ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
ปริญญา

วิศวกรรมเครื่องกล	วิศวกรรมเครื่องกล
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์กรุงเทพมหานคร

Energy Utilization Index and Benchmarking for Medical Service Department, Bangkok Metropolitan Administration

นามผู้วิจัย นางสาวศิรินาถ ทองขาว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....
(รองศาสตราจารย์สมพงษ์ พิเชฐภิญโญ, M.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา ....
(รองศาสตราจารย์ชวลิต กิตติชัยการ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....
(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับ
หน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร

Energy Utilization Index and Benchmarking for
Medical Service Department, Bangkok Metropolitan Administration

โดย

นางสาวศิรินาถ ทองขาว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิรินาถ ทองขาว 2554: ดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ, Ph.D. 186 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดและจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ ที่มีความเหมาะสมกับสภาพการดำเนินงานและขนาดขององค์กร โดยดัชนีชี้วัดถูกพัฒนาอยู่บนหลักการพื้นฐานทางวิศวกรรมและอยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อผู้ที่จะนำไปใช้งาน ดัชนีชี้วัดที่พัฒนาขึ้นเป็นอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมของหน่วยงานกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของหน่วยงาน และปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณการใช้จริงนั้นสามารถดูได้จากบิลค่าไฟฟ้าของหน่วยงาน สำหรับปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมนั้นนำแนวคิดมาจากค่ามาตรฐานการใช้พลังงานซึ่งกำหนดตามกฎหมายหรือแนะนำโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือมาจัดสร้างเป็นสมการ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งานได้แก่ จำนวนผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน เจ้าหน้าที่และอุณหภูมิภายนอกอาคาร

เมื่อนำจำนวนผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน เจ้าหน้าที่ และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (ปี 2551) มาแทนลงในสมการเพื่อคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมของแต่ละหน่วยงานพบว่ามีค่าน้อยกว่าการใช้จริงมาก ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นหากหน่วยงานสามารถปรับปรุงวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ย่อมส่งผลให้ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารผ่านเกณฑ์และสามารถประหยัดพลังงานได้

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานนั้นไม่เพียงแต่มีประโยชน์เพื่อวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหน่วยงานเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้ในการวางแผนและกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ทำให้มีการใช้พลังงานอย่างประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย อย่างไรก็ดีสมการการใช้พลังงานที่เหมาะสมควรจะต้องมีการปรับปรุงเป็นระยะๆ ทุก 3 ปีหรือ 5 ปี ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอาคารและจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น

________________ ________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sirinath Thongkaw 2011: Energy Utilization Index and Benchmarking for Medical Service Department, Bangkok Metropolitan Administration. Master of Engineering (Mechanical Engineering), Major Field: Mechanical Engineering, Department of Mechanical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Kriengkrai Assawamartbunlue, Ph.D. 186 pages.

The objective of this study is to develop energy index and benchmarking for Medical Service Department, Bangkok Metropolitan Administration that are appropriated to the nature and the size of the agency and then define to energy benchmark. An efficient index based on engineering principles and eases of user. The index is a ratio between the difference of optimal energy consumption and actual energy consumption and optimal energy consumption. The actual energy consumption is the amount indicated in an energy invoice. The optimal energy consumption is derived from several energy standards and codes in form of equation as a function of variables such as number of outpatients, inpatients, staffs and ambient temperature.

Then inputs number of outpatients, inpatients, staffs and ambient temperature (at 2008) are substituted into optimal energy consumption equation find that the predicted energy consumption is lower than the actual consumption due to materials and electrical equipments are not pass energy standards and cods. So if the agencies can improve materials and electrical equipments until pass then affect to energy saving.

Energy utilization index is not only usage to identify whether energy is efficient used but also plan and establish energy criterion for increase efficient of energy usage consumption. However, optimal energy consumption equation need improve every 3 or 5 years depend on function of building and number of equipment.

____________________ ____________________ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สมพงษ์ พิเชฐภิญโญ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สั่งสอนชี้แนะแนวทางการทำงานวิจัย ตลอดจนการดูแลให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์และสัมฤทธิ์ผล รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิศวกรรมเครื่องกลที่สั่งสอนอบรมวิชาความรู้จนจบการศึกษา และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ทศพล เขตเจนการ อาจารย์ตัวแทนจากบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานครที่สนับสนุนทุนการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานทั้ง 5 แห่งทุกท่านที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนการศึกษาจนสามารถสำเร็จการศึกษาด้วยดี

ศิรินาถ ทองขาว
กันยายน 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	43
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	47
ผล	53
วิจารณ์	90
สรุปและข้อเสนอแนะ	96
สรุป	96
ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	100
ภาคผนวก	102
ภาคผนวก ก ข้อกำหนดด้านพลังงานที่นำมาปรับใช้ในงานวิจัย	103
ภาคผนวก ข รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าจากหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง	147
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	186

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร	19
2	แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร	20
3	แสดงค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์) ส่องสว่างสูงสุด	21
4	แสดงประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น	22
5	แสดงประสิทธิภาพขั้นต่ำหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน	22
6	แสดงประสิทธิภาพขั้นต่ำฮีตปั๊ม	23
7	แสดงกำลังไฟฟ้า (วัตต์) จากโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง	25
8	แสดงกำลังไฟฟ้า (วัตต์) จากโครงการติดฉลากอุปกรณ์โดยสมัครใจ	29
9	ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอย	33
10	แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตามแนวทางของ SEC	36
11	แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตามแนวทางของ EUI	37
12	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติ เฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดอาคารสำนักการแพทย์ 1	56
13	แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าอาคารสำนักการแพทย์ 1	57
14	แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอาคารสำนักการแพทย์ 1	58
15	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากการความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์	62
16	แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์	62
17	แสดงผลการและการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอาคารเฉลิมพระอาคารสังฆราชย์	65

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดอาคารเอนกประสงค์ 69
19 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าอาคารเอนกประสงค์ 70
20 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอาคารอเนกประสงค์ 71
21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราช 75
22 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าอาคารพระเจ้าตากสิมหาราช 76
23 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอาคารพระเจ้าตากสินมหาราช 77
24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี 81
25 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี 82
26 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอาคารอนุสรณ์100 ปี 83
27 แสดงความแตกต่างระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและได้ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง 87
28 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง 88
29 แสดงผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกอาคารการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง 90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก1	แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร	108
ก2	แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร	108
ก3	แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ	109
ก4	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของวัสดุต่างๆ	110
ก5	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า	114
ก6	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง	118
ก7	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท	119
ก8	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance)	120
ก9	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรมหรือโรงพยาบาล (W/m^2)	121
ก10	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซุปเปอร์มาร์เก็ต (W/m^2)	122
ก11	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคา	124
ก12	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร	125
ก13	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้อาคาร	125
ก14	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท	127
ก15	เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพพัดลมตั้งโต๊ะและติดผนัง	131
ก16	เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพพัดลมตั้งพื้น	132
ก17	เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพัดลมตั้งโต๊ะและติดผนัง	133

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ หน้า

ตารางผนวกที่		หน้า
ก18	เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพพัดลมตั้งโต๊ะ	133
ก19	เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน	138
ก20	เกณฑ์การคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของหม้อหุงข้าวที่กำหนด	139
ก21	เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานความร้อนขั้นต่ำของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า	140
ก22	เกณฑ์การติดฉลากประสิทธิภาพพลังงานหม้อหุงข้าว	142
ก23	เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานหม้อหุงข้าว	143
ก24	เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์	144
ก25	เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานโทรทัศน์	144
ก26	เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องเสียงในบ้าน	145
ก27	เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานอุปกรณ์หลายหน้าที่ เครื่องแสกนเอกสาร เครื่องพิมพ์	146
ข1	อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากสำนักการแพทย์	148
ข2	เครื่องปรับอากาศสำนักการแพทย์	149
ข3	อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลราชพิพัฒน์	150
ข4	เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลราชพิพัฒน์	151
ข5	เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลราชพิพัฒน์	154
ข6	อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์	155
ข7	เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์	156
ข8	เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์	159
ข9	อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลตากสิน	160
ข10	เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลตากสิน	161
ข11	เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลตากสิน	166
ข12	อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลกลาง	168
ข13	เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลกลาง	169
ข14	เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลกลาง	183

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการสมดุลความร้อนภายในโซนที่พิจารณา	11
2	ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม Energy plus	16
3	ฉลากประสิทธิภาพสูง	25
4	เครื่องหมาย Energy Star	28
5	ความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ e ที่มีความเหมาะสม	31
6	ขั้นตอนการจัดสร้างดัชนีการใช้พลังงาน	46
7	แบบจำลองอาคารสำนักการแพทย์ 1	47
8	แบบจำลองอาคารเฉลิมพระเกียรติ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์	48
9	แบบจำลองอาคารเฉลิมสังฆราชย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์	48
10	แบบจำลองอาคารเอนกประสงค์ โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์	50
11	แบบจำลองอาคารอนุสรณ์ 100 ปี	51
12	แบบจำลองอาคารสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช	52
13	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus อาคารสำนักการแพทย์ 1	53
14	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารสำนักการแพทย์ 1 หลังสอบเทียบ (Generated)	54
15	เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรม Energy plus และจากสมการที่ (16) อาคารสำนักการแพทย์ 1	59
16	ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารปี 2551 อาคารสำนักการแพทย์ 1	60
17	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์	60
18	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์ หลังสอบเทียบ (Generated)	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	เปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฟฟ้าจากสมการ (17) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) อาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์	66
20	ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์ 2551	66
21	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารเอนกประสงค์	67
22	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารเอนกประสงค์หลังสอบเทียบ (Generated)	68
23	เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรม Energy plus และจากสมการที่ (18) อาคารเอนกประสงค์	72
24	ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารปี 2551 อาคารเอนกประสงค์	74
25	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช	73
26	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราชหลังสอบเทียบ (Calibrated)	74
27	เปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฟฟ้าจากสมการ (19) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช	78
28	ดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช	78
29	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารเอนกประสงค์	79
30	เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี (Generated)	80
31	เปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฟฟ้าจากสมการ (20) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) อาคารอนุสรณ์ 100 ปี	84
32	ดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 อาคารอนุสรณ์ 100 ปี	84
33	ดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 จากหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง	89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

34 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักการแพทย์ 1 จากสมการของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้ 91

35 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์จากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้ 92

36 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเอนกประสงค์จากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้ 92

37 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราชจากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้ 93

38 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี จากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้ 93

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับหน่วยงาน ในสังกัดสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร

Energy Utilization Index and Benchmarking for Medical Service Department, Bangkok Metropolitan Administration

คำนำ

จากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศที่มีอย่างรวดเร็วส่งผลให้ประเทศมีความต้องการใช้พลังงานสูงเพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจรวมถึงภาครัฐบาลซึ่งถือเป็นหน่วยงานที่ให้การบริการแก่ประชาชน เพื่อให้มีการลดการใช้พลังงานและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในหน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจตลอดจนเป็นตัวอย่างที่ดีให้กับภาคเอกชน รัฐบาลจึงได้มีมติคณะรัฐบาลออกมาเป็นระยะเพื่อให้หน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจดำเนินการลดการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันได้อย่างเป็นรูปธรรม อาทิเช่น กำหนดให้มีปริมาณการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 5-10 จากเดิม จนกระทั่งปี 2548 ได้กำหนดให้ผลการประหยัดพลังงานเป็นตัววัดประสิทธิภาพของหน่วยงาน และให้ปลัดกระทรวง อธิบดี ผู้บริหารระดับสูงของทุกหน่วยงานนำงบประมาณที่ประหยัดได้ไปเป็นเงินรางวัลและให้ทุกหน่วยงานจัดตั้งคณะกรรมการรณรงค์และประเมินผลการประหยัดพลังงาน (ณัฐเดช, 2551)

นโยบายที่ผ่านมาของรัฐบาลเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานเพียงอย่างเดียว ไม่ได้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน แต่ในข้อเท็จจริงหน่วยงานราชการมีความแตกต่างกันหลายประการ เช่น ลักษณะและที่ตั้งอาคารที่หน่วยงานนั้นตั้งอยู่ ลักษณะการใช้งานอาคาร กิจกรรมของหน่วยงาน หน้าที่หลักหรือการให้บริการของหน่วยงาน ขนาดของหน่วยงานในแต่ละกระทรวงที่แตกต่างกัน บางหน่วยงานก็มีการขยายภารกิจเพิ่มขึ้นมา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลโดยตรงถึงการใช้พลังงานโดยรวมของหน่วยงาน ทำให้เกิดความไม่เป็นธรรมสำหรับบางหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอยู่แล้ว แต่ปริมาณการใช้พลังงานมีค่าสูงขึ้นตามภารกิจที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการกำหนดตัวชี้วัดการประหยัดพลังงานดังกล่าวโดยใช้ปริมาณการใช้พลังงานเพียงอย่างเดียวคงไม่เพียงพอและไม่สามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ถือเป็นหน่วยงานที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากทั้งยังควบคุมยากเนื่องจากมีการใช้จาก 2 ส่วน คือ เจ้าหน้าที่และผู้มารับบริการ เวลาในการให้บริการก็ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับการให้บริการ หากเป็นในส่วนของผู้ป่วยนอกจะเปิดให้บริการในเวลาราชการ หากเป็นผู้ป่วยในหรือห้องฉุกเฉินอาจมีการให้บริการตลอดเวลาหากมีผู้ป่วยอยู่ หรืออาจไม่มีการใช้เลยก็ได้หากไม่มีผู้ป่วย จะเห็นได้ว่าหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์เองก็มีปัญหาเช่นเดียวกับหน่วยงานราชการอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นหากสามารถหาดัชนีการใช้พลังงานและกำหนดเป็นเกณฑ์การใช้พลังงานได้ จะทำให้หน่วยงานทราบว่าตนนั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีแล้วหรือต้องปรับปรุงเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ซึ่งจะได้ใช้เป็นกำหนดแนวทางด้านพลังงานของหน่วยงานต่อไป

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางหนึ่งในการพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานของหน่วยงาน โดยนำแนวคิดของดัชนีการใช้พลังงานมาปรับใช้ในแบบ EUI (energy utilization index) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของหน่วยงานดังแสดงในสมการที่ (1)

$$EUI = \frac{OEC - AEC}{OEC} \quad (1)$$

โดย AEC (Actual energy consumption) คือ ปริมาณการใช้จริงซึ่งสามารถดูได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของหน่วยงาน และ OEC (Optimal energy consumption) คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมซึ่งมีลักษณะเป็นสมการที่แปรเปลี่ยนไปตามตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ จำนวนผู้ป่วยนอก จำนวนผู้ป่วยใน จำนวนเจ้าหน้าที่ และอุณหภูมิภายนอกอาคาร ทั้งนี้ตัวแปรที่กล่าวมาเป็นตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทั้งสิ้นและหน่วยงานมีการเก็บข้อมูลเหล่านี้อยู่แล้วทุกเดือน จึงง่ายต่อการทำความเข้าใจและนำมาใช้ สำหรับ OEC จะต้องจัดสร้างขึ้นมาโดยนำค่ามาตรฐานการใช้พลังงานซึ่งกำหนดตามกฎหมายหรือแนะนำโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือได้แก่ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์จากโครงการฉลากประสิทธิภาพสูงโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและโครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจจากประเทศอเมริกามาคิดคำนวณ

ด้วยวิธีการดังกล่าว หน่วยงานจะสามารถทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงานตนเองในแต่ละเดือนได้ง่ายและมีความเป็นจริงเนื่องจากมีการแปรเปลี่ยนตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่เปลี่ยนไปในแต่ละเดือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์

2. เพื่อจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ที่มีความถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพการดำเนินงานและขนาดขององค์การที่แตกต่างกันซึ่งสามารถนำมากำหนดเป็นเกณฑ์การใช้พลังงานของหน่วยงานได้

ขอบเขตงานวิจัย

พัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ 5 แห่ง ประกอบด้วย อาคารสำนักงานสำนักการแพทย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์ โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์ โรงพยาบาลตากสิน และโรงพยาบาลกลาง ในรูปแบบของ EUI โดยทำการจัดสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงาน กำหนดตัวแปรต้นได้แก่ จำนวนผู้ป่วยใน จำนวนผู้ป่วยนอก จำนวนเจ้าหน้าที่ และอุณหภูมิภายนอกอาคาร โดยนำค่ามาตรฐานการใช้พลังงานซึ่งกำหนดตามกฎหมายหรือแนะนำโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือได้แก่ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์จากโครงการฉลากประสิทธิภาพสูงโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและโครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจจากประเทศอเมริกามาคิดคำนวณ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ดัชนีและเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตนเอง และสถานะเมื่อเทียบกับหน่วยงานอื่น ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีในการติดตามผลการดำเนินงานในระยะยาว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเป็นเครื่องมือหนึ่งซึ่งทำให้หน่วยงานสามารถวัดประสิทธิผลของการใช้พลังงานในการผลิตสินค้าต่อหนึ่งชิ้นได้ นอกจากนี้ยังมีประโยชน์อย่างมากในการติดตามและควบคุมการใช้พลังงานซึ่งโรงงานควรจะจัดทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือน ค่าที่ได้นี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง และยังสามารถนำไปเทียบเคียงกับค่าดัชนีการใช้พลังงานเพื่อประเมินว่าโรงงานมีการใช้พลังงานอยู่ในระดับใดได้อีกด้วย

ดัชนีชี้วัดที่นิยมใช้ในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบโดยทั่วไปมี 2 แนวทางได้แก่ Specific energy consumption (SEC) และ EUI (Energy utilization index)

1.1 Specific energy consumption, SEC คือ อัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากการใช้พลังงานนั้น (วัชระ, 2544) โดยขั้นตอนและกระบวนการผลิตซึ่งมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานนี้ จะแตกต่างกันตามประเภทของผลิตภัณฑ์

$$\text{SEC} = \frac{\text{Energy input}}{\text{Production output}} \tag{2}$$

จากความหมายของ SEC แสดงให้เห็นว่าค่า SEC ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี แนวทางนี้เป็นที่นิยมมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ค่า SEC ในอุตสาหกรรมยางคือปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตยางหนึ่งกิโลกรัมซึ่งปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 12.89 (จูล/กิโลกรัม) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2551) เมื่อโรงงานผลิตยางทราบค่าดังกล่าวก็จะมีเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของตนเองเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้สามารถแข่งขันกับโรงงานอื่นได้ หากโรงงานใดมีค่า SEC ที่เกินจากค่านี้อาจจะพิจารณาได้ว่ามีการใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ยซึ่งอาจจะเสียเปรียบผู้แข่งขันรายอื่น หรือสำนักงาน ศูนย์การค้า และสถานศึกษา ใช้ในรูปแบบของการใช้พลังงานต่อตารางเมตรของพื้นที่ (เมกะจูลต่อตารางเมตร) ส่วนโรงแรมจะใช้ในรูปของการใช้พลังงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อห้องต่อวันที่มีแขกเข้าพัก (เมกะจูลต่อห้อง-วัน) และโรงพยาบาลจะใช้ในรูปของการใช้พลังงานต่อเตียงต่อวันที่มีผู้ป่วยในเข้าพัก (เมกะจูลต่อเตียง-วัน)

1.2 Energy utilization index, EUI คือ ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าตัวหนึ่งที่มีลักษณะแตกต่างจาก SEC ตามสมการ (3)

$$\text{EUI}=\frac{\text{Optimum electric energy usage-Actual electric energy usage}}{\text{Optimum electric energy usage}} \qquad (3)$$

“Optimum electric energy usage” คือ ปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอาคารประเภทนั้นๆ ส่วน “Actual electric energy usage” คือ ปริมาณการใช้พลังงานจริงซึ่งได้มาจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2550) ดังนั้น EUI จึงแสดงถึงความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้จริงกับปริมาณการใช้ที่ควรจะเป็น ซึ่งสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีโครงการพัฒนาวิธีการคำนวณค่า EUI สำหรับหน่วยงานราชการ โดยแบ่งกลุ่มของหน่วยงานออกเป็น 9 กลุ่มใหญ่ หน่วยงานประเภทโรงพยาบาลและจัดอยู่กลุ่มที่ 2 ซึ่งมีสมการสำหรับคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลดังนี้

$$\text{Optimum electric energy usage}=\begin{bmatrix} 0.948\times N_{staff}+0.079\times A_{useful} \\ +4.525\times Bed+0.238\times N_{outpatient} \\ +0.026\times N_{inpatient} \end{bmatrix}\times T_{amb} \qquad (4)$$

จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้พลังงานที่คำนวณได้จากสมการนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรที่อยู่ในสมการ ได้แก่จำนวนบุคลากร (N_{staff}) พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (A_{useful}) จำนวนเตียง (Bed) ผู้ป่วยนอก ($N_{outpatient}$) จำนวนผู้ป่วยใน ($N_{in\ patient}$) และอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก (T_{amb}) ตัวแปรเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในหน่วยงานทั้งสิ้น สำหรับค่าคงที่หน้าตัวแปรนั้นแสดงให้เห็นถึงน้ำหนักหรืออิทธิพลของตัวแปรต่อปริมาณการใช้พลังงานในหน่วยงานซึ่งได้มาจากการขอความร่วมมือจากโรงพยาบาลจำนวนมาก ในการกรอกข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตเพื่อนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การนำสมการมาใช้นั้นมีขั้นตอนคือต้องนำค่าต่างๆ ตามสมการ(4) มาคำนวณปริมาณการใช้ที่เหมาะสมก่อน จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่า EUI ต่อไป โดยหากค่า EUI มีค่าเป็นบวก แสดงว่าหน่วยงานมีปริมาณการใช้พลังงานจริงน้อยกว่าปริมาณที่เหมาะสมจัดว่าดี แต่ถ้ามีค่าเป็นลบ แสดงว่าหน่วยงานมีปริมาณการใช้พลังงานจริงมากกว่าที่ควรจะเป็นจัดว่าไม่ดี จากรูปแบบของสมการเห็นได้ว่าสามารถกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมของค่า EUI ได้โดยตรง คือ ทุกหน่วยงานจะต้องมี EUI มากกว่า 0.0 เป็นต้นไป ซึ่งหมายความว่าอย่างน้อยหน่วยงานควรมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงเท่ากับหรือน้อยกว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากแนวคิดของ SEC และ EUI นี้ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารพาณิชย์และอุตสาหกรรมจำนวนมากทั้งในและต่างประเทศ

สำหรับอาคารพาณิชย์พบว่ามีตัวแปรอื่นๆ นอกจากพื้นที่การใช้งานที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร อย่างเช่น สภาพอากาศ รูปแบบของผู้ใช้อากาศ การออกแบบระบบปรับอากาศ (HVAC) และชนิดอาคาร น่าจะมีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารแต่ในการศึกษานี้ยังไม่มีการจัดทำเป็นดัชนีการใช้พลังงานแต่อย่างใด (Monts and Blissett, 1982)

ด้านอุตสาหกรรมโรงแรม (Sharp, 1996) ได้จัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานโดยเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่คาดว่าจะมีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานทั้งสิ้น 80 ตัวแปร และผลจากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและตัวแปรทั้งหมดโดยวิธีทางสถิติแบบพหุตัวแปร พบว่ามีเพียง 3 ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานได้แก่ พื้นที่ภายในอาคารต่อจำนวนห้องพัก (SFLDGRM) พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนคน (DEMMTR) และจำนวนพนักงานต่อพื้นที่ห้อง (NWKERKSF) ดังแสดงในสมการ

$$\log(\mathrm{EUI}) = 7.37 - 0.385 \times \log(\mathrm{SFLDGRM}) + 0.824 \times (\mathrm{DEMMTR}) + 0.329 \times \log(\mathrm{NWKERKSF}) \quad (5)$$

ในประเทศบราซิลพบว่าเมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple linear regression) และโปรแกรม Visual DOE 2.6 นั้นผลของ 2 วิธีนี้มีความแตกต่างน้อยมาก (Signor *et al.*, 2001) โดยสมการทำนายดังแสดงในสมการที่ (6)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$C = a + b_1 + b_2\left(\frac{A_{roof} + U_{roof} + \alpha_{roof}}{A_{total}}\right) + b_3\left(\frac{A_{facade}}{A_{total}}\right) + b_4\left(\frac{A_{facade} \times WWR \times SC}{A_{total}}\right)$$

$$-b_5\left(\frac{A_{facade} \times WWR \times SC \times PF}{A_{total}}\right) + b_6(WWR) - b_7(WWR \times SC) - b_8(PF) + b_9(ILD) \quad (6)$$

โดย

C	คือ	การใช้พลังงานใน 1 ปี; กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร
A_{roof}	คือ	พื้นที่หลังคา; ตารางเมตร
A_{total}	คือ	พื้นที่ทั้งหมด; ตารางเมตร
$A_{façade}$	คือ	พื้นที่ผนังกระจก; ตารางเมตร
WRR	คือ	อัตราส่วนของหน้าต่างกับผนัง
PF	คือ	projection factor ของส่วนที่ยื่นของหน้าต่าง
SC	คือ	สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก
U_{roof}	คือ	การกระจายความร้อนของหลังคา; วัตต์ต่อตารางเมตร- องศาเซลเซียส
α_{roof}	คือ	การดูดความร้อนของหลังคา; วัตต์ต่อตารางเมตร
ILD	คือ	ความเข้มของกำลังไฟฟ้าภายในอาคาร; กิโลวัตต์

โดย a, b1, b2, b3, b4, …, b9 เป็นค่าสัมประสิทธิ์คงที่

ในประเทศฮ่องกง (Chung *et al.*, 2007) พบว่า การใช้พลังงานของอาคารพาณิชย์ นั้นมีตัวแปรที่ความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานได้แก่ อายุของอาคาร พื้นที่ภายในอาคาร จำนวนชั่วโมงทำงาน จำนวนผู้มาใช้บริการ และพฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงานในด้านการใช้พลังงาน (โดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนัก) สำหรับวิธีในการวิเคราะห์นั้นใช้โปรแกรมสำเร็จรูป S Plus

$$EUI_{norm} = EUI_0 - 972.7 \times \left(\frac{\text{Building age} - 21.3}{11.29}\right) + 1519.2 \times \left(\frac{\text{Floor area} - 219.37}{175.76}\right) - 588.4$$

$$\times \left(\frac{\text{Operation schedual} - 7071.9}{1777.9}\right) - 470.3 \times \left(\frac{\text{Number of customer} - 441350}{229057}\right) + 411.5$$

$$\times \left(\frac{\text{Occupants behaviour} - 1.97}{1.73}\right) \quad (7)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับประเทศไทยในอุตสาหกรรมเหล็ก (กระทรวงพลังงาน, 2548) ได้จัดทำดัชนี (SEC) และมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmark) ขึ้น โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากโรงงาน 78 แห่ง โดยแบ่งเป็น 7 กลุ่มใหญ่ตามผลิตภัณฑ์และ 15 กลุ่มย่อยตามกระบวนการผลิต สำหรับค่า SEC ของแต่ละกลุ่มแตกต่างกันตามสมการที่ (8) และ (9) ดังนี้

$$\text{Electricity consumption}=\left(\frac{\text{Total Elec. A}+\text{Total Elec. B}+\text{Total Elec. C}}{\text{Bar prod A.}+\text{Bar prod B.}+\text{Bar prod C.}}\right) \tag{8}$$

$$\text{Energy consumption}=\left(\frac{\text{Total Ener. A}+\text{Total Ener. B}+\text{Total Ener. C}}{\text{Bar prod A.}+\text{Bar prod B.}+\text{Bar prod C.}}\right) \tag{9}$$

หมายเหตุ: A, B และ C หมายถึง โรงงานแต่ละราย

นอกจากนี้ยังได้มีการนำข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กไทยมาเปรียบเทียบกับประเทศผู้ผลิตที่มีความเป็นเลิศได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และเยอรมัน โดยแยกตามกระบวนการผลิต คือ ขั้นตอนการหลอม และการอบเหล็ก ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานต่อผลผลิตของไทยนั้นสูงกว่าทั้ง 3 ประเทศที่ได้กล่าวมาแล้วมาก

สำหรับสถานพยาบาลขนาดเล็กในเมืองวิคตอเรีย ประเทศอังกฤษ (Murray *et al*., 2007) ได้นำมาตรฐานการใช้พลังงาน (ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง) ของสหราชอาณาจักรที่ได้จัดทำขึ้นไว้แล้วสำหรับโรงพยาบาลมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับสถานพยาบาลขนาดเล็ก โดยพบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับสถานพยาบาลขนาดเล็ก คือ 0.2 จิกะจูลต่อปริมาตรห้อง ซึ่งแตกต่างจากค่ามาตรฐานของสถาบันวิจัยและค้นคว้าแห่งสหราชอาณาจักรที่มีค่ามาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับอาคารขนาดเล็ก 0.16 จิกะจูลต่อปริมาตรห้อง เนื่องจากการปรับอุณหภูมิของห้องภายในสถานพยาบาลนั้นถูกกำหนดไว้ที่ 23 องศาเซลเซียส สูงกว่าอาคารทั่วไปอยู่ 3 องศาเซียลเซียส

หน่วยงานราชการภายในศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ (ณัฎฐเดช, 2551) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับสภาพการทำงานของหน่วยงานต่างๆ ภายในศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่ ในขั้นต้นนั้นตั้งสมมติฐานว่าตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานน่าจะได้แก่ ขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ความเข้มกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า จำนวน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุคลากร เวลาทำการ จำนวนผู้มาใช้บริการ เวลาในการให้บริการ และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for windows เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผล ดังนี้

$$\text{Electricity consumption}=474.499+5079.386\times\left(0.334\times\left(\frac{\text{Building area-898.84}}{2030.74}\right)\right)$$

$$+0.037\times\left(\frac{\text{Lamp-10082.25}}{16640.98}\right)+0.335\times\left(\frac{\text{Aircondition-56428.33}}{76407.86}\right)^2+(0.196\times\text{Customer}) \quad (10)$$

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยนี้ต้องทำการศึกษาข้อมูลหลายส่วนเพื่อประกอบงานวิจัยได้แก่

1. หลักการคำนวณภาระการปรับอากาศและโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน Energy plus

2. ค่ามาตรฐานด้านพลังงานจากสถาบันที่มีความน่าเชื่อถือได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) ค่ากำลังส่องสว่างสูงสุด จากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์จากโครงการฉลากประสิทธิภาพสูงโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและโครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจจากประเทศอเมริกา ข้อมูลของแต่ละสถาบันประกอบด้วย ค่าที่กำหนด และวิธีการคำนวณเพื่อประเมินอาคาร

3. การวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อจัดสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของอาคาร (OEC)

1. การคำนวณภาระทางความร้อน

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นมีปัจจัยทีเกี่ยวข้องหลายประการ ขั้นตอนการคำนวณมีความซับซ้อน เนื่องจากอิทธิพลของการสะสมความร้อนในส่วนต่างๆ ของพื้นที่ ทำให้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณค่อนข้างที่จะยุ่งยาก ทำให้มีการคิดค้นวิธีการต่างๆ ขึ้นมา เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้งานจริง ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ วิธี CLTD (ซึ่งเป็นวิธีที่มีพื้นฐานมาจากวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) แต่ไม่ซับซ้อนเท่า การคำนวณวิธีนี้คำนวณจากสมการของการนำความร้อน ($q=UA\Delta T$) และภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จะเป็นการทำความเย็นสูงสุดโดยประมาณ เนื่องจากเป็นการคำนวณผ่านค่าคงที่สูงสุดของอาคาร แต่วิธีการนี้กำหนดสมมุติฐานขึ้นหลายข้อจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาไปมาก คอมพิวเตอร์สามารถช่วยในการคำนวณที่ซับซ้อนได้จึงเริ่มมีการกลับมาใช้วิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น

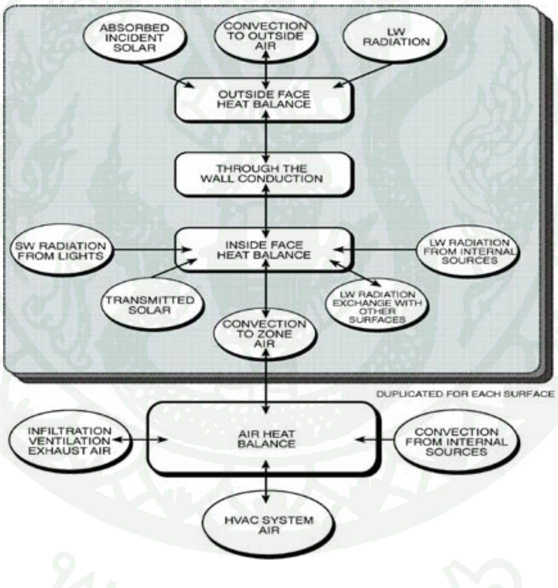
วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี (The radiant time series methods) เป็นการคำนวณภาระทางความร้อนอีกวิธีหนึ่งที่มีพื้นฐานมาจากวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) แต่ลดขั้นตอนลง วิธีการนี้เสนอรูปแบบการคำนวณที่เข้มงวดแต่ไม่เน้นการคำนวณแบบวนรอบ (Iterative calculations) ผู้ออกแบบสามารถเปรียบเทียบภาระทางความเย็นของห้องตั้งแต่เริ่มคำนวณจากค่าคงที่การออกแบบของโครงสร้างและโซนห้องที่ต่างกัน ด้วยลักษณะที่ได้กล่าวมาจึงทำให้วิธีการนี้ง่ายในการคำนวณ ทั้งนี้วิธีนี้เหมาะสำหรับการคำนวณหาภาระสูงสุดของห้องแต่ไม่เหมาะกับการคำนวณการใช้พลังงานรายปีเนื่องจากขีดจำกัดของสมติฐานในการคำนวณ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงยุ่งยากหากจะคำนวณด้วยมือเนื่องจากมีส่วนประกอบหลายส่วน

วิธีฟังก์ชั่นถ่ายโอนความร้อน(Transfer function methods) มีหลักการคำนวณโดยมีการนำอุณหภูมิโซล-แอร์มาประกอบการคำนวณ การหาค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธีนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากต้องทำการคำนวณภาระการทำความเย็นทุกชั่วโมงและนำความร้อนที่ได้รับในชั่วโมงที่แล้วมาใช้คำนวณในชั่วโมงถัดไปด้วย สำหรับการคำนวณอุณหภูมิผิวด้านในชั่วโมงแรกนั้นใช้ความร้อนจริงจากวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) และค่าคงที่ของฟังก์ชั่นถ่ายโอนนั้นจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณชั่วโมงถัดไป วิธีฟังก์ชั่นถ่ายโอนความร้อน(Transfer function methods) ประกอบด้วยหลายขั้นตอนและถูกออกแบบมาเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานรายวันรายเดือนและรายปี โดยเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของภาระการทำความเย็นมากกว่าค่าการออกแบบสูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากวิธีฟังก์ชั่นถ่ายโอนความร้อน(Transfer function methods) แล้วยังมีวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นอีกหนึ่งวิธีที่น่าสนใจคือวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) ซึ่งจากงานวิจัยโครงการเลขที่ RP-1117 ของ ASHARE พบว่าการคำนวณภาระทางความเย็นด้วยวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) เป็นวิธีการคำนวณที่มีความซับซ้อนมากแต่มีความแม่นยำที่สุด จากการจำลองห้อง 2 ห้องที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยนำค่าภาระความเย็นที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีสมดุลความร้อนมาเปรียบเทียบเทียบกับภาระการทำความเย็นที่ได้จากการวัด จากเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูงพบว่า วิธีสมดุลความร้อน (heat balance methods) สามารถประมาณค่าภาระการทำความเย็นได้ใกล้เคียงกับค่าจากการวัดมากที่สุด (Ashare handbook fundamental, 2005)

1.1 คำนวณภาระทางความร้อนด้วยวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods)



ภาพที่ 1 กระบวนการสมดุลความร้อนภายในโซนที่พิจารณา

ที่มา: ASHRAE (2005)

จากภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของกระบวนการสมดุลทางความร้อนสำหรับผนังทึบส่วนบนของภาพภายในกรอบคือ ผนังปิดภายในโซน สำหรับผนังโปร่งแสงก็มีกระบวนการเหมือนกัน ค่าการดูดกลืนรังสีในการนำความร้อนจะถูกปิดกั้นไว้ที่ด้านนอกของผนังและถูกแยกออกไว้ด้านนอกและด้านใน การคำนวณด้วยวิธีนี้จะคำนวณภายใต้สมมติฐาน 4 ข้อดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. อุณหภูมิผนัง ณ เวลาที่คำนวณมีค่าคงที่ (Uniform temperature)
2. แสงขนาดสั้น (Short wave) และยาว (Long wave) มีการแผ่รังสีอย่างมีรูปแบบที่แน่นอน
3. พื้นผิวมีการกระจายความร้อน
4. การนำความร้อนเป็นแบบทิศทางเดียว

1.1.1 สมดุลความร้อนที่ผิวภายนอก (Outside face heat balance)

การหาค่าอุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอก (T_O) ต้องคำนึงถึงผลของความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar radiation) และการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมในลักษณะของการพาความร้อน (Convective exchange with outside air) ในส่วนของการคำนวณจะคิดสมดุลความร้อนไปพร้อมๆ กับการคำนวณภาระความร้อนจากภายนอก เลือกใช้หลักการคำนวณด้วยอุณหภูมิโซลแอร์เพื่อให้ได้ค่าเริ่มต้นสำหรับอุณหภูมิผิวผนังภายนอกเพื่อใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อน

$$q''_{sol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{k0} = 0 \quad (11)$$

โดย

q''_{asol} คือ ฟลักซ์ความร้อนโดยการแผ่รังสีของรังสีคลื่นสั้นทั้งแบบกระจายและแบบตรงของรังสีอาทิตย์

q''_{LWR} คือ ปริมาณสุทธิของฟลักซ์ความร้อนโดยการแผ่รังสีของรังสีคลื่นยาวระหว่างอากาศกับสิ่งแวดล้อม

q''_{conv} คือ ฟลักซ์ความร้อน โดยการพาความร้อนของอากาศภายนอก

q''_{ko} คือ ฟลักซ์ความร้อน โดยการนำความร้อนบนผิวภายนอก

1.1.2 สมดุลความร้อนที่ผิวภายใน (Inside face heat balance)

หลักสำคัญของวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance methods) คือ การคำนวณหาอุณหภูมิผนังภายในโซน โดยต้องคำนึงถึงการแผ่รังสีและสะท้อนไปมาจากคน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์- เครื่องใช้ภายในห้อง และตำแหน่งการวางตัวของผนังทั้งในรูปแบบของการพาและการแผ่รังสีความร้อนแสดงในสมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0 \quad (12)$$

โดย

q''_{LWX} คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างผนัง (q/A), Btu/h-ft^2

q''_{SW} คือ ฟลักซ์ความร้อนคลื่นสั้นโดยการแผ่รังสีที่เข้าสู่ผิวผนังแต่ละด้านจากแสงสว่าง

q''_{LWS} คือ ฟลักซ์ความร้อน โดยการแผ่รังสีความร้อนจากอุปกรณ์-เครื่องใช้ภายในห้อง (Btu/h-ft^2)

q''_{ki} คือ ฟลักซ์ความร้อนโดยการนำความร้อนบนผิวภายใน (Btu/h-ft^2)

q''_{sol} คือ ฟลักซ์ความร้อนจากการแผ่รังสีที่ดูดซับไว้ที่บริเวณผิว (Btu/h-ft^2)

$q''conv$ คือ ฟลักซ์ความร้อนของการพาความร้อนจากอากาศภายในโซน (Btu/h-ft^2)

1.1.3 การคำนวณค่าความร้อนผ่านกระจก

การคำนวณความร้อนผ่านกระจกนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การแผ่รังสีและการนำความร้อน ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ดังสมการ

$$SHGC = \tau + \sum_{k=1}^{n} N_k \alpha_k \quad (13)$$

โดย

τ คือ ค่าส่งผ่านความร้อนของกระจก

α_k คือ ค่าดูดกลืนรังสีของกระจกชั้นที่ k

n คือ จำนวนชั้นกระจก

N_k คือ สัดส่วนค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.4 สมดุลความร้อนอากาศ

สมดุลความร้อนจะถูกคำนวณโดยคิดเสมือนสมดุลในแต่ละช่วงเวลาดังนี้

$$q_{conv}+q_{CE}+q_{IV}+q_{sys}=0 \quad (14)$$

โดย

q_{conv} คือ การพาความร้อนจากผนัง

q_{CE} คือ การพาความร้อนจากความร้อนภายในห้อง

q_{IV} คือ ภาระความเย็นที่รู้สึกได้จากการรั่วไหลของอากาศ

q_{sys} คือ ความร้อนจากอุปกรณ์ระบบปรับอากาศ

ขั้นตอนการคำนวณภาระทางความเย็นด้วยวิธีสมดุลความร้อน (Heat balance Methods) มีขั้นตอนดังนี้

1. เริ่มต้นจากพื้นที่ คุณสมบัติและอุณหภูมิผิวทั้งหมดทุก ชั่วโมง
2. คำนวณค่าฟลักซ์ความร้อนที่เกิดขึ้นและส่งผ่านทุกผนังทุกชั่วโมง
3. กระจายค่าฟลักซ์ความร้อนภายในผิวทุกชั่วโมง
4. คำนวณโหลดความเย็นภายในห้องทุกชั่วโมง
5. กระจายความร้อนจากรังสีคลื่นสั้น รังสีคลื่นยาว และการพาความร้อนจากโหลดภายในไปยังผิวทุกชั่วโมง
6. คำนวณโหลดจากการรั่วไหลและระบายอากาศทุกชั่วโมง
7. คำนวณซ้ำจนได้อุณหภูมิที่ต้องการ

โดยปกตินั้นผนังต้องมี 4 หรือ 6 ด้าน จึงจะเพียงพอต่อการลู่เข้าของการคำนวณในระหว่างการคำนวณจะต้องมีการตรวจสอบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกผนัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. โปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์ “Energy plus”

โปรแกรม Energy plus เป็นโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากใช้งานที่ง่ายกว่าโปรแกรมอื่น สามารถกำหนดรูปแบบการป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมและผลลัพธ์ของการจำลองข้อมูลได้หลายรูปแบบ เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง ค่าความร้อน (Heat gain) จากคนในพื้นที่ ภาระความร้อนสัมผัสภายในห้อง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม Sketch up ได้ ทำให้การสร้างแบบจำลองและการนำเสนองานง่ายกว่าโปรแกรมอื่น (Crawley *et al*, 2001)

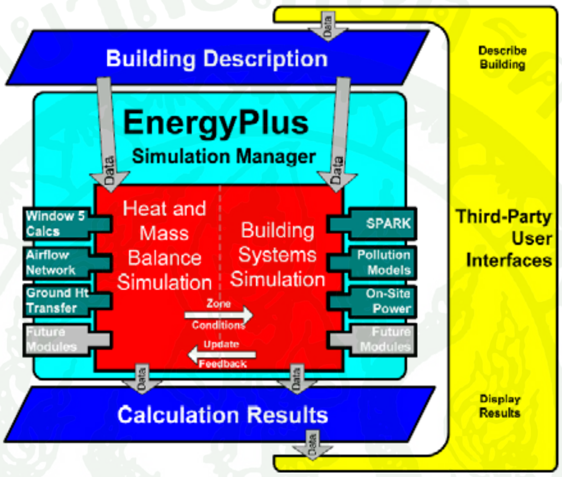
กระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Department of energy: DOE) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่พัฒนาโปรแกรม Energy plus อนุญาตให้ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมจากเวปไซด์ของกระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกาได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้และผู้พัฒนาโปรแกรม โปรแกรมจึงถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากปัญหาจริงของผู้ใช้

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของโปรแกรม

โปรแกรม Energy plus คือโปรแกรมที่ประกอบด้วยส่วนประมวลผลย่อยหลายส่วน (Modular) ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อคำนวณพลังงานที่ต้องการ โปรแกรมนี้ถูกพัฒนามาจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST โดยเลือกจุดเด่นของโปรแกรม DOE-2 และ BLAST มาประยุกต์รวมกัน ตัวอย่างเช่น ในส่วนของโปรแกรม DOE-2 จะคิดคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Heat gain) และภาระการปรับอากาศ (Cooling loads) โดยใช้วิธีฟังก์ชันการถ่ายโอนความร้อน (Transfer function method) ซึ่งรวดเร็วและแม่นยำ แต่โปรแกรม BLAST จะคิดคำนวณจากสมดุลความร้อน (Heat balance) ที่เกิดขึ้นจริงซึ่งแม่นยำกว่าวิธีอื่นๆ ลักษณะเด่นอีกข้อของโปรแกรม Energy plus คือ อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถกำหนดรูปแบบของระบบปรับอากาศตามลักษณะการใช้งานจริง ซึ่งแตกต่างจากโปรแกรมอื่นที่มีรูปแบบที่เป็นมาตรฐานของโปรแกรมอยู่แล้ว โปรแกรม Energy plus มีคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานอื่นๆ ทั้งด้านลักษณะทั่วไปของโปรแกรมที่สามารถกำหนดความถี่ของช่วงเวลาโดยผู้ใช้ (Time-step) ได้ทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนรอบที่เหมาะสมกับความละเอียดของงานวิจัยได้ โปรแกรมยังจัดเตรียม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้หลากหลายขึ้น เช่น การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านระบบปรับอากาศตามลักษณะการออกแบบ นอกจากนี้โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมได้หลากหลายเนื่องจากเขียนขึ้นจากฟอร์แทรนจึงทำให้สามารถเขียนโปรแกรมในลักษณะที่เป็นโปรแกรมย่อย (Modular) หลายๆ โปรแกรมที่ทำงานเป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถแยกพัฒนารูปแบบของโปรแกรมย่อย (Modular) โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการรบกวนส่วนประมวลผลอื่น



ภาพที่ 2 ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม Energy plus

ที่มา: Crawley *et al.* (2006)

จากภาพที่ 2 พบว่า ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร(Building description) เช่น ขนาด ทิศทางที่ตั้ง ชนิดของวัสดุ ช่วงเวลาการใช้งาน และสภาพภูมิอากาศ (Weather data) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม แต่ละชั่วโมงของวัน ตลอดทั้งปี ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนนี้จะถูกส่งไปยังส่วนของการคำนวณภาระการปรับอากาศ (Heat and mass balance simulation) เพื่อทำการคำนวณความร้อนที่ส่งผ่านสู่อาคาร (Heat gain) และภาระการปรับอากาศ (Cooling load) โดยมีส่วนควบคุมหลัก (Simulation manager) จะเป็นตัวเชื่อมข้อมูล 2 ส่วนเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าเริ่มต้น เช่น อุณหภูมิ ความชื้นตอนเริ่มต้นคำนวณ โดยสมมติให้มีค่าคงที่ จากนั้นจะทำการคำนวณแบบวนรอบ (Iterated) ระหว่าง ภาระการปรับอากาศและระบบปรับอากาศจนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 การประมวลผลของโปรแกรม (Energy plus simulation manager)

2.2.1 หน่วยประมวลผลหลัก

เป็นตัวเชื่อมการทำงานระหว่างหน่วยประมวลผลทั้ง 3 ส่วนและเป็นส่วนที่ติดต่อกับโปรแกรมย่อยอื่นๆ ข้อดีของส่วนควบคุมหลัก คือ ช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนของตัวโปรแกรม และรองรับโปรแกรมย่อยที่เขียนด้วยภาษาอื่นๆ หรือที่จะมีการพัฒนาขึ้นมาใหม่เพิ่มเติมในอนาคต

2.2.2 หน่วยประมวลผลสมดุลความร้อนของผนังอาคาร

หน่วยประมวลผลนี้ทำหน้าที่ประมวลผลความร้อนที่เข้าสู่อาคารซึ่งแสดงผลในรูปแบบของภาระทางความเย็น (Cooling load) หน่วยประมวลผลนี้ประกอบด้วยส่วนประมวลผลย่อย (Modular) ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลด้านความร้อนหลายส่วน เช่น หน่วยประมวลผลย่อยความร้อนผ่านหน้าต่าง (Window glass module) หน่วยประมวลผลย่อยรูปแบบจำลองท้องฟ้า (Sky module) เป็นต้น

2.2.3 หน่วยประมวลผลสมดุลอากาศร้อนของอาคาร

หน่วยประมวลผลนี้ประมวลผลด้านความร้อนจากอากาศที่ไหลเข้าออกจาก 2 ส่วนคือ

1. ความร้อนจากอากาศระบาย (Ventilation air) อากาศหมุนเวียนภายในห้องปรับอากาศซึ่งดึงจากภายนอกห้อง ดังนั้นอุณหภูมิจึงมักสูงกว่าอุณหภูมิภายในห้องมาก จึงเป็นภาระการทำความเย็นของห้อง
2. ความร้อนจากอากาศรั่ว (Infiltration air) อากาศในส่วนนี้มาจากการรั่วเข้ามาทางหน้าต่าง ประตู หรือฝ้าเพดาน หรือจากการปิด-เปิดประตู

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.4 หน่วยประมวลผลระบบและอุปกรณ์จ่ายอากาศให้แก่อาคาร

การประมวลผลแยกออกเป็นหลายส่วนย่อยได้แก่ การหมุนเวียนอากาศ (Air loop module) ภายในโซน ผู้ใช้ต้องเลือกระบบ (Zone equip module) ที่ต้องการเพื่อให้โปรแกรมคำนวณปริมาณลมที่หัวจ่าย และปริมาณลมที่เครื่องควบแน่นต้องการทั้งหมดโดยจะเชื่อมต่อกัน (Plant and condenser modular) และทำการคำนวณวนซ้ำ ทั้งนี้โปรแกรม Energy plus อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถเลือกระบบปรับอากาศจากระบบมาตรฐานซึ่งโปรแกรมได้จัดเตรียมไว้แล้วหรือจะกำหนดรูปแบบระบบปรับอากาศเองจากการต่อโหนดหรือท่อของระบบปรับอากาศตามรูปแบบที่ผู้ใช้ต้องการ

3. มาตรฐานด้านพลังงาน

จากการศึกษาพบว่ากฎหมายที่มีผลกระทบต่อหน่วยงานทั้ง 5 แห่งมากที่สุดได้แก่ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 ซึ่งเป็นส่วนแก้ไขเพิ่มเติมของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2535 โดยลักษณะที่สำคัญของพระราชบัญญัติฉบับนี้คือแบ่งการใช้พลังงานในอาคารออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

3.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

พระราชบัญญัติฉบับนี้เป็นพระราชบัญญัติซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 กฎกระทรวงกำหนดอาคารที่ก่อสร้างหรือดัดแปลงที่มีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องออกแบบให้อนุรักษ์พลังงาน โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นหน่วยงานดังนี้

1) สถานพยาบาลตามกฎหมายว่าด้วยสถานพยาบาล
2) สถานศึกษา
3) สำนักงาน
4) อาคารชุดตามกฎหมายว่าด้วยอาคารชุด
5) อาคารชุมนุมคนตามกฎหมาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6) โรงมหรสพ

7) โรงแรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงแรม

8) สถานบริการตามกฎหมายว่าด้วยสถานบริการ

9) อาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า

3.1.1 มาตรฐานและหลักเกณฑ์การออกแบบ แบ่งออกเป็น 6 ส่วนคือ

1. ระบบกรอบอาคาร (ผนัง และหลังคา)
2. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
3. ระบบปรับอากาศ
4. อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน
5. การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร
6. การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร

1. ระบบกรอบอาคาร (ผนังและหลังคา)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าดังแสดงในตารางที่ 1 โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ในส่วนที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) แต่ละด้านรวมกันสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังนอกอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
สถานศึกษา สำนักงาน	50
โรงมหรสพ, ศูนย์การค้า, สถานบริการ, อาคารชุมนุมชน	40
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	30

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศในแต่ละประเภทของอาคารต้องมีค่าดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ประเภทอาคาร	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (วัตต์ต่อตารางเมตร)
สถานศึกษา สำนักงาน	15
โรงมหรสพ, ศูนย์การค้า, สถานบริการ, อาคารชุมนุมชน	12
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	10

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

สำหรับอาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ข้อกำหนดของระบบกรอบอาคารตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่แต่ละส่วนนั้น

2. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ การใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอและเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารตามกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นกำหนดอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ในแต่ละประเภทของอาคารมีค่าไม่เกินจากตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้า (วัตต์) ส่องสว่างสูงสุด

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
สถานศึกษา สำนักงาน	14
โรงมหรสพ, ศูนย์การค้า, สถานบริการ, อาคารชุมนุมชน	18
โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

หากอาคารที่มีการใช้งานพื้นที่หลายลักษณะ พื้นที่แต่ละส่วนต้องใช้ค่าในตารางตามลักษณะการใช้งานของพื้นที่ส่วนนั้น

3. ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศ ประเภทและขนาดต่างๆ ของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคารต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดตามตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น

ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ	แบบของเครื่องอัด	ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น	ค่าประสิทธิภาพพลังงาน (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)
ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ทุกแบบ	ทุกขนาด	1.12-.95
ระบายความร้อนด้วยน้ำ	แบบลูกสูบ	ทุกขนาด	0.88 - 0.75
	แบบโรตารี่, แบบสกรูหรือแบบสครอลล์	ทุกขนาด	0.70-0.60
	แบบแรงเหวี่ยง	น้อยกว่า 300	0.67-0.54
		ตั้งแต่ 300 ขึ้นไป	0.61-0.50

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

4. อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคารต้องมีค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพขั้นต่ำหม้อไอน้ำและหม้อต้มน้ำร้อน

ประเภท	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ (ร้อยละ)
(ก) หม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง	85
(ข) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง	80
(ค) หม้อไอน้ำที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง	80
(ง) หม้อต้มน้ำร้อนที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง	80

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เครื่องทำน้ำร้อนชนิดอีตปั๊มแบบใช้อากาศเป็นแหล่งพลังงาน (Airsourc heat pump water heater) แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงประสิทธิภาพขั้นต่ำฮีตปั๊ม

ลักษณะการออกแบบ	ภาวะพิกัด			ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ
	อุณหภูมิน้ำเข้า	อุณหภูมิน้ำออก	อุณหภูมิน้ำอากาศ	
	องศาเซลเซียส			
(ก)	30	50	30	3.5
(ข)	30	60	30	3

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

5. การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

การขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ใน 3 ข้อด้านบน ให้พิจารณาตามเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงาน โดยรวมของอาคารเกณฑ์การใช้พลังงานรวมของอาคารต้องมีค่าการใช้พลังงานอาคารดังกล่าวต่ำกว่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิงที่มีพื้นที่การใช้งาน ทิศทาง และพื้นที่ของกรอบอาคารแต่ละด้านเป็นเช่นเดียวกับอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลง และมีค่าของระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ เป็นไปตามข้อกำหนดแต่ละระบบ

6. การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร

เมื่อมีการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคาร ให้ยกเว้นการนับรวมการใช้ไฟฟ้าบางส่วนในอาคารในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารที่มีการออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติเพื่อการส่องสว่างภายในอาคารในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร ให้ถือเสมือนว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในพื้นที่ตามแนวกรอบอาคารนั้น โดยการออกแบบดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ต้องแสดงอย่างชัดเจนว่า มีการออกแบบสวิตช์ที่สามารถเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้กับพื้นที่ตามแนวกรอบอาคาร โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต้องมีระยะห่างจากกรอบอาคารไม่เกิน 1.5 เท่าของความสูงของหน้าต่างในพื้นที่นั้นและกระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารตาม ต้องมีค่าประสิทธิผลของสัมประสิทธิ์การบังแดด (Effective shading coefficient) ไม่น้อยกว่า 0.3 และอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนต่อความร้อน (Light to solar gain) มากกว่า 1.0 และพื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคารต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ

2) อาคารที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในอาคาร สามารถนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปหักออกจากค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

3) หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารให้เป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดแบบของอาคารที่ได้ยื่นคำขออนุญาตหรือได้แจ้งการก่อสร้าง ดัดแปลง หรือเปลี่ยนการใช้ตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร หรือที่ได้รับอนุญาตตามกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นก่อนวันที่กฎกระทรวงนี้ใช้บังคับให้ได้รับการยกเว้น

3.2 ข้อกำหนดด้านพลังงานจากโครงการฉลากประสิทธิภาพสูงโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

โครงการฉลากประสิทธิภาพสูง หรือโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 เป็นส่วนหนึ่งของโครงการประชาร่วมใจประหยัดไฟฟ้า โดยไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เป็นผู้ดำเนินงานมีจุดประสงค์หลักเพื่อเสนอทางเลือกของผู้บริโภคในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภคและประเทศชาติโดยรวม ซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้ดำเนินการกับผลิตภัณฑ์จำนวน 12 กลุ่ม โดยสินค้าใดที่ต้องการเข้าร่วมโครงการต้องผ่านการทดสอบและการคำนวณตามขั้นตอนซึ่งทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำหนดไว้ (สามารถดูมาตรฐานการทดสอบและสูตรการคำนวณดังกล่าวได้จากภาคผนวก ก) สำหรับวิธีการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพนั้น กฟผ. ใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพอุปกรณ์ที่จัดจำหน่ายในท้องตลาดแล้วนำผลที่ได้มากำหนดระดับประสิทธิภาพ โดยให้ปรับเพิ่มและลดประสิทธิภาพค่าใช้งานในแต่ละระดับเป็นร้อยละ 10 โดยสินค้าใดที่ผ่านมาตรฐานจะได้รับสัญลักษณ์ดังภาพที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 3 ฉลากประสิทธิภาพสูง

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

อย่างไรก็ตามในส่วนของการนำข้อมูลจากโครงการมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยมีความยุ่งยากพอสมควรเนื่องจากหน่วยงานต้นแบบมีอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากซึ่งแตกต่างกันทั้ง ยี่ห้อ รุ่นและขนาด จึงเป็นการยากที่จะระบุข้อมูลกำลังไฟฟ้าได้ครบ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในงานวิจัยจึงทำการเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของอุปกรณ์จากเวปไซต์ของ กฟผ. เพื่อเป็นตัวแทนกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่เหมาะสมของอุปกรณ์นั้นโดยไม่คำนึงถึงยี่ห้อและรุ่น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงกำลังไฟฟ้า (วัตต์) จากโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า(วัตต์)
พัดลมชนิดติดผนังและตั้งโต๊ะ ขนาดใบพัด 12 นิ้ว	30
พัดลมชนิดติดผนังและตั้งโต๊ะ ขนาดใบพัด 16 นิ้ว	50
กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	665
หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	621
เครื่องปรับอากาศขนาด 9,000	818
เครื่องปรับอากาศขนาด 10,000	909
เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000	1,091
เครื่องปรับอากาศขนาด 12,600	1,145

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า(วัตต์)
เครื่องปรับอากาศขนาด 13,000	1,182
เครื่องปรับอากาศขนาด 13,870	1,261
เครื่องปรับอากาศขนาด 14,000	1,273
เครื่องปรับอากาศขนาด 16,000	1,455
เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000	1,636
เครื่องปรับอากาศขนาด 18,300	1,664
เครื่องปรับอากาศขนาด 19,000	1,734
เครื่องปรับอากาศขนาด 20,000	1,818
เครื่องปรับอากาศขนาด 21,000	1,909
เครื่องปรับอากาศขนาด 24,000	2,182
เครื่องปรับอากาศขนาด 25,000	2,273
เครื่องปรับอากาศขนาด 25,400	2,309
เครื่องปรับอากาศขนาด 25,800	2,345
เครื่องปรับอากาศขนาด 26,000	2,364
เครื่องปรับอากาศขนาด 30,000	2,727
เครื่องปรับอากาศขนาด 36,000	3,273
เครื่องปรับอากาศขนาด 38,000	3,455
เครื่องปรับอากาศขนาด 38,900	3,536
เครื่องปรับอากาศขนาด 44,000	4,000
เครื่องปรับอากาศขนาด 44,100	4,009
เครื่องปรับอากาศขนาด 56,000	5,091
เครื่องปรับอากาศขนาด 60,000	5,455
เครื่องปรับอากาศขนาด 80,000	7,273
เครื่องปรับอากาศขนาด 84,000	7,636
เครื่องปรับอากาศขนาด 90,000	8,182
เครื่องปรับอากาศขนาด 120,000	10,909

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 โครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจจากประเทศอเมริกา

โครงการ Energy star เกิดขึ้นในปี 2535 โดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมและกระทรวงพลังงาน (United States Environmental Protection Agency) แห่งสหรัฐอเมริกา มาตรฐาน Energy Star 4.0 ประกาศใช้ครั้งแรกเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2550 มีผลครอบคลุมถึงเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น จอมอนิเตอร์ และอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า (Power supply) โดยปัจจุบันโครงการนี้ดำเนินการอยู่ในระยะของ Energy star 5.0 (เริ่ม 1 กรกฎาคม 2552) ซึ่งได้มีการจำแนกประเภทของเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้อย่างชัดเจนภายใต้มาตรฐานนี้ไว้ ดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop) เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหรือแบบโน๊ตบุ๊ค
2. เซิร์ฟเวอร์ที่มีรากฐานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop-derived server) เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้อุปกรณ์และส่วนประกอบพื้นฐานเดียวกับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะแต่ออกแบบมาเพื่อวางจำหน่ายและใช้งานเป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์โดยเฉพาะและใช้ Sever application มาตรฐาน
3. เกมคอนโซล (Game console) เป็นคอมพิวเตอร์แบบ Stand alone ที่มีสถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์แบบเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปแต่ใช้งานสำหรับเล่นวิดีโอเกมส์
4. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบ Integrated เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดที่แสดงผลและอุปกรณ์อื่นๆ ทุกชนิดเป็นหน่วยเดียวหรือจอแสดงผลอาจแยกจากตัวเครื่องคอมพิวเตอร์
5. คอมพิวเตอร์พกพา เช่น โน๊ตบุ๊ค ที่มีจอแสดงผลในหน่วยเดียว ทั้งนี้ไม่รวมอุปกรณ์เสริมอื่นๆ
6. เวิร์คสเตชั่น (Work station)

สำหรับ Operating mode ต่างๆ ของเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้การครอบคลุมในการประกาศนั้นจำแนกได้ดังนี้

- Idle state เป็นสภาวะที่ระบบมีการโหลดระบบปฏิบัติการ (Operating system: O/S) และโปรแกรมต่างๆ อย่างสมบูรณ์ เป็นช่วงเริ่มการใช้งานของระบบและยังไม่มีการใช้งานโปรเซสเซอร์ (Processor) ในการทำงาน
- Sleep mode เป็นสภาวะที่ระบบพักทำงานชั่วคราว แต่พร้อมจะเริ่มทำงานใหม่หากมีการกระตุ้นจากระบบเครือข่ายหรืออุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น เมาส์หรือแป้นพิมพ์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- Off mode เป็นสภาวะที่ระบบหยุดการทำงานแต่ยังคงใช้กระแสไฟฟ้าในระดับต่ำในการหล่อเลี้ยงระบบค่าต่างๆยังคงอยู่ตราบใดที่ยังไม่มีการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากระบบ พร้อมที่จะเริ่มทำงานใหม่หากมีการกระตุ้น

โดยหากผู้ประกอบการรายใดที่ต้องการเข้าร่วมโครงการต้องทำการทดสอบตามข้อกำหนดต่างๆ ซึ่งได้กำหนดไว้แตกต่างกันไปในแต่ละอุปกรณ์ โดยสามารถดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ก โดยสินค้าใดที่ผ่านมาตรฐานจะได้รับสัญลักษณ์ ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 เครื่องหมาย Energy star

ที่มา: US. EPA ENERGY STAR (2003)

โครงการนี้เป็นต้นแบบให้กับโครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกหลายประเทศ เช่น มาตรฐาน EU Eco label จากสหภาพยุโรป มาตรฐาน Blue angle จากประเทศเยอรมัน เป็นต้น จากข้อมูลทั้งหมดจะเห็นได้ว่า โดยภาพรวมของโครงการดำเนินงาน โดยหน่วยงานของรัฐบาลที่มีความน่าเชื่อถือ มีการกำหนดวิธีการวัดที่แน่นอนอ้างอิงมาตรฐานที่มีการยอมรับ

นอกจากนี้ยังมีการดำเนินการเป็นระยะอย่างต่อเนื่องแสดงถึงความยั่งยืนและการยอมรับทั้งจากผู้ผลิตและผู้บริโภค และหากพิจารณาในด้านการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถทำได้จริงเนื่องจากหน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการได้จัดทำเวปไซต์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลมีการจัดแบ่งหมวดหมู่ตามชนิดอุปกรณ์และแสดงรายละเอียด เช่น ยี่ห้อสินค้า รุ่น วันที่สินค้าวางจำหน่าย กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่สินค้านั้นใช้ในโหมดต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของอุปกรณ์จากเวปไซต์เพื่อเป็นตัวแทนกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่เหมาะสมของอุปกรณ์นั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยไม่คำนึงถึงยี่ห้อและรุ่นเช่นเดียวกับโครงการฉลากประสิทธิภาพสูงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยสามารถดูค่าสรุปได้จากตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงกำลังไฟฟ้า (วัตต์) จากโครงการติดฉลากอุปกรณ์โดยสมัครใจ

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
โทรทัศน์ขนาดหน้าจอ 19 - 31.5 นิ้ว	64.5
ตู้เย็น	174.5
ปริ๊นเตอร์	330
เครื่องถ่ายเอกสาร	1,100
โน๊ตบุ๊ค	27
คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ	170

ที่มา: US. EPA ENERGY STAR (2003)

4. การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multi linear regression)

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุมีวัตถุประสงค์ คือ การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีมากน้อยเพียงใด หรือเพื่อประมาณค่าหรือพยากรณ์ค่าในอนาคต สำหรับงานวิจัยนี้จุดประสงค์ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุเพื่อประมาณค่าปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมของอาคาร (OEC) จากตัวแปรเจ้าหน้าที่ จำนวนผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยในและอุณหภูมิภายนอกอาคาร

4.1 ความหมายของสัมประสิทธิ์ความถดถอย

สัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงส่วน $b_1, b_2, b_3, \ldots b_n$ ซึ่งมีหน่วยเหมือนกับหน่วยของตัวแปรตาม (Y) แต่ความหมายจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ X ด้วย โดยค่า $b_1, b_2, b_3, \ldots b_n$ อาจมีเครื่องหมายเป็นบวกหรือลบก็ได้ หาก b_i เป็นบวก หมายถึง Y และ X_1 มีความสัมพันธ์ในทางบวกหรือในทางเดียวกัน หาก b_i เป็นลบ หมายถึง Y และ X_1 มีความสัมพันธ์ทางตรงกันข้าม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

เงื่อนไขการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุจะเหมือนกับเงื่อนไขการวิเคราะห์เชิงเส้น โดยมีสมการความถดถอยเชิงเชิงพหุเป็น

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_k X_{ki} + e \quad (15)$$

เงื่อนไขมีดังนี้

4.2.1 ความคลาดเคลื่อน e เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงปกติ

การตรวจสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ มีหลายวิธี เช่น Boxplot หรือ Kolmogorov-Smirnov Test

การตรวจสอบความเป็นปกติ (Normality)

H_0: ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1: ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

ทดสอบโดยใช้สถิติ Kolmogorov-Smirnov ถ้าผลการทดสอบให้ค่า K-S Statistic ที่มีค่า Sig. > α ถือว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

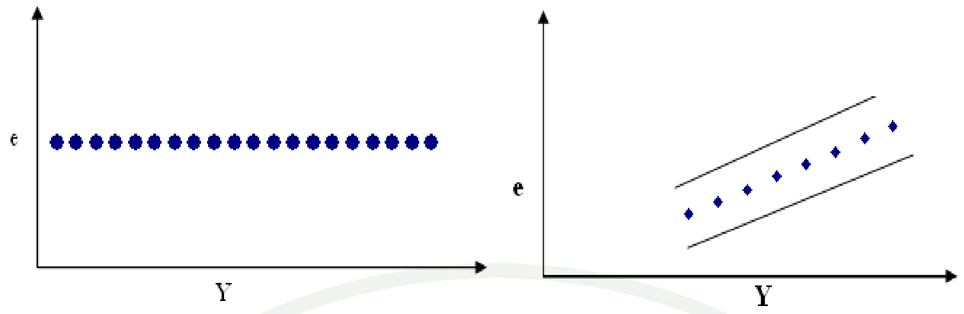
4.2.2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ นั่นคือ E (e) = 0

การหาค่า a และ b โดยทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำสุด จะทำให้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน = $E(e) = \sum e_i = \frac{O}{n} = 0$

4.2.3 ค่าแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า$V(e) = \sigma^2$

การตรวจสอบว่า $V(e) = \sigma^2$ ค่าคงที่ทุกค่าของ X นั้นกรณีที่ Var(e) ไม่เท่ากันทุกค่าของ X จะเรียกว่าเกิดปัญหา Heteroscedastic เนื่องจาก $Var(e) = \hat{Y}$ ดังนั้นการตรวจสอบการคงที่ของค่าความแปรปรวนจึงอาจพิจารณาจากกราฟ X กับ e หรือกราฟ Y กับ e หรือระหว่าง e กับ $\hat{Y}$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ e ที่มีความเหมาะสม

ที่มา: กัลยา (2547)

ถ้าพล็อตความสัมพันธ์ระหว่าง e กับ X หรือ e กับ $\hat{Y}$ หรือ Y ได้แสดงดังในภาพที่ 5 คือค่า e จะกระจายอยู่รอบๆศูนย์ หรือค่า e มีค่าในช่วงใดช่วงหนึ่งแคบๆ ไม่ว่า X หรือ Y หรือ $\hat{Y}$ จะเปลี่ยนไปอย่างไร ในกรณีนี้จะถือว่า Var(e) มีค่าคงที่ และมีความสัมพันธ์ระหว่าง X กับ Y เป็น $\hat{Y} = a + b\,x$ จึงเหมาะสม

4.2.4 ค่า e_i และ e_j เป็นอิสระต่อกัน; นั่นคือ convariance (e_i และ e_j) = 0

การตรวจสอบความเป็นอิสระของ e_i และ e_j โดยที่ $e_i = y_i - \hat{y}_i$ และ $e_j = y_j - \hat{y}_j$ ทำได้ 2 วิธีคือโดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง e_i และ t และใช้สถิติทดสอบ Dubin-Watson สำหรับค่าวิกฤติของสถิติทดสอบ Dubin-Watson จะขึ้นอยู่กับขนาดตัว อย่างและจำนวนตัวแปรอิสระในสมการความถดถอย (k) กล่าวโดยสรุปดังนี้

- หากค่า Dubin-Watson มีค่าเข้าใกล้ 2 (ช่วง 1.5 ถึง 2) แสดงว่า e_i และ e_j ใกล้เคียงกัน

- หากค่า Dubin-Watson < 1.5 แสดงว่าค่า e_i และ e_j อยู่ในทิศทางบวก และถ้า e_i และ e_j มีค่าใกล้ศูนย์แสดงว่า e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กันมาก

- หากค่า Dubin-Watson >2.5 แสดงว่าค่า e_i และ e_j อยู่ในทิศทางลบ และถ้า e_i และ e_j มีค่าใกล้ 4 แสดงว่า e_i และ e_j มีความสัมพันธ์กันมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

กรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัว มีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

1. การพิจารณาว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามซึ่งผู้วิจัยที่มีความรู้ในเรื่องที่ศึกษาอยู่ จะเข้าใจและเลือกได้ถูกต้อง เช่น คาดว่าตัวแปรอิสระอยู่ k ตัว ($x_1, x_2 \ldots\ldots x_k$) ที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม

2. การสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ ถ้าคาดว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับในรูปเชิงเส้นจะได้สมการดังนี้

กรณีที่ใช้ประชากร: $Y = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + e$

กรณีที่ใช้ตัวอย่าง: $\hat{Y} = a + b_1 x_1 + b_2 X_2 + \ldots\ldots\ldots + b_K X X_k$

3. การใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (1-way ANOVA) ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ $X_1, \ldots\ldots, X_k$ โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

H_o: ตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว

H_1: ตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว

หรือ

H_o: $\beta_1 = \beta_2 = \ldots\ldots\ldots = \beta_k = O$

H_1: มี $\beta_I \neq O$ อย่างน้อย 1 ค่า; i = 1, 2, ..., k

สถิติทดสอบ $F = \dfrac{MSRegression}{MSError} = \dfrac{MSRegression}{MSResidual}$

ซึ่งค่า MS Regression และ MS Error ได้จากตาราง 1-WAY ANOVA ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ความถดถอย

แหล่งแปรปรวน	องศาอิสระ DF	ผลบวกกำลังสอง SS	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย MS = SS/DF	F
ตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว	K	SS Regression	MS Regression	MS Regression / MS Residual
ค่าคลาดเคลื่อน	n-k-1	SS Residual	MS Residual	
ผลรวม	n-1	SS Total		

ที่มา: กัลยา (2547)

สรุปผลการทดสอบ

- ถ้ายอมรับสมมติฐาน H_o แสดงว่าไม่มีตัวแปรอิสระตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระทั้ง k ตัว จึงไม่ต้องทำต่อในขั้นที่ 4

- ถ้าปฏิเสธสมมุติฐาน H_o (ยอมรับสมมติฐาน H_1) แสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรือกล่าวได้ว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว จึงต้องทำการทดสอบต่อไปในขั้นที่ 4 ว่าตัวแปรขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวใดบ้าง

4. การตรวจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระครั้งละ 1 ตัว โดยต้องทำการทดสอบสมมติฐาน k ครั้ง สำหรับตัวแปรอิสระ k ตัว สำหรับการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X_i สามารถตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบได้ดังนี้

H_o: ตัวแปรตาม (Y) ไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ i (X_i); i = 1, 2, ……., k

H_1: ตัวแปรตาม (Y) ขึ้นกับตัวแปรอิสระตัวที่ i (X_i)

หรือ

H_o: $\beta_i = 0$

H_1: $\beta_i \neq 0$

สถิติทดสอบ $t = \frac{b_i - 0}{SE(b_i)}$

$SE(b_i)$ = ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ b_i

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดสอบ

- ถ้ายอมรับสมมติฐาน H_o แสดงว่าตัวแปรตามไม่ขึ้นกับตัวแปรอิสระ X_i

- ถ้าปฏิเสธสมมติฐาน H_o แสดงว่าตัวแปรตามขึ้นกับตัวแปรอิสระ X_i

ถ้า k = 10 และผลการทดสอบพบว่าจากตัวแปรอิสระ 10 ตัว มีเพียง 4 ตัวที่มีความสัมพันธ์กับ Y คือ X_i, X_4, X_7, X_9 สมการความถดถอยจะเป็น $\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_4 X_4 + b_7 X_7 + b_9 X_9$

5. ศึกษาระดับความสัมพันธ์จากขั้นตอนที่ 4 ทำให้ทราบว่ามีตัวแปรอิสระใดบ้าง ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y จากนั้นจะต้องศึกษาระดับความสัมพันธ์ ในที่นี้จะใช้ R^2 หรือ Adjusted R^2 ในการหาระดับความสัมพันธ์ โดยที่

$$R^2 = \frac{SSRegression}{SSTotal} \quad \text{และ} \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 + \frac{(n-1)}{n-k-1} R^2$$

- ถ้าค่า R^2 หรือ Adjusted R^2 มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระชุดนั้น มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมาก

- ถ้า R^2 หรือ Adjusted R^2 มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระชุดนั้นไม่มี ความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือมีความสัมพันธ์น้อยมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับดัชนีและเกณฑ์การใช้พลังงานที่ผ่านมาพบว่ารูปแบบของดัชนีการใช้พลังงานที่นิยม 2 รูปแบบคือ SEC และ EUI ดังนั้นผู้วิจัยจึงทดลองนำแนวคิดของ SEC มาประยุกต์ใช้ในการจัดทำดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ เพื่อวิเคราะห์หาค่า SEC ที่เหมาะสมในการใช้เป็นเกณฑ์ โดยคิดเทียบกับตัวแปรต่างๆ อาทิ จำนวนคนไข้นอก จำนวนคนไข้ใน จำนวนเตียง พื้นที่ใช้สอย เป็นต้น ค่า SEC ที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับตัวแปรที่นำมาหาร จากการพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 10 จะเห็นว่าเมื่อตัวหารเปลี่ยนไป ค่า SEC ที่ได้ก็จะแตกต่างกันไปด้วย รวมถึงอันดับของหน่วยงานที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากสุดและน้อยสุดด้วย เช่น เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อจำนวนคนไข้ในโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์ใช้พลังงานมากที่สุด ในขณะที่ราชพิพัฒน์ใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่เมื่อพิจารณาเทียบกับพื้นที่ใช้สอย โรงพยาบาลกลางใช้พลังงานน้อยที่สุด ในขณะที่โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์ใช้พลังงานมากที่สุด จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การนำแนวทางของ SEC มาเป็นดัชนีและกำหนดเกณฑ์การใช้ตามค่า SEC สำหรับหน่วยงานในสังกัดของสำนักการแพทย์อาจจะไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากไม่สามารถทำให้อยู่บนฐานเดียวกันได้และอาจจะไม่เป็นที่ยอมรับของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะหน่วยงานที่อยู่อันดับสุดท้ายซึ่งอาจจะมีการถกเถียงเพื่อเลือกตัวแปรที่นำมาหารแล้วไม่ทำให้หน่วยงานของตนเองตกอยู่ในอันดับสุดท้าย จึงสรุปได้ว่าการจัดทำดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยแนวทางของ SEC นั้น ไม่มีความเหมาะสมสำหรับหน่วยงานในสำนักการแพทย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตามแนวทางของ SEC

ลำดับ	พลังงานไฟฟ้า ต่อจำนวนคนไข้ใน	พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนคนไข้นอก	พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนเตียง	พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย
1	รพ.ราชพิพัฒน์ 169.65	รพ.ราชพิพัฒน์ 8.30	รพ.ราชพิพัฒน์ 10,392.00	รพ.กลาง 66.98
2	รพ.ตากสิน 366.00	รพ.กลาง 16.78	รพ.ตากสิน 18,085.00	รพ.ราชพิพัฒน์ 91.54
3	รพ.กลาง 492.00	รพ.ตากสิน 17.95	รพ.กลาง 18,109.00	รพ.ตากสิน 122.25
4	รพ.เวชการุณย์รัศมิ์ 664.13	รพ.เวชการุณย์รัศมิ์ 18.38	รพ.เวชการุณย์รัศมิ์ 34,578.00	รพ.เวชการุณย์รัศมิ์ 149.1

หมายเหตุ: ข้อมูลจากปี 2551

ดังนั้นการนำแนวทางของ EUI มาใช้ช่วยลดปัญหาเรื่องขนาดของโรงพยาบาลที่แตกต่างกัน ผู้ป่วยเจ้าหน้าที่มากหรือน้อย จำนวนชั่วโมงการทำงาน เพราะจะสามารถคำนวณปริมาณการใช้ที่เหมาะสมให้ตามข้อมูลที่ใส่ลงไป เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการไปเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้จริงก็จะสามารถระบุได้ว่าโรงพยาบาลหรือหน่วยงานมีดัชนีการใช้พลังงานเป็นเท่าใด หากเดือนใดที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเกินปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมย่อมทำให้ค่า EUI เป็นลบถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ หากเดือนใดเป็นบวกถือว่าผ่านเกณฑ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตามแนวทางของ EUI

เดือน	EUI ไฟฟ้า				
	สำนัก	ราชพิพัฒน์	เวชการุณย์รัศมิ์	กลาง	ตากสิน
ม.ค.	-0.79	0.77	-0.08	0.18	-0.10
ก.พ.	-0.78	0.76	-0.11	0.21	-0.07
มี.ค.	-0.84	0.25	-0.38	-0.10	-0.29
เม.ษ.	-0.82	0.29	-0.35	-0.07	-0.25
พ.ค.	-0.83	0.3 5	-0.34	-0.06	-0.26
มิ.ค.	-0.84	0.25	-0.40	-0.13	-0.29
ก.ค.	-0.82	0.36	-0.40	-0.13	-0.23
ส.ค.	-0.82	0.37	-0.45	-0.04	-0.26
ก.ย.	-0.82	0.39	-0.40	-0.02	-0.24
ต.ค.	-0.80	0.50	-0.45	0.07	-0.25
พ.ย.	-0.79	0.44	-0.29	0.21	-0.13
ธค.	-0.76	0.71	-0.30	0.07	-0.17

หมายเหตุ: ข้อมูลจากปี 2551

การจัดทำดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานโดยใช้แนวทางของ EUI มีความสมเหตุสมผลมากกว่าการกำหนดตัวเลขเพียงตัวเดียวเหมือนแนวทางของ SEC โดยแต่ละหน่วยงานสามารถนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานตนเอง ดังนั้นในการจัดทำโครงงานวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้แนวทางของ EUI เช่นเดียวกับสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

อย่างไรก็ดีการจัดสร้างค่าเกณฑ์การใช้พลังงานมักใช้วิธีทางสถิติเป็นส่วนมาก ข้อจำกัดของวิธีทางสถิติคือต้องมีข้อมูลจำนวนมาก การจัดทำเกณฑ์ในครั้งนี้มีหน่วยงานที่เข้าร่วมเพียง 5 หน่วยงานเท่านั้น ผู้วิจัยที่ผ่านมามักจัดทำแบบสอบถามเพื่อให้ผู้ร่วมโครงการกรอกข้อมูลแล้วนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ ดังนั้นหากผู้ที่กรอกข้อมูลไม่มีความเข้าใจในแบบสอบถามอาจเกิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความผิดพลาดในการกรอกข้อมูลได้ นอกจากนี้ต้องมีการจัดเก็บข้อมูลจากเจ้าของอาคารเป็นระยะเวลานานพอสมควร หากเจ้าของอาคารไม่มีการเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้การทำข้อมูลย่อมไม่สมบูรณ์ ที่สำคัญข้อมูลที่จะนำมาสร้างสมการจะต้องเป็นข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานที่มีความเหมาะสมอยู่แล้ว สมการที่ได้จึงจะสามารถคำนวณปริมาณพลังงานที่ควรจะใช้ออกมาได้ หากข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย ค่าที่ได้จากสมการก็จะเป็นปริมาณพลังงานที่มีการใช้อย่างฟุ่มเฟือย ซึ่งผู้ใช้สมการอาจจะสำคัญผิดคิดว่าเป็นปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมก็ได้จึงไม่ได้มีมาตรการลดการใช้พลังงานออกมาบังคับใช้กับหน่วยงานของตนเอง นอกจากนี้การใช้สถิตินั้นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จะเป็นเพียงค่าเฉลี่ยของทุกหน่วยงานไม่ใช่ค่าที่สามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในโครงการนี้จึงไม่เหมาะสมนัก

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการจัดสร้างเกณฑ์การใช้พลังงานโดยการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานจริงของอาคาร(AEC) กับปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม (OEC) ตามแนวทางของ EUI เพื่อให้เจ้าของอาคารทราบถึงความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้พลังงานทั้ง 2 ค่า เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงการใช้พลังงานในอาคารของตน

ทั้งนี้ปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม (OEC) นั้นจะต้องจัดสร้างขึ้นใหม่โดยมีลักษณะเป็นสมการที่แปรเปลี่ยนไปตามตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ จำนวนผู้ป่วยนอก ผู้ป่วยใน เจ้าหน้าที่ และอุณหภูมิภายนอกอาคาร ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการนำค่ามาตรฐานด้านพลังงานไฟฟ้า (Energy required code) จากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือมาประกอบการจัดสร้างสมการ ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากทั้งข้อบังคับและกฎหมายด้านพลังงานจากทั้งภายในและนอกประเทศ เช่น พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 ซึ่งเป็นส่วนแก้ไขเพิ่มเติมของ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2535 โดยมีการกำหนดค่าต่างๆ ด้านระบบวิศวกรรมในอาคาร (เช่น กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคารโรงพยาบาลต้องมีค่าไม่เกิน 30 วัตต์ต่อตารางเมตร อาคารสำนักงานไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร) ค่ากำหนดจากต่างประเทศที่สำคัญซึ่งแม้จะไม่ใช่กฎหมายแต่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลเพื่อการออกแบบระบบปรับอากาศและอาคารได้แก่ มาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (Ashrae green guide) ซึ่งได้แนะนำค่าการออกแบบระบบงานวิศวกรรมต่างๆ ไว้ (ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง ระบบป้องกันอัคคีภัย การทดสอบวัสดุ เป็นต้น)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการประเมินอาคารต่างๆ ทั้งด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมหากผ่านการประเมินตามข้อกำหนดจะมีการมอบเกียรติบัตรรางวัลซึ่งจะนำมาซึ่งสิทธิประโยชน์หลายอย่าง ซึ่งการประเมินอาคารในลักษณะดังกล่าวมีในหลายประเทศ ในประเทศไทยแบบประเมินอาคาร ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 หมวดหลักได้แก่ การบริหารจัดการให้เป็นพื้นที่สีเขียว ผังบริเวณและภูมิสถาปัตยกรรม การใช้น้ำ พลังงาน สิ่งแวดล้อมภายในอาคาร การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคาร และหมวดนวัตกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) สำหรับหมวดพลังงานเน้นให้ใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น หากอาคารใดมีการผลิตพลังงานหมุนเวียนใช้ในพื้นที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของอาคารจะได้คะแนนการประเมิน 1 คะแนน หากอาคารที่เข้าร่วมประเมินไม่มีในส่วนนี้ก็ไม่ได้คะแนน นอกจากนี้ยังมีการกำหนดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศต้องเป็นไปตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 ต้องมีการแยกโซนการควบคุมเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น สำหรับต่างประเทศแบบประเมินของประเทศสหรัฐอเมริกา LEED (Leadership in energy and environmental design) ถือเป็นแบบอย่างแบบประเมินอาคารที่เป็นแบบอย่างของหลายประเทศซึ่งพัฒนาโดย United states green building (USGBC) โดยแบ่งหมวดการประเมินเป็น 5 หมวดได้แก่ การใช้ที่ดิน การใช้น้ำ การใช้พลังงาน วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และคุณภาพอากาศภายในอาคาร ในการให้คะแนนในหมวดพลังงานนั้นหลักการคือให้อาคารใช้พลังงานให้น้อยที่สุด เช่น มีการนำแสงธรรมชาติมาใช้ หลอดไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต้องเป็นชนิดประหยัดและสามารถปรับหรี่แสงได้ตามแต่สภาพธรรมชาติ มีการนำแผงโซลาร์เซลล์มาใช้ เป็นต้น นอกจากประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศไทยแล้วยังมีอีกหลายประเทศได้แก่ แบบประเมินของประเทศอังกฤษ BREEAM (Building Research Establishment Energy and Environmental Assessment Method) เป็นแบบประเมินที่ได้รับการพัฒนาโดยหน่วยงาน Building Research Establishment (BRE) แบบประเมินของประเทศญี่ปุ่น CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) เป็นแบบประเมินได้รับการพัฒนาจากหน่วยงาน Japan Sustainable Building Consortium (JSBC) ประกอบด้วยบุคลากรจากวงการก่อสร้าง หน่วยงานราชการ และนักวิชาการ โดยการสนับสนุนจากกระทรวงที่ดิน โครงข่าย และการคมนาคม

สำหรับโครงการประเภทติดฉลากอุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง นั้นมีอยู่หลายโครงการทั้งจากในและต่างประเทศ เช่น โครงการฉลากประสิทธิภาพสูงโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจ Energy star จากประเทศอเมริกา โครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจ EU Eco label จากสหภาพยุโรป เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ามีมาตรฐานด้านพลังงานไฟฟ้า (Energy required code) เป็นจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกดังนี้

1. กฎหมายหรือข้อบังคับ ซึ่งกฎหมายเหล่านี้จะถูกบังคับใช้โดยตรงต่อหน่วยงาน ซึ่งหากผู้รับผิดชอบไม่ปฏิบัติตามต้องได้รับโทษ ดังนั้นกฎหมายและข้อบังคับเหล่านี้จึงถูกนำมาพิจารณาเป็นลำดับแรก

2. ข้อกำหนดด้านพลังงานที่ได้รับคำแนะนำจากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ ข้อกำหนดนี้แตกต่างจากกฎหมาย คือ หากหน่วยงานไม่ปฏิบัติตามไม่ถือว่ามีความผิดแต่อย่างใด แต่เป็นลักษณะของการเข้าร่วมโครงการโดยสมัครใจของหน่วยงานนั้น ทั้งนี้ข้อกำหนดเหล่านี้ถูกพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญและเป็นที่ยอมรับแล้วจึงถูกนำมาประกาศใช้

3. การพิจารณาเริ่มจากกฎหมายและข้อกำหนดภายในประเทศเป็นลำดับแรก จากนั้นจึงพิจารณาข้อกำหนดจากต่างประเทศ

จากการพิจารณาพบว่าข้อกำหนดที่มีผลกระทบต่อหน่วยงานทั้ง 5 แห่งมากที่สุดและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้จริงได้แก่

1. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 แก้ไขเพิ่มเติมจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน 2535 ทั้งนี้พระราชบัญญัติฉบับนี้แยกออกเป็น 6 หมวด โดยเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าค่ามาตรฐานด้านพลังงานไฟฟ้าที่พระราชบัญญัติฉบับนี้กำหนดไว้มีความสำคัญกับการใช้พลังงานภายในอาคารเป็นอย่างยิ่งได้แก่ หมวดกรอบอาคาร หมวดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ และหมวดไฟฟ้าแสงสว่าง นอกจากนี้พระราชบัญญัติฉบับนี้มีการกำหนดวิธีการคำนวณและค่ามาตรฐานที่ชัดเจน ส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถนำข้อกำหนดนั้นมาประกอบงานวิจัยได้จริง สำหรับส่วนที่เหลืออีก 3 หมวดคือ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร การใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบของอาคารรวมถึงอุปกรณ์สำหรับอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนนั้นเป็นลักษณะของการจัดการภายในองค์กรเพื่อสอดคล้องกับข้อกำหนดที่ได้กล่าวไปซึ่งอยู่เหนือขอบเขตการพิจารณาในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. โครงการฉลากประสิทธิภาพสูงโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการที่ประชาชนให้ความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในส่วนของผู้ผลิตสินค้าและผู้บริโภคเพราะมีผลกระทบโดยตรงต่อทั้ง 2 ฝ่าย โดยดูได้จากสถิติการแจกฉลากตั้งแต่เริ่มโครงการจนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2552 มีมากถึง 124,638,272 ดวง (การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, 2552) จะเห็นได้ว่าโครงการนี้มีลักษณะที่สำคัญคือเป็นโครงการโดยสมัครใจของผู้ผลิตเพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคไม่มีการบังคับหรือบทลงโทษแต่อย่างใด มีขั้นตอนและมาตรฐานการทดสอบอุปกรณ์ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ ส่งผลต่อผู้บริโภคโดยตรงรวมถึงหน่วยงานต้นแบบทั้ง 5 แห่งด้วย

3. โครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจจากประเทศอเมริกา โครงการนี้เป็นต้นแบบให้กับโครงการติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกหลายประเทศ เช่น มาตรฐาน EU Eco label จากสหภาพยุโรป มาตรฐาน Blue angle จากประเทศเยอรมัน เป็นต้น จากข้อมูลทั้งหมดจะเห็นได้ว่าโครงการดำเนินงานโดยหน่วยงานของรัฐบาลที่มีความน่าเชื่อถือ มีการกำหนดวิธีการวัดที่แน่นอนอ้างอิงมาตรฐานที่มีการยอมรับ นอกจากนี้ยังมีการดำเนินการเป็นระยะอย่างต่อเนื่องแสดงถึงความยั่งยืนและการยอมรับทั้งจากผู้ผลิตและผู้บริโภค

ขั้นตอนการสร้างสมการปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม(OEC) นั้น ต้องทำการจำลองการใช้พลังงานในอาคารของแต่ละหน่วยงานก่อนด้วยโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน ทั้งนี้โปรแกรมที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายได้แก่ โปรแกรม DOE-2, BLAST และ Energy plus ในส่วนของโปรแกรม DOE-2 ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Department of Energy: DOE) ส่วนโปรแกรม BLAST ได้รับการพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US Department of Defense: DOD) โปรแกรมทั้งสองได้มีการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมามากกว่า 20 ปี จนเกิดความซับซ้อนในตัวโปรแกรม จึงทำให้การใช้งานหรือพัฒนาโปรแกรมเป็นเรื่องยาก ต้องอาศัยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในตัวโปรแกรมเป็นอย่างดี ต่อมารัฐบาลสหรัฐอเมริกาจึงได้มีการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารขึ้นมาใหม่คือ โปรแกรม Energy plus โดยเลือกจุดเด่นของโปรแกรม DOE-2 และ BLAST มาประยุกต์รวมกัน ตัวอย่างเช่น ในส่วนของโปรแกรม DOE-2 จะคิดคำนวณความร้อนเข้าสู่อาคาร (Heat Gain) และภาระการปรับอากาศ (Cooling Loads) โดยใช้วิธีฟังก์ชันการถ่ายโอนความร้อน (Transfer Function Method) ซึ่งรวดเร็วและแม่นยำพอสมควร แต่โปรแกรม BLAST จะคิดคำนวณจากสมดุลความร้อน (Heat Balance) ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งช้ากว่าแต่ก็แม่นยำกว่า โปรแกรม Energy Plus

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปิดโอกาสให้ผู้ใช้เลือกว่าจะทำการคำนวณด้วยวิธีใด ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองมาตรฐาน (Base Case) ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และตัวโปรแกรมยังสามารถพัฒนารูปแบบการใช้งานตามความต้องการของผู้ใช้ได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณาในเรื่องความเหมาะสมและความสะดวกในการทำงาน งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้โปรแกรม Energy plus

หลังจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus แล้วจึงทำการสอบเทียบค่าต่างๆ เช่น ตารางการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า จำนวนคนในพื้นที่ จนปริมาณการใช้พลังงานของหน่วยงานมีค่าใกล้เคียงกับการใช้พลังงานจริงและถือว่าเป็นกรณีฐาน (Base case) จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าต่างๆให้เป็นไปตามมาตรฐานด้านพลังงานไฟฟ้า (Energy required code) จากหน่วยงานที่น่าเชื่อถือดังได้กล่าวไปแล้วข้างต้น และทำการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานอีกครั้งซึ่งปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้จะเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC)

อย่างไรก็ดี Energy plus เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านพลังงานที่มีความซับซ้อน และต้องการผู้ใช้ที่มีประสบการณ์ ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะให้หน่วยงานนำไปใช้โดยตรง เมื่อมีการใช้งานที่เปลี่ยนไป เช่น จำนวนคนมากขึ้น อุณหภูมิภายนอกร้อนขึ้น เป็นต้น ดังนั้นผลจาก Energy plus จะถูกนำมาจัดสร้างเป็นสมการที่ใช้งานง่าย ในรูปแบบสมการถดถอยของตัวแปรหลักที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและมีผลกับการใช้พลังงาน นอกจากนี้หากเป็นตัวแปรที่หน่วยงานที่การเก็บข้อมูลอยู่แล้วจะทำให้หน่วยงานง่ายต่อการนำสมการไปใช้ได้แก่ จำนวนผู้ป่วยนอก จำนวนผู้ป่วยในจำนวนบุคลากร และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าคงที่ของสมการ อาศัยหลักการวิเคราะห์ความถดถอยทางสถิติเชิงพหุ (Multi linear regression) โดยพิจารณาทั้งเงื่อนไขทางสถิติและข้อมูลทางสถิติที่ต้องพิจารณาเพื่อความเหมาะสมของการนำสมการมาใช้ได้แก่ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) หากสมการถดถอยใดที่มีค่า R^2 มากหมายถึงสมการนั้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์

1. โปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน Energy plus ซึ่งสามารถค้นหาโปรแกรมและคู่มือการใช้งานจาก http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/

2. โปรแกรมคำนวณทางสถิติ เพื่อจัดสร้างปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimum energy consumption)

3. คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค

การดำเนินงานวิจัยนี้ต้องทำการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นหลายส่วนประกอบด้วย

1. จำนวนบุคลากรคือจำนวนเจ้าหน้าที่ที่ทำงานประจำในอาคารนับรวมตลอดทั้งเดือน

2. จำนวนผู้ป่วยนอกคือจำนวนครั้งที่บุคคลภายนอกที่เข้ามาใช้บริการในวันทำการนับรวมตลอดทั้งเดือน

3. จำนวนผู้ป่วยในคือจำนวนผู้ป่วยที่รับไว้รักษาและนอนในโรงพยาบาลต่อวัน โดยนับรวมตลอดทั้งเดือน

4. เวลาในการให้บริการคือเวลาการทำงานตามปกติของหน่วยงานไม่นับรวมการทำงานนอกเวลา

5. ขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารคือพื้นที่ใช้สอยเฉพาะภายในอาคารของหน่วยงาน โดยรวมทั้งพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

6. จำนวน ชนิดและความเข้มกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า แสดงรายละเอียดของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดแยกแผนกทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป แสงสว่าง ระบบปรับอากาศและเครื่องมือทางการแพทย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. จำนวนหน่วยการใช้ไฟฟ้า (kWh) ของอาคารรายเดือนทั้ง 12 เดือน ของปี 2551

8. แบบก่อสร้างอาคาร แบบซึ่งแสดงรายละเอียดของอาคารที่ชัดเจน เช่น วัสดุประกอบอาคาร ชนิดกระจก เป็นต้น

9. แบบระบบปรับอากาศ แสดงรายละเอียดของส่วนประกอบระบบปรับอากาศภายในอาคารทั้งหมด ทั้งชนิดแยกส่วนและรวมศูนย์ แยกตามแผนกของหน่วยงาน

10. แบบระบบแสงสว่าง แสดงรายละเอียดของระบบแสงสว่าง ชนิดของหลอด บัลลาสต์ แยกตามแผนกของหน่วยงาน

วิธีการ

1. จำลองการใช้พลังงานของหน่วยงานแต่ละแห่งโดยโปรแกรม Energy plus

1.1 จำลองการใช้พลังงานของอาคารจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นโดยโปรแกรม Energy plus โดยมีข้อมูลหลักที่ต้องใส่ เช่น จำนวนคนในพื้นที่ กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า แสงสว่าง ระบบปรับอากาศ เป็นต้น โดยกำหนดให้โปรแกรม Energy plus คำนวณปริมาณการใช้พลังงานรายเดือนทั้ง 12 เดือน

1.2 นำข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานจากโปรแกรม Energy plus ทั้ง 12 เดือน มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงโดยดูจากจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าของหน่วยงานปี 2551 หากมีความใกล้เคียงกัน (± 10%) จะถือว่ารูปแบบนั้นเป็นกรณีฐาน (Basecase) แต่หากยังคงไม่ใกล้เคียงต้องทำการปรับข้อมูลเบื้องต้น เช่น ปรับจำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ปรับร้อยละการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

1.3 คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) และค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่ของอาคารของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง ตามหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อทราบผลการคำนวณแล้วจึงทำการปรับค่าของอาคารให้อยู่ตามเกณฑ์ เช่น หากผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ของโรงพยาบาลมีค่าเกิน 30 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำการเปลี่ยนกระจกของอาคารให้เป็นชนิดประหยัดพลังงาน จากนั้นทำการคำนวณอีกครั้ง หากค่า OTTV เกิน 30 วัตต์ต่อตารางเมตร ปรับชนิดของวัสดุประกอบผนังหรือชนิดกระจกอีกจนกระทั่งค่า OTTV มีค่าเท่ากับเกณฑ์ ทั้งนี้วิธีการปรับปรุงอาคารจนผ่านเกณฑ์ของ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 นั้นขึ้นอาจไม่เหมือนกันทุกหน่วยงานขึ้นอยู่กับการพิจารณาของผู้วิจัย

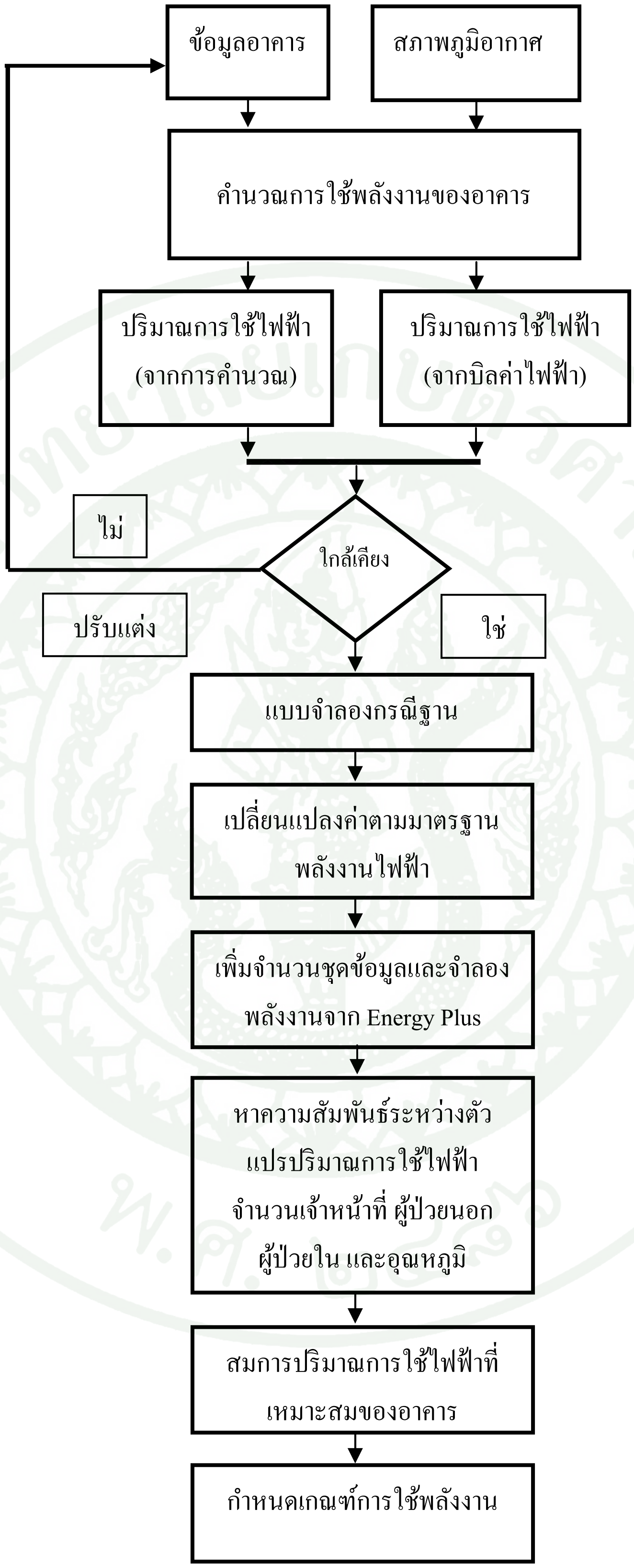
1.4 นำแบบจำลองกรณีฐาน (Basecase) ในข้อ 1.2 มาทำการปรับค่าให้เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น ปรับชนิดกระจก วัสดุประกอบผนัง ติดตั้งฉนวน เป็นต้น โดยนำรูปแบบมาจากข้อ 2.3 และทำการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานอีกครั้งด้วยโปรแกรม Energy plus และกำหนดให้โปรแกรมคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าของรายเดือนออกมา โดยผลที่ได้จะเป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานแต่ละแห่ง

1.5 เนื่องจากจำลองการใช้พลังงานนั้นใช้ข้อมูลของอาคารเพียงปีเดียว เมื่อต้องนำสมการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไปใช้งานกับปีอื่น ซึ่งอาจมีจำนวนคนและอุณหภูมิที่แตกต่างออกไปจากปี 2551 ดังนั้นเพื่อให้ได้ช่วงของข้อมูลที่กว้างขึ้นเหมาะสมกับการนำไปใช้ จึงทำการปรับ-ลด จำนวนคนและอุณหภูมิภายนอกอาคาร และให้โปรแกรม Energy plus คำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคารออกมา ทั้งนี้การปรับลดจำนวนคนนั้นอยู่ในช่วงที่มีความเป็นไปได้จากข้อมูลย้อนหลังพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจำนวนคน $\pm$ 30% สำหรับอุณหภูมิภายนอกอาคารนั้นตามข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552) อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุดในรอบ 50 ปี อยู่ระหว่าง 15-40 องศาเซลเซียส

2. จัดสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) โดยกำหนดตัวแปรที่หน่วยงานมีการจัดเก็บข้อมูลอยู่แล้วและมีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ดังนี้ปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำนวนผู้ป่วยนอก จำนวนผู้ป่วยใน จำนวนบุคลากร อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน

3. นำสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้จริงของอาคาร (AEC) เพื่อคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน (Index) และเกณฑ์การใช้พลังงาน (Benchmark) ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



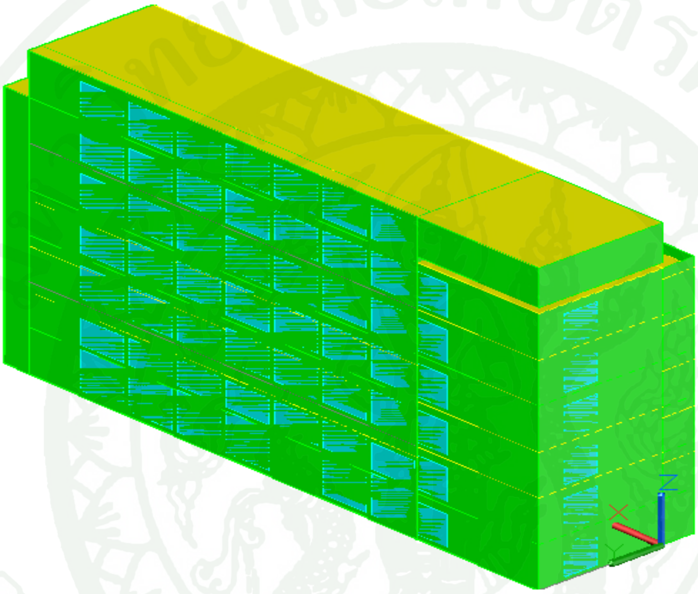
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการจัดสร้างดัชนีการใช้พลังงาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้จัดสร้างดัชนีและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับหน่วยงาน 5 แห่ง ประกอบด้วย อาคารสำนักงานและอาคารโรงพยาบาล ซึ่งแต่ละหน่วยงานมีลักษณะเฉพาะแสดงดังภาพที่ 7-12

1. อาคารสำนักการแพทย์ 1 หน่วยงานสำนักการแพทย์



ภาพที่ 7 แบบจำลองอาคารสำนักการแพทย์ 1

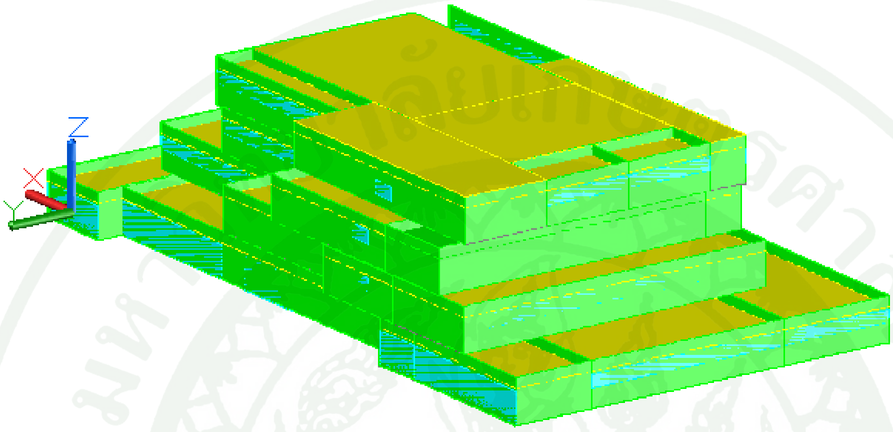
อาคารสำนักการแพทย์ 1 เป็นอาคารสำนักงานใหญ่ของหน่วยงานสำนักการแพทย์ ขนาด 7 ชั้น ขนาดพื้นที่ใช้สอยในอาคาร 2,932 ตารางเมตรโดยคิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศร้อยละ 71 ตัวอาคารประกอบด้วยกระจกใสร้อยละ 23

เครื่องใช้ไฟฟ้าหลักแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ระบบปรับอากาศทั้งหมดของอาคารเป็นชนิดแยกส่วน Spilt type จำนวน 48 เครื่อง คิดเป็นขนาดความเย็นทั้งสิ้น 1,880,000 BTU จากการตรวจวัดประสิทธิภาพพบว่า ร้อยละ 73 มีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (EER) ต่ำกว่าเบอร์ 5 (ต่ำกว่า 7.6 Btu /W) ระบบแสงสว่าง ประกอบด้วยหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 และ 18 วัตต์ และหลอดฮาโลเจน

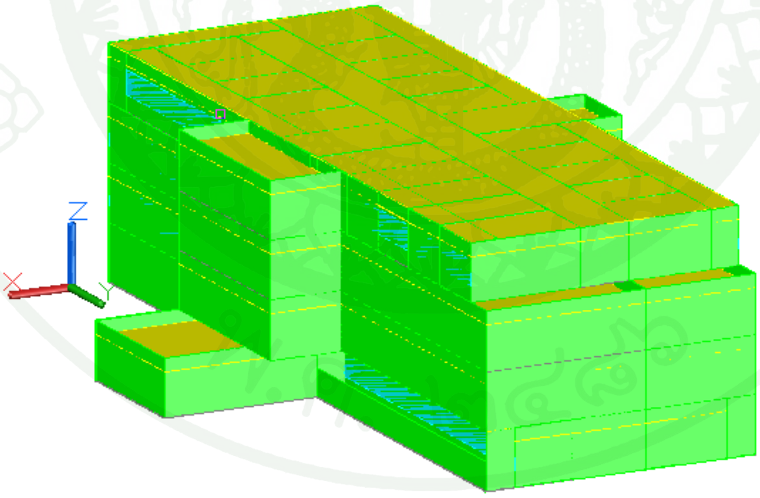
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับบัลลาสต์เป็นชนิดแกนเหล็กสูญเสียต่ำเป็นบางส่วน อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปเป็นอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

2. อาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์



ภาพที่ 8 แบบจำลองอาคารเฉลิมพระเกียรติ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์



ภาพที่ 9 แบบจำลองอาคารสังฆราชย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์

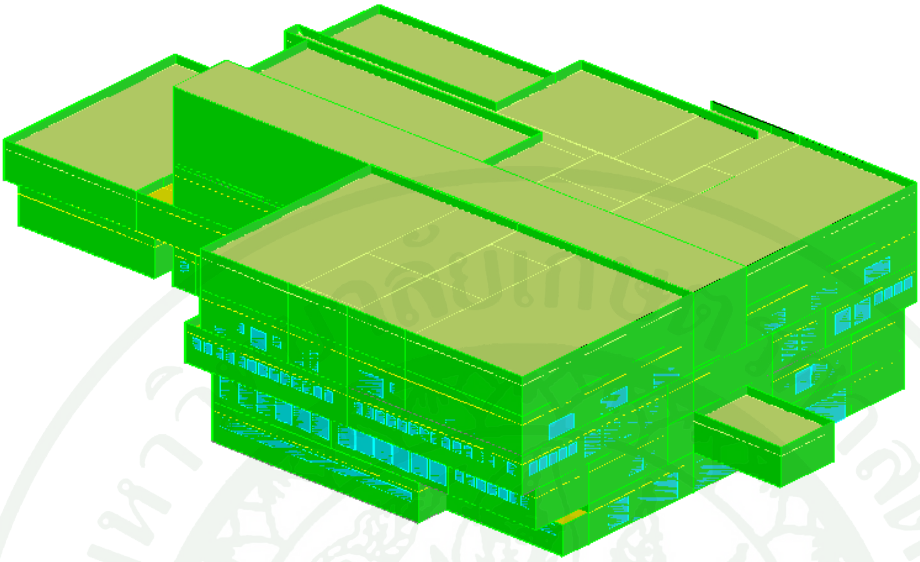
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โรงพยาบาลราชพิพัฒน์ ประกอบด้วยอาคารเพื่อรักษาผู้ป่วยจำนวน 2 หลัง คือ อาคารเฉลิมพระเกียรติและอาคารสังฆราชย์ โดยอาคารเฉลิมพระเกียรติเป็นอาคารเก่า 4 ชั้น มีพื้นที่ภายในอาคารทั้งหมด 4,520 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศร้อยละ 63 อาคารประกอบด้วยกระจกรอบด้าน โดยคิดเป็นร้อยละ 21 ของผนังทั้งหมด สำหรับวัสดุผนังด้านนอกอาคารประกอบด้วยอิฐฉาบปูน ในส่วนของกระจกนั้นเป็นกระจกติดฟิล์มหนา 3 มิลลิเมตร และกระจกใส 2 ชั้นหนา 12 มิลลิเมตร (สำหรับประตูและห้องโถงชั้น 1)

อาคารสังฆราชย์เป็นอาคาร 4 ชั้น พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่พักฟื้นของผู้ป่วย ดังนั้นคนในพื้นที่จึงเป็นผู้ป่วยในและญาติเป็นส่วนมาก พื้นที่ภายในอาคารทั้งหมด 2,393 ตารางเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศร้อยละ 32 ของอาคารทั้งหมด ประกอบด้วยกระจกร้อยละ 23 ของพื้นที่ผนังทั้งหมด อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าหลักแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป และอุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบปรับอากาศของหน่วยงานทั้งหมดเป็นระบบแยกส่วนจำนวนทั้งสิ้น 139 เครื่อง จากการสุ่มตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศของหน่วยงานพบว่าร้อยละ 73.5 มีประสิทธิภาพ (EER) ต่ำกว่าเบอร์ 1 ในส่วนของแสงสว่างเป็นหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 18 และ 36 วัตต์ บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กสูญเสียต่ำ และหลอดไฟฟ้าชนิดฮาโลเจนขนาด 8-10 วัตต์ สำหรับเครื่องมือทางการแพทย์นั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีกำลังไฟฟ้ามากอยู่หลายเครื่อง เช่น เครื่องฉายรังสีขนาดใหญ่ ตู้เย็นขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อาคารเอนกประสงค์ โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์



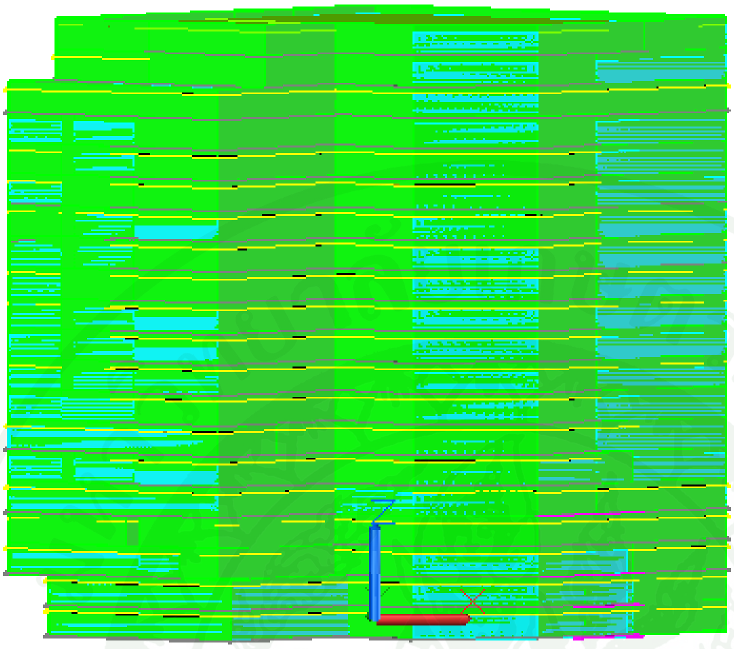
ภาพที่ 10 แบบจำลองอาคารเอนกประสงค์ โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์

อาคารเอนกประสงค์เป็นอาคารใหม่เพียงหลังเดียวของโรงพยาบาลเกื้อการุณย์รัศมิ์ มีขนาด 5 ชั้น พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร 35,335 ตารางเมตร และพื้นที่ปรับอากาศคิดเป็นร้อยละ26 ของพื้นที่ทั้งหมด อาคารติดตั้งกระจกชนิด Blue green heat strengthened glass โดยคิดเป็นร้อยละ 20 ของผนัง ตัวอาคารทาสีอ่อน ยังไม่มีการติดตั้งฉนวนบริเวณหลังคา

อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าหลักแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป และอุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบปรับอากาศทั้งหมดของอาคารเป็นชนิดรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยอากาศจำนวน 4 เครื่อง โดยเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ติดตั้งมีขนาดทำความเย็น 85 ตัน ระบบแสงสว่างประกอบด้วยหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 และ 18 วัตต์ และหลอดฮาโลเจน สำหรับบัลลาสต์เป็นชนิดแกนเหล็กสูญเสียต่ำเป็นบางส่วน สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าสำนักงานต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. อาคารอนุสรณ์ 100 ปี โรงพยาบาลกลาง



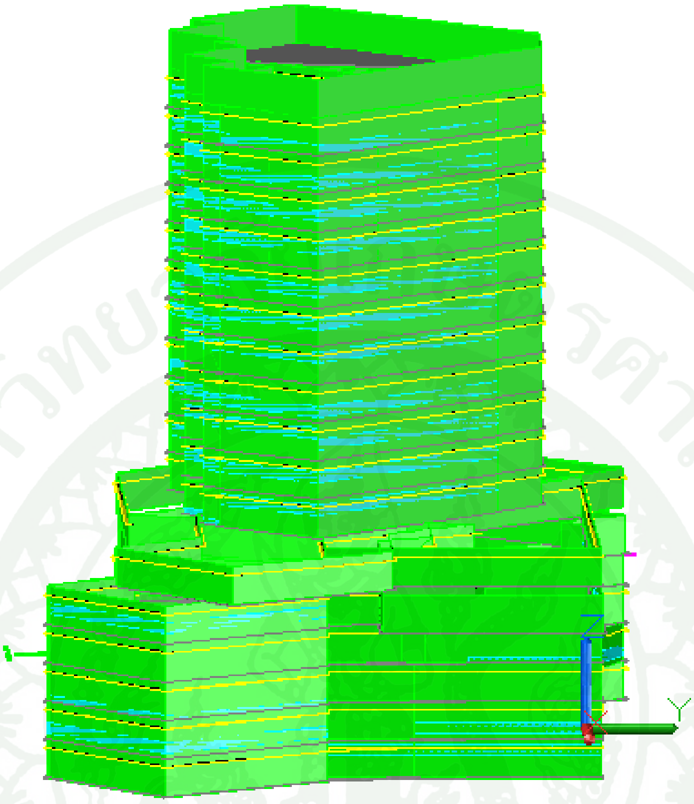
ภาพที่ 11 แบบจำลองอาคารอนุสรณ์ 100 ปี

อาคารอนุสรณ์ 100 ปี มีขนาด 21 ชั้น พื้นที่อาคารทั้งสิ้น 55,836 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศร้อยละ 51 ประกอบด้วยกระจกหนา 3 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 44 ของพื้นที่ผนังทั้งหมด

ติดตั้งระบบปรับอากาศทั้งแบบแยกส่วน (Split type) จำนวน 526 เครื่อง และระบบปรับอากาศชนิดรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยอากาศจำนวน 7 เครื่อง ประกอบด้วยขนาด 240,000 BTU/hr จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 300,000 BTU/hr จำนวน 4 เครื่องและขนาด 400,000 BTU/hr จำนวน 1 เครื่อง สำหรับระบบแสงสว่างประกอบด้วยหลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 และ 18 วัตต์ และหลอดฮาโลเจน บัลลาสต์เป็นชนิดแกนเหล็กสูญเสียต่ำเป็นบางส่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช โรงพยาบาลตากสิน



ภาพที่ 12 แบบจำลองอาคารสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช

อาคารอนุสรณ์ 100 ปี มีขนาด 17 ชั้น พื้นที่อาคารทั้งสิ้น 33, 925 ตารางเมตร คิดเป็นพื้นที่ปรับอากาศร้อยละ 34 ประกอบด้วยกระจกหนา 3 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 16 ของพื้นที่ผนังทั้งหมด

อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) ทั้งสิ้น 600 เครื่อง และระบบปรับอากาศชนิดรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำขนาด 1,680,000 BTU/hr จำนวน 3 เครื่องโดยติดตั้งหอระบายความร้อนขนาด 250 ตัน จำนวน 3 เครื่อง

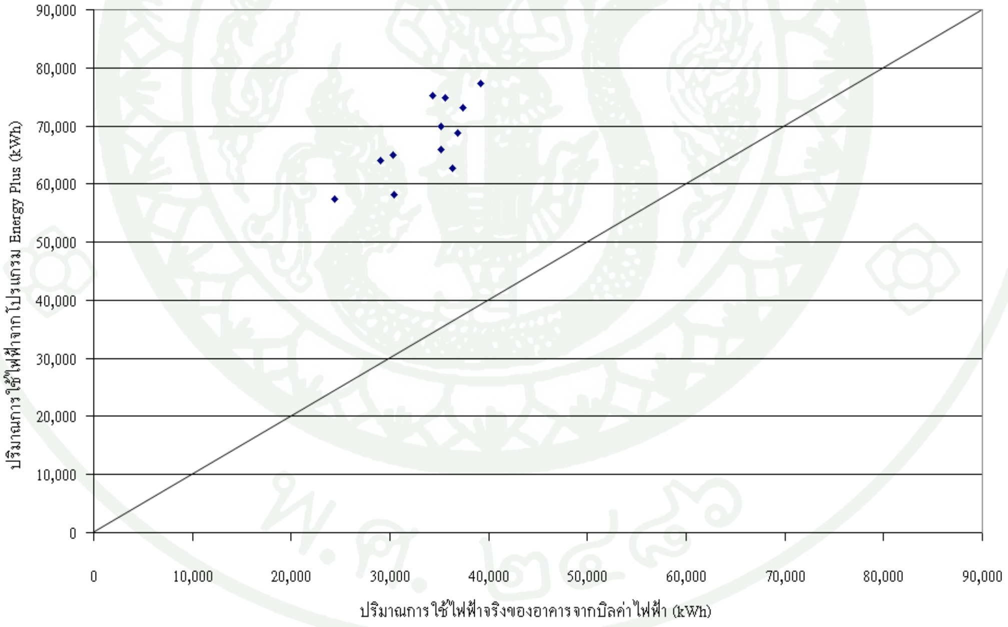
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผล

ขั้นตอนหลังจากจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ สอบเทียบการใช้พลังงานเพื่อให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงของอาคารจนได้กรณีฐาน (Base case) จำลองปริมาณการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีการเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code) และการสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของอาคาร (OEC)

1. อาคารสำนักการแพทย์ 1 สำนักงานใหญ่สำนักการแพทย์

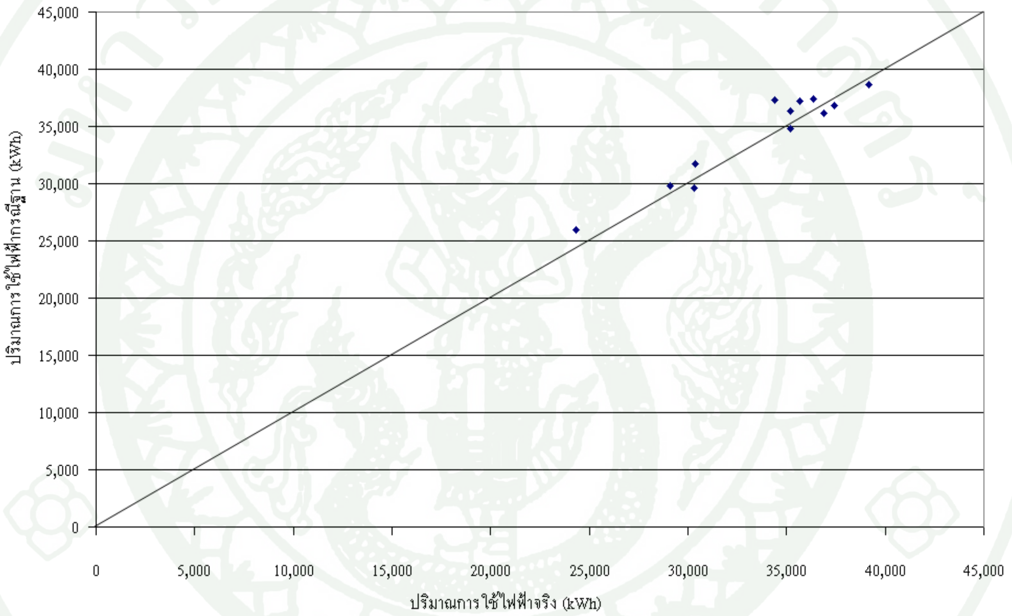
1.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานและการสอบเทียบ (Calibrated) การใช้พลังงานของอาคาร



ภาพที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus อาคารสำนักการแพทย์ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 13 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้า (AEC) ในแกนนอนและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus ที่ยังไม่ได้ทำการสอบเทียบ (Calibrated) ในแกนตั้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อนำข้อมูลทั้งสองส่วนมาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้ห่างจากเส้นทแยงมุมของกราฟมาก แสดงว่าข้อมูลของทั้ง 2 ส่วนมีความแตกต่างมาก ดังนั้นจึงต้องทำ การสอบเทียบ (Calibrated) ด้วยการปรับค่าต่างๆ เช่น ปรับชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ปรับร้อยละการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อให้แบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับอาคารจริงมากที่สุดและเมื่อนำปริมาณการใช้จริง (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus มาเขียนกราฟเปรียบเทียบพบว่ามีความใกล้เคียงกัน (±10%) ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารสำนักการแพทย์ 1 หลังสอบเทียบ (Generated)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังจากเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code)

หลังการคำนวณตามหลักเกณฑ์ตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พุทธศักราช 2550 พบว่า ค่าถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV) ของอาคารสำนักการแพทย์ 1 มีค่าเท่ากับ 68 วัตต์ต่อตารางเมตร และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 11.62 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับระบบปรับอากาศ ทั้งหมดเป็นชนิดแยกส่วนที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี และประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยเฉลี่ยต่ำกว่าเบอร์ 2 (EER< 8.6) เป็นส่วนใหญ่ (สถาบันวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2551)

1.3 ผลการสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคาร

หลังจากเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้เป็นไปตามมาตรฐานพลังงานไฟฟ้าแล้ว จึงทำการเพิ่มข้อมูล (Generated) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคาร โดยกำหนดตัวแปรที่จะนำมาสร้างสมการคือ จำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) ดังนี้

1.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis)

ขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์คือการตรวจสอบรูปแบบว่าตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในลักษณะใด แต่การวิจัยนี้มุ่งเน้นให้หน่วยงานสามารถนำไปใช้ได้ง่าย โดยมีตัวแปรที่หน่วยงานจัดเก็บข้อมูลอยู่แล้ว ซึ่งรูปแบบของสมการถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis) ที่สามารถนำไปใช้ได้ง่ายที่สุดคือรูปแบบเส้นตรง ดังนั้นการตรวจสอบความสัมพันธ์ในที่นี้จึงเป็นเพียงการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ว่ารูปแบบของสมการถดถอยมีแนวโน้มของการเป็นเส้นตรงได้หรือไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติ เฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิด อาคารสำนักการแพทย์ 1

ความสัมพันธ์ของตัวแปร	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ได้จากสมการถดถอยในรูปแบบต่างๆ			
	Linear	Log	Power	Exponential
ไฟฟ้าและเจ้าหน้าที่	0.734	0.744	0.746	0.782
ไฟฟ้าและอุณหภูมิ	0.477	0.444	0.529	0.449

จากตารางที่ 12 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในแต่ละรูปแบบของปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับจำนวนเจ้าหน้าที่มีความใกล้เคียงกันมาก โดยรูปแบบของสมการถดถอยเชิงเส้นนั้นอยู่ที่ 0.734 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับอุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในรูปแบบเส้นตรงเท่ากับ 0.477 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำ แต่หากพิจารณาจากรูปแบบอื่นๆ ประกอบด้วยจะพบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในทุกรูปแบบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการแบบเส้นตรงนั้นมีค่าต่ำกว่ารูปแบบ ยกกำลัง (Power) เพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงเลือกใช้รูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุระหว่างปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารกับตัวแปรจำนวนคน และอุณหภูมิภายนอกอาคาร ในรูปแบบเส้นตรง

ตารางที่ 13 พบว่า ค่า Sig F น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นทุกตัวแปรมีผลกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารทั้งสิ้น โดยมีสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (ค่า Beta) เพื่อบอกน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามคือปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นไปในทางบวก และมีความสัมพันธ์ในลักษณะสมการพยากรณ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 91 (Multiple R = .91) นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 83.0 (R^2 = 0.83) และจำนวนเจ้าหน้าที่มีความสำคัญกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากกว่าอุณหภูมิ (จากค่าBeta)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า อาคารสำนักการแพทย์

ตัวแปร	B	SE B	Beta	t	Sig.
(Constant)	2.743	1.008	-	9.714	.000
ln (Staff)	0.767	0.041	0.741	18.633	.000
ln (Ambient temperature)	0.198	0.002	0.265	6.663	.000
Multiple R = 0.91 R^2 = 0.83 Adj R^2 = 0.83 Std error = 0.19					

จากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร (B) ในตารางที่ 13 สามารถเขียนสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของอาคาร (OEC) ได้ดังนี้

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[2.743 + 0.767 \times \ln(\text{Staff}) + 0.198 \times \ln(\text{Ambient temperature})] \quad (16)$$

1.3.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

การทดสอบเงื่อนไขในครั้งนี้ใช้วิธีสถิติทดสอบ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.01 และทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อ ดังนี้

1. การตรวจสอบความเป็นปกติ (Normality)

Ho: ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H1: ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบในที่นี้ใช้ Kolmogorov-Smirnov ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.021 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

Ho: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

H1: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

การทดสอบโดยใช้วิธี One Sample t-test ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 1 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การตรวจสอบ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Heteroscedastic)

Ho: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ σ^2

H1: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ไม่เท่ากับ σ^2

การทดสอบโดยใช้ Test of Homogeneity of Variance ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.01 แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

4. การตรวจสอบ ความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน (Autocorrelation)

Ho: ค่า e_i กับ e_{i-1} เป็นอิสระต่อกัน

H1: ค่า e_i กับ e_{i-1} ไม่เป็นอิสระต่อกัน

ที่นี้ใช้การตรวจสอบ Durbin-Watson Test (DW) ซึ่งค่า DW ต้องอยู่ระหว่าง 1.5 และ 2.5 โดยผลการทดสอบพบว่า ค่า DW เท่ากับ 2.5 สรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 14

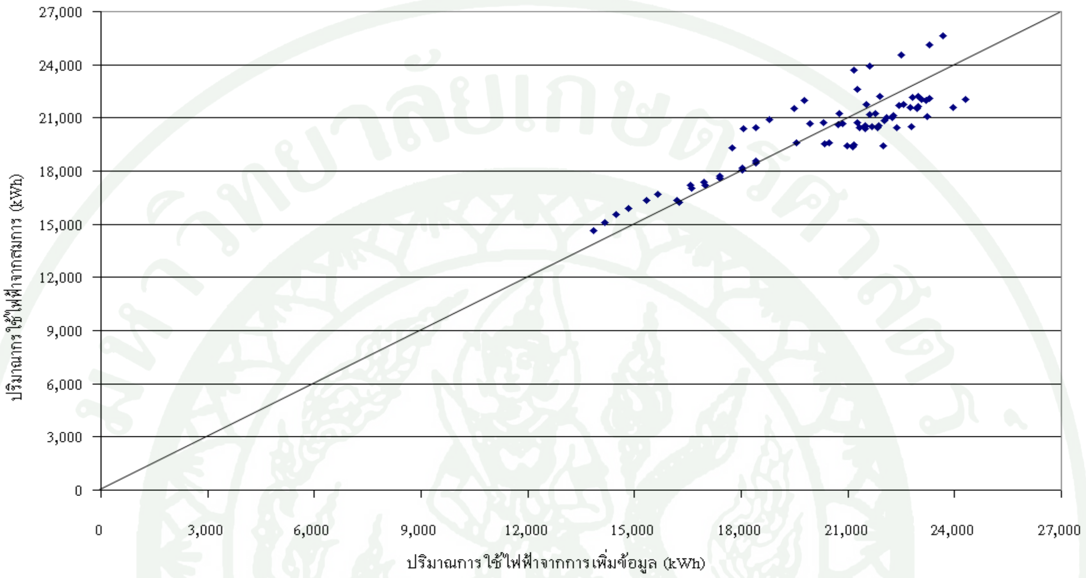
ตารางที่ 14 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น อาคารสำนักการแพทย์ 1

R^2	ค่า Sig ของการทดสอบ			Durbin-Watson
	Kolmogorov-Smirnov	ค่าเฉลี่ย = 0	Levene Statistic	
0.83	.021	1	0.1	1.63
	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

เมื่อนำตัวแปรจำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคารเฉลี่ย (Ambient temperature) รายเดือนแทนค่าลงในสมการที่ (16) เพื่อคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารแล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) จากโปรแกรม Energy plus พบว่ามีความใกล้เคียงกัน ภาพที่ 15

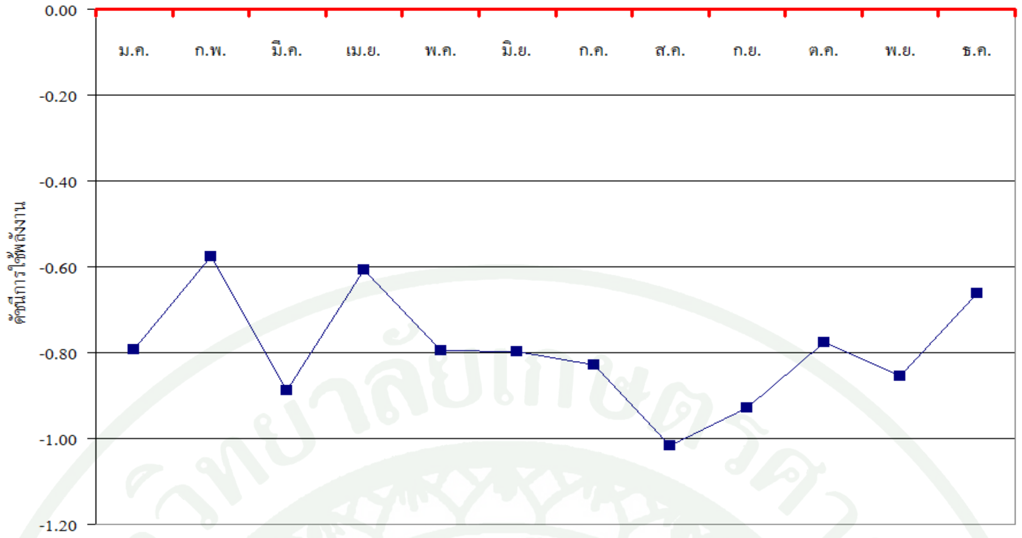
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 16 คือ ดัชนีการใช้พลังงาน (Index) รายเดือนของปี 2551 และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การใช้พลังงาน (Benchmark) พบว่าดัชนีการใช้พลังงานทุกค่าติดลบ (เกณฑ์การใช้พลังงานมีค่าเท่ากับศูนย์) นั่นคือปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) มีค่ามากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสมมาก (OEC)



ภาพที่ 15 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรม Energy plus และจากสมการที่ (16) อาคารสำนักการแพทย์ 1

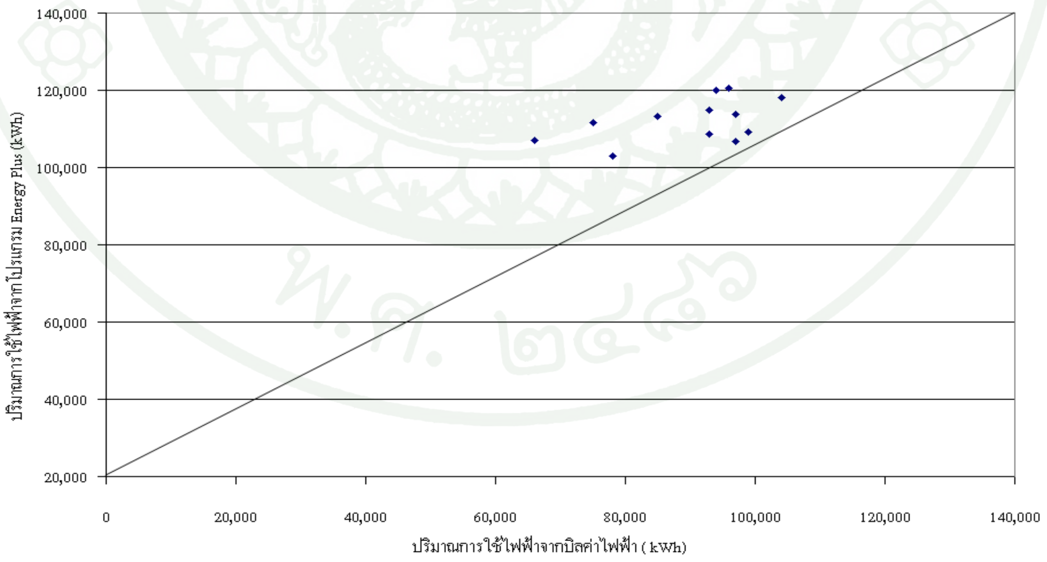
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคาร ปี 2551 อาคารสำนักการแพทย์ 1

2. อาคารเฉลิมพระเกียรติและอาคารสังฆราชย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์

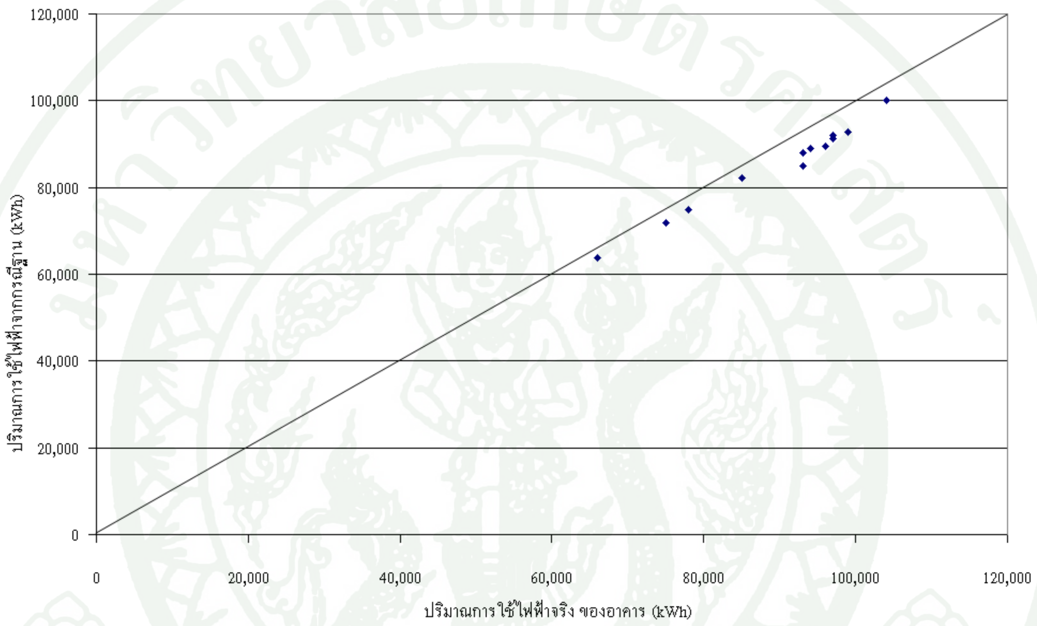
2.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานและการสอบเทียบ (Calibrated) การใช้พลังงานของอาคาร



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 17 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้า (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus ที่ยังไม่ได้ทำการสอบเทียบ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงต้องทำการสอบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเพื่อให้แบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับอาคารจริงมากที่สุด และเมื่อนำปริมาณการใช้จริง (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus มาเขียนกราฟเปรียบเทียบพบว่ามีความใกล้เคียงกัน (±10%) ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารเฉลิมพระเกียรติและอาคารสังฆราชย์หลังสอบเทียบ (Calibrated)

2.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังจากเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code)

จากการคำนวณพบว่าค่าถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของอาคารเฉลิมพระเกียรติมีค่าเท่ากับ 38.34 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 21 วัตต์ต่อตารางเมตร และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 11.32 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับอาคารสังฆราชย์นั้นมีค่าถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารเท่ากับ 35.89 และค่าถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาเท่ากับ 21 วัตต์ต่อตารางเมตร และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 6.71 วัตต์ต่อตารางเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับระบบปรับอากาศนั้นทั้งหมดเป็นชนิดแยกส่วนที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี และประสิทธิภาพต่ำ จะเห็นได้ว่าทุกค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (Energy require code) จึงต้องทำการปรับค่าต่างๆ ก่อนจากนั้นจึงทำการเพิ่มข้อมูลและวิเคราะห์สมการถดถอยต่อไป

2.3 การสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis)

2.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis)

ตารางที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและตัวแปรต่างๆ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและจำนวนผู้ป่วยนอกใน (Inpatient) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและจำนวนผู้ป่วยนอก(Outpatient) นั้นรูปแบบยกกำลังนั้นเป็นรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาคือรูปแบบเชิงเส้น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและจำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) ทุกรูปแบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ใกล้เคียงกัน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและอุณหภูมิภายนอกอาคาร(Ambient temperature) นั้น รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดคือยกกำลัง (Power) รูปแบบที่เหมาะสมน้อยที่สุดคือเชิงเส้น แต่หากดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแล้วจะพบว่าไม่แตกต่างกันมากนัก จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของทุกคู่แล้วจึงมีความเป็นไปได้ที่สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมจะอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากการความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์

ความสัมพันธ์ของตัวแปร	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ได้จากสมการถดถอยในรูปแบบต่างๆ			
	Linear	Log	Power	exponential
ไฟฟ้าและผู้ป่วยนอก	0.0015	0.0007	0.0300	0.0010
ไฟฟ้าและผู้ป่วยใน	0.182	0.169	0.241	0.163
ไฟฟ้าและเจ้าหน้าที่	0.010	0.013	0.013	0.01
ไฟฟ้าและอุณหภูมิ	0.392	0.415	0.505	0.429

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อทำการวิเคราะห์ความถดถอยของตัวแปรอิสระประกอบด้วยจำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) พบว่า ค่า Sig F มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (ค่า Beta) ซึ่งบอกน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามคือปริมาณการใช้ไฟฟ้า เป็นไปในทางบวก มีเพียงเจ้าหน้าที่เท่านั้นที่มีความสัมพันธ์ในเชิงลบ โดยความสัมพันธ์ในลักษณะสมการพยากรณ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 89.7 (Multiple R = .897) และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 80.4 (R^2 = .804)

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า
อาคารพระเฉลิมเกียรติและสังฆราชย์

ตัวแปร	B	SE B	Beta	t	Sig.
(Constant)	3.153	.800		3.941	.000
ln (Outpatient)	0.297	.085	.287	3.486	.001
ln (Inpatient)	0.752	.062	.842	12.165	.000
ln (Staff)	-0.913	.125	-.697	-7.328	.000
ln (Ambient temperature)	2.291	.150	.821	15.251	.000
Multiple R = 0.897 R^2 = 0.804 Adj R^2 = 0.794 Sd error = 0.051 F = 79.923 Sig F = 0.00					

จากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร (B) ในตารางที่ 16 สามารถสร้างสมการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม(OEC) ของหน่วยงาน ได้ดังนี้

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[3.153+0.297 \times \ln(\text{Outpatient})+0.752 \times \ln(\text{Inpatient}) -0.913 \times \ln(\text{Staff})+2.291 \times \ln(\text{Ambient temperature}) \quad (17)$$

2.3.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

การทดสอบเงื่อนไขในครั้งนี้ใช้วิธีสถิติทดสอบ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.01 และทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อ ดังนี้

1. การตรวจสอบความเป็นปกติ (Normality)

Ho: ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H1: ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบในที่นี้ใช้ Kolmogorov-Smirnov ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.012 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

Ho: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

H1: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

การทดสอบโดยใช้วิธี One Sample t-test ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 1 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

3. การตรวจสอบค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Heteroscedastic)

Ho: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ σ^2

H1: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ไม่เท่ากับ σ^2

การทดสอบโดยใช้ Test of Homogeneity of Variance ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.12 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

4. การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน (Autocorrelation)

Ho: ค่า e_i กับ e_{i-1} เป็นอิสระต่อกัน

H1: ค่า e_i กับ e_{i-1} ไม่เป็นอิสระต่อกัน

ที่นี้ใช้การตรวจสอบ Durbin-Watson Test (DW) ซึ่งค่า DW ต้องอยู่ระหว่าง 1.5 และ 2.5 โดยผลการทดสอบพบว่า ค่า DW เท่ากับ 2.5 สรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

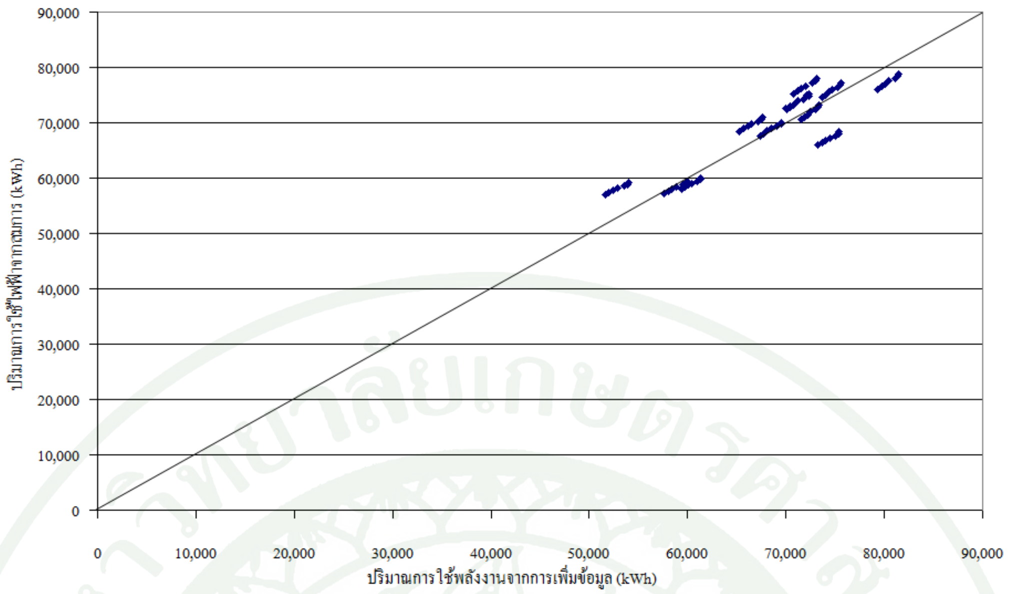
ตารางที่ 17 แสดงผลเกียรติและการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น อาคารเฉลิมพระเกียรติอาคารสังฆราชย์

R^2	ค่า Sig ของการทดสอบ			Durbin-Watson
	Normality	ค่าเฉลี่ย=0	Levene Statistic	
0.804	.012	1.00	0.12	2.5
	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

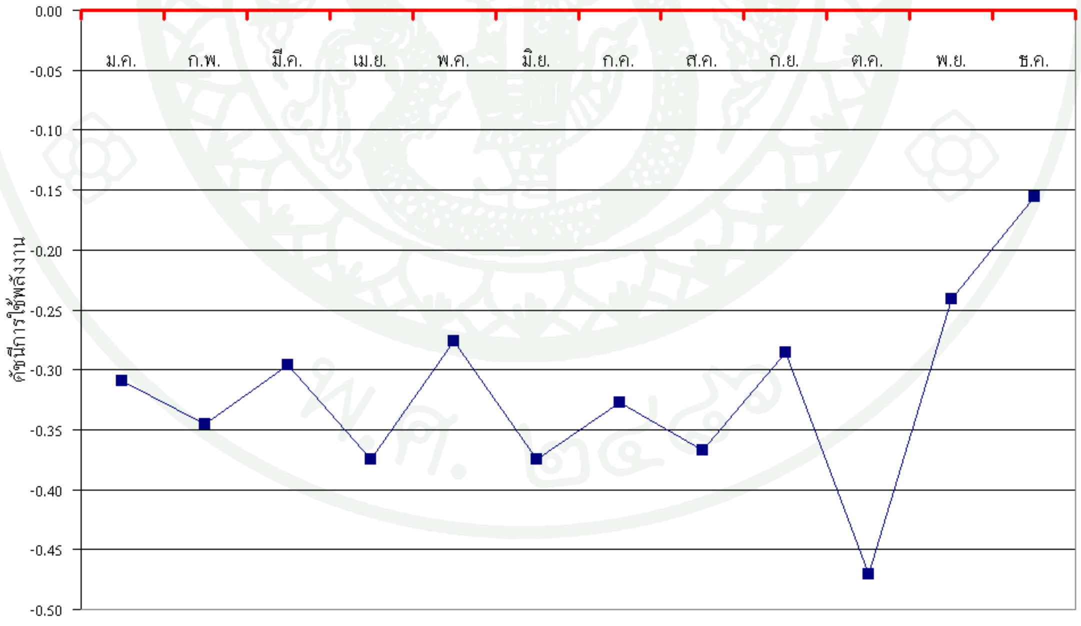
เมื่อนำตัวแปรจำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) แทนลงในสมการที่ (17) เพื่อคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารแล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) จากโปรแกรม Energy plus พบว่ามีความใกล้เคียงกัน แสดงในภาพที่ 19

ภาพที่ 20 คือ การนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) จากสมการที่ (17) มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) เพื่อคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน (Index) รายเดือนของปี 2551 และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การใช้พลังงาน (Benchmark) พบว่า ดัชนีการใช้พลังงานทุกค่าติดลบ (เส้นเกณฑ์การใช้พลังงานมีค่าเท่ากับศูนย์) นั่นคือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคารมีค่ามากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) มาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฟฟ้าจากสมการ (17) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) อาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์



ภาพที่ 20 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์ 2551

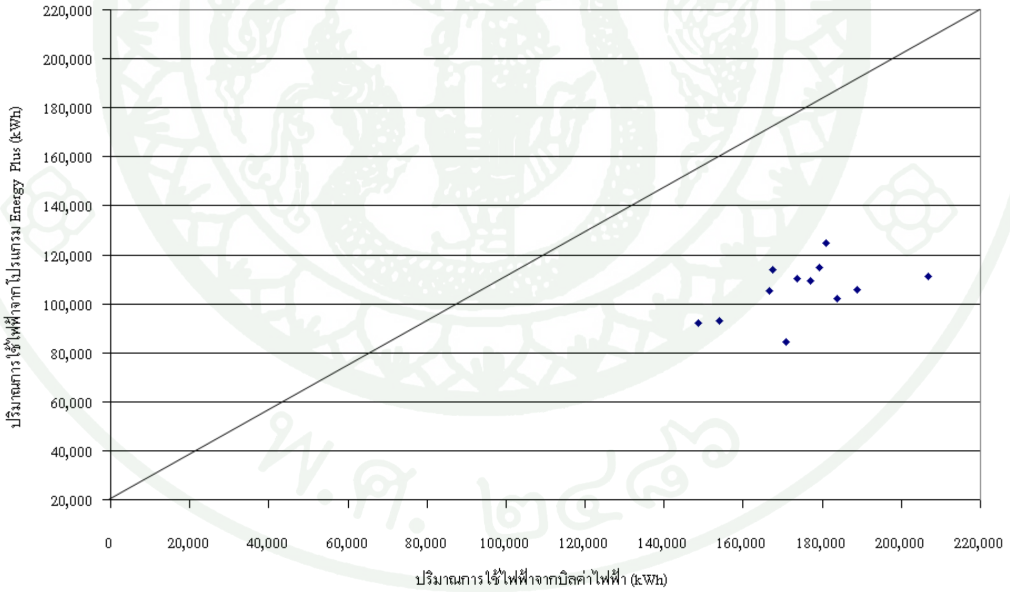
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. อาคารเอนกประสงค์ โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์

3.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานและการสอบเทียบ (Calibrated) การใช้พลังงานของอาคาร

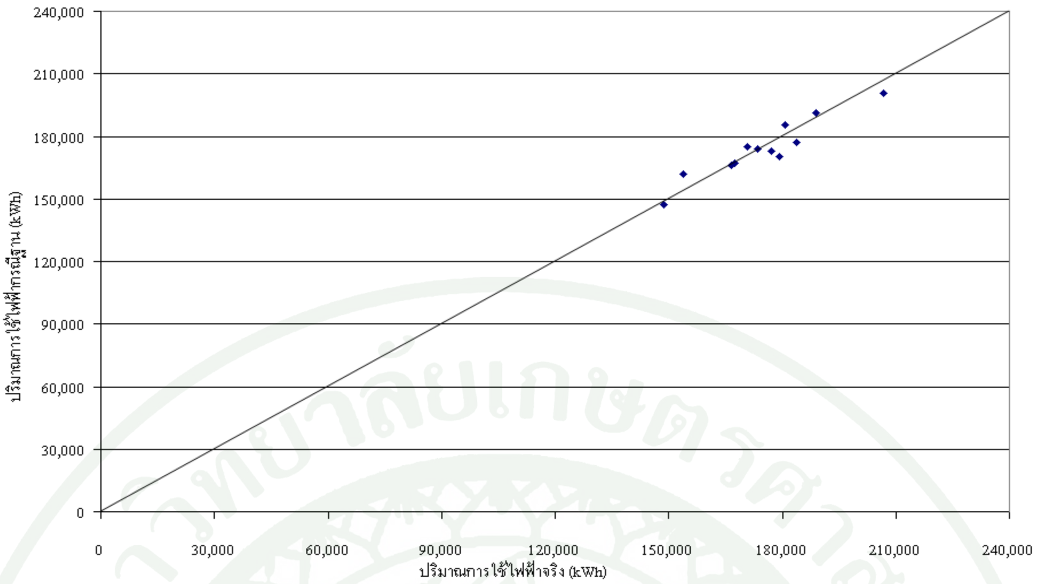
ภาพที่ 21 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้า (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus ที่ยังไม่ได้ทำการสอบเทียบ (Calibrated) จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมาก

ดังนั้นจึงต้องทำการสอบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเพื่อให้แบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับอาคารจริงมากที่สุด (±10%) และเมื่อนำปริมาณการใช้จริง (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus มาเขียนกราฟเปรียบเทียบพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารเอนกประสงค์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy Plus ของอาคารเนกประสงค์หลังสอบเทียบ(Generated)

3.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังจากเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code)

จากการคำนวณพบว่าค่าถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV) ของอาคารมีค่าเท่ากับ 44.3 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 16 วัตต์ต่อตารางเมตร และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 10.1วัตต์ต่อตาราง โดยเครื่องผลิตน้ำเย็นที่ติดตั้งมีขนาดทำความเย็น 85 ตัน ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศมีจำนวนทั้งสิ้น 4 เครื่อง

3.3 การสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคาร

หลังจากจำลองการใช้พลังงานและเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารรวมถึงอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code) แล้ว จึงทำการเพิ่มข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารตัวแปร คือ จำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis)

จากตารางที่ 18 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในแต่ละรูปแบบของปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับตัวแปรตามแต่ละตัวมีความใกล้เคียงกันมาก เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและผู้ป่วยนอกรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมที่สุด คือ รูปแบบยกกำลัง (Power) รองลงมาคือรูปแบบเชิงเส้น แต่หากพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่จะพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก จากการพิจารณาของทุกคู่จึงทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปในรูปแบบเส้นตรง หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของสมการเส้นตรงจะถือว่าสมการนั้นมีความเหมาะสมเพียงพอในการเป็นสมการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงาน

ตารางที่ 18 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิด อาคารเอนกประสงค์

ความสัมพันธ์	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ได้จากสมการถดถอยในรูปแบบต่างๆ			
ของตัวแปร	Linear	Log	Power	exponential
ไฟฟ้าและผู้ป่วยนอก	0.598	0.590	0.601	0.585
ไฟฟ้าและผู้ป่วยใน	0.281	0.209	0.231	0.241
ไฟฟ้าและเจ้าหน้าที่	0.413	0.415	0.416	0.412
ไฟฟ้าและอุณหภูมิ	0.384	0.389	0.391	0.380

เมื่อทำการวิเคราะห์สมการถดถอยในรูปแบบเส้นตรงพบว่า ค่า Sig F มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และมีสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (ค่า Beta) เพื่อบอกน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามในทางบวกได้แก่ผู้ป่วยนอกและอุณหภูมิภายนอกอาคาร มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผู้ป่วยในและจำนวนเจ้าหน้าที่ โดยตัวแปรมีความสัมพันธ์ในลักษณะสมการพยากรณ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 87.4 (Multiple R = .874) และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 76.4 (R^2 = 0.764) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 19

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า อาคารเอนกประสงค์

ตัวแปร	b	SE B	Beta	t	Sig.
(Constant)	14.011	4.752		4.657	.000
ln (Outpatient)	.805	.066	.883	12.716	.000
ln (Inpatient)	-.256	.073	-.216	-3.003	.003
ln (Staff)	-1.074	.584	-1.028	-3.273	.001
ln (Ambient temperature)	.533	.005	1.363	4.684	.000
Multiple R = 0.874 R^2 = 0.764 Adj R^2 = 0.755 std error = 0.05					
F = 92.014 Sig F = 0.00					

จากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร(B) สามารถสร้างสมการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงาน ได้ดังนี้

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[14.011+0.805 \times \ln(\text{Outpatient}) - 0.256 \times \ln(\text{Inpatient}) -1.074 \times \ln(\text{Staff})+0.533 \times \ln(\text{Ambient temperature})] \quad (18)$$

3.3.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

การทดสอบเงื่อนไขในครั้งนี้ใช้วิธีสถิติทดสอบ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.01 และทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อ ดังนี้

1. การตรวจสอบความเป็นปกติ (Normality)

Ho: ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H1: ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบในที่นี้ใช้ Kolmogorov-Smirnov ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.029 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

Ho: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

H1: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดสอบโดยใช้วิธี One Sample t-test ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 1 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

3. การตรวจสอบ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Heteroscedastic)

Ho: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ σ^2

H1: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ไม่เท่ากับ σ^2

การทดสอบโดยใช้ Test of Homogeneity of Variance ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.12 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่า ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

4. การตรวจสอบ ความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน (Autocorrelation)

Ho: ค่า e_i กับ e_{i-1} เป็นอิสระต่อกัน

H1: ค่า e_i กับ e_{i-1} ไม่เป็นอิสระต่อกัน

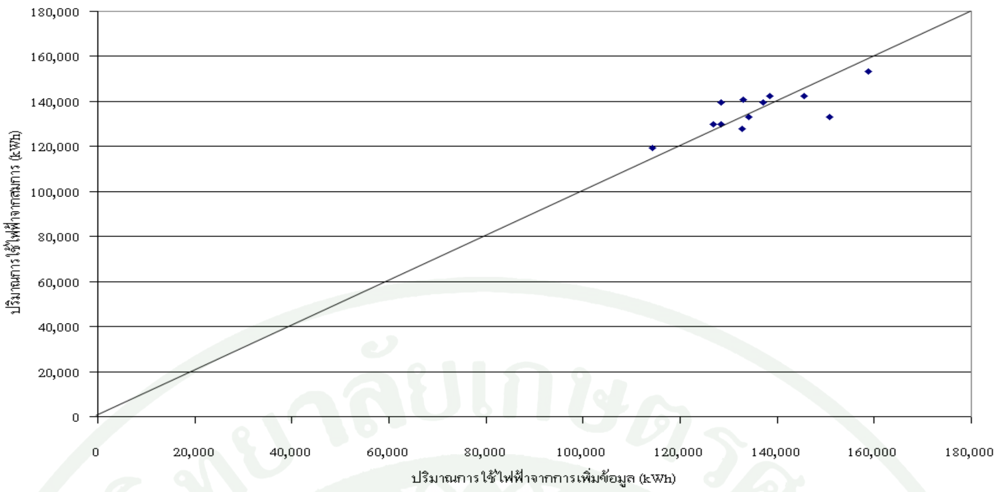
ที่นี้ใช้การตรวจสอบ Durbin-Watson Test (DW) ซึ่งค่า DW ต้องอยู่ระหว่าง 1.5 และ 2.5 โดยผลการทดสอบพบว่า ค่า DW เท่ากับ 1.5 สรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น อาคารอเนกประสงค์

R^2	ค่า Sig ของการทดสอบ			Durbin-Watson
	Normality	ค่าเฉลี่ย	Levene Statistic	
0.764	.029	1.00	0.12	1.5
	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

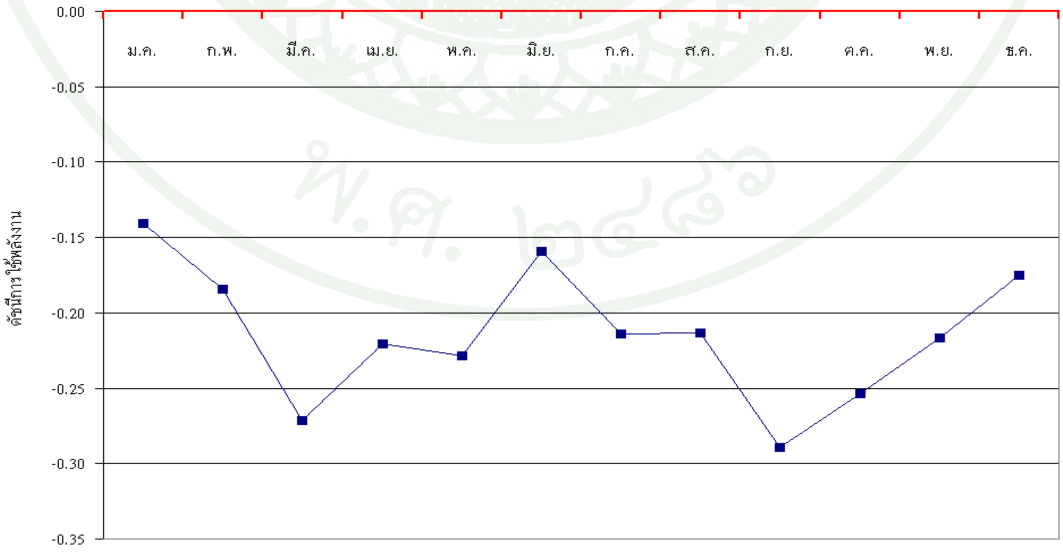
เมื่อนำตัวแปรจากการเพิ่มข้อมูล (Generated) แทนค่าลงในสมการที่ (18) เพื่อหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารแล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus พบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารจากโปรแกรม Energy plus และจากสมการที่ (18) อาคารเอนกประสงค์

ภาพที่ 24 คือ การนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) จากสมการที่ (18) มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) เพื่อคำนวณดัชนีการใช้พลังงาน (Index) รายเดือนของปี 2551 และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์การใช้พลังงานพบว่า (Benchmark) ดัชนีการใช้พลังงาน (Index) ทุกค่าติดลบ (เส้นเกณฑ์การใช้พลังงานมีค่าเท่ากับศูนย์) นั่นคือปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) มีค่ามากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) มาก

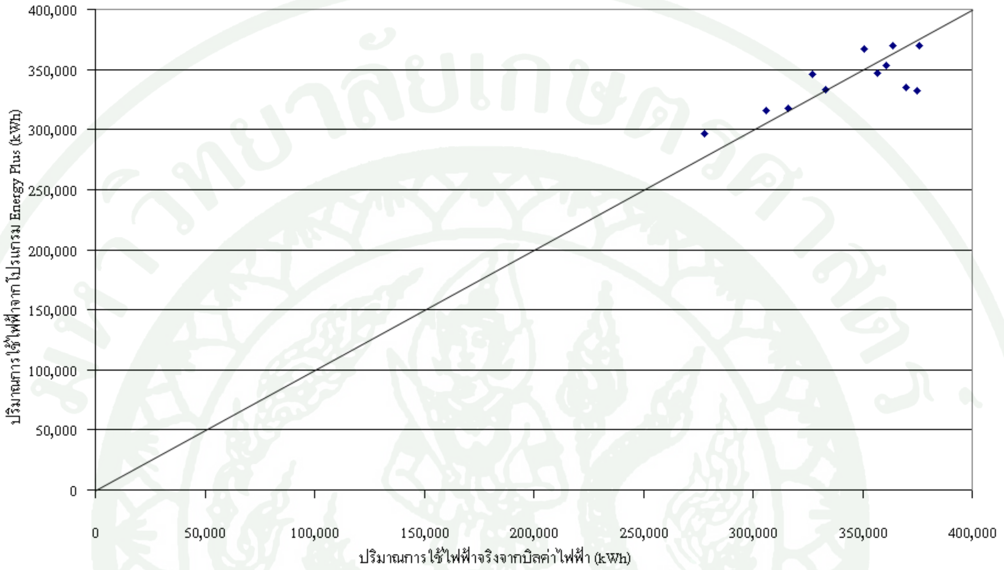


ภาพที่ 24 ดัชนีการใช้พลังงานของอาคารปี 2551 อาคารเอนกประสงค์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช โรงพยาบาลตากสิน

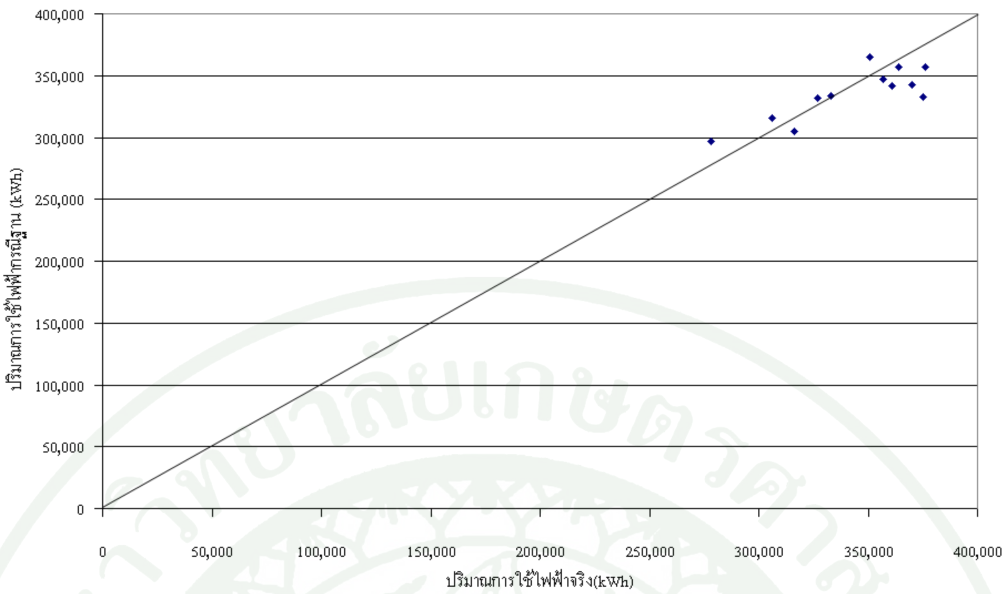
4.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานและการสอบเทียบ (Calibrated) การใช้พลังงานของอาคาร



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช

ภาพที่ 25 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้า (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus ที่ยังไม่ได้ทำการสอบเทียบ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงต้องทำการสอบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเพื่อให้แบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับอาคารจริงมากที่สุด (±10%) และเมื่อนำปริมาณการใช้จริง (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus มาเขียนกราฟเปรียบเทียบพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราชหลังสอบเทียบ(Calibrated)

4.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังจากเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code)

จากการคำนวณพบว่าค่าถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราช (OTTV) มีค่าเท่ากับ 40.4 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 21.18 วัตต์ต่อตารางเมตร และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 14.97 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับระบบปรับอากาศมี 2 ชนิด คือ ระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วนและชนิดรวมศูนย์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งมีอายุการใช้งานเกิน 5 ปีเกือบทั้งหมด

4.3 ผลการสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคาร

หลังจากจำลองการใช้พลังงานและเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารรวมถึงอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code) แล้ว จึงทำการเพิ่มข้อมูล (Generated) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคาร โดยกำหนดตัวแปรที่จะนำมาสร้างสมการ คือ จำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis)

จากตารางที่ 21 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในแต่ละรูปแบบของปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับตัวแปรตามแต่ละตัวมีความใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปในลักษณะเส้นตรงตามสมติฐานที่ได้ตั้งไว้ หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของสมการเส้นตรง จะถือว่าสมการนั้นมีความเหมาะสมเพียงพอในการเป็นสมการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงาน

ตารางที่ 21 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราช

ความสัมพันธ์ของตัวแปร	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ได้จากสมการถดถอยในรูปแบบต่างๆ			
	Linear	Log	Power	exponential
ไฟฟ้าและผู้ป่วยนอก	0.528	0.522	0.530	0.540
ไฟฟ้าและผู้ป่วยใน	0.585	0.575	0.594	0.586
ไฟฟ้าและเจ้าหน้าที่	0.600	0.595	0.600	0.609
ไฟฟ้าและอุณหภูมิ	0.637	0.633	0.637	0.664

เมื่อทำการวิเคราะห์ความถดถอยของตัวแปรอิสระประกอบด้วยจำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (ค่า Beta) เพื่อบอกน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามคือปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะสมการพยากรณ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 86.4 (Multiple R = .864) และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 75.0 (R^2 = .750) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 22

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 22 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช

ตัวแปร	b	SE B	Beta	t	Sig.
(Constant)	26.822	2.077		12.911	.000
ln (Outpatient)	.123	.080	.155	1.552	.122
ln (Inpatient)	.312	.077	.390	4.061	.000
ln (Staff)	-2.020	.252	-2.274	-8.031	.000
ln(Ambient temperature)	.836	.081	2.590	10.296	.000
Multiple R = .864 R^2 = .75 Adj R^2 = .741 F = 171 .327 std error = 0.04 sig F = 0					

จากตารางที่ 22 พบว่า ค่า Sig F มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร (B) ในตารางที่ 22 สามารถสร้างสมการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงาน ได้ดังนี้

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[26.822+0.123\times\ln(\text{Outpatient})+0.312\times\ln(\text{Inpatient}) -2.02\times\ln(\text{Staff})+0.836\times\ln(\text{Ambient temperature})] \quad (19)$$

4.3.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

การทดสอบเงื่อนไขในครั้งนี้ใช้วิธีสถิติทดสอบ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.01 และทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อ

1. การตรวจสอบความเป็นปกติ (Normality)

   Ho: ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

   H1: ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

   การทดสอบในที่นี้ใช้ Kolmogorov-Smirnov ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.02 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

   Ho: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

   H1: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดสอบโดยใช้วิธี One Sample t-test ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 1 ซึ่งมากกว่า α 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

3. การตรวจสอบ ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Heteroscedastic)

Ho: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ σ^2

H1: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ไม่เท่ากับ σ^2

การทดสอบโดยใช้ Test of Homogeneity of Variance ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.01 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

4. การตรวจสอบ ความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน (Autocorrelation)

Ho: ค่า e_i กับ e_{i-1} เป็นอิสระต่อกัน

H1: ค่า e_i กับ e_{i-1} ไม่เป็นอิสระต่อกัน

ที่นี้ใช้การตรวจสอบ Durbin-Watson Test (DW) ซึ่งค่า DW ต้องอยู่ระหว่าง 1.5 และ 2.5 โดยผลการทดสอบพบว่า ค่า DW เท่ากับ 2.41 สรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 23

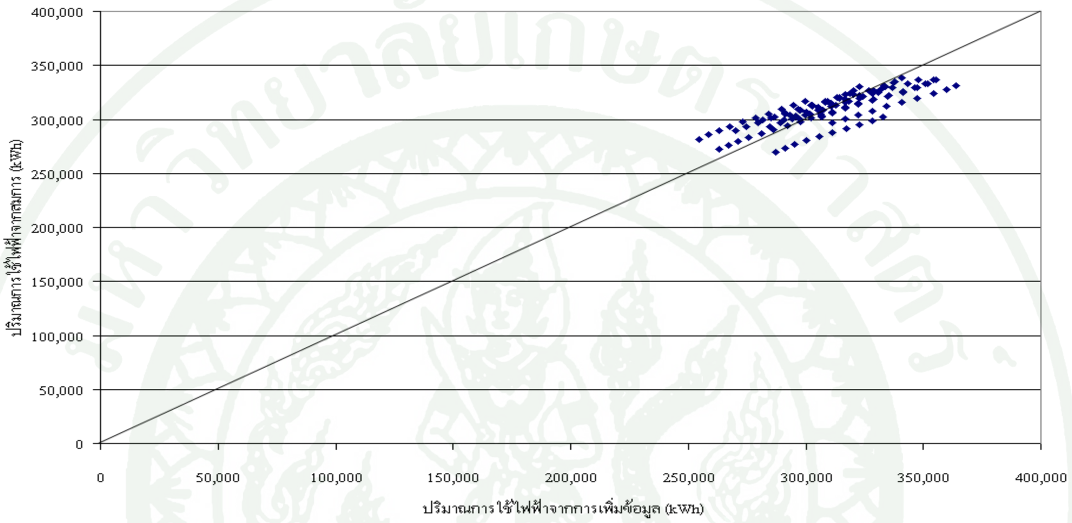
ตารางที่ 23 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช

R^2	ค่า Sig ของการทดสอบ			Durbin-Watson
	Normality	ค่าเฉลี่ย=0	Levene Statistic	
0.75	.021	1.00	0.01	2.41
	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

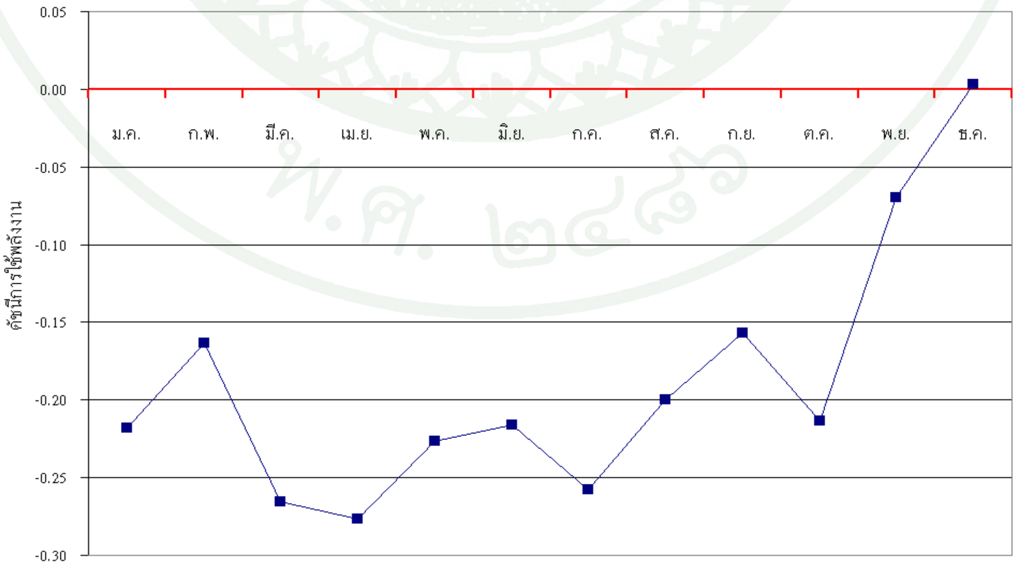
เมื่อนำตัวแปรจำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staffs) และอุณหภูมิภายนอกอาคารเฉลี่ยรายเดือน (Ambient temperature) แทนค่าลงในสมการที่ (19) เพื่อคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารแล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) จากโปรแกรม Energy plus พบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 27

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 28 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ตามสมการที่ (19) มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) เพื่อคำนวณดัชนีการใช้ไฟฟ้า (Index) และเปรียบเทียบกับเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร (Benchmark) จะเห็นได้ว่าดัชนีการใช้พลังงานมีค่าเป็นลบ แสดงว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) มีค่ามากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสมมาก (OEC)



ภาพที่ 27 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฟฟ้าจากสมการ (19) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช



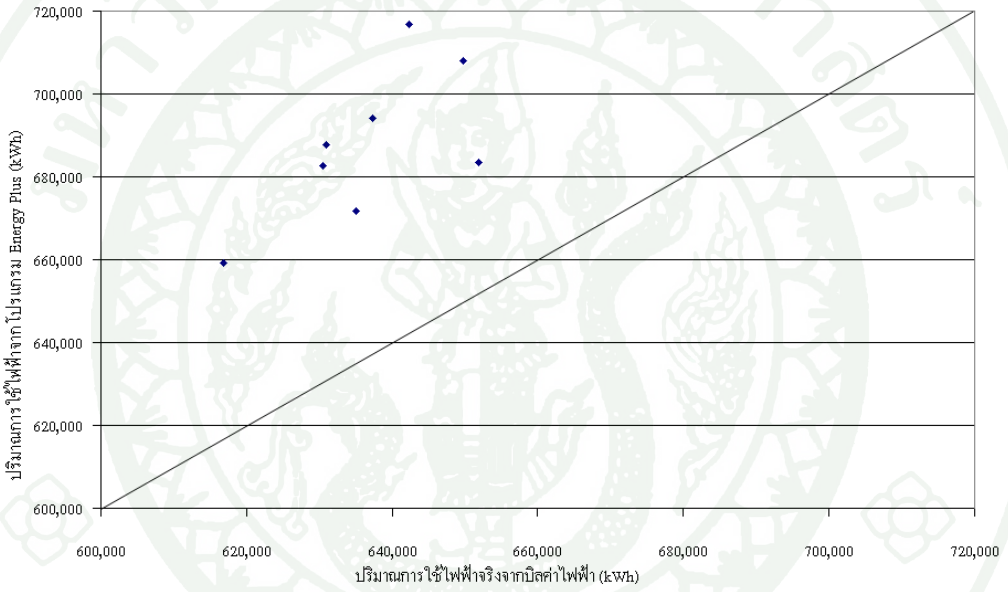
ภาพที่ 28 ดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. อาคารอนุสรณ์ 100 ปี โรงพยาบาลกลาง

5.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานและการสอบเทียบ (Calibrated) การใช้พลังงานของอาคาร

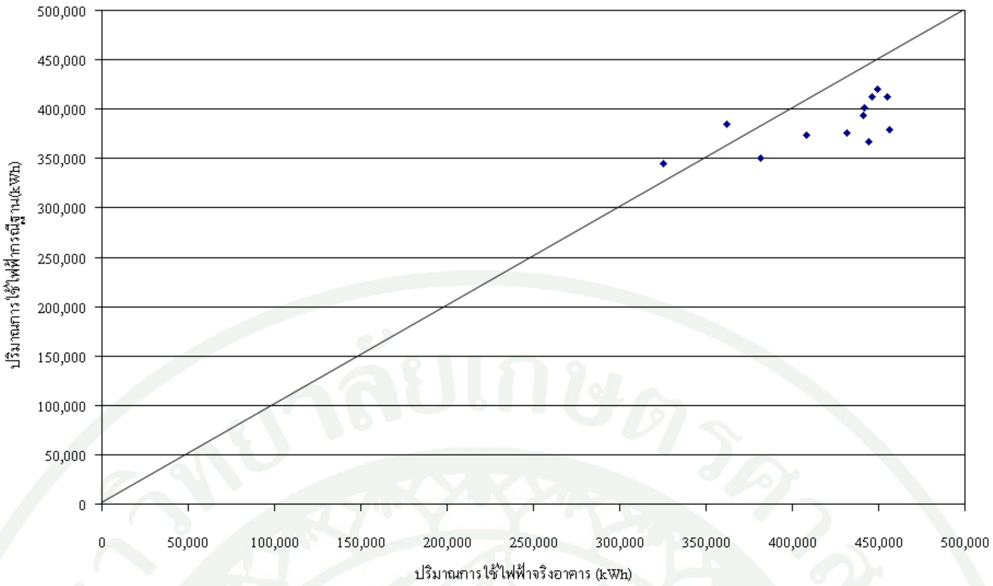
ภาพที่ 29 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้า (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus ที่ยังไม่ได้ทำการสอบเทียบ จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมาก



ภาพที่ 29 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energy plus อาคารเอนกประสงค์

ดังนั้นจึงต้องทำการสอบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเพื่อให้แบบจำลองมีความคล้ายคลึงกับอาคารจริงมากที่สุด (±10%) และเมื่อนำปริมาณการใช้จริง (AEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus มาเขียนกราฟเปรียบเทียบพบว่ามีความใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก Energy plus ของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี หลังสอบเทียบ (Generated)

5.2 ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคารหลังจากเปลี่ยนวัสดุประกอบอาคารและอุปกรณ์ภายในอาคารให้ได้ตามค่ามาตรฐาน (Energy required code)

จากการคำนวณพบว่า ค่าถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกอาคารอนุสรณ์ 100 ปี (OTTV) มีค่าเท่ากับ 51.67 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) เท่ากับ 21.49 วัตต์ต่อตารางเมตร และกำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 11.82 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับระบบปรับอากาศมี 2 ชนิด คือ ระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วนและชนิดรวมศูนย์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งมีอายุการใช้งานเกิน 5 ปีเกือบทั้งหมด

5.3 การสร้างสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคาร

5.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple regression analysis) อาคารอนุสรณ์ 100 ปี โรงพยาบาลกลาง

จากตารางที่ 24 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในแต่ละรูปแบบของปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับตัวแปรตามแต่ละตัวมีความใกล้เคียงกันมาก สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้ไฟฟ้าและอุณหภูมินั้นแม้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจน้อย (มีความสัมพันธ์กันน้อย) แต่ทุกรูปแบบมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ขั้นต่อไปในลักษณะเส้นตรงตามสมติฐานที่ได้ตั้งไว้ หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจและผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขของสมการเส้นตรง จะถือว่าสมการนั้นมีความเหมาะสมเพียงพอในการเป็นสมการพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงาน

ตารางที่ 24 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจความสัมพันธ์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติเฉพาะคู่ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแต่ละชนิดของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี

ความสัมพันธ์ของตัวแปร	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ได้จากสมการถดถอยในรูปแบบต่างๆ			
	Linear	Log	Power	Exponential
ไฟฟ้าและผู้ป่วยนอก	0.719	0.715	0.719	0.712
ไฟฟ้าและผู้ป่วยใน	0.781	0.775	0.781	0.771
ไฟฟ้าและเจ้าหน้าที่	0.687	0.684	0.687	0.682
ไฟฟ้าและอุณหภูมิ	0.081	0.082	0.085	0.083

เมื่อทำการวิเคราะห์ความถดถอยของตัวแปรอิสระประกอบด้วยจำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (ค่า Beta) เพื่อบอกน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามคือปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะสมการพยากรณ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าร้อยละ 92.4 (Multiple R = .924) และสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 85.3 (R^2 = .853) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 25 ทั้งนี้พบว่า ค่า Sig F มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งหมดมีความเกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร (B) ในตารางที่ 25 สามารถสร้างสมการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม(OEC) ของหน่วยงานได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ถดถอยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี

ตัวแปร	B	SE B	Beta	t	Sig.
(Constant)	8.114	.174		54.123	.000
ln (Outpatient)	0.258	.050	.652	5.153	.000
ln (Inpatient)	0.486	.057	1.239	8.660	.000
ln (Staff)	-0.404	.072	-1.019	-5.758	.000
ln (Ambient temperature)	0.552	.003	.199	7.067	.000
Multiple R = .924 R^2 = .853 Adj R^2 = .85 std error = .043 F = 320.786 Sig F = 0.00					

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[8.114+0.258\times\ln(\text{Outpatient})+0.486\times\ln(\text{Inpatient}) -0.404\times\ln(\text{Staff})+0.552\times\ln(\text{Ambient temperature})] \quad (20)$$

5.3.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอย

การทดสอบเงื่อนไขในครั้งนี้ใช้วิธีสถิติทดสอบ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.01 และทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อ

1. การตรวจสอบความเป็นปกติ (Normality)

Ho: ค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H1: ค่าความคลาดเคลื่อนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบในที่นี้ใช้ Kolmogorov-Smirnov ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.02 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

Ho: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์

H1: ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนไม่เท่ากับศูนย์

การทดสอบโดยใช้วิธี One Sample t-test ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 1 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การตรวจสอบค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (Heteroscedastic)

Ho: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน เท่ากับ σ^2

H1: ค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน ไม่เท่ากับ σ^2

การทดสอบโดยใช้ Test of Homogeneity of Variance ผลจากการทดสอบพบว่า Sig = 0.1 ซึ่งมากกว่านัยสำคัญที่ 0.01 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

4. การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของความคลาดเคลื่อน (Autocorrelation)

Ho: ค่า e_i กับ e_{i-1} เป็นอิสระต่อกัน

H1: ค่า e_i กับ e_{i-1} ไม่เป็นอิสระต่อกัน

ที่นี้ใช้การตรวจสอบ Durbin-Watson Test (DW) ซึ่งค่า DW ต้องอยู่ระหว่าง 1.5 และ 2.5 โดยผลการทดสอบพบว่า ค่า DW เท่ากับ 2.55 สรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 26

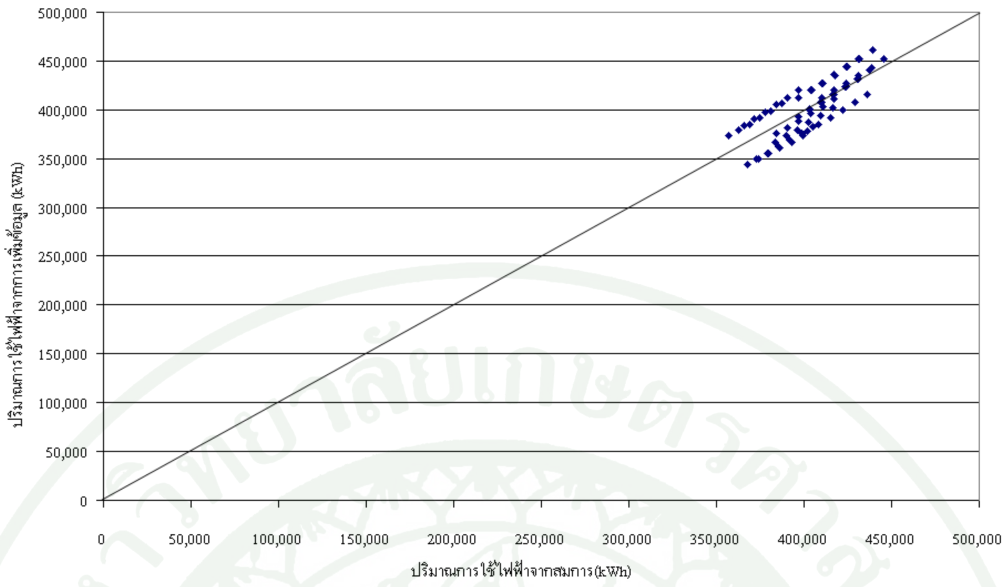
ตารางที่ 26 แสดงผลการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น อาคารอนุสรณ์ 100 ปี

R^2	ค่า Sig ของการทดสอบ			Durbin-Watson
	Normality	ค่าเฉลี่ย=0	Levene Statistic	
0.853	.02	1.00	0.1	2.55
	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

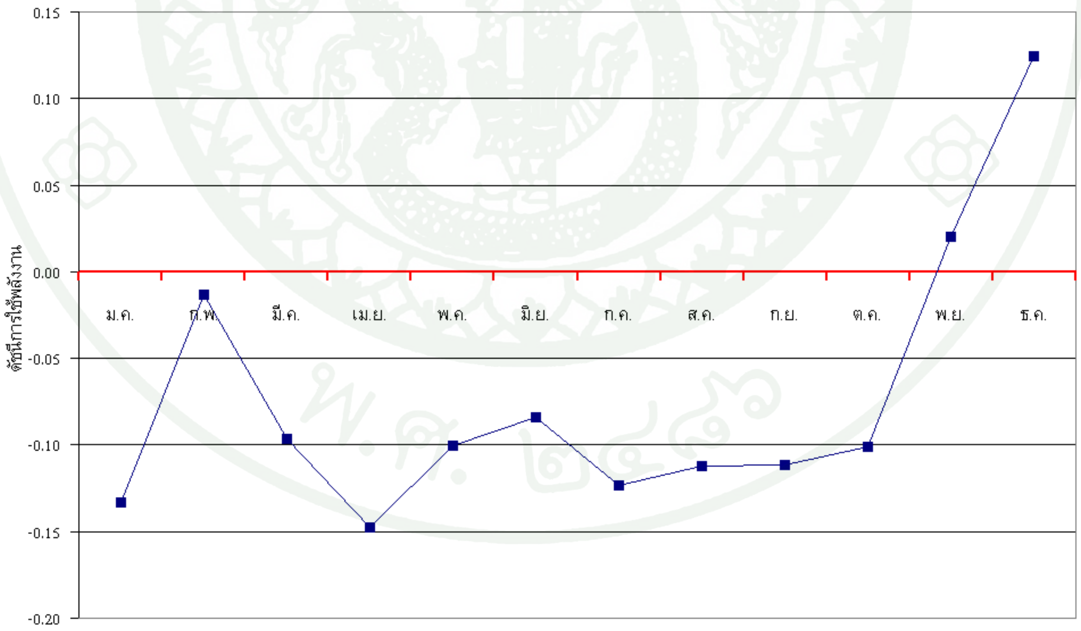
เมื่อนำตัวแปรจากการเพิ่มข้อมูล (Generated) แทนค่าลงในสมการที่ (20) เพื่อหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารแล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากโปรแกรม Energy plus พบว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 31

จากการนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ตามสมการที่ (20) มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) เพื่อคำนวณดัชนีการใช้ไฟฟ้า (Index) และคำนวณเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร (Benchmark) จะเห็นได้ว่าดัชนีการใช้พลังงานมีค่าเป็นลบ แสดงว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) มีค่ามากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่เหมาะสมมาก (OEC) แสดงดังภาพที่ 32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 31 เปรียบเทียบระหว่างปริมาณไฟฟ้าจากสมการ (20) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในขั้นตอนการเพิ่มข้อมูล (Generated) อาคารอนุสรณ์ 100 ปี



ภาพที่ 32 ดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 อาคารอนุสรณ์ 100 ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิเคราะห์

1. สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงาน

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีตัวแปรตามคือปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย ดังนั้นการจัดสร้างสมการที่มีตัวแปรอิสระเพียง 4 ตัวนั้นถือว่ายังน้อยเมื่อเทียบกับปัจจัยทั้งหมดที่มีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคาร ทั้งนี้ผลการจัดสร้างสมการในครั้งนี้ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจซึ่งอยู่ระหว่าง 75-85 นั้นจึงถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

อาคารสำนักการแพทย์ 1 เป็นอาคารสำนักงานที่มีเจ้าหน้าที่ประจำทำงานเป็นเวลาที่แน่นอน ดังนั้นตัวแปรหลักของสมการจึงมีเพียงเจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) เท่านั้น และจากผลสมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารสำนักการแพทย์ 1 พบว่าสมการสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 83 และเมื่อตรวจสอบเงื่อนไขของค่าคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ข้อพบว่าผ่านครบทั้ง 4 ข้อ

สำหรับโรงพยาบาลทั้ง 4 หน่วยงานก็เช่นกัน สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์นั้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงค่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ร้อยละ 80 และพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ข้อพบว่าผ่านครบทั้ง 4 ข้อ นอกจากนี้ตัวแปรผู้ป่วยใน (Inpatient) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) มากกว่าผู้ป่วยนอก (Outpatient) และจำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งอาจเพราะจำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) ของหน่วยงานมีจำนวนค่อนข้างแน่นอนทุกเดือน ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลมาจัดสร้างสมการจึงทำให้สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรติดลบ เนื่องจากในขณะที่จำนวนเจ้าหน้าที่(Staff) ไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณการใช้พลังงานมากขึ้น (ตรงข้ามกัน) โดยข้อมูลในลักษณะนี้เหมือนกันทั้ง 4 โรงพยาบาล สำหรับผู้ป่วยใน (Inpatient) มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานมากกว่าผู้ป่วยนอก (Outpatient) ทั้งนี้เพราะผู้ป่วยใน (Inpatient) มีการใช้พลังงานอยู่ตลอดเวลาทั้งจากอุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนในห้องพัก สำหรับผู้ป่วยนอก (Outpatient) นั้น โดยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ไม่ปรับอากาศจึงใช้พลังงานน้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) อาคารเอนกประสงค์ โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์นั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการเท่ากับร้อยละ 76 และพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ข้อผ่านเงื่อนไขทั้งหมด ตัวแปรผู้ป่วยนอก (Outpatient) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) มากกว่าผู้ป่วยใน (Inpatient) ทั้งนี้เพราะชั้น 5 ของอาคารซึ่งเป็นห้องพักของผู้ป่วยใน (Inpatient) บางส่วนนั้นยังไม่ได้เปิดให้บริการ แต่การจำลองการใช้พลังงานในครั้งนี้ทำการจำลองการใช้พลังงานของทุกพื้นที่ ดังนั้นจึงทำให้การใช้พลังงานของผู้ป่วยนอก (Outpatient) มีมากกว่าผู้ป่วยใน (Inpatient)

สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราช โรงพยาบาลตากสินนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการเท่ากับร้อยละ 74 และพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ผ่านครบทั้ง 4 ข้อ นอกจากนี้ตัวแปรผู้ป่วยนอก (Outpatient) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) น้อยกว่าผู้ป่วยใน (Inpatient) ทั้งนี้พื้นที่ปรับอากาศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของเจ้าหน้าที่ (Staff) และผู้ป่วยใน (Inpatient) อาจมีบางพื้นที่ของผู้ป่วยนอก (Outpatient) เท่านั้นที่มีการปรับอากาศซึ่งติดตั้งระบบปรับอากาศชนิดรวมศูนย์และมีการเปิด-ปิด เป็นช่วงเวลาที่แน่นอน ต่างจากระบบปรับอากาศในห้องผู้ป่วยใน (Inpatient) ซึ่งเป็นชนิดแยกส่วนและไม่สามารถควบคุมเวลาเปิด-ปิดที่แน่นอนได้

สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) อาคารอนุสรณ์ 100 ปี โรงพยาบาลกลาง มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของสมการเท่ากับร้อยละ 85 และพบว่าค่าคลาดเคลื่อนทั้ง 4 ข้อ พบว่าผ่านครบทั้ง 4 ข้อ ตัวแปรผู้ป่วยนอก (Outpatient) มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) น้อยกว่าผู้ป่วยใน (Inpatient) เช่นเดียวกับโรงพยาบาลตากสิน เนื่องจากพื้นที่ปรับอากาศส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ของผู้ป่วยใน (Inpatient) สำหรับผู้ป่วยนอก (Outpatient) และเจ้าหน้าที่ (Staff) นั้นมีเพียงบริเวณชั้น 1-3 เท่านั้นที่มีการปรับอากาศ นอกนั้นเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศทั้งสิ้น นอกจากนี้ระบบปรับอากาศในห้องผู้ป่วยใน (Inpatient) เป็นชนิดแยกส่วนทั้งหมดซึ่งไม่สามารถควบคุมเวลาเปิด-ปิดได้ แตกต่างจากพื้นที่ของผู้ป่วยนอก (Outpatient) ที่กำหนดเวลาเปิด-ปิด ระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่แน่นอน

จากผลการจัดสร้างสมการ จะเห็นได้ว่าแม้จะเป็นหน่วยงานที่มีลักษณะการให้บริการเหมือนกัน มีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะของสมการไม่เหมือนกัน ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมการใช้พลังงานของคนในพื้นที่ของแต่ละหน่วยงานที่แตกต่างกัน เช่น อาคารพระเจ้าตากสินมหาราช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โรงพยาบาลตากสิน และอาคารอนุสรณ์ 100 ปีโรงพยาบาลกลาง แม้จะมีขนาดใกล้เคียงกัน การใช้งานในพื้นที่เหมือนกัน อิทธิพลของตัวแปรแต่ละตัวที่มีต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในลักษณะเดียวกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรยังคงแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลจริงของหน่วยงานมาจัดสร้างสมการนั้นมีความเหมาะสมเพราะจะได้ข้อมูลที่ตรงกับรูปแบบการใช้งานมากที่สุด

หากนำตัวแปรทั้งหมดแทนลงในสมการทั้ง 5 สมการ และนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้จริง (AEC) ของหน่วยงานพบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง แตกต่างจากปริมาณการใช้จริง (AEC) ของอาคารมาก ดังแสดงในตารางที่ 27 โดยโรงพยาบาลตากสินนั้น มีความแตกต่างระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริง (AEC) มากที่สุด และสำนักการแพทย์มีความแตกต่างน้อยที่สุด ซึ่งความแตกต่างของปริมาณทั้ง 2 นี้ย่อมส่งผลถึงค่าดัชนีการใช้พลังงานด้วยเช่นกัน หากความแตกต่างมากค่าดัชนีการใช้พลังงานย่อมต้องมีค่าติดลบมาก แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกรอบอาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้ารวมถึงเครื่องปรับอากาศของอาคาร ดังนั้นยิ่งอาคารที่มีค่าติดลบมากยิ่งต้องใช้งบประมาณในการปรับปรุงอาคารมาก แต่หากสามารถปรับปรุงอาคารจนผ่านมาตรฐานพลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาแล้วได้ ย่อมส่งผลถึงการประหยัดพลังงานจำนวนมากของอาคารและหน่วยงานได้เช่นกัน

ตารางที่ 27 แสดงความแตกต่างระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมและปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงและได้ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง

หน่วยงาน	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม (kWh) รายปี	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจริง (kWh) รายปี	ความแตกต่างระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าเหมาะสมและจริง (kWh) รายปี
สำนักการแพทย์	232,291	404,415	-172,124
โรงพยาบาลราชพิพัฒน์	815,726	1,077,000	-261,274
โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมี	1,643,761	2,097,922	-454,161
โรงพยาบาลกลาง	4,693,753	5,043,948.70	-457,457
โรงพยาบาลตากสิน	3,458,305	4,114,000	-655,695

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งหากคิดเป็นจำนวนหน่วยไฟฟ้าและจำนวนเงินที่หน่วยงานสามารถประหยัดได้ของแต่ละหน่วยงาน แสดงดังตารางที่ 28 จะเห็นได้ว่าหน่วยงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ได้เป็นจำนวนมากและหน่วยงานสามารถนำจำนวนเงินที่สามารถประหยัดได้นี้มาพิจารณาเพื่อการตัดสินใจลงทุนในการเปลี่ยนอุปกรณ์และวัสดุประกอบอาคารได้อีกด้วย

ตารางที่ 28 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง

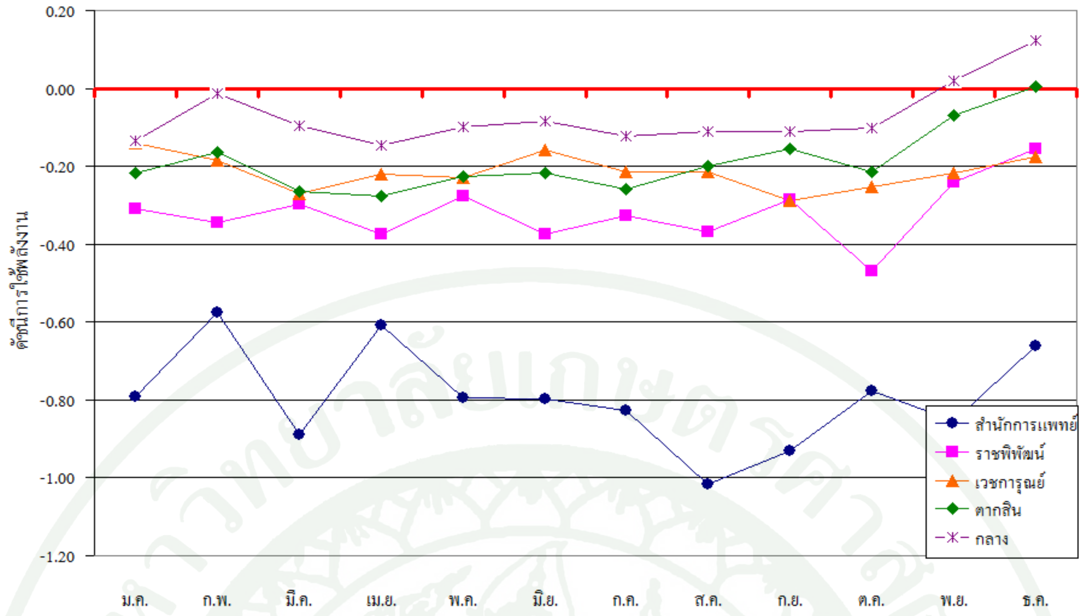
หน่วยงาน	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) รายปี	จำนวนเงิน (บาท) รายปี
สำนักการแพทย์	172,124	602,433
โรงพยาบาลราชพิพัฒน์	261,274	914,459
โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมี	454,161	1,589,565
โรงพยาบาลกลาง	457,457	1,601,099
โรงพยาบาลตากสิน	655,695	2,294,931

2. เกณฑ์การใช้พลังงานของหน่วยงาน

เมื่อนำดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้ง 5 แห่ง มาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคารในปี 2551 ตามภาพที่ 33 พบว่า ดัชนีการใช้พลังงานรายเดือน ปี 2551 ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่งนั้น มีเพียงเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคมของโรงพยาบาลกลางเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของหน่วยงานแต่ละแห่งนั้นคล้ายกัน คือ การใช้ไฟฟ้ามากในช่วงฤดูร้อนและลดลงในช่วงฤดูหนาวซึ่งส่งผลให้ดัชนีการใช้พลังงานมีค่าติดลบลดลง จนผ่านเกณฑ์ในบางหน่วยงาน ทั้งนี้สาเหตุของการผ่านเกณฑ์นั้นไม่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของตัวอาคาร แต่เป็นเพราะสภาพอากาศซึ่งเป็นเพียงช่วงสั้นๆ เท่านั้น

สาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้ดัชนีการใช้พลังงานของทั้ง 5 หน่วยงานติดลบและไม่ผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานนั้นมาจากค่าความร้อนรวมผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV) ค่าความร้อนรวมหลังคาอาคาร (RTTV) และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ (EER) นั้น ไม่ผ่านมาตรฐานการใช้พลังงานไฟฟ้าที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 29

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 33 ดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 จากหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง

จะเห็นได้ว่า ผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ของแต่ละหน่วยงานมีแตกต่างกันออกไป แต่ไม่มีหน่วยงานใดเลยที่ผ่านเกณฑ์ โดยผลการคำนวณพบว่าโรงพยาบาลกลางนั้นมีค่า ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอาคารที่มีพื้นที่ปรับอากาศจำนวนมาก และมีสัดส่วนของพื้นที่ผนังอากาศต่อพื้นที่กระจกมากที่สุดด้วย นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศของหน่วยงานยังมีคุณภาพต่ำ ซึ่งทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของหน่วยงานมาก ดังนั้นหากหน่วยงานสามารถปรับปรุงสิ่งเหล่านี้ได้ ดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนผ่านเกณฑ์ในที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 29 แสดงผลการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอกอาคาร การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเฉลี่ยของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง

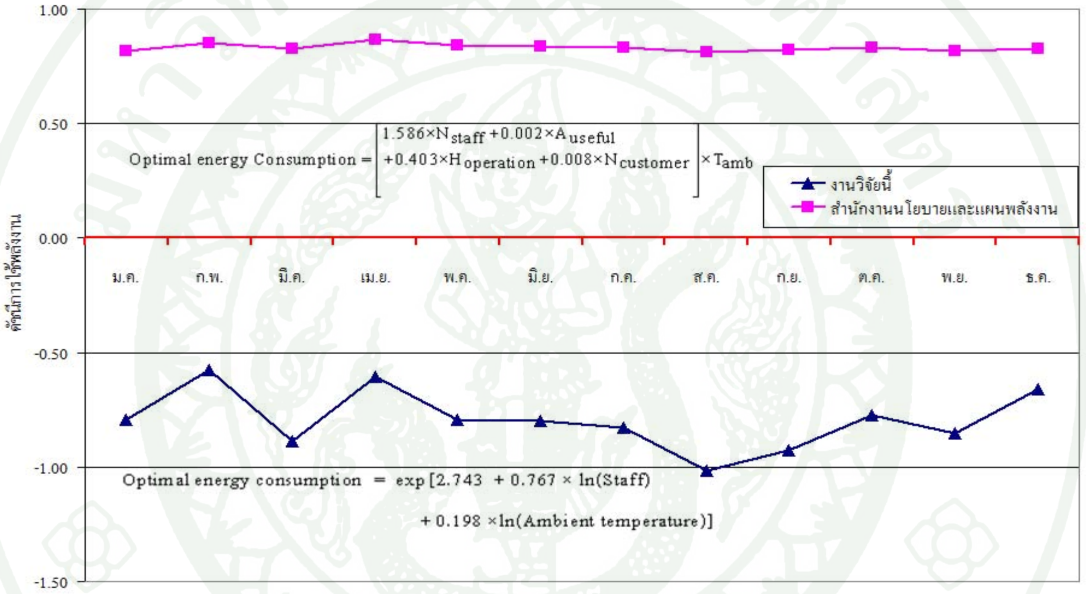
หน่วยงาน	การถ่ายเทความร้อนรวมผนังภายนอกอาคาร(w/m^2)	การถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (w/m^2)	ประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน (BTU-Hr/W)
สำนักการแพทย์	68	-	EER< 8.6
รพ.ราชพิพัฒน์			EER < 7.6
- อาคารเฉลิมพระเกียรติ	38.34	21	
- อาคารสังฆราชย์	35.89	21.49	
รพ.เวชการุณย์รัศมิ์	44.3	16	-
รพ.ตากสิน	40.4	21.18	EER < 7.6
รพ.กลาง	51.67	21.49	EER < 7.6

วิจารณ์

ผลการวิจัยพบว่า ค่าดัชนีการใช้พลังงานปี 2551 ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง ไม่ผ่านเกณฑ์เกือบทั้งหมด มีเพียงเดือนธันวาคมของโรงพยาบาลตากสิน เดือนพฤศจิกายนและธันวาคมของโรงพยาบาลกลางเท่านั้นที่ผ่านเกณฑ์ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากอาคารไม่ผ่านมาตรฐานการใช้พลังงาน (Energy required code) ดังได้กล่าวไปแล้วและหากนำค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ถูกพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับดัชนีการใช้พลังงานที่จัดสร้างขึ้นจากหน่วยงานอื่น เช่น ค่าดัชนีการใช้พลังงานตามสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ซึ่งสร้างจากการกรอกข้อมูลผ่านระบบอินเตอร์เน็ตของหน่วยงานจากทั่วประเทศเพื่อนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ

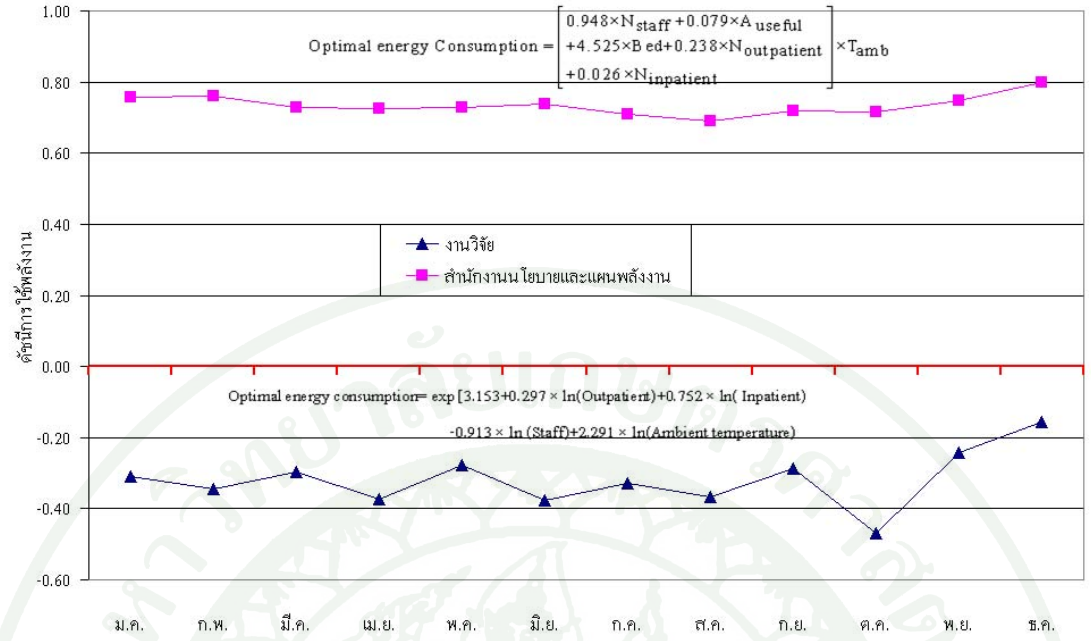
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 34 คือ การเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานระหว่างสมการของ สนพ. และงานวิจัยนี้ของอาคารสำนักการแพทย์ 1 จะสังเกตได้ว่าแนวโน้มของดัชนีการใช้พลังงานรายเดือนทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มเดียวกัน เนื่องจากสมการทั้ง 2 มีตัวแปรที่คล้ายกันคือจำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) สำหรับตัวแปรชั่วโมงการทำงานนั้น เนื่องจากในขั้นตอนการจำลองการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ได้ใส่ข้อมูลเหล่านี้ในแบบจำลองแล้วจึงไม่ได้ใส่เป็นตัวแปรของสมการอีก นอกจากนี้ตัวแปรพื้นที่ใช้สอยในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงน้อยจึงไม่ได้นำมาใส่ในสมการเช่นกัน

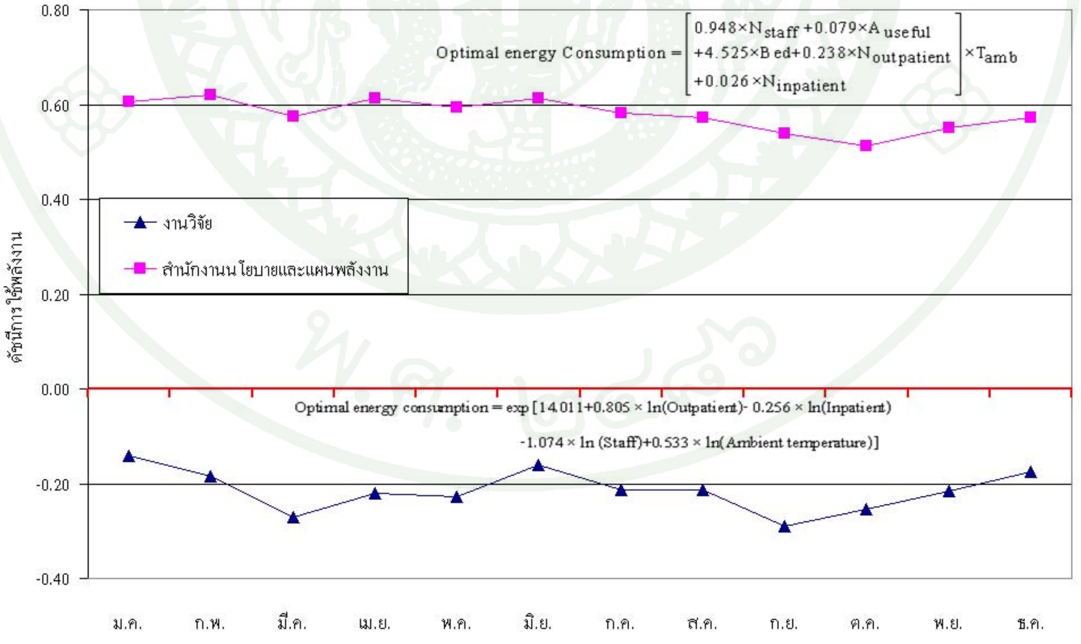


ภาพที่ 34 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารสำนักการแพทย์ 1 จากสมการของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

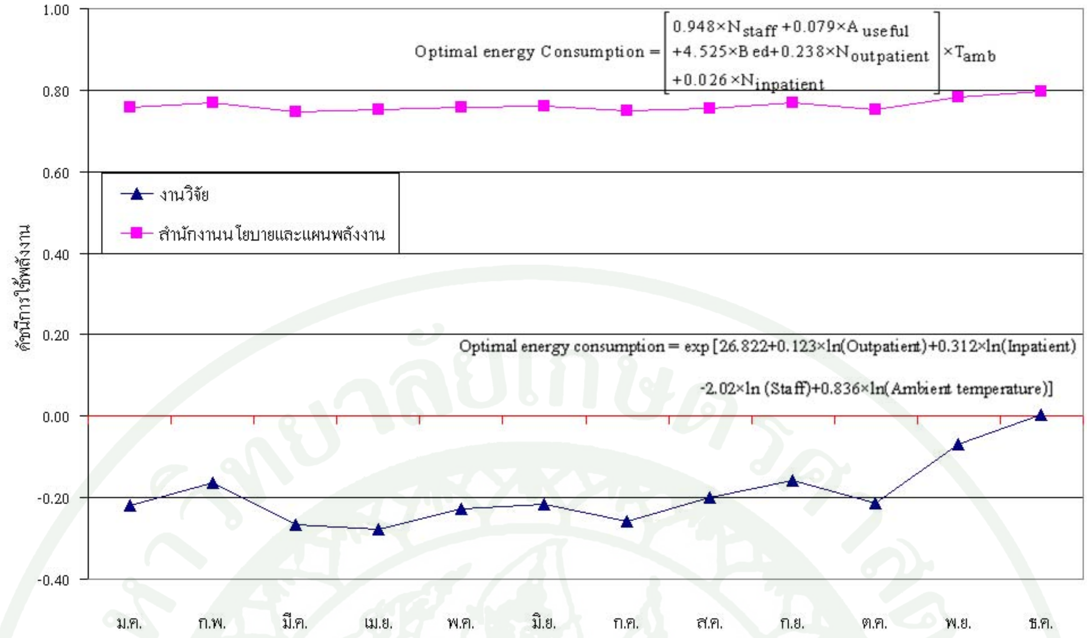


ภาพที่ 35 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเฉลิมพระเกียรติและสังฆราชย์จากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้

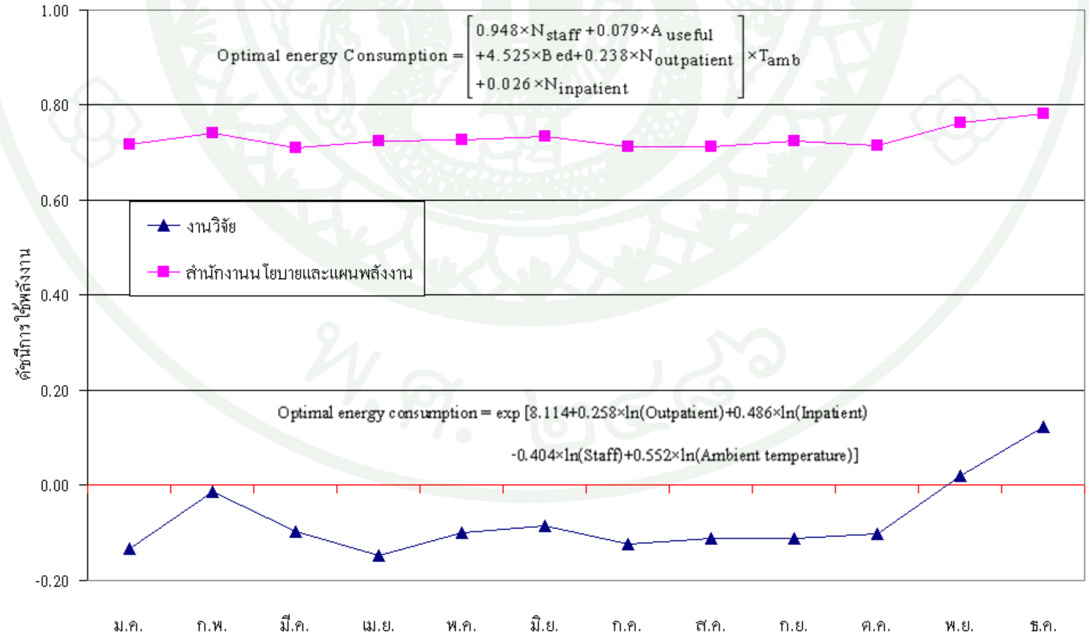


ภาพที่ 36 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเอนกประสงค์จากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารพระเจ้าตากสินมหาราชจากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้



ภาพที่ 38 เปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานของอาคารอนุสรณ์ 100 ปี จากสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานและงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 35 -38 คือผลการเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานตามสมการของ สนพ. และค่าดัชนีการใช้พลังงานจากงานวิจัยนี้ของโรงพยาบาลอีก 4 แห่ง ซึ่งแนวโน้มของดัชนีการใช้พลังงานรายเดือนทั้ง 2 รูปแบบมีแนวโน้มเดียวกัน เนื่องจากสมการทั้ง 2 มีตัวแปรที่คล้ายกัน คือ จำนวนผู้ป่วยนอก (Outpatient) ผู้ป่วยใน (Inpatient) เจ้าหน้าที่ (Outpatient) และอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) สำหรับตัวแปรพื้นที่ใช้งานในอาคารและจำนวนเตียงนั้น เป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย การทำงานวิจัยจึงมิได้พิจารณาไว้ในสมการ

จากการเปรียบเทียบพบว่า ผลการคำนวณของทุกหน่วยงานคล้ายกัน คือ หากคำนวณตามเกณฑ์ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานนั้นทุกหน่วยงานผ่านเกณฑ์ แต่หากคำนวณตามเกณฑ์ของงานวิจัยนี้เกือบทุกเดือนของทุกหน่วยงานไม่ผ่านเกณฑ์ จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมจาก สนพ. ของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง นั้นมีปริมาณมากกว่าปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้ หรือคือสมการจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานยอมให้หน่วยงานใช้พลังงานได้มากกว่าสมการจากงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าโดยเฉลี่ยแล้วหน่วยงานทั่วประเทศมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง

ทั้งนี้การจัดสร้างสมการของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานนั้นใช้วิธีการทางสถิติจากการรวบรวมข้อมูลของหน่วยงานทั่วประเทศเพื่อหาค่าเฉลี่ยและนำมาจัดสร้างสมการเพื่อจัดทำเป็นเกณฑ์การใช้พลังงาน แต่ข้อมูลเชิงสถิติไม่สามารถระบุได้ว่ามาจากหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานประหยัดหรือไม่ เนื่องจากหากข้อมูลที่นำมาสร้างสมการเป็นข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานที่มีความเหมาะสมอยู่แล้ว สมการที่ได้จึงจะสามารถคำนวณปริมาณพลังงานที่ควรจะใช้ออกมาได้ แต่หากข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานที่มีการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย ค่าที่ได้จากสมการก็จะเป็นปริมาณพลังงานที่มีการใช้อย่างฟุ่มเฟือย การที่ทุกหน่วยงานผ่านเกณฑ์ไม่สามารถบอกได้ว่าหน่วยงานทั้ง 2 แห่งนั้นมีการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เพียงแต่หน่วยงานมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในค่าเฉลี่ยของกลุ่มหน่วยงานที่นำมาจัดสร้างสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงานเท่านั้น หรือหากมีหน่วยงานใดที่ไม่ผ่านเกณฑ์คือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มหน่วยงานที่นำมาจัดสร้างสมการค่ามาตรฐานการจัดการใช้พลังงาน ดังนั้นหากต้องการให้ผ่านเกณฑ์หน่วยงานต้องดำเนินมาตรการด้านพลังงานเพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานไปเรื่อยๆ จนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ค่าเฉลี่ยจึงถือว่าผ่านเกณฑ์โดยไม่สามารถระบุได้ว่าปริมาณการใช้พลังงานที่ใช้อยู่นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ดีจริงๆ หรือไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับสมการในงานวิจัยนี้ แม้ผลการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานของทุกหน่วยงานไม่ผ่านเกณฑ์เลย แต่หน่วยงานสามารถปรับปรุงอาคารตามแนวทางของค่ามาตรฐานด้านพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประกอบงานวิจัยนี้ ซึ่งมีเอกสารและหลักเกณฑ์การคำนวณที่ชัดเจน อีกทั้งในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงในโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 หรือจากโครงการ Energy star นั้นสามารถจัดซื้อได้ง่ายและครอบคลุมเกือบทุกอุปกรณ์ ต่างจากสมการจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ที่หน่วยงานต้องดำเนินมาตรการไปเรื่อยๆ โดยไม่ทราบจุดหมายว่าสิ่งที่นำมาเปรียบเทียบนั้นดีแล้วหรือยัง

จะเห็นได้ว่าดัชนีการใช้พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานนั้นแตกต่างจากดัชนีการใช้พลังงานที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ในงานวิจัยนี้ เพราะสมการปริมาณการใช้พลังงานของทุกที่สร้างมาจากมาตรฐานเดียวกัน และเป็นไปตามรูปแบบการใช้งานจริงของอาคาร ดังนั้นการปรับปรุงอาคารจึงมีแนวทางที่ชัดเจนโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้งานอาคารย่อมไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของบุคลากรและการให้บริการประชาชนทั่วไป

สำหรับข้อแนะนำด้านการอนุรักษ์พลังงานของหน่วยงานต่างๆ นั้น หากต้องการดำเนินมาตรการให้ได้ผลชัดเจนที่สุดควรเริ่มจากระบบปรับอากาศ เนื่องจากเป็นระบบมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด โดยอาจทำการปรับปรุงทั้งในส่วนของกรอบอาคารและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศไปพร้อมกัน ในส่วนของกรอบอาคารนั้นวิธีการที่นิยมทำกันมากคือการเปลี่ยนชนิดของกระจกในอาคารเป็นชนิดประหยัดพลังงาน หรือการติดตั้งอุปกรณ์กันแดด (Shading) บริเวณหน้าต่างอาคารที่ติดกระจกเพื่อลดปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้เข้าสู่อาคารน้อยที่สุด สำหรับบริเวณหลังคาอาคารหากชั้นบนสุดมีพื้นที่การปรับอากาศเป็นจำนวนมาก ควรมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคารในบริเวณดังกล่าวและลดภาระการปรับอากาศลง ในส่วนของประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศนั้นหากเป็นชนิดแยกส่วนการเลือกซื้อเครื่องใหม่ควรเป็นชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง (EER> 11) เนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ

สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าสำนักงานอื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องโทรสาร ควรเลือกใช้ชนิดที่มีการใช้พลังงานในโหมดการรอใช้งานน้อย หรือคือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องหมาย Energy star ซึ่งมีขายในท้องตลาดทั่วไป นอกจากนี้อุปกรณ์บางประเภทที่มีจำนวนมากได้แก่ พัดลมตั้งโต๊ะ ซึ่งหน่วยงานมีการติดตั้งเป็นจำนวนมากในบริเวณห้องพักคนไข้สามัญนั้นควรเลือกซื้อที่มีเครื่องหมายอุปกรณ์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องหมาย Energy star และเครื่องหมายเบอร์ 5 จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงานในสังกัดสำนักการแพทย์ 5 แห่ง ประกอบด้วยอาคารสำนักงานสำนักการแพทย์ โรงพยาบาลราชพิพัฒน์ โรงพยาบาลตากสิน โรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์ และโรงพยาบาลกลาง เพื่อจัดทำดัชนีและเกณฑ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง ผลการศึกษามีข้อสรุปและเสนอแนะ ดังนี้

สรุป

1. สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าของหน่วยงาน (Optimal Energy Consumption)

1.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานสำนักการแพทย์

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[2.743 + 0.767\times\ln(\text{Staff}) + 0.198\times\ln(\text{Ambient temperature})] \quad (21)$$

1.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานโรงพยาบาลราชพิพัฒน์

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[3.153+0.297\times\ln(\text{Outpatient})+0.752\times\ln(\text{Inpatient}) -0.913\times\ln(\text{Staff})+2.291\times\ln(\text{Ambient temperature}) \quad (22)$$

1.3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[14.011+0.805\times\ln(\text{Outpatient})- 0.256\times\ln(\text{Inpatient}) -1.074\times\ln(\text{Staff})+0.533\times\ln(\text{Ambient temperature})] \quad (23)$$

1.4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานโรงพยาบาลตากสิน

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[26.822+0.123\times\ln(\text{Outpatient})+0.312\times\ln(\text{Inpatient}) -2.02\times\ln(\text{Staff})+0.836\times\ln(\text{Ambient temperature})] \quad (24)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานโรงพยาบาลกลาง

$$\text{Optimal energy consumption} = \exp[8.114+0.258\times\ln(\text{Outpatient})+0.486\times\ln(\text{Inpatient}) -0.404\times\ln(\text{Staff})+0.552\times\ln(\text{Ambient temperature})] \quad (25)$$

จากลักษณะของสมการปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรเป็นตัวบ่งบอกถึงอิทธิพลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน เช่น สมการการใช้พลังงานที่เหมาะสม (OEC) ของหน่วยงานสำนักการแพทย์ พบว่าตัวแปรจำนวนเจ้าหน้าที่ (Staff) มีอิทธิพลต่อการใช้ไฟฟ้าในอาคารมากกว่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร (Ambient temperature) สำหรับหน่วยงานอีก 4 แห่งนั้น ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าก็แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะพฤติกรรมของบุคคลและผู้มาใช้บริการของแต่ละหน่วยงาน เช่น โรงพยาบาลกลางและตากสินนั้นตัวแปรผู้ป่วยใน (Inpatient) มีอิทธิพลต่อการใช้ไฟฟ้าในอาคารมากกว่าตัวแปรผู้ป่วยนอก (Outpatient) เหมือนกันเนื่องจากอาคารมีขนาดใกล้เคียงกัน การใช้พื้นที่ในส่วนของผู้ป่วยนอกและผู้ป่วยในคล้ายกัน แต่ค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรยังคงแตกต่าง เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าสมการของทั้ง 5 แห่ง ซึ่งสร้างมาจากการใช้งานจริงของอาคารได้แก่ จำนวนชั่วโมงใช้งาน กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ จำนวนคนในพื้นที่ เป็นต้น สมการที่ได้จึงเป็นสมการเฉพาะของหน่วยงานส่งผลถึงค่าพยากรณ์ที่ได้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากกว่าวิธีการอื่น

2. ดัชนีการใช้พลังงานและเกณฑ์การใช้พลังงานของหน่วยงาน

จากการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานในปี 2551 พบว่ามีค่าติดลบทุกเดือน ทั้งนี้สาเหตุอาจเกิดจากอาคารเป็นอาคารที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป โครงสร้างและวัสดุที่ใช้ประกอบอาคารไม่ได้เป็นชนิดประหยัดพลังงาน นอกจากนี้อุปกรณ์สำนักงานต่างๆ ยังไม่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นชนิดประหยัดพลังงานซึ่งมีกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าชนิดทั่วไปมาก สำหรับระบบปรับอากาศพบว่าทุกหน่วยงานติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน(Spilt Type) ซึ่งจากรายงานการตรวจวัดพลังงานของหน่วยงานพบว่าประสิทธิภาพการทำงานเกินกว่าร้อยละ 70 ของทุกหน่วยงานมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเบอร์ 1 (EER< 7.6) และจากการคำนวณค่าความร้อนรวมของผนังภายนอกอาคาร(OTTV) ไม่ผ่านเกณฑ์ทั้งสิ้น จึงทำให้อุปกรณ์ทำความเย็นทำงานอย่างหนัก ส่งผลถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของหน่วยงาน ในด้านของแสงสว่างนั้นแม้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางเมตรจะต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดเนื่องจากหลายหน่วยงานเริ่มมีนโยบายด้านการลดการใช้พลังงานจึงลดจำนวนหลอดลง จึงส่งผลให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน จากที่ได้กล่าวมาพบว่าโดยภาพรวมของหน่วยงานทั้ง 5 แห่งนั้นเป็นอาคารที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งด้านกรอบอาคาร เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารซึ่งยังไม่เป็นชนิดประหยัดพลังงานประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนที่ต่ำกว่าเบอร์ 1 แม้ว่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดต่อพื้นที่นั้นผ่านเกณฑ์ทุกหน่วยงานเนื่องจากนโยบายการลดหลอดไฟฟ้าซึ่งมักเป็นมาตรการแรกเริ่มด้านการลดการใช้พลังงาน จากสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานของหน่วยงานมีค่าติดลบทุกค่า

อย่างไรก็ตามเกณฑ์การใช้พลังงานเป็นการเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่หน่วยงานใช้อยู่ในปัจจุบัน (AEC) กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าเมื่ออาคารเปลี่ยนเป็นอาคารมาตรฐาน (OEC) แล้วจึงเป็นการเปรียบเทียบกับตัวเองไม่ได้นำไปเปรียบเทียบกับหน่วยงานอื่น ซึ่งการกำหนดเกณฑ์ในรูปแบบนี้แตกต่างจากเกณฑ์อื่นๆ ซึ่งมักนำปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากหลายที่มาเปรียบเทียบกันโดยหน่วยงานเหล่านั้นอาจมีฟังก์ชั่นของการทำงานของหน่วยงานที่แตกต่างกันทำให้เกิดปัญหาได้

โดยสรุป การนำแนวทางของ EUI มาใช้ช่วยลดปัญหาเรื่องขนาดของหน่วยงานที่แตกต่างกัน ผู้ป่วยหรือเจ้าหน้าที่มากหรือน้อย จำนวนชั่วโมงการทำงาน ฯลฯ โดยหน่วยงานสามารถคำนวณปริมาณการใช้ที่เหมาะสมตามข้อมูลที่ใส่ลงไป เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการไปเปรียบเทียบกับค่าที่ใช้จริงก็จะสามารถระบุได้ว่าโรงพยาบาลหรือหน่วยงานมีดัชนีการใช้พลังงานเป็นเท่าใด หากเดือนใดที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเกินปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมย่อมทำให้ค่า EUI เป็นลบถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์ หากเดือนใดเป็นบวกถือว่าผ่านเกณฑ์ นอกจากนี้หากหน่วยงานต้องการปรับปรุงอาคารของตนเพื่อให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานผ่านเกณฑ์สามารถทำได้จริง เนื่องจากสร้างจากหน่วยงานของรัฐที่มีความน่าเชื่อถือ โดยมีข้อกำหนดและหลักเกณฑ์การคำนวณที่ชัดเจน ทำให้หน่วยงานทั้ง 5 แห่งสามารถหาแนวทางในการดำเนินมาตรการที่ตรงกับเป้าหมายได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาพบว่าสิ่งที่ควรปรับปรุงดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานหากมีการพัฒนางานวิจัยต่อไปดังนี้

1. ควรมีการจัดสร้างดัชนีการใช้พลังงานใหม่ในทุก 3-5 ปี หรือเมื่ออาคารมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้งานหรือการเพิ่มจำนวนอุปกรณ์จากปัจจุบันไปมาก ทั้งนี้อาจพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของอาคาร (AEC) ซึ่งหากเพิ่มขึ้นจากเดิมจนผิดสังเกต ควรมีการจัดสร้างสมการทำนายใหม่เพื่อความถูกต้องแม่นยำ

2. สมการปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสม (OEC) ของอาคารนั้นยังไม่สามารถแสดงให้หน่วยงานทราบได้ว่าหน่วยงานของตนเองนั้นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้อใดบ้าง เพื่อนำไปปรับปรุงได้ทันที ดังนั้นหากหน่วยงานต้องการปรับปรุงอาคารเพื่อให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานผ่านเกณฑ์การใช้พลังงานจึงต้องดำเนินมาตรการที่มีความสอดคล้องกับค่ามาตรฐานการใช้พลังงาน (Energy required cods) ที่ใช้ประกอบงานวิจัยนี้ ซึ่งแม้ว่าค่ามาตรฐานเหล่านี้จะมีข้อกำหนดและหลักการคำนวณที่ชัดเจนแต่ก็มีขั้นตอนที่ค่อนข้างยุ่งยากและต้องอาศัยข้อมูลจากหลายส่วน ดังนั้นหากหน่วยงานได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานหรือวิศวกรก็จะช่วยให้หน่วยงานดำเนินมาตรการต่างๆ ง่ายขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2552. **รายงานสถิติอุณหภูมิสูงที่สุดในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยระหว่าง พ.ศ. 2494-2552**. แหล่งที่มา: http://www.tmd.go.th/index.php., 3 พฤษภาคม, 2552.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2551. **เอกสารประกอบการสัมมนา เกณฑ์และแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารราชการเขียว**, 17 พฤศจิกายน 2551, กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2005. **โครงการฉลากเบอร์ 5**. แหล่งที่มา: http://www2.egat.co.th/labelNo5/index.htm, 17 ธันวาคม 2552.

ณัฏฐเดช ปัญญาดี. 2551. **การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานราชการภายในศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. 2550. เล่มที่ 87 ตอนที่ 87 ก.

ราชกิจจานุเบกษา. 2552. ฉบับกฤษฎีกา. เล่มที่ 126 ตอนที่ 12 ก.

วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2544. **การลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม.** บริษัทอินเตอร์ พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551. **รายงานการตรวจวัดการใช้ทรัพยากร สำนักงานเลขานุการและกองวิชาการ**. 57 หน้า.

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. **เอกสารประกอบการสัมมนาโครงการรับฟังความคิดเห็นเกี่ยวกับเกณฑ์การจัดการใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานราชการ**, 17 พฤษภาคม 2550, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551. **เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยาง**. กรุงเทพฯ.

สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 2548. **เอกสารเผยแพร่โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก**. กรุงเทพฯ.

ASHRAE 2005. 2005. **ASHRAE Handbook-Fundamentals**. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, USA.

Chung, W., Y.V. Hui and Y.M. Lam. 2006. Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. **Applied energy** 83(2006): 1-14.

Crawley. 2001. **Energy plus manual version 1.0**, Available Source: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus, December12, 2009.

Department of energy, US. 1995. **Product available**. Available Source: URL:http://www.energystar.gov, December 25, 2009.

Murraya, J., O. Pahlb and S. Bure. 2008. Benchmarking NHSScotland's smaller health buildings. **Evaluating the scope for energy-efficiency improvements in the public sector.** Energy policy 36(2008): 1236-1242.

Monts, J.K. and M. Blissett. 1982. Assessing energy efficiency and energy-conservation potential among commercial buildings: a statistical approach. **Energy** 7: 861-869.

Signor, R., F.S. Westphal and R. Lamberts. 2001. Regression analysis of electric energy consumption and architectural variables of conditioned commercial buildings in 14 brazilian cities. *In* **proceedings of the 7th International IBPSA Conference**. 13-15 August 2001, Rio de Janeiro, Brazil.

Sharp, T. 1996. Energy benchmarking in commercial-office buildings. **ACEEE 1996 summer study on energy efficiency in buildings**. 4: 321-9.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ข้อกำหนดด้านพลังงานที่นำมาปรับใช้ในงานวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. วิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมและการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2550

1.1 การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (OTTV)

การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq})+(U_f)(WWR)(\Delta T)+(WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (ก1)$$

โดย

$OTTV_i$	คือ	ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านที่พิจารณา, W/m^2
U_w	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ, W/m^2-^oC
WWR	คือ	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
TD_{eq}	คือ	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature Difference Equivalent) ระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด
U_f	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก, W/m^2-^oC
ΔT	คือ	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (^oC)
SHGC	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจกให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด
SC	คือ	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ESR คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสดงและ/หรือผนังทึบแสง, W/m^2

ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) คือ ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTVi) รวมกันให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV=\frac{(A_{w1})(OTTV_1)+(A_{w2})(OTTV_2)+...+(A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1}+A_{w2}+...+A_{wi}} \quad (ก2)$$

โดย

A_{wi} คือ พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง, m^2

$OTTV_i$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (ก1)

1.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) ของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้านให้คำนวณจากวิธีการในส่วนต่อไปนี้

1) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) ของกรอบหรือเปลือกอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม คือ ส่วนกลับของค่าความต้านทาน ความร้อนรวม ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$U=\frac{1}{R} \quad (ก3)$$

โดย

R คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ มีหน่วยเป็นตารางเมตร-องศาเซลเซียสต่อวัตต์ ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (R) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$R=\frac{\Delta x}{k} \quad (ก4)$$

โดย

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน, m^2-°C/W

Δx คือ ค่าความหนาของวัสดุ, m

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ, W/m^2-°C

ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารแต่ละด้านที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายชนิด สำหรับผนังอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคาร จะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคาร โดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคาร จะถูกส่งผ่านจากพื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร โดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ดังนั้นฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคาร จึงถือว่ามีความต้านทานความร้อน

- กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อน (Total thermal resistance) หรือ R_T ของส่วนใดๆ ของกรอบอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_T=R_o+\frac{\Delta x_1}{k_1}+\frac{\Delta x_2}{k_2}+...+\frac{\Delta x_n}{k_n}+R_i \quad (ก5)$$

โดย

$\Delta x_i,..., \Delta x_n$ คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร, m

$k_i,..., k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร, W/m^2-°

R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร, m^2-°C/W

R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร, m^2-°C/W

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- กรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ (Air gap หรือ Air space) ระหว่างชั้นของกรอบอาคารจะมีค่าความต้านทานความร้อนค่าหนึ่ง กลไกของการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน (Conduction) และการพาความร้อน (Radiation) ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างอากาศจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารที่มีช่องว่างอาคารสามารถคำนวณได้จาก

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + ... + R_a + ... + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (ก6)$$

โดย

$\Delta xi, ..., \Delta xn$	คือ	ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร, m
ki ,..., kn	คือ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร, W/m^2-°C
R_o	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร, m^2-°C /W
R_i	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในอาคาร, m^2-°C /W
R_a	คือ	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ, m^2-°C /W

2) ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคารขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของบริเวณโดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคาร ตารางผนวกที่ ก1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

	ผนังภายใน (R_i)	ผนังภายนอก (R_o)
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนัง	0.12	0.044

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

พื้นผิวของวัสดุที่ถูกใช้เป็นผนังอาคาร โดยส่วนใหญ่จะถือว่ามีการสัมประสิทธิ์ การแผ่รังสีสูง ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังทึบของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ปรากฏในตารางผนวกที่ ก2

ตารางผนวกที่ ก2 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ((m^2. $^\circ$C)/W)	
	ที่ผิวผนังด้านใน (Ri)	ที่ผิวผนังด้านนอก (Ro)
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.12	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศตามค่าที่กำหนดในตารางผนวกที่ ก3 ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร (m^2.C/W)		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 mm	20 mm	100 mm
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ส่วนกรณีที่ความกว้างของช่องอากาศมากกว่า 100 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ 100 มิลลิเมตร

- สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วๆ ไป ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางภาคผนวกที่ ก4 นอกเหนือจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity, k) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ของวัสดุแล้ว ความหนาแน่นของวัสดุ (Density, ρ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat, c_p) ของวัสดุ ยังมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผนังดูดกลืนไว้ (Heat Absorption) และระยะเวลาที่ผนังอาคารสามารถหน่วงการส่งผ่านความร้อน (Thermal Time Lag) จากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร สำหรับวัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิวของผนังภายนอกอาคาร ซึ่งจะต้องสัมผัสกับรังสีอาทิตย์และท้องฟ้าโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อน (Solar absorptance) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของวัสดุ ก็จะมีผลต่อการรับความร้อน (Heat Gain) และการสูญเสียความร้อน (Heat loss) ของผนังอาคารด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.4 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกกับภายในอาคาร เป็นค่าที่รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุผนัง รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของผนัง

1.1.5 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผิวด้านนอกผนังทึบมีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนผนังอาคารและใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางผนวกที่ ก5

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของวัสดุต่างๆ

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน วัตต์/เมตร-เคลวิน (k)	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ρ)	ความร้อนจำเพาะ กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน
		W/(m.K)	kg/m3	cp, kJ/(kg.K)
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	0.398	1860	1.00
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	0.108	720	1.00
3	วัสดุมุงหลังคาแอสฟัลท์	1.226	1100	1.51
4	บิตูเม็น (Bitumen)	1.298	1100	1.26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน วัตต์/เมตร-เคลวิน (k)	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ρ)	ความร้อนจำเพาะ กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน
		W/(m.K)	kg/m3	cp, kJ/(kg.K)
5	อิฐ			
	(a) แห้งและฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสคหรือกระเบื้อง	0.807	1760	0.837
	(b) ผนังไม่ฉาบปูน	1.154	1600	0.79
6	คอนกรีต	1.442	2400	0.92
7	คอนกรีตชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ			
	- 620 kg/m3	0.160	620	0.84
	- 960 kg/m3	0.303	960	0.84
	- 120 kg/m3	0.346	1120	0.84
	- 1280 kg/m3	0.476	1280	0.84
8	บล็อก คอนกรีต	1.02	1370	0.92
9	แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
10	แผ่นไฟเบอร์ (Fiber Board)	0.052	264	0.59
11	ไฟเบอร์กลาส (ใยแก้ว)			
	(a) แบบม้วน (Blanket)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(b) แบบแผ่น (Rigid Board)	0.033	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(c) แบบท่อสำเร็จ (Rigid Pipe Sections)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน วัตต์/เมตร-เคลวิน (k)	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ρ)	ความร้อนจำเพาะ กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน
		W/(m.K)	kg/m3	cp, kJ/(kg.K)
12	แผ่นกระจก	1.053	2512	0.88
13	วัสดุมุงหลังคาแอสฟัลท์	1.226	1100	1.51
14	แผ่นยิปซั่ม	0.191	880	1.09
15	แผ่นไม้อัดอาร์ตบอร์ด			
	(a) มาตรฐาน	0.216	1024	1.34
	(b) ปานกลาง	0.123	640	1.30
16	โลหะ			
	(a) โลหะผสมของ อลูมิเนียม แบบธรรมดา	211	2672	0.896
	(b) ทองแดง	388	8784	0.390
	(c) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500
17	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	0.05	290	0.80
18	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว			
	(a) ยิปซั่ม	0.235	720	1.09
	(b) เฟอร์ไลท์	0.115	616	1.34
	(c) ปูนผสมทราย	0.533	1568	0.84
19	โพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.035	16	1.21
20	โฟมโพลียูรีเทน	0.024	24	1.59
21	โฟมโพลียูเอทธีลีน	0.029	45	1.21
22	พื้น PVC	0.713	1360	1.26

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน วัตต์/เมตร-เคลวิน (k)	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ρ)	ความร้อนจำเพาะ กิโลจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน
		W/(m.K)	kg/m3	cp, kJ/(kg.K)
23	หิน			
	- หินทราย	1.298	2000	0.79
	- หินแกรนิต	2.927	2640	0.79
	- หินอ่อน	1.298	2640	0.80
24	กระเบื้องหลังคา	0.836	1890	1.00
25	- ไม้เนื้ออ่อน	0.125	608	1.30
	- ไม้เนื้อแข็ง	0.138	702	1.30
	- ไม้อัด	0.138	528	1.21
26	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ด หยาบอัดหลวม	0.065	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	1.34
27	ไม้อัดชีพบอร์ด	0.144	800	1.30

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก5 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่แบหรือปิดผิว	0.3	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสงและวัสดุที่มีผิวขาว
แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม		
สีทาภายนอก		
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	0.5	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน
หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน		
หินแกรนิตสีครีมหรือสีอ่อน		
กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน		
วัสดุปิดผิวสีอ่อน		
สีทาภายนอก		
สีครีม,สีฟ้าอ่อน		
สีเขียวอ่อน,สีเหลืองอ่อน		
สีส้มอ่อน		
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	0.7	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม
คอนกรีตไม่ทาสี, อิฐไม่ทาสี		
แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี, กรวดล้างสีเทา		
แผ่นซีเมนต์เอสเบสตอสไม่ทาสี		
สีทาภายนอก		
สีแดง		
สีฟ้า		
สีเขียว สีส้ม สีสนิม		
สีส้ม		
สีสนิม (Rustic)		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	0.9	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม
อิฐทาสีแดง		
แอสฟัลต์		
คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ		
วัสดุมุงหลังคาสีเขียวเข้ม		
สีทาภายนอก		
สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม		
สีเทาเข้ม		
สีน้ำตาลเข้ม		
สีดำ		

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

- ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-specific heat product, DSH) ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของผนังทึบมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนังอาคาร

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับ ρ_i ความร้อนจำเพาะเท่ากับ c_{pi} และมีความหนาเท่ากับ Δx_i ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(c_{pi})(\Delta x_i), \qquad kJ/(m^2.C) \qquad (ก7)$$

โดย

DSH_i คือ ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง

ρ_i คือ ความหนาแน่นของวัสดุ i, kg/m^3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

C_{pi} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ i, kJ/(kg.C)

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุ i, m

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน n ชนิด ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH=DSH_1+DSH_2+...+DSH_n, \quad kJ/(m^2.C) \qquad (ก8)$$

กรณีที่ผนังมีช่องว่างอากาศตรงกลาง ช่องว่างอากาศดังกล่าวไม่ทำให้ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะผนังเปลี่ยนแปลงไป

1.1.6 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) ของผนังทึบ

ตารางแสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา ค่าในตารางประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวของผนัง ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังโดยมุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลก ผนังแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงของผนังเท่ากับ 90^o ส่วนหลังคาในแนวระนาบจะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0^o

1.1.7 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ โดยเลือกใช้สมการที่ (ก5) หรือ (ก6) ขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือแผ่นโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

- กระจกชั้นเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์ (U_f) ของกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียว ให้คำนวณจากสมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$U_f = \frac{1}{R_f} \qquad (ก9.1)$$

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o \qquad (ก9.2)$$

โดย

R_f คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง, W/m^2-C

R_i และ R_o คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคารให้ใช้ค่าจากตารางผนวกที่ ก3

Δx คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง, m

k_g คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง, W/m-C

- กระจกลามิเนต

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ (ก5)

- ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้นและมีช่องว่างอากาศภายในให้ใช้สมการที่ (ก6) ในการคำนวณค่าความต้านทาน ความร้อนของระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศจากตารางผนวกที่ ก6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก6 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความกว้างของช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ (m^2C/W)	
	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ให้ใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงสำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสงทั่วไป นอกเหนือจากกำหนดว่ากระจกหรือผนังโปร่งแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (Low Emissivity Coating) จึงใช้พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดให้ในตาราง (5-13 มิลลิเมตร) ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความทานต้านความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 13 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 13 มิลลิเมตร

1.1.8 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า OTTV ตามสมการที่ ก1 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางผนวกที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก7 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	สำนักงาน และสถานศึกษา	โรงพยาบาล และโรงแรม	ห้างสรรพสินค้า และไฮเปอร์มาเก็ต
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (องศาเซลเซียส)	5	3	5

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

1.1.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือ ค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนโปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร เทียบกับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใส มาตรฐานที่ความหนา 3 มิลิเมตร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสดงโดยตรง กับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางผนวกที่ ก8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก8 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance)

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว (Uncoated single glazing)			
6	กระจกใส	0.88	0.73
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.54
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.54
6	กระจกสีเทา	0.46	0.52
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.55
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว (Reflective Single Glazing)			
6	กระจกใสเคลือบโลหะสเตนเลส 20%	0.20	0.28
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว(Uncoated bouble glazing)			
6	กระจกสีบรอนซ์-กระจกใส	0.47	0.41
6	กระจกสีเขียว-กระจกใส	0.68	0.41
6	กระจกสีเทา-กระจกใส	0.41	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว-กระจกใส	0.67	0.43
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกใส	0.59	0.33
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น Reflective Bouble Glazing			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม30% (Titanium reflective coating 30% on clear glass)	0.27	0.25
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing, e = 0.2 on Surface 2)			
6	กระจก Low-e และ กระจกใส	0.73	0.53
กระจก Low-e สองชั้น (Low-e double glazing, e = 0.1 on surface 2)			
6	กระจก Low-e และกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจก Low-e	0.57	0.27

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1.2 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังอาคาร วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้ง จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่างๆ ของอาคารแต่ละประเภท ให้ใช้ค่าตามตารางผนวกที่ ก9 และ ก10

ตารางผนวกที่ ก9 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรมหรือโรงพยาบาล (W/m^2)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30	157.51	171.84	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45
90	80.68	94.81	106.98	114.57	116.26	111.96	102.86	91.40

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก10 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซุปเปอร์มาร์เก็ต (W/m^2)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55
15	303.15	307.90	315.66	323.63	330.14	333.80	331.91	321.31
30	268.08	278.60	293.82	308.44	319.42	324.35	319.10	299.32
45	227.46	243.07	264.27	283.71	297.18	301.59	292.50	266.04
60	187.41	205.70	230.29	252.20	266.21	268.90	256.53	226.97
75	154.06	170.92	195.12	216.63	229.31	229.66	215.55	187.56
90	133.52	143.11	162.04	179.75	189.27	187.26	173.98	153.31

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

1.2 การถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_{ni}$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_i = (U_w)(1\text{-}SRR)(TD_{eq})+(U_f)(SRR)(\Delta T)+(SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \qquad (ก10)$$

โดย

$RTTV_{ni}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา, W/m^2

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา, $W/m^2\text{-}^{O}C$

SRR คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคา โปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature Equivalent Difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง, W/m^2-^{O}C

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร, ^{O}C

SHGC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

SC คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบแสง, W/m^2

1.2.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละส่วน ($RTTV_{ni}$) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_n = \frac{(A_{w1})(RTTV_{n1}) + (A_{w2})(RTTV_{n2}) + \ldots + (A_{wi})(RTTV_{ni})}{A_{w1} + A_{w2} + \ldots + A_{wi}} \qquad (ก11)$$

โดย

A_{wi} คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาโปร่งแสง มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$RTTV_{ni}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (ก11)

1.2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-Value) ของหลังคา ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ และใช้คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ ในตารางภาคผนวกที่ ก4 อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศสำหรับกรณีที่เป็นหลังคาให้ใช้ค่าจากตารางผนวกที่ ก11, ก12 และ ก13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก11 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคา

	พื้นผิวหลังคาภายใน (R_i) ที่มีมุมเอียงต่างๆ กันจากแนวระดับ			พื้นผิวหลังคาภายนอก (R_o) ที่มุมเอียงใดๆ
	0	22.5	45	
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2.K/W)	0.162	0.148	0.133	0.055

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างภายในหลังคาของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของหลังคาด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ แสดงในตารางผนวกที่ ก12

สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือเป็นพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของหลังคาติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น หลังคาที่มีการติดแผ่นสะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึง 100 มิลลิเมตร ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วง ส่วนกรณีที่มีความกว้างของช่องอากาศมากกว่า 100 มิลลิเมตร ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 มิลลิเมตร ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคาแสดงในตารางภาคผนวกที่ ก13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก12 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก		ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ($m^2.K/W$)		
		5 mm	20 mm	100 mm
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0^o	0.11	0.148	0.174
	22.5^o	0.11	0.148	0.165
	45^o	0.11	0.148	0.158
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0^o	0.25	0.572	1.423
	22.5^o	0.25	0.571	1.095
	45^o	0.25	0.570	0.768

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

ตารางผนวกที่ ก13 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเพดาน	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ($m^2.K/W$)
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.458
กรณีที่พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	1.356

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

1.2.3 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุหลังคา รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของหลังคา

- สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของหลังคามีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารและใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่

- ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของหลังคา (Density specific heat product, DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของหลังคา มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุหลังคาอาคาร ค่าผลคูณของค่าความหนาและความร้อนจำเพาะของวัสดุของหลังคา ให้คำนวณโดยใช้เหมือนวิธี OTTV

- ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq})

เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบด้วยหลังคาอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในตารางผนวกที่ 5 และสมการที่ (ก 9.1) และ (ก9.2) คำนวณหาค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ ในกรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางผนวกที่ ก4 ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

1.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาโปร่งแสง (U_s)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกและผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ที่ผลิตได้โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (U_f) สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในหลังคา ให้ใช้ค่าจากตารางผนวกที่ ก12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.5 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (ΔT)

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง ในสมการคำนวณ RTTV ตามสมการที่ ก11 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางผนวกที่ ก14

ตารางผนวกที่ ก14 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	สำนักงานและสถานศึกษา	โรงพยาบาลและโรงแรม	ห้างสรรพสินค้าซุปเปอร์มาร์เก็ต
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (องศาเซลเซียส)	5	3	5

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2552)

1.2.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือ ค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาส่วนโปร่งแสงและก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาคาร เทียบกับรังสีอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสมาตรฐานที่ความหนา 3 มิลลิเมตร ค่าดังกล่าวเป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิต ที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับจากการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางผนวกที่ ก8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.7 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient, SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารสำหรับหลังคาให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการในเรื่อง OTTV

1.2.8 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR)

คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน สำหรับอาคารประเภทสำนักงาน และสถานศึกษา อาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล และอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าและซุปเปอร์มาร์เก็ต ให้ใช้ค่าตารางผนวกที่ ก10

1.3 การประเมินค่าไฟฟ้าในอาคาร

1.3.1 การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ

ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดที่ติดตั้งในอาคาร คือ ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ในอาคารโดยไม่รวมพื้นที่ที่จอดรถ ให้คำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$PD=\frac{LW+BW}{GR} \qquad (ก12)$$

เมื่อ

PD	คือ	ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยส่องสว่างที่ติดตั้งเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อาคาร
LW	คือ	ผลรวมค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าของหลอดส่องสว่างทั้งหมดที่ติดตั้งในอาคาร โดยมีหน่วยเป็นวัตต์
BW	คือ	ผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของแบลลาสต์ทั้งหมดที่ติดตั้งในอาคารโดยมีหน่วยเป็นวัตต์
GR	คือ	พื้นที่ใช้งานรวมในอาคาร

1.4 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคารให้คำนวณตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

1.4.1 เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นวัตต์ กับพิกัดกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็นวัตต์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$COP = \frac{Q}{W} \qquad (ก13)$$

โดย

Q คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศมีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น คือ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นของระบบปรับอากาศ

โดยกำหนดในรูปของค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy efficiency ratio, EER) คือ อัตราส่วนระหว่างขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของระบบปรับอากาศ หน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมง กับพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นวัตต์ ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$EER = 3.412(COP) \qquad (ก14)$$

โดย

EER คือ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน มีหน่วยเป็นบีทียูต่อชั่วโมงต่อวัตต์ (Btu/h /W)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4.2 ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่

เครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคารที่เป็นระบบขนาดใหญ่การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ และค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น ให้คำนวณตามวิธีการดังนี้

ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น คือ อัตราส่วนระหว่างพิกัดกำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นกิโลวัตต์กับขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็น หน่วยเป็นตันความเย็น ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$CHP = \frac{KW}{TON} \qquad (ก15)$$

โดย

CHP	คือ	ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็น
kW	คือ	พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของส่วนทำน้ำเย็นที่ภาระเต็มพิกัดมีหน่วยกิโลวัตต์ (kW) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรองโดยผู้ผลิตอุปกรณ์หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้
TON	คือ	ขีดความสามารถการทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระเต็มพิกัดมีหน่วยเป็นตันความเย็น (Refrigeration ton, RFT) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรองโดยผู้ผลิตอุปกรณ์ หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้

ส่วนการคำนวณค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสำหรับส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย ระบบระบายความร้อน ระบบจ่ายน้ำเย็น และระบบส่งลมเย็นให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$MP = \frac{CP+PW+FW}{TON} \qquad (ก16)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดย

MP คือ ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของส่วนประกอบอื่นของระบบปรับอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

CW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบระบายความร้อน มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรองโดยผู้ผลิตอุปกรณ์หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้

PW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบจ่ายน้ำเย็น มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรองโดยผู้ผลิตอุปกรณ์หรือสถาบันการทดสอบที่เชื่อถือได้

FW คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบส่งลมเย็น มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) ให้ใช้ค่าจากผลการทดสอบหรือรับรองโดยผู้ผลิตอุปกรณ์หรือสถาบัน

2. เกณฑ์กำหนดระดับประสิทธิภาพโครงการ เครื่องใช้ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

2.1 พัดลมตั้งโต๊ะ

เกณฑ์ขั้นต่ำอัตราการระบายอากาศและประสิทธิภาพค่าใช้งานที่อัตราเร็วสูงสุดของพัดลมแต่ละชนิดจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนด

ตารางผนวกที่ ก15 เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพพัดลมตั้งโต๊ะและติดผนัง

สำหรับพัดลมไฟฟ้ากระแสสลับชนิดตั้งโต๊ะและติดผนัง		
ชื่อขนาด (มิลลิเมตร)	อัตราการระบายอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)	ประสิทธิภาพค่าใช้งาน (ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อวัตต์)
200 (8 นิ้ว)	14	0.45
250 (10 นิ้ว)	20	0.65
300 (12 นิ้ว)	30	0.75
350 (14 นิ้ว)	44	0.83
400 (16 นิ้ว)	60	0.90

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก16 เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพพัดลมตั้งพื้น

สำหรับพัดลมไฟฟ้ากระแสสลับชนิดตั้งพื้น		
ชื่อขนาด (มิลลิเมตร)	อัตราการระบายอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)	ประสิทธิภาพค่าใช้งาน (ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อวัตต์)
300 (12 นิ้ว)	30	0.75
350 (14 นิ้ว)	44	0.83
400 (16 นิ้ว)	60	0.90
500 (18 นิ้ว)	90	1.00

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

ตารางผนวกที่ ก17 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพัดลมตั้งโต๊ะและติดผนัง

ระดับประสิทธิภาพของพัดลมไฟฟ้า กำหนดเป็น 5 ระดับ คือ ระดับที่ (เบอร □)	ประสิทธิภาพ
1	ต่ำ
2	พอใช้
3	ปานกลาง
4	ดี
5	ดีมาก

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

กฟผ. หาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพค่าใช้งานของพัดลมไฟฟ้าขนาด 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) และ 400 มิลลิเมตร (16 นิ้ว) ทั้งชนิดตั้งโต๊ะ ติดผนัง และตั้งพื้น ที่จัดจำหน่ายในท้องตลาด แล้วนำผลที่ได้มากำหนดระดับประสิทธิภาพ โดยให้ปรับเพิ่มและลดประสิทธิภาพค่าใช้งานในแต่ละระดับเป็นร้อยละ 10 ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก18 เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพพัดลมตั้งโต๊ะ

ขนาด	ค่าเฉลี่ย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 5
12 นิ้ว	0.84	$\leq$ 0.66	0.67-0.75	0.76-0.92	0.93-1.00	$\geq$ 1.01
16 นิ้ว	1.00	$\leq$ 0.79	0.80-0.89	0.90-1.10	1.11-1.20	$\geq$ 1.21

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

2.2 ระบบปรับอากาศชนิดแยกส่วน

2.2.1 การทดสอบเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐาน มอก.1155-2536 และ มอก.2134-2545

การทดสอบเครื่องปรับอากาศในโครงการฯ จะทดสอบเครื่องปรับอากาศ โดยการสุ่มตัวอย่างตามข้อกำหนดจากกลุ่มบริษัทผู้ผลิต/นำเข้า ที่เข้าร่วมโครงการฯ และนำส่งให้หน่วยงานทดสอบ ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 1155-2536 และ มอก.2134-2545 เครื่องปรับอากาศสำหรับห้อง แบบแยกส่วน ระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยเน้นที่อัตราส่วนประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศหรือค่า EER เป็นหลัก ปัจจุบันหน่วยงานทดสอบสามารถทดสอบเครื่องปรับอากาศได้ถึง40,944 BTU/hr ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบ ดังนี้

2.2.2.1 มาตรฐานการทดสอบ

การทดสอบเครื่องปรับอากาศปัจจุบันดำเนินการทดสอบที่สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (สฟอ.) ตั้งอยู่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ จะใช้หลักการเทียบเท่ามาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น และเทียบเท่ากับมาตรฐานสากล มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศที่จะทำการทดสอบนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารมาตรฐานต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- ISO/R 859-1968 TESTING AND RATING ROOM AIR CONDITIONERS

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- ARI 210/240-8 UNITARY AIR CONDITIONING AND AIR SOURCE HEAT PUMP EQUIPMENT

- JIS B 8625-1984 TESTING METHODS FOR UNITARY AIR CONDITIONER

- JIS B 8615-1984 UNITARY AIR CONDITIONERS

- มอก. 1155-2536 และ มอก. 2134-2545 เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศในการทดสอบเครื่องปรับอากาศนี้ทางหน่วยงานทดสอบจะมีห้องปฏิบัติการที่สามารถปรับภาวะความดันควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อสร้างสภาพของการทดสอบให้เครื่องปรับอากาศที่ทำการทดสอบอยู่ในภาวะเดียวกันตลอดเวลาที่ทำการทดสอบ

2.2.2.2 วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบเพื่อหาขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศจะทำการปรับภาวะในการทดสอบให้คงที่ ที่อุณหภูมิลมกลับเข้าชุดแฟนคอยล์

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 27 ± 1°C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 19 ± 0.5°C และอุณหภูมิลมก่อนเข้าชุดคอนเดนซิ่ง อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 35 ± 1°C อุณหภูมิกระเปาะเปียก 24± 0.5°C

2. การติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่จะทำการทดสอบ ให้เจ้าของผลิตภัณฑ์เป็นผู้ติดตั้งเอง โดยเมื่อติดตั้งชุดคอนเดนซิ่งและชุดแฟนคอยล์ตรงตำแหน่งที่เหมาะสม แล้วให้เดินท่อสารทำความเย็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามที่ผู้ผลิตกำหนด และมีความยาวไม่น้อยกว่า 7.50 เมตร โดยส่วนของท่อสารทำความเย็นที่อยู่ภายนอกห้องชุดแฟนคอยล์ต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร และจะต้องปฏิบัติตามที่ผู้ผลิตกำหนดเกี่ยวกับการหุ้มฉนวนและข้อควรระวังต่างๆ

3. การบรรจุสารทำ ความเย็น ต้องชั่งสารทำ ความเย็นให้มีปริมาณตามที่ผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศกำหนด รวมทั้งต้องติดตั้งอุปกรณ์กรองและดูดความชื้นสารทำความเย็นด้วยถ้าจำเป็น

4. วิธีทดสอบ ให้เครื่องปรับอากาศทำงานเต็มที่โดยควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้สม่ำเสมอตามข้อ 2 เมื่อห้องทดสอบอยู่ในภาวะสมดุล ให้ควบคุมภาวะสมดุลนั้นต่อไปอีก 1 ชั่วโมง โดยบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นทุก ๆ10 นาที เพื่อตรวจสอบความสมดุลแล้ววัดค่าต่างๆทุก 10 นาที รวม 7 ชุด แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบจะใช้เวลาไม่เกิน 3 วัน หลังจากห้องทดสอบถึงสภาวะการทำงานที่คงตัวขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิของเครื่องปรับอากาศคำนวณจากค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ภายในห้องชุดแฟนคอยล์ เมื่อเปรียบเทียบกับขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องคำนวณจากค่าต่างๆ ที่วัดได้ภายในห้องชุดคอนเดนซิ่ง จะต่างกันไม่เกินร้อยละ 4 (Heat balance) ของค่าที่คำนวณจากค่าต่างๆ ที่วัดได้ภายในห้องชุดแฟนคอยส์ จึงจะถือว่าการทดสอบนั้นใช้ได้

2.2.2 การคำนวณหาขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศ (Cooling capacity)

ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องจากส่วนภายในห้องชุดแฟนคอยล์

$$q_{tci} = \Sigma Er + \left(h_{w1} - h_{w2}\right) W_r + q_p - q_r \quad \text{(ก17)}$$

เมื่อ

Q_{tci} คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องปรับอากาศ ภายในห้องชุดแฟนคอยล์ มีหน่วยเป็นวัตต์

ΣEr คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมด ที่ใช้กับอุปกรณ์ปรับสภาวะในห้องชุดแฟนคอยล์ มีหน่วยเป็นวัตต์

h_{w1} คือ เอนทัลปี (enthalpy) ของน้ำหรือไอน้ำซึ่งใช้ในการเพิ่มความชื้น มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัมถ้าไม่มีการเติมน้ำเพื่อรักษาระดับของน้ำในเครื่องเพิ่มความชื้นระหว่างการทดสอบให้ถือว่า hw1 คือ ค่าที่หาได้โดยใช้อุณหภูมิของน้ำในเครื่องเพิ่มความชื้น

h_{w2} คือ เอนทัลปี (enthalpy) ของน้ำหรือไอน้ำซึ่งใช้ในการเพิ่มความชื้น มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัม

W_r คือ อัตราน้ำที่ควบแน่นในห้องชุดแฟนคอยล์ (วัดทางอ้อมโดยถือเอาปริมาณน้ำที่เติมให้เครื่องเพิ่มความชื้น) มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อวินาที

q_p คือ อัตราความร้อนที่รั่วไหลเข้าสู่ห้องชุดแฟนคอยล์เย็นผ่านผนังกั้นห้องชุดแฟนคอยล์และห้องชุดคอนเดนซิงมีหน่วยเป็นวัตต์ (หาได้จากการสอบเทียบ Calibrating test สำหรับห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบ หรือหาได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการคำนวณสำหรับห้องวัดความร้อนแบบปรับให้สมดุลกับบรรยากาศโดยรอบ)

q_r คือ อัตราความร้อนที่รั่วไหลเข้าสู่ห้องชุดแฟนคอยล์ผ่านพื้นผนัง (ไม่รวมผนังกั้นห้องภายใน) และเพดานมีหน่วยเป็นวัตต์

2.2.3 ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่องจากส่วนภายในห้องชุดคอนเดนซิ่ง

$$q_{tco} = q_c - \Sigma E_c - E + \left(h_{w3} - h_{w2}\right) W_{hr} + q_p + q_a \qquad (ก18)$$

เมื่อ

q_{tco} คือ ขีดความสามารถทำความเย็นรวมสุทธิของเครื่อง ภายในห้องชุดคอนเดนซิ่ง มีหน่วยเป็นวัตต์

Q_c คือ ความร้อนที่ผ่านออกทางอีแวพอเรเตอร์ประจำห้องชุดคอนเดนซิ่ง มีหน่วยเป็นวัตต์

Σ_{Ec} คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมด ที่ใช้กับอุปกรณ์ปรับสภาวะในห้องชุดคอนเดนซิ่ง มีหน่วยเป็นวัตต์

E คือ กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศทดสอบ มีหน่วยเป็นวัตต์

h_{w3} คือ เอนทัลปีของน้ำควบแน่นที่อีแวพอเรเตอร์ประจำห้องชุดคอนเดนซิ่ง (วัดอุณหภูมิน้ำโดยตรงใกล้ทางไหลออกจากห้อง) มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัม

W_{hr} คือ อัตราน้ำที่ควบแน่นบนคอยล์ทำความเย็นประจำห้องชุดคอนเดนซิ่ง มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อวินาที

q_p คือ อัตราความร้อนที่รั่วไหลออกจากห้องชุดคอนเดนซิ่งผ่านผนังกั้นห้องชุดแฟนคอยล์และห้องชุดคอนเดนซิ่ง เป็นวัตต์ (หาได้จากการสอบเทียบสำหรับห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบหรือหาได้จากการคำนวณสำหรับห้องวัดความร้อนแบบปรับให้สมดุลกับบรรยากาศ โดยรอบ qp จะเท่ากับ qp ถ้าหากว่าพื้นที่ของผนังกั้นห้องด้านชุดแฟนคอยล์เท่ากับพื้นที่ของผนังกั้นห้องด้านชุดคอนเดนซิ่ง)

q_a คือ อัตราความร้อนที่รั่วไหลเข้าสู่ห้องคอนเดนซิ่งผ่านพื้นผนัง (ไม่รวมผนังกั้นห้องภายใน) และเพดานมีหน่วยเป็นวัตต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.4 ขีดความสามารถลดความชื้นสุทธิ

$$q_{lci} = 2.46 \text{ X106 } W_r \quad (ก19)$$

เมื่อ

q_{lci} คือ ขีดความสามารถลดความชื้นสุทธิ มีหน่วยเป็นวัตต์

2.2.5 ขีดความสามารถลดความร้อนสัมผัสสุทธิเป็นวัตต์

$$q_{sci} = q_{tci} - q_{lci} \quad (ก20)$$

เมื่อ

q_{sci} คือ ขีดความสามารถลดความร้อนสัมผัสสุทธิมีหน่วยเป็นวัตต์

2.2.6 วิธีคำนวณหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)

$$EER = \frac{qtci}{E} \quad (ก21)$$

อีกนัยหนึ่ง

$$\text{ขนาดเครื่องปรับอากาศ} = \frac{\text{เครื่องปรับอากาศ}}{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์)}}$$

กฟผ. กำหนดระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเป็น 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ Energy efficiency ratio (EER) มีหน่วยเป็น BTU/W/hr ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเบอร์5 ปี 2006

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก19 เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน

ระดับประสิทธิภาพ		ประสิทธิภาพ (EER)
ระดับ 5	ดีมาก	11 ขึ้นไป
ระดับ 4	ดี	10.6 ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 11
ระดับ 3	ปานกลาง	9.6 ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 10.6
ระดับ 2	น้อย	8.6 ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 9.6
ระดับ 1	น้อยมาก	ต่ำกว่า 8.6

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

2.3 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า

2.3.1 การทดสอบเครื่องปรับอากาศ

การทดสอบเครื่องปรับอากาศปัจจุบันดำเนินการทดสอบที่สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (สฟอ.) ตั้งอยู่บริเวณนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ จะใช้หลักการเทียบเท่ามาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น และเทียบเท่ากับมาตรฐานสากล มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศที่จะทำการทดสอบนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารมาตรฐานต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- มอก. 1039-2547 ความปลอดภัย
- JIS C 9212-1993
- CCT/T11-2001(China technical specifications for energy conservation product)

ในการทดสอบหม้อหุงข้าวนี้ ทางหน่วยทดสอบจะมีห้องปฏิบัติการที่สามารถปรับความดัน ควบคุมความชื้น เพื่อสร้างสภาพห้องทดสอบในห้องสภาพทดสอบอยู่ในสภาวะเดียวตลอดเวลา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.2 วิธีการทดสอบ

ขอบเขต

หม้อหุงข้าวไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 โวลต์ กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 2 กิโลวัตต์ และปริมาตรสูงสุดไม่เกิน 3.6 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ประเภทหม้อหุงข้าว

- แบบธรรมดา ไม่มีกลอุปกรณ์สำหรับอุ่น
- แบบอุ่นธรรมดา มีกลอุปกรณ์สำหรับอุ่นและสามารถรักษาอุณหภูมิได้ในระยะสั้น
- แบบอุ่นพิเศษ มีกลอุปกรณ์สำหรับอุ่นและสามารถรักษาอุณหภูมิได้ในระยะยาว

คุณลักษณะที่ต้องการ

- ขนาดหม้อหุงข้าวซึ่งกำหนดตามปริมาตรสูงสุดการหุงข้าวต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก
- กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่ทดสอบต้องไม่เกินค่าที่กำหนดตามตารางผนวกที่ ก20

ตารางผนวกที่ ก20 เกณฑ์การคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าของหม้อหุงข้าวที่กำหนด

กำลังไฟฟ้าที่กำหนด (วัตต์)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)	
	ไม่น้อยกว่า	ไม่มากกว่า
$\leq$ 1000	-10	+5
$\geq$ 1000	-5	+5

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

- ประสิทธิภาพพลังงานความร้อน ประสิทธิภาพของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าขณะที่ทดสอบต้องไม่น้อยกว่าตารางผนวกที่ ก20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก21 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานความร้อนขั้นต่ำของหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

ช่วงกำลังไฟฟ้า	ประสิทธิภาพพลังงานความร้อน (ร้อยละ)
Jar Type	
500 < กำลังไฟฟ้า ≤ 600	87
600 < กำลังไฟฟ้า ≤ 700	88
กำลังไฟฟ้า > 700	89
Rice Cooker	
500 < กำลังไฟฟ้า ≤ 600	83
600 < กำลังไฟฟ้า ≤ 700	84
กำลังไฟฟ้า > 700	85

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

- ความสามารถในการทำข้าวสุก

ข้าวสวยต้องไม่ล้นขอบหม้อ สุกอย่างสม่ำเสมอ ไม่มีแกนแข็ง และไม่มีกลิ่นไหม้ และไม่มีน้ำล้นลงไปในส่วนที่มีไฟฟ้าหรือไหลลงแผ่นรองใต้หม้อ

- ความสามารถในการรักษาอุณหภูมิ

หม้อหุงข้าวแบบอุ่นธรรมดา เมื่อทำการทดสอบ ข้าวสวยต้องมีอุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส

หม้อหุงข้าวแบบอุ่นพิเศษ เมื่อทำการทดสอบ ข้าวสวยต้องมี

อุณหภูมิไม่เกิน 71 ± 6 องศาเซลเซียส อาจมีสีน้ำตาลหรือไหม้เกรียมติดหม้อเพียงเล็กน้อย แต่ไม่มีกลิ่นไหม้

ความสม่ำเสมอของการรักษาอุณหภูมิ (เฉพาะหม้อหุงข้าวแบบอุ่นพิเศษ) ความแตกต่างของอุณหภูมิในตำแหน่งระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด/ต่ำสุดอุณหภูมิแต่ละค่าที่วัดได้ต้องไม่เกิน 1.5 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.3 การทดสอบ

- หากไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ทดสอบในห้องที่ไม่มีกระแสลมและแหล่งความร้อน โดยติดตั้งแผงกันลมทาสีดำด้านในแนวตั้ง 3 แผง เพื่อจำกัดการหมุนเวียนของอากาศรอบหม้อหุงข้าว ให้วางแผงกันลมทั้ง 3 ให้ติดกันโดยปราศจากช่องว่าง และสูงพ้นจากด้านบนของหม้อข้าวอย่างน้อย 30 เซนติเมตร อุณหภูมิโดยรอบ 27 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 40-60 ที่ความดันบรรยากาศ 86-106 กิโลปาสคาล

- หากไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ทดสอบหม้อหุงข้าวที่แรงดันไฟฟ้า 220 $\pm$ 2 โวลต์และความถี่ 50 $\pm$ 0.5 เฮิร์ท

- ก่อนทดสอบประสิทธิภาพพลังงานความร้อน ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างหม้อหุงข้าว ส่วนให้ความร้อน ตัวหม้อไฟฟ้า และอุณหภูมิบรรยากาศต้องอยู่ระหว่าง 5 เคลวิน หรือต้องไม่มีการใช้หม้อไฟฟ้าภายใน 6 ชั่วโมงที่ผ่านมา

2.3.4 ประสิทธิภาพพลังงานความร้อน

คำนวณได้จากสมการ (ก22)

$$\eta = \frac{1.16G_1(T_2 - T_1)}{E} X100\% + \frac{CG_2(T_2 - T_1)}{3.6E} X100\% \qquad (ก22)$$

เมื่อ

η	คือ	ประสิทธิภาพพลังงานความร้อน, % ความละเอียด
T_1	คือ	อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, องศาเซลเซียส
T_2	คือ	อุณหภูมิน้ำสูงสุด, องศาเซลเซียส
G_1	คือ	มวลน้ำก่อนทดสอบ, กิโลกรัม
G_2	คือ	มวลหม้อหุงข้าว, กิโลกรัม
E	คือ	พลังงานไฟฟ้า, กิโลวัตต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.4 การกำหนดประสิทธิภาพ

กฟผ. กำหนดประสิทธิภาพหม้อหุงข้าวไฟฟ้าออกเป็น 5 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ kWh/ปี เป็นเกณฑ์ โดยแบ่งเป็น

- หม้อหุงข้าวไฟฟ้าขนาด 1.8 ลิตร
- แบบอุ่นธรรมดาและอุ่นพิเศษ
- Jar Type
- Rice Cooker
- ชนิดหุงข้าวสวยได้อย่างเดียว

โดยกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำดังนี้

ตารางผนวกที่ ก22 เกณฑ์การติดฉลากประสิทธิภาพพลังงานหม้อหุงข้าว

ช่วงกำลังไฟฟ้า	ประสิทธิภาพพลังงานความร้อน (ร้อยละ)
Jar Type	
500 < กำลังไฟฟ้า ≤ 600	87
กำลังไฟฟ้า > 700	89
กำลังไฟฟ้า > 700	85
Rice Cooker	
500 < กำลังไฟฟ้า ≤ 600	83
600 < กำลังไฟฟ้า ≤ 700	84
600 < กำลังไฟฟ้า ≤ 700	88

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก23 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานหม้อหุงข้าว

เกณฑ์กำหนดประสิทธิภาพสำหรับประสิทธิภาพสำหรับหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ขนาด 1.8 ลิตร					
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหุงเฉลี่ย	เบอร์ 5	เบอร์ 4	เบอร์ 3	เบอร์ 2	เบอร์ 1
300	E ≤270	270≤ E ≤285	270≤ E ≤285	270≤ E ≤285	E ≥ 330

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2551)

2.3.4 กำหนดระดับประสิทธิภาพ

การกำหนดเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับที่ 1 เป็นระดับที่ประสิทธิภาพต่ำ
- ระดับที่ 2 เป็นระดับที่ประสิทธิภาพพอใช้
- ระดับที่ 3 เป็นระดับที่ประสิทธิภาพปานกลาง
- ระดับที่ 4 เป็นระดับที่ประสิทธิภาพดี
- ระดับที่ 5 เป็นระดับที่ประสิทธิภาพดีมาก

3. เกณฑ์กำหนดระดับประสิทธิภาพโครงการ "ติดฉลากเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยสมัครใจ Energy Star"

การวัดกำลังไฟฟ้าช่วงรอใช้งานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านนั้นเป็นไปตามมาตรฐาน IEC62301 มาตรฐานนี้กำหนดวิธีตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าในช่วงรอใช้งานโหมดรอใช้งาน (Standby mode) โหมดที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำสุด ซึ่งปิดไม่ได้โดยผู้ใช้ และเป็นอยู่อย่างไม่มีกำหนดเวลา เมื่ออุปกรณ์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ และใช้งานตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ซึ่งไม่มีข้อกำหนดด้านความปลอดภัยหรือประสิทธิภาพขั้นต่ำของอุปกรณ์ หรือเกณฑ์กำหนดในการใช้พลังงาจุดประสงค์ของมาตรฐานนี้ เพื่อกำหนดวิธีการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าช่วงรอทำงาน (ซึ่งมักเป็นขณะที่อุปกรณ์ไม่ได้ทำหน้าที่หลัก) มาตรฐานนี้ให้ความหมายของการรอใช้งาน ว่าเป็นการใช้กำลังไฟฟ้าต่ำสุด ขณะที่อุปกรณ์ยังเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ วิธีทดสอบนี้อาจใช้กับโหมดการทำงานอื่นที่ใช้พลังงานต่ำสำหรับเกณฑ์ขั้นต่ำของประสิทธิภาพอุปกรณ์มีดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก24 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า		
	Standby mode	Sleep mode	Idle state
Desktops, Integrated Computers, Desktop Derived Servers and Gaming console	$\leq$ 2 W	$\leq$ 4 W	Category A: $\leq$ 50 W Category B: $\leq$ 65 W Category C: $\leq$ 95 W
Notebooks and tablets	$\leq$ 1 W	$\leq$ 1.7 W	Category A: $\leq$ 14 W Category B: $\leq$ 22 W

ที่มา: US. EPA Energy star (2003)

ตารางผนวกที่ ก25 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานโทรทัศน์

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า		
	Screen area	Maximum On mode	Maximum On mode
โทรทัศน์	Non-high definition TVs (เช่น $\leq$ 480 Native vertical resolution)		
	Screen area	Maximum on mode	Maximum on mode
	All screen areas	Areas P_{max} = 0.120*A+25	P_{max} = 0.01860*A+25
	High definition and full high definition TVs (เช่น > 480 Native vertical resolution)		
	A< 680 inch (4378 cm)	P_{max} = 0.200*A+32	P_{max} = 0.03100*A+32
	680 inch^2 $\leq$ A<1,045 inch^2	P_{max} = 0.240*A+27	P_{max} = 0.03720*A+27
	680 inch2 $\leq$ A<1,045 inch^2 (4,387 cm^2 $\leq$ A<6,742 cm)	P_{max} = 0.156*A+151	P_{max} = 0.02418*A+151
Standby	ผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับเครื่องหมาย Energy star จะต้องมีการใช้พลังงานในช่วง Standby mode ไม่เกิน 1 วัตต์		

ที่มา: US. EPA Energy star (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก26 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องเสียงในบ้าน

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้าช่วง Stand mode
Consumer audio products	$\leq$ 2.0 Watts
DVD Products	$\leq$ 3.0 Watts

ที่มา: US. EPA Energy star (2003)

ในการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานทั้งสองวิธีนั้น แต่ละวิธีจะมีการแบ่งแยกชนิดของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ตามเทคโนโลยีที่ใช้ ขนาดของกระดาษ (Size format) ความสามารถในการพิมพ์สี (Color capability)

- การทดสอบโดยวิธี TEC approach

ผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบโดยวิธีนี้จะได้รับเครื่องหมาย Energy star ก็ต่อเมื่อค่าการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบนั้นมีค่าไม่เกินค่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งการกำหนดประสิทธิภาพพลังงานนั้นจะแบ่งตามชนิดของผลิตภัณฑ์ ชนิดของเทคโนโลยี ขนาดของกระดาษ และความเร็วในการพิมพ์หรือสแกน

- การทดสอบโดยวิธี OM approach

ผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบโดยวิธีนี้จะได้รับเครื่องหมาย Energy star ก็ต่อเมื่อค่าการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบนั้นมีค่าไม่เกินค่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยจะต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงของ Standby mode ดังตารางที่ ก28

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก27 เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานอุปกรณ์หลายหน้าที่ เครื่องแสกนเอกสาร เครื่องพิมพ์

ชนิดของผลิตภัณฑ์และขนาดกระดาษ	Standby (วัตต์)
ทุกขนาดของกระดาษ และขนาดของผลิตภัณฑ์เป็นขนาดมาตรฐาน โดยไม่มีฟังก์ชันของการส่งเอกสาร (Facsimile)	1
ทุกขนาดของกระดาษ และขนาดของผลิตภัณฑ์เป็นขนาดมาตรฐาน โดยมีฟังก์ชันของการส่งเอกสาร (Facsimile)	2

ที่มา: US. EPA Energy star (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าจากหน่วยงานทั้ง 5 แห่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากสำนักการแพทย์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	คอมพิวเตอร์	74	163155
2	printer	54	14864
3	โน๊ตบุ๊ค	4	1326
4	ทีวี	13	1020
5	เครื่องถ่ายเอกสาร	6	4799
6	เครื่องโทรสาร	9	3289
7	พัดลม	37	2163
8	กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	11	5300
9	ไมโครเวฟ	13	6100
10	เครื่องเล่น DVD	8	273
11	เครื่องเสียงและอุปกรณ์ควบคุมในห้องประชุม	146	21754
12	ตู้เย็น	12	2003
13	หลอดไฟฟ้า 18 วัตต์	583	32787
14	หลอดไฟฟ้า 36 วัตต์	290	12570
15	หลอดไฟฟ้า 9 วัตต์	61	408
16	หลอดไฟฟ้า 50 วัตต์	12	666
17	หลอดไฟฟ้า 32 วัตต์	25	982
18	หลอดไฟฟ้า 11 วัตต์	222	2442

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 เครื่องปรับอากาศสำนักการแพทย์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
1	เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000	6	72,000
2	เครื่องปรับอากาศขนาด 13,000	1	13,000
3	เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000	7	126,000
4	เครื่องปรับอากาศขนาด 20,000	1	20,000
5	เครื่องปรับอากาศขนาด 24,000	11	264,000
6	เครื่องปรับอากาศขนาด 25,800	1	25,800
7	เครื่องปรับอากาศขนาด 30,000	3	90,000
8	เครื่องปรับอากาศขนาด 33,000	2	66,000
9	เครื่องปรับอากาศขนาด 33,400	1	33,400
10	เครื่องปรับอากาศขนาด 35,300	1	35,300
11	เครื่องปรับอากาศขนาด 36,000	3	108,000
12	เครื่องปรับอากาศขนาด 38,000	1	38,000
13	เครื่องปรับอากาศขนาด 40,000	2	80,000
14	เครื่องปรับอากาศขนาด 50,000	3	150,000
15	เครื่องปรับอากาศขนาด 54,000	5	270,000
16	เครื่องปรับอากาศขนาด 60,000	4	240,000
17	เครื่องปรับอากาศขนาด 200,000	2	400,000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลราชพิพัฒน์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	คอมพิวเตอร์	90	26354
2	เครื่องพิมพ์	31	6037
3	โน๊ตบุ๊ค	1	330
4	ทีวี	9	709
5	เครื่องถ่ายเอกสาร	4	4950
6	เครื่องโทรสาร	2	88
7	พัดลม	132	5580
8	กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	17	12839
9	ไมโครเวฟ	5	4400
10	เครื่องเล่น DVD	4	140
11	เครื่องเสียงและอุปกรณ์ควบคุมในห้องประชุม	22	12675
12	ตู้เย็น	23	7373
13	หลอดไฟฟ้า 18 วัตต์	281	7868
14	หลอดไฟฟ้า 36 วัตต์	425	19550

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลราชพิพัฒน์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	ตู้อ่านฟิล์ม 1	1	64
2	ตู้อ่านฟิล์ม 2	1	128
3	ตู้อ่านฟิล์ม 3	1	64
4	เครื่องดูดอากาศ 1	4	104
5	เครื่องเอกซเรย์ทั่วไป	1	5000
6	เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ขนาดใหญ่	2	6000
7	เครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่ขนาดเล็ก	1	2500
8	เครื่องตรวจอัลตราซาวด์	1	2000
9	เครื่องล้างฟิล์มอัติโนมัติ	1	2100
10	เครื่องล้างฟิล์มอัติโนมัติ ขนาดเล็ก	1	1800
11	เครื่องพิมพ์ชื่อผู้ป่วย	1	110
12	เครื่องฉายแสงวัสดุอุดฟัน	5	60
13	เครื่องขูดหินปูน	3	1320
14	เครื่องกรอฟัน แบบเคลื่อนที่	2	1492
15	เครื่องอบฆ่าเชื่อ (ความจุ 30 ลิตร)	1	1700
16	โคมไฟส่องปาก แบบกระเป๋าหิ้ว	2	140
17	เครื่องอบฆ่าเชื้อ (ความจุ 1 ลิตร)	1	1300
18	เครื่องวัดความดันโลหิตดิจิตอล	1	3.3
19	โคมไฟผ่าตัดเคลื่อนที่ได้	1	70
20	เครื่องดูดน้ำลายแรงสูง	2	880
21	โคมไฟตรวจธนบัตร	1	15
22	เครื่อง SEAL ซอง MELAG	1	1100
23	เครื่องล้างเครื่องมือด้วยคลื่นเสียง	1	70
24	ตู้อ่านฟิล์มทำด้วยสเตนเลส	5	320
25	เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (หัวกรอ)	1	1320
26	เครื่อง x - RAY	1	900
27	ยูนิตทำฟันระบบอิเล็กทรอนิค	1	746

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
28	เครื่องตรวจวิเคราะห์ XT800i	1	3500
29	เครื่อง Vitros	1	800
30	เครื่อง ACL 7000	1	660
31	เครื่อง Blood gas	1	55
32	เครื่อง D-10	1	550
33	Centrifuge Humax 5000	1	375
34	Centrifuge Kokusan	1	220
35	Hct Centrifuge	1	440
36	Microbilirubin (BR-400)	1	110
37	Cardiac reader	1	440
38	Water bath	1	550
39	Rotator VRN 200	1	110
40	กล้องจุลทรรศน์	1	65
41	ตู้เย็น	2	4000
42	ตู้เย็นเก็บเลือด	1	2500
43	Freezer	2	300
44	Freezer	1	93.5
45	Stabilizer (ตู้เย็น GEM.)	3	1200
46	Serofuge	1	550
47	Incubator (Gel)	1	440
48	Centrifuge (Gel)	1	40
49	Microwave	1	1100
50	Biosafety Carbinet	1	120
51	Hot air oven	1	700
52	Photo	4	1120
53	Dinamap	1	110
54	เครื่องอุ่นตัวเด็ก	1	1200

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
55	เครื่องให้น้ำเกลือ	3	162
56	เครื่องกระตุกหัวใจ	1	220
58	เครื่องอัลตราซาว์ด	3	30
59	เครื่องดึงคอ - หลัง	4	400
60	เครื่องกระตุ้นไฟฟ้า	3	330
61	เครื่องไมโครเวฟไดอะเทอร์มี่	1	250
62	เครื่องช๊อตเวฟไดอะเทอร์มี่	2	800
63	หม้อต้มแผ่นร้อน	2	3000
64	หม้อต้มพาราฟิน	1	2500
65	เครื่องเลเซอร์	1	35
66	เครื่องควบคุมสารน้ำBacter	5	312.5
67	เครื่องควบคุมสารน้ำterumo	5	600
68	เครื่องควบคุมสารน้ำEforL	1	1840
69	เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	90
70	EKG 12Lead	1	1500
71	EKG Monitor	1	84
72	BP monitor E CO lin	1	115
73	BP monitor	1	66
74	เครื่องควบคุมการให้เลือด	1	138
75	Syring Pump Terumo	2	552
76	Syring Pump Shriro	2	552
77	เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ	1	110
78	เครื่องกระตุกหัวใจ	1	220
79	เครื่องควบคุมการให้สารน้ำ	8	880
80	เครื่องอุ่นเลือด	1	330
81	เครื่องดูดเสมหะ	1	8
82	ที่นอนลม	4	56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลราชพิพัฒน์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
1	เครื่องปรับอากาศขนาด 9,000	1	9,000
2	เครื่องปรับอากาศขนาด 10,000	3	30,000
3	เครื่องปรับอากาศขนาด 12,000	4	48,000
4	เครื่องปรับอากาศขนาด 12,600	9	113,400
5	เครื่องปรับอากาศขนาด 13,000	8	104,000
6	เครื่องปรับอากาศขนาด 13,870	6	83,220
7	เครื่องปรับอากาศขนาด 14,000	6	84,000
8	เครื่องปรับอากาศขนาด 16,000	37	592,000
9	เครื่องปรับอากาศขนาด 18,000	6	108,000
10	เครื่องปรับอากาศขนาด 18,300	10	183,000
11	เครื่องปรับอากาศขนาด 19,000	1	19,000
12	เครื่องปรับอากาศขนาด 20,000	3	60,000
13	เครื่องปรับอากาศขนาด 21,000	1	21,000
14	เครื่องปรับอากาศขนาด 24,000	3	72,000
15	เครื่องปรับอากาศขนาด 25,000	3	75,000
16	เครื่องปรับอากาศขนาด 25,400	1	25,400
17	เครื่องปรับอากาศขนาด 25,800	1	25,800
18	เครื่องปรับอากาศขนาด 26,000	1	26,000
19	เครื่องปรับอากาศขนาด 30,000	3	90,000
20	เครื่องปรับอากาศขนาด 36,000	3	108,000
21	เครื่องปรับอากาศขนาด 38,000	5	190,000
22	เครื่องปรับอากาศขนาด 38,900	1	38,900
23	เครื่องปรับอากาศขนาด 44,000	4	176,000
24	เครื่องปรับอากาศขนาด 44,100	1	44,100
25	เครื่องปรับอากาศขนาด 56,000	1	56,000
26	เครื่องปรับอากาศขนาด 60,000	3	180,000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
27	เครื่องปรับอากาศขนาด 80,000	4	320,000
28	เครื่องปรับอากาศขนาด 84,000	1	84,000
29	เครื่องปรับอากาศขนาด 90,000	3	270,000
30	เครื่องปรับอากาศขนาด 120,000	5	600,000

ตารางผนวกที่ ข6 อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	คอมพิวเตอร์	51	22266
2	เครื่องพิมพ์	18	4280
3	โน๊ตบุ๊ค	2	1992
4	ทีวี	5	491
5	เครื่องถ่ายเอกสาร	-	-
6	เครื่องโทรสาร	1	200
7	พัดลม	47	2395
8	กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	11	13850
9	ไมโครเวฟ	16	14270
10	เครื่องเล่น DVD	18	1816
11	เครื่องเสียงและอุปกรณ์ควบคุมในห้องประชุม	10	1088
12	ตู้เย็น	31	9016
13	หลอดไฟฟ้า 18 วัตต์	591	16548
14	หลอดไฟฟ้า 36 วัตต์	2749	126454

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	ตู้ดูฟิล์ม	2	100
2	ultrasonic	2	1,600
3	เครื่อง ULS	1	600
4	compistpen	3	0
5	printer	2	176
6	เครื่องวัดความดัน	2	672
7	veritilator	3	5,550
8	EKG	2	500
9	Infulsion pump	4	250
10	EKG	1	2,500
11	blood	1	1,150
12	เครื่องปั่น HCT	1	600
13	ตู้เย็นแช่ยา	1	24
14	เครื่องนับเม็ดยา	1	220
15	เครื่องพิมพ์ฉลากยา	3	264
16	เครื่องปั่นอาหารเด็ก	2	1,500
17	เครื่องกดบัตรคิว	1	0
18	เครื่องวัดความดัน	1	6
19	เครื่องบันทึกน้ำตาลในเลือด	2	0
20	เครื่องวัดความดัน amron	1	66
21	เครื่องวัดความดัน amron	1	66
22	เครื่องวัดความดัน amron	1	66
23	เครื่องวัดความดัน amron	1	66
24	เครื่องวัดความดัน amron	1	66
25	เครื่องชั่งน้ำหนัก digital	1	2
26	เครื่องชั่งน้ำหนัก digital	1	2
27	เครื่องล้างเครื่องมือ	1	13,700

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
28	เครื่องปิดผนึกเวชภัณฑ์	1	500
29	ตู้อบไอน้ำ	2	220
30	เครื่องอบแก๊ส	1	110
31	เครื่องอบสายยาง	1	100
32	เครื่องอุ่นเชื้อไอน้ำ	2	97
33	ตู้เย็นเก็บยาสลบ	1	50
34	เครื่องวัดความชื้น	2	280
35	ตู้เย็นเก็บอาหาร	1	175
36	ตู้เย็นเก็บยา	1	4,278
37	เครื่องลดความชื้น	1	380
38	กล้องจุลทรรศน์	1	50
39	ตู้เย็นเก็บน้ำยา	1	427
40	ตู้ปลอดเชื้อ	1	130
41	เครื่องปั่นเลือด	1	110
42	เครื่องตรวจการเข้ากันของเลือด	1	477
43	ตู้เย็นเก็บเลือด	1	570
44	ตู้แช่แข็ง	1	422
45	ตู้เย็นเก็บน้ำยา	1	113
46	เครื่องพิมพ์บาร์โค๊ด	1	100
47	ตู้เย็นเก็บ specitem	2	320
48	เครื่องพิมพ์บาร์โค๊ด	1	0
49	เครื่องตรวจเคมีเทคนิค au400	1	2,400
50	เครื่องตรวจเคมีเทคนิค vitros	1	3,300
51	เครื่องตรวจเคมีเทคนิค ems	1	770
52	เครื่องตรวจH.B.A.C	1	2,200
53	เครื่องปั่นเลือด kokusun	1	770
54	เครื่องปั่นเลือด HC-160	1	770

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
55	เครื่องปั่นเลือด thermo	1	2,400
56	เครื่องตรวจทางภูมิคุ้มกัน	1	2,400
57	เครื่องตรวจการแข็งของเลือด	1	2,400
58	เครื่องตรวจโลหิตวิทยา STKS	1	2,400
59	เครื่องตรวจโลหิตวิทยา MAXM	1	2,400
60	เครื่องปั่นฮีมาโตคริต	1	341
61	เครื่องปั่น	1	460
62	เครื่องตรวจปัสสาวะทางเคมี	1	696
63	ตู้แช่แข็ง	1	312
64	เครื่องปั่นอาหารเด็ก	1	400
65	เครื่องชั่งน้ำหนัก	1	68
66	เครื่องปั๊มนม	2	24,200
67	คอมพิวเตอร์	3	936
68	printer	1	52
69	เครื่องนึ่งขวดนม	1	107
70	เครื่องชั่งน้ำหนัก	1	44
71	เครื่องวัดความดัน	1	96
72	เครื่องวัดความดัน	1	64
73	เครื่อง x-ray	1	2,200
74	เครื่องปั่นอมิลกรัม	2	101
75	เครื่องฉายแสง	5	242
76	เครื่องขูดหินปูน	4	220
77	เครื่องกรอฟัน	1	48
78	เครื่องอุดรากฟัน	1	55
79	เครื่องฟอกอากาศ	1	120
80	monitor nihon	1	50
81	monitor Phillip	1	50

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
82	กล่องดูฟิล์ม	1	50
83	monitor prokard	2	100
84	EKG	1	2,500
85	ตู้เย็นเก็บยาสลบ	1	2,500.00
86	เครืองกระตุกหัวใจ	1	75.00
87	เครื่องให้สารน้ำทางหลอดเลือด	3	55.20
88	เครื่องติดตามการทำงานของหัวใจ	1	240.00
89	เครื่องวัดความดัน	1	18.30
90	เครื่องวัดความอิ่มตัวของออกซิเจน	1	21.70

ตารางผนวกที่ ข8 เครื่องปรับอากาศจากโรงพยาบาลเวชการุณย์รัศมิ์

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
1	เครื่องปรับอากาศชนิดรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยอากาศ	4	1020000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข9 อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลตากสิน

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์
1	คอมพิวเตอร์	171	14144
2	เครื่องพิมพ์	59	4425
3	โน๊ตบุ๊ค	-	-
4	ทีวี	115	16180
5	เครื่องถ่ายเอกสาร	6	5242
6	เครื่องโทรสาร	7	770
7	พัดลม	761	89225
8	กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	15	9800
9	ไมโครเวฟ	31	35200
10	เครื่องเล่น DVD	6	240
11	เครื่องเสียงและอุปกรณ์ควบคุมใน	4	990
12	ตู้เย็น	148	16056
13	หลอดไฟฟ้า 18 วัตต์	1659	60546
14	หลอดไฟฟ้า 32 วัตต์	384	10400
15	หลอดไฟฟ้า 36 วัตต์	4140	131008
16	หลอดไฟฟ้า 8 วัตต์	80	1576

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลตากสิน

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า	2	1,200
2	เครื่องตรวจคลื่นหัวใจ	2	4,400
3	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	6	3,960
4	เครื่องปั่นหาความเข้มข้นเลือด	1	260
5	เครื่องช่วยหายใจอัตโนมัติ	1	2,200
6	เครื่องให้สารน้ำทางเส้นเลือด	2	440
7	เครื่องจี้ไฟฟ้า	1	2,750
8	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110
9	เครื่องตัดเฝือกไฟฟ้า	4	2,816
10	เครื่องดูดฝุ่นเฝือกไฟฟ้า	3	9,504
11	เตียงไฟฟ้าแบบปรับระดับได้	2	1,592
12	เครื่องซั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	1	55
13	เครื่องชั่งน้ำหนัก ดิจิตอล	1	110
14	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	2	440
15	เครื่องดูดเสมหะ	1	288
16	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	2	440
17	เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ใหญ่แบบ	2	220
18	โคมไฟส่องตรวจ	2	600
19	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110
20	เครื่องตัดเฝือกไฟฟ้า	4	2816
21	เครื่องดูดฝุ่นเฝือกไฟฟ้า	3	9504
22	เตียงไฟฟ้าแบบปรับระดับได้	2	1592
23	เครื่องซั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	1	55
24	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	6930
25	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
26	เครื่องวัดความอิ่มตัวออกซิเจน	1	110
27	เครื่องปรับอุณหภูมิแบบใช้ลม	1	2420
28	เครื่องช่วยหายใจชนิดพกพา	1	660
29	เครื่องอุ่นสารน้ำด้วยไฟฟ้า	1	110
30	เตียงผ่าตัด	1	5280
31	เครื่องจี้ไฟฟ้า	1	38500
32	เครื่อง Suction ไฟฟ้า	1	3500
33	เครื่อง Warmmer เด็ก	1	2200
34	เครื่องสลายต้อกระจกด้วยความถี่	1	7128
35	เครื่องผ่าตัดวุ้นตาส่วนหลัง	1	1100
36	เครื่องจุลทรรศน์	1	5280
37	เครื่องเลเซอร์	1	2772
38	เครื่องกล้องส่องตรวจ	1	14520
39	เครื่องจี้ Cryo (ตา ,สูติ)	1	105
40	เครื่องเอกซเรย์ (C - Arm)	1	8800
41	เครื่องล้างกล้องส่องตรวจ	1	4400
42	เครื่อง Ultrasound	1	1386
43	เครื่องรัดห้ามเลือด	1	220
44	เครื่องควบคุมการให้น้ำเกลือ	1	1760
45	Monitor Bed side	1	2640
46	Central Monitor	1	4400
47	EKG Compleah Lead	1	350
48	เครื่องปั่นฮีมาโตคริต	1	2200
49	Cailing Pandant	1	28160
50	Ventilator	1	880

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
51	เครื่องกระตุกหัวใจเครื่องติดตาม	1	1100
52	ห้องควบคุมการติดเชื้อ (Negative	1	8360
53	เครื่องนึ่งไอน้ำความดันสูง (ตัวที่	1	6300
54	เครื่องนึ่งไอน้ำความดันสูง (ตัวที่	1	15200
55	เครื่องล้างทำความสะอาดอุปกรณี	1	6600
56	เครื่องอบฆ่าเชื้อด้วยความร้อนแห้ง	1	6600
57	เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่น	1	13200
58	เครื่องไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	1	5700
59	เครื่องนึ่งอบฆ่าเชื้อด้วยแก๊สเอททิ	1	6600
60	เครื่องปิดผนึกถุงพลาสติก	1	3300
61	เครื่องซีลปิดซองบรรจุเวชภัณฑ์	1	2610
62	เครื่องเป่าแห้งสายยาง	1	4840
63	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110
64	เครื่อง Defribrillator	1	2,200
65	เครื่องช่วยหายใจ	1	2,200
66	เครื่องควบคุมการให้น้ำเกลือ	1	110
67	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110
68	เครื่องวัดอิ่มตัวของออกซิเจนใน	1	330
69	เครื่องติดตามการทำงานของหัวใจ	1	1,800
70	เครื่องควบคุมการให้น้ำเกลืออัตโน	1	990
71	เครื่องควบคุมการให้อาหารทาง	1	550
72	เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	600
73	เครื่องช่วยหายใจ	1	15,400
74	เตียงไฟฟ้า	1	7,260
75	เครื่องควบคุมจากศูนย์กลาง	1	300

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
76	เครื่องควบคุมอุณหภูมิในร่างกาย	1	1,320
77	เครื่อง Drip ให้เลือด	1	110
78	เครื่องวิเคราะห์คลื่นไฟฟ้าหัวใจ 12	1	1100
79	เครื่องปั่นเม็ดเลือดแดง	1	260
80	เครื่องชั่งน้ำหนัก ดิจิตอล	1	110
81	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	330
82	โคมไฟผ่าตัด	1	250
83	เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	300
84	เครื่องอัลตราซาวด์	1	1,386
85	เครื่องช่วยหายใจ	1	4,400
86	เครื่องควบคุมการให้น้ำเกลืออัตโน	1	660
87	เตียงไฟฟ้า	1	3630
88	เครื่องนับหยดอาหาร	1	440
89	เตียงไฟฟ้า	1	10000
90	เครื่องช่วยหายใจชนิดใช้ปริมา	1	880
91	เครื่องควบคุมการให้สารน้ำอัติ	1	1650
92	เครื่องควบคุมจากศูนย์กลาง	1	2700
93	เครื่อง Monitor Mobile	1	288
94	เครื่อง Monitor Mobile Ekg	1	432
95	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110
96	เครื่องบันทึกเสียงหัวใจเด็ก	1	440
97	ที่นอนลม	1	990
98	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	440
99	เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	330
100	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
101	เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	330
102	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	220
103	เครื่องควบคุมอุณหภูมิในร่างกาย	1	1,320
104	เครื่องดูดเสมหะ	1	275
105	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	440
106	เครื่องควบคุมการให้สารน้ำ	1	1,100
107	เครื่องติดตามการทำงานของหัวใจ	1	352
108	เครื่องควบคุมการให้อาหารทาง	1	220
109	เครื่องควบคุมอุณหภูมิร่างกาย	1	3,960
110	เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	220
111	เครื่องดูดเสมหะ	1	275
112	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	440
113	เครื่องควบคุมการให้สารน้ำ	1	1,100
114	เครื่องติดตามการทำงานของหัวใจ	1	352
115	เครื่องควบคุมการให้อาหารทาง	1	220
116	เครื่องควบคุมอุณหภูมิร่างกาย	1	3,960
117	เครื่องกระตุ้นหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	220
118	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110
119	เครื่องปั่นเม็ดเลือดแดง	1	297
120	เครื่องชั่งน้ำหนัก ดิจิตอล	1	220
121	ตู้อบเด็กตัวเหลือง	1	1,100
122	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	330
123	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	220
124	เครื่องกระตุกหัวใจด้วยไฟฟ้า	1	330
125	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
126	เครื่อง EKG Monitor	1	600
127	เครื่องปั่นเม็ดเลือดแดง	1	260
128	เครื่องวัดความดันตาอัตโนมัติ	1	660
129	เครื่องวัดความดันโลหิตอัตโนมัติ	1	220
130	เครื่อง Defribillator (Hp)	1	176
131	เครื่องชั่งน้ำหนัก ดิจิตอล	1	110
132	เครื่องปั๊มน้ำนมไฟฟ้า	1	50
133	เครื่องปั๊มน้ำนมไฟฟ้า	1	100
134	เครื่องปั๊มน้ำนมไฟฟ้า	1	72

ตารางผนวกที่ ข11 เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลตากสิน

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็น
1	เครื่องปรับอากาศ 12,000 BTU	15	180,000
2	เครื่องปรับอากาศ 12,096 BTU	1	12,096
3	เครื่องปรับอากาศ 12,500 BTU	73	912,500
4	เครื่องปรับอากาศ 12,800 BTU	1	12,800
5	เครื่องปรับอากาศ 12,974 BTU	9	116,766
6	เครื่องปรับอากาศ 13,000 BTU	2	26,000
7	เครื่องปรับอากาศ 16,000 BTU	13	208,000
8	เครื่องปรับอากาศ 16,100 BTU	2	32,200
9	เครื่องปรับอากาศ 16,200 BTU	4	64,800
10	เครื่องปรับอากาศ 18,000 BTU	7	126,000
11	เครื่องปรับอากาศ 18,300 BTU	34	622,200

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข11 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็น
12	เครื่องปรับอากาศ 20,000 BTU	18	360,000
13	เครื่องปรับอากาศ 24,000 BTU	2	48,000
14	เครื่องปรับอากาศ 25,000 BTU	20	500,000
15	2 เครื่องปรับอากาศ 5,300 BTU	2	50,600
16	เครื่องปรับอากาศ 25,419 BTU	16	406,704
17	เครื่องปรับอากาศ 25,800 BTU	34	877,200
18	เครื่องปรับอากาศ 26,000 BTU	2	52,000
19	เครื่องปรับอากาศ 27,000 BTU	2	54,000
20	เครื่องปรับอากาศ 28,000 BTU	3	84,000
21	เครื่องปรับอากาศ 28,300 BTU	3	84,900
22	เครื่องปรับอากาศ 29,514 BTU	2	59,028
23	เครื่องปรับอากาศ 32,000 BTU	2	64,000
24	เครื่องปรับอากาศ 33,000 BTU	11	363,000
25	เครื่องปรับอากาศ 33,131 BTU	9	298,179
26	เครื่องปรับอากาศ 33,400 BTU	2	66,800
27	เครื่องปรับอากาศ 35,000 BTU	6	210,000
28	เครื่องปรับอากาศ 35,300 BTU	43	1,517,900
29	เครื่องปรับอากาศ 35,500 BTU	1	35,500
30	เครื่องปรับอากาศ 36,000 BTU	34	1,224,000
31	เครื่องปรับอากาศ 36,338 BTU	5	181,690
32	เครื่องปรับอากาศ 38,000 BTU	7	266,000
33	เครื่องปรับอากาศ 38,300 BTU	1	38,300
34	เครื่องปรับอากาศ 38,500 BTU	3	115,500
35	เครื่องปรับอากาศ 38,600 BTU	3	115,800

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข11 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็น
36	เครื่องปรับอากาศ 38,700 BTU	4	154,800
37	เครื่องปรับอากาศ 44,000 BTU	2	88,000
38	เครื่องปรับอากาศ 48,000 BTU	1	48,000
39	เครื่องปรับอากาศ 56,000 BTU	3	168,000
40	เครื่องปรับอากาศ 60,000 BTU	3	180,000
41	เครื่องปรับอากาศชนิดรวมศูนย์	3	1,200,000
42	เครื่องปรับอากาศชนิดรวมศูนย์	3	1,680,000

ตารางผนวกที่ ข12 อุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปจากโรงพยาบาลกลาง

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์
1	คอมพิวเตอร์	211	22580
2	เครื่องพิมพ์	6	320
3	โน๊ตบุ๊ค		
4	ทีวี	194	20741
5	เครื่องถ่ายเอกสาร	-	-
6	เครื่องโทรสาร	9	180
7	พัดลม	600	28,956
8	กระติกน้ำร้อนไฟฟ้า	24	17,600
9	ไมโครเวฟ	3	3,000
10	เครื่องเล่น DVD	-	-
11	เครื่องเสียงและอุปกรณ์ควบคุมในห้องประชุม	14	300
12	ตู้เย็น	653	19610
13	หลอดไฟฟ้า 18 วัตต์	1,277	22,986
14	หลอดไฟฟ้า 36 วัตต์	6,718	241,848

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 เครื่องมือแพทย์จากโรงพยาบาลกลาง

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
1	ตู้ดูฟิล์ม	7	560
2	Defibrillator	1	150
3	ECG Monitor	1	45
4	NIBP Monitor	6	270
5	Suction Mobile	1	250
6	Weight Scale Digital	1	12
7	ตู้ดูฟิล์ม	7	560
8	Head Light	1	12
9	Light Surgical	3	750
10	Refrigerator	2	900
11	Suction Mobile	3	750
12	Table Surgical	3	750
13	Ventilator Volume Control	1	598
14	เครื่องดูดควัน	1	150
15	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
16	Defibrillator	1	150
17	Light Examination	1	55
18	Weight Scale Digital	1	12
19	ตู้ดูฟิล์ม	4	320
20	เก้าอี้ทำฟัน	11	484
21	เครื่องปั่นอมัลกัม	11	302.5
22	เครื่องฉายแสง	11	60.5
23	เครื่องขูดหินปูน	11	3630
24	เครื่องวัดความดัน	1	0.5
25	เครื่องกรอฟันปลอม	1	180
26	เครื่องกรอกระดูก	1	30
27	เครื่องคอมเพรสเซอร์	1	44

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
28	ตู้ส่องฟิล์ม	2	180
29	เครื่องเอกซเรย์	1	510
30	Head Light	3	36
31	Indirect Ophthamoscope	3	165
32	Light Source	3	165
33	Slit Lamp	3	165
34	Stoboscope	3	750
35	Suction Mobile	3	750
36	Ultrasound Diagnostic	1	150
37	Vital Sign Monitor	2	108
38	เครื่องวัดแว่น	3	75
39	เครื่องวัดสายตาอัตโนมัติ	2	50
40	เครื่องส่องตรวจรักษาและผ่าตัดช่องจมูกและกล่องเสียงทางวีดีทัศน์	3	750
41	ตู้ดูฟิล์ม	3	240
42	Slit Lamp	3	120
43	Visual Field	1	50
44	Lasek	2	100
45	OCT	1	60
46	Fundus Comera	1	50
47	HRT II	1	50
48	Weight Scale Baby Digital	1	12
49	Weight Scale Digital	1	12
50	ตู้ดูฟิล์ม	5	400
51	Bed Electric	4	384
52	Fetal Heart Monitor	1	150
53	Light Surgical	4	1000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
54	Refrigerator	2	900
55	Ultrasound Diagnostic	1	150
56	เครื่อง Hitac hi 917	2	4
57	เครื่อง Blood G28	1	250
58	เครื่องวัด Microbilirubin	1	26.4
59	เครื่อง Cardiac Reader	1	12
60	เครื่องปั่นตกตะกอน BCECO	2	2
61	เครื่อง print sticker	5	3300
62	Coulter Gens	1	2500
63	Coutter CH75C	1	2500
64	CA5CO	2	1200
65	เครื่องกดทับเม็ดเลือดรุ่น HH	1	7.2
66	เครื่องกดทับเม็ดเลือดรุ่น Digi Count	1	10
67	Couter Mixer	1	36
68	เครื่องปั่นตกตะกอน Clay Adam	1	320
69	เครื่องปั่น Hematocrit	1	210
70	Water Bath	1	1000
71	ตู้เย็นเก็บเลือด 2-8c	1	175
72	กล้องจุลทรรศน์ Nikon YS 100	1	66
73	กล้องจุลทรรศน์ Nikon YS	1	66
74	เครื่องฟอกอากาศ 500 CFM	1	0
75	เครื่องฟอกอากาศ 1000 CFM	6	0
76	UV-light	6	0
77	เครื่องเล่น ESR mini-VES	1	0.27
78	Centrifuge JOOAN B4i	1	480
79	Miditon M	1	95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
80	Printer Epson LQ300	1	154
81	Micro 5cope Olympus CH	1	14
82	Midifron ST	1	1.2
83	Micros cope Olympus Bx50	1	396
84	Beosafety Carbinet Asteo	1	300
85	เครื่อง Elecsys 2010(Disk Version)	1	800
86	เครื่อง Elecsys 2010(Rack Version)	1	1050
87	เครื่องปั่นตะกอน	1	250
88	เครื่องแยก (Orbital shaker)	1	9.6
89	ตู้ปลอดเชื้อ	1	1500
90	UPS	2	3200
91	เครื่องทำลายเอกสาร	1	0.46
92	ตู้เย็นเก็บเลือด 2-8c	1	150
93	ตู้เย็นเก็บเลือด -20c	1	175
94	ตู้เย็นเก็บน้ำยาตรวจวิเคราะห์	1	3366
95	เครื่อง Flow cytcmeter	1	2300
96	เครื่อง TQ plep	1	430
97	เครื่อง fiep Plus	1	300
98	กล้องจุลทรรศน์ 2 ตา	2	50
99	เครื่องดูดกลิ่น	1	1000
100	เครื่อง $Vitek_2$	2	1760
101	เครื่อง Versa Trek	1	1500
102	Larminar flow	2	4.18
103	ตู้ Incubater อบเลี้ยงเชื้อ Memmert	1	1900
104	ตู้เย็น SANTO	1	365
105	ตู้อบฆ่าเชื้อไอน้ำ sterivap	1	22.5
106	ตู้เย็น Hitachi 6.5 คิว	1	75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
107	ตู้อบฆ่าเชื้อไอน้ำ Hirayama	1	2000
108	Centrifuge	1	250
109	ตู้ Incubater อบเลี้ยงเชื้อ Memmert	1	2200
110	ตู้อบเครื่องแก้ว memmert	1	4000
111	เครื่องทำให้ปราศจากเชื้อ	1	42000
112	เครื่องซีล	2	2000
113	เครื่องซีล	1	500
114	เครื่องซีล	1	700
115	เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ	1	200
116	ตู้อบความร้อน	1	1400
117	เครื่องอบแห้ง	1	3000
118	เครื่องอบแห้ง	1	3500
119	Hot Air Oven	1	1000
120	Water Bath	1	150
122	เครื่องเตรียมชิ้นเนื้ออัตโนมัติ	1	350
123	เครื่องทำบล๊อคชิ้นเนื้อ	1	350
124	Hematocrit Centrifuge	1	300
125	Hot Air Oven	1	1000
126	Infusion Pump	2	104
127	Light Examination	2	110
128	NIBP Monitor	20	900
129	Oven Drying	1	3500
130	Pulse Oximeter	3	36
131	Electrosurgical Unit	8	2400
132	Laparoscope Surgical Unit	3	1050
133	Light Surgical	10	2500
134	Refrigerator	4	1800

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
135	Suction Mobile	7	1750
136	Table Surgical	8	2000
137	ตู้ดูฟิล์ม	13	1040
138	Bed Electric	7	672
139	Central Monitor	1	45
140	Defibrillator	1	150
141	ECG Monitor	7	315
142	ECG Recorder	1	45
143	Hypo-Hyper Thermia	1	200
144	Indirect Ophthamoscope	1	55
145	Infusion Pump	13	676
146	NIBP Monitor	7	315
147	Pulse Oximeter	7	84
148	Syringe Pump	1	35
149	Ventilator Volume Control	7	4186
150	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
151	Bed Electric	7	245
152	Central Monitor	1	45
153	Defibrillator	1	150
155	Feeding Pump	1	45
156	Hematocrit Centrifuge	1	300
157	Hypo-Hyper Thermia	2	400
158	Indirect Ophthamoscope	1	55
159	Infusion Pump	17	884
160	Larminar Air Flow	5	750
161	Mattress, Air	8	280
162	NIBP Monitor	7	315

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
163	Pulse Oximeter	7	84
164	Radiant Warmer	2	300
165	Refrigerator	3	1350
166	Sterilizer, Boiling	1	4500
167	Syringe Pump	2	70
168	Ventilator Volume Control	8	4784
169	Vital Sign Monitor	7	378
170	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
171	Defibrillator	1	150
172	ECG Recorder	2	90
173	Echocardiogram	1	200
174	Exercise Stress Test	1	350
175	Holter Monitor	5	750
176	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
177	Blood Bank Refrigerator	2	400
178	Centrifuge	6	1500
179	Dry Bath	1	45
180	Hematocrit Centrifuge	1	300
181	Water Bath	1	150
182	Blood Warmer	1	55
183	Central Monitor	7	315
184	Fetal Heart Monitor	2	300
185	Head Light	20	240
186	Hematocrit Centrifuge	1	300
187	Infant Incubator Transport	1	150
188	Infant Warmer	2	300
189	Infusion Pump	6	312

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
190	Light Examination	1	55
191	Light Surgical	3	750
192	NIBP Monitor	4	180
193	Pulse Oximeter	2	24
194	Radiant Warmer	1	150
195	Refrigerator	2	900
196	Table Surgical	3	750
197	Ultrasound	1	250
198	Weight Scale Baby Digital	1	12
199	เครื่องดูดสูญญากาศ	3	24
200	เครื่องฟอกอากาศ	4	32
201	Hot Air Oven	1	1000
202	Infant Incubator	9	1350
203	Infant Incubator Transport	1	150
204	Infusion Pump	7	364
205	Microwave Diathermy	1	350
206	NIBP Monitor	1	45
207	Radiant Warmer	3	450
208	Sterilizer, Boiling	1	4500
209	Syringe Pump	8	280
210	Ventilator Pressure Control (Infant)	4	2392
211	Water Bath	1	150
212	Weight Scale Baby Digital	1	12
213	ตู้ดูฟิล์ม (S_1)	1	80
214	ที่นอนลม	7	84
215	Hematocrit Centrifuge	1	300
216	Refrigerator	2	900

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
217	Weight Scale Digital	2	24
218	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
219	Centrifuge	1	250
220	Hot Air Oven	1	1000
221	Larminar Air Flow	1	150
222	Ultrasound	1	250
223	Water Bath	1	150
224	CPM Pateint controller	1	35
225	CPM Unit	1	35
226	Electrical Stimulator	6	90
227	Microwave Diathermy	2	700
228	Paraffin	1	250
229	Traction Unit	6	330
230	Ultrasound	7	1750
231	ตู้ดูฟิล์ม	6	480
232	Bed Electric	4	384
233	Defibrillator	1	150
234	Infusion Pump	6	312
235	Light Examination	1	55
236	Mattress, Air	6	210
237	Refrigerator	2	900
238	Sterilizer, Boiling	1	4500
239	Ventilator Volume Control	1	598
240	Vital Sign Monitor	6	324
241	Water Bath	1	150
242	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
243	CPM Pateint controller	1	35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
244	Vital Sign Monitor	1	54
245	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
246	ที่นอนลม	6	72
247	Bed Electric	2	192
248	ECG Monitor	1	45
249	ECG Recorder	1	45
250	Hematocrit Centrifuge	1	300
251	Infusion Pump	5	260
252	Infusion Pump	5	260
253	NIBP Monitor	3	135
254	Suction Mobile	1	250
255	Vital Sign Monitor	1	54
256	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
257	Infusion Pump	7	364
258	NIBP Monitor	6	270
259	Ultrasound	1	250
260	Vital Sign Monitor	3	162
261	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
262	ที่นอนลม	6	72
263	Bed Electric	12	420
264	CPM Pateint controller	1	35
265	Defibrillator	1	150
266	Hematocrit Centrifuge	1	300
267	Indirect Ophthamoscope	1	55
268	Infusion Pump	3	156
269	NIBP Monitor	1	45
270	Water Bath	1	150

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
271	เครื่องเตรียมชิ้นเนื้ออัตโนมัติ	1	350
272	เครื่องทำบล๊อคชิ้นเนื้อ	1	350
273	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
274	ECG Monitor	2	90
275	Infusion Pump	4	208
276	NIBP Monitor	4	180
277	Refrigerator	2	900
278	Vital Sign Monitor	4	216
279	ตู้ดูฟิล์ม (S_1)	1	80
280	เครื่องขัดพื้น (Y2)	1	150
281	ไฟฉุกเฉิน (E3)	3	180
282	CPM Unit	1	35
283	Infusion Pump	5	260
284	NIBP Monitor	2	90
285	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
286	ที่นอนลม	6	72
287	Bed Electric	12	1152
288	CPM Pateint controller	1	35
289	Infusion Pump	2	104
290	NIBP Monitor	2	90
291	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
292	ที่นอนลม	2	24
293	Bed Electric	12	1320
294	Defibrillator	1	150
295	NIBP Monitor	2	90
296	Pulse Oximeter	1	12
297	ตู้ดูฟิล์ม	1	80

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
298	Weight Scale Baby Digital	1	12
299	Weight Scale Digital	1	12
300	Infusion Pump	2	104
301	NIBP Monitor	3	135
302	Weight Scale Baby Digital	1	12
303	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
304	Defibrillator	1	150
305	ECG Monitor	2	90
306	ECG Recorder	1	45
307	Head Light	1	12
308	Infusion Pump	4	208
309	NIBP Monitor	2	90
310	Ventilator Volume Control	4.5	2691
311	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
312	Defibrillator	1	150
313	ECG Monitor	1	45
314	ECG Recorder	1	45
315	Hematocrit Centrifuge	1	300
316	NIBP Monitor	4	180
317	Pulse Oximeter	1	12
318	Refrigerator	2	900
319	Ventilator Pressure Control	2	1196
320	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
321	ที่นอนลม	6	72
322	Bed Electric	12	1320
323	Infusion Pump	4	208
324	NIBP Monitor	1	45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
325	Pulse Oximeter	1	12
326	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
327	Bed Electric	4	140
328	Defibrillator	1	150
329	ECG Monitor	1	45
330	Infusion Pump	5	260
331	Pulse Oximeter	3	36
332	Refrigerator	2	900
333	Ventilator Volume Control	4	2392
334	Vital Sign Monitor	2	108
335	ตู้ดูฟิล์ม (S_1)	1	80
336	ที่นอนลม	6	72
337	Infusion Pump	4	208
338	Syringe Pump	1	35
339	Ventilator Volume Control	1	598
340	Vital Sign Monitor	4	216
341	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
342	Bed Electric	10	960
343	Infusion Pump	4	208
344	NIBP Monitor	2	90
345	Pulse Oximeter	2	24
346	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
347	Autoclave	1	4500
348	Indirect Ophthamoscope	1	55
349	Larminar Air Flow	1	150
350	Refrigerator	2	900
351	Slit Lamp	3	165

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
352	เครื่องวัดแว่น	1	25
353	เครื่องวัดสายตาอัตโนมัติ	2	50
354	Bed Electric	12	1152
355	CPM Pateint controller	1	35
356	Defibrillator	1	150
357	Head Light	1	12
358	Infrared Lamp	1	150
359	Infusion Pump	3	156
360	NIBP Monitor	1	45
361	Refrigerator	14	6300
362	Suction Mobile	1	250
363	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
364	พัดลมดูดอากาศ	12	900
365	Fetal Heart Monitor	1	150
366	Infusion Pump	4	208
367	Mattress, Air	2	70
368	NIBP Monitor	3	135
369	Suction Mobile	1	250
370	Ultrasound	1	250
371	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
372	Hematocrit Centrifuge	1	300
373	Refrigerator	2	900
374	Weight Scale Digital	2	24
375	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
376	Hematocrit Centrifuge	1	300
377	Refrigerator	2	900
378	Weight Scale Digital	2	24

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์รวม
379	ตู้ดูฟิล์ม	1	80
380	Phototherapy	2	130
381	Defibrillator	2	300
382	ECG Recorder	2	90
383	Indirect Ophthamoscope	2	110
384	Infusion Pump	3	156
385	NIBP Monitor	4	180
386	Refrigerator	4	1800
387	Ventilator Volume Control	1	598
388	ตู้ดูฟิล์ม	2	160

ตารางผนวกที่ ข14 เครื่องปรับอากาศโรงพยาบาลกลาง

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
1	เครื่องปรับอากาศ 9,000 BTU	3	27,000
2	เครื่องปรับอากาศ 12,000 BTU	21	252,000
3	เครื่องปรับอากาศ 12,300 BTU	1	12,300
4	เครื่องปรับอากาศ 12,500 BTU	3	37,500
5	เครื่องปรับอากาศ 12,624 BTU	1	12,624
6	เครื่องปรับอากาศ 12,736 BTU	1	12,736
7	เครื่องปรับอากาศ 13,000 BTU	35	455,000
8	เครื่องปรับอากาศ 13,041 BTU	14	182,574
10	เครื่องปรับอากาศ 13,081 BTU	11	143,891
11	เครื่องปรับอากาศ 15,000 BTU	3	45,000
12	เครื่องปรับอากาศ 16,500 BTU	133	2,194,500
13	เครื่องปรับอากาศ 18,000 BTU	7	126,000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข14 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
14	เครื่องปรับอากาศ 18,500 BTU	1	18,500
15	เครื่องปรับอากาศ 19,000 BTU	1	19,000
16	เครื่องปรับอากาศ 19,190 BTU	7	134,330
17	เครื่องปรับอากาศ 20,000 BTU	89	1,780,000
18	เครื่องปรับอากาศ 20,640 BTU	1	20,640
19	เครื่องปรับอากาศ 22,000 BTU	11	242,000
20	เครื่องปรับอากาศ 24,000 BTU	6	144,000
21	เครื่องปรับอากาศ 25,000 BTU	5	125,000
22	เครื่องปรับอากาศ 25,487 BTU	1	25,487
23	เครื่องปรับอากาศ 25,590 BTU	1	25,590
24	เครื่องปรับอากาศ 26,000 BTU	77	2,002,000
25	เครื่องปรับอากาศ 26,081 BTU	1	26,081
26	เครื่องปรับอากาศ 27,000 BTU	23	621,000
27	เครื่องปรับอากาศ 30,000 BTU	3	90,000
28	เครื่องปรับอากาศ 32,000 BTU	4	128,000
29	เครื่องปรับอากาศ 32,417 BTU	4	129,668
30	เครื่องปรับอากาศ 33,000 BTU	2	66,000
31	เครื่องปรับอากาศ 33,086 BTU	1	33,086
32	เครื่องปรับอากาศ 33,400 BTU	2	66,800
33	เครื่องปรับอากาศ 34,000 BTU	16	544,000
34	เครื่องปรับอากาศ 36,000 BTU	41	1,476,000
35	เครื่องปรับอากาศ 38,000 BTU	4	152,000
36	เครื่องปรับอากาศ 38,300 BTU	3	114,900
37	เครื่องปรับอากาศ 38,556 BTU	3	115,668
38	เครื่องปรับอากาศ 38,600BTU	3	115,800
39	เครื่องปรับอากาศ 39,000 BTU	12	468,000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข14 (ต่อ)

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ขนาดความเย็นรวม (BTU)
40	เครื่องปรับอากาศ 48,000 BTU	6	288,000
41	เครื่องปรับอากาศ 48,833 BTU	1	48,833
42	เครื่องปรับอากาศ 54,000 BTU	1	54,000
43	เครื่องปรับอากาศ 60,000 BTU	1	60,000
44	เครื่องปรับอากาศ 68,000 BTU	1	68,000
45	เครื่องปรับอากาศ 123,000 BTU	3	369,000
46	เครื่องปรับอากาศ 125,000 BTU	4	500,000
47	เครื่องปรับอากาศ 165,000 BTU	9	1,485,000
48	เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ	2	240,000
49	เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ	4	300,000
50	เครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ	1	400,000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศิรินาถ ทองขาว
เกิดวันที่	17 กรกฎาคม 2524
สถานที่เกิด	อำเภอดอนตูม จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกลเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประวัติการทำงาน	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์