชาวิศวกรรมโยธา	1 53	1 372 00	79 90	50 60	209 80	213 40	7 400 94	13 174
อาคารกองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมสรรพาวุธ	1 43	1 274 00	88 20	47 30	321 80	432 00	15 970 29	28 427
อาคารโรงประลองวิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมไฟฟ้า	1 51	1 019 20	67 40	53 40	183 80	72 20	1 568 31	2 792
				รวม	2 706 20	2 544 40	86 580 40	154 113

การหาผลของการประหยัดพลังงาน ในการติดฟิล์มกรองแสงของอาคารต่างๆใน ตาราง 20 แสดงได้ดังตัวอย่างการคำนวณผลการประหยัดพลังงานในอาคารกองบังคับการส่วนการศึกษาดังนี้

อาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา

ค่า OTTV ก่อนการปรับปรุง = 80 3 W/m^2

ค่า OTTV หลังการปรับปรุง = 54 5 W/m^2

พื้นที่ผนังทึบส่วนที่มีการปรับอากาศ = 295 m^2

พื้นที่ผนังโปร่งแสงส่วนที่มีการปรับอากาศ = 221 m^2

ค่า kW/Tr เฉลี่ย ของเครื่องปรับอากาศ = 1 55 kW/Tr

ชั่วโมงทำงานเฉลี่ยใน1 ปี = 8 ชั่วโมง/วัน × 245 วัน/ปี × 85%

= 1666 ชั่วโมง/ปี

คิดเป็นค่าความร้อนที่ลดได้ = [(80 3 - 54 5 W/m^2) × (295 + 221 m^2)]/1,000

	=	13 31 kW
(จาก 1 kW = 3,412 Btu/h)	=	13 31 kW × 3 412
	=	45,413 72 Btu/h
(จาก 12,000 Btu/h = 1 Tr)	=	45,413 72 /12,000
	=	3 78 Tr
คิดเป็นพลังงานที่ลดลง	=	3 78 Tr × 1 55 kW/Tr × 1666 ชั่วโมง/ปี
	=	9,812 60 kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	9,761 09 kWh/ปี × 1 78 บาท/kWh
	=	17,466 บาท/ปี

จากการวิเคราะห์การลงทุนโดยแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค พบว่ามีเพียง 3 อาคาร คือ อาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม และกองวิชาคณิตศาสตร์ ที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าอายุการใช้งานฟิล์มกรองแสง (อายุการใช้งาน 15 ปี) ดังนั้นในการดำเนินการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกทั้ง 3 อาคารนี้จะสามารถประหยัดพลังงานได้ดังแสดงไว้ในตาราง 21 ซึ่งจะเห็นว่าแนวทางนี้มีระยะเวลาคืนทุนที่ค่อยข้างนานจึงควรพิจารณาดำเนินการในลำดับหลังๆ

ตาราง 21 แสดงผลการวิเคราะห์การลงทุนแนวทางการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกอาคาร

อาคาร	ประหยัดพลังงานได้ (kWh/ปี)	คิดเป็นเงิน (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	อัตราผลตอบแทน (IRR) %
อาคารกองบังคับการ	9 812 60	17,466	13 04	
อาคารกองวิชากฎหมายและสังคมศาสตร์	10 499 11	18 688	14 07	
อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์	5,206 40	9 267	13 11	
รวม	25,518 11	45,421	13 01	5 60

ระบบแสงสว่าง

การศึกษาสภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง ผลการศึกษาแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

1 ลักษณะทั่วไปของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแสงสว่าง

บริเวณภายในอาคารของส่วนการศึกษา มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแสงสว่างหลายชนิด โดยแบ่งออกเป็นอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

1 1 หลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์ มีการติดตั้งใช้งานหลอดไฟทั้งหมด 15,151 หลอด โดยแยกเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18 - 40 W จำนวน 14,798 หลอด หลอดไส้ (Incandescent Lamp) ขนาด 30 - 100 W จำนวน 413 หลอด และหลอดแสงจันทร์หรือหลอดปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp) ขนาด 60 W จำนวน 60 หลอด ซึ่งติดตั้งใช้งานในบริเวณโรงประลองวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมสรรพาวุธ และโรงประลองวิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมไฟฟ้า มีขนาดติดตั้งรวมเท่ากับ 1,500 W โดยไม่ค่อยได้เปิดใช้งาน และผลการสำรวจบัลลาสต์ที่ใช้ร่วมกับหลอดฟลูออเรสต์เซนต์พบว่ามีทั้งหมด 22,092 ตัว เป็นชนิดขดลวดแกนเหล็กทั้งหมด มีการสูญเสียพลังงานต่อตัวประมาณ 10 W โดยบัลลาสต์ส่วนใหญ่มีการใช้งานมานานแล้วเนื่องจากติดตั้งมาพร้อมกับอาคาร ทำให้มีประสิทธิภาพต่ำสิ้นเปลืองพลังงานสูง

1 2 โคมไฟและฝาครอบ โคมไฟในอาคารส่วนการศึกษาแบ่งออก 2 ชนิด คือ โคมไฟแบบธรรมดาและโคมไฟสะท้อนแสง โดยลักษณะการติดตั้งนั้นมีทั้งติดตั้งบนฝ้า ติดตั้งฝังฝ้า ติดตั้งบนผนัง ติดตั้งแบบลอย และติดตั้งแบบแขวน ขนาดของโคมไฟที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสต์เซนต์มีหลายขนาด เช่น ขนาด 18 W×4 ขนาด 18 W×2 ขนาด 32 W×4 และ ขนาด 36 W×4 เป็นต้น ฝาครอบโคมไฟนั้นมีทั้งเป็นแบบใส แบบเกล็ด (Prismatic) แบบขาวขุ่น และแบบหน้าตะแกรง ซึ่งจะให้ความสว่างแตกต่างกัน บางโคมมีความสกปรกมากและไม่มีฝาครอบเนื่องจากชำรุดเพราะมีการใช้งานมานานและขาดการบำรุงรักษา ทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำสิ้นเปลืองพลังงานสูง

1 3 อุปกรณ์เปิดปิดและควบคุมแสงสว่าง ในอาคารบางอาคาร เช่น อาคารกองวิชาประวัติศาสตร์ หอประชุมส่วนการศึกษา มีการติดตั้งอุปกรณ์เปิดปิดและควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟซึ่งสามารถปรับความสว่างได้ตามต้องการ ดังนั้นในช่วงเวลากลางวันที่มีแสงสว่างมากๆจึงสามารถหรี่แสงสว่างของหลอดไฟได้ซึ่งทำให้การใช้พลังงานของหลอดไฟลดลง และในการสำรวจบางตัวมีการชำรุดเนื่องจากฟิวส์ขาด ดังนั้นควรทำการเปลี่ยนฟิวส์ใหม่เพื่อที่จะใช้งานได้อย่างเดิมและควรมีการบำรุงรักษาอยู่เสมอ

2 ขนาดติดตั้งและดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง

ระบบแสงสว่างมีสัดส่วนการใช้พลังงานเท่ากับ 23 18% เมื่อเทียบกับระบบทั้งหมด จากตาราง 22 ซึ่งแสดงขนาดติดตั้งของอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างในอาคารต่างๆ พบว่า ขนาดติดตั้งอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 682,943 W โดยแยกเป็นขนาดติดตั้งของหลอดไฟฟ้าเท่ากับ 536,198 00 W และขนาดติดตั้งบัลลาสต์ซึ่งเป็นชนิดขดลวดแกนเหล็กทั้งหมดเท่ากับ 146,745 00 W ซึ่งรายละเอียดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ ดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างเท่ากับ 12 69 W/m^2 และยังพบว่าอาคารกองวิชาประวัติศาสตร์มีขนาดติดตั้งอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างสูงที่สุด คือ 114,518 W โดยแยกเป็นขนาดติดตั้งของหลอดไฟเท่ากับ 93,573 W และขนาดติดตั้งของบัลลาสต์เท่ากับ 20,945 W อาคารที่มีดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างสูงสุด คือ อาคารเรียน ข 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18 19 W/m^2

ตาราง 22 แสดงรายละเอียดขนาดติดตั้งและดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง

อาคาร	ขนาดติดตั้งหลอดไฟ (W)	ขนาดติดตั้งบัลลาสต์ (W)	พื้นที่ใช้งาน (m^2)	ดัชนีการใช้พลังงาน (W/m^2)
กองบังคับการส่วนการศึกษา	25 524	8 420	2 756 88	12 31
กองวิชาประวัติศาสตร์	93 573	20 945	6 719 00	17 04
หอประชุมส่วนการศึกษา	29,647	6,220	4 564 35	7 86
อาคารเรียน ก 1	20,460	7,300	2,178 75	12 74
อาคารเรียน ก 2	20 460	7,300	2 178 75	12 74
อาคารเรียน ก 3	20,460	7 300	2 178 75	12 74
อาคารเรียน ก 4	20,460	7,300	2,178 75	12 74
อาคารเรียน ข 1	31,476	7,370	2,136 00	18 19
อาคารเรียน ข 2	30 270	7,370	2 136 00	17 62
กองวิชาอักษรศาสตร์	24,756	7 800	2 971 50	10 96
กองวิชากฎหมายและสังคม	19,850	6 320	2 805 00	9 33
กองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิงแวดล้อม	30 444	8 770	2 971 00	13 20
กองวิชาฟิสิกส์	25 094	7 210	3 360 00	9 61
กองวิชาคณิตศาสตร์	36 274	7,960	3 078 00	14 37
กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	11,004	3,420	1,152 00	12 52
กองวิชาวิศวกรรมโยธา	11,424	3,500	1,152 00	12 95
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมสรรพาวุธ	27,126	8,630	3,016 00	11 86
โรงประลองวิศวกรรมเครื่องกลและสรรพาวุธ	29,150	7 170	3 240 00	11 21
โรงประลองวิศวกรรมโยธาและไฟฟ้า	27 540	6,440	3,240 00	10 49
รวม	536,198	146 745	54 012 73	
เฉลี่ย				12 69

3 ผลการตรวจวัดค่าการส่องสว่างโดยเฉลี่ยของแต่ละอาคาร

ตาราง 23 ได้จากการตรวจวัดค่าการส่องสว่างของบริเวณพื้นที่ต่างๆในอาคารของส่วนการศึกษา โดยใช้เครื่องวัดค่าการส่องสว่าง (Lux Meter) แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลียของแต่ละอาคารซึ่งรายละเอียดการตรวจวัดพื้นที่อาคารทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ จะเห็นว่าอาคารเรียน ข 1 มีค่าการส่องสว่างของอาคารโดยเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 496 94 Lux ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงค่าการส่องสว่างให้เหมาะสมเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างลง แต่ทั้งนี้ต้องไม่กระทบกระเทือนกิจกรรมที่ปฏิบัติอยู่ของบริเวณต่างๆในอาคารนั้นด้วย

ตาราง 23 แสดงค่าการส่องสว่างของแต่ละอาคาร

อาคาร	ค่าความสว่าง (Lux)		
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
กองบังคับการสวนการศึกษา	1 159	155	359 65
กองวิชาประวัติศาสตร์	1 089	105	328 93
หอประชุมส่วนการศึกษา	536	125	244 30
อาคารเรียน ก 1	879	145	399 42
อาคารเรียน ก 2	879	126	360 17
อาคารเรียน ก 3	467	124	294 68
อาคารเรียน ก 4	396	123	272 29
อาคารเรียน ข 1	1,023	156	496 94
อาคารเรียน ข 2	1,549	143	385 09
กองวิชาอักษรศาสตร์	1 387	126	372 88
กองวิชากฎหมายและสังคม	401	126	281 52
กองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิงแวดล้อม	830	215	363 87
กองวิชาฟิสิกส์	950	217	418 50
กองวิชาคณิตศาสตร์	630	168	369 95
กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	925	215	437 73
กองวิชาวิศวกรรมโยธา	663	243	372 18
กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมสรรพาวุธ	1,216	181	426 71
โรงประลองวิศวกรรมเครื่องกลและสรรพาวุธ	1,780	157	382 43
โรงประลองวิศวกรรมโยธาและไฟฟ้า	424	164	318 16

4 แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง

แนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมี 4 แนวทาง คือ การเปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง การลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง การเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ การเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ รายละเอียดของแต่ละแนวทางมีดังนี้

4 1 การเปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง

โคมไฟเป็นอุปกรณ์ในระบบแสงสว่าง ทำหน้าที่ยึดหลอดไฟ สตาร์ทเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ โดยมีหน้าที่อีกอย่างคือควบคุมลำแสงที่ออกจากโคมไฟให้ไปยังพื้นที่ที่ต้องการ ในอาคารสำนักงานและสถานศึกษานั้นส่วนมากมีการใช้หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ ดังนั้นโคมไฟส่วนใหญ่จึงเป็นโคมที่ใช้กับหลอดหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ซึ่งมีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยอาจมีแผ่นกรองแสงหรือเป็นตะแกรงด้านหน้าก็ได้ โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงเป็นโคมไฟชนิดหนึ่งซึ่งภายในโคมมีแผ่นสะท้อนแสงเพื่อช่วยกระจายแสงจากหลอดไฟแสงสว่างทำให้ความสว่างของหลอดไฟเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงควรดำเนินการเปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงที่มีแผ่นสะท้อนแสง 95% โดยเมื่อดำเนินการเปลี่ยนแล้วค่าการส่องสว่างของหลอดไฟจะเพิ่มขึ้นเท่าตัว จึงสามารถลดจำนวนหลอดไฟฟ้าในโคมไฟลงได้ครึ่งหนึ่ง เช่น โคมไฟขนาด 36 WX4 สามารถลดลงได้เป็นขนาด 36 WX2 จึงประหยัดพลังงานลงได้ครึ่งหนึ่ง

ผลการสำรวจระบบแสงสว่างพบว่ามีโคมไฟแบบธรรมดาที่สามารถเปลี่ยนเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงได้ จำนวน 1,618 โคม โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มตามการใช้งานดังนี้ กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) รายละเอียดตำแหน่งติดตั้งโคมไฟทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ โดยผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนโคมไฟแต่ละกลุ่มแสดงไว้ในตาราง 24

ตาราง 24 ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนไปใช้โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง

ก่อนปรับปรุง					หลังปรับปรุง				ประหยัดพลังงานได้
ขนาดหลอด (W)	ประเภทโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคมทั้งหมด (โคม)	จำนวนหลอดทั้งหมด (หลอด)	ประเภทโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนโคมทั้งหมด (โคม)	จำนวนหลอดทั้งหมด (หลอด)	(kWh/ปี)
กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100วัน/ปี)									
18	ฝังฝ้า	4 1	8	32	ฝังฝ้า	2 1	8	16	179 20
36	ฝังฝ้า	4 1	8	32	ฝังฝ้า	2 1	8	16	294 40
รวม			16	64			16	32	473 60
กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10วัน/ปี)									
36	ติดผนัง	4 1	2	8	ติดผนัง	2 1	2	4	11 78
	ติดลอย	4 1	3	12	ติดลอย	2 1	3	6	17 66
รวม			5	20			5	10	29 44
กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50วัน/ปี)									
18	ติดลอย	4 1	8	32	ติดลอย	2 1	8	16	71 68
	ฝังฝ้า	4 1	61	244	ฝังฝ้า	2 1	61	122	752 65
36	ติดลอย	4 1	25	100	ติดลอย	2 1	25	50	548 32
รวม			94	376			94	188	1 372 65
กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200วัน/ปี)									
18	ติดลอย	4 1	50	200	ติดลอย	2 1	50	100	1 953 28
รวม			50	200			50	100	1,953 28
กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245วัน/ปี)									
18	ติดลอย	4 1	366	1464	ติดผนัง	2 1	366	732	5 861 68
	ฝังฝ้า	4 1	141	564	ฝังฝ้า	2 1	141	282	1,547 62
36	ฝังฝ้า	4 1	24	96	ฝังฝ้า	2 1	24	48	1,568 78
รวม			531	2124			531	1062	8,978 08
กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200วัน/ปี)									
18	ฝังฝ้า	4 1	16	64	ฝังฝ้า	2 1	16	32	896 00
	ติดลอย	4 1	128	512	ติดลอย	2 1	128	256	6 451 20
36	ฝังฝ้า	4 1	187	748	ฝังฝ้า	2 1	187	374	27 526 40
รวม			331	1324			331	662	34,873 60
กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245วัน/ปี)									
18	ติดลอย	4 1	7	28	ติดลอย	2 1	7	14	768 32
	ฝังฝ้า	4 1	365	1460	ฝังฝ้า	2 1	365	730	38,193 01
36	ฝังฝ้า	4 1	219	876	ฝังฝ้า	2 1	219	438	38 701 18
รวม			591	2364			591	1183	77,663 34

การหาผลการประหยัดพลังงานในตาราง 24 แสดงได้ในตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) ซึ่งมีโคมไฟ 2 ขนาดด้วยกัน คือ

1 โคมไฟ ขนาด 4 × 18 W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 8 โคม

2 โคมไฟ ขนาด 4 × 36 W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 8 โคม

บัลลาสมีการสูญเสียพลังงาน 10 W/ตัว

ดำเนินการเปลี่ยนโคมไฟเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง มีแผ่นสะท้อนแสง 95% ทำให้ลดจำนวนหลอดไฟลงได้ครึ่งหนึ่ง ดังนี้

1 โคมไฟ ขนาด 2 × 18 W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 8 โคม

2 โคมไฟ ขนาด 2 × 36 W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 8 โคม

ดังนั้น สามารถประหยัดพลังงานได้

= [((18 W + 10 W) × 2 หลอด × 8 โคม) × 5 × 100 × 80%]

+ [((36 W + 10 W) × 2 หลอด × 8 โคม) × 5 × 100 × 80%]

= 473 50 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 473 50 kWh/ปี × 1 78 บาท/kWh

= 843 บาท/ปี

จากการวิเคราะห์การลงทุนโดยแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค พบว่า กลุ่มที่7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 591 โคม มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 3 32 ปี ดังนั้นในการดำเนินการเปลี่ยมโคมไฟกลุ่มที่ 7 จะประหยัดพลังงานได้ 77,663 34 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 138,241 บาท/ปี โดยมีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 27 90%

4 2 การลดจำนวนหลอดไฟฟ้าในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง

ในระบบแสงสว่างนั้นบริเวณต่างๆมีความต้องการความสว่างแตกต่างกันแล้วแต่กิจกรรมที่ปฏิบัติในบริเวณนั้นๆ ซึ่งค่าการส่องสว่างที่เหมาะสมมีการแนะนำไว้ในมาตรฐาน IES (Illumination Engineer Society) ดังนั้นจึงควรปรับลดความสว่างของบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูงกว่าค่ามาตรฐานลง เพราะเป็นการใช้พลังงานที่เปล่าประโยชน์

ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่บริเวณต่างๆในอาคารพบว่ามีบางส่วนที่มีการติดตั้งใช้งานโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงอยู่แล้ว โดยใช้ร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W หรือ ขนาด 36 W โดยจากการตรวจวัดค่าการส่องสว่างบริเวณเหล่านี่พบว่ามีค่าการส่องสว่างค่อนข้างสูงกว่าค่ามาตรฐานมาก ดังแสดงรายละเอียดการตรวจวัดไว้ในภาคผนวก ฉ ดังนั้นควรลดจำนวนหลอดไฟในโคมไฟประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสูงลงจำนวน 1 หลอดต่อโคม

การลดจำนวนหลอดไฟในโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง ในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูงกว่าค่ามาตรฐานลงจำนวน 1 หลอดต่อโคม ซึ่งมีทั้งหมด 728 โคม โดยแสดงรายละเอียดบริเวณที่ค่าการส่องสว่างสูงกว่าคามาตรฐานไว้ในภาคผนวก ค จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 39,699 48 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 70,665 บาท/ปี โดยแนวทางนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

4 3 การเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ

บัลลาสต์เป็นอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างทำหน้าที่ควบคุมกระแสไฟฟ้าของหลอดไฟในขณะที่หลอดทำงานตามปกติและยังช่วยจุดหลอดในตอนเริ่มเปิดใช้งาน โดยบัลลาสต์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์มีหลายชนิด เช่น ชนิดขดลวดแกนเหล็กธรรมดา ชนิดขดลวดแกนเหล็กการสูญเสียต่ำ (Low Loss) และชนิดอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น จากคุณสมบัติของบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดการสูญเสียต่ำซึ่งมีการสูญเสียพลังงานในตัวประมาณ 2 - 3 W/ตัว[11] ต่ำกว่าบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาที่มีการสูญเสียพลังงานในตัวประมาณ 10 - 14 W/ตัว[11] ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดการสูญเสียต่ำ ซึ่งจะลดการสูญเสียพลังงานในส่วนนี้ได้

ผลการสำรวจระบบแสงสว่างในบริเวณอาคารต่างๆพบว่ามีหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาจำนวน 22,092 ชุด โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มตามการใช้งานดังนี้ กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) รายละเอียดตำแหน่งบัลลาสต์ไว้ใน ภาคผนวก ฉ ในการดำเนินการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดา เป็นชนิดการสูญเสียต่ำจะพิจารณา 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เปลี่ยนหมดโดยไม่ดำเนินการแนวทางที่ 4 1 และ 4 2 กรณีที่ 2 เปลี่ยนหลังดำเนินการแนวทางที่ 4 1 และ 4 2 แล้ว โดยผลการประหยัดพลังงานในแต่ละกรณีแสดงไว้ในตาราง 25 และตาราง 26

ตาราง 25 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ (กรณีที่ 3 1)

ขนาดหลอด (W)	จำนวนบัลลาสต์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ผลประหยัดพลังงาน (kWh/ปี)
		บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิด	การสูญเสียของบัลลาสต์ต่อตัว(W)	บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิด	การสูญเสียของบัลลาสต์ต่อตัว(W)	
กลุ่มที่ 1 (5ชม /วัน 100วัน/ปี)						
18	48	ธรรมดา	10	Low Loss	6	76 80
36	224	ธรรมดา	10	Low Loss	6	358 40
รวม	272					435.20
กลุ่มที่ 2 (8ชม /วัน 10วัน/ปี)						
18	163	ธรรมดา	10	Low Loss	6	41 73
32	137	ธรรมดา	10	Low Loss	6	35 07
36	437	ธรรมดา	10	Low Loss	6	111 87
รวม	737					188.67
กลุ่มที่ 3 (8ชม /วัน 50วัน/ปี)						
18	680	ธรรมดา	10	Low Loss	6	710 40
32	58	ธรรมดา	10	Low Loss	6	58 56
36	92	ธรรมดา	10	Low Loss	6	79 36
รวม	830					848.32
กลุ่มที่ 4 (8ชม /วัน 200วัน/ปี)						
18	159	ธรรมดา	10	Low Loss	6	325 76
32	54	ธรรมดา	10	Low Loss	6	249 60
36	9	ธรรมดา	10	Low Loss	6	10 24
รวม	222					585.60
กลุ่มที่ 5 (8ชม /วัน 245วัน/ปี)						
18	2 236	ธรรมดา	10	Low Loss	6	2 281 44
32	291	ธรรมดา	10	Low Loss	6	228 14
36	1 215	ธรรมดา	10	Low Loss	6	1 150 13
60	7	ธรรมดา	10	Low Loss	6	5 49
รวม	3.749					3,665.20
กลุ่มที่ 6 (10ชม /วัน 200วัน/ปี)						
18	1 099	ธรรมดา	10	Low Loss	6	6 254 40
32	223	ธรรมดา	10	Low Loss	6	1 007 20
36	3 928	ธรรมดา	10	Low Loss	6	23 156 80
รวม	5.250					30,418.40
กลุ่มที่ 7 (10ชม /วัน 245วัน/ปี)						
18	150	ธรรมดา	10	Low Loss	6	1 023 12
32	16	ธรรมดา	10	Low Loss	6	125 44
36	11 016	ธรรมดา	10	Low Loss	6	20 806 38
รวม	11.032					21,954.94

ตาราง 26 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ (กรณีที่ 3 2)

ขนาดหลอด (W)	จำนวนบัลลาสต์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ประหยัดพลังงานได้
		บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิด	การสูญเสียของบัลลาสต์ต่อตัว (W)	บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิด	การสูญเสียของบัลลาสต์ต่อตัว (W)	(kWh/ปี)
กลุมที1 (5ชม /วัน, 100วัน/ปี)						
18	20	ธรรมดา	10	Low Loss	6	32 00
36	208	ธรรมดา	10	Low Loss	6	332 80
รวม	228					435.20
กลุมที2 (8ชม /วัน 10วัน/ปี)						
18	14	ธรรมดา	10	Low Loss	6	3 58
32	11	ธรรมดา	10	Low Loss	6	2 82
36	536	ธรรมดา	10	Low Loss	6	137 22
รวม	561					143.62
กลุมที3 (8ชม /วัน 50วัน/ปี)						
18	149	ธรรมดา	10	Low Loss	6	126 56
32	7	ธรรมดา	10	Low Loss	6	3 68
36	486	ธรรมดา	10	Low Loss	6	552 64
รวม	642					682.88
กลุมที4 (8ชม /วัน 200วัน/ปี)						
18	110	ธรรมดา	10	Low Loss	6	285 44
32	5	ธรรมดา	10	Low Loss	6	3 20
36	7	ธรรมดา	10	Low Loss	6	17 92
รวม	122					306.56
กลุมที5 (8ชม /วัน 245วัน/ปี)						
18	1 618	ธรรมดา	10	Low Loss	6	1 531 94
32	55	ธรรมดา	10	Low Loss	6	43 12
36	886	ธรรมดา	10	Low Loss	6	793 41
รวม	2.559					2,368.47
กลุ่มที6 (10ชม /วัน 200วัน/ปี)						
18	378	ธรรมดา	10	Low Loss	6	1 291 20
32	70	ธรรมดา	10	Low Loss	6	38 40
36	3 859	ธรรมดา	10	Low Loss	6	23 527 20
รวม	4.307					24.856 80
กลุมที7 (10ชม /วัน 245วัน/ปี)						
18	108	ธรรมดา	10	Low Loss	6	787 92
32	4	ธรรมดา	10	Low Loss	6	19 60
36	2 161	ธรรมดา	10	Low Loss	6	15 622 18
รวม	2.165					16,429.70

การวิเคราะห์การลงทุนซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค พบว่าในกรณีที่ 1 กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 5,250 ตัว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 10 95 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 30,418 40 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 54,145 บาท/ปี ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 8 90% และในกรณีที่ 2 กลุ่มที่7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 2,165 ตัว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 6 12 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 16,429 70 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 29,245 บาท/ปี ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน 19 20% (ภาคผนวก ค) จะเห็นว่ากรณีที่ 2 จะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่ากรณีที่ 1 ดังนั้นจึงควรดำเนินการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ ควบคู่กับแนวทางการเปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง และแนวทางการลดจำนวนหลอดไฟฟ้าในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง จะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด

4 4 การเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

หลอดไส้ (Incandescent Lamp) ที่ใช้งานอยู่นั้นเป็นหลอดแสงสว่างที่มีราคาถูก สีของแสงดี ติดตั้งง่ายให้แสงสว่างทันทีเมื่อเปิดใช้งาน แต่หลอดชนิดนี้มีประสิทธิภาพแสงต่ำมาก อายุการใช้งานสั้น ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดจะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนมากจึงไม่ประหยัดพลังงาน ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพแสงและอายุการใช้งานที่ดีกว่า คือ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp) ประเภทที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ภายในหรือเรียกว่า หลอดตะเกียบ โดยในการเปลี่ยนหลอดไม่ต้องเปลี่ยนโคมไฟสามารถใส่แทนหลอดไส้ได้เลย ซึ่งหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีอายุการใช้งานมากกว่าหลอดไส้ถึง 8 - 10 เท่า[11] และใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าหลอดไส้

ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณอาคารต่างๆพบว่า มีบางบริเวณที่มีการใช้หลอดไส้ให้แสงสว่างซึ่งมีจำนวน 413 หลอด โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มตามการใช้งาน ดังนี้ กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) กลุ่มที่ 5 (8 ช ม /วัน 245 วัน/ปี) กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และ กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) รายละเอียดตำแหน่งหลอดไส้แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ ผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนหลอดไส้ เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แต่ละกลุ่มการใช้งานนั้นแสดงได้ในตาราง 27

ตาราง 27 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพค ฟลูออเรสเซนต์

กลุ่มที่	เวลาการใช้งาน		การใช้งาน (%)	จำนวนหลอดไส้ที่เปลี่ยนไปใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (หลอด)						ประหยัดพลังงานได้ (kWh/ปี)	คิดเป็นเงิน (บาท/ปี)
	ช ม /วัน	วัน/ปี		ก่อนปรับปรุง	25 W	40 W	60 W	100 W	รวม (หลอด)		
				หลังปรับปรุง	7 W	7 W	11 W	20 W			
1	8	50	10			-	14	-	14	27 44	48 84
2	8	10	80		-	-	20	30	50	216 32	385 05
3	8	50	50		-	-	30	12	42	486 00	865 08
4	8	50	80		3	-	17	10	30	539 84	960 92
5	8	245	10		-	8	216	24	248	2 502 53	4 454 50
6	10	245	50		-	-	15	2	17	1 096 38	1 951 55
7	10	245	80		-	-	25	6	31	2 370 38	4 219 26
รวม									432	7 236 88	12 885 21

การหาผลการประหยัดพลังงานในการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ในตาราง 4 26 แสดงได้ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50วัน/ปี ใช้งาน 10%)

การเปลี่ยนหลอดไส้ขนาด 60 W จำนวน 14 หลอด เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสอิเล็กทรอนิกส์ภายใน ขนาด 11 W

ดังนั้น สามารถประหยัดพลังงานได้ = (60 – 11 W) ×14 × 8 ชั่วโมง/วัน
× 50 วัน/ปี × ใช้งาน 10%

= 27 44 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 27 44 kWh/ปี × 1 78 บาท/kWh

= 48 84 บาท/ปี

การวิเคราะห์การลงทุนในการเปลี่ยนหลอดไส้ เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค พบว่า กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี ใช้งาน 80%) ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 31 หลอด มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 3 29 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 2,370 38 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 4,220 บาท/ปี มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 13 10%

ระบบอื่นๆ

จากภาพประกอบ 15 สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบอื่นๆมีถึง 26 26% ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง โดยส่วนมากจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องฉายแผ่นใส เครื่องพิมพ์และอื่นๆ เป็นต้น และจากการสำรวจพบว่ากองวิชาประวัติศาสตร์จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไว้ใช้สำรองเวลาไฟฟ้าปกติขัดข้อง ซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องต้นกำลัง มีพิกัดขนาดติดตั้ง 350 kW ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1,500 rpm ติดตั้งใช้งานเมื่อปี พ ศ 2535 ซึ่งไม่ค่อยได้ใช้งาน

ในการประหยัดพลังงานในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงานนั้น ส่วนมากจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ใช้ ดังนั้นต้องมีการทำความเข้าใจถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงานและมีมาตรการใช้งานอย่างชัดเจน เพื่อให้เกิดการใช้งานและการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพรวมศักยภาพการประหยัดพลังงาน

การศึกษาสภาพการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โดยแบ่งศึกษาเป็นระบบต่างๆ ดังนี้ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ ซึ่งรวมแล้วมีการใช้พลังงานทั้งหมด 3,051,512 kWh/ปี หรือคิดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานเป็นเงิน 4,832,847 บาท/ปี โดยหากดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานที่ได้นำเสนอไว้ในตาราง 28 ซึ่งมีแนวทางที่เหมาะสมทั้งหมด 9 แนวทาง จะสามารถประหยัดพลังงานลงได้ 394,198 79 kWh/ปี และลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานลงได้ 861,250 บาท/ปี หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานที่ลดลงเท่ากับ17 82% โดยใช้เงินลงทุนรวมทั้งหมด 2,674,759 บาท ระยะเวลาคืนทุน 3 10 ปี

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยได้นำเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานทั้งหมด 9 แนวทาง ซึ่งการดำเนินการแต่ละแนวทาง มีทั้งแนวทางที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เพราะสามารถดำเนินการโดยบุคลากรในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าได้และแนวทางที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ โดยพิจารณาในแต่ละระบบดังนี้

1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีแนวทางที่เหมาะสมเพียง 2 แนวทาง ซึ่งเป็นแนวทางที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด สามารถดำเนินการโดยบุคลากรของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าได้ ดังนั้นควรพิจารณาดำเนินการก่อนระบบอื่น เพื่อจะได้เห็นผลการ

ประหยัดพลังงานเร็ว และเป็นข้อมูลอ้างอิงในการดำเนินการแนวทางการประหยัดพลังงานแนวทางอื่นๆต่อไป

2 ระบบปรับอากาศ

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศมี 3 แนวทาง โดยเป็นแนวทางที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด แนวทางที่ควรพิจารณาดำเนินการก่อนในระบบนี้ คือ แนวทางการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนเร็วและอัตราผลตอบแทนสูง และหากดำเนินการได้โดยบุคลากรในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ก็จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลง และมีความคุ้มค่าต่อการดำเนินการมากขึ้น

3 ระบบแสงสว่าง

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง มีทั้งหมด 4 แนวทาง โดยแนวทางในการการลดจำนวนหลอดไฟในในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง ควรพิจารณาดำเนินการก่อนในระบบนี้ เพราะสามารถดำเนินการได้โดยบุคลากรในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ซึ่งจะทำให้เห็นผลการประหยัดพลังงานเร็ว แล้วค่อยพิจารณาแนวทางที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนรองลงมา

4 ระบบอื่น ๆ

ระบบอื่นๆ ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์การใช้พลังงานอื่นๆนอกเหนือจากระบบหลักๆ ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงานและเครื่องจักรบางอย่างในส่วนของโรงประลอง โดยแนวทางการประหยัดพลังงานนั้นจะเป็นข้อแนะนำในการเลือกซื้อ การบำรุงรักษาและการใช้ เพราะการใช้พลังงานในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ใช้งาน ดังนั้นต้องมีการทำความเข้าใจถึงความ สำคัญของการประหยัดพลังงาน และมีมาตรการใช้งานและบำรุงรักษาอย่างชัดเจน

ตาราง 28 สรุปแนวทางการประหยัดพลังงาน

ลำดับที่	แนวทางการประหยัดพลังงาน	พลังงานที่ประหยัดได้ (kWh/ปี)	เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	ผลตอบแทนการลงทุน (IRR) (%)
	1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า				
1 1	การย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกัน เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน	15 760 90	28 054	-	-
1 2	การปรับปรุงเพิ่มคาตัวประกอบโหลด	-	159 575	-	-
	2 ระบบปรับอากาศ				
2 1	การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัว เป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (กลุมที่ 4)	78 272 78	139 325	7 78	14 50
2 2	การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอยางสมาเสมอ	138 485	246 504	0 65	-
2 3	การปรับปรุงผนังของอาคาร เพื่อลดคาความร้อนเข้าสู่อาคาร (อาคารกองบังคับการ อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์)	25 518 11	45 421	13 01	5 60
	3 ระบบแสงสวาง				
3 1	การเปลี่ยนโคมไฟธรรมดาเป็นโคมไฟประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสูง (กลมที่ 7)	77 663 34	138 241	3 32	27 90
3 2	การลดจำนวนหลอดไฟในในบริเวณ ที่มีคาการส่องสวางสูงกวาคามาตรฐาน	39 699 48	70 665	-	-
3 3	การเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดา เป็นชนิดการสูญเสียต่ำ (กรณีที่ 2 กลุมที่7)	16 429 70	29 245	6 12	19 20
3 4	การเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (กลุมที่ 7)	2 370 38	4 220	3 29	13 10
	รวม	394 198 79	861 250	-	

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาพการใช้พลังงานในอาคารของส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม และใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการจัดการพลังงานเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน

ในการศึกษาได้แบ่งระบบการใช้พลังงานในอาคารของส่วนการศึกษาออกเป็น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ (อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน) โดยในการสำรวจและตรวจวัดอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่างๆนั้น จะดำเนินการในช่วงที่นักเรียนนายร้อยทำการ ศึกษาภาคทฤษฎี คือ ตั้งแต่ตุลาคม ถึง มกราคม ปี 2547 ซึ่งเป็นช่วงทีมีการใช้พลังงานในอาคารอย่างเต็มที่ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้จากข้อมูลเอกสาร ข้อมูลจากการตรวจวัด และข้อมูลจากการสำรวจ วิธีการตรวจวัดมีการดำเนินการ 2 วิธี คือ การตรวจวัดแบบต่อเนื่องและการตรวจวัดแบบชั่วขณะ โดยทำการตรวจวัดในช่วงเวลา 8 00 - 16 00 น ซึ่งเป็นช่วงปกติของการใช้พลังงานในอาคาร เมื่อเก็บข้อมูลจากการสำรวจและตรวจวัดแล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม และการวิเคราะห์บางระบบมีการนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 เพื่อพิจารณาหาความเหมาะสมในการปรับปรุง ผลการวิจัยพบว่า

1 **การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน** ส่วนการศึกษามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2547 ทั้งสิ้น 3,051,512 kWh และมีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 4,832,847 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 402,737 25 บาท/เดือน โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU rate ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1 78 บาท/kWh มีค่าตัวประกอบโหลดเฉลี่ยเท่ากับ 32 49% และมีดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 56 49 kWh/m^2ต่อปี ซึ่งค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารของหน่วยงานอื่นที่มีการศึกษามาแล้ว

2 **สัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนการศึกษา** ส่วนการศึกษามีสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด คือ 46 76% รองลงมาคือระบบอื่นๆ (อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน) 26 26% ระบบแสงสว่าง 23 18% และระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 83% ลักษณะอาคารภายในส่วนการศึกษามีอาคารใช้งานทั้งหมด 18 อาคาร โดยมีพื้นที่ใช้งานอาคารรวมทั้งหมด

54,013 23 m^2 แยกเป็นพื้นที่ที่มีการปรับอากาศเท่ากับ 13,650 29 m^2 และพื้นที่ที่ไม่ได้ปรับอากาศ 40,362 94 m^2

3 **สภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงาน** การศึกษาสภาพการใช้และแนวทางการประหยัดพลังงานในอาคารต่างๆ แบ่งออกเป็น 4 ระบบใหญ่ๆ คือ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และระบบอื่นๆ โดยในระบบอื่นๆนั้นเป็นผลการสำรวจอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน ผลการศึกษามีดังนี้

3 1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

มีการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด 10 ตัว เป็นชนิดจุ่มในน้ำมัน (Oil Immerse) ทั้งหมด มีขนาดติดตั้งรวม 6,140 kVA และมีการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้ารวมทั้งหมด 117,001 82 kWh/ปี แยกเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) เท่ากับ 116,942 kWh/ปี และการสูญเสียในขดลวด (Copper loss) เท่ากับ 59 82 kWh/ปี

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

1 การย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโหลดน้อยมารวมกัน เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน โดยดำเนินการย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7 มาไว้กับหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 และย้ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9 มาไว้กับหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8 ซึ่งจะประหยัดพลังงานได้ 15,760 90 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 28,054 บาท/ปี

2 การปรับปรุงเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดเพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า โดยทำการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดเดือนที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย วิธีการคือดำเนินการจัดโหลดและวางแผนการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งจะลดกำลังไฟฟ้าลงได้ 1,727 33 kW คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 159,575 36 บาท/ปี

3 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยดำเนินการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัติ ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (P F = 0 90) ซึ่งมี 2 ตัว คือ หม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 4 และหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 10 จากการศึกษาพบว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน

3 2 ระบบปรับอากาศ

ส่วนการศึกษามีเครื่องปรับอากาศใช้งานทั้งหมด 278 เครื่อง โดยแบ่งเป็นชนิดหน้าต่าง (Window Type) จำนวน 4 เครื่อง และ ชนิดแยกส่วน (Split Type) จำนวน 274 เครื่อง และอายุการใช้งานส่วนใหญ่ของเครื่องปรับอากาศมากกว่า 8 ปี ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานทั้งหมด 1,440,598 10 kWh/ปี ซึ่งเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงที่สุด คือ 46 76% เมื่อเทียบกับระบบทั้งหมด และดัชนีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 264 65 Btu/hต่อm^2 ขนาด

ติดตั้งรวมทั้งหมดเท่ากับ 12,725,000 Btu/h ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) ของเครื่องปรับอากาศส่วนมากไม่เกินเบอร์ 3 และค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/Tr) เฉลี่ยรวมทั้งหมดทุกอาคารเท่ากับ 1 47 และยังพบว่ามีอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 11 อาคาร และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ของอาคารผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอาคาร

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

1 การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง โดยดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 30 เครื่อง เป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (EER เบอร์ 5) จะประหยัดพลังงานได้ 78,272 78 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 139,325 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 7 78 ปี อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 14 50%

2 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ โดยดำเนินการทำความสะอาดแผงอีวาพอเรเตอร์ แผงคอนเดนเซอร์ และแผ่นกรองอากาศของเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 138,485 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 246,504 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 0 65 ปี

3 การปรับปรุงผนังของอาคารเพื่อลดค่าความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยทำการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ของอาคาร กองบังคับการส่วนการศึกษา อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม และกองวิชาคณิตศาสตร์ โดยการติดฟิล์มกรองแสงชนิด 3M รุ่น 12P ที่กระจก ซึ่งจะประหยัดพลังงานได้ 25,518 11 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 45,421 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 13 01 ปี อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 5 60%

3 3 ระบบแสงสว่าง

ระบบแสงสว่างมีสัดส่วนการใช้พลังงานเท่ากับ 23 18% ขนาดติดตั้งอุปกรณ์ในระบบแสงสว่างรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 682,943 W แยกเป็นขนาดติดตั้งของหลอดไฟฟ้าเท่ากับ 536,198 W และขนาดติดตั้งบัลลาสต์เท่ากับ 146,745 00 W โดยมีดัชนีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 12 69 W/m^2 และอาคารที่มีค่าการส่องสว่างเฉลี่ยสูงที่สุด คือ อาคารเรียน ข 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 496 94 Lux

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง

1 การเปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง โดยดำเนินการเปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดา กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 591 โคม เป็นโคม

สะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง จะประหยัดพลังงานได้ 77,663 34 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 138,241 บาท/ปี มีระยะเวลาคืนทุน 3 32 ปี ตามลำดับ อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 27 90%

2 การลดจำนวนหลอดไฟฟ้าในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูงกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งจะประหยัดพลังงานได้ 39,699 48 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 70,665 บาท/ปี

3 การเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ โดยดำเนินการหลังแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 และดำเนินการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดา กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 2,165 ตัว เป็นชนิดการสูญเสียต่ำ จะประหยัดพลังงานได้ 16,429 70 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 29,245 บาท/ปี มีระยะเวลาคืนทุน 6 12 ปี และอัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 19 20%

4 การเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ โดยดำเนินการเปลี่ยนหลอดไส้ กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) ซึ่งมีจำนวน 413 หลอด เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ภายใน จะประหยัดพลังงานได้ 2,370 38 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 4,220 บาท/ปี มีระยะเวลาคืนทุน 3 29 ปี และอัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 13 10%

3 4 ระบบอื่นๆ

ระบบอื่นๆมีสัดส่วนการใช้พลังงานเท่ากับ 26 26% และส่วนมากจะเป็นอุปกรณ์สำนักงาน เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องฉายแผ่นใส เครื่องพิมพ์ และอื่นๆ เป็นต้น โดยการประหยัดพลังงานในอุปกรณ์สำนักงานส่วนมากจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของผู้ใช้ ดังนั้นต้องมีการทำความเข้าใจถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงาน และมีมาตรการใช้งานอย่างชัดเจน เพื่อที่จะทำให้เกิดการใช้งานและการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

4 ภาพรวมศักยภาพการประหยัดพลังงาน หากดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานที่ได้นำเสนอไว้ทั้งหมด ซึ่งมีแนวทางที่เหมาะสมทั้งหมด 11 แนวทาง จะสามารถประหยัดพลังงานลงได้ 394,198 79 kWh/ปี และลดค่าไฟฟ้าลงได้ 861,250 บาท/ปี และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าไฟฟ้าที่ลดลงเท่ากับ 17 82% โดยใช้เงินลงทุนรวมทั้งหมด 2,674,759 บาท ระยะเวลาคืนทุน 3 10 ปี

ข้อเสนอแนะ

1 ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า แนวทางการปรับปรุงเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดเพื่อลดคาความต้องการกำลังไฟฟ้านั้น ได้เสนอเฉพาะหลักการแต่ไม่ได้แสดงการจัดโหลดและวางแผนการใช้งานอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าเพื่อควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาแนวทางนี้ให้ละเอียดต่อไป เนื่องจากมีศักยภาพการประหยัดพลังงานสูง โดยไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

2 เนื่องจากในส่วนการศึกษา มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU rate ซึ่งในช่วงกลางคืนมีอัตราค่าไฟฟ้าที่ถูกกว่าช่วงกลางวัน ดังนั้นในขั้นต่อไปควรพิจารณาศึกษาการติดตั้ง ระบบทำความเย็นแบบเก็บกักความเย็นในรูปแบบน้ำแข็ง (Ice Storage System) ในอาคารที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศมากๆ โดยระบบจะทำน้ำแข็งในช่วงกลางคืนแล้วนำมาใช้ทำความเย็นในช่วงกลางวัน จึงทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าในส่วนนี้ได้

3 หลังจากนำแนวทางการประหยัดพลังงานไปปฏิบัติในการจัดการพลังงานแล้ว ควรมีการติดตามผลอย่างต่อเนื่อง เพราะจะได้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงแนวทางการประหยัดพลังงานให้เหมาสมกับการใช้งานตลอดเวลา และใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินการแนวทางการประหยัดพลังงานแนวทางอื่นๆต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

เกสร เพชรราช (2539) การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปริญญานิพนธ์ วศ ม (วิศวกรรมพลังงาน) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถ่ายเอกสาร [1]

เจียรนัย มาสมาน (2529) การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงพยาบาลและอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า ปริญญานิพนธ์ วท ม (เทคโนโลยีพลังงาน) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถ่ายเอกสาร [2]

ปรีชา ศรีประภาคาร (2545) การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปริญญานิพนธ์ วศ ม (วิศวกรรมพลังงาน) เชียงใหม่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ถ่ายเอกสาร [3]

สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ (2541) การประหยัดพลังงานในมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ปริญญานิพนธ์ วศ ม (การจัดการงานวิศวกรรม) กรุงเทพฯ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ถ่ายเอกสาร [4]

Butala V ,and Novak P (1999) Energy consumption and potential energy saving in old school buildings Energy and Building, p 241-246 [5]

Deng S H ,and Burnett J (2002) A study of energy performance of hotel building in Hong Kong Energy and Building, p 7-12 [6]

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2543) การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร กรุงเทพฯ สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน [7]

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2543) คู่มือผู้ซื้อเครื่องปรับอากาศ กรุงเทพฯ สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน [8]

จันทนา กุญชรรัตน์ และบรรพต ประภาศิริ (2545) รายการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่อง ศักยภาพการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้มาตรการด้านการบำรุงรักษาเบื้องต้น กรุงเทพฯ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี [9]

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2543) รายงานการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารควบคุม (อาคารชุมสายโทรศัพท์ลาดหญ้า) กรุงเทพฯ สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน [10]

วัชระ มั่งวิทิตกุล (2544) กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย [11]

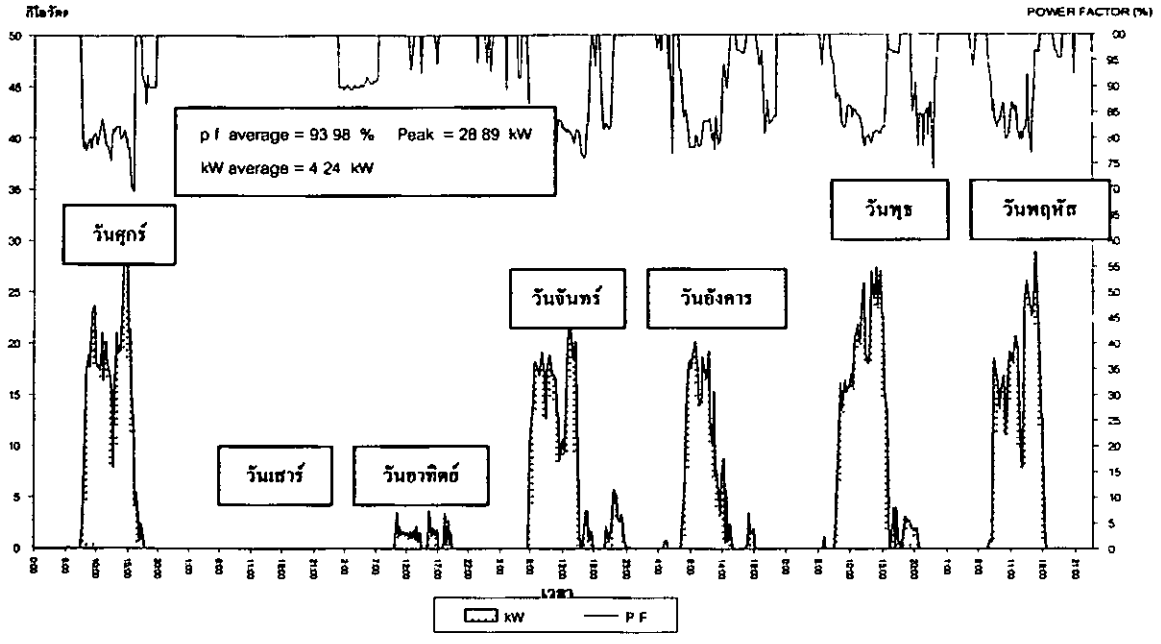
อธิคม นิลอุบล (2541) โครงการการปรับปรุงการอนุรักษ์พลังงานในอาคารของรัฐ กรุงเทพฯ วารสารพลังงาน ฉบับเดือนกรกฎาคม - กันยายน [12]

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2540) คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน กรุงเทพฯ สำนักงานกำกับและอนุรักษ์พลังงาน [13]

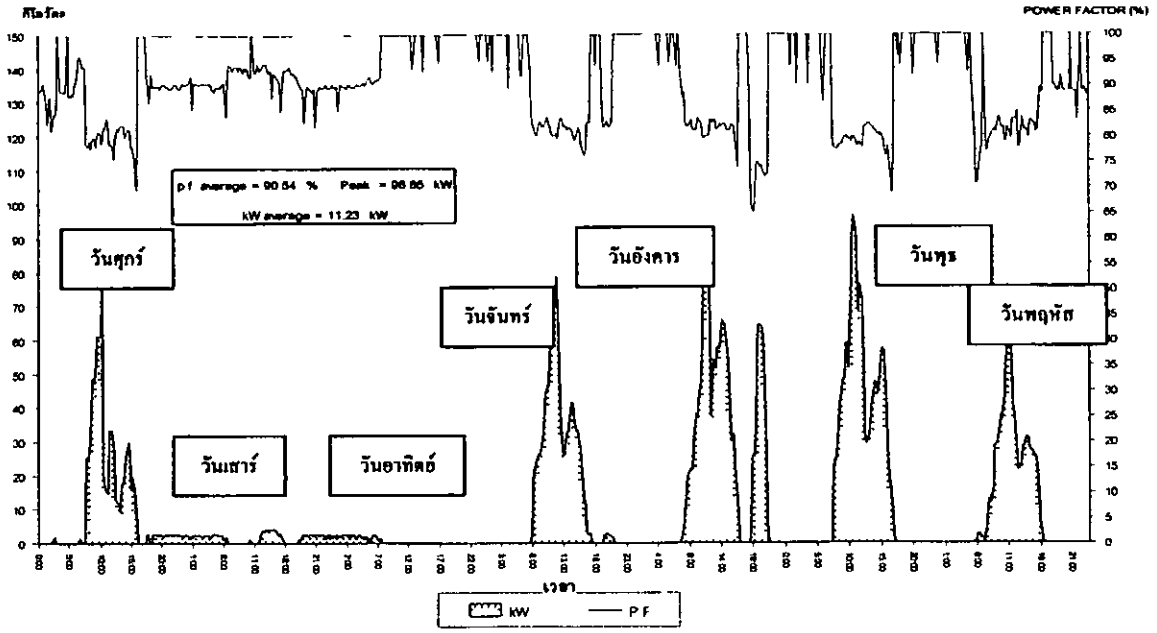
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการบันทึกกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

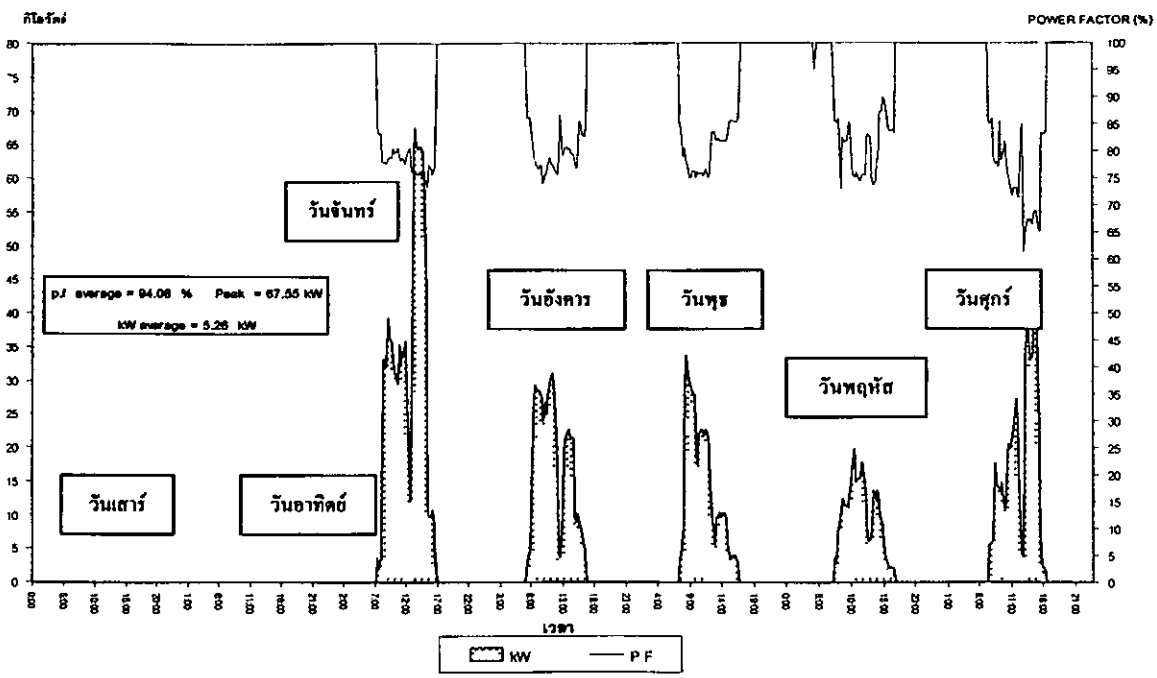
กราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นกราฟที่แสดงลักษณะการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆในหนึ่งสัปดาห์ ซึ่งได้จากการบันทึกผลการจ่ายโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละตัว โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ที่ตำแหน่งตู้กระจายโหลดหลักซึ่งทำการตั้งเวลาบันทึกไว้ทุกๆ 15 นาทีเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และในการบันทึกผลนั้นจะทำการพิจารณาบันทึกในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง มกราคม ซึ่งเป็นช่วงการศึกษาภาคทฤษฎีของนักเรียนนายร้อยจึงมีการใช้พลังงานในอาคารอย่างเต็มที่ ผลการบันทึกแสดงได้ดังภาพประกอบ 28 ถึง 37



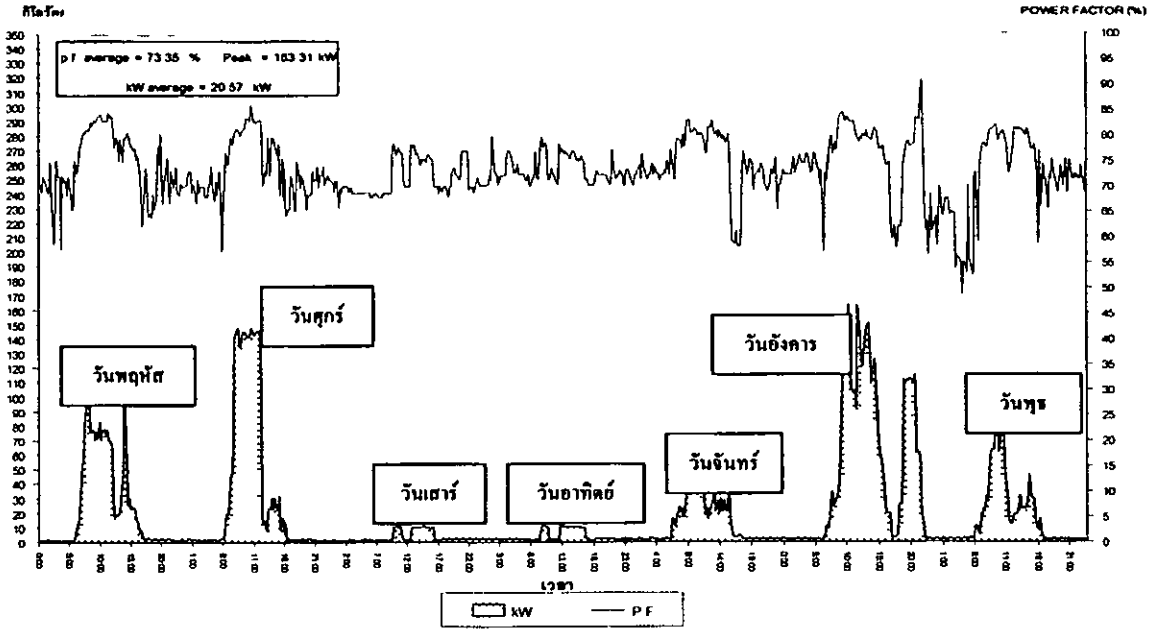
ภาพประกอบ 28 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 1 (ขนาด 1,250 kVA)
วันศุกร์ที่ 5 ถึง วันพฤหัสบดีที่ 11 พฤศจิกายน 2547



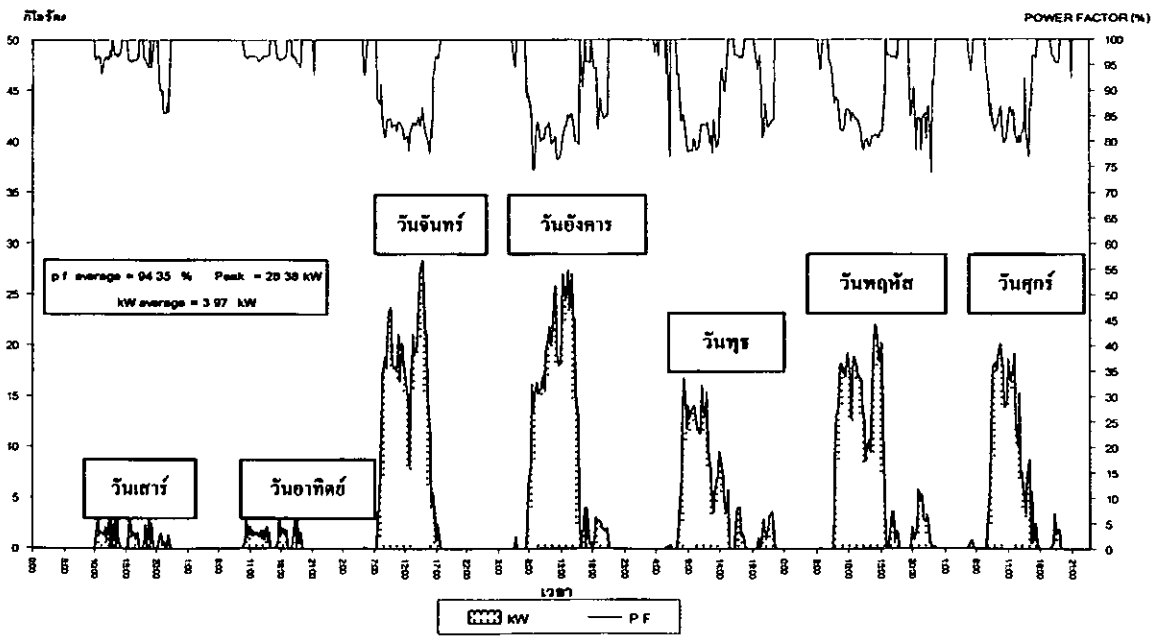
ภาพประกอบ 29 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 2 (ขนาด 1,000 kVA)
วันศุกร์ที่ 12 ถึง วันพฤหัสบดีที่ 18 พฤศจิกายน 2547



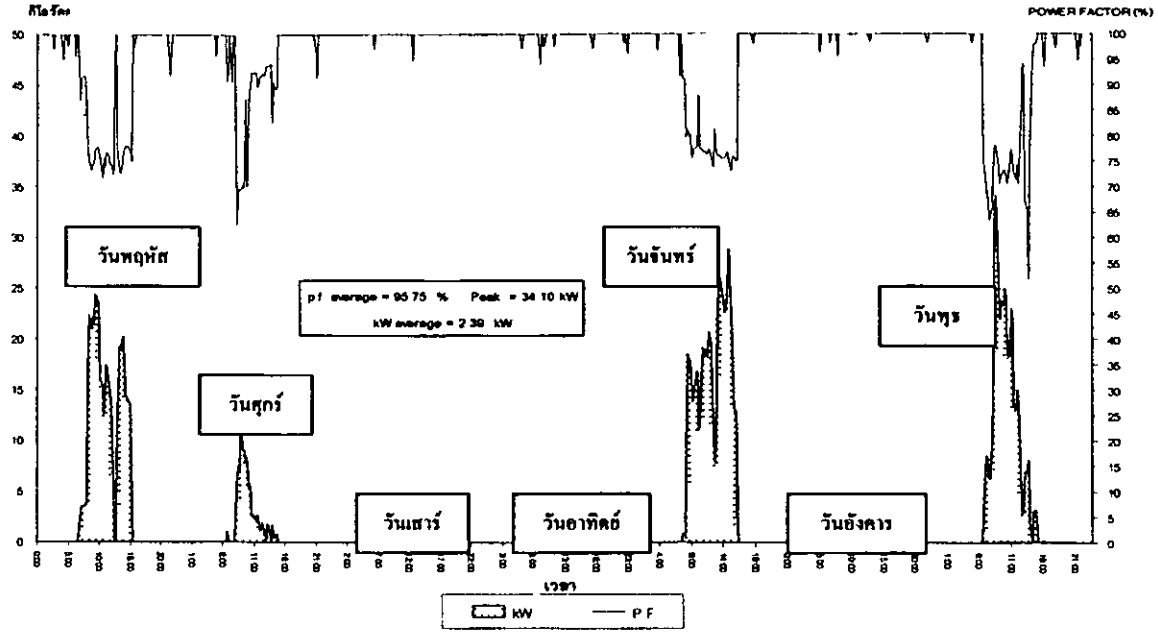
ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 3 (ขนาด 1,000 kVA)
วันเสาร์ที่ 20 ถึง วันศุกร์ที่ 26 พฤศจิกายน 2547



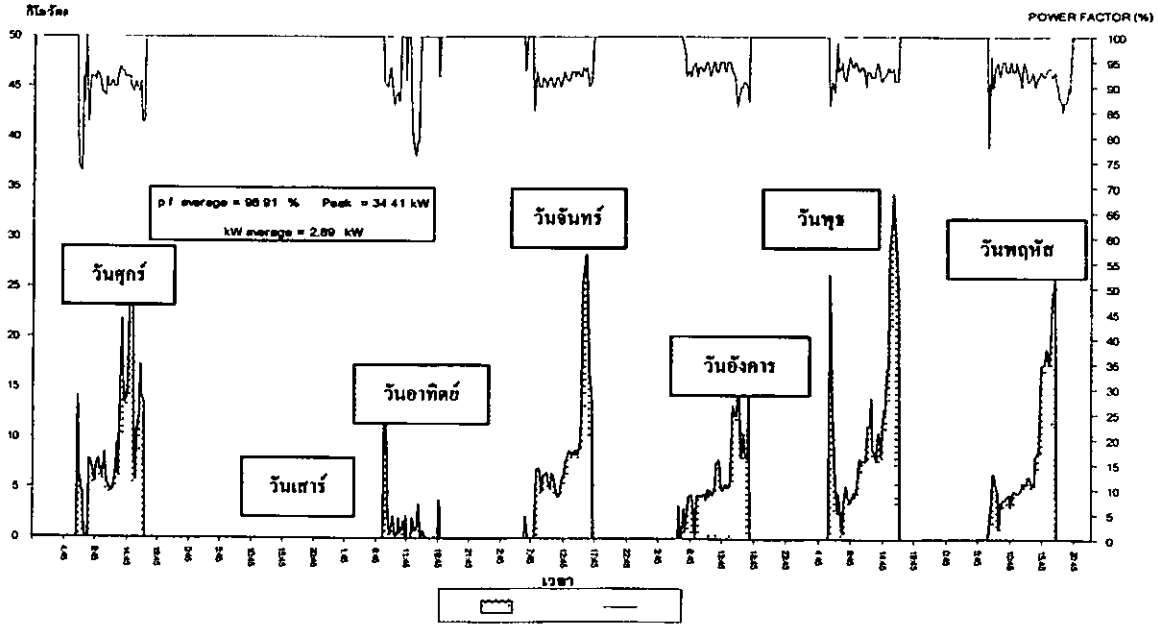
ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 4 (ขนาด 630 kVA)
วันพฤหัสบดีที่ 2 ถึง วันพุธที่ 8 ธันวาคม 2547



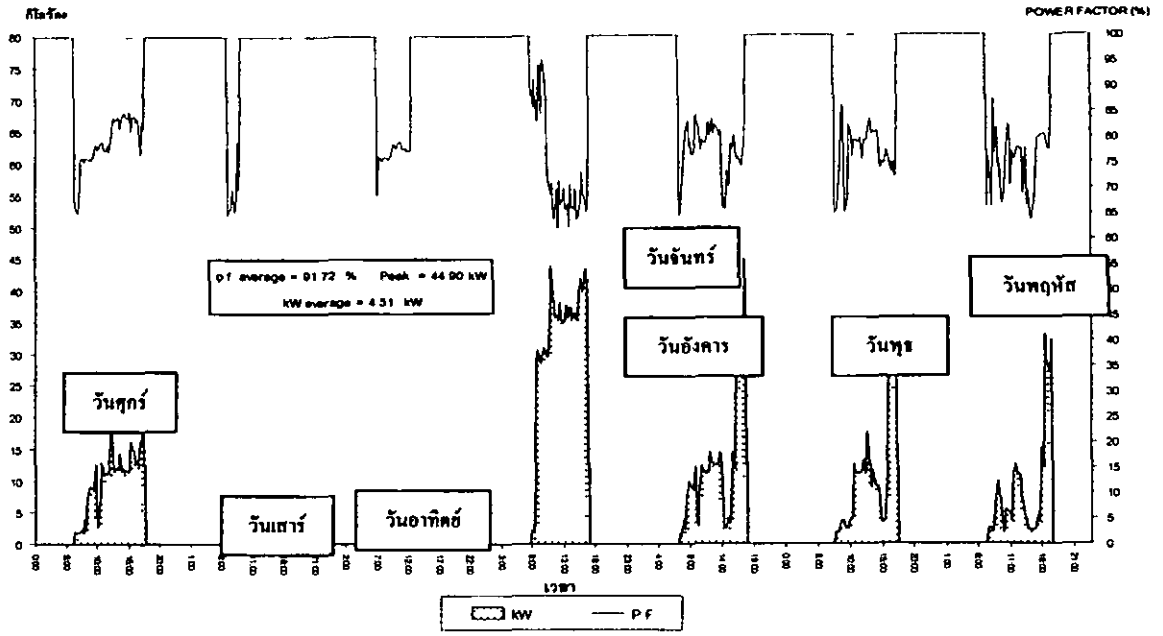
ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 (ขนาด 500 kVA)
วันเสาร์ที่ 11 ถึง วันศุกร์ที่ 17 ธันวาคม 2547



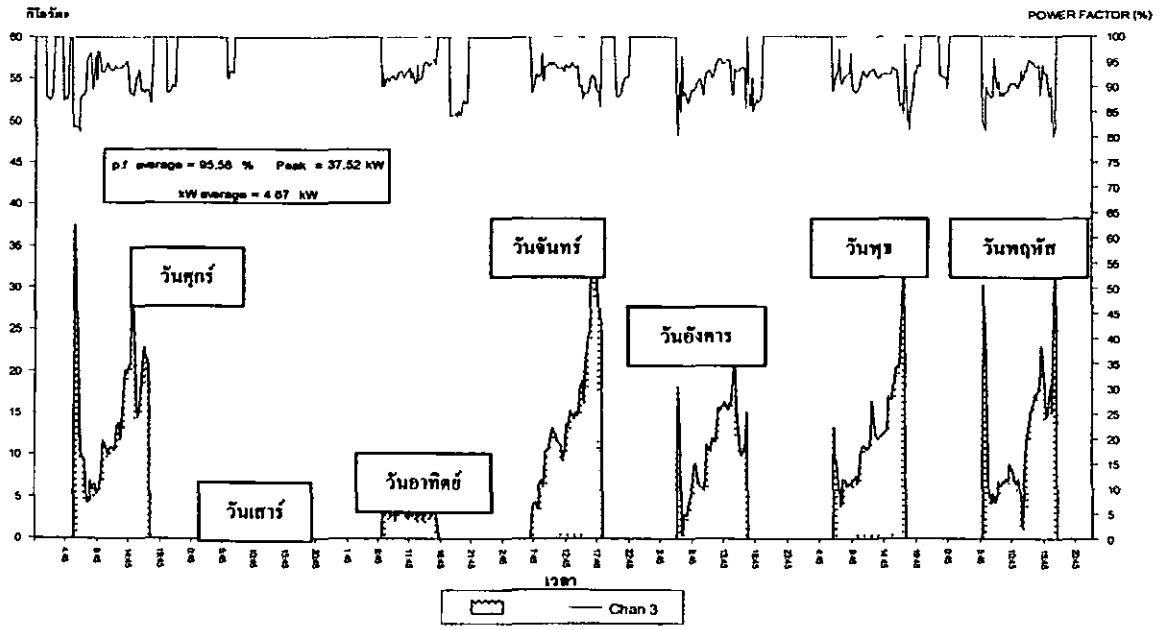
ภาพประกอบ 33 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 6 (ขนาด 500 kVA)
วันพฤหัสบดีที่ 23 ถึง วันพุธที่ 29 ธันวาคม 2547



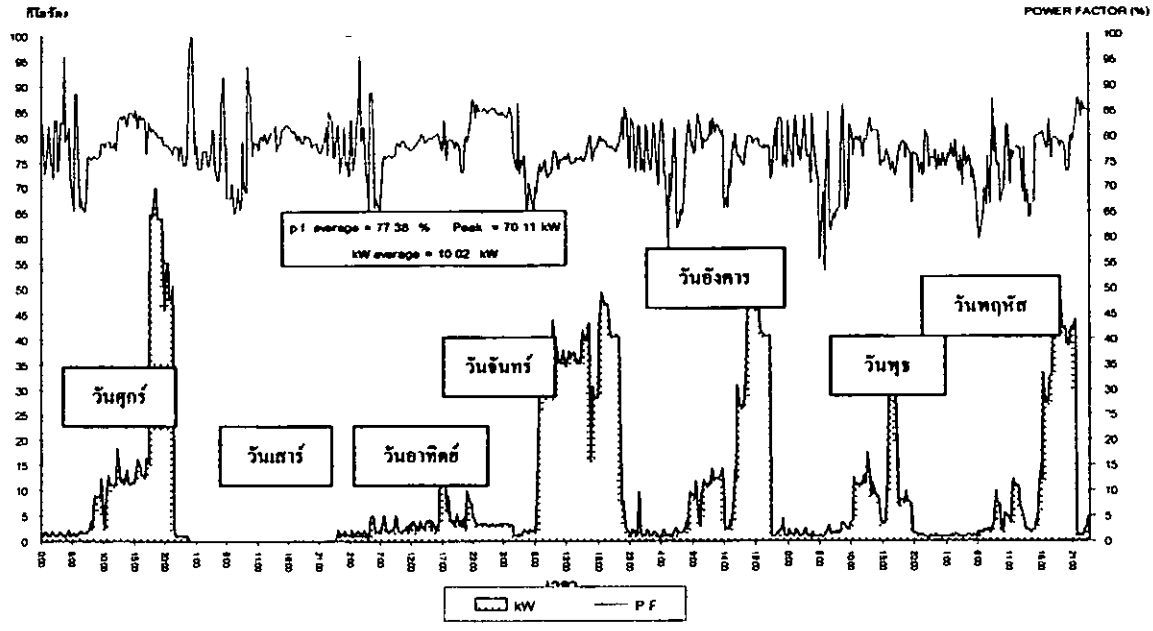
ภาพประกอบ 34 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7 (ขนาด 315 kVA)
วันศุกร์ที่ 31 ธันวาคม 2547 ถึง วันพฤหัสบดีที่ 6 มกราคม 2548



ภาพประกอบ 35 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8 (ขนาด 315 kVA)
วันศุกร์ที่ 7 ถึง วันพฤหัสบดีที่ 13 มกราคม 2548



ภาพประกอบ 36 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9 (ขนาด 315 kVA)
วันศุกร์ที่ 14 ถึง วันพฤหัสบดีที่ 20 มกราคม 2548



ภาพประกอบ 37 แสดงกราฟโหลดรายสัปดาห์ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 10(ขนาด 315 kVA วันศุกร์ที่ 21 ถึง วันพฤหัสบดีที่ 27 มกราคม 2548

ภาคผนวก ข
การคำนวณการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า และสัดส่วนการใช้พลังงาน

การคำนวณค่าการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า

การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้ามี 2 กรณี คือ การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss) และการสูญเสียในขดลวด (Copper Loss) โดยที่การสูญเสียในแกนเหล็กจะมีการสูญเสียตลอดเวลา ถึงแม้จะมีหรือไม่มีการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าก็ตาม แต่การสูญเสียในขดลวดจะมีเฉพาะในช่วงที่มีการใช้งานหม้อแปลงเท่านั้น ในส่วนการศึกษามีหม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด 10 ตัว เป็นชนิดจุ่มในน้ำมัน (Oil Immerse) ทั้งหมด มีขนาดติดตั้งรวม 6,140 kVA โดยมีการใช้งานหม้อแปลงทั้งจ่ายโหลดไฟฟ้าแบบเป็นกลุ่มสำหรับอาคารขนาดเล็ก และจ่ายโหลดไฟฟ้าแบบเดี่ยวสำหรับอาคารขนาดใหญ่ การคำนวณการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 29 คุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

kVA	Rate Volt (kV/V)	Loss (W)		% Loss		eff%
		Core loss	Copper loss	Core loss	Copper loss	
50	22/400	210	1 050	0 17	0 83	97 48
100	22/401	340	1 750	0 16	0 84	97 91
160	22/402	480	2 350	0 17	0 83	98 23
250	22/403	670	3 252	0 17	0 83	98 43
315	22/404	900	3 900	0 19	0 81	98 47
400	22/405	980	4 600	0 18	0 82	98 60
500	22/406	1,150	5 500	0 17	0 83	98 77
630	22/407	1,350	6,500	0 17	0 83	98 75
800	22/408	1 600	11,000	0 13	1 87	98 43
1,000	22/409	1 900	13,500	0 12	0 88	98 56
1 250	22/410	2,300	16,400	0 12	0 88	98 50
1,500	22/411	2,800	19 800	0 12	0 88	98 50
2 000	22/412	3 250	24,000	0 12	0 88	98 63

ที่มา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

การคำนวณการสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้า

1 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 1 ขนาด 1,250 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 4 24 kw, P F av = 93 98% (ภาพประกอบ 28)

จากตาราง 29 Core Loss = 2 30 kW

Copper Loss = 16 40 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{4\ 24kW}{0\ 9398} = 4\ 51\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 2 30×24×365

= 20,148 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss$\times \left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2 \times$ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 16 40$\times \left(\frac{4\ 511}{1,250}\right)^2 \times 8 \times 300$

= 0 512 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 20,148 + 0 512 = 20,148 51 kWh/ปี

2 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 2 ขนาด 1,000 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 11 23 kw, P F av = 90 54% (ภาพประกอบ 29)

จากตาราง 29 Core Loss = 1 90 kW

Copper Loss = 13 50 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{11\ 23kW}{0\ 9054} = 12\ 40\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 1 90×24×365

= 16,644 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss× $\left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2$ ×ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 13 50× $\left(\frac{12\ 40}{1,000}\right)^2$ × 8 × 300

= 4 98 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 16,644 + 4 98 = 16,648 981 kWh/ปี

3 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 3 ขนาด 1,000 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 5 26 kw, P F av = 94 06% (ภาพประกอบ 30)

ตาราง 29 Core Loss = 1 90 kW

Copper Loss = 13 50 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P\,F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual}\ \frac{kW}{P\,F} = \frac{5\ 26kW}{0\ 9406} = 5\ 59\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 1 90×24×365

= 16,640 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss× $\left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2$ ×ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 13 50× $\left(\frac{5\ 59}{1,000}\right)^2$ × 8 × 300

= 1 013 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 16,640 + 1 013 = 16,641 01 kWh/ปี

4 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 4 ขนาด 630 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 20 57 kw, P F av = 73 35% (ภาพประกอบ 31)

ตาราง 29 Core Loss = 1 35 kW

Copper Loss = 6 50 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{20\ 57kW}{0\ 7335} = 28\ 04\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 1 35×24×365

= 11,826 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss$\times \left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2 \times$ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 6 50$\times \left(\frac{28\ 04}{630}\right)^2 \times 8 \times 300$

= 30 90 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 11,826 + 30 90 = 11,856 90 kWh/ปี

5 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 5 ขนาด 500 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 3 97 kw, P F av = 94 35% (ภาพประกอบ 32)

ตาราง 29 Core Loss = 1 15 kW

Copper Loss = 5 50 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{3\ 97kW}{0\ 9435} = 4\ 20\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 1 15×24×365

= 10,074 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss$\times \left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2 \times$ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

$= 5\ 50 \times \left(\frac{4\ 20}{500}\right)^2 \times 8 \times 300$

$= 0\ 931$ kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 10,074 + 0 931 = 10,074 93 kWh/ปี

6 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 6 ขนาด 500 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 2 39 kw, P F av = 95 75% (ภาพประกอบ 33)

ตาราง 29 Core Loss = 1 15 kW

Copper Loss = 5 50 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P\ F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P\ F} = \frac{2\ 39kW}{0\ 9575} = 2\ 49$ kVA

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

$= 1\ 15 \times 24 \times 365$

= 10,074 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss $\times \left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2$ ×ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

$= 5\ 50 \times \left(\frac{2\ 49}{500}\right)^2 \times 8 \times 300$

$= 0\ 327$ kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 10,074 + 0 327 = 10,074 32 kWh/ปี

7 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 7 ขนาด 315 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 2 89 kw, P F av = 96 91% (ภาพประกอบ 34)

ตาราง 29 Core Loss = 0 90 kW

Copper Loss = 3 90 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$ ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{2\ 89kW}{0\ 9691} = 2\ 98\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 0 90×24×365

= 7,884 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss× $\left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2$ ×ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 3 90× $\left(\frac{2\ 98}{315}\right)^2$ × 8 × 300

= 0 83 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 7,884 + 0 83 = 7884 83 kWh/ปี

8 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 8 ขนาด 315 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 4 51 kw, P F av = 91 72% (ภาพประกอบ 35)

ตาราง 29 Core Loss = 0 90 kW

Copper Loss = 3 90 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{4\ 51kW}{0\ 9172} = 4\ 917\ kVA$

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 0 90×24×365

= 7,884 kWh

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss× $\left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2$ ×ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 3 90× $\left(\frac{4\ 917}{315}\right)^2$ × 8 × 300

= 2 28 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 7,884 + 2 28 = 7886 28 kWh/ปี

9 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 9 ขนาด 315 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 4 69 kw, P F av = 95 58% (ภาพประกอบ 36)

ตาราง 29 Core Loss = 0 90 kW

Copper Loss = 3 90 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{4 67W}{0 95581} = 4 88$ kVA

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 0 90×24×365

= 7,884 kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss = Copper Loss$\times\left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2 \times$ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

$= 3\ 90\times\left(\frac{4\ 88}{315}\right)^2 \times 8 \times 300$

= 2 24 kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด = 7,884 + 2 24 = 7886 24 kWh/ปี

10 หม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 10 ขนาด 315 kVA

ข้อมูลการใช้งาน kW av = 10 02 kw, P F av = 77 33% (ภาพประกอบ 37)

ตาราง 29 Core Loss = 0 90 kW

Copper Loss = 3 90 kW

หาพิกัดใช้งานจริง kVA_{actual}

จาก $P F = \frac{kW}{kVA_{actual}}$, ดังนั้น $kVA_{actual} \frac{kW}{P F} = \frac{10\ 07kW}{0\ 7733} = 12\ 95$ kVA

การสูญเสียใน Core Loss = Core Loss × ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

= 0 90×24×365

$= 7{,}884$ kWh/ปี

การสูญเสียใน Coper Loss $= \text{Copper Loss} \times \left(\frac{kVA_{actual}}{kVA_{rate}}\right)^2 \times$ชั่วโมงใช้งานใน 1 ปี

$= 3\ 90 \times \left(\frac{12\ 95}{315}\right)^2 \times 8 \times 300$

$= 15\ 81$ kWh/ปี

รวมการสูญเสียทั้งหมด $= 7{,}884 + 15\ 81 = 7899\ 81$ kWh/ปี

ดังนั้น การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้าต่อปี

$= 20{,}148\ 51+16{,}648\ 48+16{,}641\ 01+11{,}856\ 90$

$+ 10{,}074\ 93+10{,}074\ 32+7{,}884\ 83+7{,}886\ 28$

$+ 7{,}886\ 24+7{,}899\ 81$

$= 117{,}001\ 82$ kWh/ปี

การคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ

1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด $= 117{,}001\ 82$ kWh/ปี

ดังนั้น สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า $= \frac{117{,}001\ 82\ \text{kWh}}{3{,}051{,}512\ 00\ \text{kWh}} \times 100\%$

$= 3\ 83\%$

2 ระบบปรับอากาศ

พลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศทั้งหมด (ภาคผนวก ฉ) $= 1{,}440{,}598\ 10$ kWh/ปี

ดังนั้น สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ $= \frac{1{,}440{,}598\ 10\ \text{kWh}}{3{,}051{,}512\ 00\text{kWh}} \times 100\%$

$= 46\ 76\%$

3 ระบบแสงสว่าง

พลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่างทั้งหมด (ภาคผนวก ฉ) = 706,343 13 kWh/ปี

ดังนั้น สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง = $\frac{706,343\ 13\ \text{kWh}}{3,051,512\ 00\text{kWh}} \times 100\%$

= 23 18%

4 ระบบอื่น ๆ

ดังนั้น สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบอื่นๆ = 100% - 46 76% - 23 18% - 3 83%

= 26 26%

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนในระบบการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

แนวทางการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า

1 ผลการประหยัดพลังงาน

การปรับปรุงค่า P F ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 4 จาก 73 35% ให้เป็น 90% และการปรับปรุงค่า P F ของหม้อแปลงไฟฟ้า Tr No 10 จาก 77 38% ให้เป็น 90% โดยการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาร์เวอร์แฟคเตอร์แบบอัตโนมัติ คาปาซิเตอร์ขนาด 25 kVAr จำนวน 3 ชุดในหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 4 และ ขนาด 25 kVAr จำนวน 1 ชุดในหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลข Tr No 10 ตำแหน่งติดตั้งคือที่ตู้กระจายโหลดหลักของระบบ นั้นทำให้ค่าการสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าลดลงซึ่งสามารถหาผลการประหยัดพลังงานได้ดังนี้

$$\text{การสูญเสียในขดลวดที่ลดลง} = \text{Copper Loss} \times \left(\left(\frac{I_a}{I_r} \right)^2 - \left(\frac{I_b}{I_r} \right)^2 \right) \times \text{ชั่วโมงทำงานทั้งปี}$$

กำหนดให้ I_a = กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการเพิ่มค่า P F

I_b = กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการเพิ่มค่า P F

$$I_r = \frac{kVA \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times V}$$

kVA = ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

V = ขนาดพิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า (400/230 Volt)

1 1 หม้อแปลงหมายเลข Tr No 4 ขนาด 630 kVA

จากการตรวจวัด กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = 120 81 kW

แรงดันไฟฟ้า = 391 Volt

P F = 0 7335

ดังนั้น $\text{Rate Current } (I_r) = \frac{kVA \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times V}$

$$= \frac{630 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 909\ 32\ \text{Amp}$$

กระแส (I_a) $= \frac{kW \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi}$

$$= \frac{120\ 81 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 391 \times 0\ 7335} = 330\ 33\ \text{Amp}$$

กระแส (I_b) $= \frac{120\ 81 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 391 \times 0\ 90} = 267\ 93\ \text{Amp}$

∴ การสูญเสียในขดลวดลดลง $= 6\ 50 \times \left(\left(\frac{330\ 33}{909\ 32}\right)^2 - \left(\frac{267\ 93}{909\ 32}\right)^2\right) \times 8 \times 300$

$= 856\ 91$ kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ $= 856\ 91$ kWh × 1 78 บาท/kWh (ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย)

$= 1{,}525\ 30$ บาท/ปี

1 2 หม้อแปลงหมายเลข Tr No 10 ขนาด 315 kVA

จากการตรวจวัด กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย = 50 02 kW

แรงดันไฟฟ้า = 383 Volt

P F = 0 7738

ดังนั้น Rate Current (I_r) $= \frac{kVA \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times V}$

$$= \frac{315 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 400} = 454\ 66\ \text{Amp}$$

กระแส (I_a) $= \frac{kW \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times V \times \text{Cos}\phi}$

$$= \frac{50\ 02 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 383 \times 0\ 7738} = 136\ 58\ \text{Amp}$$

กระแส (I_b) $= \frac{50\ 02 \times 1{,}000}{\sqrt{3} \times 383 \times 0\ 90} = 117\ 42\ \text{Amp}$

. การสูญเสียในขดลวดลดลง $= 3\ 90 \times \left(\left(\frac{136\ 58}{454\ 66}\right)^2 - \left(\frac{117\ 42}{454\ 66}\right)^2\right) \times 8 \times 300$

$= 268\ 10$ kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 268 19 kWh X 1 78 บาท/kWh

= 477 22 บาท/ปี

ดังนั้นผลการประหยัดพลังงานรวมทั้งหมด = 1,525 30 + 477 22 บาท/ปี

= 2,002 52 บาท/ปี

2 การวิเคราะห์การลงทุน

การลงทุนติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบตัดต่ออัตโนมัติ ของหม้อแปลงหมายเลข Tr No 4 ขนาด 630 kVA และTr No 10 ขนาด 315 kVA มีรายละเอียดตามตาราง 30 และตาราง 31 ดังนี้

ตาราง 30 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบตัดต่ออัตโนมัติ (Tr No 4)

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ค่าอุปกรณ์ (บาท/หน่วย)	ค่าแรง (บาท/หน่วย)
ตัวเก็บประจุขนาด 25 kVAr(400V)	3	8 400	200
Fuse Base (OFAX 00 P3)	3	1 400	100
Fuse Link (Size 00)	9	350	30
Magnetic (UB 30-30-11)	3	3 200	100
Power Factor Control Relay (6 Step)	1	25,110	500
ตู้ MDB (1 8X0 8X0 6) main bus bar 500 A	1	10 736	1,000

ค่าอุปกรณ์รวม 77,996 บาท ค่าแรงรวม 2,970 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 80,966 บาท (ราคาอ้างอิงจากข้อมูล บ เอบีบี จำกัด) โดยคิดภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว

ตาราง 31 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งชุดควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบตัดต่ออัตโนมัติ (Tr No 10)

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ค่าอุปกรณ์ (บาท/หน่วย)	ค่าแรง (บาท/หน่วย)
ตัวเก็บประจุขนาด 25 kVAr (400V)	1	8 400	200
Fuse Base (OFAX 00 P3)	1	1 400	100
Fuse Link (Size 00)	3	350	30
Magnetic (UB 30-30-11)	1	3 200	100
Power Factor Control Relay (6 Step)	1	25 110	500
ตู้ MDB (1 8×0 8×0 6) main bus bar 500 A	1	10 736	1 000

ค่าอุปกรณ์รวม 49,896 บาท ค่าแรงรวม 1,990 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 55,518 บาท ซึ่งคิดภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว

ดังนั้น รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 80,966 + 55,518 บาท

= 136,484 บาท

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุน = $\frac{136,484}{2,002}$ บาท/ปี

= 68 17 ปี

เนื่องจากแนวทางนี้มีระยะเวลาคืนทุนที่นานมาก เพราะมีการใช้งานหม้อแปลงน้อย และในช่วงปิดเทอมบางตัวไม่มีการจ่ายโหดเลย ดังนั้นแนวทางนี้จึงไม่เหมาะในการดำเนินการ

การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

1 การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

เครื่องปรับอากาศในส่วนการศึกษามีหลายเครื่องที่ติดตั้งมาพร้อมกับอาคาร ซึ่งมีสภาพค่อนข้างเก่าและมีประสิทธิภาพการปรับอากาศต่ำ สังเกตได้จากค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น(kW/Tr) มีค่าสูง ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ฉ จากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ ศ 2535 กำหนดให้เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศสำหรับอาคารเก่า ควรมีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำความเย็นแบบติดหน้าต่างหรือแยกส่วนไม่เกิน 1 61 kW / Tr ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด

จากการสำรวจและตรวจวัดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีเครื่องปรับอากาศที่ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 66 เครื่อง โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามการใช้งานเครื่องปรับอากาศดังนี้ กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนของกลุ่มต่างๆแสดงได้ดังต่อไปนี้

1 1 การวิเคราะห์การลงทุน

กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) ดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,500 Btu/h จำนวน 2 เครื่อง ราคาเครื่องละ 21,500 บาท
เครื่องปรับอากาศ ขนาด 16,000 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 23,500 บาท
เครื่องปรับอากาศ ขนาด18,000 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 27,000 บาท
เครื่องปรับอากาศ ขนาด 20,000 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 27,000 บาท
เครื่องปรับอากาศ ขนาด 32,000 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 35,000 บาท
เครื่องปรับอากาศ ขนาด 200,000 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 218,000 บาท

ราคาเครื่องปรับอากาศใหม่ข้างต้น และค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนเครื่องปรับอากาศเก่าออกซึ่งราคาเครื่องละ 500 บาท เป็นค่ากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน[13] โดยรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

ดังนั้น ราคาเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 879,500 บาท
ราคาค่ารื้อถอนทั้งหมด = 5,500 บาท
รวมทั้งหมด = 885,000 บาท

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{885,000}{29,817}$

$= 29\ 68$ ปี

กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) ดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 32,000 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 35,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 56,000 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 57,000 บาท

ราคาเครื่องปรับอากาศใหม่ข้างต้น และค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนเครื่องปรับอากาศเก่าออกซึ่งราคาเครื่องละ 500 บาท เป็นค่ากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน[13] โดยรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

ดังนั้น ราคาเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 92,000 บาท

ราคาค่ารื้อถอนทั้งหมด = 1,000 บาท

ทั้งหมด = 93,000 บาท

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{93,000}{5,017}$

$= 18\ 53$ ปี

กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200วัน/ปี) ดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,500 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 21,500 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 16,000 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 23,500 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 20 000 Btu/h จำนวน 2 เครื่อง ราคาเครื่องละ 27,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 33,400 Btu/h จำนวน 1 เครื่อง ราคาเครื่องละ 35,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 56,000 Btu/h จำนวน 9 เครื่อง ราคาเครื่องละ 57,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 78,500 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 75,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 210,500 Btu/h จำนวน 2 เครื่อง ราคาเครื่องละ 218,000 บาท

ราคาเครื่องปรับอากาศใหม่ข้างต้น ค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนเครื่องปรับอากาศเก่าออกซึ่งราคาเครื่องละ 500 บาท เป็นค่ากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน[13] โดยรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

ดังนั้น ราคาเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 1,308,000 บาท

ราคาค่ารื้อถอนทั้งหมด = 9,500 บาท

รวมทั้งหมด = 1,317,500 บาท

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{1,317,500}{118,905\ 44}$

$= 11\ 08$ ปี

กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245วัน/ปี) ดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ดังนี้

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,500 Btu/h จำนวน 7 เครื่อง ราคาเครื่องละ 21,500 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 16,000 Btu/h จำนวน 5 เครื่อง ราคาเครื่องละ 23,500 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 18,000 Btu/h จำนวน 2 เครื่อง ราคาเครื่องละ 27,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 20,000 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 27,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 25,000 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 30,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 36,000 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 41,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 56,000 Btu/h จำนวน 4 เครื่อง ราคาเครื่องละ 57,000 บาท

เครื่องปรับอากาศ ขนาด 78,500 Btu/h จำนวน 3 เครื่อง ราคาเครื่องละ 75,000 บาท

ราคาเครื่องปรับอากาศใหม่ข้างต้น และค่าแรงในการติดตั้งและรื้อถอนเครื่องปรับอากาศเก่าออกซึ่งราคาเครื่องละ 500 บาท เป็นค่ากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน[13] โดยรวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว

ดังนั้น	ราคาเครื่องปรับอากาศทั้งหมด	=	1,069,000	บาท
	ราคาค่ารื้อถอนทั้งหมด	=	15,000	บาท
	รวมทั้งหมด	=	1,084,000	บาท
ดังนั้น	ระยะเวลาคืนทุน	=	$\frac{1,084,000}{139,325}$	บาท
		=	7 78	ปี

ดังนั้น กลุ่มที่ 4 ซึ่งมีจำนวน 30 เครื่อง มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 7 78 ปี และสามารถประหยัดพลังงานได้ 8,272 78 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 139,325 บาท/ปี ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 14 50%

1 2 การวิเคราะห์กระแสเงินสดและอัตราผลตอบแทน (IRR)

แนวทางการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245วัน/ปี)

1 2 1 ข้อมูลและตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

Conversion Factor สำหรับมูลค่าทางการเงิน

- ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ = 1 00
- ค่าแรงงาน = 1 00

ค่าไฟฟ้า = 1 78 บาท/kWh

ค่าเงินเฟ้อ

- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ = 6 5%[12]
- สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้า = 4 5%[12] (จากปี ค ศ 2000 ขึ้นไป)

1 2 2 ข้อมูลด้านการลงทุน

เงินลงทุนเริ่มแรก = 1,084,000 บาท โดยแยกเป็น

- ค่าอุปกรณ์ = 1,069,000 บาท (อายุการใช้งาน 15 ปี)
- ค่าแรง = 15,000 บาท
- อื่นๆ

1 2 3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน

ผลประหยัดพลังงาน = 78,272 78 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 139,325 บาท/ปี

1 2 4 อัตราผลตอบแทน (IRR) = 14 50%

ตาราง 32 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศบางตัวเป็นเครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

รายการ	ปี (พ ศ)	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563
	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1) ข้อมูลด้านการลงทุน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ		1 000	1 065	1 134	1 208	1 286	1 370	1 459	1 554	1 655	1 763	1 877	1 999	2 129	2 267	2 415	2 572
เงินลงทุนรวมทั้งหมด																	
- เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท/ปี)		-1 084 000															
- ค่าแรง (ล้านบาท/ปี)																	
- ค่าดำเนินงาน (บาท/ปี)																	
- ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)																	
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น (บาท/ปี)		-1 084 000															
2) ข้อมูลด้านผลตอบแทน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า		1 000	1 045	1 092	1 141	1 193	1 246	1 302	1 361	1 422	1 486	1 553	1 623	1 696	1 772	1 852	1 935
ผลประหยัดทั้งหมด (บาท/ปี)			145 595	152 146	158 993	166 148	173 624	181 437	189 602	198 134	207 050	216 367	226 104	236 279	246 911	258 022	269 633
กระแสเงินสด (บาท/ปี)		-1 084 000	145 595	152 146	158 993	166 148	173 624	181,437	189 602	198 134	207 050	216 367	226 104	236 279	246 911	258 022	269 633
กระแสเงินสดสะสม (บาท/ปี)		-1 084 000	938 405	786 259	-627 266	-461 118	287 494	106 057	83 545	281 680	488 730	705 097	931 201	1 167 480	1 414 391	1 672 413	1 942 047
อัตราผลตอบแทน (IRR) %		0 145															
		14 5%															

2 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ

จากการสำรวจและตรวจวัดเครื่องปรับอากาศในส่วนการศึกษาซึ่งมีอายุการใช้งานเฉลี่ยมากกว่า 8 ปี และบางตัวมีฝุ่นละอองเกาะติดตามแผงอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์มาก ซึ่งเป็นเพราะสภาพแวดล้อมในการทำงานทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของขดท่อลดลง ดังนั้นควรดำเนินการทำความสะอาดแผงอีวาพอเรเตอร์ แผงคอนเดนเซอร์ และแผ่นกรองอากาศของเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 840 บาทต่อเครื่องต่อปี เครื่องปรับอากาศที่ใช้มีทั้งหมด 278 เครื่อง โดยในการดำเนินการนั้นจะสามารถประหยัดพลังงานได้เฉลี่ย 15%[9]

จากการสำรวจเครื่องปรับอากาศพบว่ามีทั้งหมด 278 เครื่อง โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มตามการใช้งานเครื่องปรับอากาศดังนี้ กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) การวิเคราะห์การลงทุนแนวทางการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอแสดงได้ดังนี้

การวิเคราะห์การลงทุน

กลุ่มที่1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)

มีเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 20 เครื่อง

ค่าแรงในการดำเนินการ = 840 บาท/เครื่อง/ปี × 20 เครื่อง

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด = 16,800 บาท/ปี

ประหยัดพลังงานได้ = 24,242 42 บาท/ปี (ตาราง 16)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{16,800}{24,242\ 42}$$

= 0 69 ปี

กลุ่มที่2 (8 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)

มีเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 9 เครื่อง

ค่าแรงในการดำเนินการ = 840 บาท/เครื่อง/ปี × 9 เครื่อง

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด = 7,565 บาท

ประหยัดพลังงานได้ = 9,609 54 บาท/ปี (ตาราง 17)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{7,565}{9,609\ 54}$$

= 0 78 ปี

กลุ่มที่3 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

มีเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 61 เครื่อง

ค่าแรงในการดำเนินการ = 840 บาท/เครื่อง/ปี × 61 เครื่อง

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด = 51,240 บาท/ปี

ประหยัดพลังงานได้ = 84,313 30 บาท/ปี (ตาราง 18)

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{51,240}{84,313\ 30}$

= 0 60 ปี

กลุ่มที่4 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

มีเครื่องปรับอากาศทั้งหมด = 101 เครื่อง

ค่าแรงในการดำเนินการ = 840 บาท/เครื่อง/ปี × 101 เครื่อง

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งหมด = 84,840 บาท/ปี

ประหยัดพลังงานได้ = 28,340 04 บาท/ปี (ตาราง 19)

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{84,840}{128,340\ 04}$

= 0 66 ปี

จะเห็นว่าทุกกลุ่มมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนเพราะคืนทุนได้เร็ว ดังนั้นถ้าดำเนินการทุกกลุ่มจะสามารถประหยัดพลังงานได้รวมทั้งหมด 138,485 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 246,504 12 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 0 65 ปี

3 การปรับปรุงผนังของอาคาร เพื่อลดค่าความร้อนเข้าสู่อาคาร

การประเมินค่า OTTV ของอาคารภายในส่วนการศึกษา มีอาคารที่มีค่า OTTV สูงกว่าค่ามาตรฐานอยู่ 11 อาคาร ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงอาคารเพื่อลดค่า OTTV แนวทางการลดคา OTTV ในอาคารคือ ทำการติดตั้งฟิล์มกรองแสงชนิด 3M รุ่น 12P ที่มีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ที่กระจก ซึ่งจะทำให้ความร้อนที่เข้ามาในอาคารทางด้านกระจกลดลง และทำให้ค่า OTTV ของผนังอาคารลดลงด้วย การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางนี้แสดงได้ดังต่อไปนี้

3 1 การวิเคราะห์การลงทุน

3 1 1 อาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 221 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 221 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 227,851 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 17,466 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{227,851}{17,466}$ บาท

= 13 04 ปี

3 1 2 อาคารเรียน ก 2

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 40 4 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 40 4 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 41,652 40 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 1,380 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{41,652\ 40}{1,380}$ บาท

= 30 18 ปี

3 1 3 อาคารกองวิชาอักษรศาสตร์

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 443 2 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 443 2 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 456,939 2 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 22,939 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{456,939\ 2}{22,939}$ บาท

= 19 91 ปี

3 1 4 อาคารกองวิชากฎหมายและสังคมศาสตร์

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 269 8 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 269 8 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 278,163 8 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 18,688 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{278,163\ 8}{18,688}$ บาท

= 14 07 ปี

3 1 5 อาคารกองวิชาเคมีและวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 336 6 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 336 6 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 347,034 6 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 16,843 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{347,034\ 6}{16,843}$ บาท

$= 20\ 60$ ปี

3 1 6 อาคารกองวิชาฟิสิกส์

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 231 3 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน $= 231\ 3\ m^2 \times 1,031$ บาท/m^2

$= 238,470\ 3$ บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 12,650 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{238,470\ 3}{12,650}$ บาท

$= 18\ 85$ ปี

3 1 7 อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 119 1 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน $= 119\ 1\ m^2 \times 1,031$ บาท/m^2

$= 122,673$ บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 9,267 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{122,673}{9,267}$ บาท

$= 13\ 11$ ปี

3 1 8 อาคารกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 165 4 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 165 4 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 170,362 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 10,487 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{170,362}{10,487}$ บาท

= 16 24 ปี

3 1 9 อาคารกองวิชาวิศวกรรมโยธา

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 213 4 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 213 4 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 219,802 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 13,174 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{219,802}{13,174}$ บาท

= 16 68 ปี

3 1 10 อาคารกองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและวิศวกรรมสรรพาวุธ

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดที่ทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 432 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน = 432 m^2 × 1,031 บาท/m^2

= 444,960 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 28,427 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{444,960}{28,427}$ บาท

$= 15\ 65$ ปี

3 1 11 อาคารโรงประลองวิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมไฟฟ้า

ฟิล์มกรองแสงที่ใช้มีความเข้ม 80% และมีค่า Shading Coefficient (SC) 0 29 ราคาฟิล์มกรองแสงรวมค่าติดตั้งคือ 1,031 บาท/m^2 (ราคาจากการสำรวจตลาด ซึ่งเป็นฟิล์มกรองแสง 3M รุ่น 12P และราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว) โดยพื้นที่ผนังโปรงแสงรวมทั้งหมดทีทำการติดฟิล์มกรองแสง คือ 72 2 m^2

ดังนั้น รวมเงินลงทุน $= 72\ 2\ m^2 \times 1,031$ บาท/m^2

$= 74,366$ บาท

พลังงานที่ประหยัดได้ = 2,792 บาท/ปี (ตาราง 20)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{74,366}{2,792}$ บาท

$= 26\ 63$ ปี

จะเห็นว่ามีเพียงอาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม และกองวิชาคณิตศาสตร์ ที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่าอายุฟิล์มกรองแสง ดังนั้นหากดำเนินการทั้ง 3 อาคารนี้ จะประหยัดพลังงานได้ 25,518 11 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 45,421 บาท/ปี และมีระยะเวลาคืนทุน 13 01 ปี อัตราผลตอบแทน (IRR) เท่ากับ 5 60%

3 2 การวิเคราะห์กระแสเงินสดและอัตราผลตอบแทน (IRR)

แนวทางการปรับปรุงผนังเพื่อลดค่าความร้อนที่เข้ามา

(อาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา ,กองวิชากฎหมายและสังคม ,และกองวิชาคณิตศาสตร์)

3 2 1 ข้อมูลและตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

Conversion Factor สำหรับมูลค่าทางการเงิน

- ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ = 1 00
- ค่าแรงงาน = 1 00

ค่าไฟฟ้า = 1 78 บาท/kWh

ค่าเงินเฟ้อ

- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ = 6 5%[12]
- สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้า = 4 5%[12] (จากปี ค ศ 2000 ขึ้นไป)

3 2 2 ข้อมูลด้านการลงทุน

เงินลงทุนเริ่มแรก (อายุการใช้งาน 15 ปี)

- อาคารกองบังคับการ	=	227,851	บาท
- อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม	=	278,164	บาท
- อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์	=	122,792	บาท
รวม		628,807	บาท

3 2 3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน

ผลประหยัดพลังงาน

- อาคารกองบังคับการ	=	17,466	บาท
- อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม	=	18,688	บาท
- อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์	=	9,267	บาท
รวม		45,421	บาท

4 อัตราผลตอบแทน (IRR) = 5 60%

ตาราง 33 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการปรับปรุงผนังเพื่อลดค่าความร้อนที่เข้ามา

รายการ	ปี (พ ศ)	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563
	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1) ข้อมูลด้านการลงทุน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ		1 000	1 065	1 134	1 208	1 286	1 370	1 459	1 554	1 655	1 763	1 877	1 999	2 129	2 267	2 415	2 572
เงินลงทุนรวมทั้งหมด																	
- เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท/ปี)		-628 807															
- ค่าแรง (ล้านบาท/ปี)																	
- ค่าดำเนินงาน (บาท/ปี)																	
- ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)																	
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น (บาท/ปี)		628 807															
2) ข้อมูลด้านผลตอบแทน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน		1 000	1 045	1 092	1 141	1 193	1 246	1 302	1 361	1 422	1 486	1 553	1 623	1 696	1 772	1 852	1 935
ผลประหยัดทั้งหมด (บาท/ปี)			47 465	49 601	51 833	54 165	56 603	59 150	61 812	64 593	67 500	70 537	73 712	77 029	80 495	84 117	87 902
กระแสเงินสด (บาท/ปี)		-628 807	47 465	49 601	51 833	54 165	56 603	59 150	61 812	64 593	67 500	70 537	73 712	77 029	80 495	84 117	87 902
กระแสเงินสดสะสม (บาท/ปี)		628 807	581 342	531 741	479 908	-425 743	369 140	309 990	248 178	183 585	116 085	45 548	28 164	105 192	185 687	269 805	357 707
อัตราผลตอบแทน (IRR) %		0 056 5 60%															

การวิเคราะห์การเงินและการลงทุนแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบแสงสว่าง

1 เปลี่ยนโคมไฟแบบธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง

โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงเป็นโคมไฟชนิดหนึ่งซึ่งภายในโคมมีแผ่นสะท้อนแสงเพื่อช่วยกระจายแสงจากหลอดไฟแสงสว่างทำให้ความสว่างของหลอดไฟเพิ่มขึ้น โดยเมื่อดำเนินการเปลี่ยนแล้วค่าการส่องสว่างของหลอดไฟจะเพิ่มขึ้นเท่าตัว จึงสามารถลดจำนวนหลอดไฟฟ้าในโคมไฟลงได้ครึ่งหนึ่ง เช่น โคมไฟขนาด 36 W×4 สามารถลดลงได้เป็นขนาด 36 W×2 จึงประหยัดพลังงานลงได้ครึ่งหนึ่ง

การสำรวจระบบแสงสว่างพบว่ามีโคมไฟแบบธรรมดาที่สามารถเปลี่ยนเป็นโคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงได้ จำนวน 1,618 โคม โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มตามการใช้งานดังนี้ กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) การวิเคราะห์การลงทุนในการเปลี่ยนโคมไฟกลุ่มต่างๆแสดงได้ดังนี้

1 1 การวิเคราะห์การลงทุน

โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง ขนาด 2×18W กว้าง 30 ซม มีแผ่นสะท้อนแสง 95% ชนิดฝังฝ้า

ราคาโคมละ = 855 บาท

โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง ขนาด 2×36W กว้าง 30 ซม มีแผ่นสะท้อนแสง 95% ชนิดฝังฝ้า

ราคาโคมละ = 994 5 บาท

โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง ขนาด 2×18W มีแผ่นสะท้อนแสง 95% ชนิดติดลอย

ราคาโคมละ = 810 บาท

โคมสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง ขนาด 2×36W มีแผ่นสะท้อนแสง 95% ชนิดติดลอย

ราคาโคมละ = 1,062 บาท

ราคาโคมเป็นราคากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน[13] และไม่คิดค่าเปลี่ยนเนื่องจากสามารถดำเนินการโดยบุคลากรของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าได้

กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×18W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 8 โคม

โคมไฟ 2×36W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 8 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (8 โคม × 855 บาท/โคม) + (8 โคม × 994 5 บาท/โคม)

= 14,796 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 473 6 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 843 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{14,796}{843}$ บาท

= 17 55 ปี

กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×36W ชนิดติดลอย จำนวน 5 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (5 โคม × 1,062 บาท/โคม)

= 5,310 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 29 44 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 52 40 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{5,310}{52}$ บาท

= 102 11 ปี

กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×18W ชนิดติดลอย จำนวน 8 โคม

โคมไฟ 2×18W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 61 โคม

โคมไฟ 2×36W ชนิดติดลอย จำนวน 100 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (8 โคม × 810 บาท/โคม) + (61 โคม × 855 บาท/โคม)

+ (100 โคม × 1,062 บาท/โคม)

= 164,835 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 1,372 65 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 2,443 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{164,835}{2,443}$ บาท

= 67 47 ปี

กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×18W ชนิดติดลอย จำนวน 50 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (50 โคม × 810 บาท/โคม)

= 40,500 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 1,953 28 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 3 477 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{40,500}{3,477}$ บาท

= 11 64 ปี

กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×18W ชนิดติดลอย จำนวน 366 โคม

โคมไฟ 2×18W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 141 โคม

โคมไฟ 2×36W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 24 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (366 โคม × 810 บาท/โคม)

+ (141 โคม × 855 บาท/โคม) + (24 โคม × 994 5 บาท/โคม)

= 440,883 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 8978 08 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 15,980 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{440,883}{15,980}$ บาท

= 27 58 ปี

กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×18W ชนิดติดลอย จำนวน 128 โคม

โคมไฟ 2×18W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 16 โคม

โคมไฟ 2×36W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 181 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (128 โคม × 810 บาท/โคม) + (16 โคม × 855 บาท/โคม)

+ (181 โคม × 994 5 บาท/โคม)

= 297,364 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 34,873 60 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 62 075 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{297,364}{62,075}$ บาท

= 4 79 ปี

กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

โคมไฟ 2×18W ชนิดติดลอย จำนวน 7 โคม

โคมไฟ 2×18W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 365 โคม

โคมไฟ 2×36W ชนิดฝังฝ้า จำนวน 219 โคม

ดังนั้น ลงทุนทั้งหมด = (7 โคม × 810 บาท/โคม) + (365 โคม × 855 บาท/โคม)

+ (219 โคม × 994 5 บาท/โคม)

= 535,540 บาท/ปี

เงินที่ประหยัดพลังงานได้ = 77,663 34 kWh/ปี (ตาราง 24) × 1 78 บาท/kWh

= 138,241 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{535,540}{138,241}$ บาท

= 3 32 ปี

ดังนั้น กลุ่มที่ 7 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 591 โคม มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด คือ 3 32 ปี โดยจะประหยัดพลังงานได้ 77,663 34 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 138,241 บาท/ปี มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 27 90%

1 2 การวิเคราะห์กระแสเงินสดและอัตราผลตอบแทน (IRR)

แนวทางการเปลี่ยนโคมไฟธรรมดาเป็นโคมไฟสะท้อนแสง

กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

1 2 1 ข้อมูลและตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

Conversion Factor สำหรับมูลค่าทางการเงิน

- ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ = 1 00
- ค่าแรงงาน = 1 00

ค่าไฟฟ้า = 1 78 บาท/kWh

ค่าเงินเฟ้อ

- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ = 6 5%[12]
- สำหรับค่าพลังงาน = 4 5%[12] (จากปี ค ศ 2000 ขึ้นไป)

1 2 2 ข้อมูลด้านการลงทุน

เงินลงทุนเริ่มแรก = 535,540 บาท โดยแยกเป็น (อายุการใช้งาน 10 ปี)

1 2 3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน

ผลประหยัดพลังงาน = 77,663 34 kWh/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 138,241 บาท/ปี

1 2 4 อัตราผลตอบแทน (IRR) = 27 90%

ตาราง 34 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนโคมไฟธรรมดาเป็นโคมสะท้อนแสง

รายการ	ปี(พ ศ)	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558
	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1) ข้อมูลด้านการลงทุน												
<u>คาเงินเฟ้อ</u>												
- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและคาดำเนินการ		1 000	1 065	1 134	1 208	1 286	1 370	1 459	1 554	1 655	1 763	1 877
<u>เงินลงทุนรวมทั้งหมด</u>												
- เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท/ปี)		-535,540										
- คาแรง (ล้านบาท/ปี)												
- ค่าดาเนินงาน (บาท/ปี)												
- ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)												
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น (บาท/ปี)		-535 540										
2) ข้อมูลด้านผลตอบแทน												
<u>ค่าเงินเฟ้อ</u>												
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน		1 000	1 045	1 092	1 141	1 193	1 246	1 302	1 361	1 422	1 486	1 553
<u>ผลประหยัดทั้งหมด</u> (บาท/ปี)			144,462	150 963	157,756	164 855	172 273	180,026	188,127	196,593	205 439	214 684
กระแสเงินสด (บาท/ปี)		-535,540	144,462	150 963	157,756	164,855	172 273	180,026	188,127	196,593	205 439	214 684
กระแสเงินสดสะสม (บาท/ปี)		-535,540	-391,078	-240 116	82,360	82 495	254 769	434,795	622 921	819,514	1 024 953	1 239,637
อัตราผลตอบแทน (IRR) %		0 279										
		27 90%										

2 การลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง

ในระบบแสงสว่างนั้นบริเวณต่างๆมีความต้องการความสว่างแตกต่างกัน ซึ่งแล้วแต่กิจกรรมที่ปฏิบัติในบริเวณนั้นๆ ซึ่งคาการส่องสว่างที่เหมาะสมมีการแนะนำไว้ในมาตรฐาน IES (Illumination Engineer Society) ดังแสดงในตาราง 35 ดังนั้นจึงควรปรับลดความสว่างของบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูงกว่าค่ามาตรฐานลงเพราะเป็นการใช้พลังงานที่เปล่าประโยชน์

ผลการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่บริเวณต่างๆในอาคารพบว่า มีบางส่วนที่มีการติดตั้งใช้งานโคมไฟประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสูงอยู่แล้ว โดยใช้ร่วมกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 W หรือ ขนาด 36 W โดยจากการตรวจวัดค่าการส่องสว่างบริเวณเหล่านี้พบว่ามีค่าการส่องสว่างค่อนข้างสูงกว่าค่ามาตรฐานมาก ดังแสดงรายละเอียดการตรวจวัดไว้ในภาคผนวก ฉ ดังนั้นควรลดจำนวนหลอดไฟในโคมไฟประสิทธิภาพการสะท้อนแสงสูงลงจำนวน 1 หลอดต่อโคม จะทำให้ประหยัดพลังงานได้ทั้งหมด 39,699 48 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 70,665 บาท/ปี โดยในแนวทางนี้ไม่มีการลงทุน และรายละเอียดที่ทำการลดจำนวนหลอดไฟแสดงในตาราง 36

ตาราง 35 แสดงค่าความสว่างตามมาตรฐาน IES (Illumination Engineer Society)

ลักษณะพื้นที่ใช้งาน	ความสว่าง (Lux)
1 พื้นที่ทำงานทั่วไป	300-700
2 พื้นที่ส่วนกลาง ทางเดิน	100-200
3 ห้องเรียน	300-500
4 ร้านค้า หรือศูนย์การค้า	300-750
5 โรงแรม	
- บริเวณทางเดิน	300
- ห้องครัว	500
- ห้องพัก ห้องน้ำ	100-300
6 โรงพยาบาล	
- บริเวณทั่วไป	100-300
- ห้องตรวจรักษา	500-1,000

ตาราง 36 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง

ลำดับ	พื้นที่	ชั้น	ขนาด (W)	ก่อนปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	หลังปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	จำนวนหลอดไฟที่ลดลง (หลอด)	ชนิดโคม	จำนวน (โคม)	จำนวน (หลอด)	รวม (w)	Ballast Loss (วัตต์/หลอด)	Ballast Loss รวม (วัตต์)	รวมทั้งหมด (วัตต์)	การใช้งาน ช ม/วัน	วัน/ปี	%	ประหยัดพลังงานได้ kWh/ปี
	กองวิชาประวัติศาสตร์																
1/8	ห้องธุรการ	1	18	4	3	1	ฝังฝ้า	8	8	144	10	80	154	10	245	80	301 84
1/7	ห้องประชุม	1	18	4	3	1	ฝังฝ้า	4	4	72	11	44	83	5	100	80	33 20
	อาคารเรียน ข 1																
1/2	ห้องเรียน	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	8	10	80	67 71
1/4 1	ห้องเรียน	1	36	3	2	1	ติดลอย	42	42	1512	10	420	1932	8	10	80	123 65
1/4 2	ห้องเรียน	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	8	10	80	67 71
1/4 3	ห้องเรียน	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	8	10	80	67 71
1/6 1	ห้องเรียน	1	36	3	2	1	ติดลอย	42	42	1512	10	420	1932	8	10	80	123 65
1/6 2	ห้องเรียน	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	8	10	80	67 71
	อาคารเรียน ข 2																
1/2	ห้องเรียนหมายเลข ข 23	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	10	200	80	1 692 80
1/4	ห้องเรียนหมายเลข ข 22	1	36	3	2	1	ติดลอย	42	42	1512	10	420	1932	10	200	80	3 091 20
1/8	ห้องเรียนหมายเลข ข 21	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	10	200	80	1 692 80
1/8 1	ห้องเรียนหมายเลข ข 24	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	10	200	80	1 692 80
1/10	ห้องเรียนหมายเลข ข 25	1	36	3	2	1	ติดลอย	42	42	1512	10	420	1932	10	200	80	3 091 20
1/12	ห้องเรียนหมายเลข ข 26	1	36	3	2	1	ติดลอย	23	23	828	10	230	1058	10	200	80	1 692 80
	กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล																
1/5	ห้องธุรการ	1	36	2	1	1	ติดลอย	16	16	576	10	160	736	10	245	80	1 442 56
1/6	ห้องเรียนชั้น1	1	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	10	10	46	10	245	80	90 16

ตาราง 36 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่	ชั้น	ขนาด (W)	ก่อนปรับปรุง จานวน (หลอด/โคม)	หลังปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	จานวนหลอดไฟที่ลดลง (หลอด)	ชนิดโคม	จานวน (โคม)	จานวน (หลอด)	รวม (w)	Ballast Loss (วัตต์/หลอด)	Ballast Loss รวม (วัตต์)	รวมทั้งหมด (วัตต์)	การใช้งาน ช ม/วัน	วัน/ปี	%	ประหยัดพลังงานได้ kWh/ปี
1/8	ห้องเอกสาร	1	36	2	1	1	ติดลอย	2	2	72	10	20	92	10	245	80	180 32
	อาคารโรงประลองวิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมสรรพาวุธ																
1/1	ห้องเจ้าหน้าที่ กวส	1	36	2	1	1	ติดลอย	3	3	108	14	42	150	10	245	80	294 00
1/3	ห้องคลังตาราเรียน	1	36	2	1	1	ติดลอย	4	4	144	15	60	204	8	245	10	39 98
1/5	ห้องเก็บเครื่องมือ	1	36	2	1	1	ติดลอย	10	10	360	16	160	520	8	245	10	101 92
1/8	โถงทางเดิน	1	36	2	1	1	ติดลอย	2	2	72	17	34	106	8	245	10	20 78
1/11	ห้องเรียน กวส	1	36	2	1	1	ติดลอย	10	10	360	18	180	540	10	200	80	864 00
1/12	ห้อง จนท ประจา	1	36	2	1	1	ติดลอย	3	3	108	19	57	165	10	245	80	323 40
1/14	คลังอุปกรณ์3	1	36	2	1	1	ติดลอย	4	4	144	20	80	224	8	245	10	43 90
1/15	คลังอุปกรณ์2	1	36	2	1	1	ติดลอย	8	8	288	21	168	456	8	245	10	89 38
1/19	ห้องเรียน	1	36	2	1	1	ติดลอย	14	14	504	22	308	812	10	200	80	1299 20
M/1	โถง	M	36	2	1	1	ติดลอย	36	36	1296	23	828	2124	10	200	80	3398 40
M/2	ห้องเรียน	M	36	2	1	1	ติดลอย	16	16	576	24	384	960	10	200	80	1536 00
M/4	ห้องเขียนแบบ1	M	36	2	1	1	ติดลอย	8	8	288	25	200	488	10	200	80	780 80
M/5	ห้องเขียนแบบ2	M	36	2	1	1	ติดลอย	12	12	432	26	312	744	10	200	80	1190 40

ตาราง 36 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง (ต่อ)

ลาดับ	พื้นที่	ชั้น	ขนาด (W)	ก่อนปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	หลังปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	จำนวนหลอดไฟที่ลดลง (หลอด)	ชนิดโคม	จำนวน (โคม)	จำนวน (หลอด)	รวม (w)	Ballast Loss (วัตต์/หลอด)	Ballast Loss รวม (วัตต์)	รวมทั้งหมด (วัตต์)	การใช้งาน ช ม/วัน	วัน/ปี	%	ประหยัดพลังงานได้ kWh/ปี
2/4	ห้องปฏิบัติการ	2	36	2	1	1	ติดลอย	4	4	144	29	116	260	10	200	80	416 00
2/5	ห้องปฏิบัติการ	2	36	2	1	1	ติดลอย	4	4	144	30	120	264	10	200	80	422 40
2/13	ห้องเก็บของ1	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	31	31	67	8	245	10	13 13
2/14	ห้องเก็บของ2	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	32	32	68	8	245	10	13 33
2/15	ห้องพักอาจารย์	2	36	2	1	1	ติดลอย	3	3	108	33	99	207	10	245	80	405 72
2/16	ห้องเก็บหนังสือ	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	34	34	70	8	245	10	13 72
2/17	ห้องเก็บหนังสือ	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	35	35	71	8	245	10	13 92
	อาคารโรงประลองวิศวกรรมโยธาและวิศวกรรมไฟฟ้า																
1/1	นายทหารประจำห้องปฏิบัติการ	1	36	2	1	1	ติดลอย	3	3	108	10	30	138	10	245	80	270 48
1/3	ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุ	1	36	2	1	1	ติดลอย	4	4	144	10	40	184	10	245	80	360 64
1/4	ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุการทาง	1	36	2	1	1	ติดลอย	8	8	288	10	80	368	10	245	80	721 28
1/8	ห้องปฏิบัติการและทดสอบมวลดิน	1	36	2	1	1	ติดลอย	14	14	504	10	140	644	10	200	80	1 030 40
M/1	โถง	M	36	2	1	1	ติดลอย	64	64	2304	10	640	2944	8	245	10	577 02
2/21	ห้องปฏิบัติการเรดาร์และนาวิถี	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	10	10	46	10	200	80	73 60
2/22	ห้องพักอาจารย์	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	10	10	46	10	245	80	90 16

ตาราง 36 แสดงผลการประหยัดพลังงานแนวทางการลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างสูง (ต่อ)

ลำดับ	พื้นที่	ชั้น	ขนาด (W)	ก่อนปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	หลังปรับปรุง จำนวน (หลอด/โคม)	จำนวนหลอดไฟที่ลดลง (หลอด)	ชนิดโคม	จำนวน (โคม)	จำนวน (หลอด)	รวม (w)	Ballast Loss (วัตต์/หลอด)	Ballast Loss รวม (วัตต์)	รวมทั้งหมด (วัตต์)	การใช้งาน ช ม/วัน	วัน/ปี	%	ประหยัดพลังงานไฟ kWh/ปี
2/25	ห้องพักอาจารย์	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	10	10	46	10	245	80	90 16
2/26	ห้องทดสอบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	10	10	46	10	245	80	90 16
2/27	ห้องปฏิบัติการทางอากาศ	2	36	2	1	1	ติดลอย	1	1	36	10	10	46	10	245	80	90 16
2/28	ห้องปฏิบัติงานวิจัย	2	36	2	1	1	ติดลอย	5	5	180	10	50	230	10	245	80	450 80
							รวม										39 699 48

3 การเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ

บัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กการสูญเสียต่ำ (Low Loss) เป็นบัลลาสต์ชนิดหนึ่งที่แกนเหล็กทำจากวัสดุชนิดพิเศษซึ่งมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่าแบบธรรมดา ซึ่งหากทำการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานในส่วนนี้ได้

ในการดำเนินศึกษาแนวทางการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำ (Low Loss) จะพิจารณา 2 กรณีด้วยกัน คือ กรณี 3 1 เปลี่ยนบัลลาสต์ทั้งหมดโดยไม่ดำเนินการรแนวทางที่ 1 และ 2 และกรณี 3 2 เปลี่ยนบัลลาสต์หลังดำเนินการแนวทางที่ 1 และ 2 แล้ว ผลการสำรวจระบบแสงสว่างในบริเวณอาคารต่างๆพบว่า มีหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาจำนวน 22,092 ชุด โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มตามการใช้งานดังนี้ กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี) กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี) กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี) กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี) และกลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี) รายละเอียดตำแหน่งบัลลาสต์ไว้ในภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์การลงทุนในการเปลี่ยนบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กชนิดธรรมดาเป็นชนิดการสูญเสียต่ำแสดงได้ดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์การลงทุน

กรณีที่ 3 1 เปลี่ยนบัลลาสต์ทั้งหมดโดยไม่ดำเนินการรแนวทางที่ 1 และ 2

บัลลาสต์ชนิดการสูญเสียต่ำราคาตัวละ 113 บาท โดยราคานี้เป็นราคากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน[13] ซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว และไม่คิดค่าเปลี่ยนเนื่องจากสามารถดำเนินการโดยบุคลากรในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าได้

กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 272 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 272 ตัว×113 บาท

= 38,896 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 435 20 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 774 65 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน $= \frac{38,896}{774\ 65} = 50\ 25$ ปี

กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 737 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 737 ตัว×113 บาท

= 83,281 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 188 67 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 335 83 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{83,281}{335\ 83}$ = 247 98 ปี

กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 830 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 830 ตัว×113 บาท

= 93,790 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 848 32 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 1,510 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{93,790}{1,510}$ = 62 11 ปี

กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 222 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 222 ตัว ×113 บาท

= 25,086 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 585 6 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 1,044 15 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{25,086}{1,044\ 15}$ = 24 02 ปี

กลุ่มที่ 5 (5 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 3,749 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 3,749 ตัว×113 บาท

= 423,637 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 3,665 20 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 6,524 05 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{423,637}{6,524\ 05}$ = 64 93 ปี

กลุ่มที่ 6 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 5,250 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 5,250 ตัว ×113 บาท

= 593,250 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 30,418 40 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 54,144 75 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{593,250}{54,144\ 75}$ = 10 95 ปี

กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 11,032 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 11,032 ตัว×113 บาท

= 1,246,616 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 21,954 94 kWh/ปี (ตาราง 25) × 1 78 บาท/kWh

= 39,079 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{1,246,616}{39,079}$ = 31 89 ปี

ดังนั้นกรณีที่ 3 1 กลุ่มที่ 6 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 10 95 ปี และมีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 8 90%

การวิเคราะห์กระแสเงินสดและอัตราผลตอบแทน (IRR)

แนวทางการเปลี่ยนบัลลาสแกนเหล็กเป็นบัลลาสการสูญเสียต่ำ

กรณีที่ 3 1 เปลี่ยนบัลลาสต์ทั้งหมดโดยไม่ดำเนินการรแนวทางที 1 และ 2

กลุ่มที่ 6 (10 ชั่วโมง/วัน 200วัน/ปี)

1 ข้อมูลและตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

1 1 Conversion Factor สำหรับมูลค่าทางการเงิน

- ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ = 1 00
- ค่าแรงงาน = 1 00

1 2 ค่าไฟฟ้า = 1 78 บาท/kWh

1 3 ค่าเงินเฟ้อ

- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ = 6 5%[12]
- สำหรับค่าพลังงาน = 4 5%[12] (จากปี ค ศ 2000 ขึ้นไป)

2 ข้อมูลด้านการลงทุน

2 1 เงินลงทุนเริ่มแรก = 593,250 บาท (อายุการใช้งาน 15 ปี)

3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน

3 1 ผลประหยัดพลังงาน = 30,418 40 kWh/ปี

3 2 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 54,145 บาท/ปี

4 อัตราผลตอบแทน (IRR) = 8 90%

ตาราง 37 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนบัลลาสแกนเหล็กเป็นบัลลาสการสูญเสียต่ำ (กรณี 3 1)

รายการ	ปี(พ ศ)	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2558	2558	2558	2558	2558
	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1) ข้อมูลด้านการลงทุน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ		1 000	1 065	1 134	1 208	1 286	1 370	1 459	1 554	1 655	1 763	1 877	1 999	2 129	2 267	2 415	2 572
เงินลงทุนรวมทั้งหมด																	
- เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท/ปี)		593 250															
- ค่าแรง (ล้านบาท/ปี)																	
- คาดำเนินงาน (บาท/ปี)																	
- ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)																	
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น (บาท/ปี)		593 250															
2) ข้อมูลด้านผลตอบแทน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน		1 000	1 045	1 092	1 141	1 193	1 246	1 302	1 361	1 422	1 486	1 553	1 623	1 696	1 772	1 852	1 935
ผลประหยัดทั้งหมด (บาท/ปี)			56 582	59 128	61 788	64 569	67 475	70 511	73 684	77 000	80 465	84 086	87 869	91 824	95 956	100 274	104 786
กระแสเงินสด (บาท/ปี)		593 250	56 582	59 128	61 788	64 569	67 475	70 511	73 684	77 000	80 465	84 086	87 869	91 824	95 956	100 274	104 786
กระแสเงินสดสะสม (บาท/ปี)		593 250	536 668	477 541	415 752	351 183	283 709	213 198	139 514	62 515	17 950	102 036	189 905	281 729	377 684	477 958	582 743
อัตราผลตอบแทน (IRR) %		0 089															
		8 90%															

กรณี 3 2 เปลี่ยนบัลลาสต์หลังดำเนินการแนวทางที่ 1 และ 2 แล้ว

กลุ่มที่ 1 (5 ชั่วโมง/วัน 100 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 228 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 228 ตัว×113 บาท

= 25,764 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 435 20 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 774 65 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{25,764}{774\ 65}$ = 33 25 ปี

กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 561 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 561 ตัว×113 บาท

= 63,393 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 143 62 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 255 64 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{63,393}{255\ 64}$ = 247 97 ปี

กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 642 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 642 ตัว×113 บาท

= 72,546 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 682 88 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 1,215 52 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{72,546}{1,215\ 52}$ = 59 68 ปี

กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 122 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 122 ตัว×113 บาท

= 13 786 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 306 56 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 545 67 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{13,786}{545\ 67}$ = 25 26 ปี

กลุ่มที่ 5 (5 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 2,559 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 2,559 ตัว×113 บาท

= 289,167 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 2,368 47 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 4,215 87 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{289,167}{4,215\ 87}$ = 68 59 ปี

กลุ่มที่ 6 (8 ชั่วโมง/วัน 200 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 4,307 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 4,307 ตัว×113 บาท

= 486,691 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 24,856 80 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 44,245 10 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{486,691}{44,245\ 10}$ = 10 94 ปี

กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี)

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด = 2,165 ตัว

ลงทุนทั้งหมดเป็นเงิน = 2,165 ตัว×113 บาท

= 178,978 17 บาท

ประหยัดพลังงานได้คิดเป็นเงิน = 16,429 70 kWh/ปี (ตาราง 26) × 1 78 บาท/kWh

= 29,244 86 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = $\frac{178,978}{29,244\ 86}$ = 6 12 ปี

ดังนั้น จะเห็นว่าในกรณีที่ 3 1 กลุ่มที่ 6 ซึ่งมีจำนวน 5,250 ตัว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด คือ 10 95 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 30,418 40 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 54,145 บาท/ปี ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 8 90% และในกรณีที่ 3 2 กลุ่มที่ 7 ซึ่งมีจำนวน 2,165 ตัว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด คือ 6 12 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 16,429 70 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 29,245 บาท/ปี ให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน 19 20% จะเห็นว่ากรณีที่ 3 2 จะมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากกว่ากรณีที่ 3 1

การวิเคราะห์กระแสเงินสดและอัตราผลตอบแทน (IRR)

แนวทางการเปลี่ยนบัลลาสแกนเหล็กเป็นบัลลาสต์การสูญเสียต่ำ

กรณี 3 2 เปลี่ยนบัลลาสต์หลังดำเนินการแนวทางที่ 1 และ 2 แล้ว

กลุ่มที่ 7 (10 ชั่วโมง/วัน 245วัน/ปี)

1 ข้อมูลและตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

1 1 Conversion Factor สำหรับมูลค่าทางการเงิน

- ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ = 1 00
- ค่าแรงงาน = 1 00

1 2 ค่าไฟฟ้า = 1 78 บาท/kWh

1 3 ค่าเงินเฟ้อ

- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ = 6 5%[12]
- สำหรับค่าพลังงาน = 4 5%[12] (จากปี ค ศ 2000 ขึ้นไป)

2 ข้อมูลด้านการลงทุน

2 1 เงินลงทุนเริ่มแรก = 178,978 บาท (อายุการใช้งาน 15 ปี)

3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน =

3 1 ผลประหยัดพลังงาน = 16,429 10 kWh/ปี

3 2 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 29,245 บาท/ปี

4 อัตราผลตอบแทน (IRR) = 19 20%

ตาราง 38 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนบัลลาสแกนเหล็กเป็นบัลลาสการสูญเสียต่ำ (กรณี 3 2)

รายการ	ปี(พ ศ)	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2558	2558	2558	2558	2558
	ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1) ข้อมูลด้านการลงทุน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและคาดำเนินการ		1 000	1 065	1 134	1 208	1 286	1 370	1 459	1 554	1 655	1 763	1 877	1 999	2 129	2 267	2 415	2 572
เงินลงทุนรวมทั้งหมด																	
- เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท/ปี)		178 978															
- ค่าแรง (ล้านบาท/ปี)																	
- ค่าดำเนินงาน (บาท/ปี)																	
- ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)																	
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น (บาท/ปี)		178 978															
2) ข้อมูลด้านผลตอบแทน																	
ค่าเงินเฟ้อ																	
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน		1 000	1 045	1 092	1 141	1 193	1 246	1 302	1 361	1 422	1 486	1 553	1 623	1 696	1 772	1 852	1 935
ผลประหยัดทั้งหมด (บาท/ปี)			30 561	31 936	33 373	34 875	36 445	38 085	39 798	41 589	43 461	45 417	47 460	49 596	51 828	54 160	56 597
กระแสเงินสด (บาท/ปี)		178 978	30 561	31 936	33 373	34 875	36 445	38 085	39 798	41 589	43 461	45 417	47 460	49 596	51 828	54 160	56 597
กระแสเงินสดสะสม (บาท/ปี)		178 978	148 417	116 481	83 107	-48 232	11 788	26 297	66 095	107 685	151 146	196 562	244 023	293 619	345 447	399 607	456 204
อัตราผลตอบแทน (IRR) %		0 192															
		19 20%															

4 การเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

จากการสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง ที่มีใช้อยู่ภายในบริเวณอาคารต่างๆในส่วนการศึกษานั้น พบว่ามีบางบริเวณที่มีการใช้หลอดไส้ให้แสงสว่าง ซึ่งมีจำนวน 413 หลอด รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งแสดงในภาคผนวก ฉ การวิเคราะห์การลงทุนแนวทางการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสอิเล็กทรอนิคภายในแสดงได้ดังนี้

4 1 การวิเคราะห์การลงทุน

ราคาหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เป็นราคากลางของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน[13] ซึ่งรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% แล้ว และไม่คิดค่าแรงในการเปลี่ยน

ขนาด 7 W = 450 บาท/หลอด

ขนาด 11 W = 477 บาท/หลอด

ขนาด 20 W = 495 บาท/หลอด

กลุ่มที่ 1 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี ใช้งาน 10%)

ลงทุนทั้งหมด = 14 หลอด×477 บาท/หลอด

= 6,678 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{6,678}{48\ 84}\ \text{บาท}$$

= 136 73 ปี

กลุ่มที่ 2 (8 ชั่วโมง/วัน 10 วัน/ปี ใช้งาน 80%)

ลงทุนทั้งหมด = (20 หลอด×477 บาท/หลอด)+ (30 หลอด×495 บาท/หลอด)

= 24,390 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{24,390}{385}\ \text{บาท}$$

= 63 35 ปี

กลุ่มที่ 3 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี ใช้งาน 50%)

ลงทุนทั้งหมด = (30 หลอด×477 บาท/หลอด)+ (12 หลอด×495 บาท/หลอด)

= 20,250 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{20,250}{865} \text{ บาท}$$

$$= 23\ 41 \text{ ปี}$$

กลุ่มที่ 4 (8 ชั่วโมง/วัน 50 วัน/ปี ใช้งาน 80%)

ลงทุนทั้งหมด = (3 หลอด×450 บาท/หลอด)+ (17 หลอด×477 บาท/หลอด)

+ (10 หลอด×495 บาท/หลอด)

= 14,409 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{14,409}{961} \text{ บาท}$$

$$= 15 \text{ ปี}$$

กลุ่มที่ 5 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี ใช้งาน 10%)

ลงทุนทั้งหมด = (8 หลอด×450 บาท/หลอด)+ (216 หลอด×477 บาท/หลอด)

+ (24 หลอด×495 บาท/หลอด)

= 118,512 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{118,512}{4455} \text{ บาท}$$

$$= 26\ 60 \text{ ปี}$$

กลุ่มที่ 6 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี ใช้งาน 50%)

ลงทุนทั้งหมด = (15 หลอด×477 บาท/หลอด)+ (2 หลอด×495 บาท/หลอด)

= 8,145 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{8,145}{1,952} \text{ บาท}$$

$$= 4\ 17 \text{ ปี}$$

กลุ่มที่ 7 (8 ชั่วโมง/วัน 245 วัน/ปี ใช้งาน 80%)

ลงทุนทั้งหมด = (25 หลอด× 477บาท/หลอด)+ (4 หลอด×495 บาท/หลอด)

= 13,914 บาท

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{13{,}914}{4{,}219\ 26}\ \text{บาท}$$

$$= 3\ 29\ \text{ปี}$$

ดังนั้น กลุ่มที่ 7 ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 31 หลอด มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ 3 29 ปี สามารถประหยัดพลังงานได้ 2,370 38 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 4 220 บาท/ปี มีอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) 13 10%

4 2 การวิเคราะห์กระแสเงินสดและอัตราผลตอบแทน (IRR)

แนวทางการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

กลุ่มที่ 7 (8 ชั่วโมง/วัน, 245 วัน/ปี)

4 2 1 ข้อมูลและตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

Conversion Factor สำหรับมูลค่าทางการเงิน

- ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือ = 1 00
- ค่าแรงงาน = 1 00

ค่าไฟฟ้า = 1 78 บาท/kWh

ค่าเงินเฟ้อ

- สำหรับอุปกรณ์/เครื่องมือและค่าดำเนินการ = 6 5%[12]
- สำหรับค่าพลังงาน = 4 5%[12](จากปี ค ศ 2000 ขึ้นไป)

4 2 2 ข้อมูลด้านการลงทุน

เงินลงทุนเริ่มแรก = 13,914 บาท (อายุการใช้งาน 4 ปี)

4 2 3 ข้อมูลด้านผลตอบแทน

3 1 ผลประหยัดพลังงาน = 2,370 38 kWh/ปี

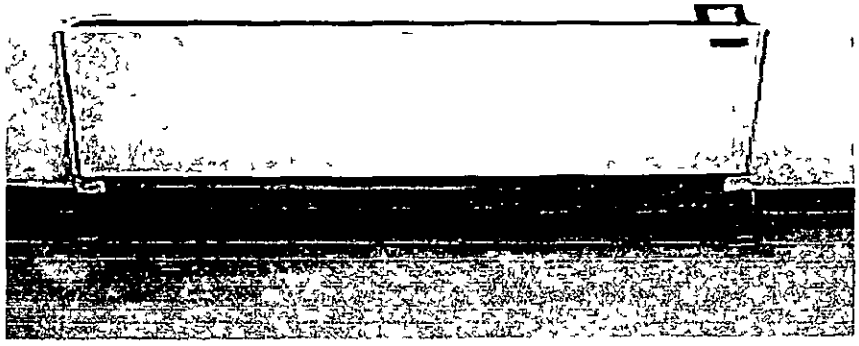
3 2 คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 4,220 บาท/ปี

4 2 4 อัตราผลตอบแทน (IRR) = 13 10%

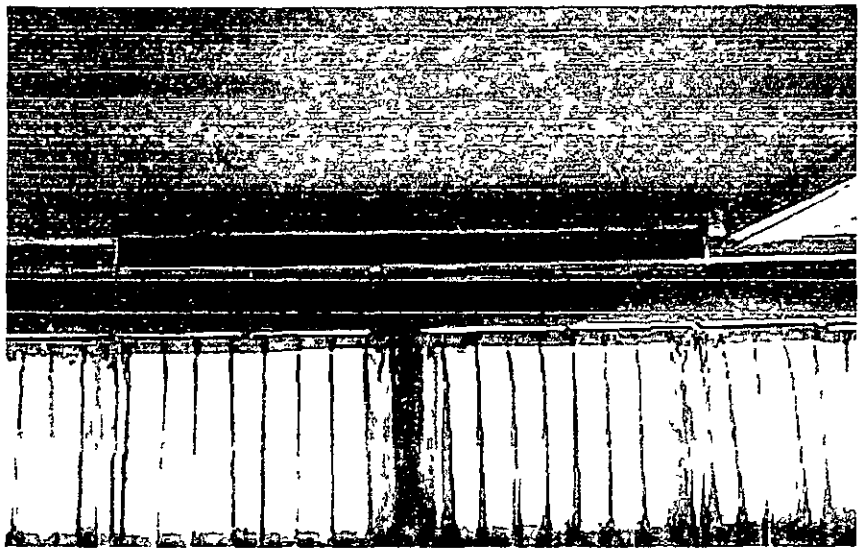
ตาราง 39 แสดงการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) แนวทางการเปลี่ยนหลอดไส้เป็นหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

รายการ	ปี(พ ศ)	2548	2549	2550	2551	2552
	ปีที่	0	1	2	3	4
1) ข้อมูลด้านการลงทุน						
ค่าเงินเฟ้อ						
- สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือและค่าดำเนินการ		1 00	1 07	1 13	1 21	1 29
เงินลงทุนรวมทั้งหมด						
- เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท/ปี)		-13 914				
- ค่าแรง (ล้านบาท/ปี)						
- ค่าดำเนินงาน (บาท/ปี)						
- ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)						
เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น (บาท/ปี)		-13,914				
2) ข้อมูลด้านผลตอบแทน						
ค่าเงินเฟ้อ						
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน		1 000	1 045	1 092	1 141	1 193
ผลประหยัดทั้งหมด (บาท/ปี)			4 410	4 608	4 816	5 032
กระแสเงินสด (บาท/ปี)		-13 914	4 410	4 608	4 816	5 032
กระแสเงินสดสะสม (บาท/ปี)		-13 914	-9 504	-4 896	-80	4 952
IRR(%)		0 131				
		13 10%				

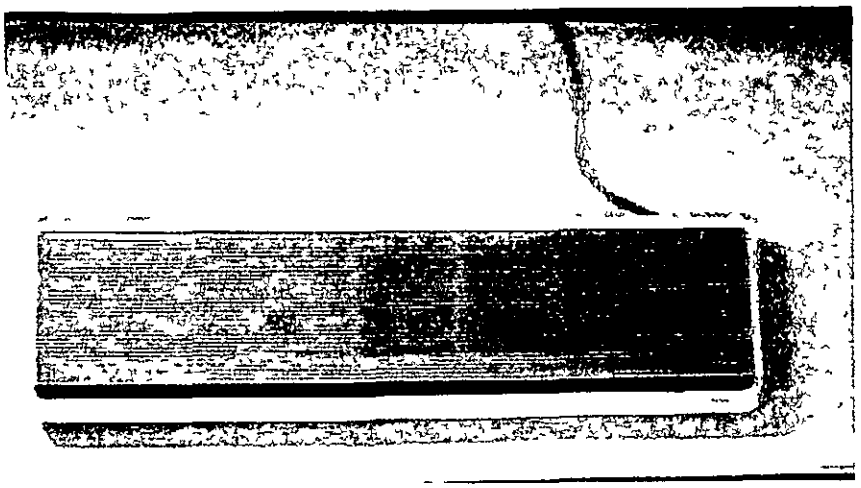
ภาคผนวก ง
ภาพประกอบงานวิจัย



ภาพประกอบ 38 แสดงตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบตั้งพื้น



ภาพประกอบ 39 แสดงตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบติดเพดาน

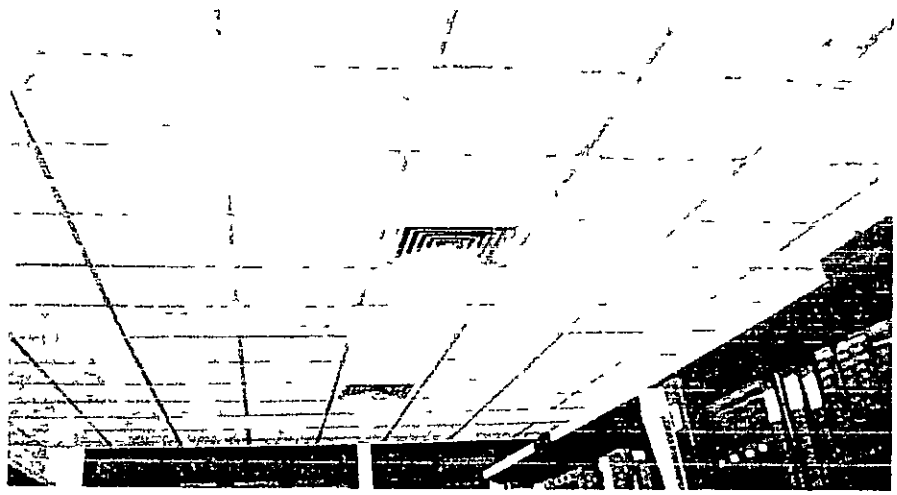


ภาพประกอบ 40 แสดงตัวอย่างเครื่องปรับอากาศแบบติดผนัง

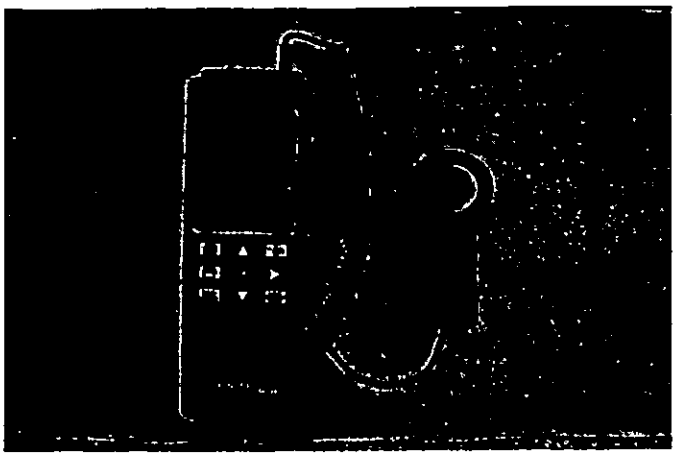
ภาพประกอบ 41 แสดงตัวอย่างการติดตั้งโคมไฟในห้องเรียน

ภาพประกอบ 42 แสดงตัวอย่างการติดตั้งโคมไฟบริเวณทางเดินในอาคาร

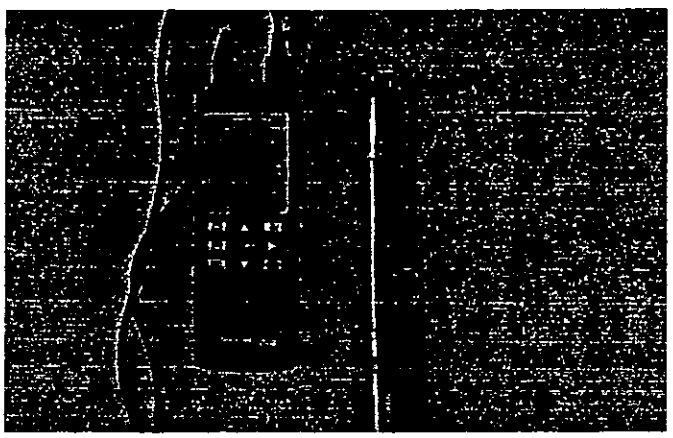
ภาพประกอบ 43 แสดงตัวอย่างหลอดปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury Lamp) ที่ติดตั้งใช้งานที่โรงประลองวิศวกรรม



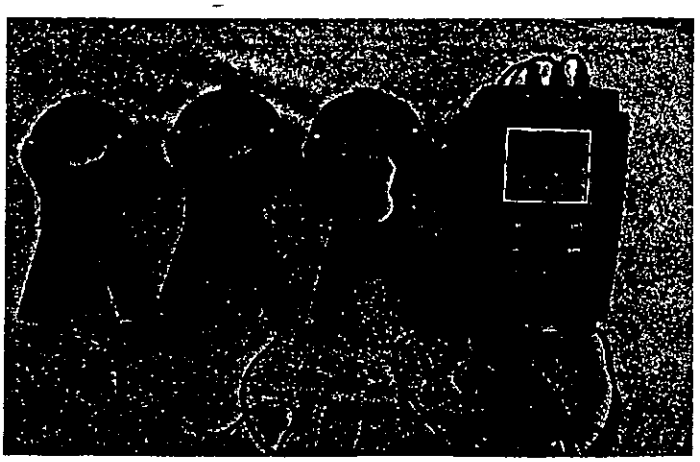
ภาพประกอบ 44 แสดงตัวอย่างบริเวณที่มีการติดตั้งใช้งานโคมไฟสะท้อนแสง



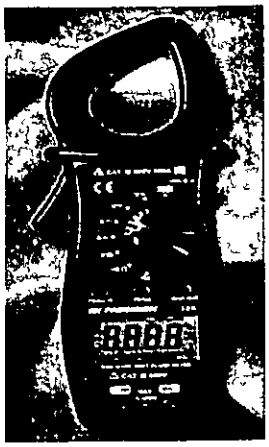
ภาพประกอบ 45 เครื่องมือวัดค่าการส่องสว่าง



ภาพประกอบ 46 เครื่องมือวัดความเร็ว อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของลม



ภาพประกอบ 47 เครื่องวัดและบันทึกกำลังไฟฟ้า



ภาพประกอบ 48 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบหลายฟังชั่น

ภาคผนวก จ

แผนผัง Single Line Diagram ของอาคารต่าง ๆ

แผนผัง Single Line Diagram ของอาคารต่างๆในส่วนการศึกษา โรงเรียนนานร้อยพระจุลจอมเกล้า ซึ่งประกอบไปด้วย

แผนผัง Single Line Diagram 1 (อาคารกองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

แผนผัง Single Line Diagram 2 (อาคารกองวิชาอักษรศาสตร์)

แผนผัง Single Line Diagram 3 (อาคารหอประชุมส่วนการศึกษา)

แผนผัง Single Line Diagram 4 (อาคารกองวิชากฎหมายและสังคม)

แผนผัง Single Line Diagram 5 (อาคารเรียน ก 3 และอาคารเรียน ก 4)

แผนผัง Single Line Diagram 6 (อาคารเรียน ข 1 และอาคารเรียน ข 2)

แผนผัง Single Line Diagram 7 (อาคารกองวิชาประวัติศาสตร์)

แผนผัง Single Line Diagram 8 (อาคารโรงประลองวิศวกรรมเครื่องกล)

แผนผัง Single Line Diagram 9 (อาคารโรงประลองวิศวกรรมสรรพาวุธ)

แผนผัง Single Line Diagram 10 (อาคารโรงประลองวิศวกรรมวิศวกรรมไฟฟ้า)

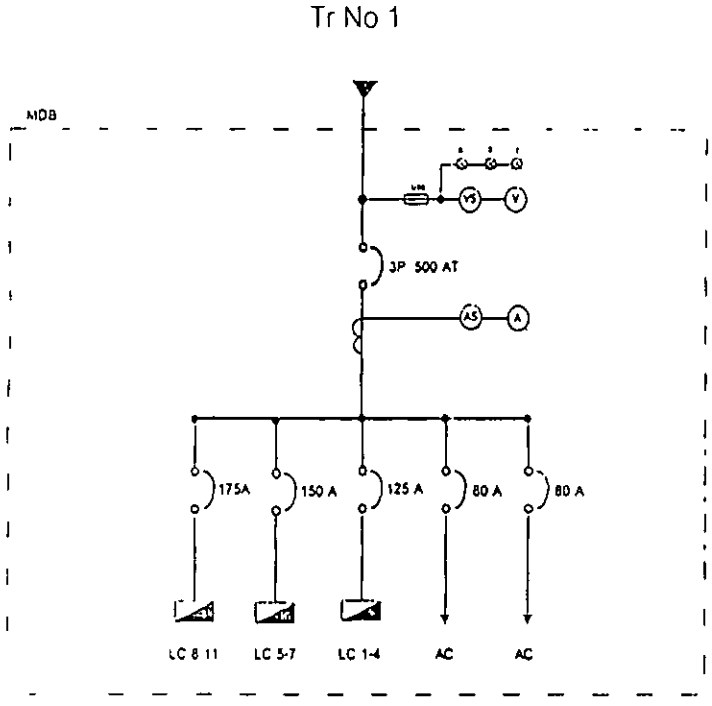
แผนผัง Single Line Diagram 11 (อาคารโรงประลองวิศวกรรมโยธา)

แผนผัง Single Line Diagram 12 (อาคารกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล)

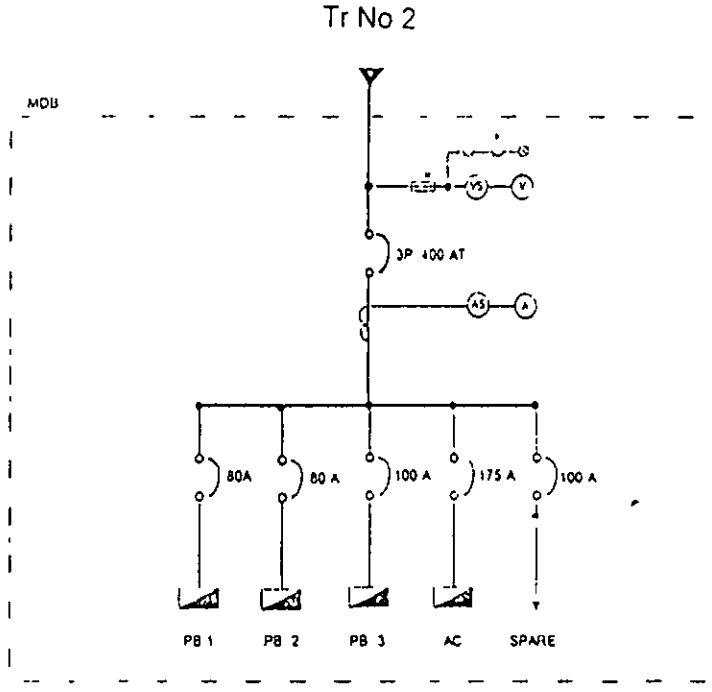
แผนผัง Single Line Diagram 13 (อาคารกองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและสรรพาวุธ)

แผนผัง Single Line Diagram 14 (อาคารกองวิชาคณิตศาสตร์)

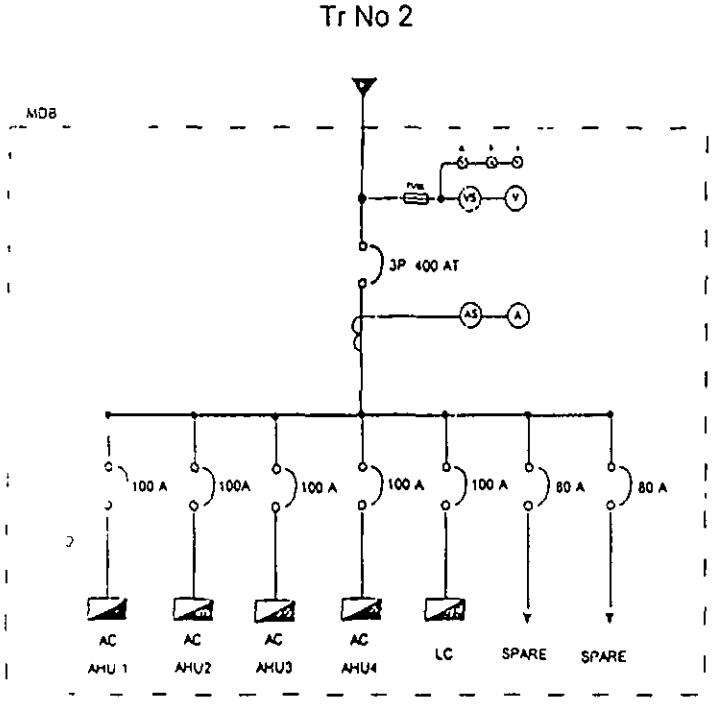
แผนผัง Single Line Diagram 15 (อาคารกองบังคับการส่วนการศึกษา)



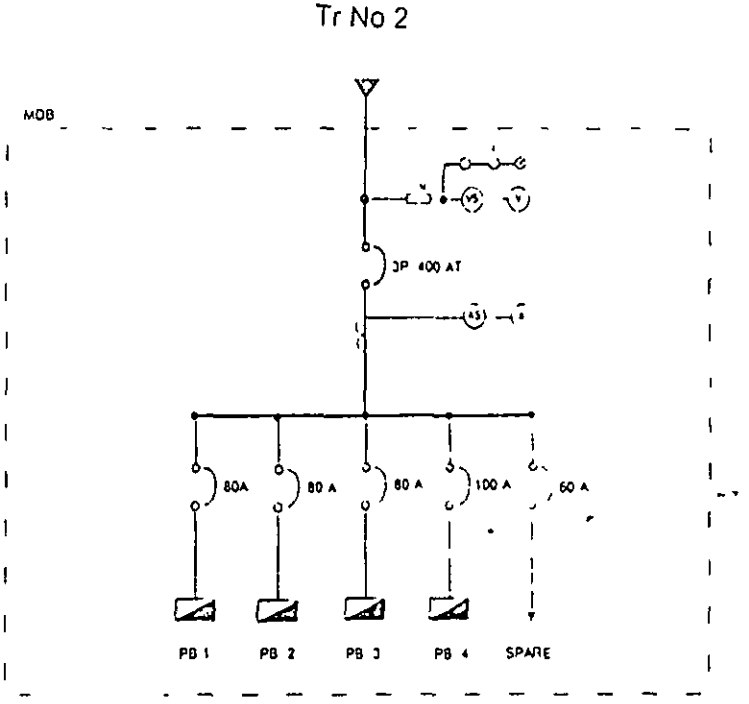
ภาพประกอบ 49 แผนผัง Single Line Diagram 1



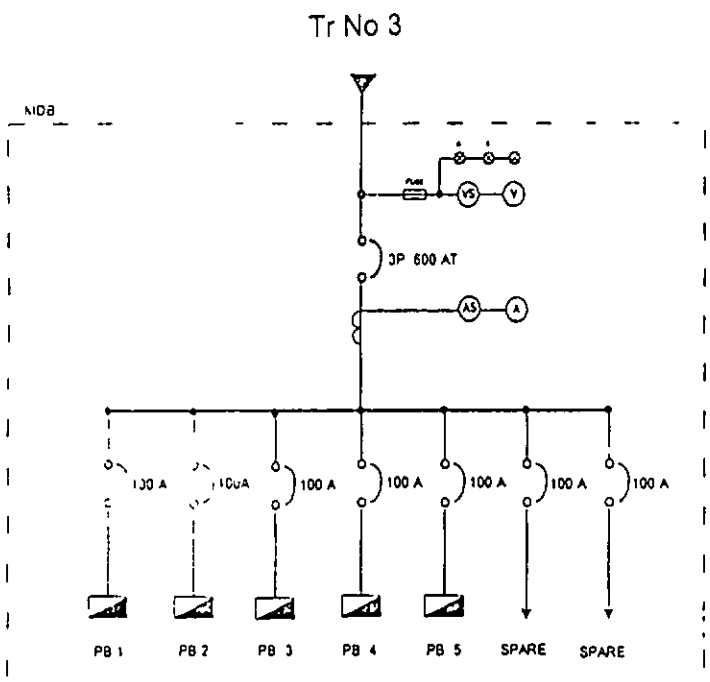
ภาพประกอบ 50 แผนผัง Single Line Diagram 2



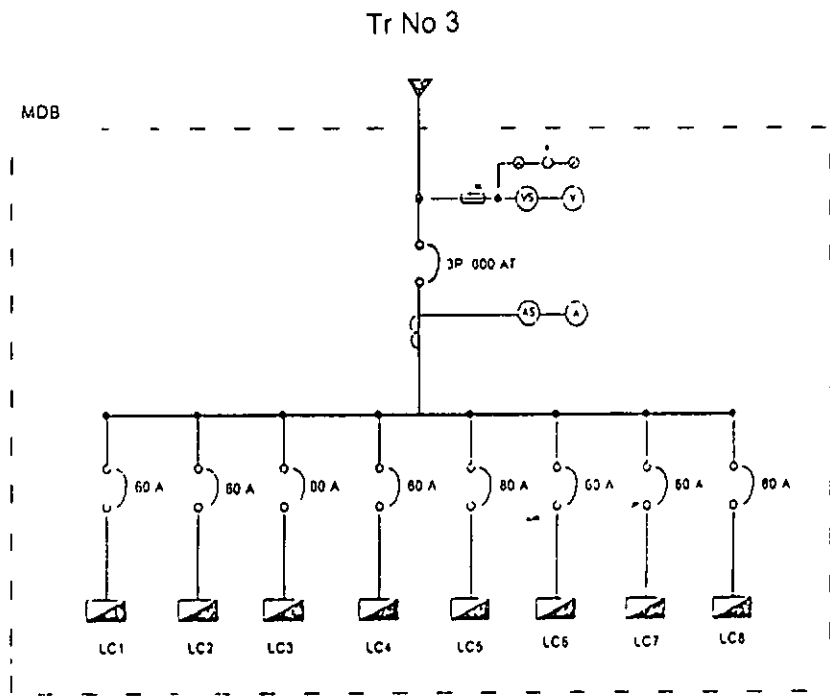
ภาพประกอบ 51 แผนผัง Single Line Diagram 3



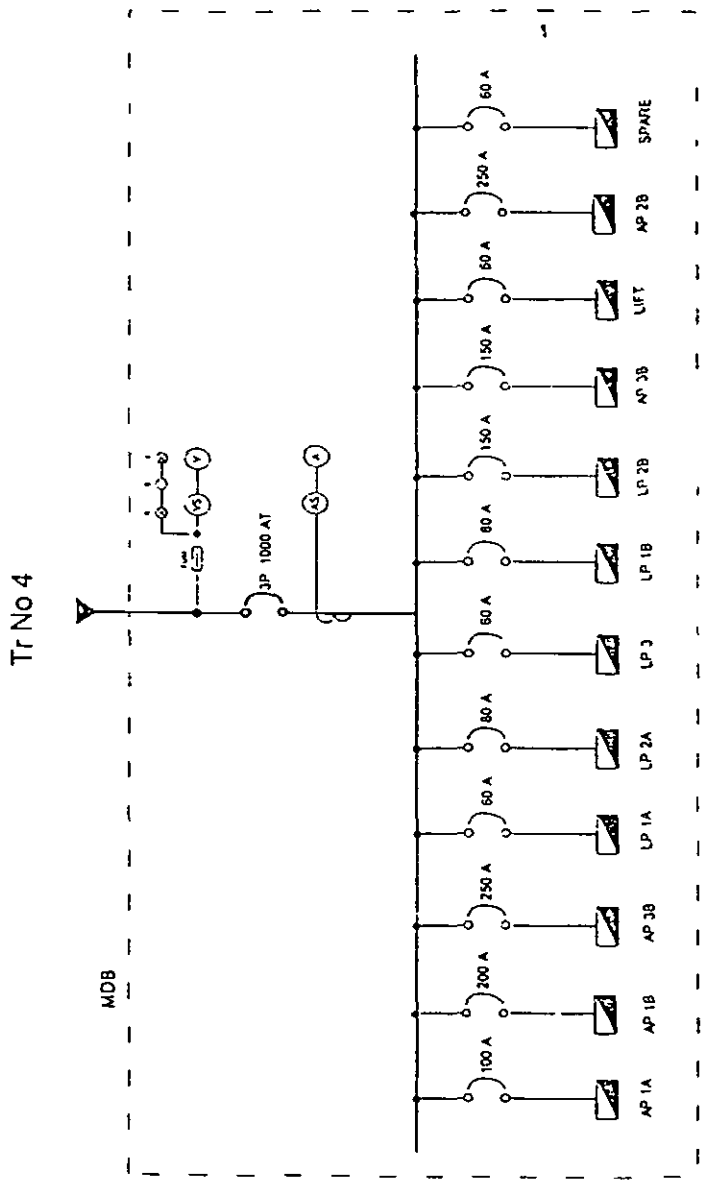
ภาพประกอบ 52 แผนผัง Single Line Diagram 4



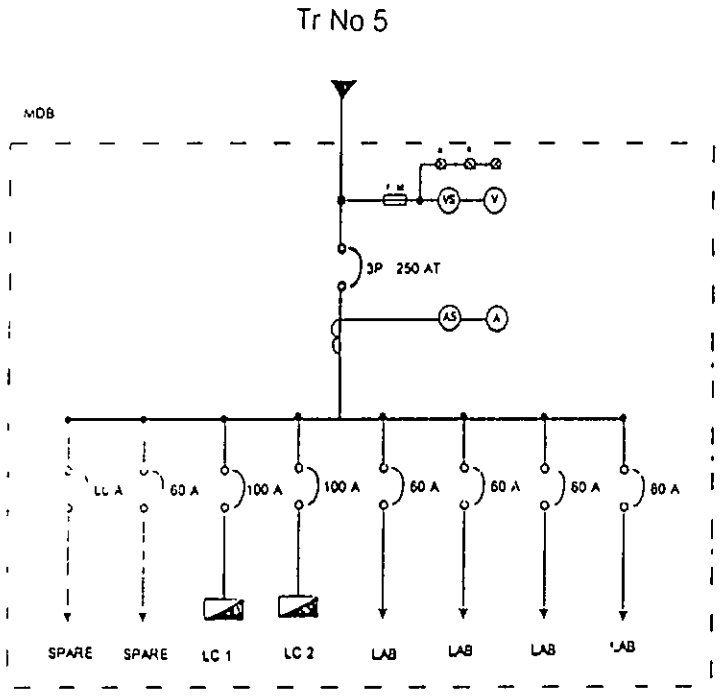
ภาพประกอบ 53 แผนผัง Single Line Diagram 5



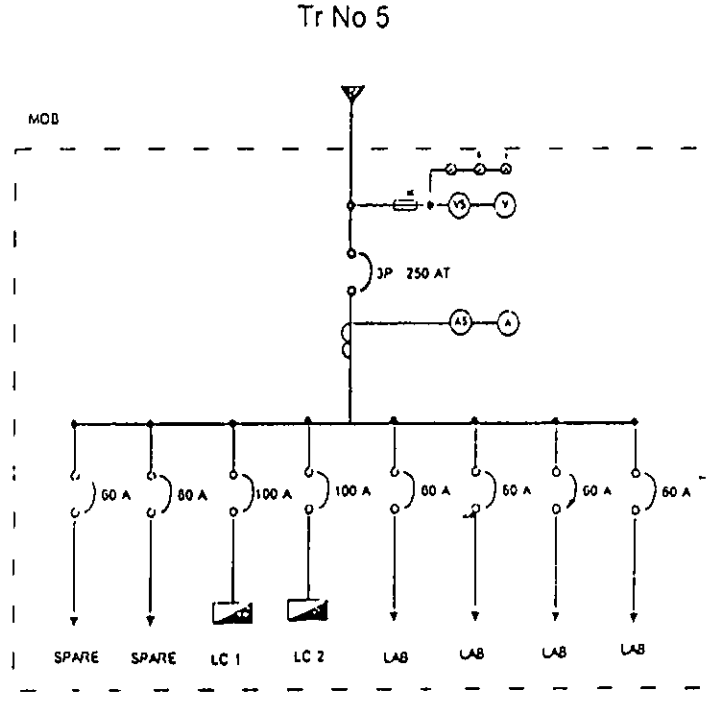
ภาพประกอบ 54 แผนผัง Single Line Diagram 6



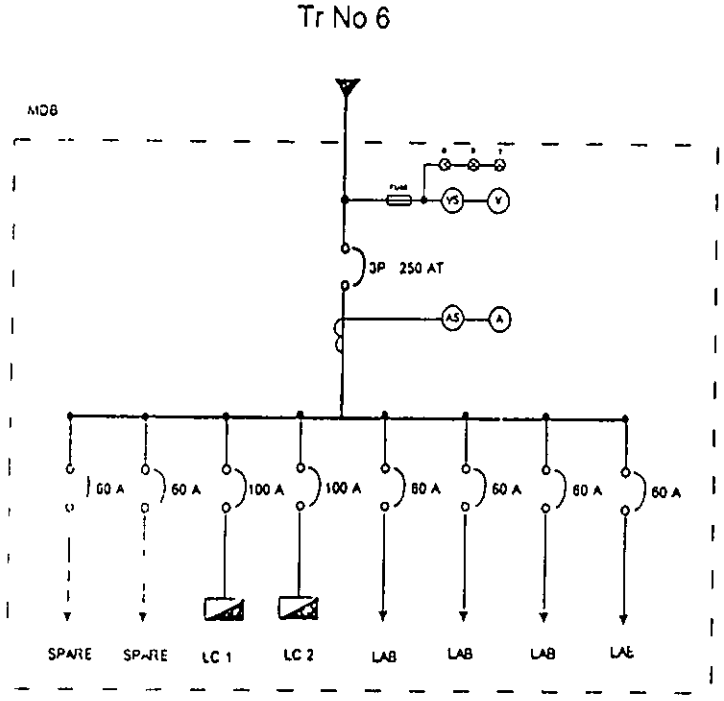
ภาพประกอบ 55 แผนผัง Single Line Diagram 7



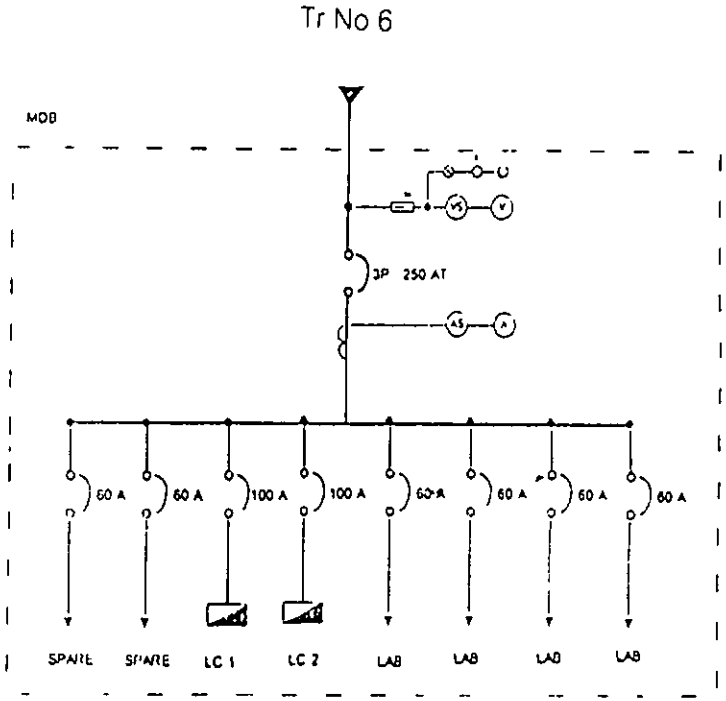
ภาพประกอบ 56 แผนผัง Single Line Diagram 8



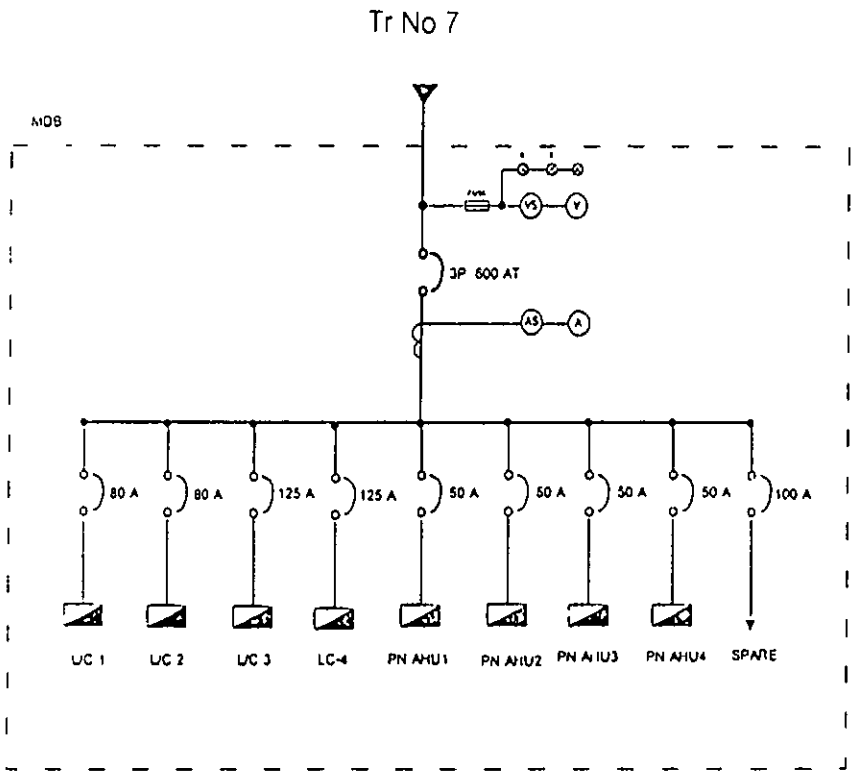
ภาพประกอบ 57 แผนผัง Single Line Diagram 9



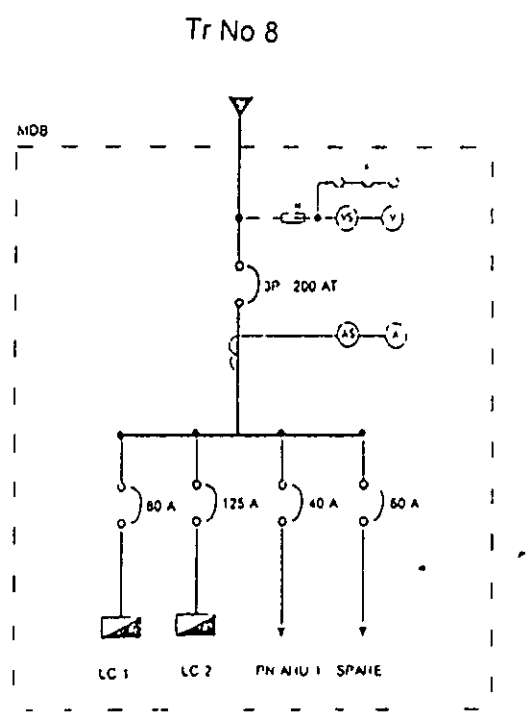
ภาพประกอบ 58 แผนผัง Single Line Diagram 10



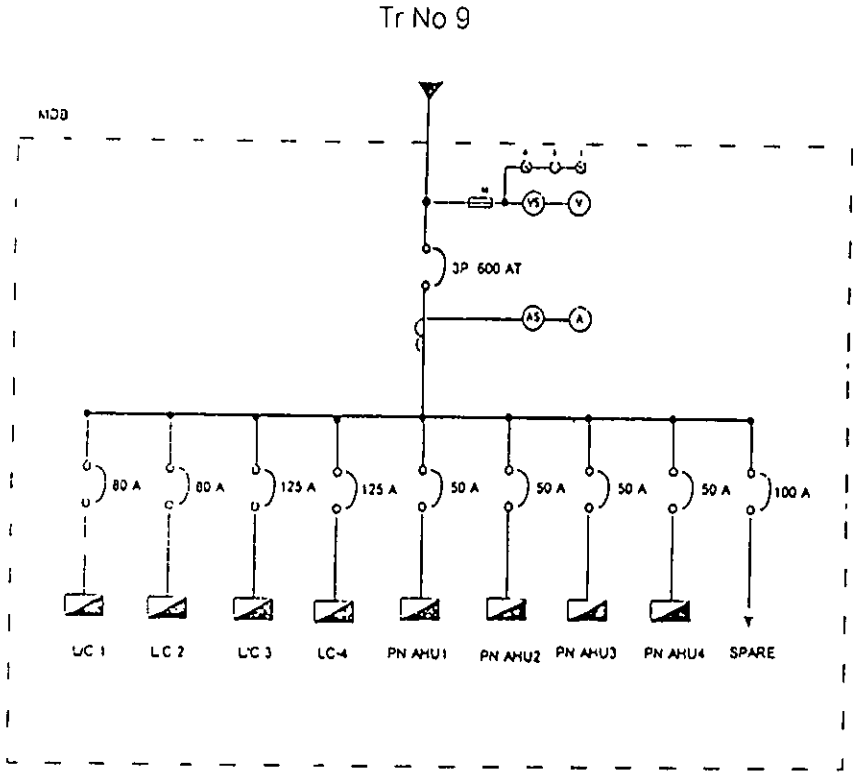
ภาพประกอบ 59 แผนผัง Single Line Diagram 11



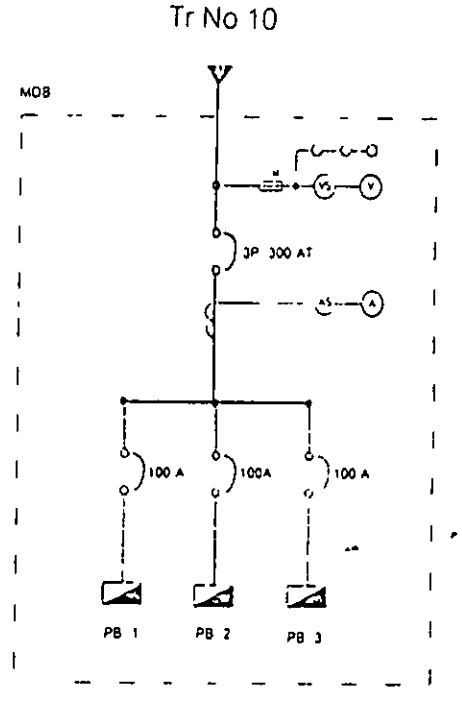
ภาพประกอบ 60 แผนผัง Single Line Diagram 12



ภาพประกอบ 61 แผนผัง Single Line Diagram 13



ภาพประกอบ 62 แผนผัง Single Line Diagram 14



ภาพประกอบ 63 แผนผัง Single Line Diagram 15

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-ชื่อสกุล	นายวรพจน์ งามชมภู
วันเดือนปีเกิด	12 มิถุนายน พ ศ 2521
สถานที่เกิด	อำเภอเพ็ญ จังหวัดอุดรธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	278/2 ตำบลเมืองเก่า อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ตำแหน่งหน้าทีการงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ประวัติการศึกษา	

พ ศ 2540	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
พ ศ 2542	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์ โรงเรียนเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
พ ศ 2545	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ