

การวิเคราะห์การสูญเสีย โอกาสทางด้านการประหยัดพลังงานสำหรับอาคาร



นาย ชีระชาติ พรพิบูลย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-3799-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPPORTUNITY LOSS ANALYSIS FOR ENERGY SAVING IN BUILDING

Mr. Teerachart Pornpibul

**A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Mechanical Engineering**

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic year 2005

ISBN 974-14-3799-4

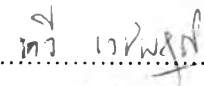
481669

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การสูญเสียโอกาสทางด้านการประหยัดพลังงานสำหรับ
อาคาร
โดย นาย ชีระชาติ พรพิบูลย์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์


คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต



..... คณบดีคณะ วิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

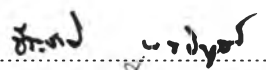

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตูลย์ มณีวัฒนา)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชัย กฤษไมตรี)

ธีระชาติ พรพิบูลย์ : การวิเคราะห์การสูญเสียโอกาสทางด้านการประหยัดพลังงานสำหรับอาคาร. (OPPORTUNITY LOSS ANALYSIS FOR ENERGY SAVING IN BUILDING)
 อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. เชิดพันธ์ วิทยากรณ์, 255 หน้า. ISBN 974-14-3799-4

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมต่อความต้องการพลังงานของอาคารขึ้นอยู่กับอิทธิพลของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ รูปแบบอุณหภูมิ และ รูปแบบความชื้นจำเพาะของสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยจะพิจารณาถึงการนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้าสู่อาคารในทิศทางต่างๆ เพื่อการประหยัดพลังงานอีกด้วย ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย คุณสมบัติเฉลี่ยของกระจกในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และมองไม่เห็น รวมไปถึงมิติของกระจกในแต่ละทิศทางของผนังอาคาร อาคารอ้างอิงสำหรับการศึกษาวิจัยนี้ประกอบด้วยอาคารอ้างอิง 3 ขนาด คือ 10,800 30,000 และ 120,000 ตารางเมตร อาคารทั้ง 3 ขนาดเป็นอาคารความสูง 40 เมตร จำนวน 12 ชั้น

ผลการวิจัยพบว่า ณ จุดที่อาคารมีการใช้พลังงานต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขของการออฟดีไมเซชัน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบความชื้นจำเพาะค่อนข้างจะมีอิทธิพลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่ำสุดที่อาคารใช้ไปเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์และรูปแบบอุณหภูมิ การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน ณ จุดที่อาคารใช้พลังงานต่ำสุดที่ค่าความน่าจะเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ที่ 50% จะมีแนวโน้มต่ำกว่าที่ 80% เล็กน้อย ขณะที่ ณ ค่าความน่าจะเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ที่ 99% การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงานจะมีค่าสูงมากตลอดช่วงการผันแปรของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามค่าความจำเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ 50% จะเกินขอบเขตความสบายเชิงส่ายตาและอิทธิพลของความจำเป็นจะลดลงเมื่อเลือกใช้ค่าความน่าจะเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ที่สูงขึ้น เมื่อคำนึงทั้งด้านประหยัดพลังงานและความสบายเชิงส่ายตา ค่าความน่าจะเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ที่ 80% น่าจะเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ โดยรวมแล้วปัจจัยควบคุมได้ที่เหมาะสมควรจะเป็นค่าที่ทำให้การใช้พลังงานของอาคารอยู่ในระดับต่ำตลอดช่วงการผันแปรของปัจจัยควบคุมไม่ได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548

4471812421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: ENERGY SAVING / OPPORTUNITY LOSS / UNCERTAINTY

TEERACHART PORNPIBUL : OPPORTUNITY LOSS ANALYSIS FOR ENERGY SAVING IN BUILDING. THESIS ADVISOR: CHIRDPUN VITOORAPORN, PH.D., 255 pp . ISBN 974-14-3799-4

The optimal parameters for each solar pattern, temperature pattern, and specific humidity pattern of the surrounding which influence on the building energy consumption are studied. Daylight introduced into the building for energy saving in various amounts and directions is also included in the study. The parameters involved in this study are average solar properties of glass, both in visible and non-visible wavelength region, and the glass dimension on each building surface. The study is done base on three reference buildings where each building is 12 stories and 40 meter high. The overall area for each building is 10,800, 30,000, and 120,000 squaremeter.

It is found that at the minimum building energy usage under the optimization process, the specific humidity pattern variation shows little effect on the variation of minimum building energy when compared with solar pattern and temperature pattern variation. At the minimum building energy, the opportunity loss for energy saving at 50% solar pattern is a few lower than that at 80% solar pattern. The opportunity loss for energy saving is high in all ranges of solar pattern and for all concerned building orientations and sizes. However it is found that the daylight glare index calculated at 50% solar pattern goes beyond the limit value for visual comfort and the index goes lower when higher solar pattern probability is used. Therefore the 80% solar pattern should be a good choice for the design when both energy saving and visual comfort are concerned. In overall, the optimum controllable parameters used should maintain the building energy usage at low level in all ranges of uncontrollable parameter variation.

Department..... Mechanical Engineering..... Student's signature Teerachart Pornpibul

Field of study..... Mechanical Engineering..... Advisor's signature Chirdpun Vitooraporn

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร. เจริญพันธ์ วิทยุราภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งคอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ศาตราภิชาน ทวี เวชพฤติ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตูลย์ มณีวัฒนา และ อาจารย์ ดร. พิชัย กฤษไมตรี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่ช่วยแนะนำ ควบคุมดูแล ตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเพื่อนคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสำหรับกำลังใจ และคำแนะนำที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร. วรพจน์ ขำพิศ คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ในการให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจกับผู้วิจัยตลอดระยะเวลาของการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีทุกท่านสำหรับความอนุเคราะห์ ไม้ตรีจิต และความสะดวกตลอดระยะเวลาการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยวิจัย นาย พัชรพล ต้นแสนทวี และ นางสาว ทิพวรรณ บัญชาวั่ง สำหรับการเก็บบันทึกผลการวิจัยและงานด้านเอกสารต่างๆ ของงานวิจัยนี้ด้วยความขยัน อดทน และตั้งใจ จนทำให้งานวิจัยนี้บรรลุผลสำเร็จด้วยดี

ขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. เทพฤทธิ์ ทองซูป คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม สำหรับคำปรึกษาและอนุเคราะห์ข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ ภรรยา สำหรับการสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ณ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การศึกษาวิจัยปัจจัยผันแปรที่ส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานของอาคาร.....	5
2.2 การศึกษาวิจัยรูปแบบอาคารที่มีต่อการใช้พลังงานของอาคาร.....	8
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	11
3.1 อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อภาระการทำความเย็น.....	11
3.2 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ต่อการส่องสว่างภายในอาคาร.....	20
3.3 การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็น โดยวิธีสมดุลความร้อน (Heat Balance Method).....	26
3.4 ปริมาณการส่องสว่างจากสิ่งแวดล้อม.....	34
3.5 ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น.....	37
3.6 ประสิทธิภาพการส่องสว่างของระบบไฟส่องสว่าง.....	39
3.7 การสูญเสียโอกาสสำหรับการประหยัดพลังงาน.....	40
3.8 การออปติไมเซชัน (Optimization Method).....	42
3.9 การวิเคราะห์แนวทางการออปติไมเซชันกับการใช้พลังงานของอาคาร.....	46

บทที่ 4 การจัดการวิจัย	57
4.1 แนวทางการวิเคราะห์การใช้พลังงานของ ระบบทำความเย็นและระบบส่องสว่าง.....	57
4.2 แนวทางการอพติไมเซชัน.....	58
4.3 การดำเนินการวิจัย.....	59
บทที่ 5 การวิเคราะห์และสรุป	67
5.1 ผลกระทบของปัจจัยควบคุมไม่ได้ที่มีต่อการใช้ พลังงานในการทำความเย็นและการส่องสว่าง.....	67
5.2 ผลกระทบของปัจจัยควบคุมไม่ได้ที่มีต่อปัจจัย ควบคุมได้จากผลลัพธ์ของการอพติไมเซชัน.....	70
5.3 แนวโน้มของการสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน.....	84
5.4 สรุปผลการวิเคราะห์การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน.....	89
บทที่ 6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและข้อเสนอแนะ	91
6.1 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	91
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป.....	92
รายการอ้างอิง	94
ภาคผนวก	97
ภาคผนวก ก.....	98
ภาคผนวก ข.....	112
ภาคผนวก ค.....	128
ภาคผนวก ง.....	170
ภาคผนวก จ.....	242
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	255

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงมิติของผนังอาคารในแต่ละทิศการวางตัว สำหรับอาคารขนาดต่างๆ ที่พิจารณา.....	65
ตารางที่ 4.2 มิติของห้อง สัดส่วนห้อง และค่า CU สูงสุดและต่ำสุด.....	66
ตารางที่ ก.1 แสดงรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ ที่ความน่าจะเป็น 99% หน่วย W/m^2	99
ตารางที่ ก.2 แสดงรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ ที่ความน่าจะเป็น 80% หน่วย W/m^2	99
ตารางที่ ก.3 แสดงรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ ที่ความน่าจะเป็น 50% หน่วย W/m^2	100
ตารางที่ ก.4 แสดงรูปแบบความชื้นจำเพาะ ที่ความน่าจะเป็น 99% หน่วย kg_w/kg_a	104
ตารางที่ ก.5 แสดงรูปแบบความชื้นจำเพาะ ที่ความน่าจะเป็น 80% หน่วย kg_w/kg_a	105
ตารางที่ ก.6 แสดงรูปแบบความชื้นจำเพาะ ที่ความน่าจะเป็น 50% หน่วย kg_w/kg_a	106
ตารางที่ ก.7 แสดงรูปแบบอุณหภูมิ ที่ความน่าจะเป็น 99% หน่วย $^{\circ}C$	107
ตารางที่ ก.8 แสดงรูปแบบอุณหภูมิ ที่ความน่าจะเป็น 80% หน่วย $^{\circ}C$	108
ตารางที่ ก.9 แสดงรูปแบบอุณหภูมิ ที่ความน่าจะเป็น 50% หน่วย $^{\circ}C$	108
ตารางที่ ก.10 มิติอาคารอ้างอิงวางตัวในทิศหลัก หน่วยเมตร.....	110
ตารางที่ ก.11 มิติอาคารอ้างอิงวางตัวในทิศเฉียง หน่วยเมตร.....	111
ตารางที่ ข.1 รายการกรณีศึกษา.....	113
ตารางที่ ข.2 ผลการอพติไมเซชันสำหรับรูปแบบความชื้นจำเพาะเฉลี่ย.....	122
ตารางที่ ค.1 การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน.....	129
ตารางที่ จ.1 แสดงผลการคำนวณสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนของผนัง.....	245
ตารางที่ จ.2 แสดงผลการคำนวณมุมตกกระทบ (θ) ของผนังอาคารด้านต่างๆ.....	246
ตารางที่ จ.3 อุณหภูมิพื้นผิวอาคาร เวลา 13.00 น 21 พฤษภาคม.....	252

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 แสดงมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของแสงที่พื้นผิวกระจก.....	18
รูปที่ 3.2 แสดงสัดส่วนการสะท้อน การส่งผ่าน และ การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของกระจก.....	18
รูปที่ 3.3 มิติต่างๆ ของการพิจารณาดัชนีความจ้ำ.....	25
รูปที่ 3.4 กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง.....	27
รูปที่ 3.5 กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก.....	27
รูปที่ 3.6 กระบวนการถ่ายเทความร้อนภายในพื้นที่ทำความเย็น.....	32
รูปที่ 3.7 แสดงการเบี่ยงเบนของการใช้พลังงานส่องสว่าง และทำความเย็นเมื่อปัจจัยควบคุมไม่ได้แทนด้วยสถานะ 1 2 และ 3 เปลี่ยนไป.....	42
รูปที่ 4.1 ภาพรวมของการอพติไมเซชันสำหรับปัจจัยคงที่ปัจจัยหนึ่ง ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยควบคุมไม่ได้ต่างๆ ของการศึกษาวิจัย.....	59
รูปที่ 4.2 แผนภูมิการอพติไมเซชัน.....	60
รูปที่ 4.3 แสดงการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน.....	62
รูปที่ 4.4 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิรายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน.....	62
รูปที่ 4.5 แสดงการแจกแจงความชื้นจำเพาะรายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน.....	62
รูปที่ 4.6 การวางตัวของอาคารในแนวทิศหลักและการวางตัวในแนวทิศเฉียง.....	63
รูปที่ 4.7 แสดงแนวโน้มสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาด 200 ตัน.....	66
รูปที่ 5.1 พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น สำหรับการพิจารณา พลังงานที่ใช้น้อยที่สุดภายใต้ผลกระทบของปัจจัยควบคุมไม่ได้ อาคารอ้างอิงขนาดกลางด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก.....	69
รูปที่ 5.2 พลังงานที่ใช้ในการส่องสว่าง สำหรับการพิจารณา พลังงานที่ใช้น้อยที่สุด ภายใต้ผลกระทบของปัจจัยควบคุมไม่ได้ อาคารอ้างอิงขนาดกลางด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก.....	69
รูปที่ 5.3 พลักซ์รังสีตรงและรังสีกระจาย ตกกระทบตั้งฉากกับ ระนาบแนวระดับ สำหรับความน่าจะเป็นของรูปแบบ รังสีดวงอาทิตย์ 80% และ 50% วันที่ 21 พฤษภาคม.....	72

รูปที่ 5.4 แสดงแนวโน้มของคุณสมบัติของกระจกย่านความยาว คลื่นมองเห็นได้ สำหรับอาคารขนาดใหญ่ ด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก สภาวะภายนอก (%SP,50%,50%).....	72
รูปที่ 5.5 สัดส่วนความยาวแนวตั้งของกระจกต่อความสูงอาคาร สำหรับอาคารขนาดเล็กด้านเท่ากัน วางตัวในทิศเฉียง สภาวะภายนอก (%SP,50%TP,50%HP).....	73
รูปที่ 5.6 อัตราส่วนความยาวแนวตั้งของกระจกต่อความสูงอาคาร สำหรับอาคารขนาดใหญ่ด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก สภาวะภายนอก (%SP,50%TP,50%HP).....	74
รูปที่ 5.7 แสดง $SPR_v^*(DIR,0)$ สำหรับอาคารอ้างอิงขนาดใหญ่ ด้านเท่ากัน (SQL)และขนาดเล็ก ด้านเท่ากัน (SQS) วางตัวในทิศหลัก ภายใต้ความน่าจะเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์.....	78
รูปที่ 5.8 แสดง $SPR_v^*(DIR,0)$ สำหรับอาคารอ้างอิงขนาดเล็กด้านเท่ากัน (SQS) และขนาดใหญ่ ด้านเท่ากัน (SQL) วางตัวในทิศเฉียง ภายใต้ความน่าจะเป็นของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์.....	79
รูปที่ 5.9 แสดง $SPR_v^*(DIR,0)$ อาคารขนาดเล็กด้านไม่เท่า(RCS) และอาคารขนาดใหญ่ด้านไม่เท่า(RCL) ซึ่งมีด้านยาวในทิศเหนือและได้ วางตัวในทิศหลัก การผันแปรของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์.....	80
รูปที่ 5.10 แสดง $SPR_v^*(DIR,0)$ อาคารขนาดใหญ่ด้านไม่เท่า(RCL) และอาคารขนาดเล็กด้านไม่เท่า (RCS) มีด้านยาวในทิศตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกเฉียงเหนือ วางตัวในทิศเฉียง ภายใต้การผันแปรของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์.....	81
รูปที่ 5.11 แสดง $SPR_v^*(DIR,0)$ อาคารขนาดใหญ่ด้านไม่เท่า(RCL) และอาคารขนาดเล็กด้านไม่เท่า (RCS) มีด้านยาวในทิศตะวันออกและตะวันตก วางตัวในทิศหลัก ภายใต้การผันแปรของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์.....	82

รูปที่ 5.12 แสดง $SPR_v^*(DIR,0)$ อาคารขนาดใหญ่ด้านไม่เท่า(RCL) และอาคารขนาดเล็กด้านไม่เท่า (RCS) มีด้านยาวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ วางตัวในทิศเฉียง ภายใต้การผันแปรของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์.....	83
รูปที่ 5.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบอุณหภูมิที่ความน่าจะเป็น 50% 80% และ 99% ที่มีต่อพลังงานที่อาคารใช้ สำหรับอาคารอ้างอิงขนาดเล็ก ด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก ภายใต้รูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ ความน่าจะเป็น 99% และรูปแบบความชื้นจำเพาะความน่าจะเป็น 50%.....	85
รูปที่ 5.14 แนวโน้มของพลังงานที่อาคารใช้ภายใต้การผันแปร ของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ อาคารขนาดเล็ก ด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก.....	86
รูปที่ 5.15 แนวโน้มของพลังงานที่อาคารใช้ภายใต้การผันแปร ของรูปแบบรังสีดวงอาทิตย์ อาคารขนาดกลาง ด้านเท่ากัน วางตัวในทิศหลัก.....	87
รูปที่ ก.1 แสดงรูปแบบการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์ ที่ความน่าจะเป็น 99%.....	101
รูปที่ ก.2 แสดงรูปแบบการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์ ที่ความน่าจะเป็น 80%.....	102
รูปที่ ก.3 แสดงรูปแบบการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์ ที่ความน่าจะเป็น 50%.....	103
รูปที่ ก.4 แสดงรูปแบบการแจกแจงความชื้นจำเพาะ ที่ความน่าจะเป็น 99%.....	104
รูปที่ ก.5 แสดงรูปแบบการแจกแจงความชื้นจำเพาะ ที่ความน่าจะเป็น 80%.....	105
รูปที่ ก.6 แสดงรูปแบบการแจกแจงความชื้นจำเพาะ ที่ความน่าจะเป็น 50%.....	106
รูปที่ ก.7 แสดงรูปแบบการแจกแจงอุณหภูมิ ที่ความน่าจะเป็น 99%.....	107
รูปที่ ก.8 แสดงรูปแบบการแจกแจงอุณหภูมิ ที่ความน่าจะเป็น 80%.....	108
รูปที่ ก.9 แสดงรูปแบบการแจกแจงอุณหภูมิ ที่ความน่าจะเป็น 50%.....	109
รูปที่ ก.10 แสดงทิศการวางตัวของอาคารที่พิจารณา.....	110
รูปที่ ง.1 แผนภูมิภาพรวมการปฏิบัติการทั้งหมดของ โปรแกรม.....	173
รูปที่ ง.2 แสดงแผนภูมิการทำงานของ โปรแกรมย่อย READDATA.....	174
รูปที่ ง.3 แสดงแผนภูมิการทำงานของ โปรแกรมย่อย R_FACTOR.....	175
รูปที่ ง.4 แสดงแผนภูมิการทำงานของ โปรแกรม สำหรับการคำนวณ $Q_{sol,i}^n$ และ $Q_{sol,o}^n$	176
รูปที่ ง.5 แสดงแผนภูมิการทำงานของ โปรแกรมสำหรับการคำนวณ Q_{al}	177

รูปที่ ง.6 แสดงแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมสำหรับการคำนวณ DGI	178
รูปที่ ง.7 แสดงแผนภูมิการทำงานบางส่วนของ โปรแกรมย่อย ENERGY สำหรับการคำนวณ $\dot{Q}_d(P)$ ของวันที่พิจารณา.....	180
รูปที่ ง.8 แสดงแผนภูมิการคำนวณพลังงานสุทธิรายปี จากการทำความเย็นและกำลังงานการส่องสว่างของอาคาร.....	181

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

ASHRAE

สมาคมวิศวกรรม ระบบความร้อน ระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศ แห่ง สหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers)

$Q_{conv,o}^*$

ฟลักซ์การพาความร้อนรวม (W/m^2)

h_{co}

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวม (W/m^2K)

T_o

อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$)

T_{so}

อุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของอาคาร ($^{\circ}C$)

h_f

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับ (W/m^2K)

h_n

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (W/m^2K)

$Q_{sol,o}^*$

ฟลักซ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์คลื่นสั้น (W/m^2)

α_o

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของผนังภายนอกอาคาร (W/m^2)

$I_{D,s}$

ฟลักซ์รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิว s ของอาคาร (W/m^2)

$I_{d,s}$

ฟลักซ์รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิว s ของอาคาร (W/m^2)

$I_{g,s}$

ฟลักซ์รังสีสะท้อนจากพื้นตกกระทบพื้นผิว s ของอาคาร (W/m^2)

I_h

ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนพื้นผิวแนวระดับ (W/m^2)

$I_{D,N}$	ฟลักซ์รังสีตรงตกกระทบบนพื้นผิวแนวระดับ (W/m^2)
z	มุมตรงศีรษะ (องศา) (Zenith Angle)
C	ตัวประกอบการกระจายรังสีตรงเนื่องจากอิทธิพลของท้องฟ้า (Sky Diffuse Factor)
$I_{d,h}$	ฟลักซ์รังสีกระจายบนพื้นผิวแนวระดับ (W/m^2)
θ	มุมตกกระทบบน (องศา) (Incident Angle)
β	มุมเอียงของพื้นผิวอาคารจากแนวระดับ (องศา)
$I_{g,s}$	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์สะท้อนผ่านพื้นดินตกกระทบบนพื้นผิว s ของอาคาร (W/m^2)
ρ_g	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้น โดยรอบอาคาร
$Q_{LWR,o}^*$	ฟลักซ์การแผ่รังสีเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและพื้นผิวอาคาร (W/m^2)
ε	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี (Emittance) ของพื้นผิวภายนอกอาคาร
σ	ค่าคงที่ของสเตฟาน โบลทซ์มานน์ (W/m^2k^4) (Stefan-Boltzmann)
F_a	ตัวประกอบรูปร่าง (Shape Factor) ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวผนังภายนอกกับบรรยากาศ
F_{sky}	ตัวประกอบรูปร่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวผนังภายนอกกับท้องฟ้า
F_g	ตัวประกอบรูปร่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวผนังภายนอกกับพื้นดิน
T_{sky}	อุณหภูมิของท้องฟ้า ($^{\circ}C$)
T_g	อุณหภูมิพื้นดิน ($^{\circ}C$)
$Q_{r,sol}^*$	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านกระจกเข้าสู่อาคาร (W/m^2)
$\tau(\lambda, \theta)$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์
λ	ความยาวคลื่นของรังสีดวงอาทิตย์ (นาโนเมตร)
$Q_{sol}^*(\lambda, \theta)$	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนกระจก (W/m^2)

$\tau_v(\theta)$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรวมในย่านความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (380 – 780 นาโนเมตร)
$\tau_n(\theta)$	สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรวมในย่านความยาวคลื่นรังสีอินฟราเรดบางส่วน (780 – 2500 นาโนเมตร)
ρ_s	สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิวกระจก
χ	มุมสะท้อน (องศา) (Reflection Angle)
$n(\lambda)$	ดัชนีการสะท้อน
$P_n(0), P_v(0), P(0)$	สัมประสิทธิ์การสะท้อน การส่งผ่านและการดูดกลืนสุทธิในย่านความยาวคลื่นมองเห็นได้และมองไม่เห็น ตามลำดับในทิศตกกระทบตั้งฉาก
$p(0, \lambda)$	สัมประสิทธิ์การสะท้อน การส่งผ่านและการดูดกลืนในย่านความยาวคลื่นต่างๆ ในทิศตกกระทบตั้งฉาก
$E(\lambda)$	รังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ภายใต้มาตรฐาน ASTM E 891(W/m ²)
W_{dl}	ความจุไอน้ำในอากาศ (cm ³)
T_{dew}	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (°C) (Dew Point Temperature)
ϵ_{dl}	ปัจจัยความชื้น
κ	ค่าคงที่ เท่ากับ 1.014
m	มวลอากาศสัมพัทธ์ (Relative Optical Air mass)
Δ	ปัจจัยความสว่าง
I_0	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์เหนือโลก (Extraterrestrial Irradiance) (W/m ²)
E_h	ความส่องสว่างจากรังสีดวงอาทิตย์รวมบนพื้นผิวแนวระดับ (Lux)
$E_{d,h}$	ความส่องสว่างจากรังสีกระจายบนพื้นผิวแนวระดับ (Lux)
$E_{D,h}$	ความส่องสว่างจากรังสีตรงบนพื้นผิวแนวระดับ (Lux)
$E_{D,s}$	ความส่องสว่างจากรังสีตรงกระทบพื้นผิว s ของอาคาร (Lux)

$E_{d,s}$	ความส่องสว่างจากรังสีกระจายกระทบพื้นผิว s ของอาคาร (Lux)
F_1, F_2	ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ ϵ , Δ และ z
$E_{g,s}$	ความส่องสว่างของรังสีดวงอาทิตย์สะท้อนจากพื้นดินสู่พื้นผิว s ของอาคาร (Lux)
DGI	ดัชนีความจ้า
Ω	มุมตัน (St)
ω	ตัวแปรไร้มิติแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมิติกระจกกับตำแหน่งที่พิจารณา
E_s	ความส่องสว่างจากภายนอกที่ส่งผ่านกระจกหน้าต่างเข้าสู่ภายในอาคาร (Lux)
$E_{d,s}$	ความส่องสว่างทั้งหมด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา (Lux)
E_w	ความส่องสว่างจากภายนอก ณ ตำแหน่งที่พิจารณา (Lux)
ϕ	ตัวประกอบรูปร่าง(Shape Factor) ระหว่างหน้าต่างกับตำแหน่งที่พิจารณา
$Q_{asol,i}''$	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบและดูดกลืนที่พื้นผิวภายในอาคาร (W/m^2)
$Q_{rsol,d}''$	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านเข้าสู่อาคารส่วนรังสีกระจาย (W/m^2)
$Q_{rsol,D}''$	ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านเข้าสู่อาคารส่วนรังสีตรง (W/m^2)
α_i	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของผนังภายใน
A_g	พื้นที่กระจก (m^2)
A	พื้นที่ผนัง (m^2)
m	จำนวนกระจก
n	จำนวนผนัง
G	ฟลักซ์รังสีความร้อนคลื่นยาว (W/m^2) หรือความส่องสว่าง (Lux) ทั้งหมดที่ตกกระทบพื้นผิวภายในของอาคาร

J	ฟลักซ์รังสีความร้อนคลื่นยาว (W/m^2) หรือความส่องสว่าง (Lux) ทั้งหมดที่ออกจากพื้นผิวภายในของอาคาร
ρ_s	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของการแผ่รังสีถ่ายโอนระหว่างพื้นผิว
$Q_{sw,i}^*$	ฟลักซ์รังสีความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ตกกระทบผนังอาคาร (W/m^2)
T	อุณหภูมิที่ตำแหน่งใดๆ ในแนวมิติความลึกผนังอาคาร ($^{\circ}C$)
t	เวลา (วินาที)
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของวัสดุ (W/m^2K)
ρ	ความหนาแน่นของผนัง (kg/m^3)
c_p	ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg) (Specific Heat)
x_i	มิติความลึกผนังอาคาร (m)
X_n	สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนการนำความร้อนของผนังภายนอก ($W/m^2 K$)
Y_n	สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนการนำความร้อนระหว่างผนังภายในและภายนอก ($W/m^2 K$)
Z_n	สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนการนำความร้อนของผนังภายใน ($W/m^2 K$)
Φ_n	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนฟลักซ์ (Flux Coefficient)
δ	คาบเวลาที่พิจารณา (ชั่วโมง)
\dot{Q}_{cl}	ภาระการทำความร้อน (W)
\dot{Q}_{al}	ความร้อนจากไฟส่องสว่าง (W)
$\dot{Q}_{c,equip}$	อัตราการพาความร้อนของเครื่องมือเครื่องใช้ภายในอาคาร (W)
$\dot{Q}_{V\&I}$	อัตราความร้อนจากการระบายและรั่วไหลของอากาศ (W)
T_i	อุณหภูมิภายในพื้นที่ทำความเย็น ($^{\circ}C$)

\dot{W}_{al}	กำลังงานทั้งหมดที่ระบบส่องสว่างใช้ (W)
\dot{W}_{equip}	กำลังงานทั้งหมดที่ใช้ในเครื่องมือเครื่องใช้ (W)
F_c	ตัวประกอบสัดส่วนการพาความร้อนของอุปกรณ์เครื่องใช้
ρ_a	ความหนาแน่นอากาศ (kg/m ³)
\dot{V}	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของการนำอากาศภายนอกเข้าสู่พื้นที่ทำความเย็น (m ³ /s)
h_{fg}	เอนทาลปี (Enthalpy) ในการควบแน่นของไอน้ำที่อุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศ (kJ/kg)
ω_o	ความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอก (kg _w /kg _a)
ω_i	ความชื้นจำเพาะของอากาศภายใน (kg _w /kg _a)
E_{dg}	ความส่องสว่างจากกระจกตกลงบนระนาบทำงาน (Lux)
F_{gw}	ตัวประกอบรูปร่างระหว่างความส่องสว่างจากกระจกกับระนาบทำงาน
A_w	พื้นที่ระนาบทำงาน (m ²)
$\rho_{v,i}$	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของผนังภายใน
E_{dr}	ความส่องสว่างจากการสะท้อนจากพื้นผิวภายในอาคารสู่ระนาบทำงาน (Lux)
E_{day}	ความส่องสว่างสุทธิบนระนาบทำงาน (Lux)
A_0, A_1, A_2	ค่าคงที่ของอิทธิพลของการย้อนกลับไม่ได้ของเครื่องทำความเย็น
COP	ค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ ของเครื่องทำความเย็น
T_{cond}^{in}	อุณหภูมิสมบูรณ์ของของไหลหล่อเย็น (Coolant fluid) ที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์ (Condenser) (K)
T_{evap}^{out}	อุณหภูมิสมบูรณ์ของของไหลถูกทำความเย็นที่ออกจากอีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) (K)
IRR	ปัจจัยการย้อนกลับไม่ได้ของเครื่องทำความเย็น (Chiller Irreversibility Factor)
E_{art}	ปริมาณการส่องสว่างบนระนาบทำงาน (Lux)

CU	สัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (Coefficient of Utilization)
ϕ_m	ปริมาณแสงสว่างที่ออกจากหลอดไฟ (lm)
RCR	สัดส่วนห้อง
ΔH	ความสูงพื้นที่ส่องสว่างลบด้วยความสูงของ ระนาบทำงาน (m)
W	ความกว้างของพื้นที่ส่องสว่าง (m)
L	ความยาวของพื้นที่ส่องสว่าง (m)
ϵ_e	ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟ
M	จำนวนหลอดไฟส่องสว่างทั้งหมด
DGI_{max}	ดัชนีความจ้าสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้
X	เขตปัจจัยควบคุมได้
Y	เขตปัจจัยควบคุมไม่ได้
Z	เขตปัจจัยคงที่
x	ปัจจัยควบคุมได้
y	ปัจจัยควบคุมไม่ได้
z	ปัจจัยคงที่
x'_i และ x''_i	ค่าต่ำสุดและสูงสุดของปัจจัยควบคุมได้ลำดับที่ i ตามลำดับ
y'_j และ y''_j	ค่าต่ำสุดและสูงสุดของปัจจัยควบคุมไม่ได้ลำดับ ที่ j ตามลำดับ
z'_k และ z''_k	ค่าต่ำสุดและสูงสุดของปัจจัยคงที่ลำดับที่ k ตามลำดับ
$PF(X, r_k)$	พินัลตีฟังก์ชัน
$f(X)$	ฟังก์ชันจุดประสงค์
$g(X)$	ฟังก์ชันเงื่อนไข
r_k	พินัลตีพารามิเตอร์
DIR	ทิศของผนังอาคาร
L_g	ความยาวแนวระดับ (m)
H_g	ความสูงของกระงก (m)
SP	รูปแบบความน่าจะเป็นของรังสีดวงอาทิตย์ (%)

TP	รูปแบบความน่าจะเป็นของอุณหภูมิของ สิ่งแวดล้อม (%)
HP	รูปแบบความน่าจะเป็นของความชื้นของ สิ่งแวดล้อม (%)
SPR	สัดส่วนรังสีดวงอาทิตย์ส่งผ่านเข้าสู่อาคาร
SPR _v	สัดส่วนรังสีดวงอาทิตย์ผ่านความยาวคลื่นที่ มองเห็นได้ส่งผ่านเข้าสู่อาคาร
SPR _n	สัดส่วนรังสีดวงอาทิตย์ผ่านความยาวคลื่นที่มอง ไม่เห็นส่งผ่านเข้าสู่อาคาร
SQL	อาคารอ้างอิงขนาดใหญ่ ด้านเท่ากัน
SQM	อาคารอ้างอิงขนาดกลาง ด้านเท่ากัน
SQS	อาคารอ้างอิงขนาดเล็ก ด้านเท่ากัน
RCL	อาคารอ้างอิงขนาดใหญ่ ด้านไม่เท่า
RCM	อาคารอ้างอิงขนาดกลาง ด้านไม่เท่า
RCS	อาคารอ้างอิงขนาดเล็ก ด้านไม่เท่า
OPL	การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน (J)