สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษา การวิเคราะห์ และจัดการพลังงานในอาคาร
กรณีศึกษา อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สจล.

A Study of Analysis and Management of Energy in Building
Case Study of Industrial Engineering Building, KMITL



นางสาวสุพิชญา ชัยดำรงเลิศ

Miss Supichaya Chaidamronglert

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42428
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษา การวิเคราะห์ และจัดการพลังงานในอาคารกรณีศึกษา อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สจล. A Study of Analysis and Management of Energy in Building Case Study of Industrial Engineering Building, KMITL
นักศึกษา	นางสาวสุพิชญา ชัยดำรงเลิศ
รหัสประจำตัว	40010893
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2543

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษา วิเคราะห์ และจัดการพลังงานในอาคาร กรณีศึกษา อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สจล.
นักศึกษา	นางสาว สุพิชญา ชัยดำรงเลิศ
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการวิเคราะห์กรณีศึกษา การใช้พลังงานไฟฟ้า ของอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง โดยในส่วนแรกระบบปรับอากาศ จะทำการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนทางผนังและหลังคาอาคาร (OTTV & RTTV) และคำนวณค่าภาระความเย็น สำหรับในส่วนที่สองระบบแสงสว่าง จะทำการตรวจวัดระดับความสว่างในอาคาร จากนั้นจะทำการนำผลที่ได้ทั้งสองส่วนมาทำการวิเคราะห์และสรุป เพื่อหาแนวทางในการจัดการพลังงานต่อไป โดยอาศัยแนวทางตาม พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 และหลักการทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of Analysis and Management of Energy in Building Case Study of Industrial Engineering Building, KMITL
Student	Miss Supitchaya Chaidamronglert
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2000
Advisor	Dr. Sunpasit Limnararat

ABSTRACT

This thesis contains the analysis of case study that is the use of electricity in the building of Industrial Engineering department. The analysis is separated into 2 sections, in terms of air-conditioning systems and lighting systems. The values of OTTV and RTTV are specified including calculation of cooling load. In the section of lighting, the level of light will be detected. Then all data will be analyzed and concluded in order to find the means to manage the use of energy by obedience the act of encouragement and conservation of energy , 1992 with the principle of economy consideration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆ ท่าน ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ทางผู้จัดทำจึงขอขอบคุณ

ขอขอบคุณ ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ให้แนวคิด ให้ยืมหนังสือ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไข ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณวชิระ พี่เอ และ คุณอมรเทพ พี่แคป ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาต่างๆ ให้หนังสือ และให้ข้อแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ บริษัท กระจกไทย – อาซาฮี จำกัด และ อาจารย์ศักดิ์ชัย ภาควิศวกรรมโยธา ที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระจก

ขอขอบคุณ คุณ จักรัตน์ และ บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด ที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับฟิล์มกรองแสง

ขอขอบคุณ อาจารย์ ชาย และ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้กรุณาให้ยืมเครื่องมือ (Lux meter) ประกอบการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน ที่ได้แจกเอกสาร และ โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ช่วยในการทำปริญญานิพนธ์นี้ให้สะดวก รวดเร็ว ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ วุฒิ , ภาคี , เปิ้ล เพื่อนที่แสนดีได้ให้ยืมหนังสือ ประกอบการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณกิตติชัย สุธัญญาธนะกิจ ที่ให้คำชี้แนะ ช่วยเหลือ ตลอดจนคอยเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา และคอยปลอบใจแม้ในยามท้อถอย เกิดความท้อแท้ ทำให้ เกิดความมานะที่จะทำให้สำเร็จ

ขอขอบคุณ สมาชิกในครอบครัว ที่น่ารักทุกคน ที่คอยไต่ถาม ให้กำลังใจ และให้ความหวังดี ตลอดทั้งชีวิตของข้าพเจ้า

และท้ายที่สุด ขอขอบคุณ อาจารย์พรศักดิ์ อาจารย์สรรพสิทธิ์ อาจารย์พลชัย อาจารย์สกนธ์ อาจารย์อุดม อาจารย์เอกพจน์ อาจารย์วิภู และพี่นาฏ ที่เป็นเสมือนพี่ ของน้องๆในภาคทุกคน ขอขอบคุณเพื่อนๆ แห่งภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ทุกๆ คน และขอขอบคุณ บุคคลที่ไม่ได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จได้จนถึงทุกวันนี้

สุพิชญา ชัยดำรงเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II
กิตติกรรมประกาศ..... III
สารบัญ..... IV
สารบัญตาราง..... VII
สารบัญภาพ..... XI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 1
1.4 สมมุติฐานของการศึกษา..... 1
1.5 ประโยชน์ของโครงงาน..... 2
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 2
1.7 เครื่องมือที่ใช้..... 2

บทที่ 2 กฎหมายและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน..... 3
2.2 ทฤษฎีด้านกรอบอาคาร..... 3
2.3 ทฤษฎีด้านระบบปรับอากาศ..... 5
2.4 ทฤษฎีด้านระบบแสงสว่าง..... 7

บทที่ 3 หลักการวิเคราะห์และการคำนวณ

3.1 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ..... 9
3.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง..... 21

บทที่ 4 วิธีการดำเนินงาน

4.1 ระบบปรับอากาศ..... 23
4.2 ระบบแสงสว่าง..... 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 อาคารกรณีศึกษา (Case Study)

5.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร..... 25

5.2 ลักษณะทางสถาปัตยกรรม..... 25

5.3 ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร..... 30

บทที่ 6 วิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

6.1 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร..... 32

6.2 การวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ..... 32

6.3 การวิเคราะห์ระบบแสงสว่าง..... 34

6.4 สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา..... 39

บทที่ 7 แนวทางการแก้ปัญหาเพื่อลดค่า OTTV

7.1 การตั้งสมมุติฐานเพื่อแก้ปัญหา..... 40

7.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและโหลดปรับอากาศ..... 41

7.3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์..... 44

บทที่ 8 ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 ผลสรุปการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ..... 53

8.2 ผลสรุปการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง..... 55

8.3 ข้อเสนอแนะ..... 55

8.4 ปัญหาและอุปสรรค..... 56

8.5 สรุปและวิจารณ์การทำงาน..... 56

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางประกอบการคำนวณ..... 58

ภาคผนวก ข ภาพและแบบแปลนอาคาร..... 69

ภาคผนวก ค กฎหมาย..... 77

ภาคผนวก ง ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a..... 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ภาคผนวก จ รายละเอียด คุณสมบัติ และ ราคาของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร..... 103

ภาคผนวก ฉ แผนภาพ Psychrometric Chart..... 106

ภาคผนวก ช ข้อมูลแสดงระดับความส่องสว่าง..... 108

ภาคผนวก ซ ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อน จากการถ่ายเทความร้อน ของอาคารกรณีศึกษา..... 115

ภาคผนวก ฌ ข้อมูลและผลการ คำนวณค่าความร้อน จากการถ่ายเทความร้อน หลังจากการปรับปรุงที่ 1 ติดฟิล์มกรองแสง..... 122

ภาคผนวก ญ ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน หลังจากการปรับปรุงที่ 2 เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง..... 127

ภาคผนวก ฎ ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน หลังจากการปรับปรุงที่ 3 เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)..... 132

ภาคผนวก ฏ ตารางแสดงอัตราดอกเบี้ย..... 137

บรรณานุกรม..... 143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่า OTTV และ RTTV ตามที่กฎหมายกำหนด	3
ตารางที่ 3.1	ข้อแนะนำความเข้มแสง	21
ตารางที่ 5.1	รายละเอียดลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรมของอาคาร	27
ตารางที่ 5.2	คุณสมบัติของวัสดุของผนังทึบในกรอบอาคาร	29
ตารางที่ 5.3	คุณสมบัติของวัสดุของผนังโปร่งแสงในกรอบอาคาร	29
ตารางที่ 5.4	คุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดดในกรอบอาคาร	30
ตารางที่ 5.5	แสดงพื้นที่ใช้สอยของแต่ละห้องในอาคาร	30
ตารางที่ 5.6	แสดงการใช้พลังงานปรับอากาศที่ติดตั้งจริง แยกตามห้อง ในอาคารกรณีศึกษา	31
ตารางที่ 5.7	ตารางแสดงการใช้พลังงานแสงสว่าง แยกตามห้อง ในอาคารกรณีศึกษา	31
ตารางที่ 6.1	แสดงการเปรียบเทียบ ค่าภาระความเย็น ที่ติดตั้งจริง(เดิม) เปรียบเทียบกับ ผลการคำนวณ ค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม แยกตาม แต่ละห้องใน อาคาร ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	33
ตารางที่ 6.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างค่ามาตรฐานสากล กับ ค่าที่ ทำการตรวจวัดได้ ในช่วงเวลาเช้า 10.30 น.	35
ตารางที่ 6.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างค่ามาตรฐานสากล กับ ค่าที่ ทำการตรวจวัดได้ ในช่วงเวลาบ่าย 14.30 น.	35
ตารางที่ 6.4	แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างค่ามาตรฐานสากล กับ ค่าที่ ทำการตรวจวัดได้ ในช่วงเวลาเช้า 10.30 น. และ ช่วงเวลาบ่าย 14.30 น. เมื่อทำการเปิดไฟเพียงครึ่งห้อง	36
ตารางที่ 6.5	แสดงค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี เมื่อทำการเปิดไฟเพียงบางส่วนของห้อง	38
ตารางที่ 7.1	แสดงการเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษา และ ข้อกำหนดตามกฎหมาย	40
ตารางที่ 7.2	แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ของอาคารกรณีศึกษา กับ อาคารที่ได้ติดฟิล์มกรองแสง	41
ตารางที่ 7.3	แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ของอาคารกรณีศึกษา กับ อาคารที่ได้เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง	42
ตารางที่ 7.4	แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ของอาคารกรณีศึกษา กับ อาคารที่ได้เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ 7.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างอาคาร เพื่อลดค่า OTTV (เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี)..... 52

ตารางที่ 8.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างอาคาร เพื่อลดค่า OTTV (เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี)..... 53

ตารางที่ 8.2 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าภาระความเย็น ที่ติดตั้งจริง(เดิม) เปรียบเทียบกับผลการคำนวณ ค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม แยกตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ..... 54

ตารางภาคผนวก

ตารางที่ ก-1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Td_{eq}) สำหรับผนัง..... 59

ตารางที่ ก-2 ค่าตัวประกอบแก้สำหรับผนัง..... 59

ตารางที่ ก-3 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Td_{eq})สำหรับหลังคา..... 60

ตารางที่ ก-4 ค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคา..... 60

ตารางที่ ก-5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ..... 61

ตารางที่ ก-6 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา..... 63

ตารางที่ ก-7 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา..... 64

ตารางที่ ก-8 แสดงรายการ วัสดุและสีทาผนัง แยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์..... 65

ตารางที่ ก-9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกชนิดต่างๆ..... 66

ตารางที่ ก-10 ตัวประกอบภาระความเย็นของความร้อนสัมผัสจากคน..... 67

ตารางที่ ก-11 อัตราความร้อนของคนในบริเวณปรับอากาศ..... 67

ตารางที่ ก-12 มาตรฐานการระบายอากาศ..... 68

ตารางที่ จ.2-1 แสดงรายละเอียดของกระจก ในกรณีที่ 1 เมื่อทำการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก..... 105

ตารางที่ จ.2-2 แสดงรายละเอียดของกระจก ในกรณีที่ 2 เมื่อทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจกสะท้อนแสง..... 105

ตารางที่ จ.2-3 แสดงรายละเอียดของกระจก ในกรณีที่ 3 เมื่อทำการเปลี่ยนกระจกเดิม ไปเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)..... 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ช.1-1	แสดงค่าความส่องสว่างของแต่ละห้องในอาคาร ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น.....	109
ตารางที่ ช.1-2	แสดงค่าความส่องสว่างของแต่ละห้องในอาคาร ตรวจวัดที่เวลา 14.30 น.....	110
ตารางที่ ช.2-1	แสดงผลการตรวจวัดตามแต่ละจุดที่เวลา 10.30 น.....	111
ตารางที่ ช.2-2	แสดงผลการตรวจวัดตามแต่ละจุดที่เวลา 14.30 น.....	112
ตารางที่ ช.3-1	ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อ เปิดไฟครึ่งห้อง ที่เวลาประมาณ 10.30 น.....	113
ตารางที่ ช.3-2	ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อ เปิดไฟครึ่งห้อง ที่เวลาประมาณ 14.30 น.	113
ตารางที่ ช.4-1	แสดงข้อมูลจุดที่ทำการตรวจวัด เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 22 กุมภาพันธ์ เวลาประมาณ 10.30 น.....	114
ตารางที่ ช.4-2	แสดงข้อมูลจุดที่ทำการตรวจวัด เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 22 กุมภาพันธ์ เวลาประมาณ 14.30 น.....	114
ตารางที่ ซ-1 ก	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1).....	116
ตารางที่ ซ-1 ข	แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1.....	118
ตารางที่ ซ-2	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสจากบุคคล (Q_2).....	119
ตารางที่ ซ-3	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสจากหลอดไฟ (Q_3).....	119
ตารางที่ ซ-4	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนแฝงเนื่องจากบุคคล (Q_4).....	120
ตารางที่ ซ-5	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Q_5).....	120
ตารางที่ ซ-6	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนแฝงเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Q_6).....	121
ตารางที่ ซ-7	ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....	121
ตารางที่ ฌ.1-1	ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการติดฟิล์มกรองแสง.....	123
ตารางที่ ฌ.1-2	แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1 หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการติดฟิล์มกรองแสง.....	126
ตารางที่ ฌ.1-3	ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการติดฟิล์มกรองแสง.....	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ญ.1-1 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_l) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง..... 128

ตารางที่ ญ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_l หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเป็นเป็นกระจกสะท้อนแสง..... 131

ตารางที่ ญ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง..... 131

ตารางที่ ฎ.1-1 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_l) หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน) 133

ตารางที่ ฎ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_l หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน) 136

ตารางที่ ฎ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน) 136

ตารางที่ ฏ-1 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 9%..... 138

ตารางที่ ฏ-2 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 25%..... 139

ตารางที่ ฏ-3 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 30%..... 140

ตารางที่ ฏ-4 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 40%..... 141

ตารางที่ ฏ-5 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 50%..... 142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของผนังอาคาร 10
รูปที่ 3.2 ลักษณะของ Overhang 12
รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะ Fin 13
รูปที่ 3.4 ลักษณะของ Egg-Crate และ Fin รวมกับ Overhang 14
รูปที่ 5.1 แบบแปลนอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการชั้นล่าง 26
รูปที่ 5.2 แบบแปลนอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการชั้นบน 26

รูปภาคผนวก

รูปที่ ข-1 ภาพด้านหน้าอาคารกรณีศึกษา 72
รูปที่ ข-2 ภาพด้านหลังอาคารกรณีศึกษา 72
รูปที่ ข-3 ภาพด้านข้างอาคารกรณีศึกษา 73
รูปที่ ข-4 ภาพด้านข้างอาคารกรณีศึกษา 73
รูปที่ ข-5 Overhang 1 74
รูปที่ ข-6 Overhang 2 74
รูปที่ ข-7 Overhang 3 75
รูปที่ ข-8 Overhang 4 75
รูปที่ ข-9 Overhang 5 76
รูปที่ ฉ-1 แผนภาพ Phychrometric Chart 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่ในปัจจุบัน ปัญหาพลังงานเริ่มทวีความรุนแรงมากขึ้น มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงขึ้นมากเมื่อเทียบกับอดีต ในขณะที่มีทรัพยากรอย่างจำกัดและการเกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีการตื่นตัวอย่างสูงในเรื่องของการใช้พลังงานคุ้มค่า ให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ดังเห็นได้จาก การออก พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ,พระราชกฤษฎีกา และกฎกระทรวง ขึ้นมาควบคุมอาคารและโรงงานที่มีอัตราการใช้พลังงานสูง

พลังงานไฟฟ้าเป็นอีกส่วน ที่มีความจำเป็นอย่างมากต่อการดำเนินชีวิตของคนเราในปัจจุบัน โดยเฉพาะสำหรับผู้คนเมืองใหญ่ๆ จากผลการสำรวจพบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ส่วนหนึ่งในประเทศไทยจะถูกใช้ไปกับอาคารขนาดใหญ่ที่มีอยู่มากมาย ซึ่งส่วนมากจะถูกใช้ไปกับระบบต่างๆภายในอาคาร โดยเฉพาะระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง หากไม่มีการดำเนินการด้านการประหยัดพลังงานอย่างถูกวิธี จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยไม่จำเป็น ดังนั้น อาคารต่างๆ จึงควรหันมาศึกษาแนวทางและดำเนินการ ด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้ากันอย่างจริงจัง เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน และลดค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่จำเป็นลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการเบื้องต้น ของการออกแบบและการจัดการพลังงาน
2. สำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยเลือกใช้ อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นกรณีศึกษา
3. สรุปและหาแนวทางประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการจัดการพลังงาน โดยอาศัยแนวทางตาม พระราชบัญญัติการส่งเสริม การอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 คือ ทำการลด ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV & RTTV) ให้ได้ตามที่กฎหมายกำหนด
2. สำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ช่วยในการคำนวณ และเลือกกรณีศึกษา อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง
3. สรุปและหาแนวทางประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ ประกอบการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สมมุติฐานของการศึกษา

แนวทางการประหยัดพลังงานที่นำเสนอไปนั้น จะต้องมีผลทำให้ ช่วยลดอัตราการใช้พลังงานให้ได้ตามที่กฎกระทรวงที่ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 กำหนด และคุ้มค่าต่อการลงทุนในระยะเวลาที่เหมาะสม

1.5 ประโยชน์ของโครงงาน

1 เพื่อตอบสนองพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

2 เพื่อเรียนรู้และเข้าใจถึงแนวทางในการดำเนินการเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในอาคารอื่นๆได้

3 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และประเมินผล สามารถช่วยให้วิศวกรและสถาปนิกในการปรับปรุงอาคารเก่า ให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. รวบรวมกฎหมายและข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานจากเอกสาร , ตำรา และ อินเตอร์เน็ต
2. ศึกษาทฤษฎีและวิธีการเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน
3. สำรวจ บันทึก และเก็บข้อมูล การใช้พลังงานภายในอาคาร
4. ทำการวิเคราะห์และคำนวณข้อมูล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย
5. ตรวจสอบแก้ไขปรับปรุงข้อมูลที่ได้
6. สรุปผลและหาแนวทางเสนอแนะในการจัดการพลังงาน
7. จัดทำปริญญานิพนธ์

1.7 เครื่องมือที่ใช้

1. แผนผังอาคาร
2. ตลับเมตร
3. โปรแกรม การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านกรอบอาคารและหลังคาอาคาร (OTTVEE Version 1.0a)
4. ลักซ์มิเตอร์
5. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก – กระเปาะแห้ง
6. เข็มทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
กฎหมายและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กฎหมายการอนุรักษ์พลังงาน

กฎหมายด้านพลังงานนี้มีด้วยกันหลายฉบับ ทั้งใน พระราชบัญญัติ , พระราชกฤษฎีกา , กฎกระทรวง ซึ่งสามารถสรุปส่วนที่สำคัญ ต่อปริญญานิพนธ์ ได้ดังนี้ (กฎหมายอ้างอิงจาก ภาคผนวกที่ ค)

- อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มีลักษณะเป็น "อาคารเก่า" เพราะ เป็นอาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จก่อนวันที่พระราชกฤษฎีกา (พ.ศ.2538) กำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุม

- กฎหมายได้กำหนด ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ จะต้องมีค่าไม่เกิน ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า OTTV และ RTTV ตามที่กฎหมายกำหนด

ประเภทอาคาร	ค่า OTTV (W/m^2)	ค่า RTTV (W/m^2)
อาคารเก่า	25	55
อาคารใหม่	25	45

- การใช้ไฟฟ้าในอาคาร จะต้องมีค่าระดับการส่องสว่างได้ตามมาตรฐาน อย่างเพียงพอตามหลักและวิธีที่ยอมรับได้ในทางวิศวกรรม

2.2 ทฤษฎีด้านกรอบอาคาร

อาคารเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น ควรคำนึงถึงเรื่องการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยเฉพาะจากเครื่องปรับอากาศนั้น จะต้องคำนึงถึงตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และต้องพิจารณาให้เหมาะสมครอบคลุมกับสภาพแวดล้อมอื่นๆด้วย ดังนี้

- คุณภาพของสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ในส่วนการใช้สอยอาคาร และความต้องการของผู้ใช้สอย
- จำนวนเงินลงทุน
- ค่าใช้จ่าย

การออกแบบระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดพลังงาน จะต้องสัมพันธ์กับ งานด้านสถาปัตย์และอื่นๆ ดังนี้

2.2.1 การจัดทิศทางของอาคาร

การจัดทิศทางของอาคารมีผลต่อความสุขสบายภายในอาคาร จากผลการแผ่รังสีความร้อนประเทศในเขตร้อนควรออกแบบอาคารให้หลีกเลี่ยงการแผ่รังสีความร้อนให้มากที่สุด โดยเลือกส่วนที่ยาวที่สุดของอาคาร รวมถึงหน้าต่าง หันหน้าไปทางทิศเหนือและใต้ เพื่อลดการรับความร้อนเข้ามาในอาคาร เพราะการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผ่านความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังและหน้าต่าง ด้านทิศตะวันออกและตะวันตก จะมีค่าสูงกว่าด้านทิศเหนือและทิศใต้มาก

2.2.2 อาคารถาวรข้างเคียง

ถ้าอาคารถูกบังแสงโดยอาคารถาวรข้างเคียง การรับความร้อนเข้ามาภายในอาคาร โดยการส่งผ่านความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจะลดลงไปได้มาก ผลดังกล่าวจะเหมือนกับการมีม่านกันแสงด้านนอกอาคาร นอกจากนี้ อาคารข้างเคียงยังช่วยบังลมที่จะปะทะกับอาคารให้น้อยลง ซึ่งจะเป็นผลให้

- ลดการรั่วของปริมาณอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าที่ผ่านเข้าตามกรอบประตูและหน้าต่าง เป็นผลให้ ลดภาระความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และความร้อนแฝง (Latent Heat) ภายในพื้นที่ปรับอากาศ
- ลดค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร เนื่องจากการเกิดฟิล์มของอากาศที่ผนังอาคาร ซึ่งจะเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่า

2.2.3 การใช้ผิวสะท้อนแสง, กระจกสะท้อนแสง

ผิวสะท้อนแสงจะช่วยสะท้อนแสงและความร้อน ที่จะเข้าไปภายในอาคารที่มีการปรับอากาศ ปริมาณแสงและความร้อนที่จะสะท้อนได้ดีขึ้นกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัสดุที่ใช้ สีที่ใช้ทาอาคารควรเป็นสีขาว หรือสีอ่อนๆ ซึ่งจะช่วยสะท้อนแสงและความร้อนได้ดีกว่าสีเข้ม ทำให้ลดความร้อนที่จะเข้าไปในอาคารให้น้อยลงได้มาก

2.2.4 รูปร่างของอาคาร

วัตถุประสงค์ของการใช้สอยอาคาร จะเป็นหัวข้อหลักในการกำหนดรูปร่างของอาคาร อย่างไรก็ดี ถ้าหากอาคารใดมีข้อจำกัดเนื่องจากการใช้สอยอยู่น้อยหรือไม่มีเลย ผู้ออกแบบ ควรเลือกรูปร่างของอาคารที่จะลดการรับความร้อนเข้าสู่อาคารให้น้อยที่สุด อาคารในประเทศเขตร้อน ควรมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยหันส่วนแคบของอาคารไปทางทิศตะวันออกและตะวันตก

2.2.5 ผนังของอาคาร

ผนังอาคารที่มีการปรับอากาศควรจะทำด้วยวัสดุที่มีค่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ (U-VALUE)

2.2.6 หลังคาและดาดฟ้า

หลังคาของอาคารควรได้รับการบุฉนวนกันความร้อน และควรให้มีการระบายความร้อนที่ดี ไม่ควรติดตั้งช่องแสงไว้บนหลังคา

2.2.7 หน้าต่าง

ในอาคารปรับอากาศควรมีหน้าต่างให้น้อยที่สุด และหน้าต่างของอาคาร ควรทำด้วย กระจกสีชา หรือกระจกสะท้อนแสง หรือกระจก 2 ชั้น ซึ่งจะช่วยลดการส่งผ่านความร้อนได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกใสธรรมดา (Float Glass)

2.2.8 การบังแสง

การบังแสงจากภายนอกอาคาร จะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารได้มากกว่าการใช้ม่านหรือมู่ลี่กันแสงภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีด้านระบบปรับอากาศ

การใช้ไฟฟ้าในอาคาร ส่วนใหญ่จะใช้กับระบบปรับอากาศ และมีศักยภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ในระดับสูง การประหยัดไฟฟ้าในอาคารสำนักงานนั้นสามารถดำเนินได้โดยวิธีการต่างๆ ทั้งมาตรการที่มีการลงทุนและไม่ต้องมีการลงทุน ซึ่งวิธีการประหยัดมีดังนี้

2.3.1 มาตรการที่ไม่ต้องมีการลงทุน

2.3.1.1 จัดระบบให้เครื่องทำความเย็น (Chiller) ทำงานเป็นช่วงๆ สลับกัน และให้สัมพันธ์กับภาวะความต้องการความเย็นภายในอาคาร แนวทางนี้จะประหยัดไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 20 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ

2.3.1.2 ปรับความเย็นให้อยู่ในระดับที่ต้องการ อย่าให้เย็นเกินไป โดยกำหนดเป้าหมายอุณหภูมิที่ เทอร์โมสตัทในการทำความเย็น 28 ° C ในการเปลี่ยนแปลง การปรับตั้งอุณหภูมิภาระของระบบปรับอากาศจะลดลงดังนี้ คือ

26 ° C เป็น 28 ° C ภาระการทำความเย็นจะลดลงประมาณร้อยละ 20

2.3.1.3 การควบคุมปริมาณอากาศภายนอกที่นำเข้ามา ถ้าปริมาณอากาศภายนอกที่นำเข้ามามีมากเกินไป พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศจะมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าปริมาณอากาศภายนอกที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่กำหนดให้มีไม่เกินร้อยละ 0.1 หรือหมายความว่า จำเป็นจะต้องถ่ายเทอากาศจากภายนอกเข้ามาไม่ต่ำกว่า 20-30 ลบ.ม./ชม. ต่อบุคคลที่อยู่ในห้อง 1 คน

แต่สำหรับเครื่องปรับอากาศโดยทั่วไป ปริมาณอากาศจากภายนอกที่ดูดเข้ามาคงดังนั้นในกรณีที่มีบุคคลน้อยจึงเกิดการสูญเปล่า เนื่องจากดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาเกินความจำเป็น

2.3.1.4 ทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศด้านหน้าและแผ่นระบายความร้อนด้านหลังทุกๆ หนึ่งเดือน

ถ้าคอนเดนเซอร์ซึ่งใช้กับเครื่องทำความเย็นมีสิ่งสกปรก หรือตะกรันน้ำจับเกาะผิวส่งผ่านความร้อนซึ่งจะขัดขวางการแลกเปลี่ยนความร้อน ความดันใช้งานของด้านความดันจะสูงขึ้น ในที่สุดสวิตช์ป้องกันความดันสูงจะทำงาน ทำให้ไม่อาจเดินเครื่องได้ นอกจากนี้เครื่องอัดก็จะได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องชำรุดได้ง่าย

สำหรับด้านการสิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อความดันด้านความดันสูง สูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะต่ำลง เวลาเดินเครื่องจึงนานขึ้น ตามส่วนของการลดต่ำลงของขีดความสามารถในการทำความเย็น จึงสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น

วิธีการทำความสะอาดเป็นดังนี้ คือ สำหรับระบบระบายความร้อนอากาศ ให้ใช้น้ำยา โดยเฉพาะฉีดพ่นเข้าไปแล้วล้างด้วยน้ำ สำหรับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำอาจใช้น้ำยาทำความสะอาดในหอผึ่งเย็น หรือทำความสะอาดโดยใช้แปรง

2.3.1.5 ควรติดตั้งให้สูงจากพื้นพอสมควรเท่าที่จะทำได้ เพื่อที่จะให้อากาศหมุนเวียนอย่างสม่ำเสมอ และควรหลีกเลี่ยงอย่าให้เครื่องได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 มาตรการที่มีการลงทุน

2.3.2.1 เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่

2.3.2.1.1 ใส่ฉนวนบุเพดาน ซึ่งจะสามารถ ลดกำลังการใช้ระบบปรับอากาศลงได้ 1 ตันความเย็นต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร

2.3.2.1.2 กระจก 2 ชั้น มีจุดประสงค์เพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบกระจกอาคาร เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ และลดเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร

2.3.2.1.3 ติดตั้ง Heat Exchanger Ventilator ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยประหยัดพลังงานของการระบายอากาศด้วยการใช้อากาศเป็นตัวระบายออกไป โดยถ่ายเทความเย็น (Cooled Exchanger Air) ให้กับอากาศร้อนที่นำเข้ามา (Warm Fresh Air)

2.3.2.1.4 A.C. Adjustable Frequency Drive ในปัจจุบัน การประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency) ทางไฟฟ้าเพื่อให้มอเตอร์ทำงานที่จุดประสิทธิภาพสูง ในระบบปรับอากาศมีอุปกรณ์มอเตอร์ขับอยู่หลายชนิด เช่น เครื่องสูบน้ำ พัดลมของเครื่องส่งลมเย็น ตลอดจนถึงเครื่องทำน้ำเย็นแบบพัดลมหอยโข่ง (Centrifugal) เป็นต้น

2.3.2.1.5 Variable Air Volume System อาคารที่ทำการปรับอากาศโดยทั่วๆไปนั้นทุกวันในตอนเช้าจะต้องได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ทางทิศตะวันออก และได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในตอนบ่ายทางทิศตะวันตก ดังนั้นในตอนเช้าหากสามารถให้เครื่องส่งลมเย็นมายังทิศตะวันออก และทางทิศตะวันตกในตอนบ่ายเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้เกิดความสบายแก่ผู้ใช้สอยอาคารมากกว่าที่จะให้ร้อนเกินไปหรือเย็นเกินไปในขณะถูกแสงอาทิตย์ จึงได้มีการพัฒนาการใช้ระบบจ่ายลมเย็นให้คงที่ (Variable Air Volume System) ซึ่งในหลักการก็จะควบคุมอุณหภูมิในแต่ละบริเวณให้ใกล้เคียงกัน โดยจ่ายลมเย็นให้กับบริเวณที่ร้อนมากขึ้น ในปัจจุบันระบบการจ่ายลมเย็นไม่คงที่สามารถทำกันหลายวิธี เช่น ใช้เครื่องส่งลมเย็นแบบที่ติดตั้งเครื่องควบคุมการจ่ายลม เช่น Intel Guide Vane หรือ Discharge Damper

2.3.2.1.6 แผ่นสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นแผ่นวัสดุสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่จะผ่านเข้ามาในอาคาร โดยเฉพาะจากชั้นหลังคาเพื่อช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคารได้

2.3.2.1.7 ฉนวนใยแก้ว เป็นวัสดุช่วยป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศประโยชน์ใช้สอย เช่น บุหลังคา หรือ ผนังเพื่อช่วยลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น

2.3.2.1.8 ใช้เครื่องทำความเย็นประสิทธิภาพสูงสำหรับอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถลดการใช้ไฟฟ้าจาก 1.5 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น เป็น 1.35 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

2.3.2.1.9 ติดตั้งอุปกรณ์บังแสงชนิดปรับมุมตามแนวนอน ซึ่งจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในขณะที่มีแสงอาทิตย์ได้ร้อยละ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

การประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กทำได้ค่อนข้างลำบาก ดังนั้น ควรพิจารณาเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง และเลือกขนาดให้เหมาะสมกับห้อง หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เครื่องปรับอากาศที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดและให้ความเย็นตามที่กำหนดไว้จะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้

2.3.2.2.1 วิธีการเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ

การเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศนั้น นอกจากจะคำนึงถึงราคาซื้อมาตอนแรกแล้ว ยังควรต้องคำนึงถึงรายจ่ายที่จะต้องจ่ายเป็นค่าไฟฟ้าทุกเดือน ดังนั้นการเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศจึงควรได้พิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้ง 2 ประการอย่างถี่ถ้วนและในระยะยาว ซึ่งในทางศัพท์ทางเทคนิคเรียกว่า ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency Ratio ; EER) ค่า EER สูงจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายรวมได้มากกว่า

ค่า ERR คือ อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการให้ความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (BTU/hr) ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ (Watt)

2.3.2.2.2 การเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศ

การเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเหมาะสม ควรเลือกตามขนาดปริมาตรของห้องให้เหมาะสมกับขนาดความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

2.4 ทฤษฎีด้านระบบแสงสว่าง

2.4.1 มาตรการที่ไม่ต้องมีการลงทุน

2.4.1.1 สำรวจลักษณะการทำงานตลอดจนระดับความส่องสว่าง รวมทั้งการใช้แสงสว่างจากธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1.2 ทำความสะอาดโคมไฟและหลอดไฟอย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะสามารถให้แสงสว่างได้เต็มที่

2.4.1.3 ผนังและเฟอร์นิเจอร์ควรใช้สีนวล เพื่อช่วยสะท้อนแสงให้ดูสว่างขึ้น

2.4.1.4 ปิดไฟช่วงเวลาระหว่าง 12.00 – 13.00 น. ซึ่งเป็นเวลาหยุดพัก เพื่อรับประทานอาหารกลางวัน จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้

2.4.1.5 ปิดไฟทุกครั้งเมื่อไม่ต้องการใช้ แม้ว่าจะเป็นช่วงที่ไม่ต้องการใช้ระยะสั้นๆ

2.4.2 มาตรการที่มีการลงทุน

2.4.2.1 ใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูง คือ ให้ประมาณแสงสว่าง (Lumens) มาก แต่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ชนิดประหยัดพลังงาน18 วัตต์ และ 36 วัตต์ , หลอดไอโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp) , หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น

2.4.2.2 เลือกใช้บัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพสูง

2.4.2.3 ติดตั้งวงจรควบคุมแสงสว่างเพิ่มขึ้น ซึ่งจะสามารถทำให้ ปิด-เปิดวงจรแสงสว่างในพื้นที่ที่ไม่ต้องการใช้งานได้โดยสะดวก

ในการออกแบบวงจร ควรจะให้ สวิตช์ ปิด-เปิด หลอดไฟ มีความเป็นอิสระต่อกันมากขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถปิดหลอดไฟในบริเวณที่ไม่ได้ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 ติดตั้งสวิตซ์ตั้งเวลา (Timer) หรือ Timer Delay Switch ทำงาน ปิด-เปิด ไฟฟ้า ณ บริเวณที่ใช้ไฟบางเวลา

2.4.2.5 ติดตั้งสวิตซ์แสงแดด (Photo Cell Switch) หรือ Timer เพื่อควบคุมการปิด-เปิด หลอดไฟ ที่ติดตั้งอยู่นอกอาคาร

2.4.2.6 ติดตั้งเครื่องปรับระดับแสงสว่าง (Dimmer) บริเวณห้องที่ใช้สำหรับงานอเนกประสงค์ซึ่งบางครั้งก็ต้องการแสงสว่างมาก แต่บางครั้งก็ต้องการแสงสว่างน้อย หรือห้องที่มีการใช้แสงธรรมชาติจากภายนอกเข้ามาช่วยให้แสงสว่างภายใน ระดับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ตามธรรมชาติจะแปรเปลี่ยนไปไม่แน่นอน จึงควรนำ Dimmer มาใช้เพื่อช่วยในการปรับระดับแสงสว่างให้เหมาะสม

2.4.2.7 โคมทุกชนิดควรมีแผ่นสะท้อนแสง (Reflector) ที่ดีมีผิวสะอาด มันเป็นเงา และต้องมีมุมสะท้อนที่ถูกต้อง ทำให้แสงสว่างมารวมกันในบริเวณที่ต้องการ ผลที่ตามมา คือไม่ต้องใช้หลอดไฟฟ้าที่มีวัตต์สูงหรือใช้หลอดน้อยลงจากเดิมได้ เพราะมีแสงสว่างเพียงพอ

2.4.2.8 ใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบแสงสว่างในอาคาร จะสามารถประหยัดพลังงานได้

จากผลการศึกษาทดลองภายในห้องตัวอย่าง พบว่า การใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบแสงสว่างในอาคาร โดยอาศัยหลักการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติให้มากที่สุด จะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 20 ถึง 50 ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน 3 เดือน ถึง 2 ปี

2.4.2.9 คำนวณและเลือกใช้สายไฟให้มีความสูญเสีย (Loss) ต่ำ ทำได้โดยการเพิ่มขนาดสายให้โตขึ้นเนื่องจากสายมีความต้านทานต่ำ จึงให้สามารถลดความสูญเสีย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกและลดค่าไฟฟ้าลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการวิเคราะห์และการคำนวณ

การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ (คำนวณค่า OTTV & RTTV, คำนวณภาระความเย็น)
2. การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

รายละเอียดของการวิเคราะห์แต่ละแบบ แสดงได้ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

3.1.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารนั้น เป็นการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านผนังอาคาร (Overall Thermal Transfer Value , OTTV) และหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV)

3.1.1.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านผนังอาคาร (OTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านผนังอาคาร เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อน ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอก และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ที่ถ่ายเทผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร หลักการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนี้ อาศัยทฤษฎีพื้นฐาน ของการถ่ายเทความร้อน ซึ่งพิจารณาว่าความร้อนที่ผ่านกรอบของอาคารเข้าสู่บริเวณภายในนั้น ประกอบด้วยความร้อน 3 ส่วนคือ 1) ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังทึบ 2)ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจก 3)ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก

เมื่อนำความร้อนทั้ง 3 ส่วน มาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่ ก็จะได้เป็น ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ว่า

$$OTTV = \frac{\left(A_w \times U_w \times TD_{eq}\right) + \left(A_f \times U_f \times \Delta T\right) + \left(A_f \times SC \times SF\right)}{A_w + A_f} \qquad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (W/m^2)

A_w คือ พื้นที่ผนังทึบ (m^2)

U_w คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ (W/m^2K)

TD_{eq} คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temperature Different , K)

A_f คือ พื้นที่กระจก (m^2)

U_f คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (W/m^2K)

ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร (K)

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

SF คือ ค่า Solar Factor (W/m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าในแต่ละตัวแปรดังกล่าว จะแสดงรายละเอียด ดังต่อไปนี้

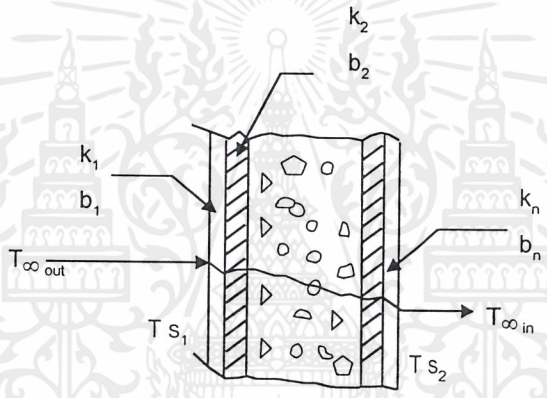
3.1.1.1.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม อาศัยหลักการพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งสามารถเขียนสมการเพื่อการคำนวณได้เป็น

$$U = \frac{1}{R_t} \qquad \text{.....(3.2)}$$

เมื่อ R_t คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง $(W/m^2 K)^{-1}$

โดยทั่วไป ผนังอาคารนั้นประกอบด้วยวัสดุมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของผนังอาคาร

ค่า R_t จะสามารถคำนวณได้จาก

$$R_t = R_o + \frac{b_1}{k_1} + \frac{b_2}{k_2} + \frac{b_3}{k_3} \ldots + \frac{b_n}{k_n} + R_i \qquad \text{.....(3.3)}$$

เมื่อ R_o คือ ความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิวด้านนอกของผนังอาคาร $(W/m^2K)^{-1}$

R_i คือ ความต้านทานความร้อนของอากาศที่ผิวด้านในของผนังอาคาร $(W/m^2K)^{-1}$

b คือ ความหนาของวัสดุ (m)

k คือ สัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุ (W/m K)

n คือ จำนวนชนิดของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังอาคาร

ค่าของ R_o , R_i และ k ของวัสดุชนิดต่างๆ สามารถแสดงอยู่ใน ตาราง ก-5 และ ตาราง ก-6 ในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.1.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก เป็นอัตราส่วนระหว่างความร้อนจากดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคารทางหน้าต่าง ต่อความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่ผ่านกระจกใสหนา 3 มม. ที่ไม่มีการบังแดด โดยปกติ หน้าต่างของอาคารทั่วไป จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นกระจกและส่วนที่เป็นอุปกรณ์บังแดด ดังนั้นการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การบังแดดประกอบด้วย 2 ส่วน คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกและอุปกรณ์บังแดด ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$SC = SC_1 \times SC_2 \qquad \text{.....(3.4)}$$

เมื่อ SC_1 คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

SC_2 คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

3.1.1.1.2.1 สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC_1)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก เป็นค่าที่ถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตกระจก ซึ่งทำการประเมินที่แสงอาทิตย์กระทบทำมุม 45 องศา จากแนวตั้งฉาก ดังแสดงในตาราง ก-9 ในภาคผนวก ก

3.1.1.1.2.2 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC_2)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์บังแดด อย่างไรก็ตามสามารถคำนวณได้ โดยอาศัยนิยามพื้นฐานของสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งสมการการคำนวณเขียนได้เป็น

$$SC_2 = \frac{(A_e \times I_D) + (A \times I_d)}{A \times I_t}$$

$$= \frac{(G \times I_d) + I_d}{I_t} \qquad \text{.....(3.5)}$$

เมื่อ G คือ อัตราส่วนของพื้นที่ที่โดนแสงต่อพื้นที่ทั้งหมด

A_e คือ พื้นที่ของกระจกส่วนที่โดนแสง (m^2)

A คือ พื้นที่รวมของกระจก (m^2)

I_D คือ ฟลักซ์ของรังสีตรงดวงอาทิตย์ (W/m^2)

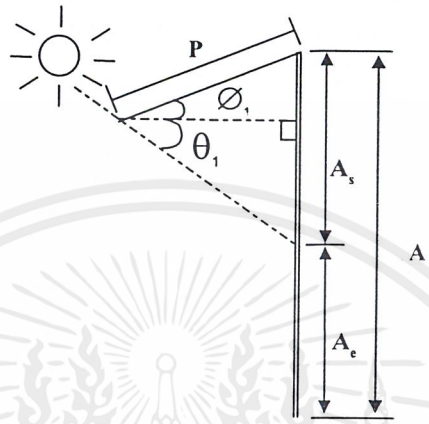
I_d คือ ฟลักซ์ของรังสีกระจายดวงอาทิตย์

I_t คือ ฟลักซ์ของรังสีรวมดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาอัตราส่วนของพื้นที่ที่โดนแสงเงาต่อพื้นที่ทั้งหมดนั้น จำเป็นต้องรู้ลักษณะของอุปกรณ์บังแดด ดังนี้

- กรณีอุปกรณ์บังแดดเป็น Overhang



รูปที่ 3.2 ลักษณะของ Overhang

จากรูปที่ 3.2

A_s = พื้นที่เกิดเงา (Shade Area)

A_e = พื้นโดนแสง (Expose Area)

A = พื้นที่ทั้งหมด

$\varnothing_1$ = มุมเอียงของ Overhang

P = ความหนาของ Overhang

จะได้ค่า

$$A_s = P\cos\varnothing_1 \tan\theta_1 + P\sin\varnothing_1$$

$$= P(\cos\varnothing_1 \tan\theta_1 + \sin\varnothing_1)$$

$$A_e = A - A_s$$

$$A_e/A = 1 - (P/A)(\cos\varnothing_1 \tan\theta_1 + \sin\varnothing_1)$$

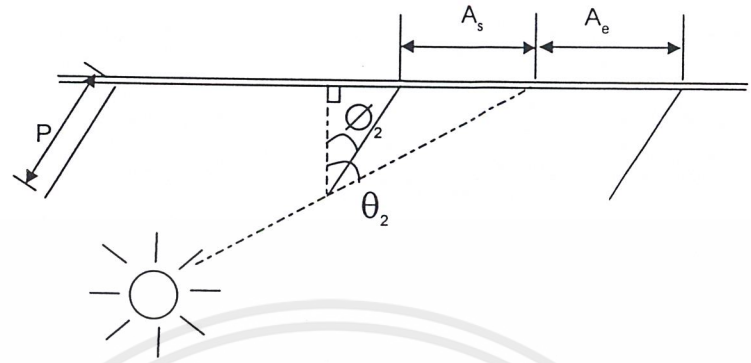
หรือ $G_1 = 1 - R_1(\cos\varnothing_1 \tan\theta_1 + \sin\varnothing_1)$

เมื่อ $G_1 = A_e/A$, $R_1 = P/A$

และ $G_1 \geq 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีอุปกรณ์บังแดดเป็น Fin



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะ Fin

จากรูปที่ 3.3

$\varnothing_2$ = มุมเอียงของ Fin

P = ความหนาของ Fin

จะได้ค่า

$$A_s = |P\cos\varnothing_2 \tan\theta_2 + P\sin\varnothing_2|$$

$$= P|\cos\varnothing_2 \tan\theta_2 + \sin\varnothing_2|$$

$$A_c = A - A_s$$

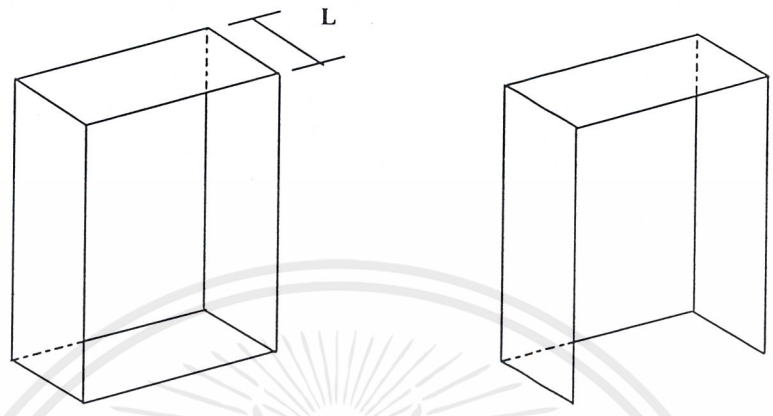
$$A_c/A = 1 - (P/A)|\cos\varnothing_2 \tan\theta_2 + \sin\varnothing_2|$$

หรือ $G_I = 1 - R_I|\cos\varnothing_2 \tan\theta_2 + \sin\varnothing_2|$

เมื่อ $G_I \geq 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีอุปกรณ์บังแดดเป็นแบบ Egg-Crate และอุปกรณ์บังแดดเป็นแบบ Fin รวมกับ Overhang



Egg-crate Fin & Overhang

รูปที่ 3.4 ลักษณะของ Egg – Crate และ Fin รวมกับ Overhang

จากรูปที่ 3.4

$$G_1 = 1 - R_1 |\tan\theta_1|$$

$$G_2 = 1 - R_2 |\tan\theta_2|$$

จะได้ค่า

$$G_3 = G_1 \times G_2$$

และ $G_3 \geq 0$

ในกรณีของการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคาร เข้าสู่ภายในอาคาร จะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงที่ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพล การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ การแผ่รังสีของผนังอาคาร อุณหภูมิภายนอกอาคาร รวมทั้งลักษณะโครงสร้างของอาคาร อย่างไรก็ตาม การคำนวณความร้อนแบบสภาวะไม่คงที่นั้น มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก จึงได้มีการปรับการคำนวณแบบสภาวะไม่คงที่ ด้วยการเสนอค่า TD_{eq} ทำให้เขียนสมการคำนวณฟลักซ์ความร้อนได้เป็น

$$q = A \times U \times TD_{eq}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า TD_{eq} มีนิยามกำหนดโดย เป็นผลต่างของอุณหภูมิอากาศ ที่จะให้ผลการคำนวณฟลักซ์ความร้อนตามสภาพที่เกิดจริง อันเกิดจากกลไกต่างๆ ได้แก่ การแผ่รังสีของอากาศและผนังอาคาร การพาความร้อน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ค่า TD_{eq} สามารถหาค่าได้โดยอาศัยหลักการของ Transfer Function Method (TFM) ซึ่งหลักการการคำนวณ การถ่ายเทความร้อนแบบสภาวะไม่คงที่ในหนึ่งมิติ (One – dimensional transfer heat flow) สำหรับผนังใดๆ ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ ตามเงื่อนไขสำคัญ 2 ประการ คือการถ่ายเทความร้อนโดยการพา มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคงที่ และอุณหภูมิภายในที่พิจารณามีค่าคงที่ ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณความร้อนที่ถ่ายเท ตามหลักการของ TFM ได้เป็น

$$q_{e\tau} = A\left[\sum_{n=0} b_n\left(t_{e\tau-n\Delta}\right) - \sum_{n=1} d_n \frac{\left(q_{e\tau-n\Delta}\right)}{A} - t_{rc}\sum_{n=0} c_n\right]$$

เมื่อ A = พื้นที่ผิวด้านในของผนัง (m^2)

q_e = ความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคาร (W)

τ = เวลา (hr)

Δ = ช่วงเวลา (hr)

t_{rc} = อุณหภูมิภายในอาคาร ($^{\circ}C$)

$t_e, \tau - n\Delta$ = อุณหภูมิ Sol – Air ที่เวลา ($^{\circ}C$)

b_n, c_n, d_n = Transfer function coefficient ซึ่ง มีค่าขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างผนัง b_n และ c_n มีหน่วยเป็น $W/m^2\,^{\circ}C$ สำหรับ d_n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ไร้หน่วย ค่ามาตรฐานของ b_n , c_n , d_n กำหนดไว้โดยมาตรฐานของ ASHRAE

จากสมการ (3.5) เราสามารถหาค่าเฉลี่ยรายวันของค่า SC_2 โดยพิจารณาว่าใน 1 วันมีช่วงเวลาที่มีแสงแดด 12 ชั่วโมง แล้วทำการเฉลี่ยค่าตลอด 12 ชั่วโมง ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$\left(\overline{SC_2}\right)_d = \frac{\sum_{i=1}^{12}\left[\left(A_e + I_D\right) + \left(A \times I_d\right)\right]_h}{\sum_{h=1}^{12}\left(A \times I_t\right)_h} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.6)$$

เราสามารถหาค่าเฉลี่ยรายปีของ SC_2 ได้เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า OTTV เฉลี่ยทั้งปี โดยพิจารณาจากข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ ในวัน equinox และ solar soltice ซึ่งได้แก่วันที่ 22 มีนาคม , 22 มิถุนายน , 23 กันยายน , 22 ธันวาคม ของปี ค่า SC_2 เฉลี่ยทั้งปี สามารถเขียนสมการได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\overline{SC_2}\right)_d = \frac{\sum_M (G \times I_D \times I_d) + \sum_J (G \times I_D + I_d) + \sum_S (G \times I_D \times I_d) + \sum_D (G \times I_D \times I_d)}{\sum_M I_t + \sum_J I_t + \sum_S I_t + \sum_D I_t}$$

..... (3.7)

เมื่อ M = เดือนมีนาคม

J = เดือนมิถุนายน

S = เดือนกันยายน

D = เดือนธันวาคม

3.1.1.1.3 การคำนวณผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า TD_{eq}

โดยปกติการถ่ายเทความร้อนในสภาวะคงที่ (Steady State Heat Transfer) จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่าง 2 บริเวณ ซึ่งสามารถเขียนสมการได้

$$q = A \times U \times \Delta T$$

เมื่อ q = ความร้อนที่ถ่ายเท (W)

A = พื้นที่ผิวที่มีการถ่ายเทความร้อน (m^2)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (m^2)

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิตัวกลางระหว่างสองบริเวณ

จากหลักการของ TFM จะสามารถคำนวณ ฟลักซ์ความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านผนังได้ เมื่อหารด้วยขนาดเนื้อที่ของผนัง (A) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) จะได้เป็นค่า TD_{eq} ตามต้องการ

ในการพิจารณาค่า TD_{eq} เพื่อใช้ประกอบในการคำนวณค่า OTTV ได้ใช้หลักการของ TFM คำนวณค่า TD_{eq} ของวัสดุ ที่มีโครงสร้างต่างๆ กัน และได้จำแนกค่ามาตรฐานของ TD_{eq} ตามมวลของวัสดุที่ใช้เป็นกรอบอาคาร ดังแสดงไว้ในตาราง ก-1 และตาราง ก-8 ในภาคผนวก ก

3.1.1.1.4 ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์

คือ ค่าผลจากฟลักซ์รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหน้าต่าง ค่านี้ได้จากการวัดรังสีอาทิตย์ระยะยาวทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย และได้จัดไว้สำหรับผนังในทิศทางต่างๆ ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์สำหรับผนังแนวตั้งในทิศทางต่างๆ คือ

$$SF = 160 \ (W/m^2)$$

ตัวประกอบรังสีอาทิตย์สำหรับผนังมุมเอียงในทิศทางต่างๆ มีค่าไม่เท่ากัน สามารถคำนวณได้จาก

$$SF = (160)(CF) \qquad \text{.....(3.8)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โดยที่ CF = ค่าตัวประกอบปรับแก้ (Correction Factor) สำหรับผนังมุมเอียงหนึ่งๆ ในทิศหนึ่งๆ ซึ่งหาได้จาก ตาราง ก-2 ในภาคผนวก ก

ในกรณีที่ผนังอาคารแต่ละส่วนประกอบด้วยโครงสร้างของวัตถุมากกว่าหนึ่งแบบขึ้นไป สมการ (3.1) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$OTTV = \frac{\sum_{i=1}^{m}(A_{w_i} \times U_{w_i} \times TD_{eq}) + \sum_{i=1}^{n}(A_{f_i} \times U_{f_i} \times T_i) + \sum_{i=1}^{n}(A_{f_i} \times SC_i \times SH_i)}{\sum_{i=1}^{m} A_{w_i} \sum_{i=1}^{n} A_{f_i}}$$

..... (3.9)

เมื่อ m คือ จำนวนแบบของโครงสร้างของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังทึบ

n คือ จำนวนแบบของโครงสร้างของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังทึบ

ในกรณีที่ผนังอาคารทั้งหมดประกอบด้วยด้านทั้งหมด k ด้าน ซึ่งหันไปทางทิศ ติดๆกัน ค่า OTTV สำหรับอาคารทั้งหลัง สามารถคำนวณได้จาก

$$OTTV = \frac{\sum_{i=}^{k} A_{0_i} \times OTTV_i}{\sum_{i=1}^{k} A_{0_i}}$$

..... (3.10)

3.1.1.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านหลังคาอาคาร (RTTV)

สำหรับการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_r \times U_r \times TD_{eq}) + (A_s \times U_s \times \Delta T) + (A_s \times SC \times SF)}{A_r + A_s}$$

..... (3.11)

เมื่อ RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (W/m^2)

A_r คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนทึบ (m^2)

U_r คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ ($W/m^2 K$)

TD_{eq} คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equipment Temperature Difference)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42428

A_s คือ พื้นที่หลังคาส่วนโปร่งแสง (m^2)

U_s คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนโปร่งแสง

ΔT คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร (5^oC)

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหลังคาส่วนโปร่งแสง

SF คือ ค่า Solar Factor (W/m^2)

A_n คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของหลังคา (m^2)

ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (Solar Factor) ในกรณีหลังคานี้เป็นดังนี้

$$SF=(370)(CF) \qquad \text{.....(3.12)}$$

ในกรณีที่หลังคาประกอบด้วยหลายส่วนค่า RTTV หาได้ดังนี้

$$RTTV=\frac{\sum_{i=1}^{k} A_{o_i} \times RTTV_i}{\sum_{i=1}^{k} A_{o_i}} \qquad \text{.....(3.13)}$$

3.1.2 การคำนวณค่าภาระความเย็น

ค่าการภาระความเย็น คือ ค่าความร้อนรวมจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งการคำนวณค่าภาระความเย็นที่เกิดขึ้นในห้องใดๆ ก็จะช่วยให้ทราบถึงขนาดความสามารถในการทำความเย็น ของเครื่องปรับอากาศที่เพียงพอและเหมาะสมกับห้องนั้นๆ ซึ่งจะช่วยให้สามารถที่จะใช้เครื่องปรับอากาศในห้องนั้นๆ ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ความร้อนที่ห้องในอาคารได้รับมาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่งด้วยกัน คือ

3.1.2.1 ความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน คือ ความร้อนที่เข้ามาตามผนังและหลังคาของอาคาร ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังหรือหลังคาทึบ , ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านกระจกหรือหลังคาโปร่งแสง และ ความร้อนจากการแผ่รังสีความอาทิตย์ผ่านกระจก

$$Q_I = 3.413 \text{ x } (OTTV + RTTV)$$

โดยที่ Q_I คือ ความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Btu/hr)

OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทาง ด้านผนังของอาคาร (Watt)

RTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทาง ด้านหลังคาของอาคาร (Watt)

3.413 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนหน่วยจาก (Watt)ไปเป็น (Btu/hr)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

ความร้อนสัมผัส คือ ความร้อนที่ไหลเข้ามาหรือเกิดขึ้นในอาคาร แล้วทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ประกอบด้วยความร้อนจากแหล่งต่อไปนี้

3.1.2.2.1 ภาระจากบุคคล (People Load)

เป็นภาระความร้อน ที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารในร่างกาย ก่อให้เกิดความร้อนในร่างกาย ความร้อนนี้จะถูกส่งออกมาทางผิวหนังและลมหายใจ จำนวนความร้อนที่ถูกส่งออกมานี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศที่ล้อมรอบร่างกาย และขึ้นอยู่กับระดับการเคลื่อนไหวของร่างกาย

$$Q_2 = \text{จำนวนคน} \times \text{Sensible Heat Gain Factor} \times \text{CLF} \quad \text{.....(3.14)}$$

โดยที่ Q_2 คือ ค่าความร้อนสัมผัสจากบุคคล (Btu / hr)

จำนวนคน คือ จำนวนบุคคลที่อยู่ภายในห้อง (คน)

CLF คือ ตัวประกอบภาระความเย็นจากคน หาได้จาก ตาราง ก-10

Sensible Heat Gain Factor คือ ตัวประกอบความร้อนสัมผัสสำหรับบุคคลที่กระทำกิจกรรมต่างๆ หาจากตาราง ก-11

3.1.2.2.2 ภาระจากแสงไฟ (Lighting Load)

หลอดไฟทุกชนิด เมื่อเวลาเปิดใช้งานจะเกิดความร้อนขึ้นรอบๆหลอด ดังนั้นค่าความร้อนจากหลอดไฟฟ้า จึงจำเป็นที่จะต้องนำมาคิดคำนวณ

$$Q_3 = 3.413 \times \text{ขนาดหลอดไฟฟ้ารวม} \times F_b \quad \text{..... (3.15)}$$

โดยที่ Q_3 คือ ค่าความร้อนแฝงจากไฟฟ้า (Btu / hr)

F_b คือ ค่าบัลลาสต์แฟคเตอร์ (หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ; F_b=1.25)

ขนาดหลอดไฟฟ้ารวม คือ จำนวนวัตต์ของหลอดไฟฟ้า (Watts)

3.1.2.3 ค่าความร้อนแฝง (Latent Head)

ค่าความร้อนแฝง คือ ความร้อนที่เขามาในรูปของความชื้น ทำให้ความชื้นภายในห้องสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เป็นภาระที่มาจากคน สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Q_4 = \text{จำนวนคน} \times \text{Latent Heat Gain} \quad \text{..... (3.17)}$$

โดยที่ Q_4 คือ ค่าความร้อนแฝงจากบุคคล (Btu / hr)

จำนวนคน คือ จำนวนบุคคลที่อยู่ภายในห้อง (คน)

Latent Heat Gain คือ ตัวประกอบความร้อนแฝงสำหรับบุคคลที่กระทำกิจกรรมต่างๆ หาจาก ตาราง ก-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 ภาระความร้อนเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Ventilation Heat Gain)

เนื่องจากในบริเวณที่มีการปรับอากาศ มีความจำเป็นที่จะต้องระบายอากาศออกสู่ภายนอก เพื่อที่จะนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามา ซึ่งจะทำให้อากาศภายในบริเวณทีคุณภาพที่ดีขึ้น แต่การนำเอาอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามา จำเป็นที่จะต้องใช้พลังงานเพื่อทำความเย็น โดยอาจจะเข้ามา ในบริเวณปรับอากาศโดยตรง หรือนำเข้ามาผสมกับลมท่อเย็น ก่อนกลับเข้าเครื่องลมเย็น ค่าความร้อนจากการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาประกอบด้วย

3.1.2.4.1 อัตราการถ่ายเทอากาศ (CFM Ventilation)

เราสามารถพิจารณาอัตราการถ่ายเทอากาศ ได้จากจำนวนบุคคล ที่มีอยู่ในห้อง หรือ ขนาดพื้นที่ใช้สอย และจากปริมาณอากาศ ที่ใช้หมุนเวียนต่อหนึ่งชั่วโมง ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้สอยพื้นที่ โดยเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของพระราชบัญญัติอาคาร ในที่นี้ให้พิจารณาจากจำนวนบุคคล ซึ่งจะได้

$$CFM = \text{จำนวนบุคคล} \times CFM/\text{คน} \qquad \text{.....(3.18)}$$

โดยที่ CFM คือ อัตราการถ่ายเทอากาศ (Btu/hr)

CFM/คน คือ อัตราการถ่ายเทอากาศต่อบุคคล (ft^3/min-คน)

หาได้จากตาราง ก-11

3.1.2.4.2 ภาระความร้อนสัมผัสจากปริมาณอากาศที่ถ่ายเท

$$Q_5 = 1.08 \times CFM \times (t_{rm} - t_{oa}) \qquad \text{.....(3.16)}$$

โดยที่ Q_5 คือ ค่าความร้อนสัมผัสจากปริมาณอากาศที่ถ่ายเท (Btu / hr)

t_{oa} คือ อุณหภูมิอากาศภายนอกห้อง ($^\circ$F)

t_{rm} คือ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง ($^\circ$F)

3.1.2.4.3 ภาระความร้อนแฝงจากปริมาณอากาศที่ถ่ายเท

$$Q_6 = 0.68 \times CFM \times (W_o - W_i) \qquad \text{.....(3.17)}$$

โดยที่ Q_6 คือ ค่าความร้อนแฝงจากปริมาณอากาศที่ถ่ายเท (Btu / hr)

W_o คือ ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอกห้อง

W_i คือ ค่าความชื้นจำเพาะของอากาศภายในห้อง

เมื่อนำค่าภาระความร้อนจากแหล่งต่างๆเหล่านี้มารวมกัน จะได้ค่าภาระความเย็นรวม ดังนี้

$$\text{ค่าภาระความเย็น} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \qquad \text{.....(3.18)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

3.2.1 หลักการทั่วไปในการส่องสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ

การส่องสว่างด้วยไฟฟ้า นอกจากจะเป็นภาระที่สูงในอาคารหนึ่งๆ แล้ว ยังส่งผลกระทบต่อภาระไฟฟ้ารวมของอาคาร โดยจะไปเพิ่มภาระการทำความเย็น แก่ระบบปรับอากาศอีกอย่าง ดังนั้นจึงควรออกแบบและเลือกระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ที่ให้ประสิทธิผลในการส่องสว่าง เพื่อให้ก่อให้เกิดความสบายแก่สายตา มีความยืดหยุ่น และสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายในการใช้พื้นที่ ในขณะเดียวกันก็มีประสิทธิภาพในเชิงพลังงานด้วย ทั้งหมดนี้สามารถทำให้สัมฤทธิ์ผลได้ โดยการจำกัดกำลังไฟฟ้าแสงสว่าง , การให้แสงสว่างอย่างเดียวพอเฉพาะในพื้นที่ที่มีงานส่องสว่าง และการใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมด้วยในเวลากลางวัน

3.2.1.1 ควรจัดการส่องสว่างให้ได้ระดับไม่น้อยกว่าค่าที่แนะนำโดยสากล หรือไม่น้อยกว่าที่แสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อแนะนำของความเข้มแสง

ย่านของความเข้มแสง	ความเข้มแสง (lux)	ตัวอย่างพื้นที่หรือกิจกรรม
1. การให้แสงสว่างสำหรับบริเวณที่ไม่ค่อยได้ใช้งาน	20 50 100	ความสว่างต่ำสุดที่ใช้การได้ ทางเดินภายใน ที่จอดรถและห้องเก็บของ ห้องนอนในโรงแรมและห้องน้ำ
2. การให้แสงสว่างสำหรับบริเวณที่ทำงานภายในอาคาร	150 200 300 400	งานที่ไม่ต้องการความละเอียด งานอ่านและเขียนนานๆ ครั้ง สำนักงานทั่วๆไป ห้องควบคุมในอาคาร ร้านขายของ และ ร้านค้าต่างๆ งานอ่านและงานเขียน ห้องเขียนแบบ
3. การให้แสงสว่างเฉพาะที่สำหรับงานละเอียด	750 1,000	งานอ่านตรวจทาน งานเขียนแบบที่ต้องการความละเอียด แน่นอน งานละเอียดลออ ประณีต

3.2.1.2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการส่องสว่าง อาจลดทอนให้น้อยลงได้ โดยการลดกำลังไฟฟ้าและ/หรือ ระยะเวลาใช้งาน การลดกำลังไฟฟ้า โดยยังคงประสิทธิผลการส่องสว่างกระทำได้ โดยใช้ชุดหลอดไฟฟ้า (ซึ่งอาจรวมถึงบัลลาสต์) และโคมไฟที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3.2.1.3 ไม่ควรใช้หลอดไส้ในการใช้แสงสว่างทั่วไป ควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ และถ้าเป็นไปได้ควรใช้อุปกรณ์ประกอบที่มีการสูญเสียต่ำ ในการติดตั้งไฟส่องลง (down light) ให้ใช้หลอดไฟฟ้าปล่อยประจุชนิดความดันสูง ในห้องโถงใหญ่ ควรใช้หลอดปล่อยประจุชนิดความดันสูง เป็นต้นกำเนิดแสงหลัก

3.2.1.4 การใช้แสงสว่างอย่างสม่ำเสมอโดยทั่วบริเวณสถานที่ทำงาน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำ เพราะกิจกรรมที่แตกต่างกันในพื้นที่ทำงาน มีความต้องการแสงสว่างไม่เท่ากัน เช่น ห้องเขียนแบบ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องให้แสงสว่างเฉพาะที่ เพื่อผู้เขียนแบบจะสามารถที่จะสำงานรอบโต๊ะเขียนแบบได้สะดวก โดยมีความต้องการแสงทั่วไปในห้องลดลง การกระทำเช่นนี้ทำให้เกิดการลดภาระไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ห้องลงได้มาก

3.2.1.5 ในการออกแบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยใช้หลักของการส่องสว่างเพียงพอเฉพาะบริเวณที่มีงานส่องสว่าง สถาปนิกและวิศวกรควรมีการหารือกันอย่างใกล้ชิด เพื่อกำหนดงานส่องสว่างที่ต้องการ ในแต่ละบริเวณในพื้นที่หนึ่งๆ เพื่อว่าจะสามารถลดกำลังไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณอื่นๆที่ไม่มีงานส่องสว่างในพื้นที่นั้น ถ้าหากพิจารณาว่าในพื้นที่ใด อาจมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้พื้นที่ในภายหลัง ควรจะมีการออกแบบระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าแสงสว่าง ที่เผื่อการเปลี่ยนแปลงนั้นไว้ล่วงหน้า

3.2.2 การใช้แสงธรรมชาติสว่าง (Daylighting)

3.2.2.1 การใช้แสงสว่างธรรมชาติร่วมกับไฟฟ้าแสงสว่าง เพื่อการส่องสว่างสำหรับบริเวณ ที่มีแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน เป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่ง ในการเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้พลังงานในอาคาร และเพิ่มคุณภาพของสภาพแวดล้อม ในอาคารแสงธรรมชาติ มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงและยังให้สีสันที่ถูกต้อง

3.2.2.2 ในการใช้แสงสว่างธรรมชาติเพื่อส่องสว่างควรจะคำนึงถึงองค์ประกอบต่อไปนี้

3.2.2.2.1 จะต้องใช้รังสีกระจายของรังสีอาทิตย์เท่านั้น และควรใช้อุปกรณ์บังแดดปิดกั้นไม่ให้รังสีตรงสู่อาคาร

3.2.2.2.2 ระดับความส่องของท้องฟ้าแปรเปลี่ยนได้มากจากเวลาหนึ่ง ดังนั้นควรใช้แสงธรรมชาติร่วมกับไฟฟ้าแสงสว่าง โดยออกแบบระบบไฟฟ้า ในลักษณะที่สามารถปรับได้ เพื่อให้ความสว่างรวมอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ ในกรณีเช่นนี้ระบบไฟฟ้าแสงสว่างจะต้องควบคุมโดยปรับหรี่ได้อย่างต่อเนื่อง หรือปรับหรี่เป็นขั้นและควรหรี่ได้โดยอัตโนมัติ

3.2.2.2.3 การออกแบบเพื่อใช้แสงธรรมชาติส่องสว่าง สามารถใช้ค่าองค์ประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor) ที่หาค่าได้สำหรับบริเวณหนึ่งๆ ภายในอาคาร ร่วมกับค่าความสว่างจากรังสีกระจายบนแนวระนาบ (exterior diffuse horizontal illumination) ของท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการดำเนินงาน

4.1 ระบบปรับอากาศ

สำหรับระบบปรับอากาศนี้จะมี 2 ส่วนในการดำเนินงาน คือ การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และการวิเคราะห์ค่าภาระความเย็น

4.1.1 การถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

สำหรับในขั้นตอนนี้ จะต้องคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารในอาคารกรณีศึกษา ขั้นต้น 2 ส่วน คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านผนังอาคาร (OTTV) และ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางหลังคา (RTTV) จากนั้นจะทำการนำค่าที่คำนวณมาได้นี้ทำการเปรียบเทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนตามที่กฎหมายกำหนดไว้ (ค่า OTTV ในอาคารเก่าไม่เกินกว่า 55 W/m^2 , ในอาคารใหม่ไม่เกินกว่า 45 W/m^2 และค่า RTTV ทั้งอาคารเก่าและอาคารใหม่ไม่เกินกว่า 25 W/m^2)

ถ้าค่าการถ่ายเทความร้อนมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด ให้ทำการเสนอการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาคารบางส่วน ที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV แล้วทำการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนอีกครั้ง เพื่อแสดงว่าค่าการถ่ายเทความร้อนใหม่ที่ได้ มีค่าไม่เกินกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด และทำการวิเคราะห์ (โดยการใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์) ต่อไปว่า หลังจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโครงสร้างด้วยวิธีนั้นๆ ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงได้ จะใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานไปเท่าไหร่ และมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ เพื่อสามารถที่จะเสนอเป็นมาตรการที่มีการลงทุนต่อไปได้

4.1.1.1 การถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านผนังอาคาร (OTTV)

การวิเคราะห์และการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางผนังของอาคาร นั้นเริ่มจาก การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางผนังอาคาร โดยใช้โปรแกรมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน (OTTVEE Version 1.0a) แล้วนำค่า OTTV รวม ที่ได้มา ทำการเปรียบเทียบกับค่า OTTV มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้ (ค่า OTTV มาตรฐานตามกฎหมายกำหนดไว้ว่า ค่า OTTV ของอาคารเก่าจะต้องไม่เกินกว่า 55 W/m^2 ส่วนในอาคารใหม่ จะต้องมีค่าไม่เกินกว่า 45 W/m^2) ซึ่งถ้าค่า OTTV รวมของอาคารเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด จะต้องทำการลดค่า OTTV ลงให้ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งก็จะเป็นการลดค่าภาระความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนลงได้อีกด้วย จะทำให้สามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการรับภาระความร้อนลงได้

การลดค่า OTTV จะทำโดยการเสนอการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาคาร 3 กรณี ดังนี้

1) ทำการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกเดิม
2) ทำการเปลี่ยนกระจกที่มีอยู่เดิมไปเป็นกระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass)
3) ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจก 2 ชั้น หรือกระจกฉนวนความร้อน (Insulating Glass)

จากนั้นทำการคำนวณค่า OTTV ใหม่ที่ได้หลังจากการปรับปรุง แล้วทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธี โดยใช้หลักการทางทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาความคุ้มค่าต่อการลงทุน และเลือกใช้ข้อเสนอที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 การถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านหลังคาอาคาร (RTTV)

การวิเคราะห์และการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางหลังคาของอาคาร นั้นเริ่มจาก การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางหลังคาของอาคาร โดยใช้โปรแกรมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน (OTTVEE Version 1.0a) แล้วนำค่าที่มา ทำการเปรียบเทียบกับค่า RTTV มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดไว้ (ค่า RTTV มาตรฐานตามกฎหมายกำหนดไว้ว่า ค่า RTTV ของอาคารจะต้องไม่เกินกว่า 25 W/m^2) ซึ่งถ้าค่า RTTV รวมของอาคารเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด จะต้องทำการลดค่า RTTV ลงให้ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งจะเป็นการลดค่าภาระความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนลงได้อีกด้วย จะทำให้สามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ ที่ใช้ในการรับภาระความร้อนลงได้

การลดค่า RTTV จะทำโดยการเสนอการปรับปรุง ให้ทำการติดตั้งฉนวนใยแก้ววางบนฝ้าเพดาน จากนั้นทำการคำนวณค่า RTTV ใหม่ที่ได้หลังจากการปรับปรุง แล้วทำการวิเคราะห์ว่า มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่

4.1.2 การคำนวณค่าภาระความเย็น

ขั้นตอนการวิเคราะห์และคำนวณค่าภาระความเย็น เริ่มจากการสำรวจห้องในอาคาร แล้วทำการคำนวณหาค่าความร้อนในแต่ละห้อง ซึ่งจะประกอบไปด้วย ความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน , ความร้อนสัมผัสจากบุคคล , ความร้อนสัมผัสจากหลอดไฟฟ้า , ความร้อนแฝงซึ่งเกิดจากบุคคล , ความร้อนสัมผัสเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ และความร้อนแฝงเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ จากนั้นนำค่าภาระความเย็นของแต่ละห้องที่ได้ มาทำการเปรียบเทียบกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่เดิมในแต่ละห้อง

4.2 ระบบแสงสว่าง

การตรวจวัดค่าการส่องสว่างตามมาตรฐาน เริ่มต้นจากการสำรวจ โดยการใช้อุปกรณ์ Lux Meter ตรวจวัดระดับความส่องสว่างทุกห้อง ภายในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ในช่วงเวลาเช้า (เวลาประมาณ 10:30 น.) และช่วงเวลาบ่าย (เวลาประมาณ 14:30 น.) โดยจะทำการวัดระดับความส่องสว่างใน 3 กรณี คือ 1) กรณีเปิดไฟทั้งห้อง 2) กรณีปิดไฟทั้งห้อง 3) กรณีเปิดไฟครึ่งห้อง แล้วทำการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของทุกห้อง นำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสากล ดูว่ามีค่าเกินมาตรฐานหรือไม่ ถ้าค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่ได้ มีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน ให้ทำการเสนอแนวทาง แก้ไขโดยการติดตั้งหลอดไฟฟ้าเพิ่มเติม แต่ถ้าหากมีค่าการส่องสว่างเฉลี่ยมากกว่ามาตรฐาน ให้ทำการเสนอแนวทางการลดการใช้หลอดไฟฟ้า อาทิเช่น การเปิดไฟเพียงครึ่งห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
อาคารกรณีศึกษา (Case Study)

5.1 ข้อมูลทั่วไปของอาคาร

ชื่ออาคาร	:	อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
สถานที่ตั้ง	:	ตั้งอยู่ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
จำนวนชั้น	:	2 ชั้น และมีชั้นดาดฟ้าที่มีการต่อเติมหลังคา
อายุอาคาร	:	มากกว่า 10 ปี
เวลาทำการ	:	8.00 น. – 16.00 น. เปิดทำการทุกวันเว้นวันหยุดราชการ (มีบางห้องใช้ทำงานนอกเวลาราชการ)
ลักษณะการใช้งาน	:	ห้องสำนักงาน, ห้องพักอาจารย์, ห้องทดลอง, ห้องประชุม, ห้องคอมพิวเตอร์, ห้องเรียน และห้องนักศึกษา
พื้นที่ปรับอากาศ	:	391 ตารางเมตร

5.2 ลักษณะทางสถาปัตยกรรม

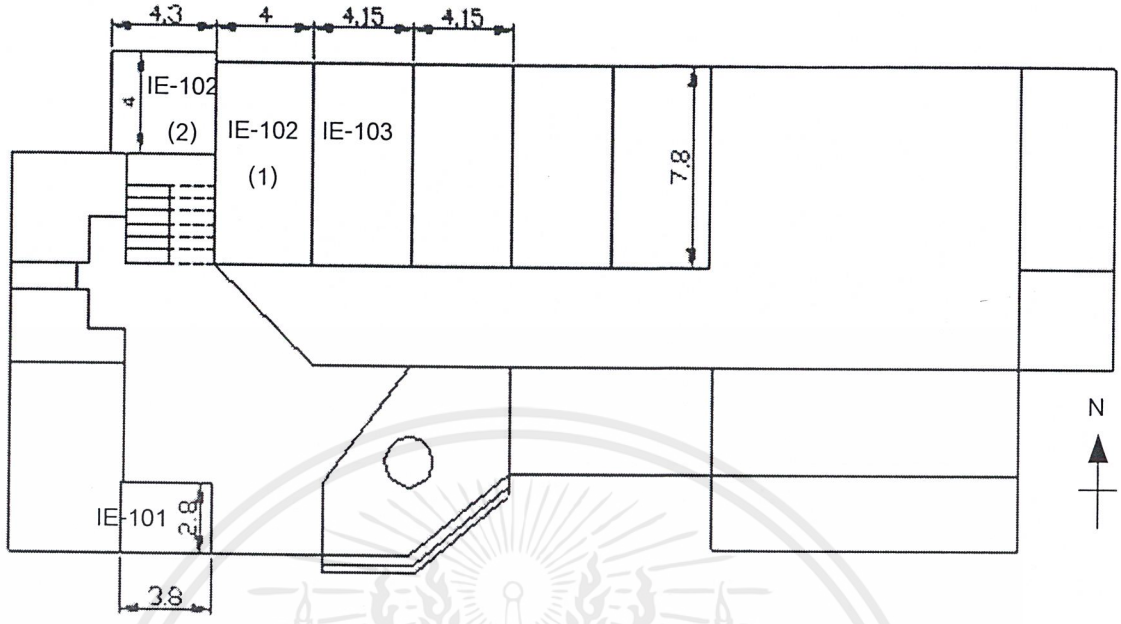
โครงสร้างของอาคารเป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้วัสดุฉาบ (Finishing) มีการต่อเติมห้องบางห้องโดยการกั้นห้องด้วยไม้อัดทำเป็นผนัง เพดานติดฝ้า พื้นที่ใช้สอยติดตั้งเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้อง ซึ่งจะมีการแสดงรายละเอียดของแต่ละห้องที่ทำการศึกษาภายในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการต่อไป ในหัวข้อ 5.2.2 รายละเอียดทางสถาปัตยกรรม

5.2.1 แบบแปลน และทิศทางของอาคาร

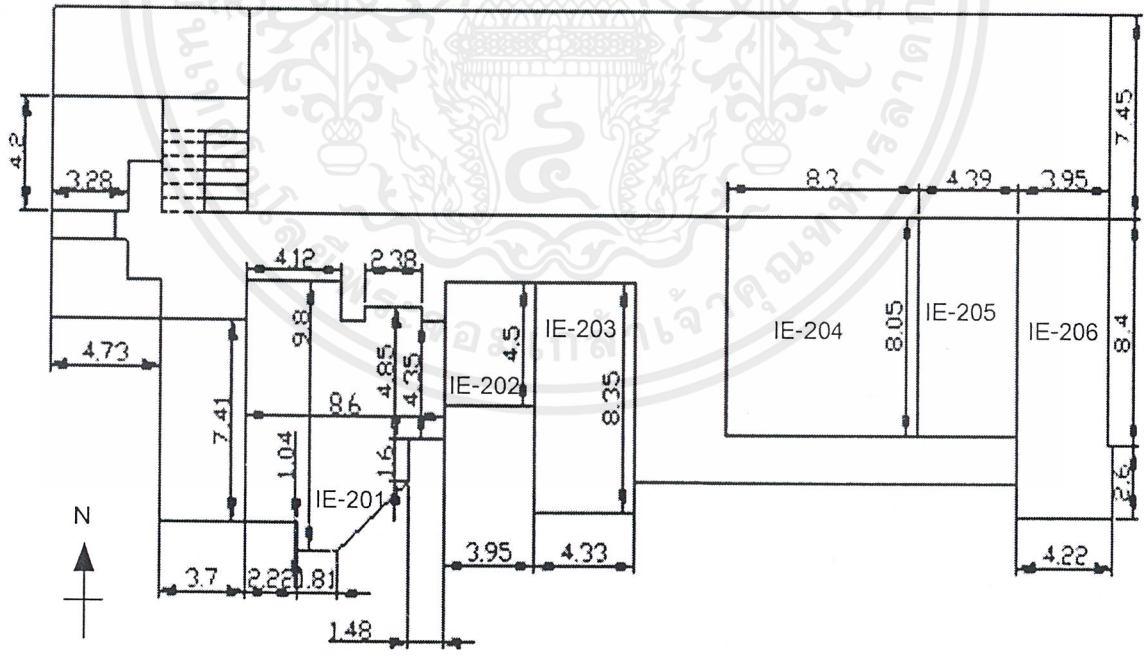
เนื่องจากอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการเป็นอาคารเรียนเก่า ซึ่งเคยเป็นอาคารของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล แบบแปลนที่เคยมีอยู่จึงไม่สามารถหามาได้ ดังนั้นจึงได้ทำการสำรวจ และวัดขนาดต่างๆ ภายในอาคาร และได้จัดทำเป็นแบบแปลนที่ใช้ในกรณีศึกษานี้ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2 (แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวก ข.)

โดย รูปที่ 5.1 เป็นแบบแปลนแสดงพื้นที่ใช้สอยในชั้นล่าง
รูปที่ 5.2 เป็นแบบแปลนแสดงพื้นที่ใช้สอยในชั้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แบบแปลนอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการชั้นล่าง



รูปที่ 5.2 แบบแปลนอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการชั้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 รายละเอียดทางสถาปัตยกรรม

กรอบอาคารของอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มีลักษณะทางสถาปัตยกรรมหลายลักษณะ ทั้งรายละเอียดลักษณะทั่วไป ชนิดของวัสดุ สีของวัสดุ และขนาดโครงสร้างของวัสดุ เป็นต้น ซึ่งสามารถแจกแจง ออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1. ผนังทึบ (Opaque wall)
2. ผนังโปร่งแสง (Transparent wall)
3. หลังคา (Roof)

รายละเอียดลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรมของอาคารดังกล่าว สามารถแจกแจงในแต่ละห้อง ได้ดัง ตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรมของอาคาร

ห้อง	ทิศ	รายละเอียด
IE-101	S	1. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 2. ผนังอิฐฉาบปูน 4 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 3. กระจกทั่วไป ที่มีลักษณะลึกเข้าไปในอาคาร
IE-102 (1,2)	N	1. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 2. ผนังอิฐฉาบปูน 8 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 3. กระจกทั่วไป ที่มีอุปกรณ์แนวราบยื่นเอียงออกมา 4. เสาคอนกรีตทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน
IE103	N	1. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 2. ผนังอิฐฉาบปูน 8 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 3. กระจกทั่วไป ที่มีอุปกรณ์แนวราบยื่นเอียงออกมา 4. เสาคอนกรีตทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน
IE-201	S	1. เสาคอนกรีตทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 2. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 3. ผนังอิฐฉาบปูน 4 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 4. กระจกทั่วไป ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 5. หลังคาที่มีวัสดุผิวสีอ่อน กระเบื้องใยหินลอนคู่ และผนังคอนกรีต 6. ฝ้าเพดาน
IE-202	S	1. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 2. กระจกทั่วไป ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 3. หลังคาที่มีวัสดุผิวสีอ่อน กระเบื้องใยหินลอนคู่ และผนังคอนกรีต 4. ฝ้าเพดาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1(ต่อ) รายละเอียดลักษณะทั่วไปทางสถาปัตยกรรมของอาคาร

ห้อง	ทิศ	รายละเอียด
IE-203	S	1. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 2. ผนังอิฐฉาบปูน 4 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 3. กระจกทั่วไป ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 4. หลังคาที่มีวัสดุผิวสีอ่อน กระเบื้องใยหินลอนคู่ และผนังคอนกรีต 5. ฝ้าเพดาน
IE-204	S	1. เสาคอนกรีตทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 2. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 3. ผนังอิฐฉาบปูน 4 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 4. กระจกที่คิดเสมือน เป็นกระจกสองชั้น และมีลักษณะลึกเข้าไปในอาคาร 5. หลังคาที่มีวัสดุผิวสีอ่อน กระเบื้องใยหินลอนคู่ และผนังคอนกรีต 6. ฝ้าเพดาน
IE205	S	1. เสาคอนกรีตทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 2. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 3. ผนังไม้อัดกั้นห้องทั่วไป 4. หลังคาที่มีวัสดุผิวสีอ่อน กระเบื้องใยหินลอนคู่ และผนังคอนกรีต 5. ฝ้าเพดาน
IE-206	E	1. เสาคอนกรีตทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 2. คานคอนกรีต ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน หนา 300 มิลลิเมตร 3. ผนังอิฐฉาบปูน 4 " ทั่วไป ที่มีวัสดุผิวสีอ่อน 4. กระจกทั่วไป ที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 5. หลังคาที่มีวัสดุผิวสีอ่อน กระเบื้องใยหินลอนคู่ และผนังคอนกรีต 6. ฝ้าเพดาน

5.2.3 คุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่เป็นกรอบของอาคาร

อาคารกรณีศึกษา จะถูกพิจารณาในเรื่องคุณสมบัติของตัววัสดุที่ใช้เป็นผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และอุปกรณ์บังแดด เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า OTTV และ RTTV ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุคือ ค่าความหนาแน่น ค่าการนำความร้อน ค่าความต้านทานความร้อน สีทาภายนอก ความหนา และขนาด เป็นต้น เหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณ ซึ่งแสดงได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ถึงตารางที่ 5.4

โดย ตารางที่ 5.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุของผนังทึบในกรอบอาคาร

ตารางที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุของผนังโปร่งแสงในกรอบอาคาร

ตารางที่ 5.4 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดดในกรอบอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของวัสดุของผนังทึบในกรอบอาคาร

ลักษณะ	ชั้นที่	วัสดุ	ความหนา (mm.)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน ($W/m°C$)	ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2°C/W$)	สีทาภายนอก
เสาคอนกรีต	1	คอนกรีต	500	2400	1.442	0.347	ขาว
คานคอนกรีต	1	คอนกรีต	300	2400	1.442	0.208	ขาว
ผนังอิฐฉาบปูน 4"	1	ปูนผสมทราย	10	1568	0.533	0.019	ขาว
	2	อิฐแห้ง	100	1760	0.807	0.124	-
	3	ปูนผสมทราย	10	1568	0.533	0.019	ขาว
ผนังอิฐฉาบปูน 8"	1	ปูนฉาบน้ำหนักเบา	10	300	0.063	0.159	ขาว
	2	อิฐชื้น 6 %	200	1872	0.063	0.159	-
	3	ปูนฉาบน้ำหนักเบา	10	300	0.063	0.159	ขาว

หมายเหตุ ข้อมูลในตารางอ้างอิงจากตารางที่ ก.-5 ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติของวัสดุของผนังโปร่งแสงในกรอบอาคาร

ห้อง IE	รหัสผนังโปร่งแสง	วัสดุ	ความหนา (mm.)	ขนาด (ยาว x สูง) (m^2)	ความหนาแน่นกระจก (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน ($W/m°C$)	ค่าความต้านทานความร้อน ($m^2°C/W$)	Shading Coefficient (SC_1)
101	กระจก 1	ใส	6	1.20 x 2.75	2512	1.053	0.0057	0.960
102-1	กระจก 2	ใส	6	4.00 x 2.02	2512	1.053	0.0057	0.960
102-1	กระจก 3	ใส	6	3.96 x 1.55	2512	1.053	0.0057	0.960
103	กระจก 4	ใส	6	2.33 x 1.25	2512	1.053	0.0057	0.960
201	กระจก 5	ใส	6	1.30 x 2.75	2512	1.053	0.0057	0.960
201	กระจก 6	ใส	6	2.22 x 2.75	2512	1.053	0.0057	0.960
202	กระจก 7	ใส	6	3.95 x 2.75	2512	1.053	0.0057	0.960
203	กระจก 8	ใส	6	3.00 x 1.50	2512	1.053	0.0057	0.960
205	กระจก 9 [กระจก+ กระจก+ทางเดิน]	ใส ว่าง ใส	6 2900 6	15.98x 2.75 - 15.98x 2.75	2512 - 2512	1.053 - 1.053	0.0057 0.160 0.0057	0.960 - 0.960
206	กระจก10	ใส	6	1.75 x 2.00	2512	1.053	0.0057	0.960

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 คุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดดในกรอบอาคาร (แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมใน ภาคผนวก ข)

ห้อง IE	รหัสผนังโปร่งแสง	ชนิดอุปกรณ์บังแดด	A_1 (m)	A_2 (m)	P_1 (m)	P_2 (m)	H_1 (m)	θ_1 ($^\circ$)
101	กระจก 1	Overhang 1	2.75	3.8	1.70	-	-	-
102-1	กระจก 2	Overhang 2	2.02	-	2.30	-	0.45	15
102-1	กระจก 3	Overhang 3	1.50	-	2.30	-	0.40	15
103	กระจก 4	Overhang 4	1.25	-	2.30	-	0.70	15
201	กระจก 5	None	-	-	-	-	-	-
201	กระจก 6	None	-	-	-	-	-	-
202	กระจก 7	None	-	-	-	-	-	-
203	กระจก 8	None	-	-	-	-	-	-
205	กระจก 9	Overhang 5	1.20	7.20	2.90	-	-	-
206	กระจก10	None	-	-	-	-	-	-

5.3 ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

ภายในอาคารทั้งชั้นบนและชั้นล่าง จะประกอบด้วย ห้องสำนักงาน, ห้องพักอาจารย์, ห้องทดลอง, ห้องประชุม, ห้องคอมพิวเตอร์, ห้องเรียน และห้องนักศึกษา ในแต่ละห้องมีขนาดพื้นที่ห้องใช้สอยต่างกัน มีใช้พลังงาน โดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน และมีการใช้หลอดไฟให้แสงสว่าง ซึ่งแสดงให้เห็นดัง ตารางที่ 5.5 , ตารางที่ 5.6 และ ตารางที่ 5.7 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.5 แสดงพื้นที่ใช้สอยของแต่ละห้องในอาคาร

ชั้นที่	ชื่อห้อง		ขนาดห้อง (m^2)
1	IE-101	ห้องพักอาจารย์	10.64
	IE-102		
	102-1	Lab	17.2
	102-2	Lab	31.2
	IE-103	Lab	32.37
2	IE-201	ห้องสำนักงานภาค	67.0468
	IE-202	ห้องประชุม	17.775
	IE-203	ห้องคอมพิวเตอร์	36.1555
	IE-204	ห้องเรียน	66.815
	IE-205	ห้องเรียน	35.3395
	IE-206	ห้องนักศึกษา	44.152
	รวม		391.0638

<u>หมายเหตุ</u> แต่ละห้องสูง 2.75 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงการใช้พลังงานปรับอากาศที่ติดตั้งจริง แยกตามห้อง ในอาคารกรณีศึกษา

ชื่อห้อง	ประเภท เครื่องปรับอากาศ	ขนาด (Btu/hr)	จำนวน (เครื่อง)	รวม (Btu/hr)
IE-101	SPLIT TYPE	12,000	1	12,000
IE-102-1	SPLIT TYPE	33,000	1	33,000
IE-102-2	SPLIT TYPE	12,000	1	12,000
IE-103	SPLIT TYPE	33,000	1	33,000
IE-201	SPLIT TYPE	33,000	2	66,000
IE-202	SPLIT TYPE	12,000	1	12,000
IE-203	SPLIT TYPE	18,000	1	18,000
IE-204	SPLIT TYPE	24,000	2	48,000
	SPLIT TYPE	12,000	1	12,000
IE-205	SPLIT TYPE	24,000	1	24,000
IE-206	SPLIT TYPE	38,000	1	38,000
	รวม		13	308,000

รวมจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งจริงทั้งหมด = 308,000 Btu/hr

(Btu/hr x 0.0002931 = kW) = 308,000 x 0.0002931

= 90.27 kW

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงการใช้พลังงานแสงสว่าง แยกตามห้อง ในอาคารกรณีศึกษา

ชื่อห้อง	ชนิดของหลอดที่ใช้	จำนวน (หลอด)	รวม (watt)	Ballast Loss	รวมทั้งหมด (watt)	พลังงานที่ใช้ (kW / ปี)
IE-101	Fluorescent 36 W	2	72	10 x 2	92	268.64
IE-102-1	Fluorescent 36 W	4	144	10 x 4	184	537.28
IE-102-2	Fluorescent 36 W	2	72	10 x 2	92	268.64
IE-103	Fluorescent 36 W	8	288	10 x 8	368	1,074.56
IE-201	Fluorescent 36 W	12	432	10 x 12	552	1,611.84
IE-202	Fluorescent 36 W	8	288	10 x 8	368	1,074.56
IE-203	Fluorescent 36 W	16	576	10 x 16	736	2,149.12
IE-204	Fluorescent 36 W	18	648	10 x 18	828	2,417.76
IE-205	Fluorescent 18 W	32	576	10 x 32	896	2,616.32
IE-206	Fluorescent 18 W	40	720	10 x 40	1,120	3,270.40
รวม		142	3,816	1,420	5,236	15,289.12

หมายเหตุ จำนวนการทำงานปีละ 365 วัน, ทำงาน วันละ 8 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานนั้น จะต้องสำรวจข้อมูลลักษณะของอาคารทั้งหมดก่อน ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้แบ่งเป็น 1. ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร 2. ข้อมูลที่ได้มาจากระบบปรับอากาศ 3. ข้อมูลที่ได้มาจากระบบแสงสว่าง โดยข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการบันทึกจากเครื่องมือวัด การคำนวณโดยใช้โปรแกรม และการคำนวณด้วยตนเองจากสูตร จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

6.1 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

6.1.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านผนังอาคาร (OTTV)

นำข้อมูลเกี่ยวกับผนังทึบ และผนังโปร่งแสง ในด้านกรอบอาคาร มาทำการคำนวณหาค่า OTTV โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ที่แสดงผลไว้ใน ตารางที่ ง-1 จากภาคผนวก ง ซึ่งสามารถสรุป ได้ดังนี้ (ตามกฎหมายต้องไม่เกิน 55 W/m^2)

ค่า OTTV ของอาคารก่อนการปรับปรุง = 66.40 W/m^2

6.1.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทางด้านหลังคาอาคาร (RTTV)

นำข้อมูลเกี่ยวกับหลังคา ในด้านกรอบอาคาร มาทำการคำนวณหาค่า RTTV โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ที่แสดงผลไว้ใน ตารางที่ ง-1 จากภาคผนวก ง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (ตามกฎหมายต้องไม่เกิน 25 W/m^2)

ค่า RTTV ของอาคารก่อนการปรับปรุง = 22.40 W/m^2

6.2 การวิเคราะห์ระบบปรับอากาศ

อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เป็นอาคารที่เลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กชนิดแยกส่วน (Split type) และติดตั้งไม่ทั่วทั้งอาคาร ดังนั้นจึงต้องคำนวณค่าภาระความเย็นออกมาทีละห้อง สำหรับค่าภาระความเย็น (โหลดความเย็น) จะประกอบไปด้วย ค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน ภาระความร้อนสัมผัส ภาระความร้อนแฝง และ ภาระความร้อนเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ สามารถแจงแจงได้เป็น Q_1- Q_6 ดังแสดงในตารางภาคผนวก ซ ตารางที่ ซ-1 ถึงตารางที่ ซ-6

โดย ตารางที่ ซ-1ก แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน(Q_1)

ตารางที่ ซ-1ข แสดงการแปลงหน่วย ของ Q_1 จาก Watt เป็น Btu / hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ-2 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสจากบุคคล (Q_2)

ตารางที่ ซ-3 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสจากหลอดไฟ (Q_3)

ตารางที่ ซ-4 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนแฝงเนื่องจากบุคคล (Q_4)

ตารางที่ ซ-5 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Q_5)

ตารางที่ ซ-6 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนแฝงเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Q_6)

และ ทำการสรุปข้อมูลจากผลรวม จากตาราง ซ-1 ถึง ซ-6 ดังกล่าว เป็นผลการคำนวณค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ในตารางที่ ซ-7 ซึ่งจะนำมาแสดงเปรียบเทียบกับค่าภาระความเย็นเดิม แสดงให้เห็นใน ตารางที่ 6.1 ดังนี้

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าภาระความเย็น ที่ติดตั้งจริง(เดิม) เปรียบเทียบกับ ผลการคำนวณ ค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม แยกตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น ที่ติดตั้งจริง (เดิม) (Btu/hr)	ค่าภาระความเย็น ที่เหมาะสม (Btu/hr)
IE-101	12,000	5,987.88
IE-102-1	33,000	9,386.69
IE-102-2	12,000	6,739.46
IE-103	33,000	13,192.42
IE-201	66,000	23,570.14
IE-202	12,000	19,991.38
IE-203	18,000	20,743.02
IE-204	60,000	63,742.40
IE-205	24,000	57,456.75
IE-206	38,000	17,368.70
รวม	308,000	238,179

รวมจำนวนเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งจริงทั้งหมด = 308,000 Btu/hr

(Btu/hr x 0.0002931 = kW) = 308,000 x 0.0002931

= 90.27 kW

รวมจำนวนเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมทั้งหมด = 238,179 Btu/hr

(Btu/hr x 0.0002931 = kW) = 238,179 x 0.0002931

= 69.81 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การวิเคราะห์ระบบแสงสว่าง

นำอุปกรณ์ Lux Meter มาทำการสำรวจ ตรวจวัดค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) ของทุกห้องในอาคาร โดยจะทำการสำรวจใน 2 ช่วงเวลา คือในช่วงเวลาเช้า (เวลาประมาณ 10:30 น.) และช่วงเวลาบ่าย (เวลาประมาณ 14:30 น.) ซึ่งจะทำการวัดระดับความส่องสว่างใน 3 กรณี คือ

1) กรณีเปิดไฟทั้งห้อง
2) กรณีปิดไฟทั้งห้อง
3) กรณีเปิดไฟครึ่งห้อง

จากนั้น ทำการหาค่าความส่องสว่างเฉลี่ยของทุกห้อง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสากล ซึ่งสามารถแจกแจงผลจากการสำรวจ โดยอ้างอิงจาก ตารางภาคผนวกที่ ช.2-1 , ช.2-2 , ช.4-1 และ ช.4-2 เพื่อนำมาสรุปหาค่าเฉลี่ยได้ ในตารางภาคผนวกที่ ช.1-1, ช.1-2 , ช.3-1 และ ช.3-2
โดย

ตารางภาคผนวกที่ ช.1-1 แสดงค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อเปิดไฟและปิดไฟทั้งห้อง ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.1-2 แสดงค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อเปิดไฟและปิดไฟทั้งห้อง ตรวจวัดที่เวลา 14.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.2-1 แสดงผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (Lux) แต่ละจุด ของห้อง เมื่อเปิดไฟและปิดไฟทั้งห้อง ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.2-2 แสดงผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (Lux) แต่ละจุด ของห้อง เมื่อเปิดไฟและปิดไฟทั้งห้อง ตรวจวัดที่เวลา14.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.3-1 แสดงค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อเปิดไฟครึ่งห้อง ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.3-2 แสดงค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อเปิดไฟครึ่งห้อง ตรวจวัดที่เวลา 14.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.4-1 แสดงผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (Lux) แต่ละจุด ของห้อง เมื่อเปิดไฟครึ่งห้อง ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น

ตารางภาคผนวกที่ ช.4-2 แสดงผลการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง (Lux) แต่ละจุด ของห้อง เมื่อเปิดไฟครึ่งห้อง ตรวจวัดที่เวลา14.30 น

นำค่าที่ตรวจวัดได้ มาทำการเปรียบเทียบ กับ ค่าระดับการส่องสว่าง (Lux) ดังแสดงให้เห็นใน ตารางที่ 6.2 และ 6.3 ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างค่ามาตรฐานสากล กับ ค่าที่ทำการตรวจวัดได้ในช่วงเวลาเช้า 10.30 น.

ชั้น	ชื่อห้อง	ค่ามาตรฐาน (Lux)	ค่าเฉลี่ย กรณี เปิดไฟทั้งห้อง (Lux)	ค่าเฉลี่ย กรณี ปิดไฟทั้งห้อง (Lux)
1	IE-101 ห้องพักอาจารย์	300	264.7	43
	IE-102-1 Lab	300	310.7	55.5
	IE-102-2 Lab	300	306.8	79.7
	IE 103 Lab	300	313.8	16.5
2	IE-201 สำนักงานภาควิชา	300	416.7	1.85
	IE-202 ห้องประชุม	300	654.8	45.7
	IE-203 ห้องคอมพิวเตอร์	300	779.6	184
	IE-204 ห้องเรียน	300	780.7	264
	IE-205 ห้องเรียน	300	440.3	1
	IE-206 ห้องนักศึกษา	300	264.3	21.7

ตารางที่ 6.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างค่ามาตรฐานสากล กับ ค่าที่ทำการตรวจวัดได้ในช่วงเวลาบ่าย 14.30 น.

ชั้น	ชื่อห้อง	ค่ามาตรฐาน (Lux)	ค่าเฉลี่ย กรณี เปิดไฟทั้งห้อง (Lux)	ค่าเฉลี่ย กรณี ปิดไฟทั้งห้อง (Lux)
1	IE-101 ห้องพักอาจารย์	300	266.7	44.3
	IE-102-1 Lab	300	325.5	59
	IE-102-2 Lab	300	312.7	82.7
	IE 103 Lab	300	319	20
2	IE-201 สำนักงานภาควิชา	300	419	19.5
	IE-202 ห้องประชุม	300	664.3	35.8
	IE-203 ห้องคอมพิวเตอร์	300	714	124.3
	IE-204 ห้องเรียน	300	608.3	236.9
	IE-205 ห้องเรียน	300	482.5	0
	IE-206 ห้องนักศึกษา	300	252.3	21.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจวัดค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) ของห้อง ในช่วงเวลา เช้าและบ่าย เมื่อทำการ ปิด ไฟทั้งห้อง จะพบว่า ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของทุกห้องที่วัดได้ มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงไม่สามารถลดปริมาณการใช้หลอดไฟลง ด้วยการปิดไฟทั้งห้อง

จากผลการตรวจวัดค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) ในช่วงเวลา เช้าและบ่าย เมื่อทำการเปิดไฟทั้งห้อง จะพบว่า

- ห้องที่มี ค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) เฉลี่ยได้ ตาม มาตรฐาน คือ ห้อง IE-102 , IE-103, IE-201, IE-205

- ห้องที่มี ค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) เฉลี่ย ต่ำ กว่ามาตรฐาน คือ ห้อง IE-101 (ห้องพักอาจารย์) และ IE-206 (ห้องนักศึกษา)

  - IE-101 ห้องพักอาจารย์ มีค่าระดับความส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐาน จึงแนะนำให้ทำการติดตั้งดวงไฟเพิ่มเติม โดยการติดหลอดไฟเฉพาะจุดที่ใช้งาน เช่น การใช้โคมไฟ เป็นต้น
  - IE-206 ห้องนักศึกษา ซึ่งขณะที่ทำการตรวจวัดนั้น ได้มีหลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์ เสียจำนวน 18 หลอด หากทำการติดหลอดไฟครบจะทำให้มี ค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) มากขึ้น จึงแนะนำให้ทำการเปลี่ยนหลอดไฟให้มีสภาพสมบูรณ์

- ห้องที่มี ค่าระดับความส่องสว่าง (Lux) เฉลี่ย สูง กว่ามาตรฐานมาก คือ ห้อง IE-202, IE-203, IE-204 จึงได้ทำการตรวจวัดค่า Lux เพิ่มเติม ในกรณีที่ เปิดไฟเพียงครึ่งห้อง ดังแสดงรายละเอียด ในตารางภาคผนวก ตารางที่ ช.3-1 , ช.3-2 , ช.4-1 และ ช.4-2 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงค่าความส่องสว่างของแต่ละห้องในอาคาร ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น. และ ที่ เวลา 14.30 น จะพบว่า

ตารางที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่าง ระหว่างค่ามาตรฐานสากล กับ ค่าที่ทำการตรวจวัดได้ ในช่วงเวลาเช้า 10.30 น. และช่วงเวลาบ่าย 14.30 น. เมื่อทำการเปิดไฟเพียงครึ่งห้อง

ชั้น	ชื่อห้อง	ค่ามาตรฐาน (Lux)	ค่าเฉลี่ย กรณี เปิดไฟ ครึ่งห้อง เวลา 10.30 น. (Lux)	ค่าเฉลี่ย กรณี เปิดไฟ ครึ่งห้อง เวลา 14.30 น. (Lux)
2	IE-202 ห้องประชุม	300	389.5	329.8
	IE-203 ห้องคอมพิวเตอร์	300	485.5	411.8
	IE-204 ห้องเรียน	300	636	504.2

หมายเหตุ ห้อง IE-204 เป็นการเปิดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง

- เมื่อทำการเปิดไฟครึ่งห้อง ทั้งในเวลาเช้าและบ่าย ในห้อง IE-202 และ IE-203 จะให้มีค่าระดับการส่องสว่าง ได้ตามมาตรฐาน
- เมื่อทำการเปิดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง IE-204 ทั้งในเวลาเช้าและบ่าย จะให้มีค่าระดับการส่องสว่าง ได้ตามมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการลดปริมาณการใช้หลอดไฟลงแล้ว จะทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ ซึ่งแสดงได้ดังนี้

1. ห้อง IE-202

มีจำนวนหลอดไฟ Fluorescent 36 W จำนวน 8 หลอด เมื่อทำการเปิดหลอดไฟครึ่งห้อง จะเหลือจำนวนหลอดไฟ Fluorescent 36 W ใช้งาน จำนวน 4 หลอด

หลอดไฟที่ลดลง	=	36 x 4	=	144	W
การสูญเสียในบัลลาสต์	=	10 x 4	=	40	W
รวมพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด			=	184	W

คิดจากการทำงานปีละ 365 วัน, วันละ 8 ชั่วโมง

พลังงานที่ลดลง	=	184 x 8 x 365	W
	=	537280	W.hr
	=	537.28	kW.hr

ค่าไฟคิดประมาณหน่วยละ 2.00 บาท

ประหยัดค่าไฟได้ ปีละ	=	537.28 x 2	
	=	1,075	บาท

2. ห้อง IE-203

มีจำนวนหลอดไฟ Fluorescent 36 W จำนวน 16 หลอด เมื่อทำการเปิดหลอดไฟครึ่งห้อง จะเหลือจำนวนหลอดไฟ Fluorescent 36 W ใช้งานจำนวน 8 หลอด

หลอดไฟที่ลดลง	=	36 x 8	=	288	W
การสูญเสียในบัลลาสต์	=	10 x 8	=	80	W
รวมพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด			=	368	W

คิดจากการทำงานปีละ 365 วัน, วันละ 8 ชั่วโมง

พลังงานที่ลดลง	=	368 x 8 x 365	W
	=	1,074,560	W.hr
	=	1,074.56	kW.hr

ค่าไฟคิดประมาณหน่วยละ 2.00 บาท

ประหยัดค่าไฟได้ ปีละ	=	1,074.56 x 2	
	=	2,150	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. <u>ห้อง IE-204</u>

มีจำนวนหลอดไฟ Fluorescent 36 W จำนวน 18 หลอด เมื่อทำการเปิดหลอดไฟครึ่งห้อง จะเหลือจำนวนหลอดไฟ Fluorescent 36 W ใช้งานจำนวน 12 หลอด

หลอดไฟที่ลดลง	=	36 x 6	=	216	W
การสูญเสียในบัลลาสต์	=	10 x 6	=	276	W
รวมพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด			=	492	W

คิดจากการทำงานปีละ 365 วัน, วันละ 8 ชั่วโมง

พลังงานที่ลดลง	=	492 x 8 x 365	W
	=	1,436,640	W.hr
	=	1,436.64	kW.hr

ค่าไฟคิดประมาณหน่วยละ 2.00 บาท

ประหยัดค่าไฟได้ ปีละ	=	1,436.64 x 2	
	=	2,874	บาท

<u>สรุปค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้</u>

เมื่อทำการเปิดไฟเพียงบางส่วนของห้อง จะทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้เป็นจำนวนมาก สามารถ แสดงผลได้ในตารางที่ 6.5 ดังนี้

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าใช้จ่ายที่ลดลงต่อปี เมื่อทำการเปิดไฟเพียงบางส่วนของห้อง

ห้อง	เมื่อเปิดไฟ	ค่าพลังที่ลดลง (kW.hr)	ประหยัดค่าไฟ ปีละ (บาท)
IE-202	ครึ่งห้อง	537.28	1,075
IE-203	ครึ่งห้อง	1,074.56	2,150
IE-204	2/3 ส่วนของห้อง	1,436.64	2,874
รวม		3048.48	6,099

สรุป : เมื่อทำการเปิดไฟเพียงบางส่วนของห้อง จะทำให้มีค่าความส่องสว่างได้ตามมาตรฐาน และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ทั้งหมด 6,099 บาท /ปี ซึ่งนับว่าเป็นจำนวนเงินที่ค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 สรุปผลการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

จากผลการวิเคราะห์ ใน 3 หัวข้อ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร, ระบบปรับอากาศ และ ระบบแสงสว่าง สามารถ นำมาสรุปผล ได้ดังต่อนี้

6.4.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

6.4.1.1 ค่า OTTV

ผลการตรวจวัดค่า OTTV ในอาคารกรณีศึกษา มีค่า 66.4 Watt/m^2 ซึ่งมีค่าเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ คือ 55 Watt/m^2 ดังนั้น จึงต้องลดค่า OTTV ลงให้ได้ตามที่กฎหมายกำหนด ทำได้โดยการปรับปรุงอาคารทางสถาปัตยกรรม ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 7 ต่อไป

6.4.1.2 ค่า RTTV

ผลการตรวจวัดค่า RTTV ในอาคารกรณีศึกษา มีค่า 22.4 Watt/m^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ คือ 25 Watt/m^2 ดังนั้น จึงไม่ต้องทำการปรับปรุงอาคาร เพื่อลดค่านี้ลงอีก

6.4.2 ระบบปรับอากาศ

จากการคำนวณ ค่าภาระความเย็น ของอาคารกรณีศึกษา ทำให้สามารถเลือกใช้ ค่าภาระความเย็น (โหลดปรับอากาศ) ได้เหมาะสมกับลักษณะของห้อง ดังที่แสดงใน ตารางที่ 6.1

6.4.3 ระบบแสงสว่าง

ผลจากการตรวจวัด ทำให้สรุปเป็นแนวทางการจัดการของระบบการส่องสว่างได้ดังนี้

ก. ทำการเปิดหลอดไฟทั้งห้อง ในห้อง IE-102, , IE-103, IE-201, IE-205

ข. ทำการติดตั้งหลอดไฟเพิ่ม ในห้อง IE-101

ค. ทำการเปลี่ยนหลอดไฟให้มีสภาพที่สมบูรณ์ ใช้งานได้ ในห้อง IE-206

ง. ลดปริมาณการใช้หลอดไฟลง โดย เปิดไฟครึ่งห้อง (ในห้อง IE-202, IE-203) และ เปิดหลอดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง (ในห้องIE-204)

เมื่อทำการลดปริมาณการใช้ไฟ โดยทำการ เปิดไฟครึ่งห้อง และ เปิดหลอดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง จะทำให้ประหยัดค่าไฟได้ดังนี้

- ห้อง IE-202 ประหยัดค่าไฟ 1,075 บาท/ปี
- ห้อง IE-203 ประหยัดค่าไฟ 2,150 บาท/ปี
- ห้อง IE-204 ประหยัดค่าไฟ 2,874 บาท/ปี

รวม ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเปิดไฟเพียงบางส่วนของห้อง คือ 6,099 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
แนวทางการแก้ปัญหาเพื่อลดค่า OTTV

ตามที่ได้ศึกษาวิเคราะห์ อาคารกรณีศึกษา จากบทที่ 6 เมื่อนำค่า OTTV และค่า RTTV ไปพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้ผลดัง ตารางที่ 7.1 นี้

ตารางที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า OTTV และ RTTV ของอาคารกรณีศึกษาและข้อกำหนดตามกฎหมาย

ค่าการถ่ายเทความร้อน	ตามพระราชบัญญัติ ต้องไม่เกิน	อาคารกรณีศึกษา
OTTV [Watt / m^2]	55	66.4
RTTV [Watt / m^2]	25	22.4

จากข้อมูลที่กล่าวไว้ข้างต้น จะพบว่า ค่า RTTV มีค่าเป็นไปตามกฎหมาย ส่วนค่า OTTV มีค่า เกินกว่าค่าตามกฎหมายกำหนด เพื่อให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติ จึงต้องทำการศึกษาหาแนวทางแก้ปัญหา ลดค่า OTTV ให้ได้ค่าตามพระราชบัญญัติต่อไป

7.1 การตั้งสมมุติฐานเพื่อแก้ปัญหา

แนวทางการแก้ไขปัญหา เพื่อลดค่า OTTV นั้นได้มีการตั้งสมมุติฐาน โดยมีการอ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์ SC ที่เท่ากัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันได้ และจะเลือกกรณีที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด

ดังนั้นจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงทางสถาปัตยกรรม (โครงสร้าง) ดัง 3 กรณีดังต่อไปนี้

<u>กรณีที่ 1</u> ทำการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก

เป็นแนวทางการแก้ปัญหา โดยการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกเดิมทุกบานที่พิจารณาของกรอบอาคาร ซึ่งฟิล์มกรองแสงจะมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ (อ้างอิงจากภาคผนวก จ ในตารางที่ จ.1-1 และ จ.2-1)

ฟิล์มกรองแสง : วัสดุที่ใช้เป็น Film 3 M มีค่า SC = 0.26

<u>กรณีที่ 2</u> ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจกสะท้อนแสง (Reflective Glass)

เป็นแนวทางการแก้ปัญหา โดยการเปลี่ยนกระจกใสเดิมทุกบานของกรอบอาคาร จากกระจกใสธรรมดาให้เป็นกระจกสะท้อนแสง รุ่น Solartag-SS 108 สีเงินจรัส ที่มีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ (อ้างอิงจากภาคผนวก จ ในตารางที่ จ.1-1 และ จ.2-2)

กระจกสะท้อนแสง : มีค่า SC=0.21 หนา 6 มิลลิเมตร

<u>กรณีที่ 3</u> ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)

เป็นแนวทางการแก้ปัญหา โดยการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจก 2 ชั้น ที่มีคุณสมบัติใหม่ ที่มีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้ (อ้างอิงจากภาคผนวก จ ในตารางที่ จ.1-1 และ จ.2-3)

กระจกชั้นนอก : กระจกสะท้อนแสง ที่มีค่า SC = 0.21 หนา 6 มิลลิเมตร

กระจกชั้นใน : กระจกใสธรรมดา ที่มีค่า SC = 0.96 หนา 6 มิลลิเมตร

สาเหตุที่เลือกใช้ การปรับปรุงอาคาร 3 กรณีนี้ ในการ ลดค่า OTTV เนื่องจากเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมต่อการปรับปรุงอาคารเก่าให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน และเป็นวิธีที่ง่าย มีความเป็นไปได้สูงกว่าแนวทางการปรับปรุงอาคารโดยวิธีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและโหลดการปรับอากาศ

ผลจากการปรับปรุงแนวทางการแก้ปัญหา จะทำให้ค่า OTTV และ เฉพาะค่า Q_1 เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่าโหลดการปรับอากาศเปลี่ยน ($Q_{รวม}$) ตามแต่กรณี ซึ่งแสดงดังกรณีสมมติฐานด้านล่างนี้

<u>กรณีที่ 1</u> ทำการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก

<u>ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม</u>

ทำการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกเดิมทุกบาน แล้วคำนวณหาค่า OTTV ใหม่ โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ซึ่งจะได้ผลดังนี้ (แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวกที่ ง-2)

ค่า OTTV ของอาคาร แนวทางการแก้ปัญหา ***กรณีที่ 1*** = 38.50 W/m^2

<u>ค่าโหลดการปรับอากาศ</u>

ผลจากการติดฟิล์มกรองแสง จะทำให้ ลดค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) และ ลดค่าภาระความเย็น ($Q_{รวม}$) แสดงให้เห็นได้ใน ตารางภาคผนวก ตารางที่ ฌ.1-1 ถึงตารางที่ ฌ.1-3 โดย

ตารางที่ ฌ.1-1 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ตารางที่ ฌ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1หลังจากการติดฟิล์มกรองแสง

ตารางที่ ฌ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้อง หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ตารางที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ของอาคารกรณีศึกษา กับ อาคารที่ได้ติดฟิล์มกรองแสง

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ของอาคารกรณีศึกษา	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ของอาคารที่ติดฟิล์มกรองแสง
IE-101	5,987.88	5,146.99
IE-102		
• 102-1	9,386.69	7,478.04
• 102-2	6,739.46	5,304.40
IE-103	13,192.42	12,510.16
IE-201	23,570.14	19,424.47
IE-202	19,991.38	15,343.05
IE-203	20,743.02	18,813.45
IE-204	63,742.40	62,245.73
IE-205	57,456.75	57,456.75
IE-206	17,368.70	15,861.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 2</u> ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจกสะท้อนแสง

<u>ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม</u>

ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมทุกบานไปเป็นกระจกสะท้อนแสง แล้วคำนวณหาค่า OTTV ใหม่ โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ซึ่งจะได้ผลดังนี้ (แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวกที่ ง-3)

ค่า OTTV ของอาคาร แนวทางการแก้ปัญหา ***กรณีที่ 2*** = 36.99 W/m^2

<u>ค่าโหลดการปรับอากาศ</u>

ผลจากการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง จะทำให้ ลดค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) และ ลดค่าภาระความเย็น ($Q_{รวม}$) แสดงให้เห็นได้ใน ตารางภาคผนวก ตารางที่ ญ.1-1 ถึงตารางที่ ญ.1-3 โดย

ตารางที่ ญ.1-1 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ตารางที่ ญ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1 หลังจากการติดฟิล์มกรองแสง

ตารางที่ ญ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้อง หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ตารางที่ 7.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ของอาคารกรณีศึกษา กับ อาคารที่ได้เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ของอาคารกรณีศึกษา	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ของอาคารที่เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง
IE-101	5,987.88	5,102.82
IE-102		
• 102-1	9,386.69	7,376.44
• 102-2	6,739.46	5,227.88
IE-103	13,192.42	12,473.81
IE-201	23,570.14	19,206.10
IE-202	19,991.38	15,097.69
IE-203	20,743.02	18,712.19
IE-204	63,742.40	62,079.65
IE-205	57,456.75	57,456.75
IE-206	17,368.70	15,781.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 3</u> ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

<u>ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม</u>

ทำการเปลี่ยนกระจกเดิมทุกบานไปเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน) แล้วคำนวณหาค่า OTTV ใหม่ โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ซึ่งจะได้ผลดังนี้ (แสดงรายละเอียดใน ภาคผนวกที่ ง-4)

ค่า OTTV ของอาคาร แนวทางการแก้ปัญหา ***กรณีที่ 3*** = 32.74 W/m^2

<u>ค่าโหลดการปรับอากาศ</u>

ผลจากการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน) จะทำให้ ลดค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) และ ลดค่าภาระความเย็น ($Q_{รวม}$) แสดงให้เห็นได้ใน ตารางภาคผนวก ตารางที่ ฎ.1-1 ถึงตารางที่ ฎ.1-3 โดย

ตารางที่ ฎ.1-1 แสดงข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ตารางที่ ฎ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1 หลังจากการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น

ตารางที่ ฎ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้อง หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ตารางที่ 7.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม ของอาคารกรณีศึกษา กับ อาคารที่ได้เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ของอาคารกรณีศึกษา	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ของอาคารที่เปลี่ยนเป็นกระจก2 ชั้น
IE-101	5,987.88	4,944.36
IE-102		
● 102-1	9,386.69	6,989.37
● 102-2	6,739.46	4,936.37
IE-103	13,192.42	12,335.21
IE-201	23,570.14	18,716.75
IE-202	19,991.38	14,547.75
IE-203	20,743.02	18,485.15
IE-204	63,742.40	61,728.15
IE-205	57,456.75	57,456.75
IE-206	17,368.70	15,605.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์ เพื่อเลือกใช้ กรณีการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมและคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด โดยการใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ เรื่องการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน เข้าช่วยในการวิเคราะห์ สำหรับขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ คือ การประมาณค่าใช้จ่ายต่างๆ และผลตอบแทนทั้งหมดที่คาดว่าจะได้รับของแต่ละ กรณีการปรับปรุงอาคาร โดยอาศัยข้อมูลผลการประเมินทางเทคนิคมาเป็นส่วนประกอบ

วิธีการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน มีหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 3 หลักเกณฑ์ คือ

1. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงาน มีค่าเท่ากับเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนวิธีนี้ คือ ทำให้ทราบว่าจะได้เงินคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี}} \qquad \text{.....(7.1)}$$

โดยที่ กระแสเงินสดสุทธิต่อปี = กระแสเงินสดที่ได้รับต่อปี - กระแสเงินสดที่จ่ายต่อปี
(net annual cash flow)

2. การคำนวณค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าในปัจจุบันของ รายรับ และค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการ ซึ่งหาได้จาก การนำค่ากระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปีตลอดอายุโครงการ มาปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้ค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ (ในอาคารกรณีศึกษานี้ เลือกใช้ 9 %) เป็นอัตราส่วนลดในการปรับมูลค่าเงิน เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ การตัดสินใจที่จะลงทุนหรือไม่ โดยดูจากผลการคำนวณ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวก ก็น่าสนใจที่จะลงทุน แต่ถ้า NPV มีค่าเป็นลบ ก็ไม่ควรที่จะลงทุน

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} \qquad \text{.....(7.2)}$$

หรือ

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC \qquad \text{.....(7.3)}$$

เมื่อ TIC = เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)

NCF_n = กระแสเงินสุทธิในปีที่ n , (บาท/ปี)

i = อัตราส่วนลด

R_n = ผลตอบแทนที่ได้รับ ณ ปีที่ n

C_n = ค่าใช้จ่ายทั้งหมด ณ ปีที่ n

N = economic life, ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณอัตราผลตอบแทนในโครงการ (IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุน หมายถึง อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุน เท่ากับ มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุน วิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนนี้ เป็นการหาโดยใช้วิธีการลองผิดลองถูก โดยหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่จ่าย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value) เท่ากับ ศูนย์ หรือ เข้าใกล้ศูนย์ ค่าอัตราส่วนลดที่หาได้นี้ คือ IRR

เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ถ้า IRR มีค่ามากกว่า อัตราผลตอบแทนที่ยอมรับได้ ก็คุ้มค่าที่จะลงทุน (สำหรับอาคารกรณีศึกษานี้ ได้เลือกใช้ IRR = 9 % : เพราะทางสำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงานจะมีเงินสนับสนุนในการปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน ถ้าหากโครงการนั้นมีค่า IRR มากกว่า 9 %)

อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่า IRR จะเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ดี และเป็นที่ยอมรับทั่วไป แต่มีจุดอ่อน คือ อาจจะมีค่าของอัตราส่วนลดมากกว่าหนึ่งค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้กับโครงการที่ผลตอบแทนสุทธิเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ

IRR คือ i ที่ทำให้ NPV (i) ~ 0

จากสมการ (7.3) ถ้าให้เท่ากับ 0 จะได้

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \qquad \text{.....(7.4)}$$

หรือ

$$TIC = \sum_{n=1}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} \qquad \text{.....(7.5)}$$

เมื่อ TIC = เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)

NCF_n = กระแสเงินสดสุทธิของปีที่ n, (บาท/ปี)

i^* = IRR

N = economic life, ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 1 ติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก</u>

เมื่อปรับปรุงอาคาร โดยทำการ ติดฟิล์มกรองแสงที่กระจกแล้ว จะทำให้ค่า OTTV ลดลงจาก 66.40 W/m^2 เหลือเป็น 38.50 W/m^2 และสามารถคำนวณโดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

ผลต่างค่า OTTV ก่อนและหลังปรับปรุง	=	66.4 – 38.5	
	=	27.9	W/m^2
พื้นที่กรอบอาคารด้านผนัง รวม	=	195.3	ตารางเมตร
ดังนั้นพลังงานที่เข้าอาคารลดลง	=	27.9 x 195.3	
	=	5,448.87	Watt
(1 kWatt = 1,000 Watt)	=	5,448.87 / 1,000	
	=	5.45	kWatt
การทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน , 1 ปี ทำงาน 365 วัน			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศลดลง	=	(kW ของแอร์ที่ลดลง) x (เวลาการทำงาน) x (% การใช้งานของแอร์)	
	=	5.45 x 8 x 365 x 100%	
	=	15,914	kW/year
ราคาพลังงานไฟฟ้าประมาณหน่วยละ 2.00 บาท	=	15,914 x 2.00	
<u>ดังนั้น</u> คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	31,828	บาท/ปี

การคำนวณเงินลงทุน

พื้นที่กระจก	=	57.6	ตารางเมตร
(1 m^2 = 10.7639 ft^2)	=	57.6 x 10.7639	
	=	620	ตารางฟุต
ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าติดตั้ง	=	80	บาท/ตร.ฟุต
<u>ดังนั้น</u> ต้นทุนรวมเท่ากับ	=	620 x 80	
	=	49,600	บาท

ฟิล์มกรองแสงมีอายุการใช้งาน 10 ปี และ ทำการเปรียบเทียบโดยคิดอายุโครงการ ที่ 20 ปี ดังนั้นจึงต้องมีการลงทุน 2 ครั้ง คือ ในปีที่ 0 และ ปีที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)**

จากสมการ รายได้ = ค่าใช้จ่าย

31,828 = 49,600 (A/P, 9% , n)

+ 49,600 (P/F,9%,10) (A/P, 9%,n)

31,828 = 70,551.04 (A/P, 9%,n)

$$(A/P, 9\%, n) = \frac{31,828}{70,551.04}$$

= 0.4511

จากตารางภาคผนวก ฏ

i = 9% , n = 2 ได้ (A/P, 9% , 2) = 0.56847

i = 9% , n = 1 ได้ (A/P, 9% , 3) = 0.39505

ทำการ Interpolate n = 2.68 ปี (2 ปี 8 เดือน 9 วัน)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน คือ 2 ปี 8 เดือน 9 วัน (อายุการใช้งานของฟิล์มกรองแสงประมาณ 10 ปี)

- **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)**

จากสมการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = รายได้ – ค่าใช้จ่าย

= A (P/A, %, n) – P – F (P/F,%,n)

= 31,828(P/A,9%,20) – 49,600 – 49,600(P/F,9%,10)

= 220,007 บาท

- **อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)**

ใช้ i = 60 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = A (P/A, % , n) – P – F(P/F,9%,10)

= 31,828 (P/A,60%,20) - 49,600 – 49,600 (P/F,9%,10)

= 3,007 บาท

ใช้ i = 70 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = A (P/A, % , n) – P – F(P/F,9%,10)

= 31,828 (P/A,70%,20) – 49,600 – 49,600 (P/F,9%,10)

= -4,364 บาท

จะเห็นได้ว่าผลการตอบแทนที่แท้จริงอยู่ระหว่าง 60% - 70% สมมุติให้ อัตราผลตอบแทนเป็น X%

$$\frac{X - 60}{70 - 60} = \frac{3,007}{4,364 + 3,007}$$

$$\frac{X - 60}{10} = \frac{3,007}{7,371}$$

X = 64.08 %

ดังนั้น อัตราผลตอบแทน IRR ของโครงการนี้ เท่ากับ 64.08 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 2 เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง</u>

เมื่อปรับปรุงอาคารโดยทำการ เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง จะทำให้ค่า OTTV ลดลงจาก 66.40 W/m^2 เหลือเป็น 36.99 W/m^2 และสามารถคำนวณโดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

ผลต่างค่า OTTV ก่อนและหลังปรับปรุง	=	66.4 – 36.99	
	=	29.41	W/m^2
พื้นที่กรอบอาคารด้านผนัง รวม	=	195.3	ตารางเมตร
ดังนั้นพลังงานที่เข้าอาคารลดลง	=	29.41 x 195.3	
	=	5,743.773	Watt
(1 kWatt = 1,000 Watt)	=	5,743.773 / 1,000	
	=	5.74	kWatt
การทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน , 1 ปี ทำงาน 365 วัน			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศลดลง	=	(kW ของแอร์ที่ลดลง) x (เวลาการทำงาน) x (% การใช้งานของแอร์)	
	=	5.74 x 8 x 365 x 100%	
	=	16,760.8	kW/year
ราคาพลังงานไฟฟ้าประมาณหน่วยละ 2.00 บาท	=	16,760.8 x 2.00	
<u>ดังนั้น</u> คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	33,522	บาท/ปี
การคำนวณเงินลงทุน			
พื้นที่กระจก	=	57.6	ตารางเมตร
(1 m^2 = 10.7639 ft^2)	=	57.6 x 10.7639	
	=	620	ตารางฟุต
ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าติดตั้ง	=	110	บาท/ตร.ฟุต
<u>ดังนั้น</u> ต้นทุนรวมเท่ากับ	=	620 x 110	
	=	68,200	บาท

กระจกสะท้อนแสงมีอายุการใช้งาน 20 ปี และ ทำการเปรียบเทียบโดยคิดอายุโครงการ ที่ 20 ปี ดังนั้นจึงต้องมีการลงทุน 1 ครั้ง คือ ในปีที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)**

จากสมการ รายได้ = ค่าใช้จ่าย

33,522 = 68,200 (A/P, 9% , n)

$$(A/P, 9\%, n) = \frac{33,522}{68,200}$$

= 0.4915

จากตารางภาคผนวก ฎ

i = 9% , n = 2 ได้ (A/P, 9% , 2) = 0.56847

i = 9% , n = 3 ได้ (A/P, 9% , 3) = 0.39505

ทำการ Interpolate n = 2.44 ปี (2 ปี 5 เดือน 11 วัน)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน คือ 2 ปี 5 เดือน 11 วัน (อายุการใช้งานของกระจกสะท้อนแสงประมาณ 20 ปี)

- **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)**

จากสมการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = รายได้ - ค่าใช้จ่าย

= A (P/A, % , n) – P

= 33,522 (P/A, 9%, 20) - 68,200

= 237,823 บาท

- **อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)**

ใช้ i = 45 %

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = A (P/A, % , n) – P

= 33,522 (P/A, 45%, 20) - 68,200

= 6,249 บาท

ใช้ i = 50 %

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = A (P/A, % , n) – P

= 33,522 (P/A, 50%, 20) – 68,200

= -1,177 บาท

จะเห็นได้ว่าผลการตอบแทนที่แท้จริงอยู่ระหว่าง 45% - 50% สมมุติให้ อัตราผลตอบแทนเป็น X%

$$\frac{X - 45}{50 - 45} = \frac{6,249}{1,177 + 6,249}$$

$$\frac{X - 45}{5} = \frac{6,249}{7,426}$$

X = 49.2 %

ดังนั้น อัตราผลตอบแทน IRR ของโครงการนี้ เท่ากับ 49.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กรณีที่ 3 เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)</u>

เมื่อปรับปรุงอาคารโดยทำการ เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน จะทำให้ค่า OTTV ลดลง จาก 66.40 W/m^2 เหลือเป็น 32.74 W/m^2 และสามารถคำนวณโดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังนี้

ผลต่างค่า OTTV ก่อนและหลังปรับปรุง	=	66.4 – 32.74	
	=	33.66	W/m^2
พื้นที่กรอบอาคารด้านผนัง รวม	=	195.3	ตารางเมตร
ดังนั้นพลังงานที่เข้าอาคารลดลง	=	33.66 x 195.3	
	=	6,573.798	Watt
(1 kWatt = 1,000 Watt)	=	6,573.798 / 1,000	
	=	6.57	kWatt
การทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน , 1 ปี ทำงาน 365 วัน			
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศลดลง	=	(kW ของแอร์ที่ลดลง) x (เวลาการทำงาน) x (% การใช้งานของแอร์)	
	=	6.57 x 8 x 365 x 100%	
	=	19,184.4	kW/year
ราคาพลังงานไฟฟ้าประมาณหน่วยละ 2.00 บาท	=	18,967.38 x 2.00	
<u>ดังนั้น</u> คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	38,369	บาท/ปี

การคำนวณเงินลงทุน

พื้นที่กระจก	=	57.6	ตารางเมตร
ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าติดตั้ง	=	2,260	บาท/ตร.ม.
<u>ดังนั้น</u> ต้นทุนรวมเท่ากับ	=	57.6 x 2,260	
	=	130,176	บาท

กระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น) มีอายุการใช้งาน 20 ปี และ ทำการเปรียบเทียบ โดยคิดอายุโครงการที่ 20 ปี ดังนั้นจึงต้องมีการลงทุน 1 ครั้ง คือ ในปีที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)**

จากสมการ รายได้ = ค่าใช้จ่าย

37,935 = 130,176 (A/P, 9% , n)

$$(A/P, 9\% , n) = \frac{38,369}{130,176}$$

= 0.29475

จากตารางภาคผนวก ฏ

i = 9% , n = 4 ได้ (A/P, 9% , 4) = 0.30867

i = 9% , n = 5 ได้ (A/P, 9% , 5) = 0.25709

ทำการ Interpolate n = 4.55 ปี (4 ปี 6 เดือน 21 วัน)

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน คือ 4 ปี 6 เดือน 21 วัน (อายุการใช้งานของกระจกฉนวนความร้อนประมาณ 20 ปี)

- **มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)**

จากสมการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = รายได้ - ค่าใช้จ่าย

= A (P/A, % , n) – P

= 38,369 (P/A, 9%, 20) - 130,176

= 220,095 บาท

- **อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)**

ใช้ i = 25 %

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = A (P/A, % , n) – P

= 38,369 (P/A, 25%, 20) - 130,176

= 21,536 บาท

ใช้ i = 30 %

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = A (P/A, % , n) – P

= 38,369 (P/A, 30%, 20) – 130,176

= -2,945 บาท

จะเห็นได้ว่าผลการตอบแทนที่แท้จริงอยู่ระหว่าง 25% - 30% สมมุติให้ อัตราผลตอบแทนเป็น X%

$$\frac{X - 25}{30 - 25} = \frac{21,536}{2,945 + 21,536}$$

$$\frac{X - 25}{5} = \frac{21,536}{24,481}$$

X = 29.40 %

ดังนั้น อัตราผลตอบแทน IRR ของโครงการนี้ เท่ากับ 29.40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 สรุปแนวทางการแก้ปัญหา

จากการวิเคราะห์ในเศรษฐศาสตร์ ของแนวทางการปรับปรุงอาคารทั้ง 3 กรณี สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อการตัดสินใจได้ ดังนี้

ตารางที่ 7.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างอาคารเพื่อลดค่า OTTV (เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี)

วิธีการปรับปรุง	รายได้ (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
การติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก	31,828	49,600 x 2 ครั้ง	220,007	64.08 %	2.68 ปี
การเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง	33,522	68,200	237,823	49.20 %	2.44 ปี
การเปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน	38,369	130,176	220,095	29.40 %	4.55 ปี

หมายเหตุ เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี จะมีการลงทุนติดฟิล์มกรองแสง 2 ครั้ง คือในปีที่ 0 และปีที่ 10

สรุป

จากตารางแสดงให้เห็นว่า เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี ทุกโครงการน่าลงทุน แต่เนื่องจาก มีค่าเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ที่ใกล้เคียงกันมาก โดยเฉพาะ วิธีการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก และ วิธีการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์เพิ่มเติมอีกดังนี้

1) ถ้าคิดอายุโครงการที่ 20 ปี โครงการการลงทุนโดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง น่าลงทุนมากที่สุด เพราะให้ค่าผลตอบแทนและค่าเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด
2) ถ้าคิดอายุโครงการที่ 10 ปี โครงการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก น่าลงทุนมากที่สุด เพราะจะมีการลงทุนเพียง 1 ครั้ง จะทำให้มีค่าผลตอบแทนและค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด

สำหรับในอาคารกรณีศึกษา แนะนำให้เลือกใช้วิธีการติดฟิล์มกรองแสง เพราะ เหตุผลดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่เก่ามากแล้ว ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการเปลี่ยนไปใช้อาคารอื่นแทน ดังนั้นจึงเลือกใช้การติดฟิล์มกรองแสง เพราะ ใช้จำนวนเงินลงทุนขั้นต้นต่ำกว่าวิธีการปรับปรุงอื่น
2) ให้ค่าเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ที่สูงใกล้เคียงกับการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง
3) สามารถติดตั้งได้ง่าย และ เกิดผลกระทบน้อยกว่าวิธีการปรับปรุงแบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 ผลสรุปการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

8.1.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนที่เข้าตามกรอบอาคาร

8.1.1.1 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้าทางด้านผนังอาคาร (OTTV)

ผลการตรวจวัดค่า OTTV ในอาคารกรณีศึกษา มีค่า 66.4 Watt/m^2 ซึ่งมีค่าเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ คือ 55 Watt/m^2 ดังนั้น จึงต้องลดค่า OTTV ลงให้ได้ตามที่กฎหมายกำหนด ทำได้โดยการปรับปรุงอาคารทางสถาปัตยกรรม 3 วิธี คือ

- การติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก (กรอบอาคาร)
- การเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจกสะท้อนแสง
- การเปลี่ยนจากกระจกเดิม ไปเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)

ในการปรับปรุงโครงสร้างทั้ง 3 วิธีจะทำให้ได้ค่า OTTV ลงลงเหลือ

- ค่า OTTV หลังจากการติดฟิล์มกรองแสง = 38.50 W/m^2
- ค่า OTTV การเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง = 36.99 W/m^2
- ค่า OTTV การเปลี่ยนกระจกฉนวนความร้อน = 32.74 W/m^2

เนื่องจากเป็นมาตรการที่ต้องมีการลงทุน สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างอาคารทั้ง 3 วิธีนั้น จึงได้มีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าต่อการลงทุน ด้วยการหา มูลค่าปัจจุบันสุทธิ,อัตราผลตอบแทน และระยะเวลาคืนทุนมาใช้ในการตัดสินใจ ดังแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 8.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าที่ใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน สำหรับการปรับปรุงโครงสร้างอาคารเพื่อลดค่า OTTV (เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี)

วิธีการปรับปรุง	รายได้ (บาท/ปี)	เงินลงทุน (บาท)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	อัตราผลตอบแทน (%)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
การติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก	31,828	49,600	220,007	64.08 %	2.68 ปี
การเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง	33,522	68,200	237,823	49.20 %	2.44 ปี
การเปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน	38,369	130,176	220,095	29.40 %	4.55 ปี

หมายเหตุ เมื่อคิดอายุโครงการที่ 20 ปี จะมีการลงทุนติดฟิล์มกรองแสง 2 ครั้ง คือในปีที่ 0 และปีที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สรุป</u> จากตารางแสดงให้เห็นว่า ทุกโครงการน่าลงทุน แต่เนื่องจาก มีค่าเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมแล้ว ผลดังนี้ วิธีการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสงเหมาะสมสำหรับอายุโครงการที่ 20 ปี และ วิธีการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก เหมาะสมสำหรับอายุโครงการที่ 10 ปี

สำหรับในอาคารกรณีศึกษา แนะนำให้เลือกใช้วิธีการติดฟิล์มกรองแสง เพราะ เหตุผลดังต่อไปนี้

1) เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่เก่ามากแล้ว ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการเปลี่ยนไปใช้อาคารอื่นแทน ดังนั้นจึงเลือกใช้การติดฟิล์มกรองแสง เพราะ ใช้จำนวนเงินลงทุนขั้นต้นต่ำกว่าวิธีการปรับปรุงอื่น
2) ให้ค่าเปรียบเทียบทางเศรษฐศาสตร์ที่สูงใกล้เคียงกับการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง
3) สามารถติดตั้งได้ง่าย และ เกิดผลกระทบน้อยกว่าวิธีการปรับปรุงแบบอื่น

8.1.1.2 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้าทางด้านหลังคาอาคาร (RTTV)

ผลการตรวจวัดค่า RTTV ในอาคารกรณีศึกษา มีค่า 22.4 Watt/m^2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ คือ 25 Watt/m^2 ดังนั้น จึงไม่ต้องทำการปรับปรุงอาคาร เพื่อลดค่านี้ลงอีก

8.1.2 การคำนวณภาระความเย็น

จากการคำนวณ ค่าภาระความเย็น ของอาคารกรณีศึกษา ทำให้สามารถเลือกใช้ ค่าภาระความเย็น (โหลดปรับอากาศ) ได้เหมาะสมกับลักษณะของห้อง สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 8.2 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าภาระความเย็น ที่ติดตั้งจริง(เดิม) เปรียบเทียบกับ ผลการคำนวณ ค่าภาระความเย็นที่เหมาะสม แยกตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น ที่ติดตั้งจริง (เดิม) (Btu/hr)	ค่าภาระความเย็น ที่เหมาะสม (Btu/hr)
IE-101	12,000	5,987.88
IE-102-1	33,000	9,386.69
IE-102-2	12,000	6,739.46
IE-103	33,000	13,192.42
IE-201	66,000	23,570.14
IE-202	12,000	19,991.38
IE-203	18,000	20,743.02
IE-204	60,000	63,742.40
IE-205	24,000	57,456.75
IE-206	38,000	17,368.70
รวม	308,000	238,179

สรุปภาระปรับอากาศ

ก. มีการติดตั้งขนาดของเครื่องปรับอากาศที่มากเกินความจำเป็น ในห้อง IE-101, IE-102-1, IE102-2, IE-103, IE-201, IE-206

ข. มีการใช้ขนาดเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr) น้อยเกินไป ในห้อง IE-202, IE-203, IE-204, IE-205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ผลสรุปการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

ผลจากการตรวจวัด ทำให้สรุปเป็นแนวทางการจัดการของระบบการส่องสว่างได้ดังนี้

ก. ทำการเปิดหลอดไฟทั้งห้อง ในห้อง IE-102, , IE-103, IE-201, IE-205

ข. ทำการติดตั้งหลอดไฟเพิ่ม ในห้อง IE-101

ค. ทำการเปลี่ยนหลอดไฟให้มีสภาพที่สมบูรณ์ ใช้งานได้ ในห้อง IE-206

ง. ลดปริมาณการใช้หลอดไฟลง โดย เปิดไฟครึ่งห้อง (ในห้อง IE-202, IE-203) และ เปิดหลอดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง (ในห้องIE-204)

เมื่อทำการลดปริมาณการใช้ไฟ โดยทำการ เปิดไฟครึ่งห้อง และ เปิดหลอดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง จะทำให้ประหยัดค่าไฟได้ดังนี้

- ห้อง IE-202 ประหยัดค่าไฟ 1,075 บาท/ปี
- ห้อง IE-203 ประหยัดค่าไฟ 2,150 บาท/ปี
- ห้อง IE-204 ประหยัดค่าไฟ 2,874 บาท/ปี

รวม ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อเปิดไฟเพียงบางส่วนของห้อง คือ 6,099 บาท/ปี

8.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา สามารถสรุปข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดการพลังงานได้ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

1.1. ควรมีการบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็น และ เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศลง

1.2. ให้ทำการปิดเครื่องปรับอากาศ ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น.

1.3. เขียนป้ายรณรงค์ให้ทำการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ ให้พอเหมาะ คือ ประมาณ 25 องศาเซลเซียส

1.4. มีการทำแผ่นปิด ให้ความรู้เรื่องการใช้งานเครื่องปรับอากาศ อย่างถูกวิธี เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน

1.5. ในห้องที่มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ควรเปิดเครื่องปรับอากาศสลับกันเป็นช่วงๆ เพื่อยืดอายุเครื่องปรับอากาศ

2. ข้อเสนอแนะการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

2.1 ทำการปิดไฟ ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น.

2.2 ปิดไฟทุกครั้งเมื่อไม่ต้องการใช้

2.3 เลือกใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง คือ สามารถให้ปริมาณความสว่าง (lumen) มาก แต่ใช้กำลังไฟฟ้า (watt) ต่ำ เช่น หลอด Fluorescent ชนิดประหยัดพลังงาน (36 และ18 watts), หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก (PL), หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน (SL)

2.4 ทำความสะอาดโคมไฟและหลอดไฟอย่างสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคในการศึกษา ได้แก่

1. แบบแปลน

เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่ได้ก่อสร้างและใช้งานมาเป็นเวลานาน ทำให้ไม่สามารถหาแบบแปลนได้ ดังนั้นจึงต้องทำการวัดและวาดแบบแปลนขึ้นมาเอง จึงทำให้เกิดความไม่เที่ยงตรงในการคำนวณค่า OTTV และค่า RTTV ได้

2. เครื่องมือวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

เนื่องจากทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ไม่มีเครื่องมือวัดดังกล่าว จึงต้องทำเรื่องขอยืมจากทางภาควิชาวิศวกรรรมไฟฟ้า ดังนั้นทำให้เกิดความล่าช้าและไม่สะดวกในบางส่วน

3. มาตรวัดไฟฟ้า

เนื่องจากอาคารกรณีศึกษา ไม่มีการติดตั้งมาตรวัดไฟฟ้า ของอาคารเอง เพราะเป็นการใช้มาตรวัดไฟฟ้าร่วมกับอาคารอื่นๆ ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ดังนั้นจึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าพลังงานการใช้ไฟรวมในส่วนอาคารกรณีศึกษาได้

8.5 สรุปและวิจารณ์การทำงาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา เพื่อหาแนวทางในการจัดการประหยัดพลังงานในอาคาร โดยเลือกใช้ อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เป็นกรณีศึกษา ซึ่งเป็นการปรับปรุงอาคารเก่าให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน โดยจะต้องทำการเก็บข้อมูลและตรวจวัดอุปกรณ์ที่ใช้ในอาคาร อันมีวิธีการดำเนินงานที่แตกต่างจากการออกแบบอาคารใหม่ เพราะในอาคารใหม่สามารถเลือกใช้วัสดุที่ประหยัดพลังงานได้เลย แต่ในการปรับปรุงอาคารเก่าจะต้องทำการสำรวจ ตรวจวัด และเก็บข้อมูล ซึ่งจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับข้อจำกัดของอาคารนั้นด้วย หลังจากที่ได้ทำการเก็บข้อมูลของอาคารแล้ว จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประเมินผล การใช้พลังงานปัจจุบันของอาคาร แล้วทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน หากค่าที่ได้ไม่ตรงตามมาตรฐาน จะทำการเสนอแนวทางเลือกหลายทางเลือกเพื่อปรับปรุงค่าตามมาตรฐาน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์คำนวณหาแนวทางการปรับปรุงที่คุ้มค่าที่สุด

อนึ่ง ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางให้แก่ผู้ที่ศึกษา นำไปประยุกต์ปรับใช้ในอาคารอื่นเพื่อการปรับปรุงอาคารเก่าให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ ก-ฎ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางประกอบการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Td_{eq}) สำหรับผนัง

มวลของผนัง กก./ม.^{2}	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์				
	0.1 <0-0.2>	0.3 <0.2-0.4>	0.5 <0.4-0.6>	0.7 <0.6-0.8>	0.9 <0.8-1.0>
0-125	14	15	16	17	18
126-195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

ตารางที่ ก-2 ค่าตัวประกอบแก้สำหรับผนัง

ทิศ / มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงใต้
70	1.06	1.24	1.52	1.63	1.63	1.60	1.48	1.22
75	0.96	1.14	1.42	1.52	1.50	1.48	1.38	1.12
80	0.87	1.05	1.32	1.40	1.37	1.37	1.28	1.02
85	0.78	0.96	1.22	1.29	1.24	1.25	1.17	0.93
90	0.70	0.87	1.12	1.17	1.11	1.13	1.03	0.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Td_{eq})สำหรับหลังคา

มวลของผนัง กก./ม.^{2}	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
	0.1 <0-0.2>	0.3 <0.2-0.4>	0.5 <0.4-0.6>	0.6 และมากกว่า <0.6-1.0>
0-125	20	24	28	32
126-195	16	20	24	28
เกินกว่า 195	12	16	20	24

ตารางที่ ก-4 ค่าตัวประกอบแก้สำหรับหลังคา

ทิศ / มุมเอียง	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงใต้
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.98	0.99	0.99	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99
10	0.96	0.97	0.99	1.01	1.02	1.01	0.99	0.97
15	0.93	0.95	0.98	1.01	1.02	1.00	0.98	0.95
20	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.00	0.96	0.92
25	1.87	0.90	0.95	0.99	1.01	0.98	0.94	0.89
30	0.83	0.86	0.93	0.98	0.99	0.97	0.92	0.86
35	0.78	0.83	0.90	0.96	0.97	0.95	0.89	0.82
40	0.74	0.79	0.87	0.93	0.95	0.92	0.86	0.78
45	0.69	0.75	0.84	0.90	0.92	0.89	0.83	0.74
50	1.64	0.71	0.81	0.87	0.88	0.86	0.79	0.70
55	0.59	0.66	0.77	0.83	0.84	0.82	0.76	0.66
60	0.54	0.62	0.73	0.79	0.80	0.78	0.72	0.61
65	0.50	0.58	0.69	0.75	0.75	0.73	0.68	0.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น kf/m^2	ค่า k W/m-°C
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	1860	0.198
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	720	0.108
3	วัสดุมุงหลังคาที่ทำด้วยแอสฟัลท์	2240	1.226
4	บิทูเม็น		1.298
5	อิฐ		
	(ก) แห้ง และฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่นโมเสด	1760	0.807
	(ข) ความชื้น 6 %	1872	1.211
	(ค) ผนัง (ไม่ฉาบปูน)		1.54
6	คอนกรีต	2400	1.442
7	คอนกรีต ชนิดเบา ขนาดความหนาแน่นต่างๆ	960	0.303
		1120	0.346
		1280	0.476
8	แผ่นไม้ก๊อก	144	0.042
9	แผ่นไฟเบอร์ (fiber board)	264	0.052
10	แผ่นไฟเบอร์กลาส (ดูใยแก้วและใยแร่)		
11	แผ่นกระจก	2512	1.053
12	ใยแก้ว สานเป็นแผ่น หรือสอดอยู่ระหว่างวัสดุอื่น 2 แผ่น (แห้ง)	32	0.035
13	แผ่นยิปซั่ม	880	0.191
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด		
	(ก) มาตรฐาน	1024	0.216
	(ข) ปานกลาง	640	0.123
15	โลหะ		
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบธรรมดา	2672	211
	(ข) ทองแดง ที่มีขายเชิงพาณิชย์	8784	385
	(ค) เหล็กกล้า	7840	47.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 (ต่อ) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และความหนาแน่นของวัสดุต่างๆ

ลำดับที่	วัสดุ	ความหนาแน่น kf/m^2	ค่า k W/m-°C
16	ใยแร่, อัดแน่นเป็นแผ่น	32-104	0.035-0.032
17	วัสดุใช้ฉาบหรือปิดผิด		
	(ก) ยิปซั่ม	880	0.191
	(ข) ปูนฉาบ น้ำหนักเบา	300	0.063
	น้ำหนักปานกลาง	1104	0.274
	(ค) เพอร์ไลท์	616	0.115
	(ง) ปูนผสมทราย	1568	0.533
	(จ) เวอร์มิคูไลท์	640-960	0.202-0.303
18	ไพลีสไตรีน , เบ่งขยายตัว	16	0.035
19	โพลียูรีเทน , โฟม	24	0.024
20	วัสดุทำพื้น PVC	1360	0.173
21	ดินอัดหลวม (ร่วนซุย) ความชื้น 14 %	1200	0.375
22	หิน		
	หินทราย	2000-10-12	1.298
	แกรนิต	2640	2.927
	หินอ่อน	2640	1.298
23	กระเบื้อง, หลังคา	1890	0.836
24	ไม้		
	ไม้เนื้อแข็ง	608	0.125
	ไม้เนื้ออ่อน	720	0.138
	ไม้อ่อน	528	0.138
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดหยาบอัดหลวม	80-112	0.065
26	ไม้อัดชีพบอร์ด	800	0.144
27	ไม้พื้นแผ่นเรียบ	400	0.086
28	หินล้าง	2245	0.115
29	กรวดล้าง	2244	0.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2-°C/W)
ก. กรณีของผนังอาคาร	
ก.1 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน (R_i)	
ก.1.1 กรณีที่ผิวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120
ก.1.2 กรณีที่ผิวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299
ก.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก (R_0)	
(ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง)	0.044
ข. กรณีของหลังคา	
ข.1 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน	
ของหลังคา (R_i)	
ข.1.1 กรณีที่ผิวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	
ข.1.1.1 หลังคาราบ	0.162
ข.1.1.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5 ° กับแนวระดับ	0.148
ข.1.1.3 หลังคาเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.133
ข.1.2 กรณีที่ผิวมีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	
ข.1.2.1 หลังคาราบ	0.801
ข.1.2.2 หลังคาเอียงทำมุม 22.5 ° กับแนวระดับ	0.595
ข.1.2.3 หลังคาเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.391
ข.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก	
ของหลังคา (R_0)	
(ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและเอียงทำมุมใดๆ)	0.055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา

ชนิดของช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2- C/W)		
	5 มม.	20 มม.	100 มม.
ก. กรณีช่องว่างอากาศในผนัง			
ก.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
ก.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606
ข. กรณีช่องว่างอากาศในหลังคา			
ข.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง			
ข.1.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.110	0.148	0.174
ข.1.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.164
ข.1.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.158
ข.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ			
ข.2.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.250	0.572	1.423
ข.2.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.250	0.571	1.095
ข.2.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.250	0.570	0.768
ค. กรณีช่องว่างอากาศในเพดาน			
ค.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		0.458	
ค.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		1.356	

<u>หมายเหตุ</u> จากการ interpolate จะได้ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ กรณีช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ที่ความหนา 12 มม. เท่ากับ 0.128 (ใช้ในกระจก 2 ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 แสดงรายการวัสดุและสีทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ทำผนังภายนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง [$\alpha < 0.2$]	ผิววัสดุที่ฉาบด้วยดีบุก แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	สีสะท้อนแสง
[$0.2 < \alpha < 0.4$]	เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	สีเงิน สีขาวเป็นเงา
[$0.4 < \alpha < 0.6$]	หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว อิฐสีเหลืองอ่อน หินอ่อนสีขาว กรวดล้าง	สีน้ำเงินปานกลาง สีเหลืองปานกลาง สีส้มปานกลาง สีเขียวปานกลาง
[$0.6 < \alpha < 0.8$]	ไม้ผิวเรียบ แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส หินล้างสีเทา	สีน้ำเงิน สีเทาอ่อน สีสนิมปานกลาง
[$0.8 < \alpha < 1.0$]	คอนกรีตสีน้ำตาล วัสดุมุงหลังคาสีเขียว หินชนวนสีเทาแกมน้ำเงิน อิฐสีแดง อิฐแสตฟฟอร์ดสีน้ำเงิน คอนกรีตสีดำ	สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม สีน้ำตาลแก่ สีโอลีฟเข้ม สีดำ แลคเกอร์สีน้ำเงินแก่ สีเทาแก่ สีดำธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกชนิดต่างๆ

ชนิดกระจก	ความหนา (mm)	มวลของกระจก (kg/m^2)	สัมประสิทธิ์การบังแดด (SC_1)
กระจกโฟลทใส (Clear Float Glass)	2	90	1.02
	3	18	1.00
	4	26	.099
	5	360	0.97
	6	440	0.96
	8	800	0.92
	10	1,000	0.90
	12	1,200	0.87
	15	1,700	0.84
	19	2,600	0.79
กระจกสีชา (Cool Gray)	6	440	0.64
	8	800	0.57
	10	1,000	0.52
	12	1,200	0.47
กระจกสีชาดำ (Dark Cool Gray)	5	360	0.66
	6	440	0.63
กระจกสีบรอนซ์ (Cool Bronze)	6	440	0.71
	8	800	0.63
	10	1,000	0.57
	12	1,200	0.52
กระจกสีฟ้า (Sky cool)	5	360	0.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-10 ตัวประกอบภาระความเย็นของความร้อนสัมผัสจากคน

Total Hours In Space	Hours After Each Into CLF							
	1.00	4.00	7.00	10.00	13.00	16.00	19.00	22.00
2	0.49	0.13	0.07	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
4	0.49	0.71	0.16	0.10	0.06	0.04	0.03	0.02
6	0.50	0.72	0.34	0.18	0.11	0.07	0.05	0.03
8	0.51	0.72	0.82	0.90	0.18	0.12	0.08	0.05
10	0.53	0.74	0.83	0.89	0.28	0.17	0.11	0.08
12	0.55	0.75	0.84	0.89	0.45	0.25	0.16	0.11
14	0.58	0.77	0.85	0.90	0.93	0.38	0.23	0.15
16	0.62	0.79	0.87	0.91	0.94	0.96	0.33	0.20
18	0.66	0.82	0.89	0.93	0.95	0.97	0.50	0.28

หมายเหตุ ที่มา ASHRAE Handbook of Fundamental, 1989

ตารางที่ ก-11 อัตราความร้อนของคนในบริเวณปรับอากาศ

ระดับของกิจกรรม	ตัวอย่าง	ความร้อนสัมผัส	ความร้อนแฝง
นั่ง , งานเบา	สำนักงาน	245	155
ยืน , เดิน	ห้างสรรพสินค้า , ร้านค้าขายปลีก	250	200
ยืน , เดิน	ร้านขายยา , ธนาคาร	250	250
นั่ง	ภัตตาคาร	275	275
งานเบา	โรงงานอุตสาหกรรม	275	475
เครื่องจักรเบา	โรงงานอุตสาหกรรม	375	625
โบว์ลิ่ง	สู่โบว์ลิ่ง	580	870
งานหนัก	โรงงานอุตสาหกรรม	580	870
เครื่องจักรหนัก	โรงงานอุตสาหกรรม	635	965
กีฬา	โรงยิม	710	1090

หมายเหตุ ที่มา ASHRAE Handbook of Fundamental, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-12 มาตรฐานการระบายอากาศ

ลักษณะการใช้งาน	Cfm ต่อคน
สำนักงานทั่วไป	20
ห้องประชุม	20
ห้องผ่าตัด	30
ห้องตรวจโรค	15
ห้องเรียน	15
พื้นที่พักรอ	15
ห้องออกกำลังกาย	25
ร้านอาหาร	20
ห้องสมุด	15
ห้องพักคนไข้	25

หมายเหตุ ที่มา CARRIER Handbook of Air Conditioning System Design, 1995

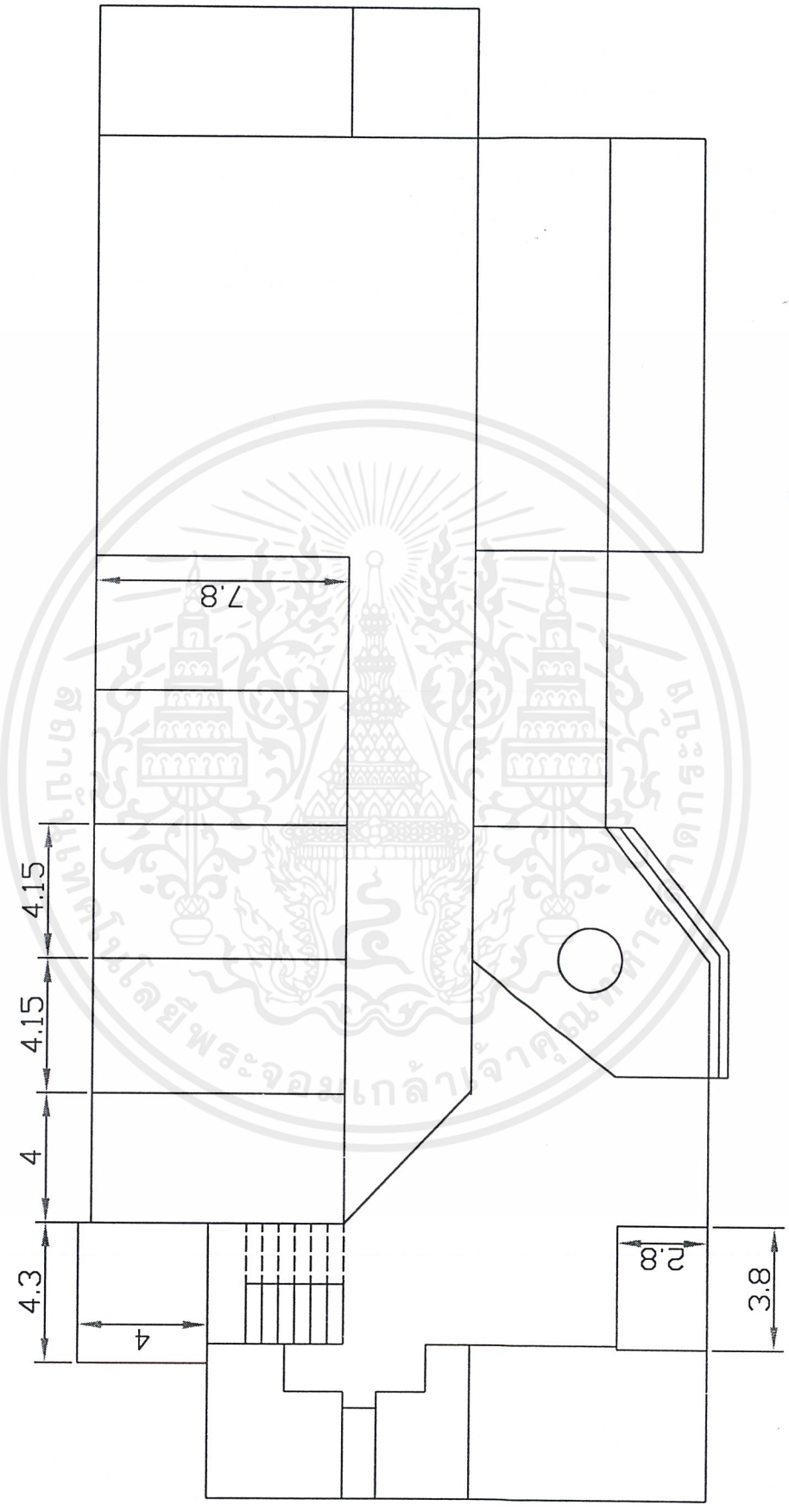
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพและแบบแปลนอาคาร

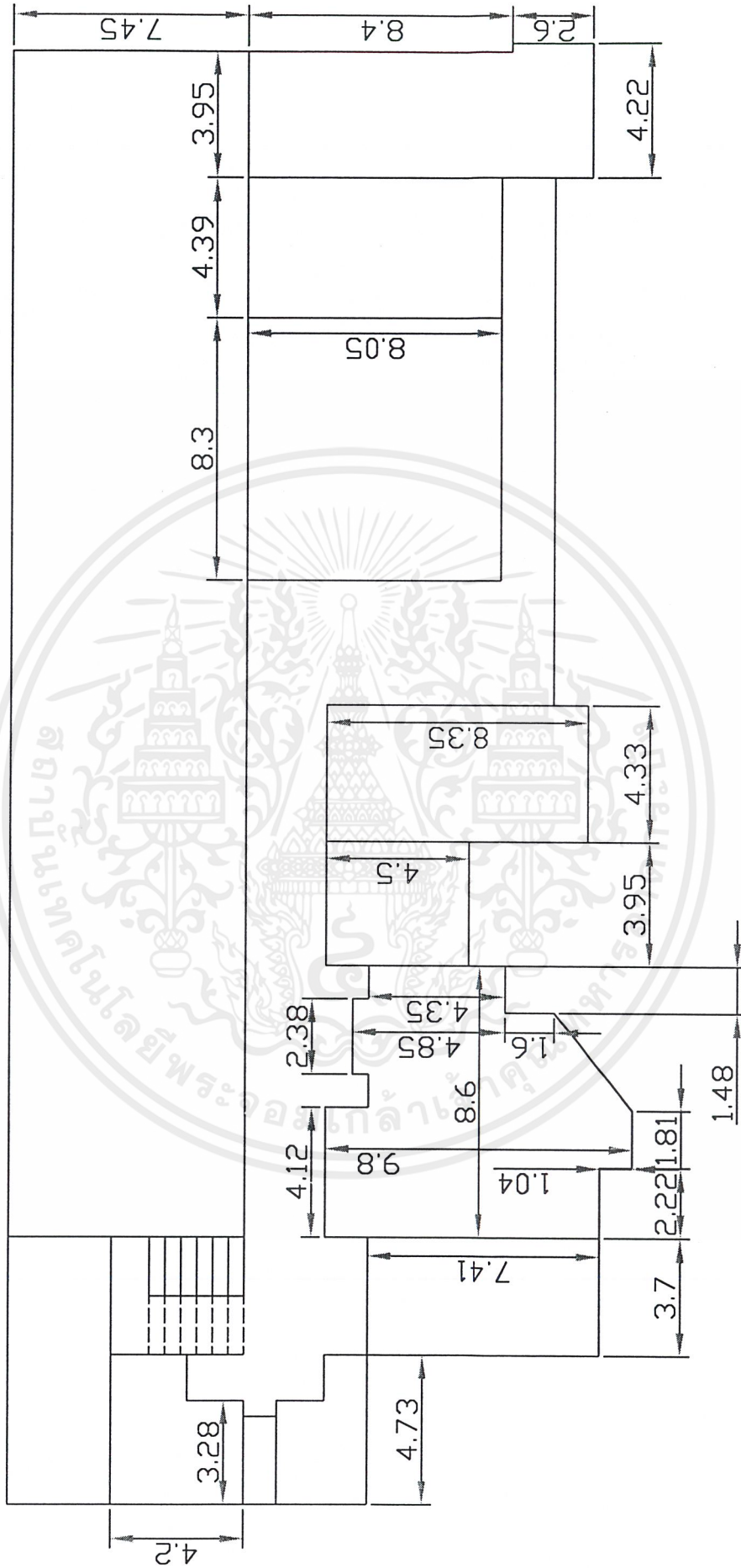
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลนชั้นลาง

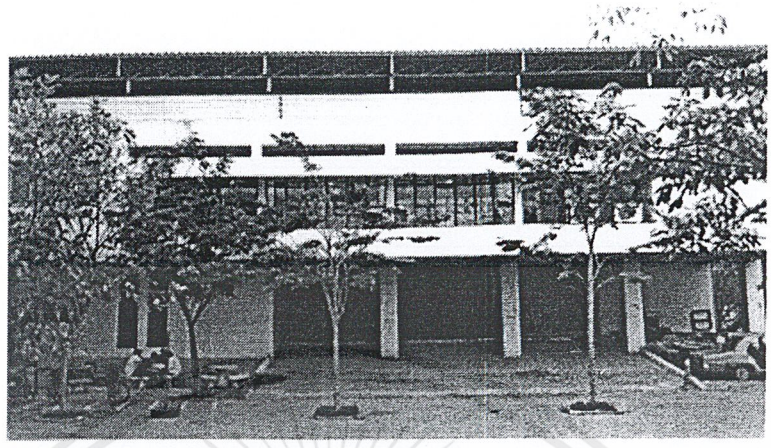


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

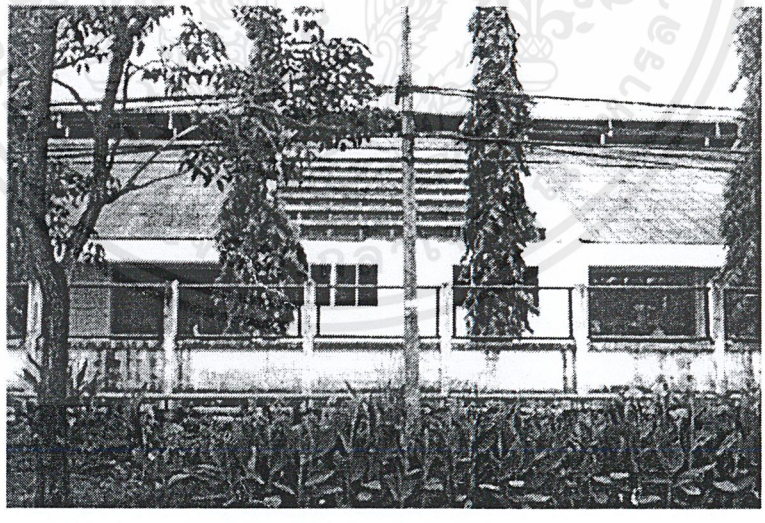
แปลนชั้นบน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

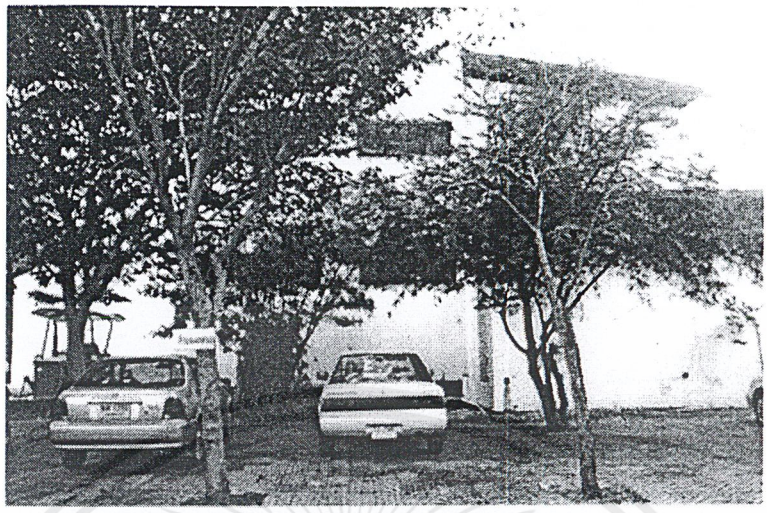


รูปที่ ข-1 ภาพด้านหน้าอาคาร

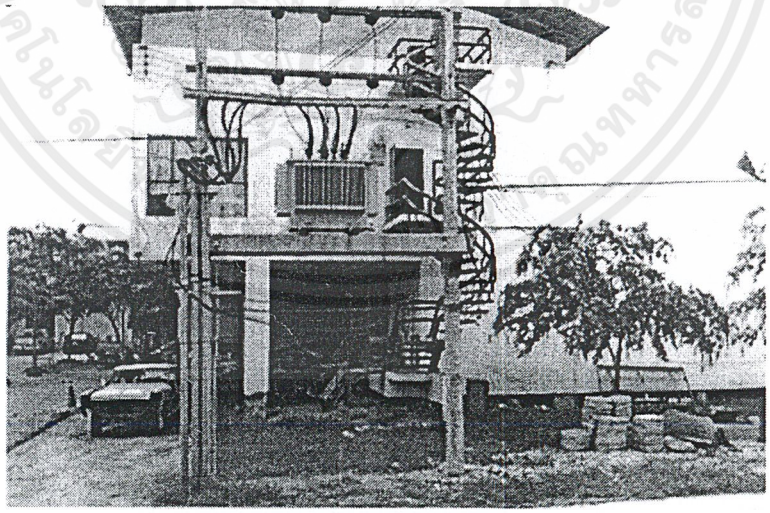


รูปที่ ข-2 ภาพด้านหลังอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

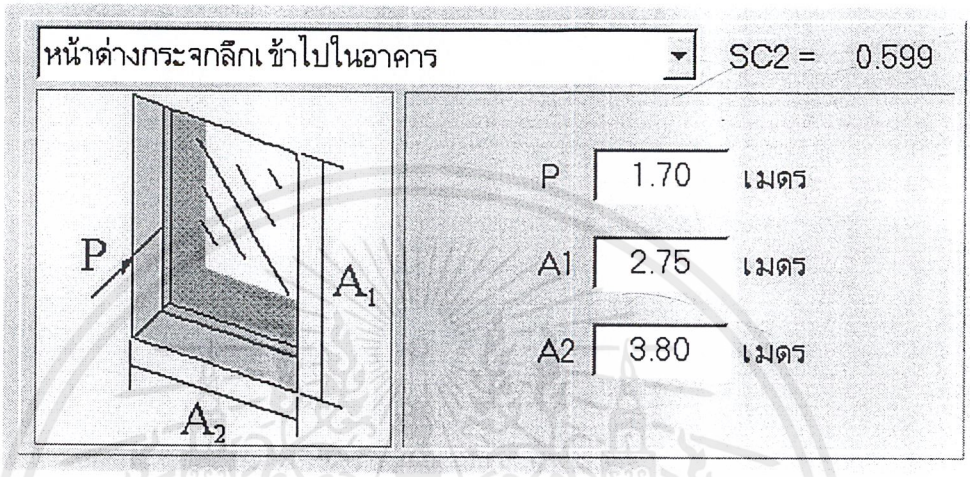


รูปที่ ข-3 ภาพด้านข้างอาคาร

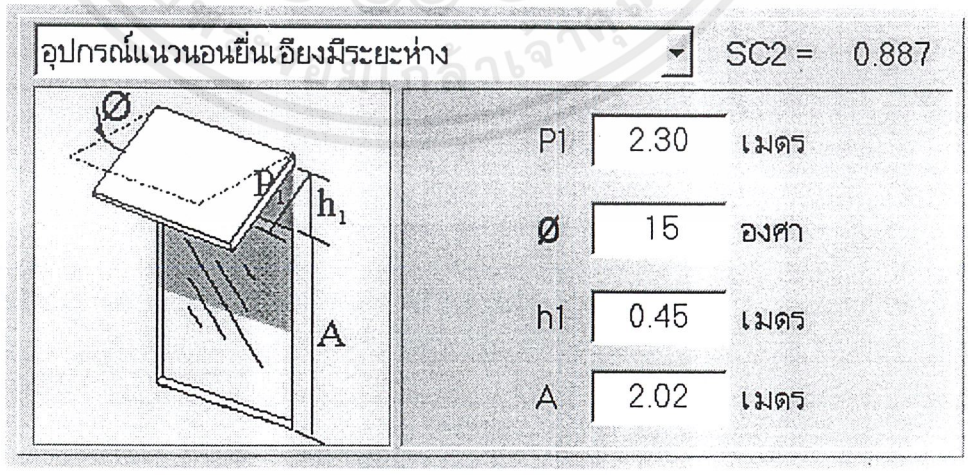


รูปที่ ข-4 ภาพด้านข้างอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

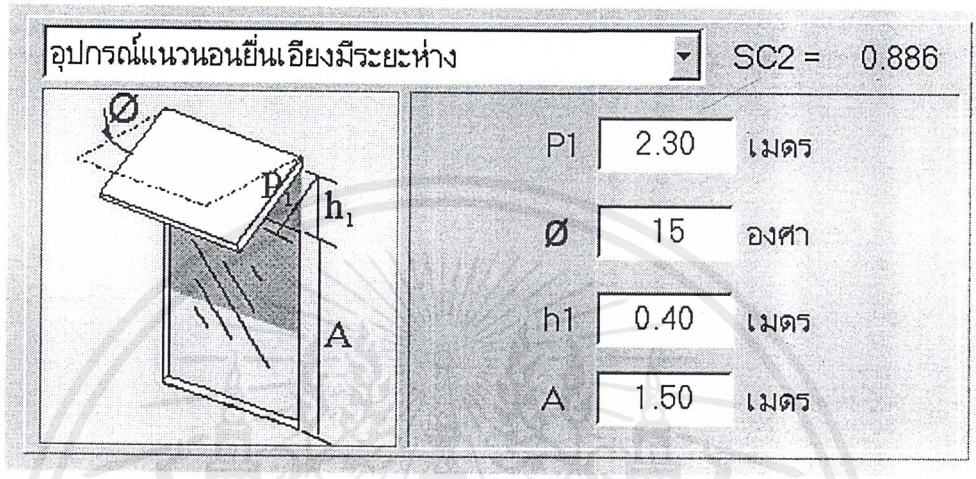


รูปที่ ข-5 Overhang1

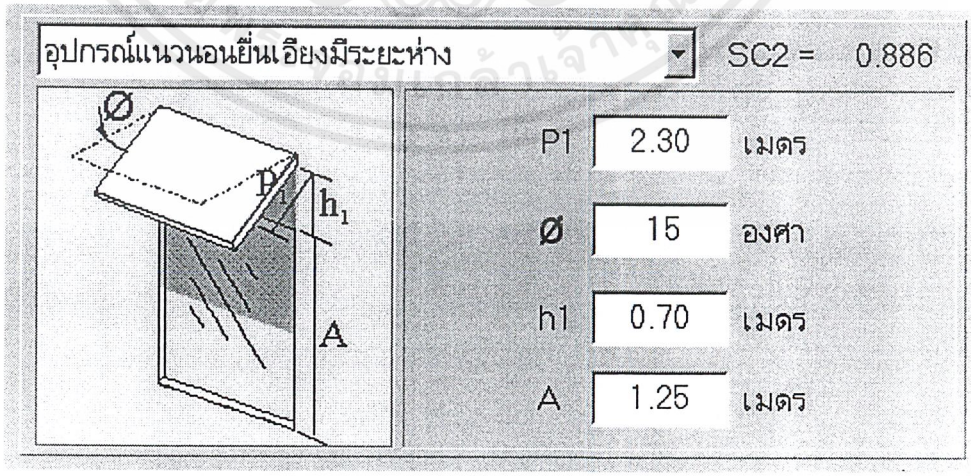


รูปที่ ข-6 Overhang 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

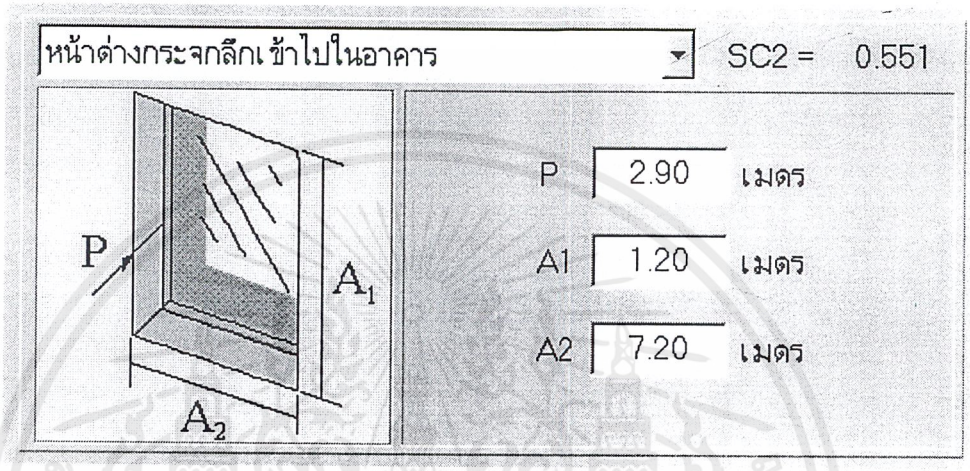


รูปที่ ข-7 Overhang 3



รูปที่ ข-8 Overhang 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-9 Overhang 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

กฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พระราชกฤษฎีกา

กำหนดอาคารควบคุม

พ.ศ. 2538

ภูมิพลอดุลยเดช ปร.

ให้ไว้ ณ วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ.2538

เป็นปีที่ 50 ในรัชกาลปัจจุบัน

พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช มีพระราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้ประกาศว่า

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดอาคารบางประเภทให้เป็นอาคารควบคุม เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงาน

อาศัยตามความในมาตรา 178 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย ซึ่ง แก้ไขเพิ่มเติมโดยรัฐธรรมนูญ แห่งราชอาณาจักรไทย แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 5) พุทธศักราชที่ 2538 และมาตรา 18 วรรคหนึ่งแห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538 จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ตราพระราชกฤษฎีกาขึ้นไว้ ดังต่อไปนี้

มาตรา 1 พระราชกฤษฎีกานี้เรียกว่า " พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2538 "

มาตรา 2 พระราชกฤษฎีกานี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยยี่สิบวัน นับตั้งแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

มาตรา 3 ให้อาคารที่มิใช่อาคารที่ใช้เป็นพระที่นั่งหรือพระราชวัง อาคารที่ทำการสถานทูตหรือสถานกงสุลต่างประเทศ อาคารที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรือที่ทำการของหน่วยงานที่ตั้งขึ้นตามความตกลงระหว่างระหว่างรัฐบาลไทยและรัฐบาลต่างประเทศ โบราณสถาน วัดวาอารามหรืออาคารต่างๆ ที่ใช้เพื่อการศาสนา ซึ่งมีกฎหมายควบคุมการก่อสร้างไว้แล้วโดยเฉพาะ ที่มีการใช้พลังงานดังต่อไปนี้เป็นอาคารควบคุม

(1) อาคารหลังเดียว หรือหลายหลังภายใต้เลขที่บ้านเดียวกัน ที่ได้รับอนุมัติจากผู้จำหน่ายให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้า หรือให้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียว หรือหลายชุดรวมกัน มีขนาดตั้งแต่หนึ่งพันกิโลวัตต์ หรือหนึ่งพันหนึ่งร้อยเจ็ดสิบห้ากิโลโวลท์แอมแปร์ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) อาคารหลังเดียว หรือหลายหลังภายใต้เลขที่บ้านเดียวกัน ที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบของผู้จำหน่าย ความร้อนจากไอน้ำจากผู้จำหน่าย หรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นจากผู้จำหน่าย หรือของตนเองอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือรวมกันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมถึงวันที่ 31 ธันวาคมของปีที่ผ่านมา มีปริมาณพลังงานทั้งหมดเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ยี่สิบล้านเมกกะจูลขึ้นไป

ผู้รับสนองพระบรมราชโองการ

ชวน หลีกภัย
นายกรัฐมนตรี

ประกาศในราชกิจานุเบกษา ฉบับกฤษฎีกา เล่ม 112 ตอนที่ 33 ก ลงวันที่ 14 สิงหาคม 2538

หมายเหตุ : เหตุผลในการประกาศใช้พระราชกฤษฎีกาฉบับนี้คือ โดยที่เป็นการสมควรกำหนดอาคารที่ได้รับอนุมัติจากผู้จำหน่ายให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้า หรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวหรือหลายชุดรวมกัน ขนาดตั้งแต่หนึ่งพันกิโลวัตต์ หรือหนึ่งพันเจ็ดร้อยห้าสิบห้ากิโลแอมแปร์ขึ้นไป หรืออาคารที่มีการใช้ไฟฟ้าจากระบบของผู้จำหน่าย ความร้อนจากไอน้ำจากผู้จำหน่าย หรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นจากผู้จำหน่ายหรือของตนเองอย่างหนึ่งอย่างใด หรือรวมกันในรอบปีปฏิทินที่ผ่านมามีปริมาณพลังงาน ตั้งแต่ยี่สิบล้านเมกกะจูลขึ้นไป ให้เป็นอาคารควบคุม และโดยที่มาตรา 18 วรรคหนึ่ง แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 บัญญัติว่า การกำหนดอาคารประเภทใด ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน และวิธีการใช้พลังงานอย่างใดให้เป็นอาคารควบคุม ให้ตราเป็นพระราชกฤษฎีกา จึงจำเป็นต้องตราพระราชกฤษฎีกานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎกระทรวง

(พ.ศ. 2538)

ออกความตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 6 และมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

หมวดที่ 1

ขอบเขตการบังคับใช้

ข้อ 1 กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับกับอาคารควบคุม ตามพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ.2535

ข้อ 2 ในกฎกระทรวงนี้

" อาคารเก่า " หมายความว่า อาคารที่ได้ก่อสร้างเสร็จหรือกำลังก่อสร้างหรือยังไม่ได้ก่อสร้าง แต่ได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างไว้ก่อนที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุม ตามมาตรา 18 มีผลบังคับใช้

"อาคารใหม่" หมายความว่า อาคารที่ยื่นอนุญาตก่อสร้าง หลังวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุม ตามมาตรา 18 มีผลบังคับใช้

หมวดที่ 2

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

ข้อ 3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ

(1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของพลังงานอาคาร ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า จะต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตรของหลังคา

(2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศจะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับอาคารใหม่ ไม่เกินกว่า 45 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

(ข) สำหรับอาคารเก่า ไม่เกินกว่า 55 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

การคิดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามขนาดพื้นที่ ของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกัน (weighted average) หรือส่วนของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกัน ของส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ไว้ ณ วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2538

ยิ่งพันธ์ มนะสิการ
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับกฤษฎีกา เล่ม 112 ตอน 46 ก ลงวันที่ 15 พฤศจิกายน 2535

หมายเหตุ : เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่เจ้าของอาคารควบคุมต้องอนุรักษ์พลังงาน ตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารของตน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวงตามความในมาตรา 21 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE version 1.0a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง-1
ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV
โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE version 1.0a
ของอาคารกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ อาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ - ก่อนปรับปรุง หน้าที่-1

ชื่อบริเวณ อาคารสำนักงานราชการ 2 ชั้น

ชนิดบริเวณ อาคารสำนักงานราชการ

ที่ตั้งโครงการ กรุงเทพมหานคร

ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ 391.0 ตารางเมตร

ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.) 2.75 เมตร

ค่า OTTV ของอาคาร **66.40** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค่า RTTV ของอาคาร **22.40** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
ทิศ N	18.87	122.87	63.55	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ENE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ E	30.32	199.93	47.18	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ESE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ S	29.51	170.78	72.96	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ W	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
หลังคา	22.40	-	22.40	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

N	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-5	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	54.00
	รายการที่-6	ผนังทึบ	2.9	1.500	9.0	-	-	39.42
	รายการที่-7	ผนังโปร่งแสง	8.1	5.610	5.0	111.4	0.852	995.72
	รายการที่-8	ผนังทึบ	0.9	2.000	10.0	-	-	18.70
	รายการที่-9	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.05
	รายการที่-10	ผนังทึบ	4.8	1.500	10.0	-	-	71.28
	รายการที่-11	ผนังโปร่งแสง	6.1	5.610	5.0	111.4	0.851	749.19
	รายการที่-13	ผนังทึบ	0.7	2.000	10.0	-	-	13.48
	รายการที่-14	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.03
	รายการที่-15	ผนังทึบ	7.8	1.500	10.0	-	-	117.39
	รายการที่-16	ผนังโปร่งแสง	2.9	5.610	5.0	111.4	0.851	356.17
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			22.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			428.35	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**18.87**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			17.1	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			2,101.08	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**122.87**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**63.55**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

E	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-48	ผนังทึบ	1.5	2.000	10.0	-	-	30.25
	รายการที่-49	ผนังทึบ	5.0	3.000	10.0	-	-	148.50
	รายการที่-50	ผนังทึบ	25.2	3.100	10.0	-	-	782.36
	รายการที่-51	ผนังโปร่งแสง	3.5	5.610	5.0	179.0	0.960	699.75
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			31.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			961.11	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**30.32**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ผนังโปร่งแสง	3.5	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	699.75	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**199.93**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**47.18**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

S	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	ผนังทึบ	1.7	3.000	10.0	-	-	51.30
	รายการที่-2	ผนังทึบ	7.2	3.100	10.0	-	-	221.65
	รายการที่-3	ผนังโปร่งแสง	3.3	5.610	5.0	178.2	0.575	430.78
	รายการที่-20	ผนังทึบ	1.2	2.000	10.0	-	-	24.75
	รายการที่-21	ผนังทึบ	3.9	3.000	10.0	-	-	116.10
	รายการที่-22	ผนังทึบ	12.7	3.100	10.0	-	-	394.71
	รายการที่-23	ผนังโปร่งแสง	9.7	5.610	5.0	178.2	0.960	1,927.87
	รายการที่-26	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	53.33
	รายการที่-27	ผนังโปร่งแสง	10.9	5.610	5.0	178.2	0.960	2,163.38
	รายการที่-30	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.46
	รายการที่-31	ผนังทึบ	7.4	3.100	10.0	-	-	229.63
	รายการที่-32	ผนังโปร่งแสง	4.5	5.610	5.0	178.2	0.960	896.22
	รายการที่-35	ผนังทึบ	3.0	2.000	10.0	-	-	60.50
	รายการที่-36	ผนังทึบ	3.7	3.000	10.0	-	-	112.05
	รายการที่-37	ผนังทึบ	11.2	3.100	10.0	-	-	345.96
	รายการที่-38	ผนังโปร่งแสง	8.6	2.840	5.0	178.2	0.508	900.69
	รายการที่-41	ผนังทึบ	1.8	2.000	10.0	-	-	35.75
	รายการที่-42	ผนังทึบ	2.0	3.000	10.0	-	-	59.27
	รายการที่-43	ผนังทึบ	10.3	1.800	15.0	-	-	278.10
	รายการที่-46	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.97
	รายการที่-47	ผนังทึบ	11.6	3.100	10.0	-	-	359.76
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ				83.3	ตารางเมตร	
		Q ของผนังทึบ				2,458.29	วัตต์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า OTTV ของผนังทึบ	**29.51**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
พื้นที่ผนังโปร่งแสง	**37.0**	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	**6,318.94**	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**170.78**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**72.96**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

หลังคา	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-24	หลังคาทึบ	67.0	1.400	16.0	-	-	1,500.80
	รายการที่-28	หลังคาทึบ	17.8	1.400	16.0	-	-	398.72
	รายการที่-33	หลังคาทึบ	36.2	1.400	16.0	-	-	810.88
	รายการที่-39	หลังคาทึบ	66.8	1.400	16.0	-	-	1,496.32
	รายการที่-44	หลังคาทึบ	35.3	1.400	16.0	-	-	790.72
	รายการที่-52	หลังคาทึบ	44.2	1.400	16.0	-	-	990.08
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			267.3	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			5,987.52	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			-	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			-	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**-**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง-2

ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE version 1.0a

ของ กรณีการปรับปรุงที่ 1 การติดฟิล์มกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ กรณีที่ 1 ติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก

ชื่อบริเวณ อาคารสำนักงานราชการ 2 ชั้น

ชนิดบริเวณ อาคารสำนักงานราชการ

ที่ตั้งโครงการ กรุงเทพมหานคร

ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ 391.0 ตารางเมตร

ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.) 2.75 เมตร

ค่า OTTV ของอาคาร **38.50** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค่า RTTV ของอาคาร **22.40** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
ทิศ N	18.87	53.89	33.92	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ENE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ E	30.32	73.72	34.63	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ESE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ S	29.51	67.35	41.15	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ W	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
หลังคา	22.40	-	22.40	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการอ้างอิงใช้

รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

N	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-5	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	54.00
	รายการที่-6	ผนังทึบ	2.9	1.500	9.0	-	-	39.42
	รายการที่-7	ผนังโปร่งแสง	8.1	5.900	5.0	111.4	0.219	436.49
	รายการที่-8	ผนังทึบ	0.9	2.000	10.0	-	-	18.70
	รายการที่-9	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.05
	รายการที่-10	ผนังทึบ	4.8	1.500	10.0	-	-	71.28
	รายการที่-11	ผนังโปร่งแสง	6.1	5.900	5.0	111.4	0.219	328.72
	รายการที่-13	ผนังทึบ	0.7	2.000	10.0	-	-	13.48
	รายการที่-14	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.03
	รายการที่-15	ผนังทึบ	7.8	1.500	10.0	-	-	117.39
	รายการที่-16	ผนังโปร่งแสง	2.9	5.900	5.0	111.4	0.219	156.27
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			22.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			428.35	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**18.87**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			17.1	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			921.48	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**53.89**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**33.92**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

E	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-48	ผนังทึบ	1.5	2.000	10.0	-	-	30.25
	รายการที่-49	ผนังทึบ	5.0	3.000	10.0	-	-	148.50
	รายการที่-50	ผนังทึบ	25.2	3.100	10.0	-	-	782.36
	รายการที่-51	ผนังโปร่งแสง	3.5	5.900	5.0	179.0	0.247	258.03
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			31.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			961.11	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**30.32**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ผนังโปร่งแสง	3.5	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	258.03	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**73.72**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**34.63**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

S	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	ผนังทึบ	1.7	3.000	10.0	-	-	51.30
	รายการที่-2	ผนังทึบ	7.2	3.100	10.0	-	-	221.65
	รายการที่-3	ผนังโปร่งแสง	3.3	5.900	5.0	178.2	0.148	184.40
	รายการที่-20	ผนังทึบ	1.2	2.000	10.0	-	-	24.75
	รายการที่-21	ผนังทึบ	3.9	3.000	10.0	-	-	116.10
	รายการที่-22	ผนังทึบ	12.7	3.100	10.0	-	-	394.71
	รายการที่-23	ผนังโปร่งแสง	9.7	5.900	5.0	178.2	0.247	713.20
	รายการที่-26	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	53.33
	รายการที่-27	ผนังโปร่งแสง	10.9	5.900	5.0	178.2	0.247	801.43
	รายการที่-30	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.46
	รายการที่-31	ผนังทึบ	7.4	3.100	10.0	-	-	229.63
	รายการที่-32	ผนังโปร่งแสง	4.5	5.900	5.0	178.2	0.247	330.86
	รายการที่-35	ผนังทึบ	3.0	2.000	10.0	-	-	60.50
	รายการที่-36	ผนังทึบ	3.7	3.000	10.0	-	-	112.05
	รายการที่-37	ผนังทึบ	11.2	3.100	10.0	-	-	345.96
	รายการที่-38	ผนังโปร่งแสง	8.6	5.900	5.0	178.2	0.136	462.17
	รายการที่-41	ผนังทึบ	1.8	2.000	10.0	-	-	35.75
	รายการที่-42	ผนังทึบ	2.0	3.000	10.0	-	-	59.27
	รายการที่-43	ผนังทึบ	10.3	1.800	15.0	-	-	278.10
	รายการที่-46	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.97
	รายการที่-47	ผนังทึบ	11.6	3.100	10.0	-	-	359.76
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ				83.3	ตารางเมตร	
		Q ของผนังทึบ				2,458.29	วัตต์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า OTTV ของผนังทึบ	**29.51**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
พื้นที่ผนังโปร่งแสง	**37.0**	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	**2,492.06**	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**67.35**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**41.15**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

หลังคา	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-24	หลังคาทึบ	67.0	1.400	16.0	-	-	1,500.80
	รายการที่-28	หลังคาทึบ	17.8	1.400	16.0	-	-	398.72
	รายการที่-33	หลังคาทึบ	36.2	1.400	16.0	-	-	810.88
	รายการที่-39	หลังคาทึบ	66.8	1.400	16.0	-	-	1,496.32
	รายการที่-44	หลังคาทึบ	35.3	1.400	16.0	-	-	790.72
	รายการที่-52	หลังคาทึบ	44.2	1.400	16.0	-	-	990.08
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			267.3	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			5,987.52	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			-	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			-	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง-3

ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE version 1.0a

ของ กรณีการปรับปรุงที่ 2 เปลี่ยนกระจกเดิมเป็นกระจกสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ	กรณีที่ 2 เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง	
ชื่อบริเวณ	อาคารสำนักงานราชการ 2 ชั้น	
ชนิดบริเวณ	อาคารสำนักงานราชการ	
ที่ตั้งโครงการ	กรุงเทพมหานคร	
ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ	391.0	ตารางเมตร
ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.)	2.75	เมตร

ค่า OTTV ของอาคาร **36.99** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค่า RTTV ของอาคาร **22.40** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
ทิศ N	18.87	50.21	32.34	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ENE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ E	30.32	67.10	33.98	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ESE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ S	29.51	61.70	39.41	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ W	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
หลังคา	22.40	-	22.40	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

N	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-5	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	54.00
	รายการที่-6	ผนังทึบ	2.9	1.500	9.0	-	-	39.42
	รายการที่-7	ผนังโปร่งแสง	8.1	5.900	5.0	111.4	0.186	406.72
	รายการที่-8	ผนังทึบ	0.9	2.000	10.0	-	-	18.70
	รายการที่-9	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.05
	รายการที่-10	ผนังทึบ	4.8	1.500	10.0	-	-	71.28
	รายการที่-11	ผนังโปร่งแสง	6.1	5.900	5.0	111.4	0.186	306.30
	รายการที่-13	ผนังทึบ	0.7	2.000	10.0	-	-	13.48
	รายการที่-14	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.03
	รายการที่-15	ผนังทึบ	7.8	1.500	10.0	-	-	117.39
	รายการที่-16	ผนังโปร่งแสง	2.9	5.900	5.0	111.4	0.186	145.62
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			22.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			428.35	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**18.87**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			17.1	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			858.64	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**50.21**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**32.34**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

E	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-48	ผนังทึบ	1.5	2.000	10.0	-	-	30.25
	รายการที่-49	ผนังทึบ	5.0	3.000	10.0	-	-	148.50
	รายการที่-50	ผนังทึบ	25.2	3.100	10.0	-	-	782.36
	รายการที่-51	ผนังโปร่งแสง	3.5	5.900	5.0	179.0	0.210	234.84
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			31.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			961.11	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**30.32**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ผนังโปร่งแสง 3.5 ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง 234.84 วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง **67.10** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้ **33.98** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

S	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	ผนังทึบ	1.7	3.000	10.0	-	-	51.30
	รายการที่-2	ผนังทึบ	7.2	3.100	10.0	-	-	221.65
	รายการที่-3	ผนังโปร่งแสง	3.3	5.900	5.0	178.2	0.126	171.46
	รายการที่-20	ผนังทึบ	1.2	2.000	10.0	-	-	24.75
	รายการที่-21	ผนังทึบ	3.9	3.000	10.0	-	-	116.10
	รายการที่-22	ผนังทึบ	12.7	3.100	10.0	-	-	394.71
	รายการที่-23	ผนังโปร่งแสง	9.7	5.900	5.0	178.2	0.210	649.22
	รายการที่-26	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	53.33
	รายการที่-27	ผนังโปร่งแสง	10.9	5.900	5.0	178.2	0.210	729.54
	รายการที่-30	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.46
	รายการที่-31	ผนังทึบ	7.4	3.100	10.0	-	-	229.63
	รายการที่-32	ผนังโปร่งแสง	4.5	5.900	5.0	178.2	0.210	301.19
	รายการที่-35	ผนังทึบ	3.0	2.000	10.0	-	-	60.50
	รายการที่-36	ผนังทึบ	3.7	3.000	10.0	-	-	112.05
	รายการที่-37	ผนังทึบ	11.2	3.100	10.0	-	-	345.96
	รายการที่-38	ผนังโปร่งแสง	8.6	5.900	5.0	178.2	0.116	431.51
	รายการที่-41	ผนังทึบ	1.8	2.000	10.0	-	-	35.75
	รายการที่-42	ผนังทึบ	2.0	3.000	10.0	-	-	59.27
	รายการที่-43	ผนังทึบ	10.3	1.800	15.0	-	-	278.10
	รายการที่-46	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.97
	รายการที่-47	ผนังทึบ	11.6	3.100	10.0	-	-	359.76
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			83.3 ตารางเมตร			
		Q ของผนังทึบ			2,458.29 วัตต์			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า OTTV ของผนังทึบ	**29.51**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
พื้นที่ผนังโปร่งแสง	**37.0**	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	**2,282.92**	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**61.70**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**39.41**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

หลังคา	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
รายการที่-24	หลังคาทึบ		67.0	1.400	16.0	-	-	1,500.80
รายการที่-28	หลังคาทึบ		17.8	1.400	16.0	-	-	398.72
รายการที่-33	หลังคาทึบ		36.2	1.400	16.0	-	-	810.88
รายการที่-39	หลังคาทึบ		66.8	1.400	16.0	-	-	1,496.32
รายการที่-44	หลังคาทึบ		35.3	1.400	16.0	-	-	790.72
รายการที่-52	หลังคาทึบ		44.2	1.400	16.0	-	-	990.08

รวม	พื้นที่ผนังทึบ	**267.3**	ตารางเมตร
	Q ของผนังทึบ	**5,987.52**	วัตต์
	ค่า OTTV ของผนังทึบ	**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
	พื้นที่ผนังโปร่งแสง	-	ตารางเมตร
	Q ของผนังโปร่งแสง	-	วัตต์
	ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
	ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง-4
ผลการคำนวณค่า OTTV และ RTTV
โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE version 1.0a
ของ กรณีการปรับปรุงที่ 3 เปลี่ยนจากกระจกเดิมให้เป็น
กระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ กรณีที่ 3 เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน (2ชั้น)

ชื่อบริเวณ อาคารสำนักงานราชการ 2 ชั้น

ชนิดบริเวณ อาคารสำนักงานราชการ

ที่ตั้งโครงการ กรุงเทพมหานคร

ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ 391.0 ตารางเมตร

ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.) 2.75 เมตร

ค่า OTTV ของอาคาร **32.74** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

ค่า RTTV ของอาคาร **22.40** วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
ทิศ N	18.87	36.21	26.32	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ENE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ E	30.32	52.31	32.51	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ ESE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSE	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ S	29.51	47.15	34.94	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ SW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WSW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ W	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ WNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ทิศ NNW	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
หลังคา	22.40	-	22.40	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

N	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-5	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	54.00
	รายการที่-6	ผนังทึบ	2.9	1.500	9.0	-	-	39.42
	รายการที่-7	ผนังโปร่งแสง	8.1	3.300	5.0	111.4	0.177	293.31
	รายการที่-8	ผนังทึบ	0.9	2.000	10.0	-	-	18.70
	รายการที่-9	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.05
	รายการที่-10	ผนังทึบ	4.8	1.500	10.0	-	-	71.28
	รายการที่-11	ผนังโปร่งแสง	6.1	3.300	5.0	111.4	0.177	220.89
	รายการที่-13	ผนังทึบ	0.7	2.000	10.0	-	-	13.48
	รายการที่-14	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.03
	รายการที่-15	ผนังทึบ	7.8	1.500	10.0	-	-	117.39
	รายการที่-16	ผนังโปร่งแสง	2.9	3.300	5.0	111.4	0.177	105.01
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			22.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			428.35	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**18.87**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			17.1	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			619.21	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			**36.21**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			**26.32**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

E	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-48	ผนังทึบ	1.5	2.000	10.0	-	-	30.25
	รายการที่-49	ผนังทึบ	5.0	3.000	10.0	-	-	148.50
	รายการที่-50	ผนังทึบ	25.2	3.100	10.0	-	-	782.36
	รายการที่-51	ผนังโปร่งแสง	3.5	3.300	5.0	179.0	0.200	183.08
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			31.7	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			961.11	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			**30.32**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ผนังโปร่งแสง	3.5	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	183.08	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**52.31**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**32.51**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

S	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	ผนังทึบ	1.7	3.000	10.0	-	-	51.30
	รายการที่-2	ผนังทึบ	7.2	3.100	10.0	-	-	221.65
	รายการที่-3	ผนังโปร่งแสง	3.3	3.300	5.0	178.2	0.120	125.03
	รายการที่-20	ผนังทึบ	1.2	2.000	10.0	-	-	24.75
	รายการที่-21	ผนังทึบ	3.9	3.000	10.0	-	-	116.10
	รายการที่-22	ผนังทึบ	12.7	3.100	10.0	-	-	394.71
	รายการที่-23	ผนังโปร่งแสง	9.7	3.300	5.0	178.2	0.200	505.84
	รายการที่-26	ผนังทึบ	1.8	3.000	10.0	-	-	53.33
	รายการที่-27	ผนังโปร่งแสง	10.9	3.300	5.0	178.2	0.200	568.41
	รายการที่-30	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	58.46
	รายการที่-31	ผนังทึบ	7.4	3.100	10.0	-	-	229.63
	รายการที่-32	ผนังโปร่งแสง	4.5	3.300	5.0	178.2	0.200	234.67
	รายการที่-35	ผนังทึบ	3.0	2.000	10.0	-	-	60.50
	รายการที่-36	ผนังทึบ	3.7	3.000	10.0	-	-	112.05
	รายการที่-37	ผนังทึบ	11.2	3.100	10.0	-	-	345.96
	รายการที่-38	ผนังโปร่งแสง	8.6	3.300	5.0	178.2	0.110	310.52
	รายการที่-41	ผนังทึบ	1.8	2.000	10.0	-	-	35.75
	รายการที่-42	ผนังทึบ	2.0	3.000	10.0	-	-	59.27
	รายการที่-43	ผนังทึบ	10.3	1.800	15.0	-	-	278.10
	รายการที่-46	ผนังทึบ	1.9	3.000	10.0	-	-	56.97
	รายการที่-47	ผนังทึบ	11.6	3.100	10.0	-	-	359.76
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			83.3	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			2,458.29	วัตต์		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า OTTV ของผนังทึบ	**29.51**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
พื้นที่ผนังโปร่งแสง	**37.0**	ตารางเมตร
Q ของผนังโปร่งแสง	**1,744.47**	วัตต์
ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	**47.15**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**34.94**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

หลังคา	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-24	หลังคาทึบ	67.0	1.400	16.0	-	-	1,500.80
	รายการที่-28	หลังคาทึบ	17.8	1.400	16.0	-	-	398.72
	รายการที่-33	หลังคาทึบ	36.2	1.400	16.0	-	-	810.88
	รายการที่-39	หลังคาทึบ	66.8	1.400	16.0	-	-	1,496.32
	รายการที่-44	หลังคาทึบ	35.3	1.400	16.0	-	-	790.72
	รายการที่-52	หลังคาทึบ	44.2	1.400	16.0	-	-	990.08

รวม	พื้นที่ผนังทึบ	**267.3**	ตารางเมตร
	Q ของผนังทึบ	**5,987.52**	วัตต์
	ค่า OTTV ของผนังทึบ	**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
	พื้นที่ผนังโปร่งแสง	-	ตารางเมตร
	Q ของผนังโปร่งแสง	-	วัตต์
	ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
	ค่า OTTV ของผนังด้านนี้	**22.40**	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

รายละเอียด คุณสมบัติ และราคา ของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ จ.1-1 แสดงคุณสมบัติและราคาของวัสดุ

- **บริษัท กระจกไทย – อาซาฮี จำกัด (มหาชน)**

THAI-ASAHI GLASS PUBLIC COMPANY LIMITED

คุณสมบัติและราคากลางสินค้ากระจกสะท้อนแสง (SOLARTAG)

รุ่น SS – 108 เงินจรัส ความหนา 6 มิลลิเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การลดความร้อน (SC) = 0.21

ค่าแสงส่องผ่านกระจก = 8 %

ค่าแสงสะท้อนกระจก = 38 %

ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าติดตั้ง ตารางฟุตละ 110 บาท

คุณสมบัติและราคากลางสินค้ากระจกฉนวนความร้อน (PAIR TAG)

กระจกแผ่นนอก : กระจกสะท้อนแสง (SC = 0.21) หนา 6 มิลลิเมตร

กระจกแผ่นใน : กระจกใสธรรมดา (SC = 0.96) หนา 6 มิลลิเมตร

ช่องอากาศแห้ง หนา 12 มิลลิเมตร

ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าติดตั้ง ตารางเมตรละ 2,260 บาท

- **บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด**

3 M THAILAND LIMITED

คุณสมบัติและราคากลางสินค้าฟิล์มกรองแสง 3 M สก็อตช์ทินต์ เมื่อติดตั้งบนกระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร

รุ่น P18 สีเงิน

สัมประสิทธิ์การลดความร้อน (SC) = 0.26

ค่าแสงสว่างผ่านฟิล์มรวมกระจก = 19 %

ค่าแสงสะท้อนฟิล์มบนกระจก = 58 %

% การลดความร้อน = 77 %

% การลดรังสีอัลตราไวโอเลต = 99 %

ราคารวมภาษีมูลค่าเพิ่มและค่าติดตั้ง ตารางฟุตละ 80 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2-1 แสดงรายละเอียดของกระจก ในกรณีที่ 1 เมื่อทำการติดฟิล์มกรองแสงที่กระจก

ชั้นที่	ชั้นรายการวัสดุ	หนา	SC	ค่า k	ค่า R	ความหนาแน่น
1	ฟิล์ม 3 M		0.260			
2	กระจกเดิม	6	0.960	1.053	0.0057	2512

ตารางที่ จ.2-2 แสดงรายละเอียดของกระจก ในกรณีที่ 2 เมื่อทำการเปลี่ยนกระจกเดิมไปเป็นกระจกสะท้อนแสง

ชั้นที่	ชั้นรายการวัสดุ	หนา	SC	ค่า k	ค่า R	ความหนาแน่น
1	กระจกสะท้อนแสง	6	0.210	0.931	0.006	2500

ตารางที่ จ.2-3 แสดงรายละเอียดของกระจก ในกรณีที่ 3 เมื่อทำการเปลี่ยนกระจกเดิม ไปเป็นกระจกฉนวนความร้อน (กระจก 2 ชั้น)

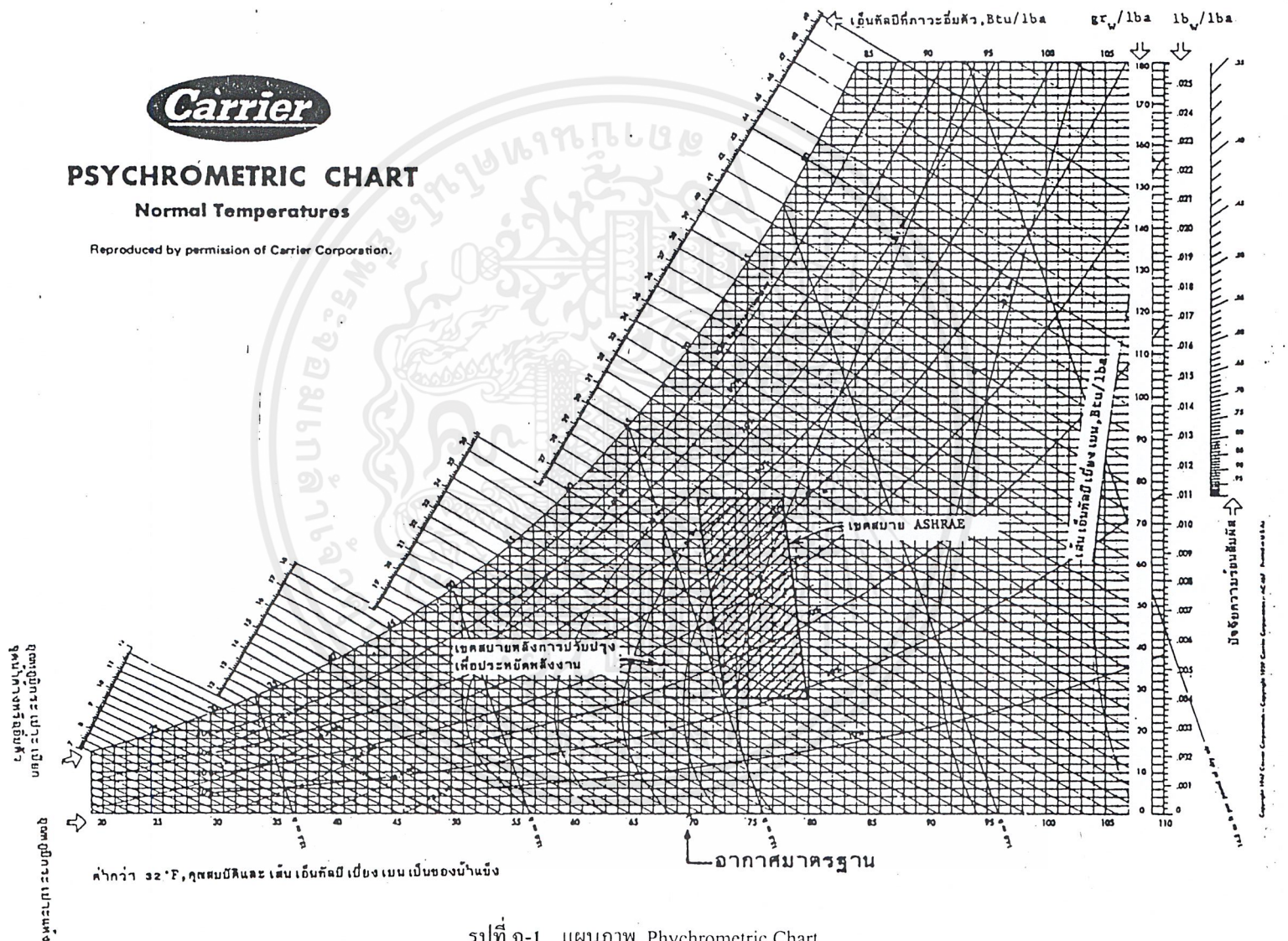
ชั้นที่	ชั้นรายการวัสดุ	หนา	SC	ค่า k	ค่า R	ความหนาแน่น
1	กระจกสะท้อนแสง	6	0.210	0.931	0.006	2500
2	ช่องว่างผนัง	12			0.128	
3	กระจกใสธรรมดา	6	0.960	1.053	0.0057	2512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

แผนภาพ Psychrometric Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-1 แผนภาพ Phychrometric Chart

ภาคผนวก ช

ข้อมูลแสดงระดับความส่องสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.1-1 แสดงค่าความส่องสว่างของแต่ละห้องในอาคาร ตรวจวัดที่เวลา 10.30 น.

ชั้น	ชื่อห้อง	ขนาดห้อง (m^2)	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ค่าการส่องสว่าง (LUX) ขณะเปิดไฟ			ค่าการส่องสว่าง (LUX) ขณะปิดไฟ		
				ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
1	IE 101 ห้องพักอาจารย์	10.64	3	289	230	264.7	25	60	43
	IE 102 Big	31.2	6	245	421	310.7	9	138	55.5
	Small	17.2	4	279	342	306.8	49	123	79.7
	IE 103 Lab	32.37	6	279	357	313.8	3	39	16.5
2	IE 201 ห้องสำนักงานภาควิชา	67.0468	20	174	1174	416.7	1	2	1.85
	IE 202 ห้องประชุม	17.775	6	510	793	654.8	22	107	45.7
	IE 203 ห้องคอมพิวเตอร์	36.1555	12	640	957	779.6	41	478	184
	IE 204 ห้องเรียน	66.815	15	361	1077	780.7	103	579	264
	IE 205 ห้องเรียน	35.3395	6	412	481	440.3	1	1	1
	IE 206 ห้องนักศึกษา	44.152	10	160	403	264.3	2	62	21.7

ตารางที่ ช.1-2 แสดงค่าความส่องสว่างของแต่ละห้องในอาคาร ตรวจวัดที่เวลา 14.30 น.

ชั้น	ชื่อห้อง	ขนาดห้อง (m^2)	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ค่าการส่องสว่าง (LUX) ขณะเปิดไฟ			ค่าการส่องสว่าง (LUX) ขณะปิดไฟ		
				ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
1	IE 101 ห้องพักอาจารย์	10.64	3	236	285	266.7	26	57	44.3
	IE 102 Big	31.2	6	268	451	325.5	10	140	59
	Small	17.2	4	287	345	312.7	5	124	82.7
	IE 103 Lab	32.37	6	285	356	319	6	42	20
2	IE 201 ห้องสำนักงานภาควิชา	67.0468	20	181	1200	419	1	3	19.5
	IE 202 ห้องประชุม	17.775	6	510	794	664.3	27	59	35.8
	IE 203 ห้องคอมพิวเตอร์	36.1555	12	507	807	714	28	301	124.3
	IE 204 ห้องเรียน	66.815	15	260	879	608.3	87	479	236.9
	IE 205 ห้องเรียน	35.3395	6	452	515	482.5	0	0	0
	IE 206 ห้องนักศึกษา	44.152	10	170	355	252.3	1	60	21.7

ตารางที่ ช.2-1 วันพฤหัสบดี ที่ 22 กุมภาพันธ์ 2544 ณ เวลา 10.30 น. (แถวบน = เปิดไฟทั้งห้อง , แถวล่าง = ปิดไฟทั้งห้อง)

ชื่อห้อง	จุดที่ทำการตรวจวัด (LUX) เปิดไฟ / ปิดไฟ																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	เฉลี่ย
IE 101	230	275	289																		264.7
	25	44	60																		43
IE 102 Big	289	327	245	268	314	421															310.7
	138	89	44	43	10	9															55.5
Small	342	321	279	285																	306.8
	61	49	86	123																	79.7
IE 103	305	288	341	357	279	313															313.8
	26	10	3	39	14	7															16.5
IE 201	200	174	335	308	459	390	346	276	271	485	532	286	449	805	548	314	454	1174	271	257	416.7
	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1.85
IE 202	510	793	594	524	789	719															654.8
	66	107	29	22	27	23															45.7
IE 203	685	640	814	845	957	937	854	866	847	765	735	651									779.6
	54	61	111	121	166	478	41	56	134	215	313	448									184
IE 204	1029	717	597	1077	802	623	952	764	615	964	816	623	995	776	361						780.7
	579	113	103	495	311	114	503	155	110	369	147	121	505	227	115						264
IE 205	412	481	450	431	428	440															440.3
	1	1	1	1	1	1															181.3
IE 206	165	262	368	365	297	171	171	160	281	403											264.3
	2	2	8	27	43	2	2	29	40	62											21.7

ตารางที่ ช.2-2 วันพฤหัสบดี ที่ 22 กุมภาพันธ์ 2544 ณ เวลา 14.30 น. (แถวบน = เปิดไฟทั้งห้อง , แถวล่าง = ปิดไฟทั้งห้อง)

ชื่อห้อง	จุดที่ทำการตรวจวัด (LUX) เปิดไฟ / ปิดไฟ																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	เฉลี่ย
IE 101	236	279	285																		266.7
	26	50	57																		44.3
IE 102 Big	291	319	268	298	326	451															325.5
	140	80	49	52	16	17															59
Small	345	320	287	299																	312.7
	71	50	86	124																	82.7
IE 103	315	292	345	356	285	321															319
	29	15	6	42	19	9															20
IE 201	215	181	346	311	455	393	358	256	291	489	531	276	453	800	545	300	459	1200	261	261	419
	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	19.5
IE 202	510	794	604	587	764	727															664.3
	31	59	28	34	36	27															35.8
IE 203	750	807	750	653	729	507	621	716	714	761	781	780									714
	292	218	108	85	37	35	341	175	81	61	30	28									124.3
IE 204	586	681	406	643	800	544	787	627	472	879	632	279	808	720	260						608.3
	409	156	70	479	188	102	420	197	102	452	187	100	393	211	87						236.9
IE 205	452	512	515	459	513	444															482.5
	0	0	0	0	0	0															180.7
IE 206	192	282	348	355	201	170	173	200	297	305											252.3
	2	1	10	30	32	1	3	21	43	60											20.3

ตารางที่ ช.3-1 ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อ เปิดไฟครึ่งห้อง ที่เวลาประมาณ 10.30 น.

ชั้น	ชื่อห้อง	ขนาดห้อง (m^2)	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ค่าการส่องสว่าง (LUX) ขณะเปิดไฟครึ่งห้อง		
				ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
2	IE 202 ห้องประชุม	17.775	6	223	560	389.5
	IE 203 ห้องคอมพิวเตอร์	36.1555	12	211	936	485.5
	IE 204 ห้องเรียน	66.815	15	255	950	636

หมายเหตุ ห้อง IE-204 เป็นการเปิดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง

ตารางที่ ช.3-2 ค่าความส่องสว่างโดยเฉลี่ยของห้อง เมื่อ เปิดไฟครึ่งห้อง ที่เวลาประมาณ 14.30 น.

ชั้น	ชื่อห้อง	ขนาดห้อง (m^2)	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ค่าการส่องสว่าง (LUX) ขณะเปิดไฟครึ่งห้อง		
				ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
2	IE 202 ห้องประชุม	17.775	6	218	420	329.8
	IE 203 ห้องคอมพิวเตอร์	36.1555	12	292	536	411.8
	IE 204 ห้องเรียน	66.815	15	213	768	504.2

หมายเหตุ ห้อง IE-204 เป็นการเปิดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง

ตารางที่ ช.4-1 แสดงข้อมูลจุดที่ทำการตรวจวัด เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 22 กุมภาพันธ์ เวลาประมาณ 10.30 น.

ห้อง	จุดที่ทำการตรวจวัด (LUX) เปิดไฟ ครึ่งห้อง															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	เฉลี่ย
IE-202	372	360	560	223	333	489										389.5
IE-203	211	410	444	421	718	936	810	532	444	416	239	245				485.5
IE-204	950	633	571	942	692	571	828	714	523	891	538	410	652	371	255	636

หมายเหตุ ห้อง IE-204 เป็นการเปิดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง

ตารางที่ ช.4-2 แสดงข้อมูลจุดที่ทำการตรวจวัด เมื่อวันพฤหัสบดีที่ 22 กุมภาพันธ์ เวลาประมาณ 14.30 น.

ห้อง	จุดที่ทำการตรวจวัด (LUX) เปิดไฟ ครึ่งห้อง															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	เฉลี่ย
IE-202	361	420	218	385	342	253										329.8
IE-203	361	348	387	292	523	509	365	438	440	318	425	536				411.8
IE-204	638	477	382	737	594	518	768	613	468	637	401	237	528	352	213	504.2

หมายเหตุ ห้อง IE-204 เป็นการเปิดไฟ 2/3 ส่วนของห้อง

ภาคผนวก ซ

ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนของอาคารกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ - 1 ก ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1)

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-101	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.71	51.30
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.15	221.65
		-	-	กระจก	S-3	3.3	430.78
	รวม						703.73
IE-102							
● 102-1	N						
		คานคอนกรีต	N-1	-	-	1.8	54.00
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-2	-	-	2.92	39.42
		-	-	กระจก	N-3	8.08	995.72
	รวม						1089.14
● 102-2	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.935	18.70
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.935	58.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	4.752	71.28
		-	-	กระจก	N-4	6.138	749.19
	รวม						897.22
IE-103	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.67375	13.48
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.8675	56.03
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	7.82625	117.39
		-	-	กระจก	N-4	2.9125	356.17
	รวม						543.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ - 1 ก (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1)

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-201	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.2375	24.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.87	116.10
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	12.7325	394.71
		-	-	กระจก	S-4	9.68	1927.87
	Roof	หลังคา	R-1			67.0468	1500.80
	รวม						3964.23
IE-202	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.7775	53.33
		-	-	กระจก	S-2	10.8625	2163.38
	Roof	หลังคา	R-1			17.775	398.72
	รวม						2615.43
IE-203	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.9485	58.46
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.4075	229.63
		-	-	กระจก	S-3	4.5	896.22
	Roof	หลังคา	R-1			36.1555	810.88
	รวม						1995.19
IE-204	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	3.025	60.50
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.735	112.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	11.16	345.96
		-	-	กระจก 2 ชั้น	S-4	8.64	900.69
	Roof	หลังคา	R-1			66.815	1496.32
	รวม						2915.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ - 1 ก (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_l)

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_l (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-205	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.7875	35.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	1.9755	59.27
		ผนังไม้อัด	S-3	-	-	10.285	278.10
	Roof	หลังคา	R-1			35.3395	790.72
	รวม						1163.84
IE-206	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.899	56.97
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	11.605	359.76
	E						
		เสาคอนกรีต	E-1	-	-	1.5125	30.25
		คานคอนกรีต	E-2	-	-	4.95	148.50
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	E-3	-	-	25.23753	782.36
		-	-	กระจก	E-4	3.5	699.75
	Roof	หลังคา	R-1				990.08
	รวม						3067.67

ตาราง ซ-1 ข แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_l

ห้องที่	Q_l (Watt)	ค่าคงที่	Q_l (Btu/hr)
IE-101	703.73	3.413	2,401.8305
IE-102-1	1089.14	3.413	3,717.2348
IE-102-2	897.22	3.413	3,062.2119
IE-103	543.07	3.413	1,853.4979
IE-201	3964.23	3.413	13,529.917
IE-202	2615.43	3.413	8,926.4626
IE-203	1995.19	3.413	6,809.5835
IE-204	2915.52	3.413	9,950.6698
IE-205	1163.84	3.413	3,972.1859
IE-206	3067.67	3.413	10,469.958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ - 2 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสจากบุคคล (Q_2)

ห้องที่	จำนวนคน	Sensible Heat Gain Factor (Btu/hr)	CLF	Q_2 (Btu/hr)
IE-101	2	245	0.12	58.8
IE-102				
● 102-1	3	250	0.12	90
● 102-2	2	250	0.12	60
IE-103	6	250	0.12	180
IE-201	5	245	0.12	147
IE-202	6	245	0.12	176
IE-203	7	245	0.12	205.8
IE-204	40	245	0.12	1176
IE-205	40	245	0.12	1176
IE-206	3	245	0.12	88.2

หมายเหตุ ค่า Sensible Heat Gain Factor และค่า CLF อ้างอิงจากตาราง ก-10 และ ก-11

ตารางที่ ซ - 3 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสจากหลอดไฟ (Q_3)

ห้องที่	ขนาดหลอดไฟรวม (watt)	ค่าคงที่	Fb	Q_3 (Btu/hr)
IE-101	36 x 2 = 72	3.413	1.25	307.17
IE-102				
● 102-1	36 x 4 = 144	3.413	1.25	614.34
● 102-2	36 x 2 = 72	3.413	1.25	307.17
IE-103	36 x 8 = 288	3.413	1.25	1,228.68
IE-201	36 x 12 = 432	3.413	1.25	1,843.02
IE-202	36 x 8 = 288	3.413	1.25	1,228.68
IE-203	36 x 16 = 576	3.413	1.25	2,457.36
IE-204	36 x 18 = 648	3.413	1.25	2,764.53
IE-205	18 x 32 = 576	3.413	1.25	2,457.36
IE-206	18 x 40 = 720	3.413	1.25	3,071.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ - 4 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนแฝงเนื่องจากบุคคล (Q_4)

ห้องที่	จำนวนคน	Latent Heat Gain Factor (Btu/hr)	(Q_4) (Btu/hr)
IE-101	2	155	310
IE-102			
• 102-1	3	200	600
• 102-2	2	200	400
IE-103	6	200	1,200
IE-201	5	155	775
IE-202	6	155	930
IE-203	7	155	1,085
IE-204	40	155	6,200
IE-205	40	155	6,200
IE-206	3	155	465

หมายเหตุ ค่า Latent Heat Gain Factor อ้างอิงจากตาราง ก-11

ตารางที่ ซ - 5 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนสัมผัสเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Q_5)

ห้องที่	จำนวนคน	CFM/คน	อัตราการถ่ายเทอากาศ (CFM)	ค่าคงที่	ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกห้อง ($^{\circ}F$)	(Q_5) (Btu/hr)
IE-101	2	20	40	1.08	95-77 = 18	777.6
IE-102						
• 102-1	3	20	60	1.08	95-77 = 18	1166.4
• 102-2	2	20	40	1.08	95-77 = 18	777.6
IE-103	6	20	120	1.08	95-77 = 18	2332.8
IE-201	5	20	100	1.08	95-77 = 18	1944
IE-202	6	20	120	1.08	95-77 = 18	2332.8
IE-203	7	20	140	1.08	95-77 = 18	2721.6
IE-204	40	15	600	1.08	95-77 = 18	11664
IE-205	40	15	600	1.08	95-77 = 18	11664
IE-206	3	15	45	1.08	95-77 = 18	874.8

หมายเหตุ ค่า CFM/คน อ้างอิงจากตาราง ก-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ - 6 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนแฝงเนื่องจากการถ่ายเทอากาศ (Q_6)

ห้องที่	จำนวนคน	CFM/คน	อัตราการถ่ายเทอากาศ (CFM)	ค่าคงที่	ผลต่างของความชื้นจำเพาะภายในและภายนอกห้อง	(Q_6) (Btu/hr)
IE-101 IE-102	2	20	40	0.68	148.4 – 70 = 78.4	2132.48
• 102-1	3	20	60	0.68	148.4 – 70 = 78.4	3198.72
• 102-2	2	20	40	0.68	148.4 – 70 = 78.4	2132.48
IE-103	6	20	120	0.68	148.4 – 70 = 78.4	6397.44
IE-201	5	20	100	0.68	148.4 – 70 = 78.4	5331.2
IE-202	6	20	120	0.68	148.4 – 70 = 78.4	6397.44
IE-203	7	20	140	0.68	148.4 – 70 = 78.4	7463.68
IE-204	40	15	600	0.68	148.4 – 70 = 78.4	31987.2
IE-205	40	15	600	0.68	148.4 – 70 = 78.4	31987.2
IE-206	3	15	45	0.68	148.4 – 70 = 78.4	2399.04

หมายเหตุ ค่า CFM/คน อ้างอิงจากตาราง ก-12

ตารางที่ ซ-7 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ($Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$)
IE-101	5,987.88
IE-102	
• 102-1	9,386.69
• 102-2	6,739.46
IE-103	13,192.42
IE-201	23,570.14
IE-202	19,991.38
IE-203	20,743.02
IE-204	63,742.40
IE-205	57,456.75
IE-206	17,368.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฌ

ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน หลังจากการปรับปรุงที่ 1 ติดฟิล์มกรองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.1-1 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-101	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.71	51.30
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.15	221.65
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	S-3	3.3	184.40
	รวม						457.35
IE-102							
● 102-1	N	คานคอนกรีต	N-1	-	-	1.8	54.00
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-2	-	-	2.92	39.42
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	N-3	8.08	436.49
	รวม						529.91
●102-2	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.935	18.70
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.935	58.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	4.752	71.28
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	N-4	6.138	328.72
	รวม						476.75
IE-103	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.67375	13.48
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.8675	56.03
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	7.82625	117.39
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	N-4	2.9125	156.27
	รวม						343.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.1-1 (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-201	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.2375	24.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.87	116.10
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	12.7325	394.71
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	S-4	9.68	713.20
	Roof	หลังคา	R-1			67.0468	1500.80
	รวม						2749.56
IE-202	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.7775	53.33
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	S-2	10.8625	801.43
	Roof	หลังคา	R-1			17.775	398.72
	รวม						1253.48
IE-203	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.9485	58.46
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.4075	229.63
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	S-3	4.5	330.86
	Roof	หลังคา	R-1			36.1555	810.88
	รวม						1429.83
IE-204	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	3.025	60.50
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.735	112.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	11.16	345.96
		-	-	กระจก ติดฟิล์ม	S-4	8.64	462.17
	Roof	หลังคา	R-1			66.815	1496.32
	รวม						2477

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.1-1 (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_l) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่	Q_l
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส	(m^2)	(Watt)
IE-205	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.7875	35.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	1.9755	59.27
		ผนังไม้อัด	S-3	-	-	10.285	278.10
	Roof	หลังคา	R-1			35.3395	790.72
	รวม						1163.84
IE-206	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.899	56.97
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	11.605	359.76
	E						
		เสาคอนกรีต	E-1	-	-	1.5125	30.25
		คานคอนกรีต	E-2	-	-	4.95	148.50
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	E-3	-	-	25.23753	782.36
		-	-	กระจกติดฟิล์ม	E-4	3.5	258.03
	Roof	หลังคา	R-1				990.08
	รวม						2625.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฌ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1 หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ห้องที่	Q_1 (Watt)	ค่าคงที่	Q_1 (Btu/hr)
IE-101	457.35	3.413	1,560.94
IE-102-1	529.91	3.413	1,808.58
IE-102-2	476.75	3.413	1,627.15
IE-103	343.17	3.413	1,171.24
IE-201	2749.56	3.413	9,384.25
IE-202	1253.48	3.413	4,278.13
IE-203	1429.83	3.413	4,880.01
IE-204	2477	3.413	8,454.00
IE-205	1163.84	3.413	3,972.19
IE-206	2625.95	3.413	8,962.37

ตารางที่ ฌ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการติดฟิล์มกรองแสง

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ($Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$)
IE-101	5,146.99
IE-102	
• 102-1	7,478.04
• 102-2	5,304.40
IE-103	12,510.16
IE-201	19,424.47
IE-202	15,343.05
IE-203	18,813.45
IE-204	62,245.73
IE-205	57,456.75
IE-206	15,861.11

<u>หมายเหตุ</u> ค่า Q_2-Q_6 เป็นค่าเดียวกับในอาคารกรณีศึกษา คือ อ้างอิงจากตารางที่ ซ-2 ถึง ซ-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ

ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน หลังจากการปรับปรุงที่ 2 เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.1-1 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_I) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_I (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-101	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.71	51.30
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.15	221.65
		-	-	กระจกสีชา	S-3	3.3	171.46
	รวม						444.41
IE-102							
● 102-1	N						
		คานคอนกรีต	N-1	-	-	1.8	54.00
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-2	-	-	2.92	39.42
		-	-	กระจกสีชา	N-3	8.08	406.72
	รวม						500.14
● 102-2	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.935	18.70
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.935	58.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	4.752	71.28
		-	-	กระจกสีชา	N-4	6.138	306.30
	รวม						454.33
IE-103	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.67375	13.48
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.8675	56.03
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	7.82625	117.39
		-	-	กระจกสีชา	N-4	2.9125	145.62
	รวม						332.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.1-1 (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-201	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.2375	24.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.87	116.10
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	12.7325	394.71
		-	-	กระจกสีชา	S-4	9.68	649.22
	Roof	หลังคา	R-1			67.0468	1500.80
	รวม						2685.58
IE-202	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.7775	53.33
		-	-	กระจกสีชา	S-2	10.8625	729.54
	Roof	หลังคา	R-1			17.775	398.72
	รวม						1181.59
IE-203	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.9485	58.46
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.4075	229.63
		-	-	กระจกสีชา	S-3	4.5	301.19
	Roof	หลังคา	R-1			36.1555	810.88
	รวม						1400.16
IE-204	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	3.025	60.50
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.735	112.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	11.16	345.96
		-	-	กระจก2ชั้นสีชา	S-4	8.64	413.51
	Roof	หลังคา	R-1			66.815	1496.32
	รวม						2428.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.1-1 (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-205	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.7875	35.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	1.9755	59.27
		ผนังไม้อัด	S-3	-	-	10.285	278.10
	Roof	หลังคา	R-1			35.3395	790.72
	รวม						1163.84
IE-206	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.899	56.97
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	11.605	359.76
	E						
		เสาคอนกรีต	E-1	-	-	1.5125	30.25
		คานคอนกรีต	E-2	-	-	4.95	148.50
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	E-3	-	-	25.23753	782.36
		-	-	กระจกสีชา	E-4	3.5	234.84
	Roof	หลังคา	R-1				990.08
	รวม						2186.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ญ.1-2_ แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1 หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเป็นเป็นกระจกสะท้อนแสง

ห้องที่	Q_1 (Watt)	ค่าคงที่	Q_1 (Btu/hr)
IE-101	444.41	3.413	1,516.77
IE-102-1	500.14	3.413	1,706.98
IE-102-2	454.33	3.413	1,550.63
IE-103	332.52	3.413	1,134.89
IE-201	2685.58	3.413	9,165.88
IE-202	1181.59	3.413	4,032.77
IE-203	1400.16	3.413	4,778.75
IE-204	2428.34	3.413	8,287.92
IE-205	1163.84	3.413	3,972.19
IE-206	2602.76	3.413	8,883.22

ตารางที่ ญ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ($Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$)
IE-101	5,102.82
IE-102	
• 102-1	7,376.44
• 102-2	5,227.88
IE-103	12,473.81
IE-201	19,206.10
IE-202	15,097.69
IE-203	18,712.19
IE-204	62,079.65
IE-205	57,456.75
IE-206	15,781.96

หมายเหตุ ค่า Q_2-Q_6 เป็นค่าเดียวกับในอาคารกรณีศึกษา คือ อ้างอิงจากตารางที่ ซ-2 ถึง ซ-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฎ

ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน หลังจากการปรับปรุงที่ 3 เปลี่ยนเป็นกระจกฉนวนความร้อน (2ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.1-1 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_I) หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_I (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-101	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.71	51.30
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.15	221.65
		-	-	กระจก 2 ชั้น	S-3	3.3	125.03
	รวม						397.98
IE-102							
● 102-1	N						
		คานคอนกรีต	N-1	-	-	1.8	54.00
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-2	-	-	2.92	39.42
		-	-	กระจก 2 ชั้น	N-3	8.08	293.31
	รวม						386.73
● 102-2	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.935	18.70
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.935	58.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	4.752	71.28
		-	-	กระจก 2 ชั้น	N-4	6.138	220.89
	รวม						368.92
IE-103	N						
		เสาคอนกรีต	N-1	-	-	0.67375	13.48
		คานคอนกรีต	N-2	-	-	1.8675	56.03
		ผนังอิฐฉาบปูน 8 ”	N-3	-	-	7.82625	117.39
		-	-	กระจก 2 ชั้น	N-4	2.9125	105.01
	รวม						291.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.1-1 (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_l) หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_l (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-201	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.2375	24.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.87	116.10
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	12.7325	394.71
		-	-	กระจก 2 ชั้น	S-4	9.68	505.84
	Roof	หลังคา	R-1			67.0468	1500.80
	รวม						2542.2
IE-202	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.7775	53.33
		-	-	กระจก 2 ชั้น	S-2	10.8625	568.41
	Roof	หลังคา	R-1			17.775	398.72
	รวม						1020.46
IE-203	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.9485	58.46
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	7.4075	229.63
		-	-	กระจก 2 ชั้น	S-3	4.5	234.67
	Roof	หลังคา	R-1			36.1555	810.88
	รวม						1333.64
IE-204	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	3.025	60.50
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	3.735	112.05
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-3	-	-	11.16	345.96
		-	-	กระจก 2 ชั้น	S-4	8.64	310.52
	Roof	หลังคา	R-1			66.815	1496.32
	รวม						2325.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.1-1 (ต่อ) ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนจากการถ่ายเทความร้อน (Q_1) หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ห้องที่	ทิศ	ส่วนทึบ(1)		ส่วนโปร่งแสง(2)		พื้นที่ (m^2)	Q_1 (Watt)
		ลักษณะ	รหัส	ลักษณะ	รหัส		
IE-205	S						
		เสาคอนกรีต	S-1	-	-	1.7875	35.75
		คานคอนกรีต	S-2	-	-	1.9755	59.27
		ผนังไม้อัด	S-3	-	-	10.285	278.10
	Roof	หลังคา	R-1			35.3395	790.72
	รวม						1163.84
IE-206	S						
		คานคอนกรีต	S-1	-	-	1.899	56.97
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	S-2	-	-	11.605	359.76
	E						
		เสาคอนกรีต	E-1	-	-	1.5125	30.25
		คานคอนกรีต	E-2	-	-	4.95	148.50
		ผนังอิฐฉาบปูน 4 ”	E-3	-	-	25.23753	782.36
		-	-	กระจก 2 ชั้น	E-4	3.5	183.08
	Roof	หลังคา	R-1				990.08
	รวม						2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ.1-2 แสดงการแปลงหน่วยของค่า Q_1 หลังจากการปรับปรุงอาคารโดยการเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ห้องที่	Q_1 (Watt)	ค่าคงที่	Q_1 (Btu/hr)
IE-101	397.98	3.413	1,358.31
IE-102-1	386.73	3.413	1,319.91
IE-102-2	368.92	3.413	1,259.12
IE-103	291.91	3.413	996.29
IE-201	2542.2	3.413	8,676.53
IE-202	1020.46	3.413	3,482.83
IE-203	1333.64	3.413	4,551.71
IE-204	2325.35	3.413	7,936.42
IE-205	1163.84	3.413	3,972.19
IE-206	2551	3.413	8,706.56

ตารางที่ ฎ.1-3 ผลการคำนวณค่าภาระความเย็น ตามแต่ละห้องในอาคารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลังจากการปรับปรุงอาคาร โดยการเปลี่ยนเป็นกระจก 2 ชั้น (กระจกฉนวนความร้อน)

ห้องที่	ค่าภาระความเย็น (Btu/hr) ($Q_{รวม} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$)
IE-101	4,944.36
IE-102	
• 102-1	6,989.37
• 102-2	4,936.37
IE-103	12,335.21
IE-201	18,716.75
IE-202	14,547.75
IE-203	18,485.15
IE-204	61,728.15
IE-205	57,456.75
IE-206	15,605.30

หมายเหตุค่า Q_2-Q_6 เป็นค่าเดียวกับในอาคารกรณีศึกษา คือ อ้างอิงจากตารางที่ ซ-2 ถึง ซ-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฎ

ตารางแสดงแสดงอัตราดอกเบี้ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฏ-1 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 9 %

9%	Table 14 Discrete cash flow: compound interest factors							9%
	Single Payments		Uniform-Series Payments				Uniform Gradient	
n	Compound Amount F/P	Present Worth P/F	Sinking Fund A/F	Compound Amount F/A	Capital Recovery A/P	Present Worth P/A	Gradient Present Worth P/G	Gradient Annual Series A/G
1	1.0900	0.9174	1.00000	1.0000	1.09000	0.9174		
2	1.1881	0.8417	0.47847	2.0900	0.56847	1.7591	0.8417	0.4785
3	1.2950	0.7722	0.30505	3.2781	0.39505	2.5313	2.3860	0.9426
4	1.4116	0.7084	0.21867	4.5731	0.30867	3.2397	4.5113	1.3925
5	1.5386	0.6499	0.16709	5.9847	0.25709	3.8897	7.1110	1.8282
6	1.6771	0.5963	0.13292	7.5233	0.22292	4.4859	10.0924	2.2498
7	1.8280	0.5470	0.10869	9.2004	0.19869	5.0330	13.3746	2.6574
8	1.9926	0.5019	0.09064	11.0285	0.18067	5.5348	16.8877	3.0512
9	2.1719	0.4604	0.07680	13.0210	0.16680	5.9952	20.5711	3.4312
10	2.3674	0.4224	0.06582	15.1929	0.15582	6.4177	24.3728	3.7978
11	2.5804	0.3875	0.05695	17.5603	0.14695	6.8052	28.2481	4.1510
12	2.8127	0.3555	0.04965	20.1407	0.13965	7.1607	32.1590	4.4910
13	3.0658	0.3262	0.04357	22.9534	0.13357	7.4869	36.0731	4.8182
14	3.3417	0.2992	0.03843	26.0192	0.12843	7.7862	39.9633	5.1326
15	3.6425	0.2745	0.03406	29.3609	0.12406	8.0607	43.8069	5.4346
16	3.9703	0.2519	0.03030	33.0034	0.12030	8.3126	47.5849	5.7245
17	4.3276	0.2311	0.02705	36.9737	0.11705	8.5436	51.2821	6.0024
18	4.7171	0.2120	0.02421	41.3013	0.11421	8.7556	54.8860	6.2687
19	5.1417	0.1945	0.02173	46.0185	0.11173	8.9501	58.3868	6.5236
20	5.6044	0.1784	0.01955	51.1601	0.10955	9.1285	61.7770	6.7674
21	6.1088	0.1637	0.01762	56.7645	0.10762	9.2922	65.0509	7.0006
22	6.6586	0.1502	0.01590	62.8733	0.10590	9.4424	68.2048	7.2232
23	7.2579	0.1378	0.01438	69.5319	0.10438	9.5802	71.2359	7.4357
24	7.9111	0.1264	0.01302	76.7898	0.10302	9.7066	74.1433	7.6384
25	8.6231	0.1160	0.01181	84.7009	0.10181	9.8226	76.9265	7.8316
26	9.3992	0.1064	0.01072	93.3240	0.10072	9.9290	79.5863	8.0156
27	10.2451	0.0976	0.00973	102.7231	0.09973	10.0266	82.1241	8.1906
28	11.1671	0.0895	0.00885	112.9682	0.09885	10.1161	84.5419	8.3571
29	12.1722	0.0822	0.00806	124.1354	0.09806	10.1983	86.8422	8.5154
30	13.2677	0.0754	0.00734	136.3075	0.09734	10.2737	89.0280	8.6657
31	14.4618	0.0691	0.00669	149.5752	0.09669	10.3428	91.1024	8.8083
32	15.7633	0.0634	0.00610	164.0370	0.09610	10.4062	93.0690	8.9436
33	17.1820	0.0582	0.00556	179.8003	0.09556	10.4644	94.9314	9.0718
34	18.7284	0.0534	0.00508	196.9823	0.09508	10.5178	96.6935	9.1933
35	20.4140	0.0490	0.00464	215.7108	0.09464	10.5668	98.3590	9.3083
40	31.4094	0.0318	0.00296	337.8824	0.09296	10.7574	105.3762	9.7957
45	48.3273	0.0207	0.00190	525.8587	0.09190	10.8812	110.5561	10.1603
50	74.3575	0.0134	0.00123	815.0836	0.09123	10.9617	114.3251	10.4295
55	114.4083	0.0087	0.00079	1260.09	0.09079	11.0140	117.0362	10.6261
60	176.0313	0.0057	0.00051	1944.79	0.09051	11.0480	118.9683	10.7683
65	270.8460	0.0037	0.00033	2998.29	0.09033	11.0701	120.3344	10.8702
70	416.7301	0.0024	0.00022	4619.22	0.09022	11.0844	121.2942	10.9427
75	641.1909	0.0016	0.00014	7113.23	0.09014	11.0938	121.9646	10.9940
80	986.5517	0.0010	0.00009	10951	0.09009	11.0998	122.4306	11.0299
85	1517.93	0.0007	0.00006	16855	0.09006	11.1038	122.7533	11.0551
90	2335.53	0.0004	0.00004	25939	0.09004	11.1064	122.9758	11.0726
95	3593.50	0.0003	0.00003	39917	0.09003	11.1080	123.1287	11.0847
96	3916.91	0.0003	0.00002	43510	0.09002	11.1083	123.1529	11.0866
98	4653.68	0.0002	0.00002	51696	0.09002	11.1087	123.1963	11.0900
100	5529.04	0.0002	0.00002	61423	0.09002	11.1091	123.2335	11.0930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ-2 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 25 %

25%	Table 25 Discrete cash flow: compound interest factors							25%
	Single Payments		Uniform-Series Payments				Uniform Gradient	
n	Compound Amount *F/P*	Present Worth *P/F*	Sinking Fund *A/F*	Compound Amount *F/A*	Capital Recovery *A/P*	Present Worth *P/A*	Gradient Present Worth *P/G*	Gradient Annual Series *A/G*
1	1.2500	0.8000	1.00000	1.0000	1.25000	0.8000		
2	1.5625	0.6400	0.44444	2.2500	0.69444	1.4400	0.6400	0.4444
3	1.9531	0.5120	0.26230	3.8125	0.51230	1.9520	1.6640	0.8525
4	2.4414	0.4096	0.17344	5.7656	0.42344	2.3616	2.8928	1.2249
5	3.0518	0.3277	0.12185	8.2070	0.37185	2.6893	4.2035	1.5631
6	3.8147	0.2621	0.08882	11.2588	0.33882	2.9514	5.5142	1.8683
7	4.7684	0.2097	0.06634	15.0735	0.31634	3.1611	6.7725	2.1424
8	5.9605	0.1678	0.05040	19.8419	0.30040	3.3289	7.9469	2.3872
9	7.4506	0.1342	0.03876	25.8023	0.28876	3.4631	9.0207	2.6048
10	9.3132	0.1074	0.03007	33.2529	0.28007	3.5705	9.9870	2.7971
11	11.6415	0.0859	0.02349	42.5661	0.27349	3.6564	10.8460	2.9663
12	14.5519	0.0687	0.01845	54.2077	0.26845	3.7251	11.6020	3.1145
13	18.1899	0.0150	0.05454	68.7596	0.26454	3.7801	12.2617	3.2467
14	22.7374	0.0440	0.01150	86.9495	0.26150	3.8241	12.8334	3.3559
15	28.4217	0.0352	0.00912	109.6868	0.25912	3.8593	13.3260	3.4530
16	35.5271	0.0281	0.00724	138.1085	0.25724	3.8874	13.7482	3.5366
17	44.4089	0.0225	0.00576	173.6357	0.25576	3.9099	14.1085	3.6084
18	55.5112	0.0180	0.00459	218.0446	0.25459	3.9279	14.4147	3.6698
19	69.3889	0.0144	0.00366	273.5558	0.25366	3.9424	14.6741	3.7222
20	86.7362	0.0115	0.00292	342.9447	0.25292	3.9539	14.8932	3.7667
22	135.5253	0.0074	0.00186	538.1011	0.25186	3.9705	15.2326	3.8365
24	211.7582	0.0047	0.00119	843.0329	0.25119	3.9811	15.4711	3.8861
26	330.8722	0.0030	0.00076	1319.49	0.25076	3.9879	15.6373	3.9212
28	516.9879	0.0019	0.00048	2063.95	0.25048	3.9923	15.7524	3.9457
30	807.7936	0.0012	0.00031	3227.17	0.25031	3.9950	15.8316	3.9628
32	1262.18	0.0008	0.00020	5044.71	0.25020	3.9968	15.8859	3.9746
34	1972.15	0.0005	0.00013	7884.61	0.25013	3.9980	15.9229	3.9828
35	2465.19	0.0004	0.00010	9856.76	.025010	3.9984	15.9367	3.9858
36	3081.49	0.0003	0.00008	12322	0.25008	3.9987	15.9481	3.9883
38	4814.82	0.0002	0.00005	19255	0.25005	3.9992	15.9651	3.9921
40	7523.16	0.0001	0.00003	30089	0.25003	3.9995	15.9766	3.9947
45	22959		0.00001	91831	0.25001	3.9998	15.9915	3.9980
50	70065				0.25000	3.9999	15.9969	3.9993
55					0.25000	4.0000	15.9989	3.9997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฏ-3 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 30 %

30%	Table 26 Discrete cash flow: compound interest factors							30%
	Single Payments		Uniform-Series Payments				Uniform Gradient	
n	Compound Amount *F/P*	Present Worth *P/F*	Sinking Fund *A/F*	Compound Amount *F/A*	Capital Recovery *A/P*	Present Worth *P/A*	Gradient Present Worth *P/G*	Gradient Annual Series *A/G*
1	1.3000	0.7692	1.00000	1.0000	1.30000	0.7692		
2	1.6900	0.5917	0.43478	2.3000	0.73478	1.3609	0.5917	0.4348
3	2.1970	0.4552	0.25063	3.9900	0.55063	1.8161	1.5020	0.8271
4	2.8561	0.3501	0.16163	6.1870	0.46163	2.1662	2.5524	1.1783
5	3.7129	0.2693	0.11058	9.0431	0.41058	2.4356	3.6297	1.4903
6	4.8268	0.2072	0.07839	12.7560	0.37839	2.6427	4.6656	1.7654
7	6.2749	0.1594	0.05687	17.5828	0.35687	2.8021	5.6218	2.0063
8	8.1573	0.1226	0.04192	23.8577	0.34192	2.9247	6.4800	2.2156
9	10.6045	0.0943	0.03124	32.0150	0.33124	3.0190	7.2343	2.3963
10	13.7858	0.0725	0.02346	42.6195	0.32346	3.0915	7.8872	2.5512
11	17.9216	0.0558	0.01773	56.4053	0.31773	3.1473	8.4452	2.6833
12	23.2981	0.0429	0.01345	74.3270	0.31345	3.1903	8.9173	2.7952
13	30.2875	0.0330	0.01024	97.6250	0.31024	3.2233	9.3135	2.8895
14	39.3738	0.0254	0.00782	127.9125	0.30782	3.2487	9.6437	2.9685
15	51.1859	0.0195	0.00598	167.2863	0.30598	3.2682	9.9172	3.0344
16	66.5417	0.0150	0.00458	218.4722	0.30458	3.2832	10.1426	3.0892
17	86.5042	0.0116	0.00351	285.0139	0.30351	3.2948	10.3276	3.1345
18	112.4554	0.0089	0.00269	371.5180	0.30269	3.3037	10.4788	3.1718
19	146.1920	0.0068	0.00207	483.9734	0.30207	3.3105	10.6019	3.2025
20	190.0496	0.0053	0.00159	630.1655	0.30159	3.3158	10.7019	3.2275
22	321.1839	0.0031	0.00094	1067.28	0.30094	3.3230	10.8482	3.2646
24	542.8008	0.0018	0.00055	1806.00	0.30055	3.3272	10.9433	3.2890
25	705.6410	0.0014	0.00043	2348.80	0.30043	3.3286	10.9773	3.2979
26	917.3333	0.0011	0.00033	3054.44	0.30033	3.3297	11.0045	3.3050
28	1550.29	0.0006	0.00019	5164.31	0.30019	3.3312	11.0437	3.3153
30	2620.00	0.0004	0.00011	8729.99	0.30011	3.3321	11.0687	3.3219
32	4427.79	0.0002	0.00007	14756	0.30007	3.3326	11.0845	3.3261
34	7482.97	0.0001	0.00004	24940	0.30004	3.3329	11.0945	3.3288
35	9727.86	0.0001	0.00003	32423	0.30003	3.3330	11.0980	3.3297

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฎ-4 แสดงอัตราดอกเบี้ยที่ 40 %

40%	Table 28 Discrete cash flow: compound interest factors							40%
	Single Payments		Uniform-Series Payments				Uniform Gradient	
n	Compound Amount F/P	Present Worth P/F	Sinking Fund A/F	Compound Amount F/A	Capital Recovery A/P	Present Worth P/A	Gradient Present Worth P/G	Gradient Annual Series A/G
1	1.4000	0.7143	1.00000	1.0000	1.40000	0.7143		
2	1.9600	0.5102	0.41667	2.4000	0.81667	1.2245	0.5102	0.4167
3	2.7440	0.3644	0.22936	4.3600	0.62936	1.5889	1.2391	0.7798
4	3.8416	0.2603	0.14077	7.1040	0.54077	1.8492	2.0200	1.0923
5	5.3782	0.1859	0.09136	10.9456	0.49136	2.0352	2.7637	1.3580
6	7.5295	0.1328	0.06126	16.3238	0.46126	2.1680	3.4278	1.5811
7	10.5414	0.0949	0.04192	23.8534	0.44192	2.2628	3.9970	1.7664
8	14.7579	0.0678	0.02907	34.3947	0.42907	2.3306	4.4713	1.9185
9	20.6610	0.0484	0.02034	49.1526	0.42034	2.3790	4.8585	2.0422
10	28.9255	0.0346	0.01432	69.8137	0.41432	2.4136	5.1696	2.1419
11	40.4957	0.0247	0.01013	98.7391	0.41013	2.4383	5.4166	2.2215
12	56.6939	0.0176	0.00718	139.2348	0.40718	2.4559	5.6106	2.2845
13	79.3715	0.0126	0.00510	195.9287	0.40510	2.4685	5.7618	2.3341
14	111.1201	0.0090	0.00363	275.3002	0.40363	2.4775	5.8788	2.3729
15	155.5681	0.0064	0.00259	386.4202	0.40259	2.4839	5.9688	2.4030
16	217.7953	0.0046	0.00185	541.9883	0.40185	2.4885	6.0376	2.4262
17	304.9135	0.0033	0.00132	759.7837	0.40132	2.4918	6.0901	2.4441
18	426.8789	0.0023	0.00094	1064.70	0.40094	2.4941	6.1299	2.4577
19	597.6304	0.0017	0.00067	1491.58	0.40067	2.4958	6.1601	2.4682
20	836.6826	0.0012	0.00048	2089.21	0.40048	2.4970	6.1828	2.4761
22	1639.90	0.0006	0.00024	4097.24	0.40024	2.4985	6.2127	2.4866
24	3214.20	0.0003	0.00012	8033.00	0.40012	2.4992	6.2294	2.4925
25	4499.88	0.0002	0.00009	11247	0.40009	2.4994	6.2347	2.4944
26	6299.83	0.0002	0.00006	15747	0.40006	2.4996	6.2387	2.4959
28	12348	0.0001	0.00003	30867	0.40003	2.4998	6.2438	2.4977
30	24201		0.00002	60501	0.40002	2.4999	6.2466	2.4988
32	47435		0.00001		0.40001	2.4999	6.2482	2.4993
34	92972				0.40000	2.5000	6.2490	2.4996
35					0.40000	2.5000	6.2493	2.4997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. วชิระ อัครวุฒิวงศ์, อมรเทพ ราชรองเมือง. *"การศึกษาหาแนวทางเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าใน อาคารอำนวยการ อาคารเรียนรวม และอาคารศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาสยามบรมราชกุมารี"*. ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2542 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

2. ปิติ อวิรุทธ์วรกุล, วิสุทธิ์ วิเศษคร้อ, ศรายุทธ ธเนศสกุลวัฒนา. *" การศึกษาและปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน กรณีศึกษา อาคารโรงแรม เฟลิกซ์ อโนมา สวิส โฮเต็ล"*. ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. คมสัน เตชะกิจขจร, นรากร นรังศิยา, ศุภศิลป์ ฉัตรมณีเวช, สุราษฎร์ สุธารุ่งแสงระวี. *"การศึกษาหาแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคารเรียน 12 ชั้น"*. ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4. ชวโน ศศิวงศ์ภักดี, ณัฐพงษ์ เอกวินัย, ดนุชพงษ์ เศวตศิลา, สมาน รักปัญญา. *"การศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานปั่นด้าย และการสร้างโปรแกรมการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร "*. ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

5. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. *"การประชุมใหญ่ทางวิชาการ ประจำปี 2530 เรื่องการบริหารพลังงานและงานแสดงนิทรรศ ECON'87 "*. วันที่ 23-25 เมษายน 2530 ณ.โรงแรมเอเชีย

6. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดปทุมธานี, กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. *"เอกสารประกอบการบรรยาย หลักสูตรการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับผู้ประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อม"*. วันที่ 28-30 เมษายน 2540 ณ.สถาบันเอเชียตะวันออกศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

7. สุรพล พฤกษพานิช. *"การปรับอากาศ หลักการและระบบ"*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2529.

8. อัครเดช สินธุภัค, *"การปรับอากาศ"*. ตำราชุดวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ , 2542

9. ศุลี บรรจงจิตร. *"วิศวกรรมการส่องสว่าง"*. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. *"คู่มือการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a "*. พิมพ์ครั้งที่ 1. พฤศจิกายน 2542

11. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร"*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2539

12. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร"*. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,2543

13. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน"*. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543

14. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"การใช้กระจก"*. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543

15. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"ข้อแนะนำการประหยัดพลังงานในอาคาร"*. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,2542

16. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"บุฉนวนกันความร้อนช่วยประหยัดพลังงาน"*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,2542

17. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง"* พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,2542

18. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"หลอดไฟฟ้าชนิดใหม่ช่วยประหยัดพลังงาน"* พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,2542

19. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. *"การประหยัดไฟฟ้าในระบบปรับอากาศสำหรับอาคารสำนักงาน"* พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย,2542

20. สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน."*พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม กฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535"* . พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้