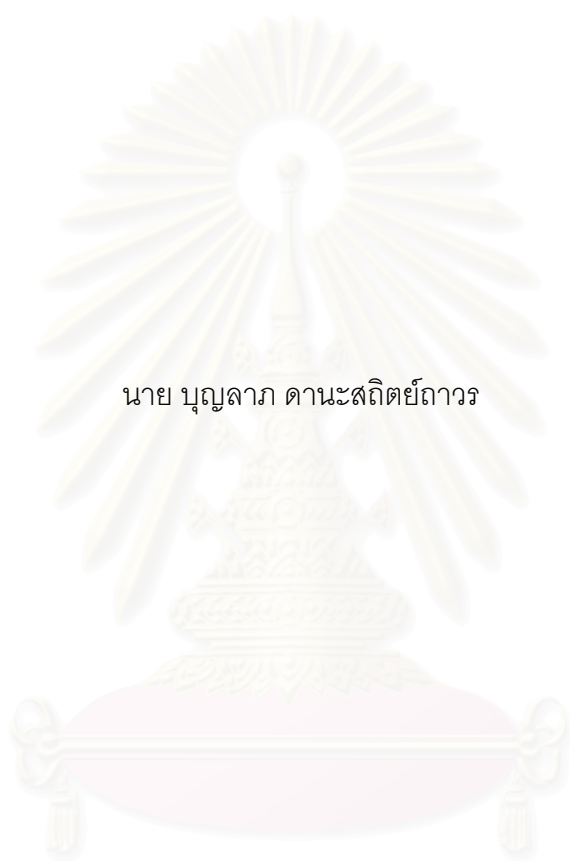


การศึกษาปริมาณความร้อนผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน



นาย บุญลภ ดานะสถิตย์ถาวร

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

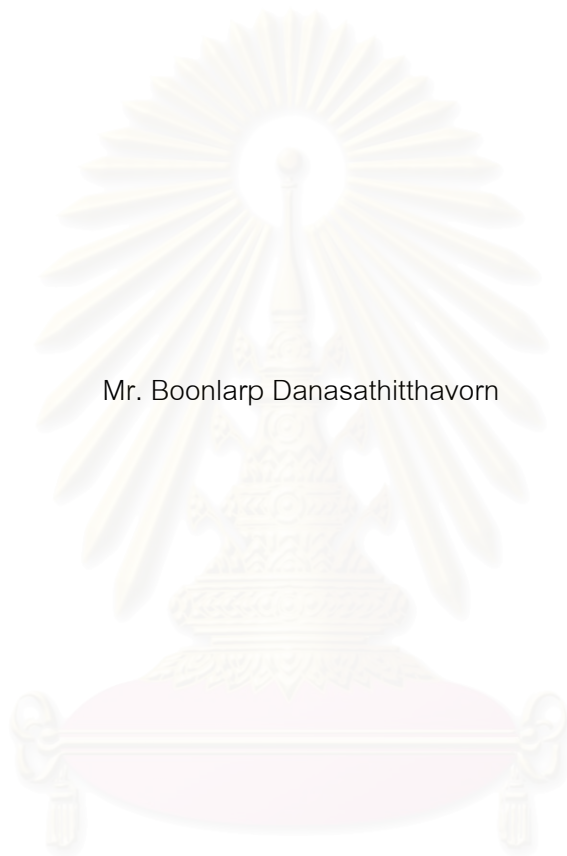
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0193-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF THERMAL GAIN THROUGH BUILDING ENVELOPE
WITH HORIZONTAL SHADING DEVICES

Mr. Boonlarp Danasathitthavorn



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0193-2

นาย บุญลาภ ดานะสถิตย์ถาวร : การศึกษาปริมาณความร้อนผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน. (A STUDY OF THERMAL GAIN THROUGH BUILDING ENVELOPE WITH HORIZONTAL SHADING DEVICES) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ, จำนวนหน้า 162 หน้า. ISBN 974-03-0193-2.

โดยทั่วไปการคำนวณปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน จะพิจารณาเฉพาะผลของรังสีตรง และ รังสีกระจาย จากดวงอาทิตย์ที่ตกบนเปลือกอาคาร บางครั้งอาจมีผลจากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ การสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินสู่เปลือกอาคาร แต่เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จะเห็นว่าผลจากการสะท้อนรังสีตรง การสะท้อนรังสีกระจาย บนอุปกรณ์บังแดด และ การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด จะถูกนำมาพิจารณาเพิ่มเติมด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของผลจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนเปลือกอาคาร โดยการจัดทำโปรแกรมและใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข โดยเปลือกอาคารจะถูกแบ่งออกเป็น 10,000 ส่วนเท่าๆกัน เพื่อแยกหาค่าความร้อนรวมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่องตารางอย่างอิสระ และใช้วิธีการนำความร้อนแบบ 1 มิติในสภาวะไม่คงที่ ผลการคำนวณหาปริมาณความร้อนรวม ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ วันที่ 21 ธันวาคม ได้นำมาทดสอบความถูกต้องกับผลที่ได้จากโปรแกรม DOE ผลการศึกษาเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแสงแดดจากรังสีตรงในช่วงเวลาสูงสุดได้ 47% หรือ เฉลี่ยเท่ากับ 25.57% ถ้าไม่คิดผลจากความร้อนทั้งสามตัวจะมีความผิดพลาดสูง 4.04% และสำหรับอุปกรณ์บังแดด 1 ชั้น จะมีความผิดพลาดเพียง 0.75% สำหรับค่าส่วนใหญ่ที่ผิดพลาดของอุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น เกิดจาก การสะท้อนรังสีตรงถึง 2.99% ส่วนอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น เกิดมาจากการสะท้อนรังสีตรง การสะท้อนรังสีกระจาย เพียง 0.08 และ 0.02% ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.มานิจ ทองประเสริฐ ที่ให้ทั้งคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ แนวทางแก้ไข ตลอดจนคอยตรวจสอบ
ดูแลการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตั้งแต่เริ่มทำ จนเสร็จสมบูรณ์ รศ.ดร.พงศ์ธร จริญญาภรณ์ และ
ผศ.มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล ที่คอยให้คำแนะนำ และเอื้อเฟื้อสถานที่จัดทำวิทยานิพนธ์ ด้วยดีเสมอมา
และ คุณ พิมลมาศ วรรณคนาพล ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ผู้วิจัยขอบพระคุณมารดา คุณ อัมภา ดานะสถิตย์ถาวร และ สมาชิกในครอบครัวทุกคน ที่
คอยเอาใจใส่ดูแล ด้วยดีตลอดมา และต้องกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม แต่เป็นส่วน
หนึ่งที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้จัดทำ

บุญลภ ดานะสถิตย์ถาวร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| สัญลักษณ์และคำย่อ..... | ถ |
| บทที่ | หน้า |
| 1 บทนำ | |
| 1.1 ความสำคัญ..... | 1 |
| 1.2 ปัญหาและที่มา..... | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... | 3 |
| 1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... | 3 |
| 1.5 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์..... | 4 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 4 |
| 2 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา | |
| 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | |
| 3.1 พลังงานแสงอาทิตย์..... | 11 |
| 3.2 การถ่ายเทความร้อน..... | 36 |
| 3.3 สมดุลความร้อน..... | 39 |
| 4 วิธีดำเนินการวิจัย | |
| 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... | 46 |
| 4.2 ขั้นตอนการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าการแผ่รังสีจาก ดวงอาทิตย์..... | 46 |
| 4.3 การแสดงรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยผังการไหล..... | 47 |
| 4.4 ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบ..... | 50 |

สารบัญ (ต่อ)

| | | |
|-----------|--|-----|
| 5 | ผลการวิเคราะห์ข้อมูล | |
| 5.1 | การเปรียบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์กับโปรแกรม DOE2.1E..... | 55 |
| 5.2 | รายละเอียดผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... | 58 |
| 6 | วิเคราะห์ สรุป และ เสนอแนะผลงานวิจัย | |
| 6.1 | ข้อวิเคราะห์ผลงานวิจัย..... | 94 |
| 6.2 | ข้อสรุปผลงานวิจัย..... | 98 |
| 6.3 | ข้อเสนอแนะผลงานวิจัย..... | 99 |
| | รายการอ้างอิง..... | 101 |
| | ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก | ข้อมูลเบื้องต้นของผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม สำหรับวันที่ 21 ธันวาคม..... | 103 |
| ภาคผนวก ข | ภาพประกอบแสดงการใส่ข้อมูลในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรม..... | 105 |
| ภาคผนวก ค | กราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคาร เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในวันที่ต่างๆ..... | 110 |
| ภาคผนวก ง | กราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในวันที่ต่างๆ..... | 116 |
| ภาคผนวก จ | กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารทั้งภายในและภายนอกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในวันที่ต่างๆ..... | 122 |
| ภาคผนวก ฉ | ตารางแสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ความเร็วลมภายนอกอาคาร ในรอบ 10 ปี ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันที่ต่าง..... | 128 |
| ภาคผนวก ช | ตัวอย่างการคำนวณหาเวลาของดวงอาทิตย์ขึ้น และ ดวงอาทิตย์ตกของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 130 |
| ภาคผนวก ซ | ตัวอย่างแสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเข้าสู่อาคาร..... | 133 |

สารบัญ(ต่อ)

ภาคผนวก ฉ แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวม ค่าความร้อนรวม และอุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ โปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม..... 135

ภาคผนวก ญ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น..... 137

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 162



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

| ตาราง | | หน้า |
|-----------|--|------|
| 3.1.8.1.1 | แสดงค่าปรับแก้ของลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน..... | 20 |
| 3.3.4.1 | แสดงค่าตัวคูณปรับแก้ความหยابที่ผิว (ASHRAE, 1981)..... | 44 |
| 3.3.4.2 | ค่าคงที่สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนผ่านผนังอาคารที่ผิว ชนิดต่างๆกัน อ้างอิงจากโปรแกรม DOE2.1E..... | 45 |
| 5.2.1.1 | แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆกรณีติดตั้ง อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของเปลือกอาคารที่หันหน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม... | 63 |
| 5.2.1.2 | ค่าปริมาณความร้อนต่อหน่วยเวลา และ ค่าความร้อนต่างๆที่ เกิดขึ้นบนเปลือกอาคารขนาด 10 ตารางเมตร ตลอด 24 ชม. ที่ ทิศทาง และ วันต่างๆ เมื่อไม่มีการติดตั้ง และ ติดตั้งอุปกรณ์บัง แดดแนวนอน 3 ชั้น..... | 65 |
| 5.2.1.3 | แสดงสัดส่วนเป็นร้อยละของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่เวลา ต่างๆของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แนวนอน 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 69 |
| 5.2.2.1 | แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมตลอดทั้งวันของ เปลือกอาคารที่มีช่องเปิดกับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดโดย เปลือกอาคารหันหน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 72 |
| 5.2.2.1.1 | ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วย เวลาระหว่างเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีช่องเปิดและมีการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 73 |
| 5.2.3.1 | แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆกรณีติดตั้ง อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ 1 ชั้น ของเปลือกอาคารที่หัน หน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 91 |
| 5.2.3.2 | แสดงระยะของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ถึง 5 ชั้น..... | 92 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง | | หน้า |
|---------|---|------|
| 5.2.3.3 | แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆของเปลือกอาคารขนาด 10 ตารางเมตร ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แนวนอนหลายชั้นที่หันหน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 93 |
| ฉ.1 | ตารางแสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ความเร็วลมของอากาศภายนอกอาคารในรอบ 10 ปี ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันที่ต่างๆ..... | 129 |
| ฅ.1 | แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวม ค่าความร้อนรวม และอุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ โปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 136 |

สารบัญรูป

| รูปประกอบ | | หน้า |
|-----------|---|------|
| 2.2.1 | ตัวอย่างแสดงพิกัดเงาตกกระทบผนังอาคารของต้นไม้รูปทรงกรวย. | 6 |
| 2.3.1 | มุมที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์บังแดดแบบบานเกล็ด..... | 7 |
| 2.3.2 | การสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์ที่มุมของอุปกรณ์บังแดด ต่างๆกัน..... | 8 |
| 2.5.1 | รูปแบบอุปกรณ์บังแดดแบบแขวน ที่มุมต่างๆกัน..... | 9 |
| 2.5.2 | รูปแบบของเงาที่ตกกระทบลงบนผนังอาคารเมื่อมีการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดดแบบแขวน..... | 10 |
| 2.5.3 | แสดงการแบ่งช่องตารางของผิวโลกที่เท่าๆกัน..... | 10 |
| 2.5.4 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนการโดนแดดกับ มุมเงย และมุมอะซิมัทต่างๆกัน..... | 10 |
| 3.1.2.1 | กราฟแสดงการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกในเดือนต่างๆในรอบปี.. | 12 |
| 3.1.3.1 | สเปกตรัมของการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลก..... | 13 |
| 3.1.4.1 | สมการเวลาในหน่วยนาฬิกาที่แปรผันกับเวลาในช่วงปี..... | 14 |
| 3.1.7.1 | การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลของโลกเมื่อมองจากระนาบวงโคจร..... | 16 |
| 3.1.7.2 | มุมเดคลิเนชันที่ฤดูต่างๆกัน (ก) เวลาที่กลางวันและกลางคืนเท่ากัน ในฤดูใบไม้ผลิ (Spring Equinox) (ข) เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ไกล จากเส้นศูนย์สูตรของโลกมากที่สุดในฤดูร้อน (Summer Solstice) (ค) เวลาที่กลางวันและกลางคืนเท่ากันในฤดูใบไม้ร่วง (Fall Equinox) (ง) เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ไกลจากเส้นศูนย์สูตร ของโลกมากที่สุดในฤดูหนาว (Winter Solstice)..... | 16 |
| 3.1.7.3 | ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชัน กับเวลา..... | 17 |
| 3.1.7.4 | ความสัมพันธ์ระหว่างมุม β γ และ θ_z กับเส้นศูนย์สูตร..... | 18 |
| 3.1.8.3.1 | ตัวประกอบมุมมองของอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร สำหรับ ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรง..... | 22 |
| 3.1.8.3.2 | ระยะต่างๆของลำแสงดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านสู่ผนังอาคาร..... | 23 |
| 3.1.8.4.1 | ตัวประกอบมุมมองของอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคารสำหรับ ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีกระจาย..... | 24 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปประกอบ | | หน้า |
|-----------|---|------|
| 3.1.8.7.1 | แสดงตำแหน่งของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบน อุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นในรูป 2 มิติ..... | 26 |
| 3.1.9.1 | แสดงการแบ่งช่องตารางของผิวโลกส่วนบนของครึ่งทรงกลม ที่เท่าๆกัน..... | 28 |
| 3.1.9.2 | แสดงมุมกึ่งกลางของช่องตารางที่แบ่งอย่างเท่าๆกัน..... | 29 |
| 3.1.9.1.1 | แสดงพิกัดของผนังอุปกรณ์บังแดด และช่องตารางของผิวโลกใดๆ.. | 30 |
| 3.1.9.1.2 | ทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยระหว่างผนังอาคารกับช่องตาราง ของผิวโลก..... | 31 |
| 3.1.9.1.3 | แสดงพิกัดของจุดตัดของเวกเตอร์กับอุปกรณ์บังแดด..... | 31 |
| 3.1.9.2.1 | แสดงตำแหน่งของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบน อุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นในรูป 2 มิติ..... | 33 |
| 3.1.9.2.2 | (ก) ระยะต่างๆของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่เกิดขึ้น (ข) มุมต่างๆที่เกิดขึ้นของลำแสงจากดวงอาทิตย์..... | 34 |
| 3.1.9.2.3 | (ก) จุดตัดที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์บังแดดระหว่างผนังอาคารกับช่อง ตารางบนผิวโลกส่วนบน (ข) จุดตัดที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์บังแดด ระหว่างผนังอาคารกับช่องตารางบนผิวโลกส่วนล่าง..... | 35 |
| 3.3.3.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกิดขึ้นกับผนังอาคาร..... | 39 |
| 3.3.2.1 | ค่าความร้อนต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์บังแดด..... | 42 |
| 4.3.1 | แสดงผังการไหลการทำงานหลักของโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... | 48 |
| 4.4.2.1 | แสดงโครงสร้างภายในของผนังอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.. | 50 |
| 4.4.3.1 | แสดงระยะต่างๆของอุปกรณ์บังแดด (ก) อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น (ข) อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น..... | 51 |
| 5.1.1 | การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อไม่มี การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับ โปรแกรม DOE2.1E บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ วันที่ 21 ธันวาคม | 55 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปประกอบ | หน้า | |
|-----------|---|----|
| 5.1.2 | การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 56 |
| 5.1.3 | การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 56 |
| 5.2.1.1 | การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนต่อหน่วยเวลารวมที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 59 |
| 5.2.1.2 | การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 59 |
| 5.2.1.3 | การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 60 |
| 5.2.1.4 | การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีตรงบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 61 |
| 5.2.1.5 | การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีกระจายบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 61 |
| 5.2.1.6 | การเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างท้องฟ้ากับเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 62 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปประกอบ | | หน้า |
|-----------|---|------|
| 5.2.1.7 | การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินไปยังเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม.... | 62 |
| 5.2.1.8 | ร้อยละของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารที่ช่วงเวลาต่างๆ บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 66 |
| 5.2.1.9 | ร้อยละของค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 67 |
| 5.2.1.10 | ร้อยละของอุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 68 |
| 5.2.1.11 | ร้อยละของอุณหภูมิผิวภายในเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 69 |
| 5.2.2.1 | พื้นที่ของช่องเปิดของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่โดนบังแดดจากรังสีตรงที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 70 |
| 5.2.2.2 | ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิด เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 71 |
| 5.2.2.3 | ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิด เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 71 |
| 5.2.2.1.1 | ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีช่องเปิดและมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 73 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปประกอบ | หน้า |
|-----------|---|
| 5.2.2.1.2 | แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 –18:00 น. ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร) 74 |
| 5.2.3.1 | พิกัดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (ก) 1 ชั้น (ข) 3 ชั้น..... 81 |
| 5.2.3.2 | เปอร์เซ็นต์การบังแดดบนเปลือกอาคารที่มีอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ 1 ชั้น ที่มุมโพลีโพลีโด เมื่อพิจารณาแบบ 2 มิติ..... 82 |
| 5.2.3.3 | เปอร์เซ็นต์การบังแดดบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ 1 ชั้น ที่เวลาใดๆของวันที่ 21 ธันวาคม เมื่อพิจารณาแบบ 3 มิติ..... 82 |
| 5.2.3.4 | การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... 83 |
| 5.2.3.5 | การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... 84 |
| 5.2.3.6 | การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม 84 |
| 5.2.3.7 | การเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ในกรณีการพิจารณาต่างๆกัน เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... 85 |
| 5.2.3.8 | การเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ในกรณีการพิจารณาต่างๆกัน เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... 86 |

สารบัญญรูป (ต่อ)

| รูปประกอบ | | หน้า |
|-----------|--|------|
| 5.2.3.9 | การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีตรงบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 87 |
| 5.2.3.10 | การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีกระจายบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 87 |
| 5.2.3.11 | การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีตรงบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 88 |
| 5.2.3.12 | การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีกระจายบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 88 |
| 5.2.3.13 | การเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 89 |
| 5.2.3.14 | การเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนรังสีระหว่างท้องฟ้ากับเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 89 |
| 5.2.3.15 | การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินไปยังเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม..... | 90 |
| ข.1 | หน้าจอหลักของโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... | 106 |
| ข.2 | หน้าจอขั้นตอนที่ 1 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการใส่ขนาดและทิศทางของผนังอาคาร..... | 106 |
| ข.3 | หน้าจอขั้นตอนที่ 2 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุของผนังอาคาร..... | 107 |
| ข.4 | หน้าจอขั้นตอนที่ 3 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลของอุปกรณ์บังแดด..... | 107 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปประกอบ | | หน้า |
|-----------|--|------|
| ข.5 | หน้าจ่อขั้นตอนที่ 4 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลทางกายภาพของ สภาวะแวดล้อม..... | 108 |
| ข.6 | หน้าจ่อขั้นตอนที่ 5 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับค่าการเปล่งรังสีของ วัสดุชนิดต่างๆ..... | 108 |
| ข.7 | หน้าจ่อขั้นตอนที่ 6 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับวันที่ใช้ในการคำนวณ และข้อมูลทางภูมิศาสตร์..... | 109 |
| ข.8 | หน้าจอแสดงขั้นตอนเริ่มต้นการคำนวณโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ... | 109 |
| ค.1 | การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมี การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และไม่มีการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดด ที่วันและเวลาต่างๆกัน..... | 111 |
| ง.1 | การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และไม่มีการ ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่วันและเวลาต่างๆกัน..... | 117 |
| จ.1 | การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเมื่อมี การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และไม่มีการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดด ที่วันและเวลาต่างๆกัน..... | 123 |

สัญลักษณ์

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|-----------|--------------------------------------|-----------------------|
| δ | ความหนา | m |
| σ | ค่าคงที่สตีเฟนและโบลซ์แมน | |
| ρ | ความหนาแน่นของวัตถุ | kg/m ³ |
| τ | ค่าการส่งผ่านของการแผ่รังสี | |
| ρ | ค่าการสะท้อนรังสี | |
| Nu | ค่าตัวเลขนัสเซลท์ | |
| α | มุมเงย | Degree |
| α | ค่าการแผ่กระจายความร้อนของอากาศ | m ² /s |
| δ | มุมเดคลิเนชัน | Degree |
| β | มุมเอียงของผิวระนาบ | Degree |
| ω | มุมซั้วโมง | Degree |
| θ | มุมตกกระทบ | Degree |
| γ | มุมผิวเอียงอะซิมัท | Degree |
| ϕ | ละติจูด | Degree |
| A | พื้นที่ | m ² |
| C_p | ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ | kJ/kg.K |
| E | สมการของเวลา | |
| F | ค่าปรับแก้มุมมองไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา | |
| f | ค่าปรับแก้มุมมองแปรเปลี่ยนตามเวลา | |
| g | ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก | m/s ² |
| Gr | ค่าแกรซอฟ | |
| G | ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ | W/m ² |
| h | ค่าการพาความร้อน | W/(m ² .K) |
| k | ค่าการนำความร้อน | W/(m.K) |
| K | ค่าการนำความร้อนรวม | W/(m.K) |
| L | ลองจิจูด | Degree |
| n | ลำดับที่ของวันในรอบปี | |

สัญลักษณ์(ต่อ)

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|-----------|-------------------------------|-------|
| p | จุด | |
| Pr | ค่าเพรอนเติล | |
| Q | อัตราการถ่ายเทความร้อน | W |
| r | ค่าปรับแก้ของลักษณะภูมิประเทศ | |
| Ra | ค่าเรย์ไลจ์ | |
| Re | ค่าเรย์โนลด์ | |
| t | เวลา | sec |
| T | อุณหภูมิ | °C |
| w | ความเร็วลม | km/hr |
| x | ระยะทางในแนวแกน x | m |
| y | ระยะทางในแนวแกน y | m |
| z | ระยะทางในแนวแกน z | m |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์(ต่อ)

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|---------------|--------------------------------------|-------|
| ตัวห้อย | | |
| ε | ค่าการเปล่งรังสี | |
| a | อากาศ | |
| abs | ค่าสัมบูรณ์ | |
| amb | สภาวะแวดล้อมภายนอก | |
| b | การแผ่รังสีตรง | |
| br | การสะท้อนรังสีตรงจากอุปกรณ์บังแดด | |
| c | ผิวเย็น | |
| cb | การแผ่รังสีตรงกรณีห้องฟ้าแจ่มใส | |
| cd | การแผ่รังสีกระจายกรณีห้องฟ้าแจ่มใส | |
| cond | ค่าการนำความร้อน | |
| conv | ค่าการพาความร้อน | |
| d | การแผ่รังสีกระจาย | |
| dp | อุณหภูมิจุดน้ำค้าง | |
| dr | การสะท้อนรังสีกระจายจากอุปกรณ์บังแดด | |
| e | ภายนอก | |
| ground | พื้นดิน | |
| h | ผิวร้อน | |
| i | ภายใน | |
| loc | เวลาท้องถิ่น | |
| net | รวม | |
| noon | เที่ยงวัน | |
| on | การแผ่รังสีจากนอกโลก | |
| rad | แลกเปลี่ยนรังสีความร้อน | |
| room | ห้อง | |
| w-g | เปลือกอาคารกับพื้นดิน | |
| w-s | เปลือกอาคารกับห้องฟ้า | |

สัญลักษณ์(ต่อ)

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|-----------|-------------------------------|-------|
| w-shade | เปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด | |
| s | แสงอาทิตย์ | |
| sc | ค่าคงที่การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ | |
| shade | อุปกรณ์บังแดด | |
| sky | ท้องฟ้า | |
| solar | ดวงอาทิตย์ | |
| solid | ของแข็ง | |
| st | เวลามาตราฐาน | |
| w | ผนัง | |
| wall | ผนัง | |
| z | เซนติท | |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ

รูปแบบของอาคารในประเทศไทยสามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ อาคารแบบที่มีการปรับอากาศ และ อาคารแบบที่ไม่มีการปรับอากาศ โดยองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของอาคารทั้ง 2 แบบ คือ ช่องเปิด (Fenestration) หรือ หน้าต่าง ช่องเปิดทำหน้าที่ได้หลายอย่าง เป็นองค์ประกอบที่ช่วยลดความแออัดภายในอาคาร การเพิ่มมุมมองสู่ภายนอกอาคาร หรือแม้แต่การให้ความสว่างแก่อาคารในเวลากลางวัน แต่ผลของการติดตั้งหน้าต่าง ทำให้ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารได้ง่ายขึ้น วิธีที่นิยมทำกันเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางช่องเปิดของอาคาร คือ การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

อุปกรณ์บังแดดมีรูปแบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการออกแบบและความพึงพอใจของผู้ออกแบบ และผู้ใช้อาคาร อุปกรณ์บังแดดแบบง่ายที่สุดที่นิยมใช้ คือ อุปกรณ์บังแดดแนวนอน อุปกรณ์บังแดดชนิดนี้ทำได้ง่ายและไม่มีความซับซ้อน ในการออกแบบความยาวของอุปกรณ์บังแดดนั้น ใช้การสังเกตจากทิศทางของดวงอาทิตย์เป็นหลัก อุปกรณ์บังแดดแนวนอนชนิดชั้นเดียวนั้น บางครั้งอุปกรณ์บังแดดไม่สามารถบังมุมที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ในบางมุมได้ทั้งหมด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มความยาวของอุปกรณ์บังแดดมากขึ้น เพื่อแก้ปัญหาและลดแสงให้ได้มากที่สุด โดยไม่จำเป็นต้องให้อุปกรณ์บังแดดมีความยาวมากเกินไปจนความจำเป็น คือ เพิ่มจำนวนชั้นของอุปกรณ์ บังแดดแนวนอน ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดความยาวของอุปกรณ์บังแดดลงได้ และยังสามารถ บังแดดได้ใกล้เคียงกันด้วย

ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์สู่เปลือกอาคารภายนอก เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดหลายชั้น คือ

1. การแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์
2. การแผ่รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์

นอกจากทั้งสองที่เกิดขึ้นแล้ว ความร้อนที่สามารถเข้าสู่เปลือกอาคารภายนอกได้อีก คือ

3. การสะท้อนรังสีตรงจากอุปกรณ์บังแดด
4. การสะท้อนรังสีกระจายจากอุปกรณ์บังแดด
5. การสะท้อนรังสีจากพื้นดิน
6. การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า
7. การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด

บางครั้งเพื่อความรวดเร็วและง่ายต่อการหาค่าความร้อนรวมที่เข้าสู่อาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด การคำนวณหรือโปรแกรมส่วนใหญ่ นิยามหาเฉพาะ ค่าการแผ่รังสีตรง และ ค่าการแผ่รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ เท่านั้น

1.2 ปัญหาและที่มา

ความร้อนที่เข้าสู่อาคารเกินความจำเป็น ส่งผลให้เกิดสภาวะไม่สบายของมนุษย์ที่อาศัยในอาคาร ความร้อนส่วนใหญ่เข้าสู่อาคารโดยผ่านทางช่องเปิดของอาคาร ดังนั้นอุปกรณ์บังแดดจึงมีบทบาทสำคัญ เพื่อลดค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านทางช่องเปิดของอาคาร

อุปกรณ์บังแดดแนวอนหลายชั้น เป็นอุปกรณ์บังแดดชนิดหนึ่งที่มีใช้อย่างแพร่หลายในอาคาร ข้อดีของอุปกรณ์บังแดดชนิดนี้ คือ สามารถลดโครงสร้างของอุปกรณ์บังแดดลง มีรูปทรงที่เหมาะสมกับตัวอาคาร และลดความยาวของอุปกรณ์บังแดดลงได้ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์บังแดดแนวอนชั้นเดียวที่สามารถบังแสงแดดได้ใกล้เคียงกัน จึงถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์บังแดดแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้เป็นอย่างดี

ค่าความร้อนรวมที่เข้าสู่เปลือกอาคารโดยผ่านอุปกรณ์บังแดดแนวอนหลายชั้น โดยทั่วไปจะลดความยุ่งยากในการคำนวณลงโดยพิจารณา ค่าการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ และ ค่าการแผ่รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ เท่านั้น ค่าความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยส่วนใหญ่จึงมีค่าน้อยกว่าค่าความร้อนรวมที่แท้จริง

ดังนั้นโปรแกรมที่จะทำการประดิษฐ์ขึ้น แสดงถึงสัดส่วนของค่าความร้อนที่สำคัญที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยแยกออกเป็นส่วนๆอย่างชัดเจน และแสดงถึงค่าเฉลี่ยของความร้อนรวมที่เกิดขึ้นจริง เพื่อนำผลที่ได้ไปหาค่าปริมาณความร้อนที่เข้าสู่เปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวอนหลายชั้น

ค่าการแผ่รังสีต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ค่าการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ค่าการแผ่รังสีแบบกระจาย ค่าการสะท้อนรังสีตรงจากอุปกรณ์บังแดด ค่าการสะท้อนรังสีกระจายจากอุปกรณ์บังแดด ค่าการสะท้อนรังสีจากพื้นดิน ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด จะถูกนำมาใช้ในการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้

เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณภาระทางความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีการคำนวณภาระทางความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารโดยวิธีการนำความร้อนแบบ 1 มิติ ในสภาวะไม่คงที่ด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารและช่องเปิดของอาคารในกรณีที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้น
2. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้คำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารและช่องเปิดของอาคาร
3. เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในอาคาร ณ เวลาใดๆได้

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ลักษณะเปลือกอาคารที่ใช้ในการคำนวณมีพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า และสามารถประยุกต์ใช้กับเปลือกอาคารรูปร่างซับซ้อนได้
2. การถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนของเปลือกอาคารกำหนดให้มีการนำความร้อนแบบ 1 มิติ
3. ผิวของอุปกรณ์บังแดดมีการแผ่รังสีแบบกระจาย
4. การคำนวณค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้นอัตราส่วนของค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Solar Radiation) ต่อค่าการแผ่รังสีรวม (Total Solar Radiation) มีค่าคงที่ตลอดทั่วท้องฟ้า

1.5 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2. รวบรวมสมการด้านการถ่ายเทความร้อน เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3. สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารด้านใน และปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)
4. ประเมินและสรุปผลการวิจัยประกอบการแนะนำการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่เหมาะสม
5. จัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงผลที่เกิดขึ้นจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคารเมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นอย่างแท้จริง
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้และติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนในอาคารได้อย่างเหมาะสม
3. สามารถเลือกวัสดุที่ใช้กับผนังและอุปกรณ์บังแดดได้อย่างเหมาะสม
4. สามารถหาอุณหภูมิของเปลือกอาคารด้านในซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งในการประเมินสภาวะน่าสบายของผู้อยู่อาศัยในอาคารได้
5. ใช้ทำนายปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในกรณีที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศได้

บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1. B. A. PRICE and T. F. SMITH (1995) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณภาระทางความร้อนผ่านสู่มนังอาคาร ผลการทดลองได้ทำการตรวจสอบโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น 3 กรณี คือ

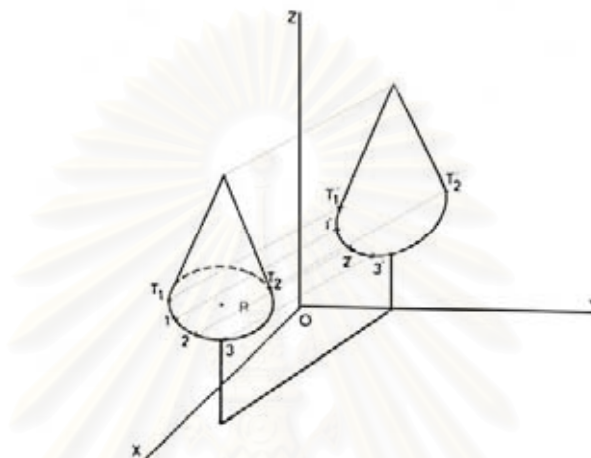
กรณีที่ 1 จะพิจารณาสมการสมดุลพลังงานให้อยู่ในรูปเส้นตรง โดยการลดรูปสมการสมดุลพลังงานจาก ตัวแปรอุณหภูมิกำลัง 4 เหลือ กำลัง 1 ($T^4 = T(T^C)^3$ โดยที่ T^C เป็นอุณหภูมิผิวเริ่มต้น) เพื่อลดเวลาในการคำนวณ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสามารถคำนวณได้เร็วกว่าการคำนวณแบบปกติถึง 1.4 เท่า ผลกระทบของการลดรูปนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังภายในอาคาร จะมีค่าสูงกว่าการคำนวณแบบปกติเพียง 0.1 F

กรณีที่ 2 ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณเมื่อมีการใช้ Δt (Time Increment) ที่ต่างกัน จากผลการทดลองที่ $\Delta t = 10$ นาที อุณหภูมิผนังภายในอาคารจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 1-3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับผลการทดลองที่อ้างอิงจาก เทเรคค (Threlkeld) ส่วนกรณี $\Delta t = 60$ นาที อุณหภูมิผนังภายในอาคารจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 2 - 4 เปอร์เซ็นต์

กรณีที่ 3 ตรวจสอบค่าความถูกต้องเมื่อมีการแบ่งชั้นของผนังอาคาร จากการคำนวณค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, $Btu-h-ft^2$) ของอุณหภูมิผนังภายในอาคารแสดงให้เห็นว่าควรแบ่งชั้นของผนังอย่างน้อย 3 ชั้นขึ้นไป เพื่อให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการแบ่งชั้นของผนัง 2 ชั้น จะมีค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 2.523 % ถ้ามีการแบ่งชั้นของผนัง 3 ชั้น จะมีค่าความผิดพลาดของรากกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.879 % และถ้ามีการแบ่งชั้นของผนังมากขึ้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง ผลงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้เกิดความรวดเร็วและแม่นยำมากที่สุด ในการคำนวณค่าปริมาณความร้อน และอุณหภูมิผิวของผนังอาคาร

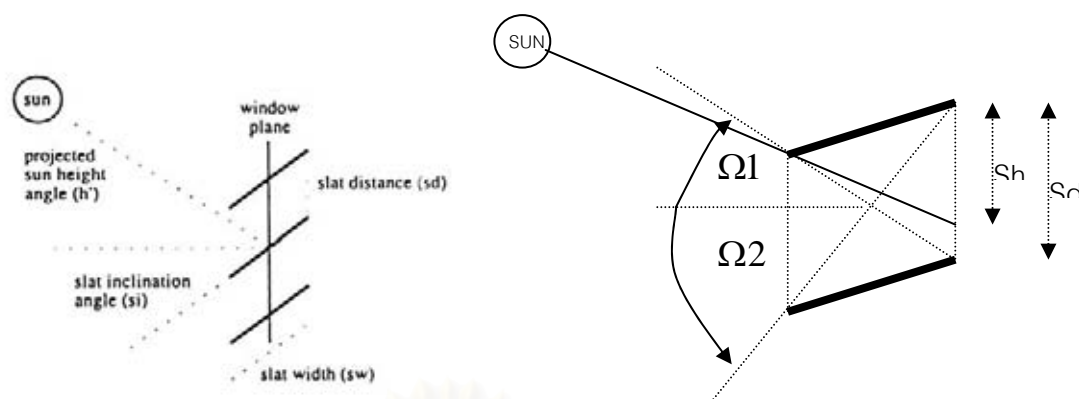
2.M.A. SATTLER, S. SHARPLES and J.K. PAGE (1986) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์และทดลองเพื่อหาพื้นที่และตำแหน่งของเงาตกทอดของต้นไม้บนผนังอาคารที่เวลาใดๆ ด้วยวิธีการคำนวณภาพฉายลงบนผนังอาคารดังรูปที่ 2.2.1 ลักษณะรูปทรงของต้นไม้มี 4 รูปแบบ ได้แก่

ทรงกลมทรงกระบอก ทรงกรวยหงาย และ ทรงกรวยคว่ำ รวมทั้ง รูปทรงผสมทั้งสี่ชนิดนี้ การพัฒนาโปรแกรมจะคำนึงถึงตัวแปร 3 ตัวแปรคือ รูปร่างของต้นไม้ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ และตำแหน่งของพื้นผิวอาคารที่ต้องการบังแดด การทดลองนั้นจะกำหนดให้มีสเกลของอาคารและต้นไม้ 1:33.3 โดยต้นไม้จะสร้างให้มีลักษณะตามรูปทรงที่กำหนดขึ้น ผลการทดลองเมื่อเทียบกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 2.55 % สามารถยอมรับได้



รูปที่ 2.2.1 ตัวอย่างแสดงพิกัดเงาตกกระทบผนังอาคารของต้นไม้รูปทรงกรวย

3. P.PFROMMER, K.J.LOMAS and CHR.KUPKE (1996) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าการส่งผ่านอุปกรณ์บังแดดแบบบานเกล็ด (Slat-Type Blinds) ผลการคำนวณมีความละเอียดสูงพอที่จะสามารถนำมาใช้ในการจริงได้ โดยทั่วไปการพิจารณาค่าการส่งผ่านนั้นจะพิจารณาเฉพาะค่าการส่งผ่านโดยตรง (Direct Transmittance) เท่านั้น โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้ได้พิจารณาค่าการส่งผ่าน 4 ส่วน คือ ค่าการส่งผ่านของรังสีตรง ค่าการส่งผ่านของรังสีกระจาย ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรง และ ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีกระจาย ผลการทดลองทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์บังแดด แบบเกล็ด ติดตั้งในแนวนอน (Horizontal Blind) กำหนดให้ท้องฟ้าเป็นแบบกระจายตลอดทั่วท้องและ ถือว่าบานเกล็ดมีความยาวจึงสมมุติให้มีการคำนวณแบบ 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 2.3.1



รูปที่ 2.3.1 มุมที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์บังแดดแบบบานเกล็ด

รายละเอียดการคำนวณค่าการส่งผ่านของรังสีที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ชนิด มีดังนี้

3.1. ค่าการส่งผ่านของรังสีตรง (Direct Transmittance)

$$\tau_d(h') = 1 - \frac{s_h}{s_d} = 1 - sw \times \frac{\sin(h' - si)}{\sin(90 - h')s_d}$$

3.2. ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรง (Direct-Reflected Transmittance)

$$\tau_{df} = (\rho f_1 + \rho^2 f_2 f_3)(1 - \tau_d)$$

โดยที่

ρ ค่าการสะท้อนรังสีของอุปกรณ์บังแดด

f_1 ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่าง ผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านล่างกับผนังอาคาร

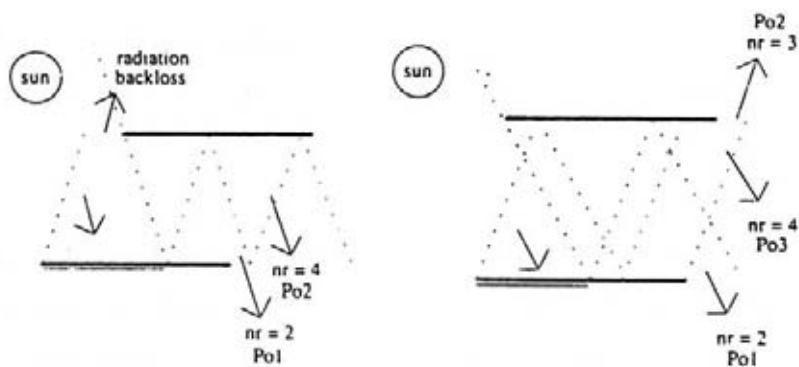
f_2 ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่าง ผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านล่างกับด้านบน

f_3 ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่าง ผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านบนกับผนังอาคาร

นอกจากสมการที่กล่าวข้างต้นถ้าสามารถทราบถึงจำนวนการสะท้อนของรังสีได้จะสามารถลดความผิดพลาดที่เกิดจากการสมมุติฐานขึ้น โดยใช้สมการดังนี้

$$\tau_{df} = \sum_i \rho_i^{nr} \times P o_i$$

โดยที่ $P o_i$ คือ ระยะทางของแสงที่มีการสะท้อนต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.3.2 การสะท้อนของแสงจากดวงอาทิตย์ที่มุมของอุปกรณ์บังแดดต่างๆกัน

3.3. ค่าการส่งผ่านของรังสีกระจาย (Diffuse Transmittance)

$$\tau_f = \frac{\int_{\Omega_1}^{\Omega_2} L \times \cos(\Omega) \times \tau_d(\Omega) d\Omega}{\int_{-90}^{90} L \times \cos(\Omega) d\Omega}$$

โดยที่ L คือ ค่าการแผ่รังสีกระจายจากท้องฟ้าและพื้นดิน

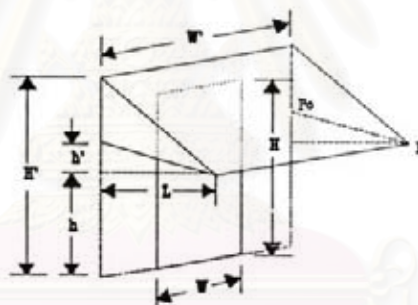
3.4. ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีกระจาย (Diffuse-Reflected Transmittance)

$$\tau_{ff} = \frac{\int_{-90}^{90} L \cos(\Omega) (1 - \tau_d(\Omega)) (\rho f_1(\Omega) + \rho^2 f_2(\Omega) f_3) d\Omega}{\int_{-90}^{90} L \cos(\Omega) d\Omega}$$

4. ABRAHAM YEZIORO and EDNA SHAVIV ,1994 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาพื้นที่ทั้งหมดของอาคารที่โดนแสง จากลักษณะของอาคารที่มีรูปทรงต่างๆกัน ผลของรูปทรงต่างๆนี้เปรียบได้กับอุปกรณ์บังแดด อย่างหนึ่ง “3-D CAD image” เป็นโปรแกรมที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาพื้นที่ทั้งหมดของอาคาร วิธีการคำนวณนั้นทำได้โดยการสร้างรูปอาคารเป็น 3 มิติ โดยใช้ CAD ต่อมาจะกำหนดจุดที่แสงส่องมาถึง จะกำหนดให้ตัวอาคารเป็น 2 มิติ โดยพิจารณาจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์ สามารถหาพื้นที่ทั้งหมดที่โดนแสงได้ โดยการพัฒนาโปรแกรมให้นับช่องตาราง (Grid) ที่ได้จัดทำขึ้นในพื้นที่อาคารนั้น ส่วนการพิจารณาจากสภาพแวดล้อม เช่น ต้นไม้ และ

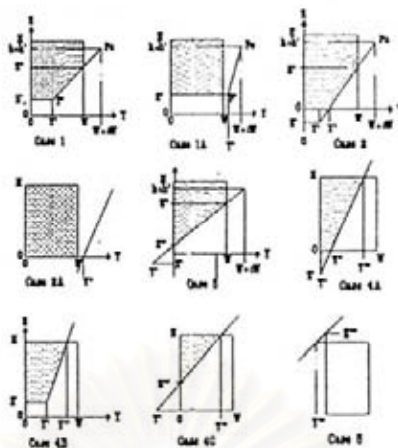
อาคารข้างเคียงนั้น จะใช้หลักการทับซ้อน(Superposition) ในการพิจารณา สามารถหาพื้นที่ของอาคารที่โดนแสงเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของอาคารได้

5. R. McCluney, Ph.D. (1986) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่า เศษส่วนของของ การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดแบบแขวน (Overhang) ที่มุมต่างๆกันเข้าสู่หน้าต่างดังรูปที่ 2.5.1 การพิจารณานั้นจะพิจารณาค่าการแผ่รังสีโดยตรง ค่าการแผ่รังสีแบบกระจาย รวมทั้งรังสีสะท้อน จากพื้นดินด้วย ผลการทดลองจะกำหนดให้อุปกรณ์บังแดดมีขนาดคงที่ และมุมที่กระทำกับผนัง อาคารต่างๆกัน แสดงให้เห็นถึงเศษส่วนของการโดนแดดที่ต่างกันที่ทิศทางใดๆ ผลงานวิจัยนี้จัดทำ ขึ้น เพื่อใช้ในการอ้างอิงการคำนวณค่าภาระทางความร้อนที่เข้าสู่อาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ บังแดดแบบแขวน ให้ใช้งานสะดวกมากยิ่งขึ้น โดยการคำนวณค่าเศษส่วนการโดนแดด (Unshaded Fraction,USF) กรณีการแผ่รังสีตรง จะแบ่งออกเป็น 9 กรณีซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5.2 สาเหตุที่ทำการแบ่งออกเป็นกรณีต่างๆเพราะ โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป จะคำนวณด้วย วิธีการแบ่งกรณีย่อยๆเป็นหลัก ส่งผลให้ผลการคำนวณมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น

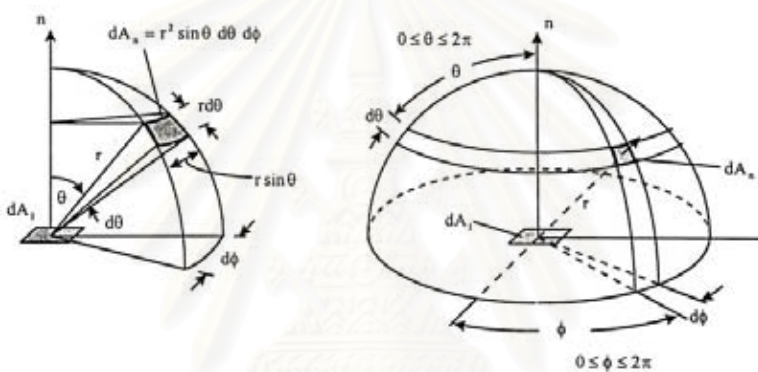


รูปที่ 2.5.1 รูปแบบอุปกรณ์บังแดดแบบแขวน ที่มุมต่างๆกัน

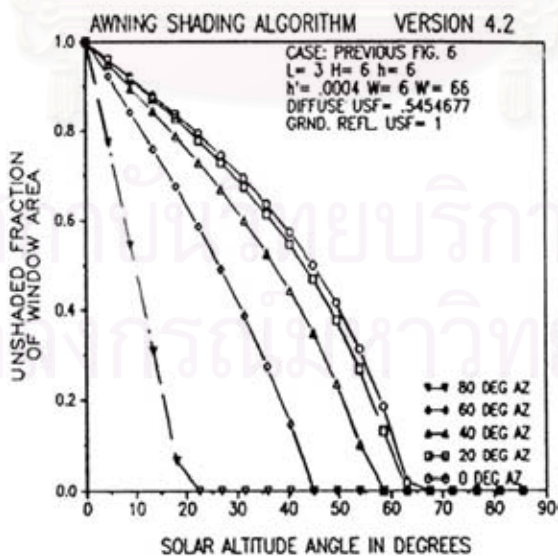
ส่วนวิธีการหาค่าเศษส่วนการโดนแดด กรณีการแผ่รังสีกระจาย จะใช้วิธีแบ่งช่องตาราง ท้องฟ้าออกเป็นย่อยๆเท่าๆกัน เพื่อตรวจสอบว่าช่องตารางนั้นมีผลโดยตรงต่อผนังอาคารหรือไม่ ดังรูปที่ 2.5.3



รูปที่ 2.5.2 รูปแบบของเงาที่ตกกระทบลงบนผนังอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแบบแขวน



รูปที่ 2.5.3 แสดงการแบ่งช่องตารางของผิวโลกที่เท่าๆกัน



รูปที่ 2.5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเศษส่วนการโดนแดดกับมุมเงย และมุมอะซิมัทต่างๆ กัน

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

3.1.1. ดวงอาทิตย์ (Sun)

ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุทรงกลมของสสารที่เป็นก๊าซร้อน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39×10^9 เมตร อยู่ห่างจากโลกประมาณ 1.5×10^{11} เมตร เมื่อสังเกตจากโลกจะใช้เวลาหมุนรอบตัวเองประมาณ 4 สัปดาห์ รังสีที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ กลุ่มที่มีผลกระทบต่อโลกทันที ได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงผิวโลกในทันที คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบหลอมนิวเคลียส (Fusion) ของไฮโดรเจน ส่งผลให้ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ในอัตรา 3.85×10^{23} กิโลวัตต์ อย่างต่อเนื่อง โดยพื้นผิวของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิประมาณ 5762 เคลวิน ซึ่งประมาณได้ว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำ (Blackbody) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ ประกอบไปด้วยพลังงานความร้อน และแสงสว่างเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังเป็นคลื่นวิทยุที่สามารถรับได้โดยใช้ กล้องโทรทรรศน์วิทยุ (Radio Telescope) และรังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือ รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet Rays) ซึ่งผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลก ได้เพียงเล็กน้อย รังสีกลุ่มที่สองได้แก่ อนุภาคที่มีประจุต่างๆ ซึ่งไม่สามารถผ่านชั้นบรรยากาศมายังผิวโลกได้ เช่น อนุภาครังสีคอสมิก (Cosmic Rays) เป็นอนุภาคโปรตอน และลมสุริยะ (Solar Wind) เป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกที่มีความเร็วต่ำ และอิเล็กตรอน เป็นต้น

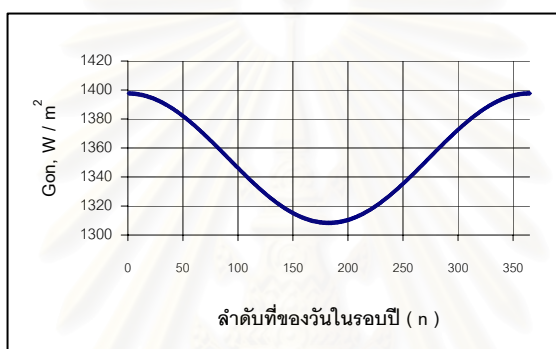
3.1.2. ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant , G_{sc})

เนื่องจากโลกโคจรเป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ เป็นสาเหตุให้ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้ค่าการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลก (Extraterrestrial Radiation, G_{on}) จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ ± 3.3 ขึ้นอยู่กับเวลาในแต่ละปี ต่อมาได้มีการกำหนดค่ามาตรฐาน การแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลก ค่ามาตรฐานนี้เรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant , G_{sc}) มีค่าเท่ากับ 1353 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถูกกำหนดโดยเทเคคารา (Thekaekara:1976)

ซึ่งค่ามาตรฐานนี้ได้รับการยอมรับจาก NASA (National Aeronautics and Space Administration) และ ASTM (American Society for Testing Materials)

เทเคคารา (1976) ได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกกับระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบปี โดยกำหนดให้ n ($1 \leq n \leq 365$) เป็นลำดับที่ของวันในรอบปี โดยเป็นไปตามความสัมพันธ์

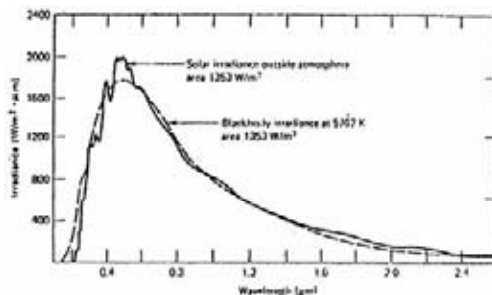
$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}\right) \text{-----(1)}$$



รูปที่ 3.1.2.1 กราฟแสดงการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกในเดือนต่างๆ ในรอบปี

3.1.3 สเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Spectral Distribution on Extraterrestrial Radiation)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยมาจากดวงอาทิตย์ จะมีช่วงความยาวคลื่นและความเข้มของการแผ่รังสีต่างกัน มีสาเหตุ 2 ประการ ประการแรกอุณหภูมิของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ มีความแตกต่างกัน ประการที่สอง ณ ตำแหน่งต่างๆ บางตำแหน่งบนดวงอาทิตย์ไม่ได้มีการแผ่รังสีแบบวัตถุดำ ยังคงสรุปได้ว่าสเปกตรัมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ จึงคล้ายกับสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่จากวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 5762 เคลวิน



รูปที่ 3.1.3.1 สเปกตรัมของการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลก
ที่มา Lunde (1980)

จากรูปที่ 3.1.3.1 แสดงให้เห็นว่า ความยาวคลื่นประมาณ 0.46 ไมโครเมตร จะมีความเข้มของการแผ่รังสีมากที่สุด และประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานทั้งหมดจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.38-0.78 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงรังสีที่มองเห็นได้ (Visible Rays)

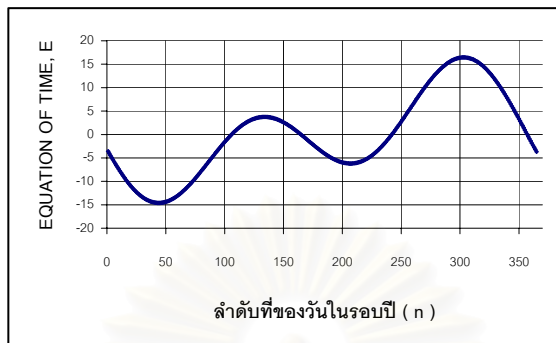
3.1.4 เวลาสุริยะ (Solar Time)

เวลาสุริยะเป็นเวลาที่ขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่เชิงมุมของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ซึ่งไม่ใช่เวลานาฬิกาท้องถิ่น (Local Clock Time) หรือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น (Standard Time) ความจำเป็นในการเปรียบเทียบเวลาสุริยะกับเวลามาตรฐานท้องถิ่น มาจากสาเหตุ 2 ประการ ประการแรก เวลานาฬิกาท้องถิ่นยึดถือจากเส้นลองจิจูด (Longitude) ซึ่งในความเป็นจริงเวลานาฬิกาท้องถิ่นจะแตกต่างกันประมาณ 4 นาที ต่อ 1 องศาของเส้นลองจิจูด (ประเทศไทยใช้เส้นลองจิจูดที่ 105 องศาตะวันออก เพื่อใช้ในการกำหนดเป็นเวลามาตรฐานท้องถิ่น ส่วนกรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในตำแหน่งเส้นลองจิจูดที่ 100.5 องศาตะวันออก และเส้นละติจูดที่ 13.7 องศาเหนือ ประการที่ 2 โลกหมุนรอบตัวเอง โดยแกนหมุนของโลก (Axial of the Earth's Rotation) เกิดการกวัดแกว่ง (Perturbation) สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของเวลา (Equation of Time, E) โดยจะมีผลต่อเวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นลองจิจูดของเมริเดียน (Meridian) การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดเวลา คือ เวลาสุริยะ ความสัมพันธ์ของเวลาสุริยะกับเวลานาฬิกาท้องถิ่นและเวลามาตรฐานท้องถิ่น คือ

$$\text{Solar Time} = \text{Standard Time} - 4(L_{\text{ST}} - L_{\text{LOC}}) + E \text{ -----(2)}$$

$$\text{โดยที่ } E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

$$\text{และ } B = \frac{360(n-81)}{364}$$



รูปที่ 3.1.4.1 สมการเวลาในหน่วยนาทีที่แปรผันกับเวลาในช่วงปี

3.1.5 การแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ

รังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับออกไปยังอวกาศ อีกส่วนหนึ่งจะเกิดกลไกของ การดูดกลืน (Absorption) และการกระเจิง (Scattering) ในชั้นบรรยากาศของโลก การดูดกลืนรังสี เกิดขึ้นจากโมเลกุลของก๊าซต่างๆหรือไอน้ำ รังสีอัลตราไวโอเล็ตจะถูกดูดกลืนโดยก๊าซโอโซน (O_3) และก๊าซออกซิเจน (O_2) รวมทั้งก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยโมเลกุลของก๊าซเหล่านี้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) เนื่องจากการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต สำหรับรังสีที่มองเห็นได้จะถูกดูดกลืนด้วยก๊าซโอโซน ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และไอน้ำ ในชั้นบรรยากาศ ตลอดจนก๊าซจำพวก คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) และมีเทน (CH_4) ผลของการดูดกลืนรังสีต่างๆของก๊าซโอโซน ออกซิเจน ไนโตรเจน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และ มีเทน (ก๊าซเหล่านี้จะดูดรังสีต่างๆได้ในสัดส่วนเท่ากัน) จะทำให้ชั้นบรรยากาศมีพลังงานสะสมมากขึ้น หมายความว่าเกิดความร้อนสะสมในชั้นบรรยากาศ สรุปได้ว่ารังสีที่ตกกระทบบนผิวโลกจะประกอบไปด้วย รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และรังสีคลื่นยาวจากบรรยากาศที่ร้อน สำหรับการกระเจิงของรังสีเกิดขึ้นจากโมเลกุลของอากาศ (O_2, N_2), ฝุ่นและไอน้ำ อยู่อย่างกระจัดกระจาย ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลๆไม่สม่ำเสมอและมีค่ามากกว่าความยาวคลื่นของรังสี จึงเกิดการกระเจิงของรังสีขึ้น

3.1.6 การแผ่รังสีบนพื้นผิวโลก

ที่พื้นผิวโลกการแผ่รังสีมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากการแผ่รังสีเหนือบรรยากาศโลกมีค่าไม่เท่ากัน รวมทั้งปัจจัยจากโมเลกุลของก๊าซต่างๆ ฝุ่นละออง ไอน้ำ และเมฆในบรรยากาศ ทำให้ความเข้ม ทิศทางและองค์ประกอบของสเปกตรัมเปลี่ยนไป จึงได้มีการกำหนดประเภทของการแผ่รังสีที่พื้นผิวโลก กล่าวคือ

1.การแผ่รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ และผ่านลงมายังพื้นโลกโดยตรง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทาง

2.การแผ่รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่ถูกสะท้อนและกระเจิงโดย โมเลกุลของก๊าซฝุ่นละอองและไอน้ำ วัตถุต่างๆ การแผ่รังสีกระจายนี้จะมาจากทุกทิศทางในท้องฟ้า

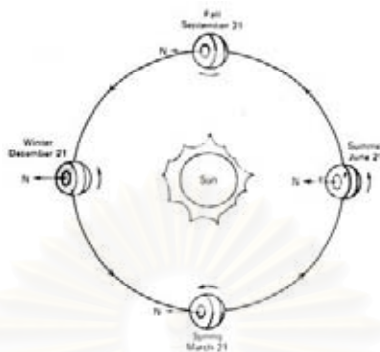
3.การแผ่รังสีรวม (Total or Global Radiation) เป็นผลรวมของการแผ่รังสีตรงและการแผ่รังสีกระจาย สำหรับการศึกษารื่องพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อพูดถึงการแผ่รังสีรวมจะจำกัดความเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น มีความยาวคลื่นในช่วง 0.2 ถึง 2.4 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงของความยาวคลื่นของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์โดยไม่พิจารณาการแผ่รังสีคลื่นยาว ซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีของผิวโลกและชั้นบรรยากาศ

3.1.7 ทิศทางของการแผ่รังสีตรง (Direction of Beam Radiation)

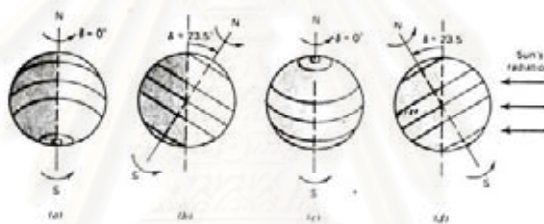
ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบ (Plane) ใดๆกับทิศทางการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สามารถอธิบายได้ในรูปของมุม (Benford and Bock (1939)) แสดงได้ดังนี้

3.1.7.1 **ละติจูด (Latitude, ϕ)** คือ มุมที่วัดจากจุดกึ่งกลางของเส้นศูนย์สูตรตามเส้นเมริเดียนไปยังเส้นละติจูดของพิกัดนั้นๆ ถ้าวัดไปทางขั้วโลกเหนือมีค่าเป็นบวก และถ้าวัดไปทางขั้วโลกใต้มีค่าเป็นลบ โดยมีมุมนี้อยู่ในช่วง $-90^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$

3.1.7.2 มุมเดคลิเนชัน (Declination, δ) เป็นมุมระหว่างแกนหมุนของโลกกับเส้นโคจรของโลก ซึ่งแสดงถึงช่วงกลางวัน – กลางคืนของโลก มุมเดคลิเนชันนี้เปลี่ยนแปลงตามแนวเส้นโคจรของโลก จึงทำให้มุมบ่ายเบนมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง ± 23.45 องศา



รูปที่ 3.1.7.1 การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลของโลกเมื่อมองจากระนาบวงโคจร



รูปที่ 3.1.7.2 มุมเดคลิเนชันที่ฤดูต่างๆกัน A) Spring Equinox B) Summer Solstice
C) Fall Equinox D) Winter Solstice

3.1.7.3 มุมเอียงของผิวระนาบ (Slope, β) มุมระหว่างผิวระนาบเอียงใดๆ กับระนาบขนานผิวโลก มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 180 องศา (มุม $\beta > 90^\circ$ หมายถึง ผิวระนาบมีการคว่ำหน้าลง)

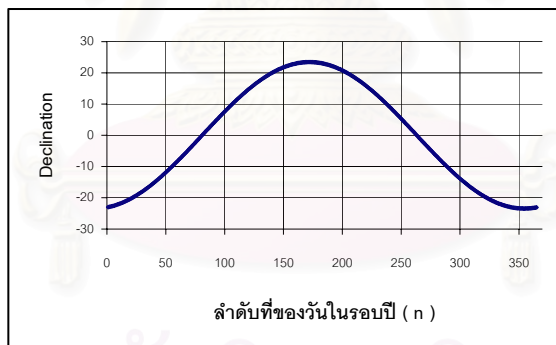
3.1.7.4 มุมผิวเอียงอะซิมัท (Surface Azimuth Angle, γ) มุมที่วัดบนพื้นราบขนานผิวโลกของเส้นฉายของผิวระนาบเอียงใดๆ กับเส้นเมริเดียนท้องถิ่น มุมนี้มีค่าเป็นศูนย์ เมื่ออยู่ในแนวทิศใต้ ถ้าวัดจากทิศตะวันตกมีค่าเป็นบวก และวัดจากทิศตะวันออกมีค่าเป็นลบ มุมนี้จะมีค่าอยู่ในช่วง ± 180 องศา

3.1.7.5 มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) เป็นมุมที่แทนทิศทางของดวงอาทิตย์ เทียบกับเส้นเมริเดียนท้องถิ่นที่เวลาใดๆ ของดวงอาทิตย์ มุมนี้มีค่าเป็นศูนย์ ที่เวลาเที่ยงวัน จะมีค่าเป็นบวกในช่วงบ่าย และจะมีค่าเป็นลบในช่วงเช้า มุมนี้จะมีค่า 15 องศาต่อชั่วโมง

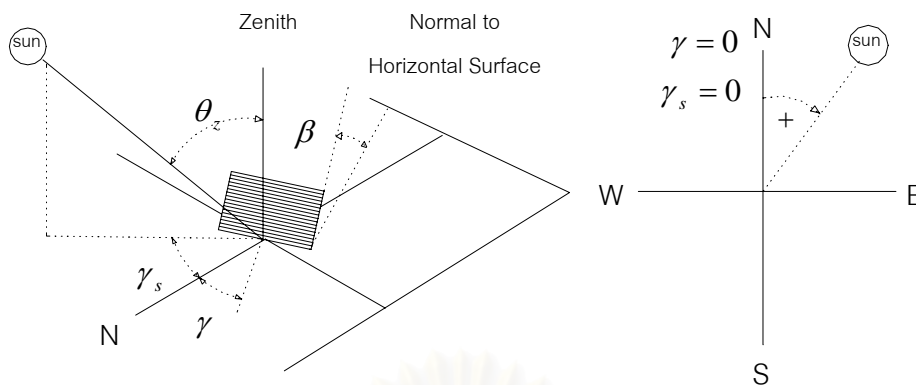
3.1.7.6 มุมตกกระทบ (Angle of Incidence, θ) มุมระหว่างแนวการแผ่รังสี ตรงที่ตกกระทบบนระนาบใดๆ กับแนวตั้งฉากของระนาบนั้นๆ

3.1.7.7 มุมเซนิท (Zenith Angle, θ_z) มุมระหว่างเส้นตั้งฉากกับพื้นราบที่ผิวโลกกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ

3.1.7.8 มุมเงย (Altitude Angle, α_s) เป็นค่ามุมเงยวัดจากเส้นขอบฟ้า (Horizon) ไปตามวงกลมแนวตั้งจนถึงตำแหน่งดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า มีค่าเป็นศูนย์ที่เส้นขอบฟ้า และ 90° ที่จุดเซนิท ($\theta_z = 0^\circ$) และ $\alpha_s + \theta_z = 90^\circ$



รูปที่ 3.1.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชัน กับเวลา



รูปที่ 3.1.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม β, γ และ θ_z กับเส้นศูนย์สูตร
ที่มา Duffie and Beckman (1991)

ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะแสดงในเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right), \text{ degree} \text{-----}(3)$$

$$\omega = [\text{Solar Time} - 12.00] \times 15, \text{ degree} \text{-----}(4)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \text{-----}(5)$$

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi \text{-----}(6)$$

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \delta - \sin \phi \cos \theta_z}{\sin \theta_z \cos \phi} ; \omega \leq 0 \text{ และ}$$

$$\cos \gamma_s = 2 \times \gamma_{s,noon} - \gamma_s ; \omega > 0 \text{-----}(7)$$

3.1.8 การประเมินค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้น

ค่าการแผ่รังสีรวมบนผนังใดๆเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน เกิดขึ้นจากตัวแปรใหญ่ๆดังนี้

1. ค่าการแผ่รังสีตรง (G_{cb})
2. ค่าการแผ่รังสีกระจาย (G_{cd})
3. ค่าการสะท้อนรังสีตรงจากอุปกรณ์บังแดด (G_{br})
4. ค่าการสะท้อนรังสีกระจายจากอุปกรณ์บังแดด (G_{dr})
5. ค่าการสะท้อนรังสีจากพื้นดิน (G_{ground})
6. ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า (G_{sky})
7. ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด (G_{shade})

สมการที่จะนำมาแสดงจะถูกสมมุติให้มีการแผ่รังสีผ่านท้องฟ้าที่มีลักษณะแจ่มใส ด้วยวิธีการของฮอตเทล สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการแผ่รังสีต่างๆ สามารถหาได้ดังนี้

3.1.8.1 ค่าการส่งผ่านชั้นบรรยากาศของรังสีตรง

ปี 1976 ฮอตเทล (Hottel: 1976) ได้มีการพัฒนาสมการเพื่อใช้ในการประเมินค่าการแผ่รังสีตรงที่ผ่านท้องฟ้าที่มีลักษณะแจ่มใส โดยฮอตเทลกำหนดให้ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ตัว คือ มุมเซนนิท, ระดับความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเล และ ลักษณะภูมิอากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 โซน โดยค่าการส่งผ่านชั้นบรรยากาศของรังสีตรง (The Atmospheric Transmittance for Beam Radiation, τ_B) อยู่ในรูป

$$\tau_B = a_0 + a_1 e^{-k / \cos \theta_z} \text{-----}(8)$$

โดยที่ค่าคงที่ a_0 , a_1 , และ k สามารถหาได้จากค่าปรับแก้ a_0^* , a_1^* และ k^* ขึ้นอยู่กับระดับความสูงของระนาบนั้นๆที่น้อยกว่า 2.5 กิโลเมตร ดังนี้

$$\begin{aligned}
 a_0^* &= 0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2 \\
 a_1^* &= 0.5055 + 0.00595 (6.5 - A)^2 \\
 k^* &= 0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2
 \end{aligned}$$

ค่าปรับแก้ของลักษณะภูมิอากาศต่าง ๆ นั้น แสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.1.8.1.1 แสดงค่าปรับแก้ของลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

| ลักษณะภูมิอากาศ (Climate Type) | r_0 | r_1 | r_k |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Tropical | 0.95 | 0.98 | 1.02 |
| Mid-Latitude Summer | 0.97 | 0.99 | 1.02 |
| Subarctic Summer | 0.99 | 0.99 | 1.01 |
| Mid-Latitude Winter | 1.03 | 1.01 | 1.00 |

ข้อมูลจาก ฮอตเทิล (1976)

ค่าคงที่ a_0 , a_1 , และ k สามารถหาได้จาก $r_0 = a_0 / a_0^*$, $r_1 = a_1 / a_1^*$ และ $r_k = k / k^*$

ดังนั้นค่าการแผ่รังสีตรงกรณีท้องฟ้าแจ่มใส (The Clear Sky Beam Radiation) ด้วยวิธีฮอตเทิลได้ดังสมการ

$$G_{cb} = G_{on} \cos \theta \tau_b \text{-----}(9)$$

3.1.8.2 ค่าการส่งผ่านชั้นบรรยากาศของรังสีกระจาย

ต่อมา ลิว และ จอร์แดน (Liu and Jordan) ได้ทำการพัฒนาสมการด้วยวิธีการทดลองเพื่อหาค่าการส่งผ่านชั้นบรรยากาศของรังสีกระจาย (The Atmospheric Transmittance for Diffuse Radiation, τ_d) สัมพันธ์กับค่าการส่งผ่านของรังสีตรงดังนี้

$$\tau_d = 0.2710 - 0.2939 \tau_b \text{-----}(10)$$

โดยสมมติให้การแผ่รังสีกระจายเป็นแบบไอโซทรอปิก ดังนั้นค่าการแผ่รังสีกระจายกรณีท้องฟ้าแจ่มใสบนระนาบ(The Clear Sky Diffuse Radiation on Plane)ด้วยวิธี ลิวและจอร์แดนได้ดังสมการ

$$G_{cd} = G_{on} \cos \theta_z \tau_d \text{-----}(11)$$

3.1.8.3 ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรง

ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรง ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. การสะท้อนของรังสีตรงแบบกระจาย (Direct to Diffuse Reflected Radiation)
2. การสะท้อนของรังสีตรงแบบลำแสง (Specular – Reflected Radiation)

ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ส่วนนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นวัสดุต่างๆ สามารถจำกัดความด้วยตัวประกอบความเงามัน (Shining Factor: SF) ถ้าค่าตัวประกอบของวัสดุต่างๆ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่า วัสดุนั้นจะมีการสะท้อนแบบกระจายทั้งหมด (Pure Diffuse Reflection) หรือถ้าค่าตัวประกอบของวัสดุมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า วัสดุจะมีการสะท้อนลำแสงทั้งหมด (Specular Reflection) ซึ่งค่าตัวประกอบที่มีค่าเท่ากับ 0 จะไม่สามารถเกิดขึ้นจริงได้ โดยทั่วไปค่าตัวประกอบความเงามันของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์บังแดด ในสภาพอากาศที่มีฝุ่นละอองสูงนั้น สามารถกำหนดสมมุติฐานว่าค่าการสะท้อนของรังสีตรงจะเกิดขึ้นเฉพาะรังสีกระจายเท่านั้น

ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรงแบบกระจาย สามารถหาได้ดังสมการ

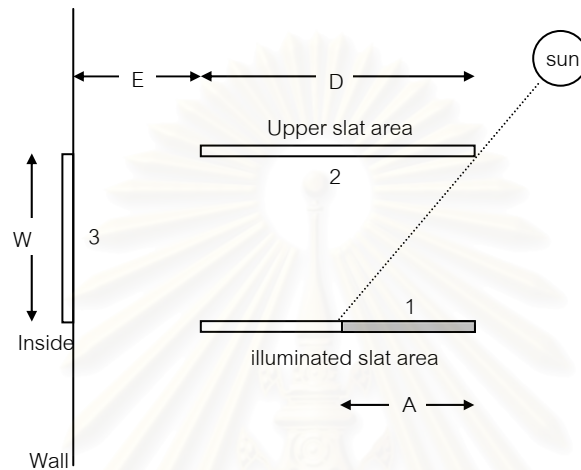
$$\tau_{br} = (\rho f_1 + \rho^2 f_2 f_3)(1 - \tau_{unshading}) \text{-----}(12)$$

โดยที่

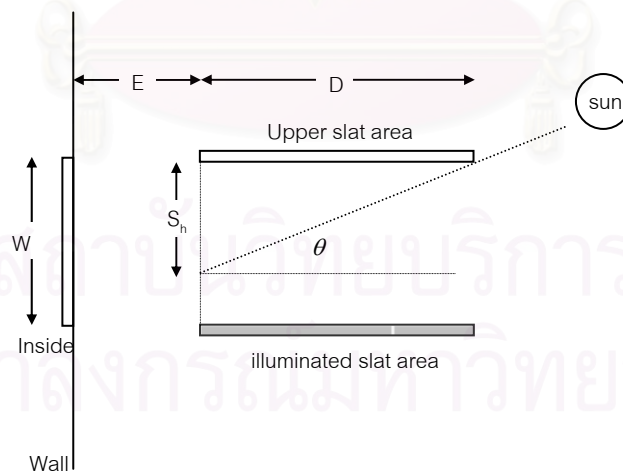
- ρ คือ ค่าสะท้อนรังสีของอุปกรณ์บังแดด
- f_1 คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านล่างที่โดนแดดกับผนังอาคาร
- f_2 คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านล่างที่โดนแดดกับด้านบน

f_3 คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านบนกับผนังอาคาร
 $\tau_{unshading}$ คือ ค่าการส่งผ่านที่ไม่โดนบังแดด

สมมุติให้อุปกรณ์บังแดดมีขนาดยาวมาก สามารถพิจารณาแบบ 2 มิติ ได้ ตัวแปรต่างๆ
 ดังสมการข้างต้น สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูป



รูปที่ 3.1.8.3.1 ตัวประกอบมุมมองของอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร
 สำหรับค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีตรง



รูปที่ 3.1.8.3.2 ระยะต่างๆของลำแสงดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านสู่ผนังอาคาร

ค่าการส่งผ่านที่ไม่โดนแดดสามารถหาได้จากสมการ

$$\tau_{unshading} = \frac{W - S_h}{W} = 1 - \frac{S_h}{W} \text{-----(13)}$$

โดยที่ $S_h = D \tan \theta$

ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดด สามารถหาได้ดังสมการ

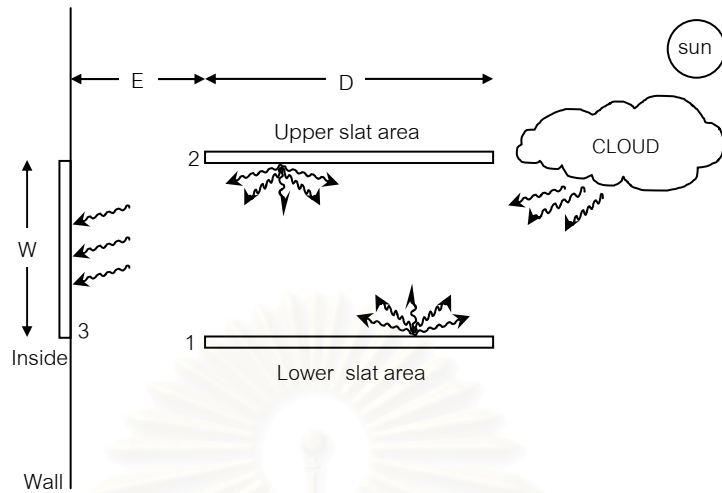
$$f_1 = f_{13} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{W}{A} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{E+D-A}{W} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{E+D}{W} \right)^2} \right) \right] \text{-----(14)}$$

$$f_2 = f_{12} = 1 - \frac{1}{2} \left[1 + \frac{W}{A} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{D-A}{W} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{D}{W} \right)^2} \right) \right] - \frac{1}{2} \left[1 + \frac{W}{A} - \sqrt{1 + \left(\frac{W}{A} \right)^2} \right] \text{-----(15)}$$

$$f_3 = f_{23} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{W}{D} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{E}{W} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{E+D}{W} \right)^2} \right) \right] \text{-----(16)}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.8.4 ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีกระจาย



รูปที่ 3.1.8.4.1 ตัวประกอบมุมมองของอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคารสำหรับ
ค่าการส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีกระจาย

รังสีกระจายเมื่อตกกระทบลงบนพื้นผิววัสดุจะเกิดการสะท้อนแบบรังสีกระจายอย่าง
สมบูรณ์ (Purely Diffuse) จากรูปเมื่อพิจารณาถึง พื้นที่บังแดดด้านล่างจะถูกสมมติให้ มุมมอง
ของรังสีกระจายที่ตกลงมีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ค่าจากการสะท้อนของรังสีกระจายจะเกิดขึ้น 2
ส่วน คือ เกิดจากการสะท้อนเพียงครั้งเดียวของแผ่นบังแดดด้านล่างไปยังผนังอาคาร ดังนั้น ค่า
การส่งผ่านจากการสะท้อนของรังสีกระจาย คือ

$$\tau_{dr} = (\rho f_1 + \rho^2 f_2 f_3)(1 - f_1 - f_2) \text{-----(17)}$$

โดยที่

- ρ คือ ค่าการสะท้อนของอุปกรณ์บังแดด
- f_1 คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านล่างกับผนังอาคาร
- f_2 คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านล่างกับด้านบน
- f_3 คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านบนกับผนังอาคาร

ดังนั้นค่าการสะท้อนรังสีกระจายจากอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้น คือ

$$G_{dr} = (G_{on} \cos \theta_z \tau_d) \tau_{dr} \text{-----(18)}$$

3.1.8.5 ค่าการแผ่รังสีจากการสะท้อนรังสีจากพื้นดิน

ความร้อนส่วนหนึ่งที่ตกกระทบลงบนพื้นดิน สามารถที่จะสะท้อนเข้าสู่เปลือกอาคารได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวดินรอบเปลือกอาคาร นั่นคือ ตัวแปรที่จะใช้กำหนดลักษณะผิวของพื้นดิน คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของผิวดิน (ρ_{ground}) ดังนั้น ค่าความร้อนที่เข้าสู่เปลือกอาคารที่เกิดจากการสะท้อนจากผิวดิน คือ

$$G_{ground} = F_{r-g} \rho_{ground} (G_{cb} + \frac{1}{2} G_{cd}) \text{-----(19)}$$

โดยที่

F_{r-g} คือ ค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างเปลือกอาคารกับพื้นดิน

3.1.8.6 ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า

ท้องฟ้าเราสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นวัตถุดำ (Blackbody) และอุณหภูมิทั่วท้องฟ้าถูกกำหนดให้มีอุณหภูมิเท่ากัน ดังนั้น ค่าการแผ่รังสีจากท้องฟ้าสู่ทึระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้าสามารถหาได้ดังสมการ

$$G_{sky} = \epsilon_{shade} F_{r-s} \sigma (T_{sky}^4 - T_{wall}^4) \text{-----(20)}$$

การแผ่รังสีจากชั้นบรรยากาศจะมีช่วงความยาวคลื่นที่แน่นอนซึ่งจะส่งผ่านมาในช่วง 8-14 ไมโครเมตร ช่วงที่เกิดขึ้นนี้อยู่ในช่วงที่เรียกว่า ช่วงรังสีใต้แดง (Infrared Spectrum) เมื่อสมมติให้ท้องฟ้ามีลักษณะแจ่มใส อุณหภูมิท้องฟ้า ถูกคิดค้นโดย สวินแบงค์ (Swinbank) ในปี 1963 ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิของอากาศดังสมการ

$$T_{sky} = 0.0552 T_a^{1.5} \text{-----(21)}$$

โดยที่ T_{sky} คือ อุณหภูมิท้องฟ้า (มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส)
 และ T_a คือ อุณหภูมิอากาศ (มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส)

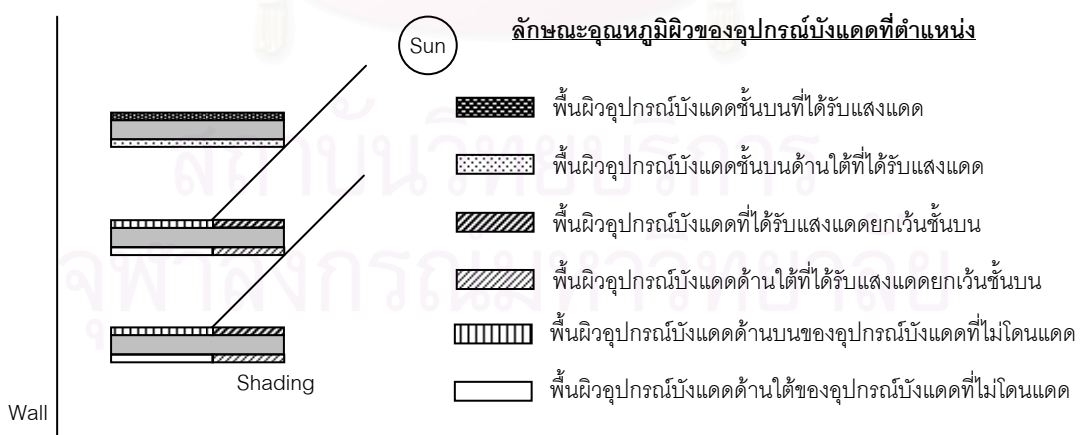
ต่อมา บรัน และ บรีซ (Brunt and Bliss) ได้พัฒนาสมการหาอุณหภูมิท้องฟ้าขึ้นมาใหม่โดยมีองค์ประกอบของความชื้นในอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง สมการที่ บรัน และ บรีซ จะแสดงได้ในเทอมของอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) ดังสมการ

$$T_{sky} = T_a \left[0.8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{\frac{1}{4}} \text{-----(22)}$$

จากสมการของ สวินแบงค์ และสมการของบรัน และ บรีซ จะมีโอกาสได้ผลที่ตรงกันในกรณีค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

3.1.8.7 ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด

อุปกรณ์บังแดดที่ใช้เพื่อป้องกันแสงแดด บางส่วนได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง ดังรูปที่ 3.1.8.7.1 ดังนั้นอุปกรณ์บังแดดจึงมีอุณหภูมิผิวที่สูงพอที่จะมีผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดดได้



รูปที่ 3.1.8.7.1 แสดงตำแหน่งของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นในรูป 2 มิติ

จากรูปที่ 3.1.8.7.1 แสดงถึงอุณหภูมิของอุปกรณ์บังแดด เพื่อลดปัญหาความซับซ้อนลง จะพิจารณาว่าอุปกรณ์บังแดดมีความยาวมาก สามารถลดรูปเหลือ 2 มิติได้ และ ผลที่ได้จาก อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดนี้จะพิจารณาเพียง 6 ส่วน คือ

1. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดชั้นบนที่ได้รับแสงแดด ($T_{top,upper}$)
2. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดชั้นบนด้านใต้ที่ได้รับแสงแดด ($T_{top,lower}$)
3. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดที่ได้รับแสงแดดยกเว้นชั้นบน ($T_{solar,upper}$)
4. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านใต้ที่ได้รับแสงแดดยกเว้นชั้นบน ($T_{solar,lower}$)
5. อุณหภูมิผิวด้านบนที่ไม่โดนแดด และไม่มีการถ่ายเทความร้อนจากส่วนที่โดนแดด ($T_{non,upper}$)
6. อุณหภูมิผิวด้านล่างที่ไม่โดนแดด และไม่มีการถ่ายเทความร้อนจากส่วนที่โดนแดด ($T_{non,lower}$)

การกำหนดให้อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดเพียง 4 ส่วนใหญ่ๆ นั้น เพื่อลดความยุ่งยากของการคำนวณลง เนื่องจากถ้าพิจารณาผลของการแผ่รังสีระหว่างอุปกรณ์บังแดดของแต่ละอันแล้ว จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดด ในแต่ละอันจะมีอุณหภูมิผิวที่ไม่คงที่

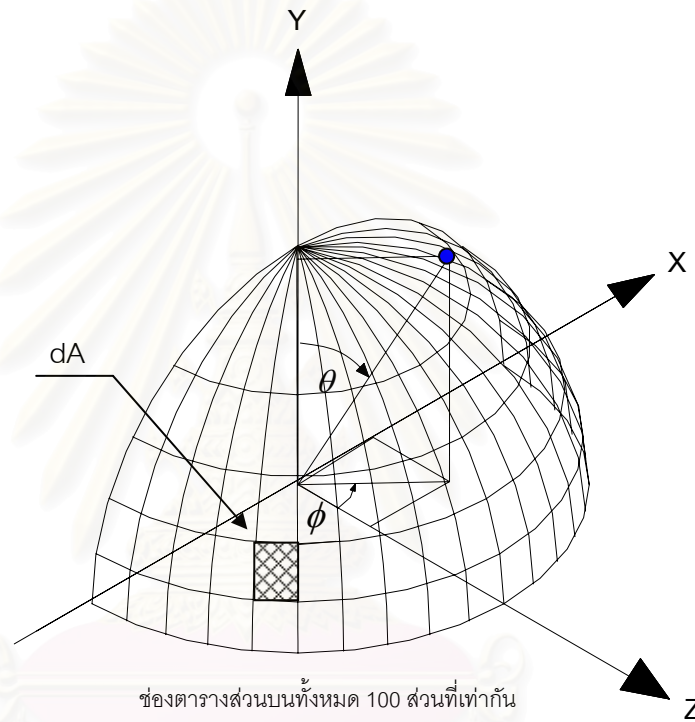
ดังนั้นค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด คือ

$$G_{shade} = \epsilon_{top,upper} A \sigma (T_{top,upper}^4 - T_{wall}^4) + \epsilon_{top,lower} A \sigma (T_{top,lower}^4 - T_{wall}^4) \\ + \epsilon_{solar,upper} A \sigma (T_{solar,upper}^4 - T_{wall}^4) + \epsilon_{solar,lower} A \sigma (T_{solar,lower}^4 - T_{wall}^4) \\ + \epsilon_{non,upper} A \sigma (T_{non,upper}^4 - T_{wall}^4) + \epsilon_{non,lower} A \sigma (T_{non,lower}^4 - T_{wall}^4) \text{ -----(23)}$$

3.1.9 รายละเอียดการคำนวณหาค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า พื้นดิน และ อุปกรณ์บังแดด

อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดที่ไม่เท่ากัน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การคำนวณค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างส่วนย่อยๆ ของเปลือกอาคาร มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ พื้นดิน สามารถหาได้ง่ายโดยไม่ผลต่อเวลา ดังนั้นจึงได้ทำการแยกหาค่าตัวประกอบมุมมองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ค่าตัวประกอบมุมมองที่ไม่มีผลต่อเวลา คือ ระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และเปลือกอาคารกับพื้นดิน
2. ค่าตัวประกอบมุมมองที่มีผลต่อเวลา คือ ระหว่างเปลือกอาคารกับผิวของอุปกรณ์ บังแดดการหาค่าตัวประกอบมุมมองจะใช้วิธีการแบ่งช่องตารางของผิวโลกที่เท่ากัน ตามแบบของ อาร์ แมคคลูนี (R.McCluney,1986) โดยจะแบ่งออกทั้งหมด 200 ส่วนเท่าๆกัน ในครึ่งทรงกลม ดังรูปที่ 3.1.9.1 สำหรับมุม $d\phi$ จะถูกแบ่งเท่ากับ 9 องศาเท่าๆกัน ดังนั้นจะทำการหามุมของ θ ต่างๆ ได้ดังสมการ



รูปที่ 3.1.9.1 แสดงการแบ่งช่องตารางของผิวโลกส่วนบนของครึ่งทรงกลมที่เท่าๆกัน และความสัมพันธ์ระหว่างมุม θ และ ϕ ของช่องตารางเปลือกอาคารกับผิวโลก

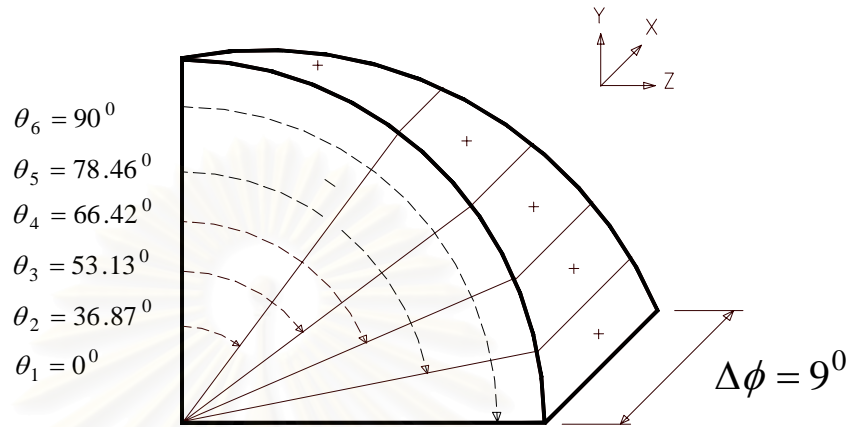
$$dA = r^2 \sin \theta d\theta d\phi \text{ -----(24)}$$

พื้นที่ของแต่ละช่องตารางจะเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 A &= \int_{\theta=\theta_1}^{\theta=\theta_2} \int_{\phi=0^0}^{\phi=9^0} r^2 \sin \theta d\theta d\phi &= \frac{\int_{\theta=0^0}^{\theta=90^0} \int_{\phi=0^0}^{\phi=9^0} r^2 \sin \theta d\theta d\phi}{5} \\
 &= \frac{(-\cos \theta_2 + \cos \theta_1)}{5} &= \frac{-\cos 90^0 + \cos 0^0}{5} = 0.2
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\cos \theta_1 - \cos \theta_2 = 0.2 \text{ -----(25)}$$



รูปที่ 3.1.9.2 แสดงมุมกึ่งกลางของช่องตารางที่แบ่งอย่างเท่าๆกัน

ผลที่ได้ของมุม θ ต่างๆ คือ $\theta_1=0^0$, $\theta_2=36.87^0$, $\theta_3=53.13^0$, $\theta_4=66.42^0$, $\theta_5=78.46^0$, $\theta_6=90^0$ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.9.2

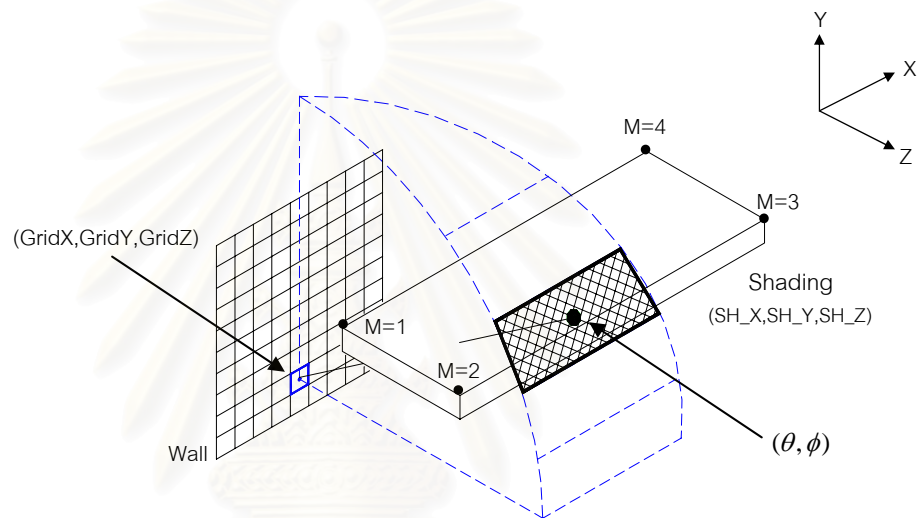
จากผลการคำนวณจะทำให้สามารถหาจุดกึ่งกลางของช่องตารางที่แบ่งเท่าๆกันในครึ่งทรงกลมทั้ง 200 ส่วนได้ โดยได้ผลลัพธ์ของช่องตารางเป็นฟังก์ชันของมุม θ และมุม ϕ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณขั้นต่อไป

3.1.9.1 การหาค่าตัวประกอบมุมระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ พื้นดิน

ค่าตัวประกอบมุมระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ พื้นดิน เป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับเวลา ดังนั้นจึงหาเพียงครั้งเดียว โดยไม่จำเป็นต้องคำนวณซ้ำ ขั้นตอนการคำนวณจะแสดงดังนี้

1. กำหนดพิกัดของช่องตารางที่เปลือกอาคารที่จะใช้ในการคำนวณ (GridX,GridY,GridZ) ดังรูปที่ 3.1.9.1.1

2. กำหนดพิกัดของอุปกรณ์บังแดดทุกมุม โดยอุปกรณ์บังแดด 1 ชั้น จะกำหนดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมได้ 2 แผ่น $[SH_X(n,m), SH_Y(n,m), SH_Z(n,m)]$ โดยที่ n คือ จำนวนของอุปกรณ์บังแดดที่กำหนดให้คุณด้วย 2 และ m คือ ตำแหน่งของมุมอุปกรณ์บังแดด ดังรูปที่ 3.1.9.1.1
3. ทำการตรวจสอบเส้นตัดผ่านระหว่างพิกัดของเปลือกอาคารกับพิกัดของครึ่งทรงกลม ทั้ง 200 พิกัดกับอุปกรณ์บังแดดทั้งหมด ถ้าเส้นตรงระหว่างพิกัดทั้งสองตัดผ่านอุปกรณ์บังแดด จะถือว่าเกิดการบังแดดที่พิกัดของเปลือกอาคารชั้น ดังรูปที่ 3.1.9.1.1 ขั้นตอนการคำนวณจะทำดังนี้



รูปที่ 3.1.9.1.1 แสดงพิกัดของผนังอุปกรณ์บังแดด และช่องตารางของผิวโลกใดๆ

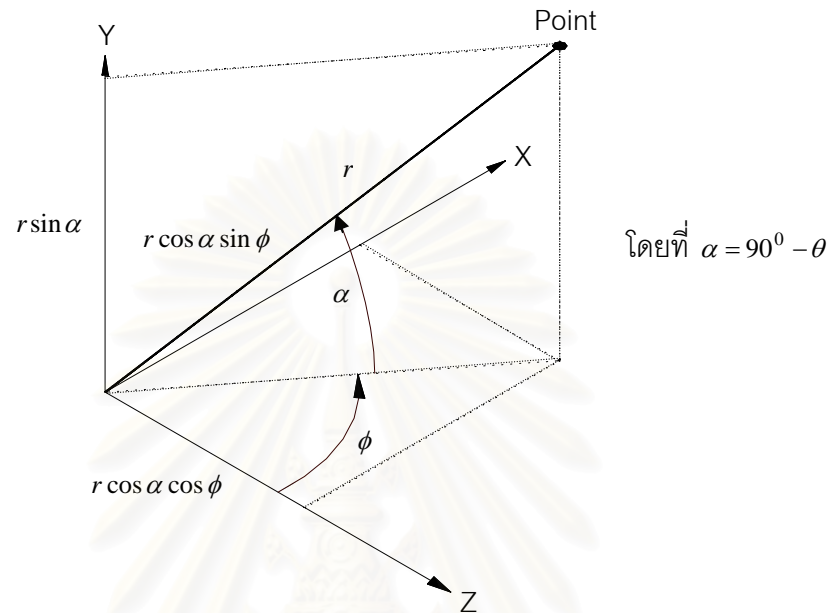
3.1 เลือกชั้นของอุปกรณ์บังแดดชั้นแรกมาทำการตรวจสอบ ($n=1$) ซึ่งทราบว่าทุกๆจุดของแผ่นสี่เหลี่ยมนี้มีค่าพิกัด Y ที่เท่าๆกัน

3.2 หาค่าเวกเตอร์หนึ่งหน่วยระหว่างช่องตารางของเปลือกอาคารกับช่องตารางของครึ่งทรงกลม ดังรูปที่ 3.1.9.1.2

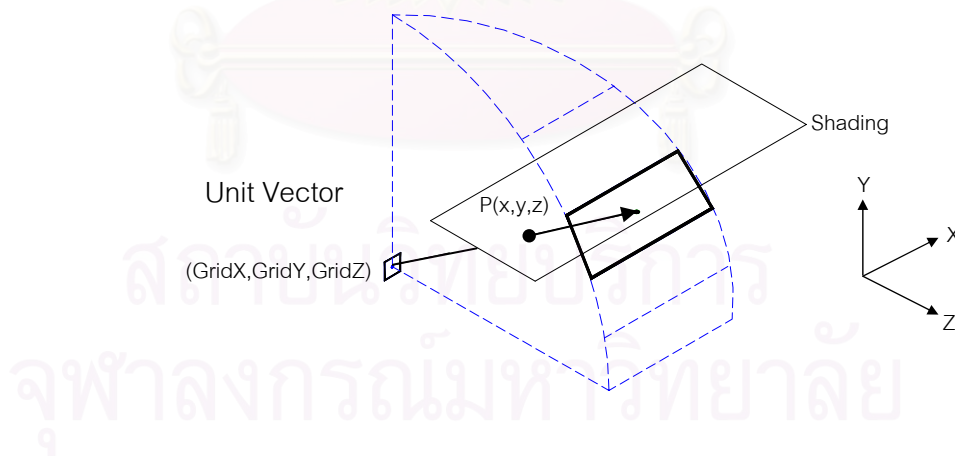
$$\text{Vector} = r \cos \alpha \sin \phi \vec{i} + r \cos \alpha \cos \phi \vec{j} + r \sin \alpha \vec{k}$$

$$\begin{aligned} \text{Unit Vector} &= \frac{\cos \alpha \sin \phi \vec{i} + \cos \alpha \cos \phi \vec{j} + \sin \alpha \vec{k}}{\sqrt{(\cos \alpha \sin \phi)^2 + (\cos \alpha \cos \phi)^2 + (\sin \alpha)^2}} \\ &= \cos \alpha \sin \phi \vec{i} + \cos \alpha \cos \phi \vec{j} + \sin \alpha \vec{k} \end{aligned}$$

3.3 จากรูปที่ 3.1.9.1.3 เมื่อเราทราบพิกัดแนวแกน Z ของ P(x,y,z) แล้ว สามารถหาขนาดของเวกเตอร์ระหว่างช่องตารางของเปลือกอาคารกับพิกัด P(x,y,z) ได้ ทำให้สามารถหาค่า P(x,y,z) ได้เช่นกัน



รูปที่ 3.1.9.1.2 ทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วยระหว่างผนังอาคารกับช่องตารางของผิวโลก



รูปที่ 3.1.9.1.3 แสดงพิกัดของจุดตัดของเวกเตอร์กับอุปกรณ์บังแดด

$$\cos \alpha \sin \phi \vec{i} + \cos \alpha \cos \phi \vec{j} + \sin \alpha \vec{k} = \frac{Px - GridX}{Amp} \vec{i} + \frac{Py - GridY}{Amp} \vec{j} + \frac{Pz - GridZ}{Amp} \vec{k}$$

จาก $Py = Const$

$$\therefore Amp = \frac{Py - Gy}{\sin \alpha}$$

ดังนั้น

$$Px = Gx + Amp \cos \alpha \sin \phi$$

$$Py = Const$$

$$Pz = Gz + Amp \cos \alpha \cos \phi$$

3.4 ตรวจสอบ P_x และ P_y ว่าอยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยมหรือไม่ ถ้าเกิดอยู่แสดงว่าอุปกรณ์บังแดดชิ้นนั้นได้บังแดดให้กับช่องตารางของเปลือกอาคารที่ทำการตรวจสอบ

3.5 ถ้า P_x และ P_y ไม่อยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยม ให้ตรวจสอบอุปกรณ์บังแดดที่เหลือต่อไป

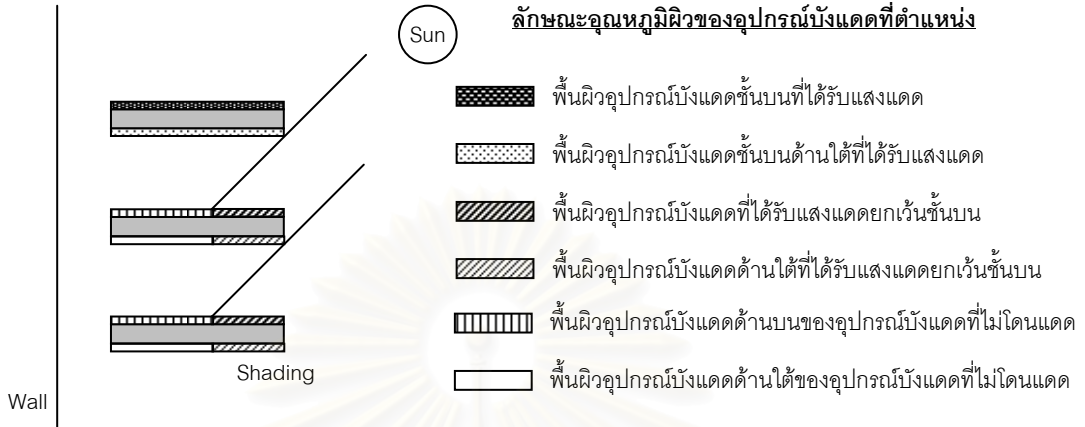
3.6 เมื่อทำตามข้อ 3.1 ถึง 3.5 เสร็จแล้ว จะทำการเปลี่ยนช่องตารางของเครื่องทรงกลมต่อไป ทำเช่นนี้จนครบทั้ง 100 ส่วน ของเครื่องทรงกลมบน ซึ่งจะสามารถหาค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างช่องตารางหนึ่งๆของเปลือกอาคารกับท้องฟ้า ได้ดังสมการ

$$F_{w-s} = \frac{1 - \frac{\cos^2 \alpha \cos^2 \phi}{2}}{2} \quad \text{---(26)}$$

3.7 เช่นเดียวกัน การหาค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างช่องตารางหนึ่งๆของเปลือกอาคารกับพื้นดินจะใช้ช่องตารางของเครื่องทรงกลมส่วนล่างมาทำการหา โดยได้สมการ

$$F_{w-g} = \frac{1 - \frac{\cos^2 \alpha \sin^2 \phi}{2}}{2} \quad \text{---(27)}$$

3.1.9.2 การหาค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้น



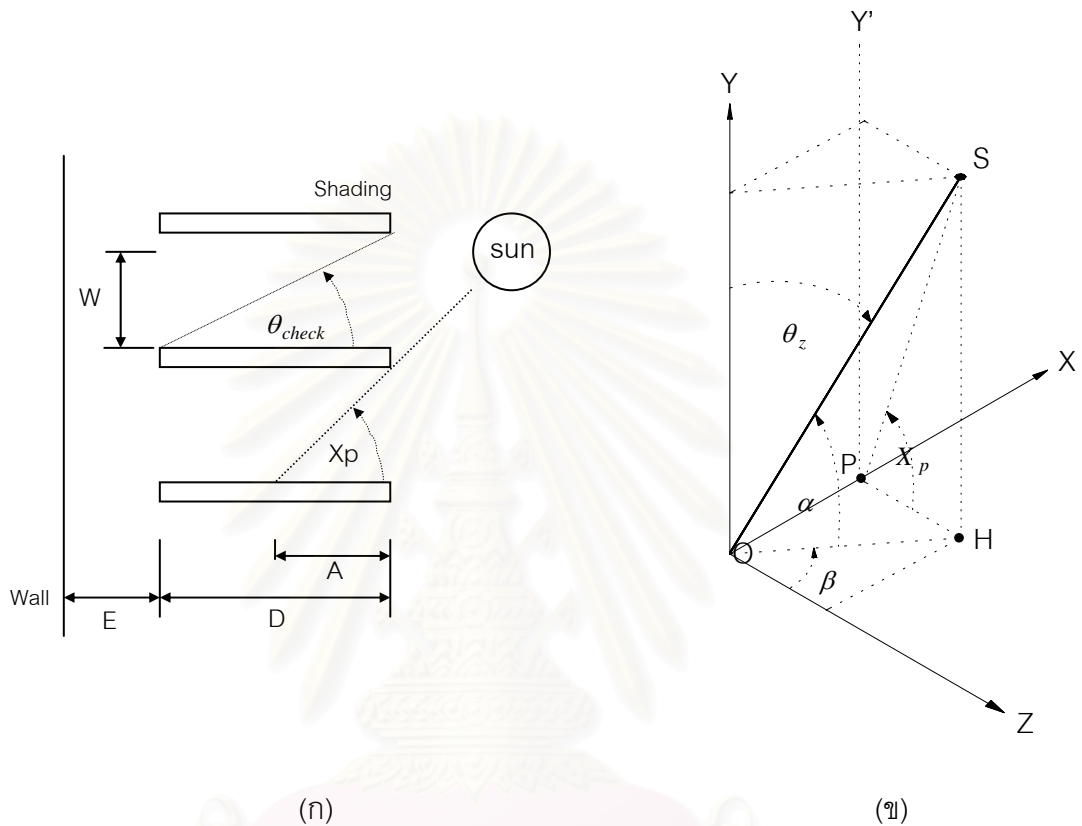
รูปที่ 3.1.9.2.1 แสดงตำแหน่งของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นในรูป 2 มิติ

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ผิวของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้น จะถูกกำหนดให้มีอุณหภูมิผิวที่เวลาใดๆ แตกต่างกัน 6 ค่า คือ

1. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดชั้นบนที่ได้รับแสงแดด ($T_{top,upper}$)
2. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดชั้นบนด้านใต้ที่ได้รับแสงแดด ($T_{top,lower}$)
3. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดที่ได้รับแสงแดดยกเว้นชั้นบน ($T_{solar,upper}$)
4. อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดด้านใต้ที่ได้รับแสงแดดยกเว้นชั้นบน ($T_{solar,lower}$)
5. อุณหภูมิผิวด้านบนที่ไม่โดนแดด และไม่มีการถ่ายเทความร้อนจากส่วนที่โดนแดด ($T_{non,upper}$)
6. อุณหภูมิผิวด้านล่างที่ไม่โดนแดด และไม่มีการถ่ายเทความร้อนจากส่วนที่โดนแดด ($T_{non,lower}$)

ตำแหน่งอุณหภูมิผิวที่เกิดขึ้นทั้ง 6 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับเวลาดังนั้นทุกๆ เวลาที่ทำการคำนวณ จำเป็นต้องคำนวณหาค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด เมื่อพิจารณาว่าอุปกรณ์บังแดดแนวนอนมีความยาวมาก สามารถลดรูปเหลือ 2 มิติได้ ขั้นตอนการคำนวณจะแสดงดังนี้

1. ตรวจสอบทิศทางของดวงอาทิตย์ว่าโดนอุปกรณ์บังแดดหรือไม่ โดยตรวจสอบได้จากทิศของเปลือกอาคาร และเวลานั้นๆ ถ้ามีแสงตกกระทบสู่เปลือกอาคาร แสดงว่า แสงก็จะตกกระทบลงสู่อุปกรณ์บังแดดเช่นกัน
2. หาค่าระยะของอุปกรณ์ชั้นที่ 2 ถึง ชั้นที่ n ที่โดนแดด (A) ดังรูป 3.1.9.2.2 (ก)



รูปที่ 3.1.9.2.2 (ก)ระยะต่างๆของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่เกิดขึ้น
(ข)มุมต่างๆที่เกิดขึ้นของลำแสงจากดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 3.1.9.2.2 สามารถหามุม X_p ได้ดังนี้

$$\tan X_p = \frac{SH}{PH}$$

จาก

$$\tan \alpha = \frac{SH}{OH} \quad \text{และ} \quad \cos \beta = \frac{PH}{OH}$$

ดังนั้น

$$\tan Xp = \frac{OH \tan \alpha}{OH \cos \beta} = \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} = \frac{1}{\tan \theta_z \cos \beta}$$

และจาก

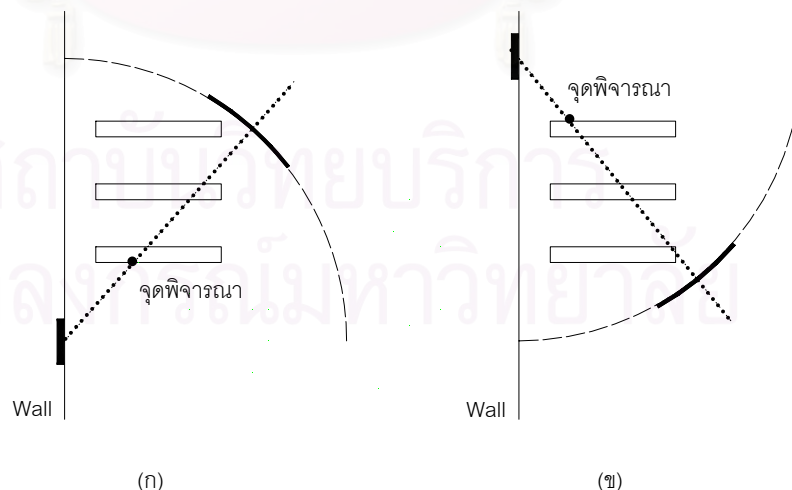
$$\tan Xp = \frac{W}{A}$$

∴ ระยะของอุปกรณ์ชั้นที่ 2 ถึง n ที่โดนแดดจะเท่ากับ $A = \frac{W}{\tan Xp}$ โดยที่ $A \leq D$

3. จากข้อมูลการหาค่าตัวประกอบมุมมองระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และพื้นดิน จะถูกนำมาใช้โดยนำ พิกัดของช่องตารางที่ติดกับอุปกรณ์บังแดดมาทำการตรวจสอบว่าพิกัดนั้นได้อยู่ในส่วนของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 6 ส่วน แต่เนื่องจากบางช่องตารางระหว่างเปลือกอาคารกับผิวครึ่งทรงกลมมีจุดตัดเกิดขึ้นกับอุปกรณ์บังแดดมากกว่า 1 อัน ดังรูปที่ 3.1.9.2.3 จะทำการตรวจสอบโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1 พิกัดของครึ่งทรงกลมครึ่งล่าง ถ้ามีการตัดกันมากกว่า 1 จุด จะถือว่าอุปกรณ์บังแดดชั้นสูงสุดที่โดนตัดเป็นจุดแรกเป็นจุดพิจารณา

3.2 พิกัดผิวครึ่งทรงกลมครึ่งบน ถ้ามีการตัดกันมากกว่า 1 จุด จะถือว่าอุปกรณ์บังแดดชั้นล่างสุดที่โดนตัดเป็นจุดสุดท้ายเป็นจุดพิจารณา



รูปที่ 3.1.9.2.3 (ก) จุดตัดที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์บังแดดระหว่างผนังอาคารกับช่องตารางบนผิวโลก ส่วนบน (ข) จุดตัดที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์บังแดดระหว่างผนังอาคารกับช่องตารางบนผิวโลกส่วนล่าง

4. สามารถคำนวณหา $f_{top,upper}$, $f_{top,lower}$, $f_{solar,upper}$, $f_{solar,lower}$, $f_{non,upper}$ และ $f_{non,lower}$ ได้ โดยที่

$$F_{r-s} + F_{r-g} + f_{top,upper} + f_{top,lower} + f_{solar,upper} + f_{solar,lower} + f_{non,upper} + f_{non,lower} = 1$$

3.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

ความร้อนเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยการเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น แต่กลไกการที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกัน รายละเอียดดังนี้

3.2.1 การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อน ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง

สมการการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน คือ

$$Q_x = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) \text{-----(28)}$$

โดยที่ k คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของสาร ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านมีหน่วยเป็น W/m.K , A เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อน และ dT/dx เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

3.2.2 การพาความร้อน (Convection)

การพา คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือ พาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของของไหล การพาความร้อนยังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) และการพาตามธรรมชาติ (Natural or Free Convection)

การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือ เครื่องสูบน้ำ

การพาตามธรรมชาติ (Natural or Free Convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้ว มีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เป็นต้นว่า คุณสมบัติต่างๆของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ฯลฯ ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็ง และของไหล เป็นต้น นิวตัน(Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาดังนี้ คือ

$$Q = hA(T_h - T_c) \text{-----}(29)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient) ซึ่งได้รวมเอาความยุ่งยากทั้งหมดไว้ ถ้าสามารถรู้วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนได้ จะทำให้คำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้ สมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นสมการชนิดเอมไพริคัล (Empirical Equation)

h มีหน่วยเป็น W/m^2K คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับของไหล T_h คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหล หรือ พื้นผิวของของแข็ง) T_c คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหล หรือ พื้นผิวของของแข็ง)

3.2.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในการแผ่รังสี ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยมีต้องอาศัยตัวกลางดังเช่นการนำและการพา ความร้อน ส่วนการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ โดยปี ค.ศ.1884 สตีเฟน และ โบลซ์แมน (Stefan and Boltzmann) ได้เสนอสมการในการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนสูงสุดโดยการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีพื้นที่ A และ อุณหภูมิดังนี้

$$Q = \sigma AT^4 \text{ -----(30)}$$

โดยที่ σ คือ ค่าคงที่ของสตีเฟน และ โบลซ์แมน (Stefan and Boltzmann Constant) ซึ่งมีค่า $5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$

วัตถุที่จะให้ค่าการแผ่รังสีความร้อนสูงสุดตามสมการ เรียกว่า วัตถุอุดมคติ (Ideal Body) หรือ วัตถุดำ (Blackbody) วัตถุโดยทั่วไปจะแผ่รังสีได้น้อยกว่าวัตถุอุดมคติ การแผ่รังสีความร้อนโดยทั่วไปที่มีอุณหภูมิ T และพื้นที่ A จะเขียนได้ดังนี้

$$Q = \epsilon \sigma AT^4 \text{ -----(31)}$$

โดยที่ ϵ คือ คุณสมบัติทางการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุซึ่งเรียกว่า ค่าการแผ่รังสี (Emissivity) ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงถึงประสิทธิภาพการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุที่สามารถแผ่รังสีความร้อนได้สูงสุด ϵ จะมีค่าน้อยกว่าเสมอ

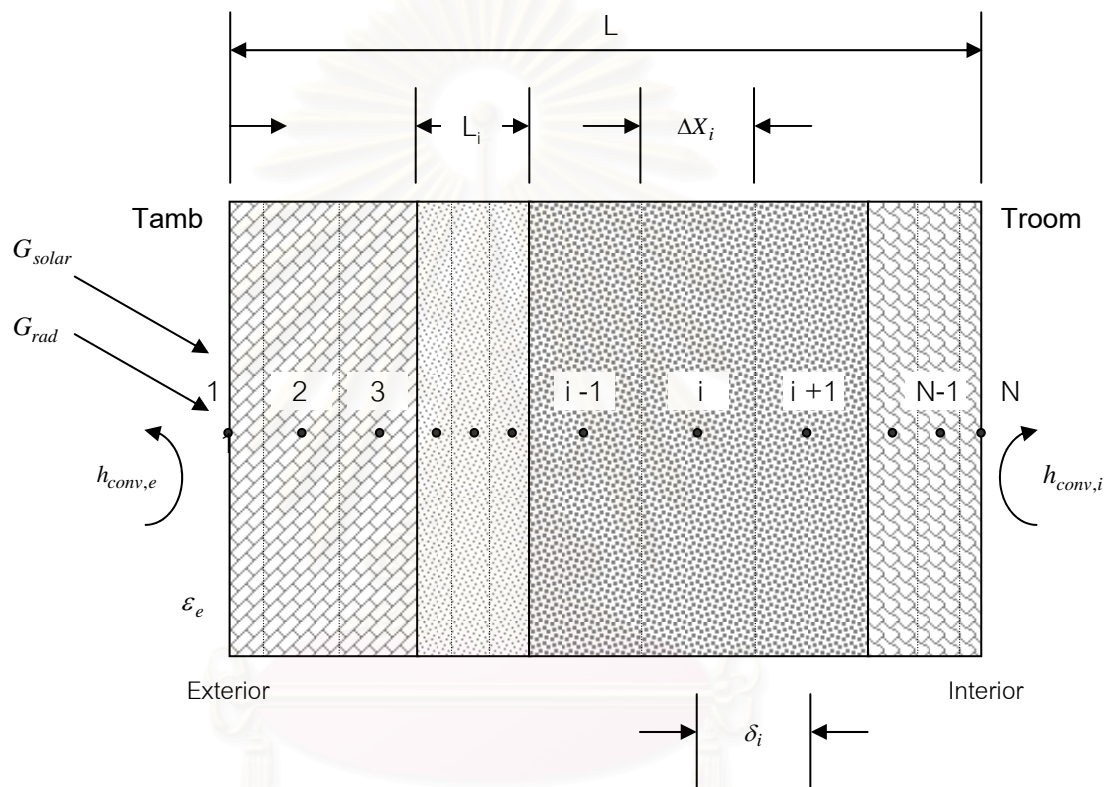
เมื่อพิจารณาการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุเล็กที่มีพื้นที่ผิว A และค่าการแผ่รังสีความร้อน ϵ กับวัตถุใหญ่ซึ่งครอบคลุมวัตถุเล็กอยู่ โดยที่วัตถุเล็กมีอุณหภูมิ T_h และวัตถุใหญ่มีอุณหภูมิ T_c เราจะเขียนอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิของวัตถุทั้งสองได้ดังนี้

$$Q = \epsilon \sigma A(T_h^4 - T_c^4) \text{ -----(32)}$$

3.3 สมดุลความร้อน (Energy Balance)

การคำนวณสมดุลความร้อนจะพิจารณาทั้งส่วนที่เป็นผนังอาคารและส่วนที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน สมการที่จะนำมาใช้ในสมดุลความร้อนนั้นจึงแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

3.3.1 สมดุลความร้อนของผนังอาคาร



รูปที่ 3.3.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกิดขึ้นกับผนังอาคาร

สมการกัฟเวอริ่ง (Governing Equation) ที่ใช้ในการพัฒนาภาวะทางความร้อนที่ผ่านผนังโดยวิธีการนำความร้อนแบบ 1 มิติในสภาวะไม่คงที่ (One-Dimensional Transient Heat Conduction Equation) คือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T_w(x, t)}{\partial x} \right) + \dot{q}(x, t) = \rho C_p \frac{\partial T_w(x, t)}{\partial t} \text{-----(33)}$$

สำหรับเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ที่ผนังภายนอกอาคาร (x=0) คือ

$$h_{conv,e}[T_{amb} - T_w(0,t)] + G_{rad} + \alpha_s G_{solar} = -K \frac{\partial T_w}{\partial x} \Big|_{x=0} \text{-----}(34)$$

หรือ

$$h_{conv,e}[T_{amb} - T_w(0,t)] + \varepsilon_e \sigma F_{w-s} (T_{sky}^4 - T_w^4(0,t)) + \varepsilon_e \sigma F_{w-shade} (T_{shade}^4 - T_w^4(0,t)) + \alpha_s G_{solar} = -K \frac{\partial T_w}{\partial x} \Big|_{x=0} \text{---}(35)$$

ขณะที่ $T_w(0,t)$ เป็นอุณหภูมิของผนังภายนอกอาคารที่เวลาใดๆ

สำหรับเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ที่ผนังภายในอาคาร ($x=L$) คือ

$$h_{conv,i}[T_w(L,t) - T_{room}] + q_{net,z} = -K \frac{\partial T_w}{\partial x} \Big|_{x=L} \text{-----}(36)$$

ขณะที่ $T_w(L,t)$ เป็นอุณหภูมิของผนังภายในอาคารที่เวลาใดๆ

สำหรับเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) คือ $T_w(x,0) = T_0(x)$

สมดุลพลังงานสำหรับผนังภายนอกอาคาร (Node 1) สามารถหาได้จาก สมการกัฟเวิร์นนิ่งที่ (33) กับ สมการที่ (34) ได้ดังนี้

$$h_{conv,e}[T_{amb} - T_1] + \varepsilon_e \sigma F_{w-s} [T_{sky}^4 - T_1^4] + \varepsilon_e \sigma F_{w-shade} [T_{shade}^4 - T_1^4] + \alpha_s G_{solar} + \frac{K_1}{\delta_1} [T_2 - T_1] + \dot{q}_1 \Delta x_1 = \rho_1 C_{p1} \Delta x_1 \frac{T_1 - T_1^t}{\Delta t} \text{-----}(37)$$

สำหรับผนังภายนอกอาคาร ที่ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ของจุดที่ 1 กำหนดให้ไม่มีสนามความร้อน (Heat Flux) เกิดขึ้นภายในวัสดุ ดังนั้นสมการจึงสามารถลดรูปได้เป็น

$$h_{conv,e}[T_{amb} - T_1] + \varepsilon_e \sigma F_{w-s} [T_{sky}^4 - T_1^4] + \varepsilon_e \sigma F_{w-shade} [T_{shade}^4 - T_1^4] + \alpha_s G_{solar} + \frac{K_1}{\delta_1} [T_2 - T_1] = \rho_1 C_{p1} \Delta x_1 \frac{T_1 - T_1^t}{\Delta t} \text{-----}(38)$$

สมดุลพลังงานสำหรับผนังภายในอาคาร (Node N) คือ

$$\frac{K_{N-1}}{\delta_{N-1}}(T_{N-1} - T_N) + h_{conv,i}(T_{room} - T_N) + q_{net,N} + \dot{q}_N \Delta x_N = \rho_N C_{p,N} \Delta x_N \frac{T_N - T_N^t}{\Delta t} \text{-----(39)}$$

สำหรับผนังภายในอาคาร ที่ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ของจุดที่ N กำหนดให้ไม่มีสนามความร้อน (Heat Flux) เกิดขึ้นภายในวัสดุ ดังนั้นสมการจึงสามารถลดรูปได้เป็น

$$\frac{K_{N-1}}{\delta_{N-1}}(T_{N-1} - T_N) + h_{conv,i}(T_{room} - T_N) = \rho_N C_{p,N} \Delta x_N \frac{T_N - T_N^t}{\Delta t} \text{-----(40)}$$

สมดุลพลังงานสำหรับขอบเขตใดๆ (Node i) คือ

$$\frac{K_{i-1}}{\delta_{i-1}}(T_{i-1} - T_i) + \frac{K_i}{\delta_i}(T_{i+1} - T_i) + \dot{q}_i \Delta x_i = \rho_i C_{p,i} \Delta x_i \frac{T_i - T_i^t}{\Delta t} \text{-----(41)}$$

ในขอบเขตใดๆ จะพิจารณาว่าไม่มีสนามความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุที่ทำผนังอาคาร ดังนั้น สมการจึงสามารถลดรูปได้เป็น

$$\frac{K_{i-1}}{\delta_{i-1}}(T_{i-1} - T_i) + \frac{K_i}{\delta_i}(T_{i+1} - T_i) = \rho_i C_{p,i} \Delta x_i \frac{T_i - T_i^t}{\Delta t} \text{-----(42)}$$

โดยที่ K_i เป็น การนำความร้อนเฉลี่ยแบบฮาร์โมนิก (Harmonic Mean Thermal Conductivity) ได้มาจากการรวมกันของค่าการนำความร้อนของวัสดุ 2 ชนิดที่ต่างกัน สามารถหาค่า K_i ได้ดังนี้

$$K_i = \delta_i \left(\frac{\Delta x_i}{2k_i} + \frac{\Delta x_{i+1}}{2k_{i+1}} \right)^{-1} \text{-----(43)}$$

ขั้นตอนการหาค่าอุณหภูมิผิวในแต่ละชั้นของผนังอาคารจะใช้วิธีการแก้สมการเชิงเส้น ในรูปของเมตริกขนาด NxN อ้างอิงจาก ไพร์ซ และ สมิท (Price and Smith,1994) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} a_1 & b_1 & 0 & - & & & \\ a_2 & b_2 & c_2 & 0 & - & & \\ & & - & & & & \\ - & 0 & a_i & b_i & c_i & 0 & - \\ & & & - & & & \\ & & & - & 0 & a_N & b_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ - \\ T_i \\ - \\ T_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ - \\ d_i \\ - \\ d_N \end{bmatrix} \text{-----(44)}$$

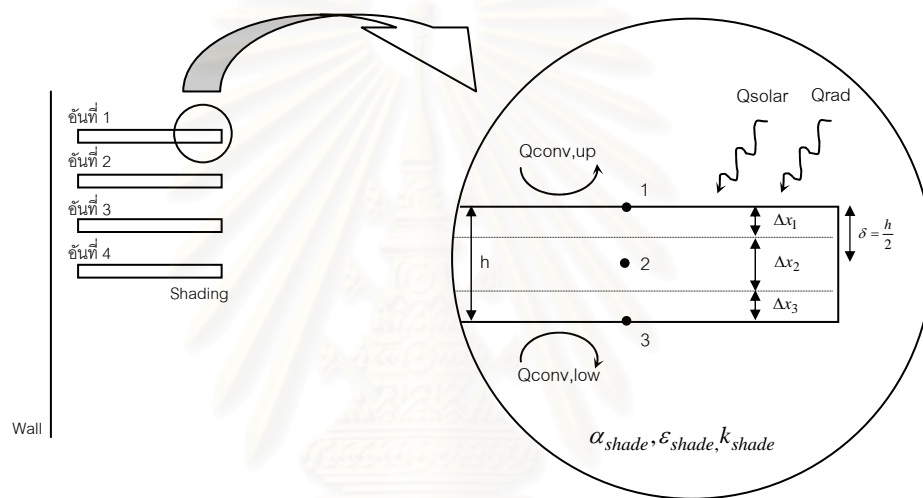
ค่าสัมประสิทธิ์ในเมตริกสามารถหาได้จากสมการที่ (38) (40) และ (42) ดังนี้

$$\text{node 1 : } a_1 T_1 + b_1 T_2 = d_1 \quad \text{-----(45)}$$

$$\text{node N : } a_N T_{N-1} + b_N T_N = d_N \quad \text{-----(46)}$$

$$\text{node i : } a_i T_{i-1} + b_i T_i + c_i T_{i+1} = d_i \quad \text{-----(47)}$$

3.3.1.2 สมดุลความร้อนของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้น



รูปที่ 3.3.2.1 ค่าความร้อนต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์บังแดด

การนำความร้อนผ่านอุปกรณ์บังแดดจะถือว่ามี การนำความร้อนแบบ 1 มิติ ในสภาวะไม่คงที่ สมการกัฟเวอร์นิ่งที่ใช้ในการคำนวณมี 3 สมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{node 1 : } h_{conv,up}(T_{amb} - T_1) + \alpha_{shade} G_{solar} + \epsilon_{shade} F_{shade-sky} \sigma (T_{sky}^4 - T_1^4) + \frac{k_{shade}}{\delta} (T_2 - T_1) \\ = \rho_{shade} C_{p,shade} \Delta x_1 \frac{(T_1 - T_1^o)}{\Delta t} \quad \text{-----(48)} \end{aligned}$$

$$\text{node 2 : } \frac{k_{shade}}{\delta} (T_1 - T_2) + \frac{k_{shade}}{\delta} (T_3 - T_2) = \rho_{shade} C_{p,shade} \Delta x_2 \frac{(T_2 - T_2^o)}{\Delta t} \quad \text{-----(49)}$$

$$\text{node 3 : } h_{conv,low}(T_{amb} - T_3) + \frac{k_{shade}}{\delta} (T_2 - T_3) = \rho_{shade} C_{p,shade} \Delta x_3 \frac{(T_3 - T_3^o)}{\Delta t} \quad \text{-----(50)}$$

3.3.4 สมการการพาความร้อน

จากการทดลองของวอลตัน (Walton, 1981) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน เกิดจากผลรวมของ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ (Natural Convection) และ การพาความร้อนโดยบังคับ (Forced Convection) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนทั้งหมด คือ

$$h_{conv} = h_{free} + h_{forced} \quad \text{-----(51)}$$

สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยธรรมชาติ สามารถหาได้จากสมการ

$$h_{free} = 9.482 \frac{\sqrt[3]{|T_{solid} - T_a|}}{7.238 - |\cos \phi|} \quad \text{เมื่อความร้อนมีทิศทางไหลขึ้น} \quad \text{-----(52)}$$

และ

$$h_{free} = 1.810 \frac{\sqrt[3]{|T_{solid} - T_a|}}{1.382 + |\cos \phi|} \quad \text{เมื่อความร้อนมีทิศทางไหลลง} \quad \text{-----(53)}$$

โดยที่ ϕ เป็นพื้นผิวเอียงจากแนวราบ

สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยบังคับ อ้างอิงจากสปาร์โร (Sparrow et al., 1979) สามารถหาได้จากสมการ

$$h_{forced} = 2.537 W_f R_f \sqrt{\frac{PV}{A}} \quad \text{-----(54)}$$

โดยที่

- W_f ค่าปรับแก้ทิศทางลม
- R_f ค่าตัวคูณความหยาบผิว
- P เส้นรอบรูปพื้นผิว
- V ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
- A พื้นที่ของพื้นผิว

ค่าปรับแก้ทิศทางลม จะมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับพื้นผิวทดสอบอยู่ใต้ลม และ 1 สำหรับพื้นผิวทดสอบอยู่เหนือลม และ ตัวคูณความหยาบผิว อ้างอิงจาก ASHRAE (1981) สามารถแสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 3.3.4.1 แสดงค่าตัวคูณปรับแก้ความหยาบที่ผิว (ASHRAE, 1981)

| ค่าปรับแก้ความหยาบผิว (Roughness Index) | R_f | ตัวอย่างวัสดุ |
|--|-------|----------------|
| 1 | 2.17 | Stucco |
| 2 | 1.67 | Brick |
| 3 | 1.52 | Concrete |
| 4 | 1.13 | Clear Pine |
| 5 | 1.11 | Smooth Plaster |
| 6 | 1.00 | Glass |

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนบนผนังแนวตั้งจาก DOE2.1E ได้ทำการทดลองเพื่อใช้กับผนังแนวตั้งจากโดยขึ้นอยู่กับ ตัวแปรของความเร็วลม และ ค่าความหยาบผิว ซึ่งอ้างอิงได้จาก ASHRAE (ASHRAE, 1997) ดังนี้

$$h_{conv,DOE} = A + (B \times Wind) + (C \times Wind^2) \text{ -----(55)}$$

โดยที่ Wind มีหน่วยเป็น km/hr

สำหรับค่าคงที่ A B และ C ขึ้นอยู่กับความหยาบของผนังโดยเปรียบเทียบได้ตามตาราง
ดังนี้

ตารางที่ 3.3.4.2 ค่าคงที่สำหรับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนผ่านผนังอาคารที่ผิวชนิดต่างๆกัน
อ้างอิงจากโปรแกรม DOE2.1E

| ตัวอย่างวัสดุ | A | B | C |
|----------------|--------|-------|----------|
| Stucco | 11.583 | 1.899 | 0 |
| Brick | 12.491 | 1.309 | 0.00295 |
| Concrete | 10.788 | 1.349 | 0 |
| Clear Pine | 10.504 | 1.288 | -0.00590 |
| Smooth Plaster | 10.220 | 0.997 | 0 |
| Glass | 8.233 | 1.072 | -0.00368 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยนี้ จะทำการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านเปลือกอาคารในกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน กับ เปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และเพื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร ที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่แท้จริง

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาขึ้นมาจาก ภาษาวิชวล เบสิก 6 (Visual Basic 6) ซึ่งเป็นภาษาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องระดับไมโครคอมพิวเตอร์ ข้อมูลบางส่วนที่ได้รับการประมวลผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ยังสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม ไมโครซอฟท์ เอกเซล 97 (Microsoft Excel 97) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ขั้นตอนการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2 ขั้นตอนการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์

ผลลัพธ์ที่ต้องการของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ คือ ค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมบนเปลือกอาคาร ทั้งกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด โดยมีอุปกรณ์บังแดดเป็นตัวแปรเปรียบเทียบ

การคำนวณหาค่าต่างๆจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำนั้น โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นจะถูกเปรียบเทียบกับโปรแกรม DOE ระหว่างผลของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร และ อุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบถึงความถูกต้องของสมการต่างๆในโปรแกรม

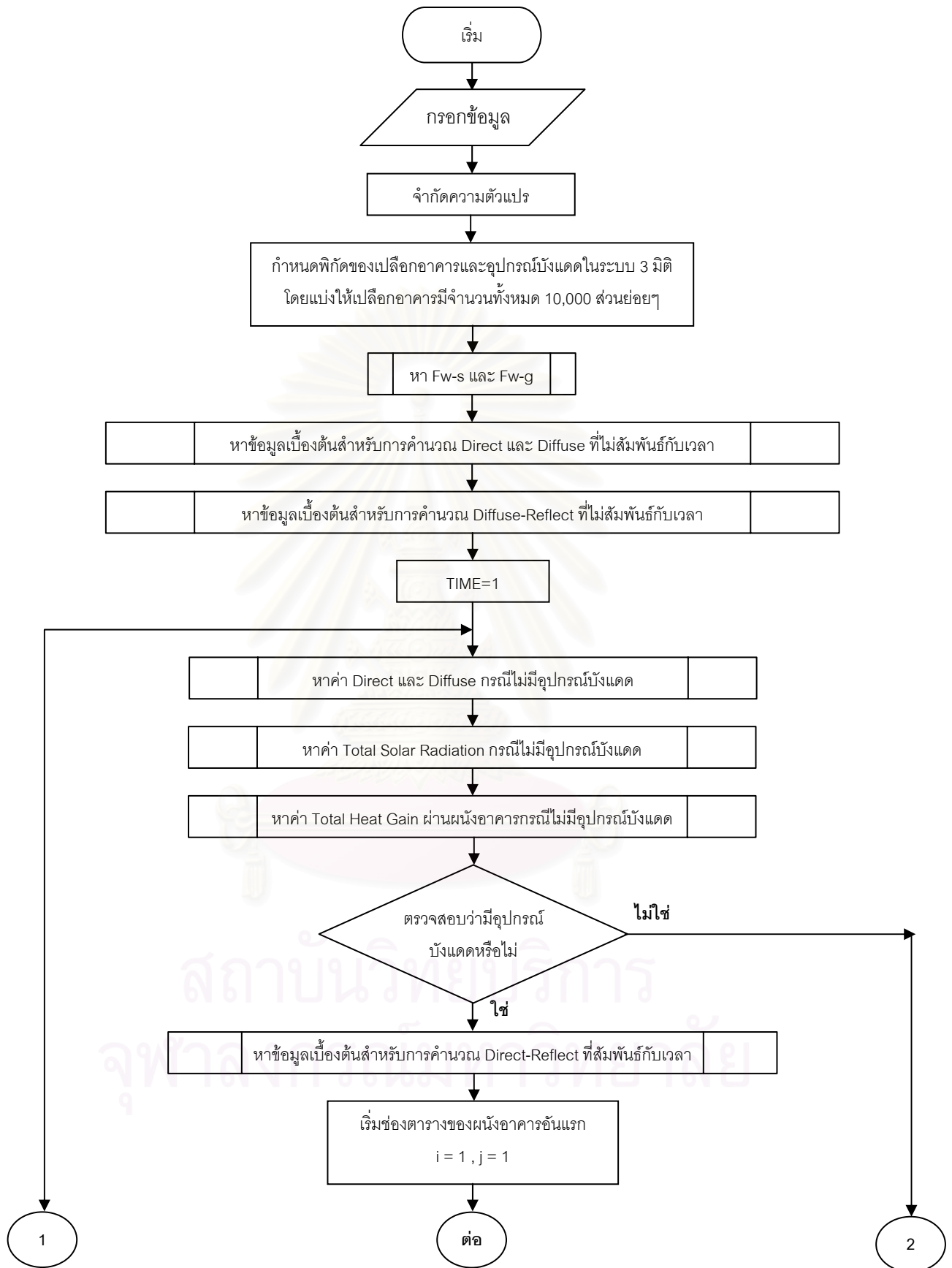
ปัญหาที่สำคัญของการคำนวณ คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจริง นั้น มีความแตกต่างจากสมการที่ใช้ในการคำนวณ อันเนื่องมาจากตัวแปรที่เกิดขึ้นของแต่ละอัน เช่น สภาพภูมิอากาศในแต่ละอันที่ไม่สามารถประเมินได้ ดังนั้นค่าการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นี้จะใช้สภาพอากาศแบบท้องฟ้าแจ่มใส เป็นสภาพอากาศในการคำนวณเบื้องต้น เพื่อที่จะได้ค่าสูงสุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

ขั้นตอนการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ จะแบ่งเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ 5 ส่วน คือ

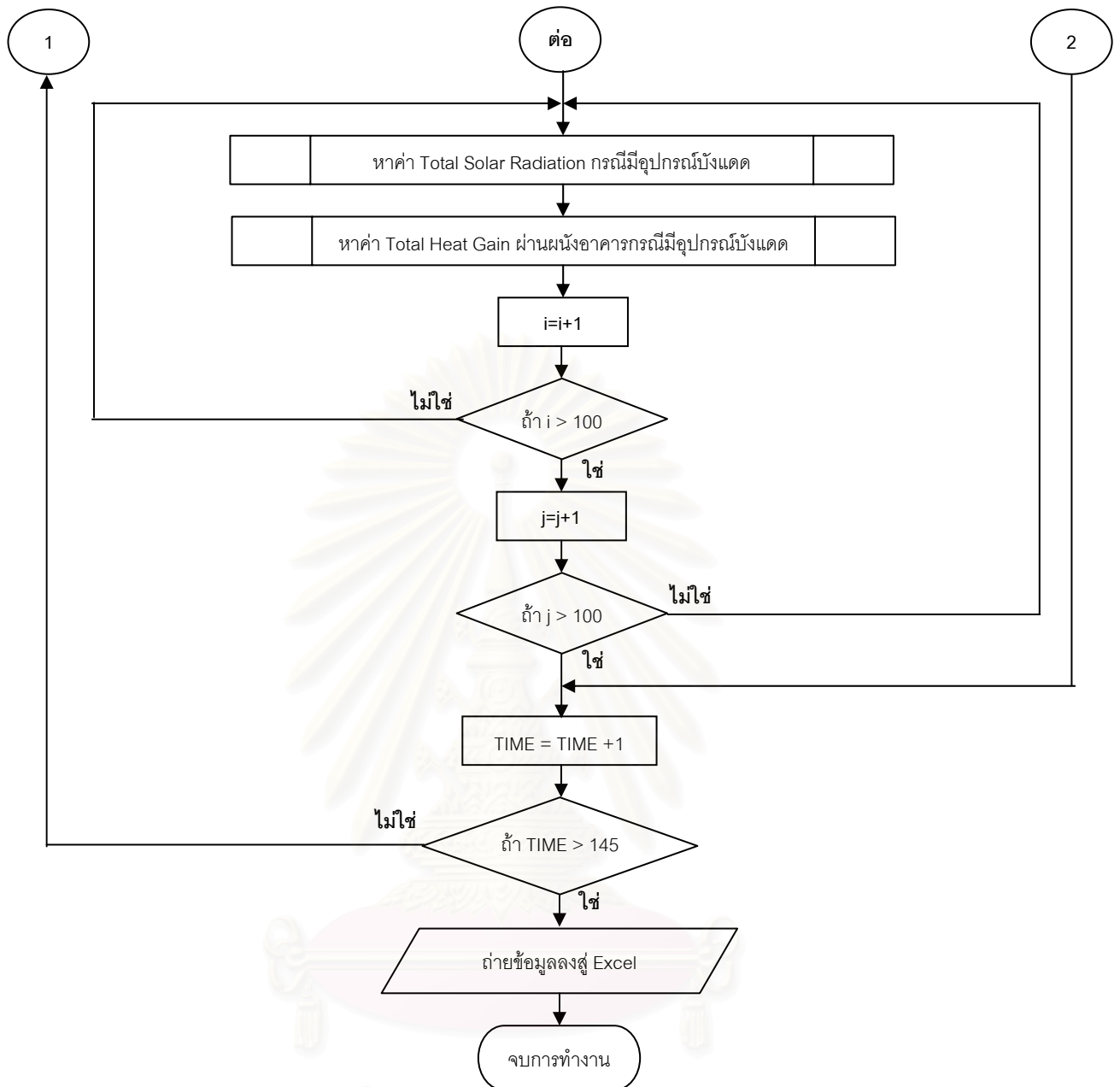
1. สร้างมิติเสมือนของอุปกรณ์บังแดดและผนังอาคาร
2. คำนวณหาค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ทั้งกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด
3. คำนวณหาปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่เข้าสู่อาคารโดยผ่านเปลือกอาคาร ด้วยสมการสมดุลความร้อน
4. สร้างกราฟเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลของการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และค่าผลจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยอ้อม เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด
5. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3 การแสดงรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยผังการไหล

รายละเอียดการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร และค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ทั้งกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ด้วยผังการไหล โดยในรายละเอียดการคำนวณของแต่ละขั้นตอน สามารถดูได้ในบทที่ 3 ผังการไหลนั้นจะแสดงเพียงรายละเอียดการทำงานหลักของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนี้



รูปที่ 4.3.1 แสดงผังการไหลการทำงานหลักของโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.3.1(ต่อ) แสดงผังการไหลการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

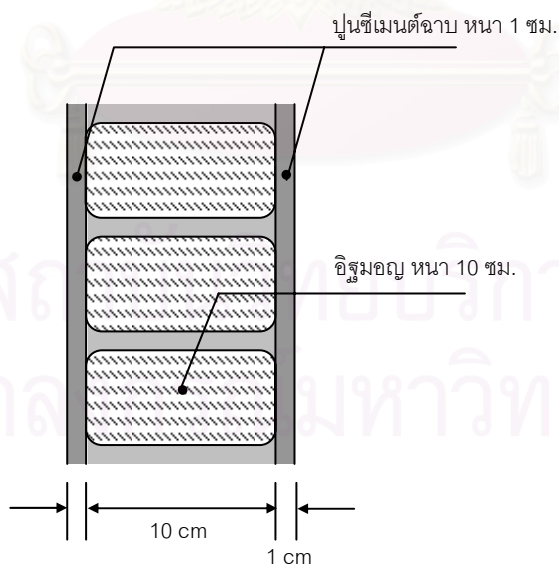
4.4 ข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการทดสอบ

4.4.1 ลักษณะอาคาร

อาคารจะถูกพิจารณาที่เปลือกอาคารด้านหนึ่งด้านใด โดยรายละเอียดจะแสดงผลของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ของวันที่ 21 ธันวาคม และ กำหนดให้ เปลือกอาคารตัวอย่างมีขนาดความกว้างของเปลือกอาคาร เท่ากับ 4 เมตร ความสูงของเปลือกอาคารเท่ากับ 2.5 เมตร

4.4.2 เปลือกอาคาร

เปลือกอาคารจะแบ่งเป็นผนังอาคารและช่องเปิดของอาคารโดย ผนังอาคารตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุด ทำด้วยปูนซีเมนต์ฉาบทาสีขาว มีความหนา 1 เซนติเมตร ชั้นกลางทำด้วยอิฐมวลเบา ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร และชั้นในสุด ทำด้วยปูนซีเมนต์ฉาบมีความหนา 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.4.2.1 และช่องเปิด ขนาดความกว้างของช่องเปิด เท่ากับ 2.1 เมตร ช่องเปิดห่างจากขอบซ้ายมือ เท่ากับ 0.95 เมตร ขนาดความสูงของช่องเปิด เท่ากับ 1 เมตร ช่องเปิดสูงจากพื้นดิน เท่ากับ 1 เมตร



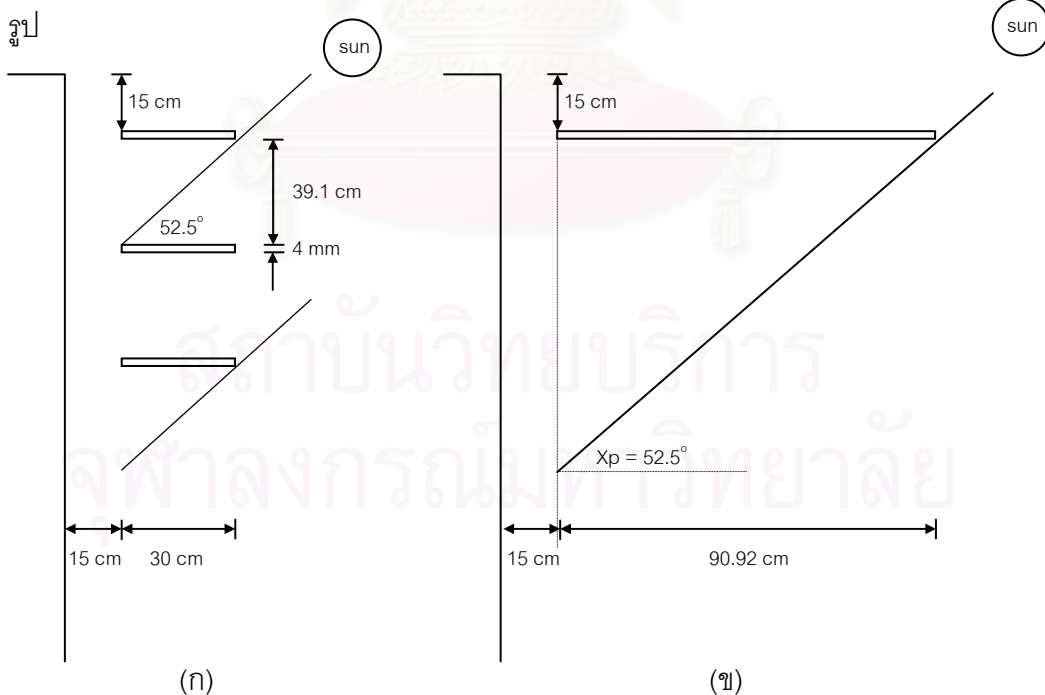
รูปที่ 4.4.2.1 แสดงโครงสร้างภายในของผนังอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ค่าคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ใช้ทำผนังอาคารอ้างอิงจาก Frank P. Incropera (1996) จะแสดงได้ดังนี้

| วัสดุ | ปูนซีเมนต์ฉาบ | อิฐมวลเบา |
|-------------------------------|---------------|-----------|
| $k (W/m \cdot K)$ | 0.72 | 0.72 |
| $C_p (J/kg \cdot K)$ | 780 | 835 |
| $\rho (kg/m^3)$ | 1860 | 1920 |
| ความหนา (ซม.) | 1 | 10 |
| ค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสี | 0.88 | - |
| ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี | 0.6 | - |
| ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี | 0.4 | - |

4.4.3 อุปกรณ์บังแดด

อุปกรณ์บังแดดที่ใช้ทดสอบทำด้วย แผ่นซีเมนต์ใยหิน ที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร ผิวสีเทาเข้ม เพื่อผลการเปล่งรังสีที่สูง โดยอุปกรณ์บังแดดทดสอบมี 2 แบบ ซึ่งมีคุณสมบัติการบังแสงแดดชนิดโดยตรงได้ระดับเดียวกันตามมุมที่กำหนด การกำหนดขนาดของอุปกรณ์บังแดดจะถูกกำหนดให้อุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นมีความกว้าง 30 เซนติเมตร จำนวน 3 ชั้น และความกว้างของอุปกรณ์บังแดดจะถูกกำหนดจากการเทียบเท่าของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนชั้นเดียวดัง



รูปที่ 4.4.3.1 แสดงระยะต่างๆของอุปกรณ์บังแดด (ก) อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น
(ข) อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น

ผนังอาคารด้านทิศใต้ ในวันที่ 21 ธันวาคม ของทุกปี ดวงอาทิตย์จะทำมุมโฟล์ (Xp) มากที่สุด คือ 52.5 องศา โดยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณทิศทางของดวงอาทิตย์จะใช้ที่จังหวัด กรุงเทพฯ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดต่อไป ดังนั้นระยะห่างของอุปกรณ์บังแดดที่ใช้ในการทดสอบจึงมีค่าเท่ากับ 39.1 เซนติเมตร การกำหนดให้ความยาวของอุปกรณ์บังแดดแนวอนหลายชั้น เท่ากับ 30 เซนติเมตร จำนวน 3 ชั้นนั้น เพื่อแสดงถึงการใช้วัสดุที่ใกล้เคียงกัน และคุณสมบัติการบังแดด ชนิดรังสีตรง ตั้งแต่มุม Xp เท่ากับ 0 – 52.5 องศา เท่ากัน

ระยะและคุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 2 ชนิด จะแสดงได้ดังนี้

| จำนวนชั้นของอุปกรณ์บังแดด | 3 ชั้น | 1 ชั้น |
|--|--------|--------|
| $k (W / m \cdot K)$ | 0.58 | 0.58 |
| $C_p (J / kg \cdot K)$ | 1000 | 1000 |
| $\rho (kg/m^3)$ | 1920 | 1920 |
| ค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสี | 0.93 | 0.93 |
| ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสี | 0.63 | 0.63 |
| ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสี | 0.37 | 0.37 |
| จำนวนชั้นอุปกรณ์บังแดด | 3 | 1 |
| ความยาวอุปกรณ์บังแดด (ซม.) | 30 | 90.92 |
| ความหนาอุปกรณ์บังแดด (ซม.) | 0.4 | 0.4 |
| ความกว้างอุปกรณ์บังแดด (ซม.) | 400 | 400 |
| ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดทั้งสอง (ซม.) | 39.1 | - |
| ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคารแกน Z (ซม.) | 15 | 15 |
| ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคารแกน X (ซม.) | 0 | 0 |
| ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเพดานอาคาร(ซม.) | 15 | 15 |

4.4.4 ข้อมูลทางกายภาพของสภาวะแวดล้อม

อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ความเร็วลม ในวันที่ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบ จะถูกกำหนดโดยใช้ค่าเฉลี่ยในรอบ 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 ถึง 2540 จากกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในภาคผนวก ฉ

สำหรับความเร็วลม และ อุณหภูมิภายใน จะถูกกำหนดให้มีความถี่ที่ตลอดช่วงเวลาทำการทดสอบ โดยกำหนดให้ ความเร็วลมที่ 0.25 เมตรต่อวินาที (0.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) และ อุณหภูมิภายในอาคารเท่ากับ 26 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงเวลาทำการทดสอบโปรแกรม

4.4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงรังสีจากท้องฟ้า และ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของพื้นดิน

ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงรังสีจากท้องฟ้า จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.5 ตลอดทั่วทั้งท้องฟ้า และ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของพื้นดิน จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 0.2 ตลอดทั่วพื้นดิน โดยพื้นดินมีลักษณะเป็นหญ้า อ้างอิงจากข้อมูลการทดลองของ หลิว และ จอร์แดน

4.4.6 ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบ

ตำแหน่งที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร โดยอ้างอิงข้อมูลจาก “1997 ASHARE HANDBOOK FUNDAMENTALS” มีรายละเอียดดังนี้

1. ตำแหน่งละติจูดท้องถื่น 13.92 องศาเหนือ
2. ตำแหน่งลองจิจูดท้องถื่น 100.6 องศาตะวันออก
3. ตำแหน่งลองจิจูดมาตรฐาน 105 องศาตะวันออก
4. ระดับความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเล 12 เมตร
5. ลักษณะภูมิอากาศแบบ เขตร้อนชื้น (Tropical Zone)

4.4.7 วันที่ใช้ในการคำนวณ

วันที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ทั้งหมด 5 วัน คือ

1. วันที่ 21 มี.ค. ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์เดินทางอ้อมด้านทิศเหนือมากที่สุด (Summer Solstice)
2. วันที่ 21 มิ.ย. ซึ่งเป็นวันที่มีช่วงเวลากลางวันและกลางคืนที่เท่ากันในฤดูใบไม้ผลิ หรือเรียกวันนี้ว่า วสันตวิษุวัต (Spring Equinox)
3. วันที่ 21 ก.ย. ซึ่งเป็นวันที่มีช่วงเวลากลางวันและกลางคืนที่เท่ากันในฤดูใบไม้ร่วง หรือเรียกวันนี้ว่า ศารทวิษุวัต (Fall Equinox)

4. วันที่ 21 ธ.ค. ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์เดินทางอ้อมด้านทิศใต้มากที่สุด (Winter Solstice)
5. วันที่ 27 เม.ย. ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับพื้นโลกมากที่สุดในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

สำหรับรายละเอียดในบทที่ 5 จะนำวันที่ 21 ธันวาคม เป็นวันที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม เพื่อแสดงรายละเอียดทั้งหมด ในวันอื่นจะแสดงผลลัพธ์ที่ตาราง 5.2.1.2 และในภาคผนวก ค ง และ จ



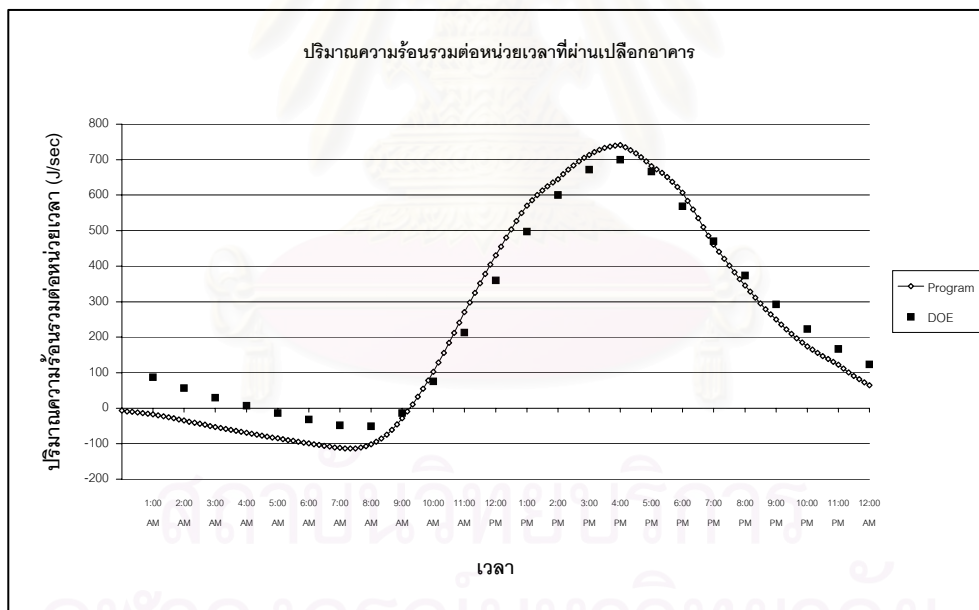
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

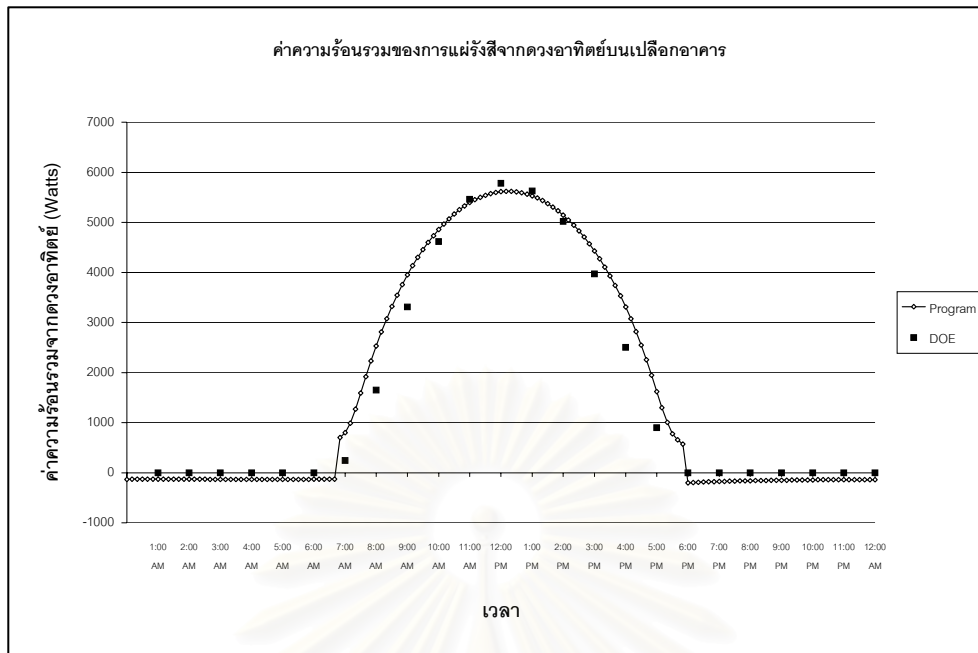
5.1 การเปรียบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์กับโปรแกรม DOE2.1E

โปรแกรม DOE เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1971 ปัจจุบันโปรแกรมนี้ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายในด้านพลังงานความร้อน การคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลา ค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และ อุณหภูมิผิวภายนอกของเปลือกอาคาร เมื่อมีการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนเปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่า ผลจากการคำนวณของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นนั้น สามารถนำมาใช้งานได้จริง

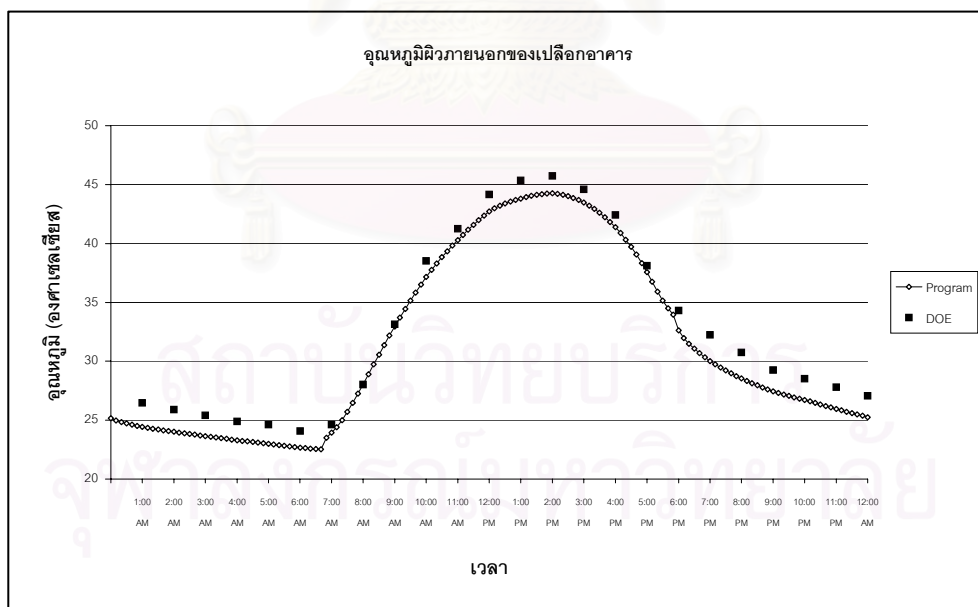


รูปที่ 5.1.1 การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อไม่มีการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE2.1E บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ วันที่

21 ธันวาคม



รูปที่ 5.1.2 การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.1.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม

จากรูปที่ 5.1.2 เป็นการเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร ด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม ค่าในแต่ละชั่วโมงแสดงในภาคผนวก ฅ ค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ สามารถพิจารณาเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ดวงอาทิตย์ขึ้น กับ ช่วงที่ดวงอาทิตย์ตก ในช่วงที่ดวงอาทิตย์ตกนั้น โปรแกรม DOE จะกำหนดให้ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารมีค่าเป็นศูนย์ แต่จากโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น เปลือกอาคารมีการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิผิวของเปลือกภายนอกอาคารของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นมีค่าต่ำกว่าโปรแกรม DOE ดังรูปที่ 5.1.3

ในช่วงเวลาเริ่มต้นของวันที่ 21 ธันวาคม ในรูปที่ 5.1.1 จะเห็นว่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่โปรแกรมมีค่าเท่ากับ 86.9 จูลต่อวินาที ที่เวลา 01:00 น. สาเหตุเกิดจากเงื่อนไขเริ่มต้นของอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารแต่ละชั้น ของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นถูกกำหนดจากอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร ในรูปเชิงเส้นตรง แต่สำหรับโปรแกรม DOE จะเกิดผลต่อเนื่องจากรวันก่อนๆ ซึ่งผลที่คำนวณเกิดจากการคำนวณตลอดทั้งปี

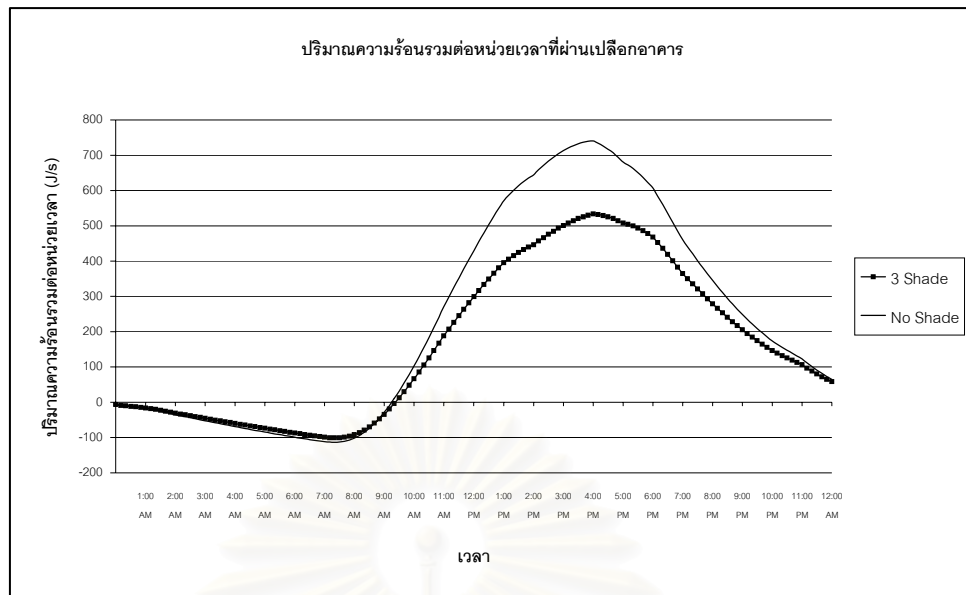
5.2 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดสอบที่จะกล่าวต่อไปนี้จะทำการพิจารณาวันที่ 21 ธันวาคม โดยเปลือกอาคาร ให้นำด้านทิศใต้ เพียงวันเดียว โดยรายละเอียดของวัสดุที่ใช้ทำเปลือกอาคาร อุปกรณ์บังแดด และ ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร ได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 4.4 ผลการวิเคราะห์พลังงานความร้อนต่างๆ และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคาร เมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนเปลือกอาคาร สามารถแบ่งได้ดังนี้

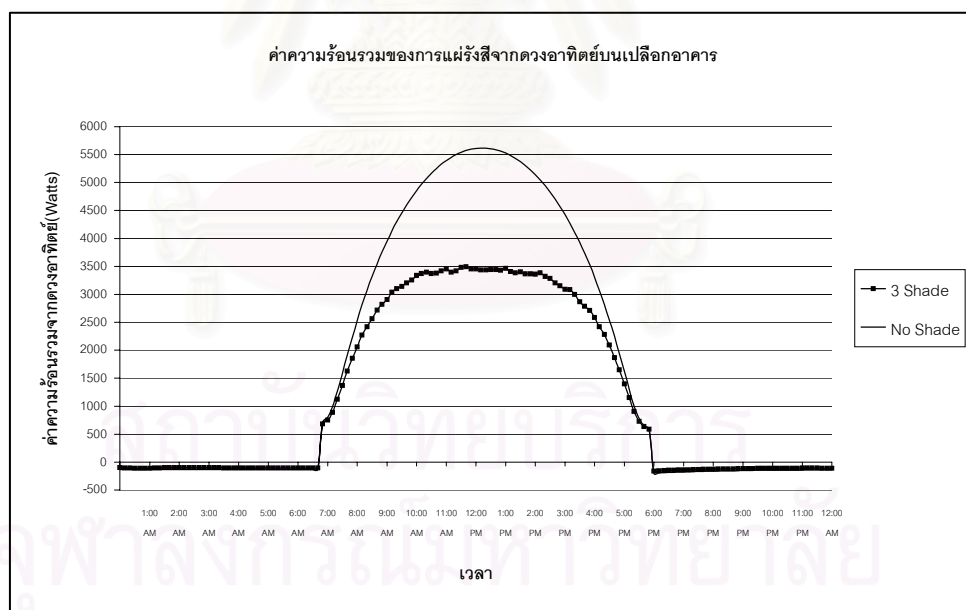
1. ผลการคำนวณค่าพลังงานความร้อนต่างๆ และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคาร ระหว่างเปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น
2. ผลการคำนวณค่าพลังงานความร้อนต่างๆ และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคาร ระหว่างเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดกับเปลือกอาคารที่ไม่มี ช่องเปิด
3. ผลการคำนวณค่าพลังงานความร้อนต่างๆ และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคาร ระหว่างอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น กับ อุปกรณ์บังแดด แนวนอน 3 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแดดจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกัน

5.2.1 ผลการคำนวณค่าพลังงานความร้อนต่างๆ และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารระหว่างเปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น

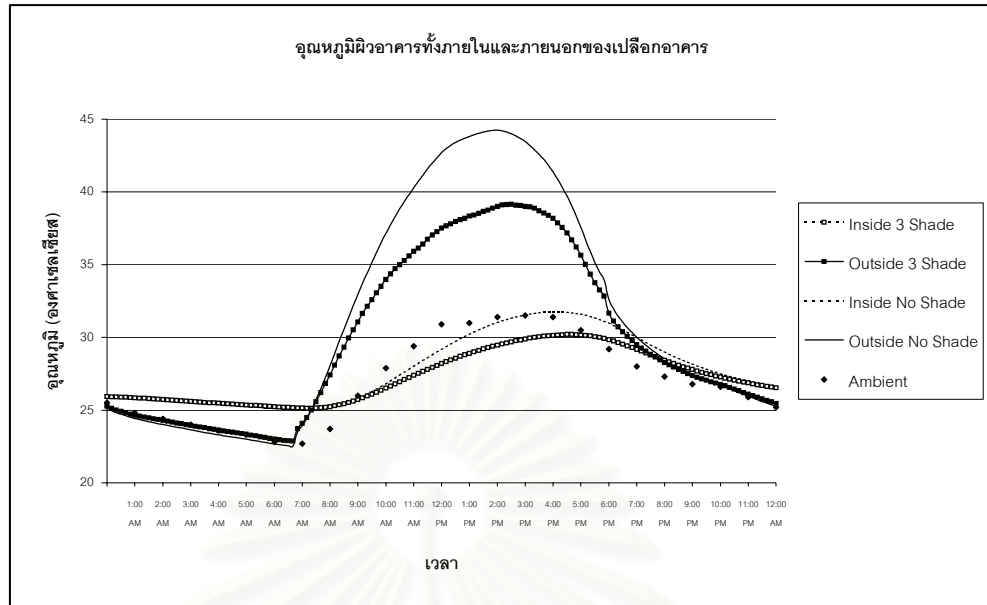
การเปรียบเทียบผลการคำนวณระหว่างค่าพลังงานความร้อนต่างๆ และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารที่ได้ระหว่างกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดจะแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.2.1.1 การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.1.2 การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม

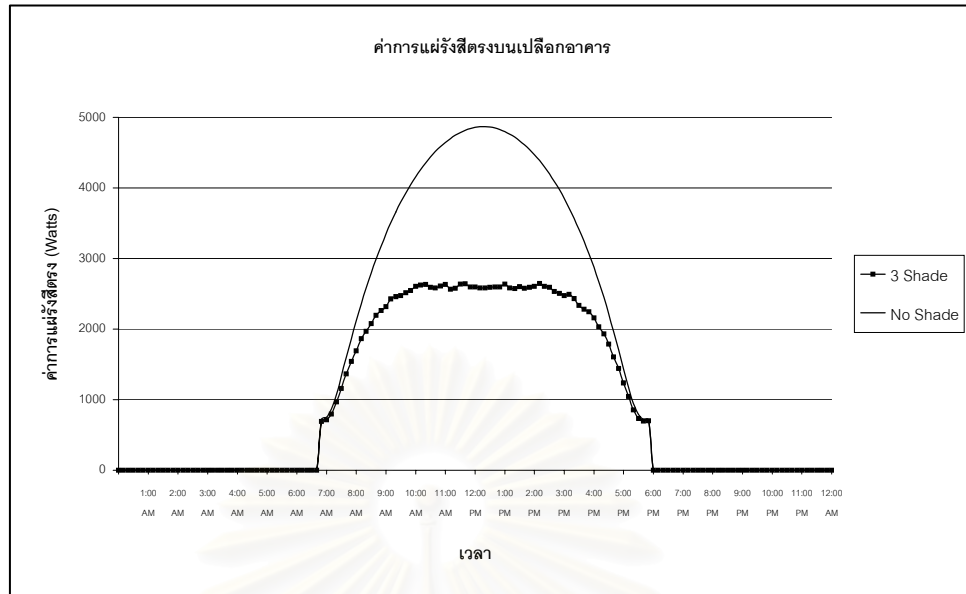


รูปที่ 5.2.1.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่

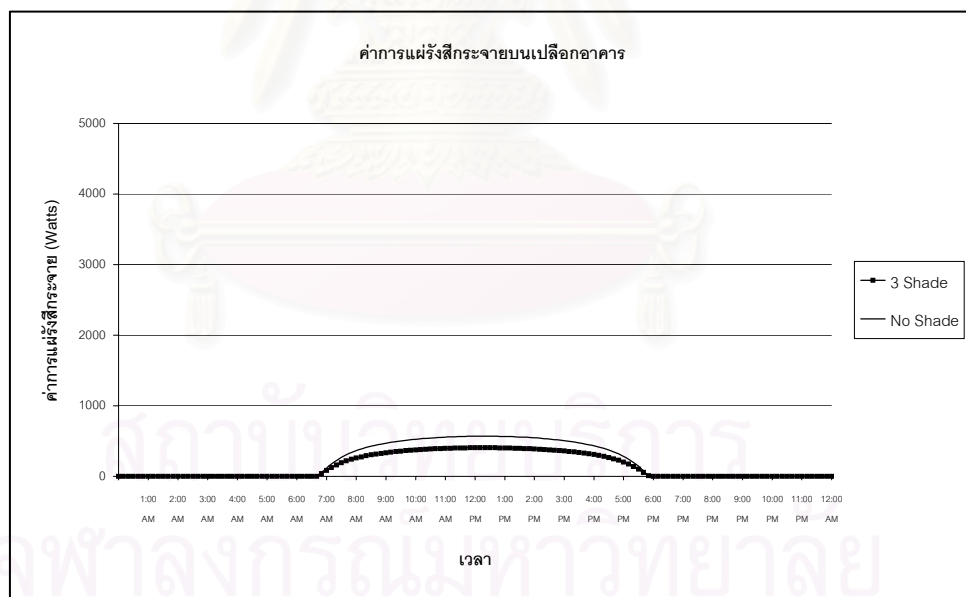
21 ธันวาคม

จากรูป 5.2.1.3 จะเห็นว่าอุณหภูมิผิวภายนอกเฉลี่ยสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิดที่เวลา 14:00น. ซึ่งไม่ได้เกิดที่ตำแหน่งที่มีค่าความร้อนรวมสูงสุดที่ตกบนเปลือกอาคาร เช่นเดียวกับกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดของผิวด้านในเปลือกอาคารจะเกิดที่เวลา 16:10น. เวลาที่เกิดหลังถึง 2 ชั่วโมง 10 นาที เกิดจากค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำผนังอาคารโดยถ้ายังมีค่ามากช่วงเวลาที่ผนังก็จะมากตามไปด้วย

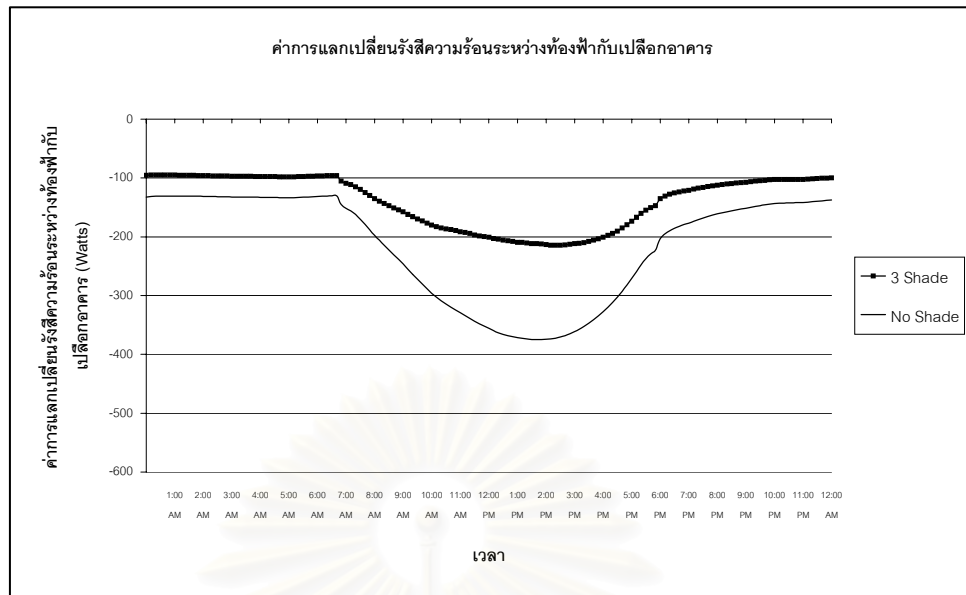
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



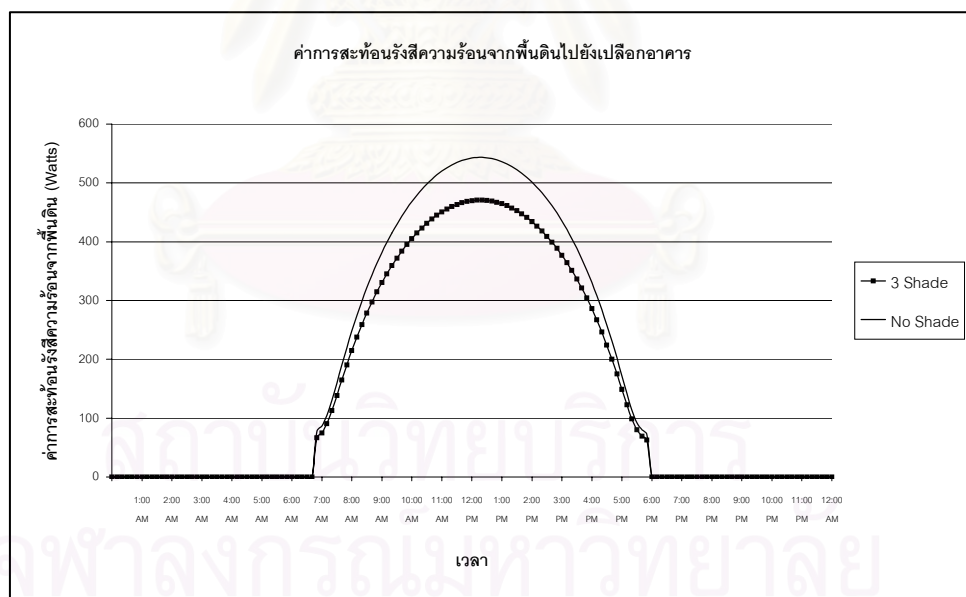
รูปที่ 5.2.1.4 การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีตรงบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.1.5 การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีกระจายบนเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.1.6 การเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างห้องฟ้ากับเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.1.7 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินไปยังเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดของวันที่ 21 ธันวาคม

รายละเอียดผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆ ระหว่างการใช้อุปกรณ์บังแดด
 แนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดจะแสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 5.2.1.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆ กรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดด
 แนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดของเปลือกอาคารที่หันหน้าทางด้านทิศใต้ ของ
 วันที่ 21 ธันวาคม

| หัวข้อ | ไม่มีอุปกรณ์บังแดด | | อุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น | | ผลต่าง | ผลต่าง (เปอร์เซ็นต์) |
|--|--------------------|--------|----------------------|--------|--------|----------------------|
| | ไม่มีอุปกรณ์บังแดด | % | อุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น | % | | |
| ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคาร (MJ) | 19.98 | - | 14.60 | - | 5.38 | 26.91 |
| ค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อพิจารณาทุกตัว (MJ) | 148.96 | 100 | 103.26 | 100 | 45.69 | 30.67 |
| ค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อพิจารณาเฉพาะบางตัว (MJ) | 148.96 | - | 99.09 | - | 49.87 | 33.48 |
| ค่าการแผ่รังสีตรง (MJ) | 134.74 | 90.46 | 85.42 | 82.72 | 49.32 | 36.60 |
| ค่าการแผ่รังสีกระจาย (MJ) | 17.72 | 11.89 | 12.60 | 12.20 | 5.12 | 28.89 |
| ค่าการสะท้อนรังสีตรง (MJ) | - | - | 3.09 | 2.99 | - | - |
| ค่าการสะท้อนรังสีกระจาย (MJ) | - | - | 0.47 | 0.46 | - | - |
| ค่าการสะท้อนรังสีจากพื้นดิน (MJ) | 15.25 | 10.24 | 13.20 | 12.79 | 2.04 | 13.10 |
| ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า (MJ) | -18.75 | -12.59 | -12.14 | -11.75 | -6.61 | 35.27 |
| ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด (MJ) | - | - | 0.61 | 0.59 | - | - |

(ผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับกรณีไม่มีอุปกรณ์บังแดด)

ค่าพลังงานความร้อนต่างๆในตารางที่ 5.2.1.1 เกิดจากผลรวมตลอดทั้งวันของวันที่ 21 ธันวาคม สำหรับค่าการแผ่รังสีรวมที่เกิดจากดวงอาทิตย์ตกบนเปลือกอาคารเมื่อพิจารณาทุกตัวเกิดจากผลรวมของ ค่าการแผ่รังสีตรง ค่าการแผ่รังสีกระจาย ค่าการสะท้อนรังสีตรง ค่าการสะท้อนรังสีกระจาย ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินไปยังเปลือกอาคาร ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด ซึ่งเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม สามารถลดพลังงานความร้อนที่ตกกระทบบนเปลือกอาคารได้ 30.67% และสำหรับ ค่าการแผ่รังสีรวมที่เกิดจากดวงอาทิตย์ตกบนเปลือกอาคาร เมื่อพิจารณาเฉพาะบางตัว ซึ่งเกิดมาจากผลรวมของ ค่าการแผ่รังสีตรง ค่าการแผ่รังสีกระจาย ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินไปยังเปลือก และ ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด สามารถลดพลังงานความร้อนที่ตกกระทบบนเปลือกอาคารได้ 33.48% แสดงให้เห็นว่า ผลจากพลังงานความร้อนบางตัวที่ไม่ได้พิจารณามีค่าถึง 2.81 %

สำหรับผลการทดสอบเปลือกอาคารด้านทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตกของทั้ง 5 วัน คือ วันที่ 21 มีนาคม 21 มิถุนายน 21 กันยายน 21 ธันวาคม และ 27 เมษายน เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2.1.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ของวันที่ 21 ธันวาคม มีค่าสูงสุด คือ 148.96 MJ เมื่อเปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แต่จากปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลา สำหรับเปลือกอาคารด้านทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ของวันที่ 27 เมษายน จะมีค่าสูงสุด เนื่องจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศภายนอก และ อากาศภายในมีมากนั่นเอง อุณหภูมิของอากาศในแต่ละวันสามารถดูได้ในภาคผนวก ฉ สำหรับค่าการแผ่รังสีแบบกระจาย และค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดิน ผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ของทุกวันและทุกทิศทางมีค่าเท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอุปกรณ์บังแดดเป็นหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2.1.2 ค่าปริมาณความร้อนต่อหน่วยเวลา และ ค่าความร้อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเปลือกขนาด 10 ตารางเมตรอาคารตลอด 24 ชม. ที่ทิศทาง และ วันต่างๆ
เมื่อไม่มีการติดตั้งและติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น

| Date | Direction | Heat Flux (MJ) | | | Solar Radiation on Envelope (MJ) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|----------------|-------|--------|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|---------------|-------|
| | | | | | Total Solar Radiation | | | Direct | | | Diffuse | | | Ground | | | Sky | | | BR+DR+Shading | |
| | | No | Yes | % | No | Yes | % | No | Yes | % | No | Yes | % | No | Yes | % | No | Yes | % | Yes | % |
| 21-มี.ค. | North | 8.93 | 9.34 | -4.63 | 12.52 | 10.47 | 16.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.05 | 14.25 | 28.89 | 2.00 | 1.74 | 13.40 | -9.53 | -6.88 | 27.73 | 1.37 | 13.07 |
| | South | 16.55 | 12.88 | 22.18 | 66.17 | 36.56 | 44.75 | 51.04 | 21.09 | 58.68 | 20.05 | 14.25 | 28.89 | 7.11 | 6.16 | 13.40 | -12.03 | -7.75 | 35.58 | 2.80 | 7.67 |
| | East | 21.07 | 18.02 | 14.51 | 92.65 | 67.69 | 26.94 | 76.30 | 52.26 | 31.51 | 20.05 | 14.25 | 28.89 | 9.63 | 8.34 | 13.40 | -13.34 | -8.91 | 33.22 | 1.74 | 2.57 |
| | West | 19.48 | 16.82 | 13.66 | 92.54 | 67.63 | 26.91 | 76.30 | 52.26 | 31.51 | 20.05 | 14.25 | 28.89 | 9.63 | 8.34 | 13.40 | -13.44 | -8.97 | 33.30 | 1.75 | 2.58 |
| 21-มี.ย. | North | 17.58 | 13.89 | 21.00 | 82.26 | 51.97 | 36.82 | 65.79 | 35.06 | 46.72 | 20.66 | 14.69 | 28.89 | 8.65 | 7.49 | 13.40 | -12.84 | -8.28 | 35.50 | 3.02 | 5.80 |
| | South | 8.03 | 8.38 | -4.45 | 13.30 | 11.05 | 16.93 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.66 | 14.69 | 28.89 | 2.07 | 1.79 | 13.40 | -9.42 | -6.81 | 27.73 | 1.38 | 12.50 |
| | East | 19.77 | 16.70 | 15.52 | 91.99 | 66.75 | 27.43 | 75.22 | 50.76 | 32.52 | 20.66 | 14.69 | 28.89 | 9.59 | 8.30 | 13.40 | -13.49 | -8.95 | 33.62 | 1.95 | 2.92 |
| | West | 17.97 | 15.31 | 14.84 | 92.31 | 67.01 | 27.40 | 75.40 | 50.95 | 32.42 | 20.66 | 14.69 | 28.89 | 9.61 | 8.32 | 13.40 | -13.36 | -8.88 | 33.54 | 1.93 | 2.87 |
| 21-ก.ย. | North | 5.45 | 5.72 | -4.94 | 12.34 | 9.81 | 20.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.82 | 14.09 | 28.89 | 1.98 | 1.72 | 13.40 | -9.46 | -6.82 | 27.93 | 0.83 | 8.42 |
| | South | 12.94 | 9.33 | 27.90 | 64.25 | 35.76 | 44.35 | 49.53 | 20.85 | 57.91 | 19.82 | 14.09 | 28.89 | 6.93 | 6.01 | 13.40 | -12.02 | -7.73 | 35.68 | 2.55 | 7.12 |
| | East | 17.37 | 14.28 | 17.79 | 90.65 | 65.97 | 27.23 | 74.96 | 51.24 | 31.65 | 19.82 | 14.09 | 28.89 | 9.48 | 8.21 | 13.40 | -13.60 | -9.04 | 33.56 | 1.47 | 2.22 |
| | West | 15.77 | 12.99 | 17.66 | 90.93 | 65.99 | 27.43 | 74.96 | 51.24 | 31.65 | 19.82 | 14.09 | 28.89 | 9.48 | 8.21 | 13.40 | -13.32 | -8.86 | 33.48 | 1.31 | 1.99 |
| 21-ธ.ค. | North | 0.81 | 1.41 | -73.11 | 8.08 | 6.79 | 15.93 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 17.72 | 12.60 | 28.89 | 1.77 | 1.53 | 13.40 | -11.41 | -8.28 | 27.42 | 0.94 | 13.86 |
| | South | 19.98 | 14.60 | 26.91 | 148.96 | 103.27 | 30.67 | 134.74 | 85.42 | 36.60 | 17.72 | 12.60 | 28.89 | 15.25 | 13.20 | 13.40 | -18.75 | -12.13 | 35.27 | 4.18 | 4.04 |
| | East | 9.56 | 7.90 | 17.33 | 68.12 | 51.35 | 24.61 | 57.37 | 41.00 | 28.53 | 17.72 | 12.60 | 28.89 | 7.51 | 6.50 | 13.40 | -14.47 | -9.97 | 31.14 | 1.22 | 2.37 |
| | West | 8.46 | 7.05 | 16.70 | 68.65 | 51.92 | 24.37 | 57.93 | 41.57 | 28.24 | 17.72 | 12.60 | 28.89 | 7.57 | 6.55 | 13.40 | -14.57 | -10.02 | 31.21 | 1.22 | 2.35 |
| ##### | North | 16.93 | 16.69 | 1.42 | 31.62 | 26.30 | 16.84 | 17.19 | 12.89 | 25.00 | 20.61 | 14.66 | 28.89 | 3.78 | 3.27 | 13.40 | -9.96 | -7.05 | 29.21 | 2.52 | 9.60 |
| | South | 14.41 | 14.81 | -2.75 | 13.76 | 11.97 | 13.01 | 0.17 | 0.17 | 0.00 | 20.61 | 14.66 | 28.89 | 2.08 | 1.80 | 13.40 | -9.10 | -6.59 | 27.61 | 1.93 | 16.14 |
| | East | 26.84 | 23.54 | 12.30 | 95.08 | 68.82 | 27.62 | 77.98 | 52.21 | 33.05 | 20.61 | 14.66 | 28.89 | 9.86 | 8.54 | 13.40 | -13.37 | -8.83 | 33.98 | 2.24 | 3.26 |
| | West | 25.23 | 22.23 | 11.89 | 95.47 | 69.00 | 27.73 | 77.98 | 52.21 | 33.05 | 20.61 | 14.66 | 28.89 | 9.86 | 8.54 | 13.40 | -12.98 | -8.60 | 33.75 | 2.20 | 3.18 |

No = เปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

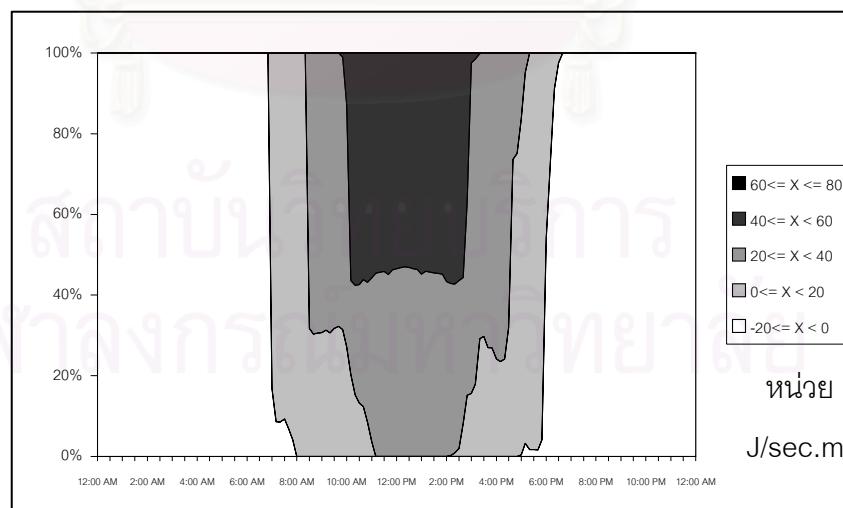
Yes = เปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น

BR+DR+Shading = ผลรวมของค่าการสะท้อนรังสีตรง กระจาย และการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด

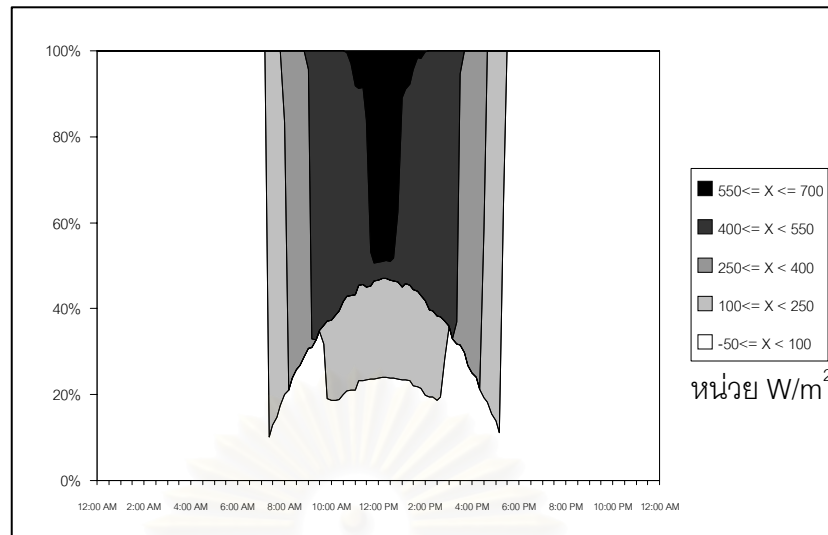
เปอร์เซ็นต์เทียบกับกรณีเปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาและค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารที่กล่าวมานั้น เป็นการพิจารณาจากผลรวมของพื้นที่เปลือกอาคารทั้งหมด การแยกแยะปริมาณความร้อนต่อหน่วยเวลาและค่าความร้อนรวมที่เกิดขึ้นบนเปลือกอาคารจะถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงช่วงความร้อนรวมสูงสุดที่เกิดขึ้นบนเปลือกอาคารว่ามีการลดลงเล็กน้อยเพียงใด เทียบกับร้อยละของการบังแดดของอุปกรณ์บังแดดที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับผลที่จะแสดงนี้ ได้ใช้อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น เป็นตัวทดสอบโปรแกรมร้อยละของปริมาณความร้อนต่อหน่วยเวลาและค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารที่เวลาใดๆ แสดงได้ดังนี้

จากรูปที่ 5.2.1.5 แสดงร้อยละของค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร ด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแดดจากรังสีตรงได้สูงสุด 47% จะเห็นได้ว่า ช่วงของค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ $550 \leq x \leq 700 \text{ w/m}^2$ ยังมีอยู่ประมาณ 53% ของพื้นที่เปลือกอาคารที่เวลา 11:50 น. ถึง 12:50 น. แต่ผลของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร ในรูปที่ 5.2.1.8 เริ่มมีค่าสูงสุดที่ช่วงเวลา 13:30 น. ถึง 18:00 น. เป็นเวลาทั้งหมด 4.5 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุที่ใช้ทำเปลือกอาคารมีค่าสูงพอที่จะทำให้หน่วยพลังงานความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากกว่า 3.5 ชั่วโมง

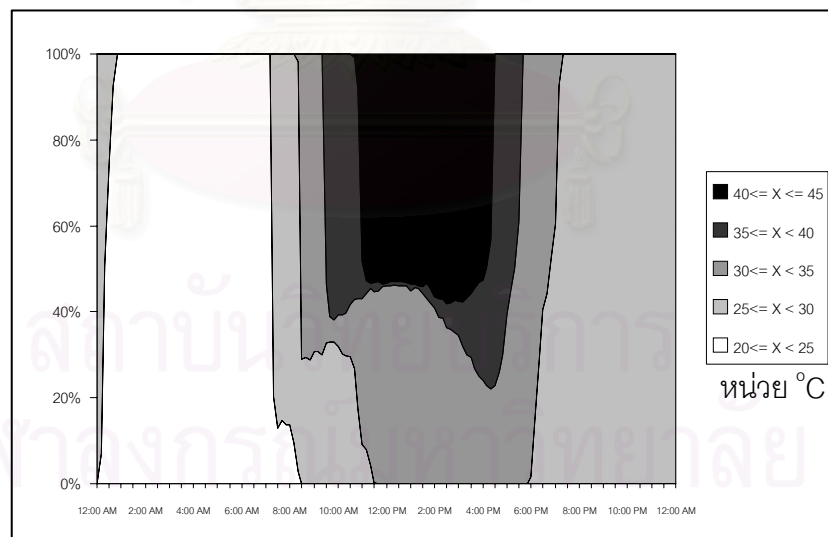


รูปที่ 5.2.1.8 ร้อยละของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารที่ช่วงเวลาต่างๆ บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม



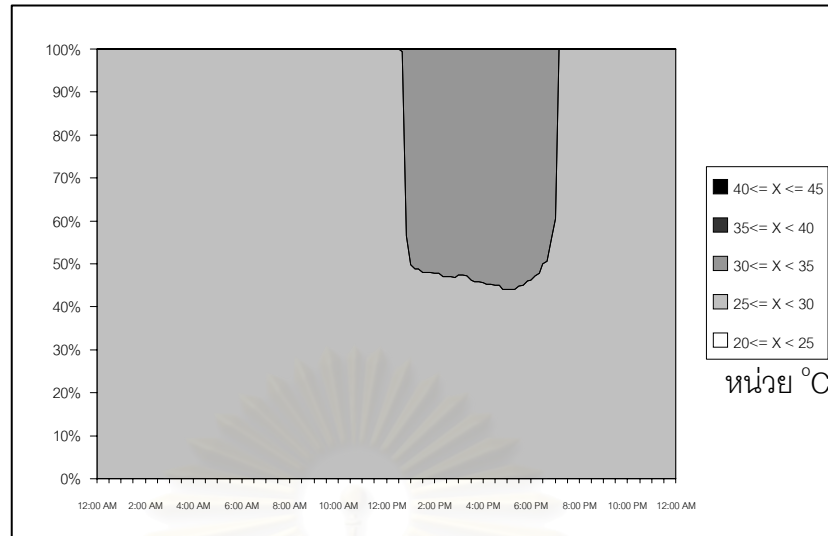
รูปที่ 5.2.1.9 ร้อยละของค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม

นอกจากปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่เข้าผ่านเปลือกอาคารและค่าความร้อนรวมที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์แล้ว อุณหภูมิผิวภายในและภายนอกของเปลือกอาคารจะสามารถนำมาแสดงเป็นรูปของร้อยละที่ช่วงเวลาต่างๆได้เช่นกัน



รูปที่ 5.2.1.10 ร้อยละของอุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ ของวันที่

21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.1.11 ร้อยละของอุณหภูมิผิวภายในเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่ช่วงเวลาต่างๆ
ของวันที่ 21 ธันวาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

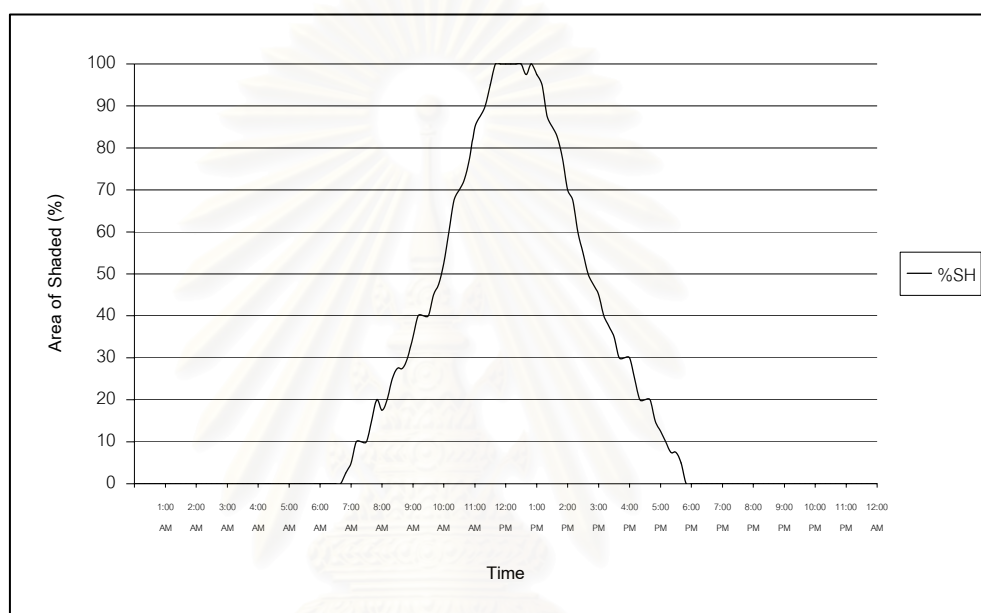
รายละเอียดจากรูปข้างต้นที่กล่าวมา สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2.1.3 แสดงสัดส่วนเป็นร้อยละของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงที่เวลาต่างๆของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

| หัวข้อ | ช่วง | ร้อยละ (%) |
|---|--|------------|
| ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร | $-20 \leq H \leq 0$ J/sec.m ² | 39.67 |
| | $0 < H \leq 20$ J/sec.m ² | 22.12 |
| | $20 < H \leq 40$ J/sec.m ² | 20.09 |
| | $40 < H \leq 60$ J/sec.m ² | 8.03 |
| | $60 < H \leq 80$ J/sec.m ² | 10.09 |
| | Total | 100 |
| ค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร | $-50 \leq G < 100$ W/m ² | 67.88 |
| | $100 < G \leq 250$ W/m ² | 10.23 |
| | $250 < G \leq 400$ W/m ² | 6.48 |
| | $400 < G \leq 550$ W/m ² | 12.25 |
| | $550 < G \leq 700$ W/m ² | 3.16 |
| | Total | 100 |
| อุณหภูมิผิวภายนอกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด | $20 \leq T < 25$ °C | 29.05 |
| | $25 < T \leq 30$ °C | 31.64 |
| | $30 < T \leq 35$ °C | 18.80 |
| | $35 < T \leq 40$ °C | 8.17 |
| | $40 < T \leq 45$ °C | 12.35 |
| | Total | 100 |
| อุณหภูมิผิวภายในอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด | $20 \leq T < 25$ °C | 0 |
| | $25 < T \leq 30$ °C | 86.25 |
| | $30 < T \leq 35$ °C | 13.75 |
| | $35 < T \leq 40$ °C | 0 |
| | $40 < T \leq 45$ °C | 0 |
| | Total | 100 |

5.2.2 ผลการคำนวณปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารระหว่างเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดกับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิด

ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านทางช่องเปิด 21 % ของพื้นที่เปลือกอาคารสามารถลดลงได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น จะถูกกำหนดให้ การติดตั้งสำหรับเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดนี้ คุณสมบัติการบังแดดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้นนี้ จะแสดงได้ดังรูป



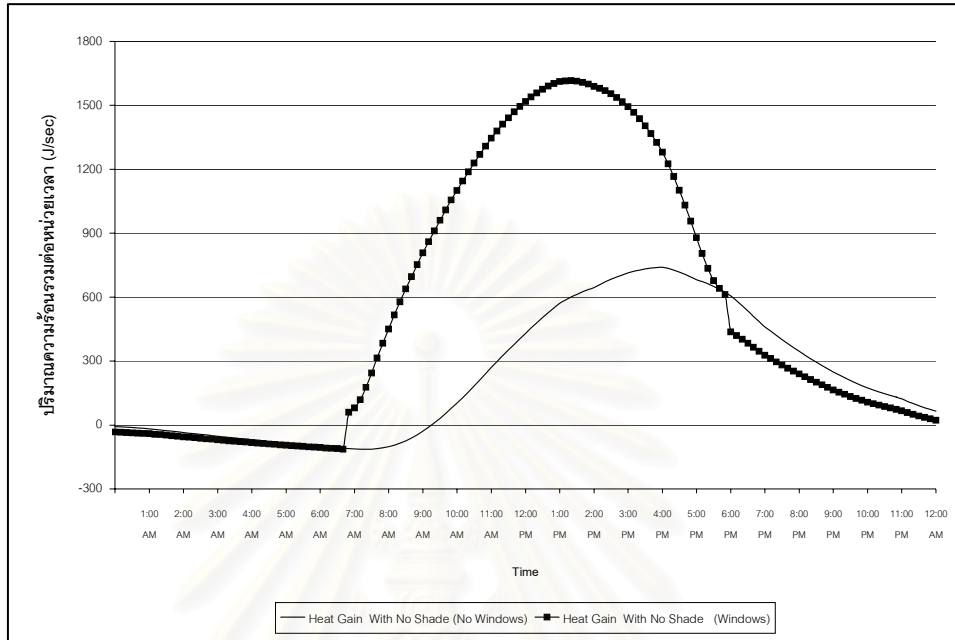
รูปที่ 5.2.2.1 พื้นที่ของช่องเปิดของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ที่โดนบังแดดจากรังสีตรงที่เวลาต่างๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม

โดยที่ A_{SH} คือ พื้นที่ทั้งหมดที่โดนบังแดดของช่องเปิดอาคาร

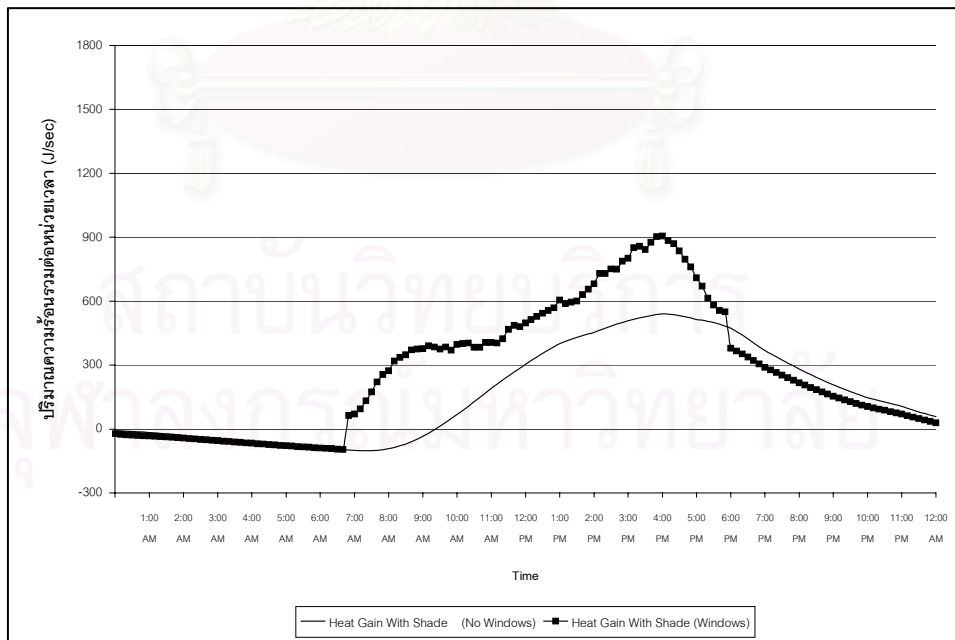
จากรูปที่ 5.2.2.1 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์บังแดดสามารถบังแสงแดดที่เกิดจากรังสีตรงในช่วงเวลา 11:50น. – 12:50น. ได้สูงสุด 100% จากผลการคำนวณสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ คือ

1. การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาระหว่างเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิด เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด
2. การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาระหว่างเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิด เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น

ผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาของเปลือกอาคารที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิด จะทำการเปรียบเทียบเฉพาะปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารเท่านั้น ซึ่งจะแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.2.2.2 ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิดเมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.2.3 ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีช่องเปิดกับไม่มีช่องเปิดเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

รายละเอียดผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ระหว่างเปลือกอาคารที่มีช่องเปิด แสดงได้ดังนี้

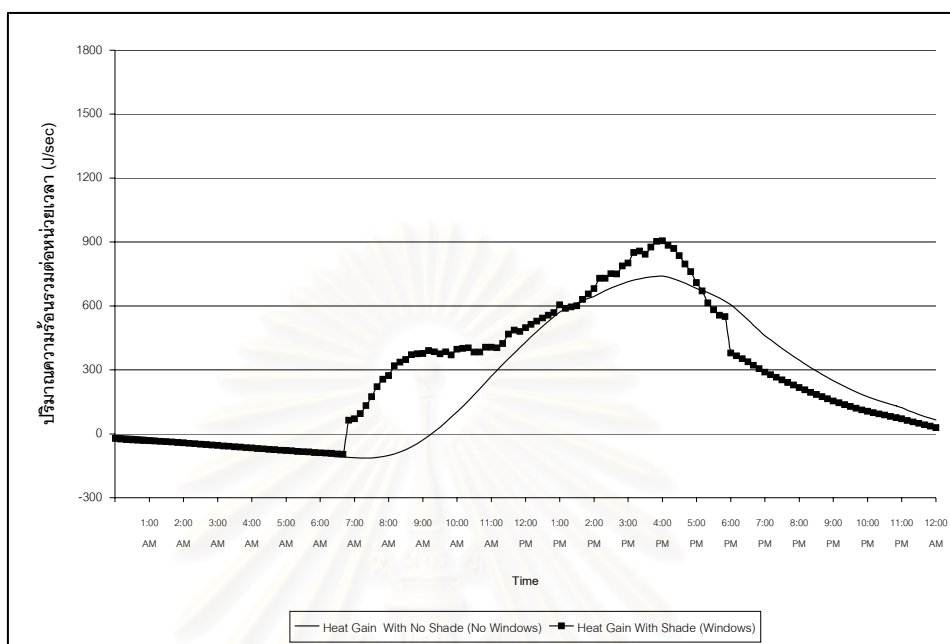
ตารางที่ 5.2.2.1 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมตลอดทั้งวัน ของเปลือกอาคาร
ที่มีช่องเปิดกับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดโดยเปลือกอาคารหันหน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21
ธันวาคม

| ข้อมูลเบื้องต้น | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------|-----------|
| ทิศของเปลือกอาคาร | : ใต้ | | | |
| วันที่ทำการทดลอง | : 21 ธันวาคม | | | |
| พื้นที่เปลือกอาคารรวม | : 10 ตารางเมตร (4 เมตร x 2.5 เมตร) | | | |
| หัวข้อ | ไม่มีช่องเปิด | มีช่องเปิด | ผลต่าง | ผลต่าง(%) |
| <u>กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด</u> | | | | |
| ปริมาณความร้อนรวมสูงสุด (J/s) | 741.26 | 1281.00 | 539.74 | 72.81* |
| ปริมาณความร้อนรวม (MJ) | 19.98 | 47.06 | 27.09 | 135.60* |
| <u>กรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดด</u> | | | | |
| ปริมาณความร้อนรวมสูงสุด (J/s) | 541.04 | 905.77 | 364.72 | 67.41* |
| ปริมาณความร้อนรวม (MJ) | 14.60 | 23.74 | 9.14 | 62.61* |
| หัวข้อ | ไม่มีอุปกรณ์บังแดด | มีอุปกรณ์บังแดด | ผลต่าง | ผลต่าง(%) |
| <u>กรณีไม่มีช่องเปิด</u> | | | | |
| ปริมาณความร้อนรวมสูงสุด (J/s) | 741.26 | 541.04 | -200.22 | -27.01** |
| ปริมาณความร้อนรวม (MJ) | 19.98 | 14.60 | -5.38 | -26.91** |
| <u>กรณีมีช่องเปิด</u> | | | | |
| ปริมาณความร้อนรวมสูงสุด (J/s) | 1281.00 | 905.77 | -375.23 | -29.29** |
| ปริมาณความร้อนรวม (MJ) | 47.06 | 23.74 | -23.32 | -49.57** |

(* เทียบกับกรณีที่ไม่มีช่องเปิด)

(** เทียบกับกรณีที่มีอุปกรณ์บังแดด)

5.2.2.1 การเปรียบเทียบระหว่างเปลือกอาคารที่มีช่องเปิด และ มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิด และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด



รูปที่ 5.2.2.1.1 ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีช่องเปิด และมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ เปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่มีการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม

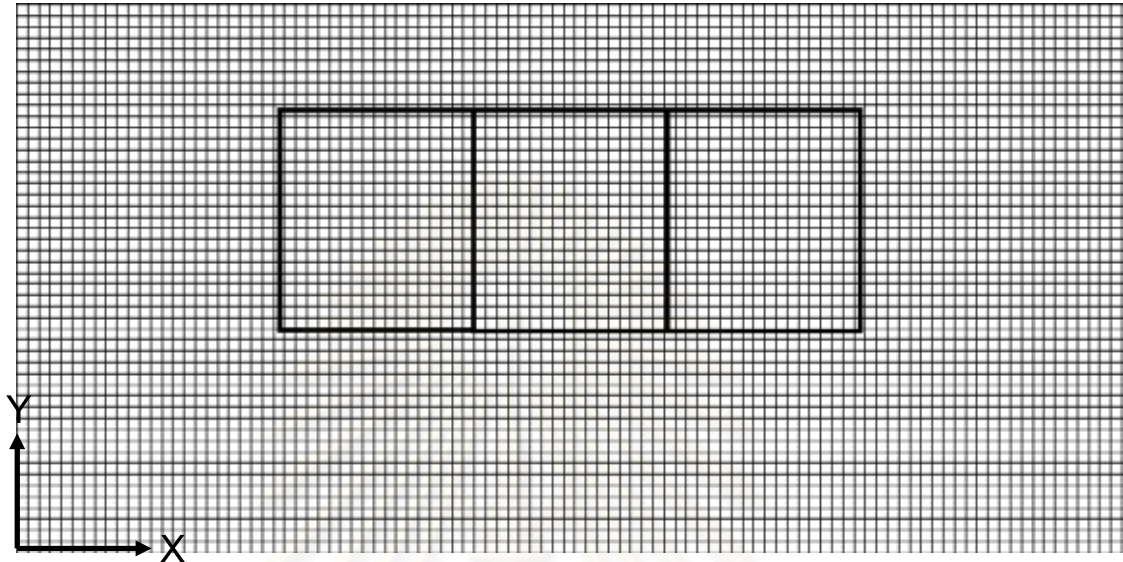
รายละเอียดผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาระหว่างเปลือกอาคาร ที่มีช่องเปิดและมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ เปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่ มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2.2.1.1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาระหว่าง เปลือกอาคารด้านทิศใต้ ที่มีช่องเปิดและมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ เปลือก อาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ของวันที่ 21 ธันวาคม

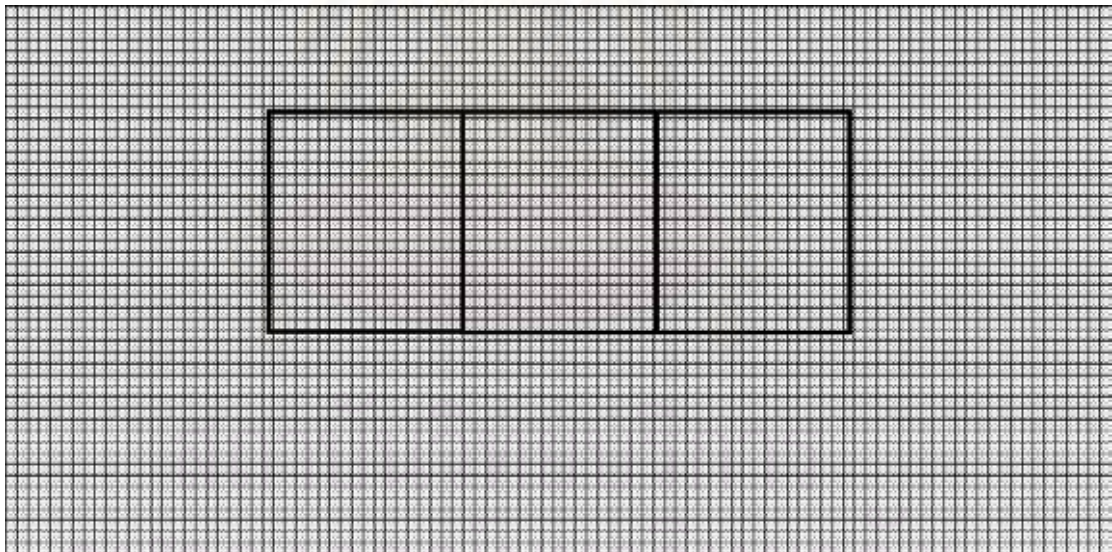
| หัวข้อ | ไม่มีช่องเปิด ไม่มีอุปกรณ์บังแดด | มีช่องเปิด มีอุปกรณ์บังแดด |
|---|-------------------------------------|-------------------------------|
| ปริมาณความร้อนรวมที่เข้าสู่ผนังอาคาร (MJ) | 19.98 | 23.74 |
| ผลต่างของปริมาณความร้อนรวม (MJ) | 3.76 | |
| ผลต่างของปริมาณความร้อนรวม (%) | เพิ่มขึ้น 18.84 %* | |

(* เทียบกับกรณีที่ไม่มีช่องเปิดและไม่มีอุปกรณ์บังแดด)

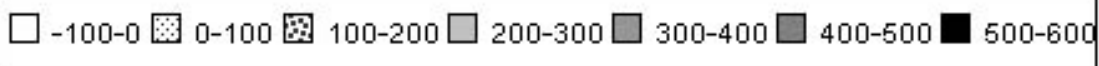
ค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนรวมบนเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ในแต่ละช่องตารางบนเปลือกอาคารด้านนอกนั้น มีค่าที่ไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถแยกช่วงของค่าความร้อนรวมที่ตกบนเปลือกอาคารภายนอกได้ ตามเวลาดังนี้



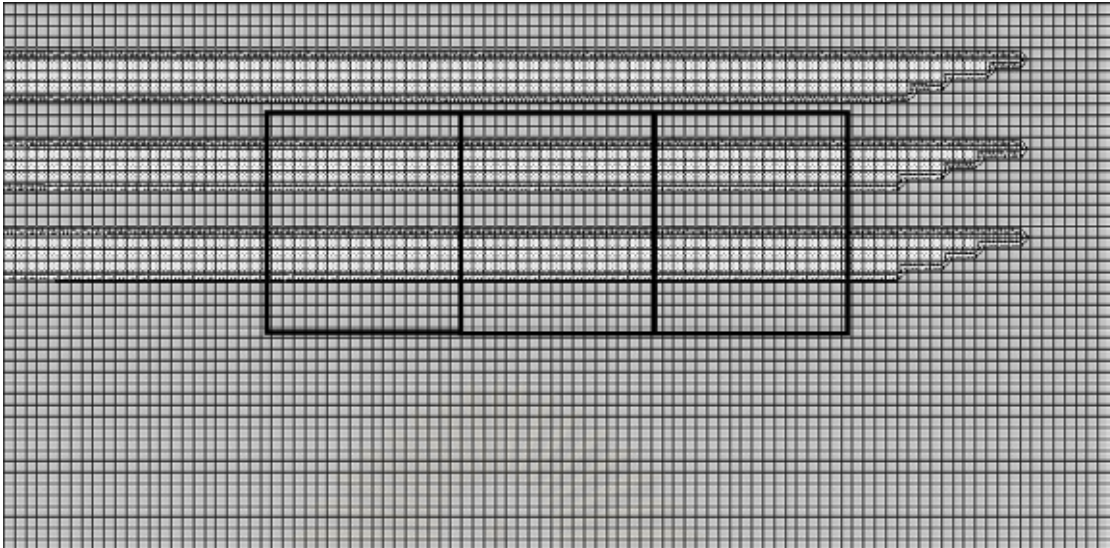
6:00 AM



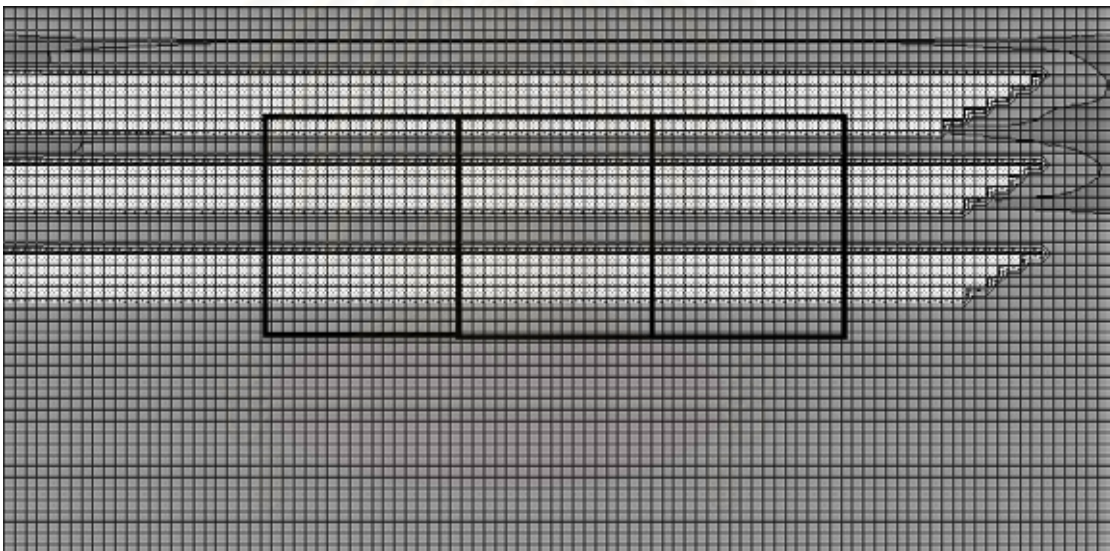
7:00 AM

หน่วย W/m^2

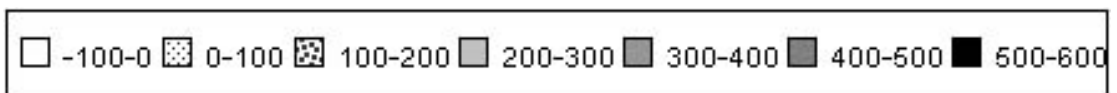
รูปที่ 5.2.2.1.2 แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่เวลาดังตั้งตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น. ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)



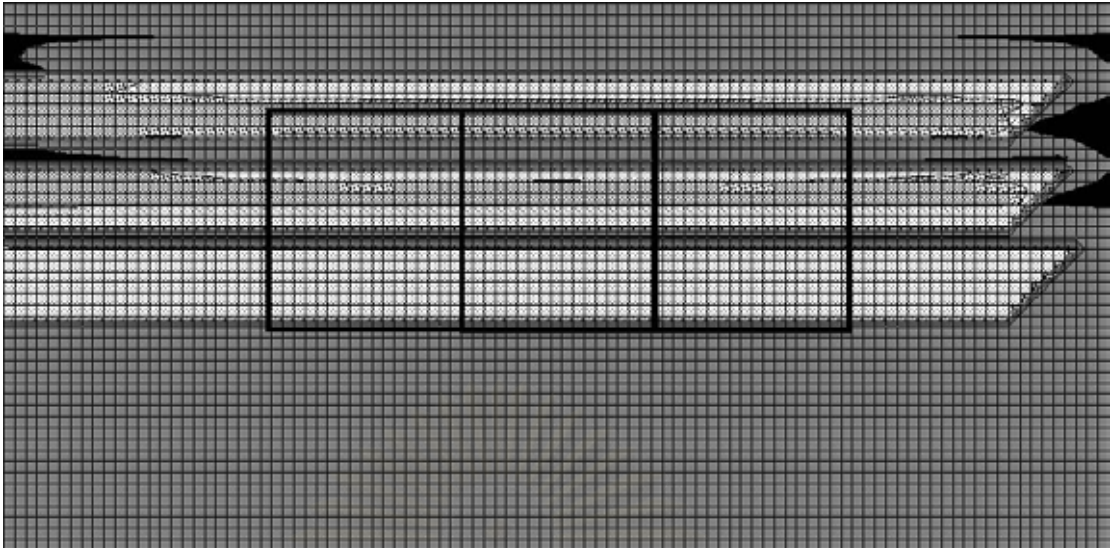
8:00 AM



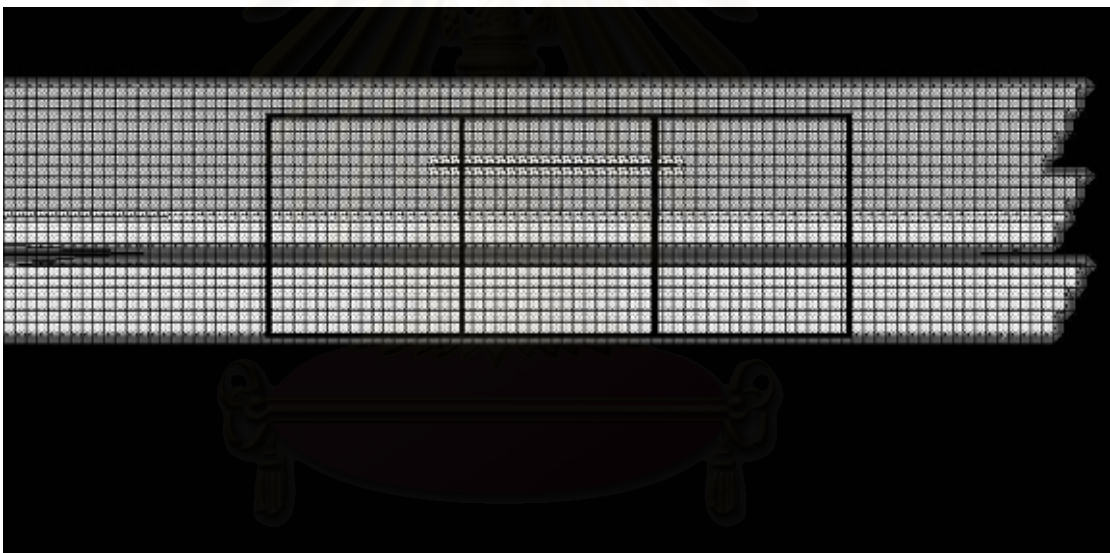
9:00 AM

หน่วย W/m^2

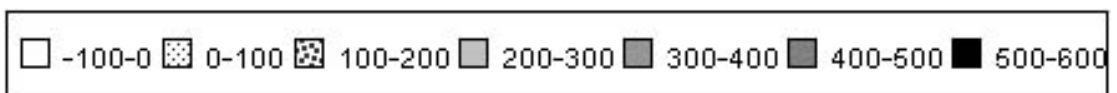
รูปที่ 5.2.2.1.2(ต่อ) แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น.ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)



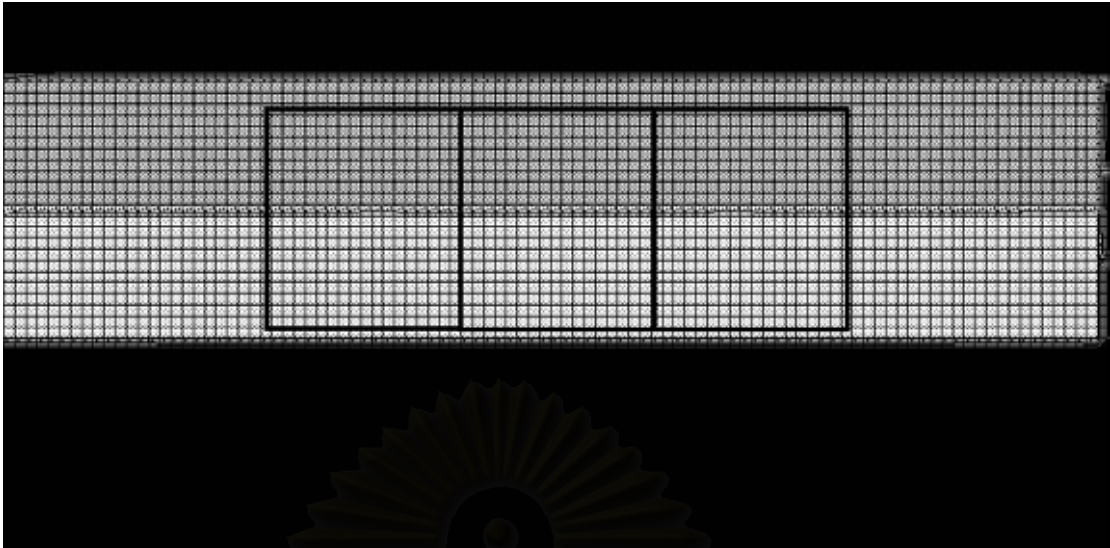
10:00 AM



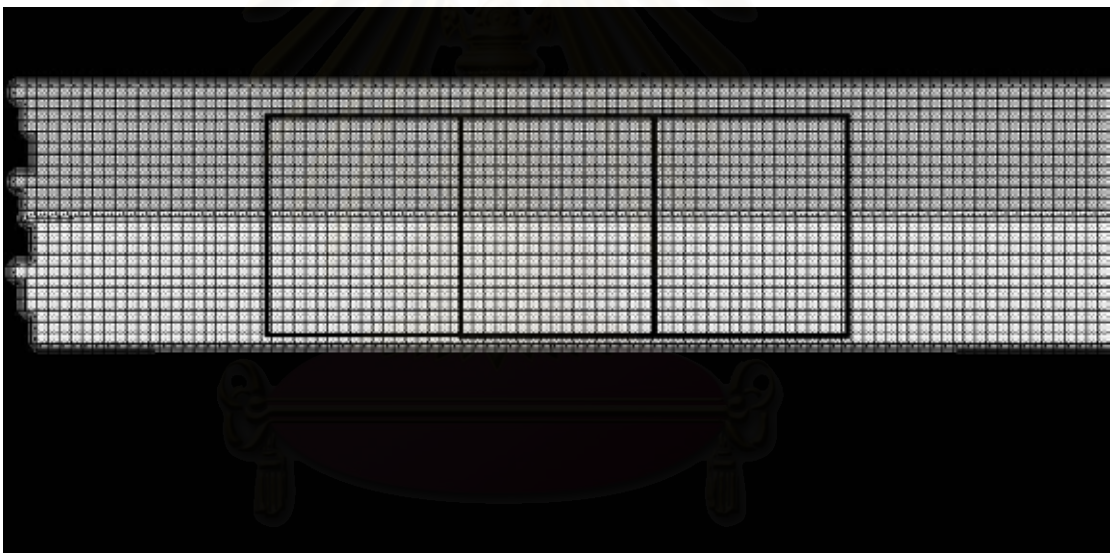
11:00 AM

หน่วย W/m^2

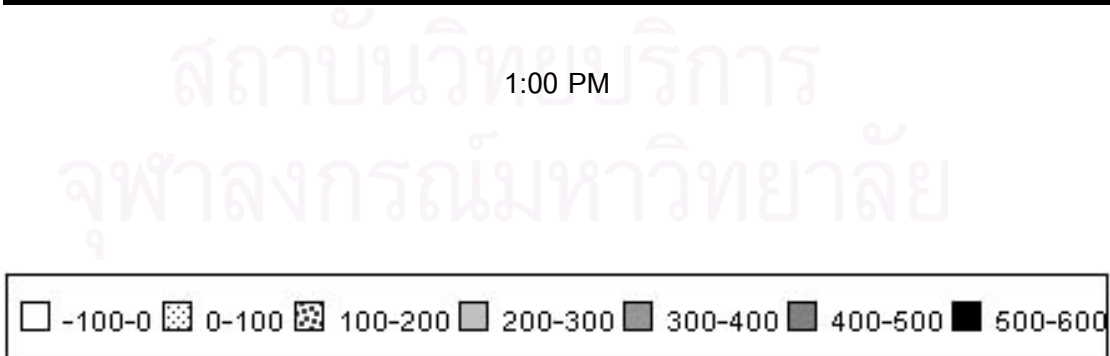
รูปที่ 5.2.2.1.2(ต่อ) แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น.ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)



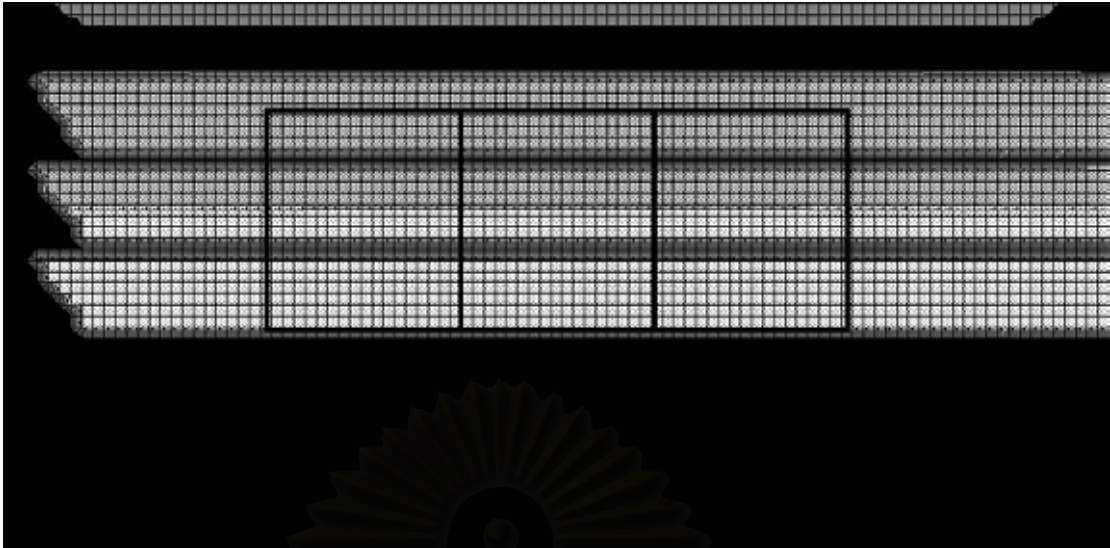
12:00 PM



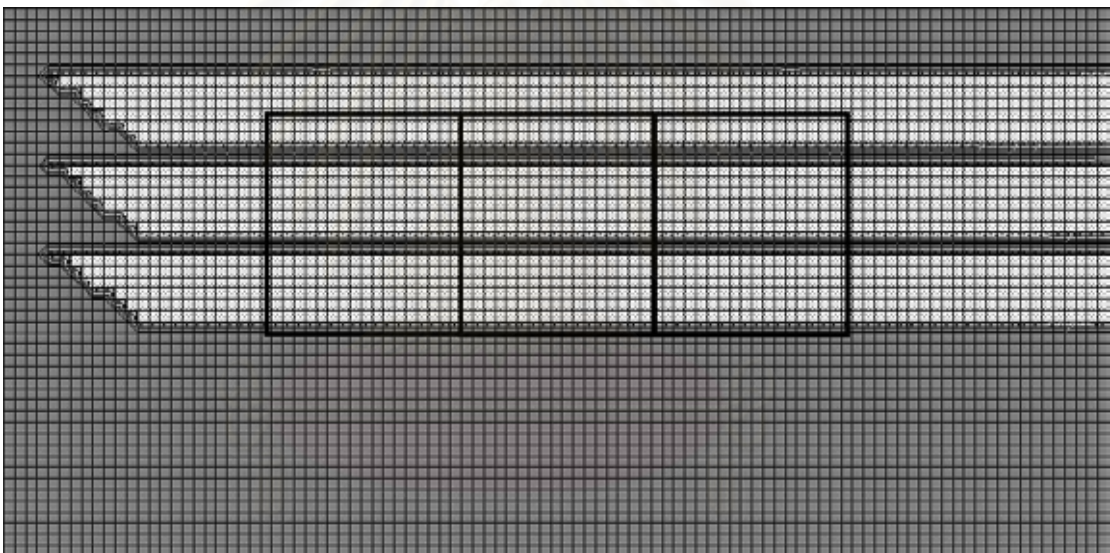
1:00 PM

หน่วย W/m^2

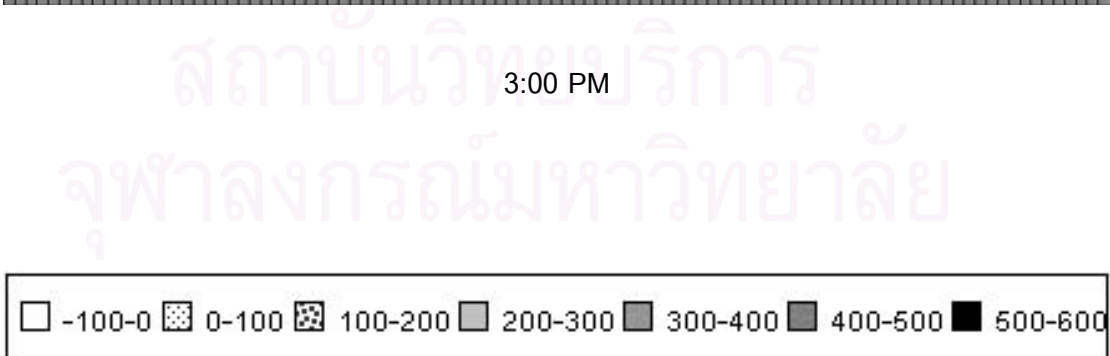
รูปที่ 5.2.2.1.2(ต่อ) แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น.ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)



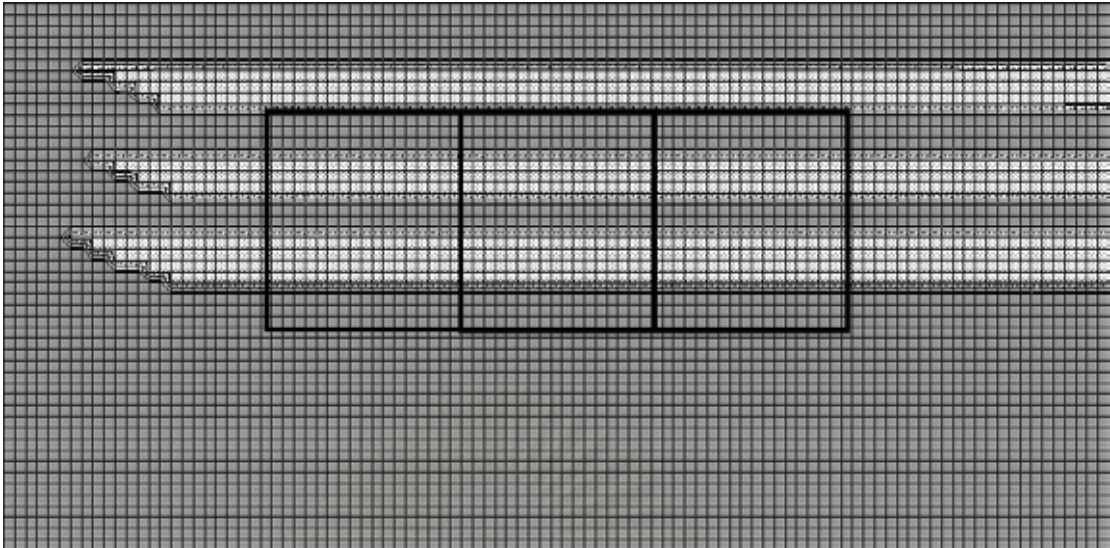
2:00 PM



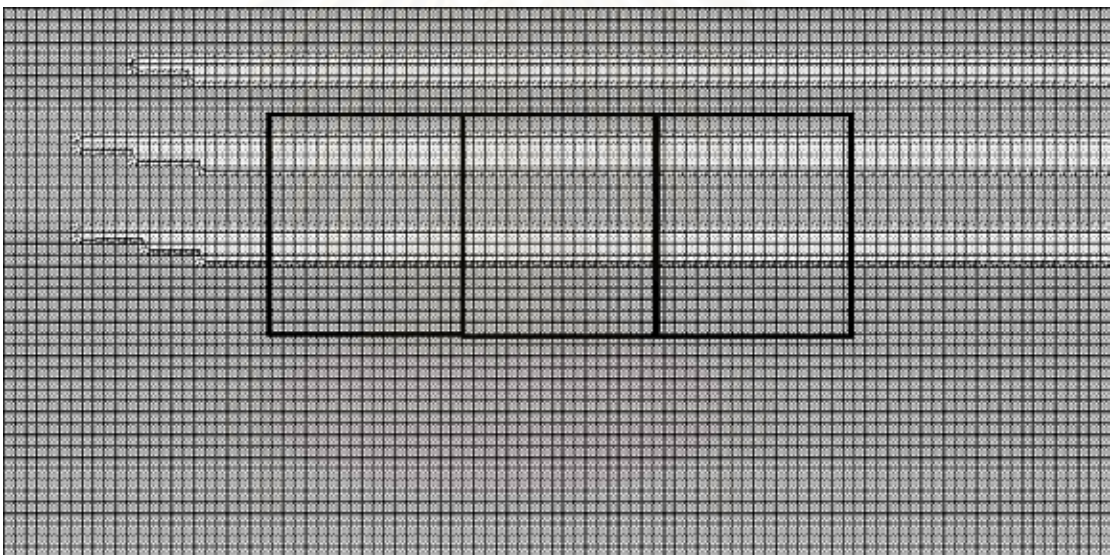
3:00 PM

หน่วย W/m^2

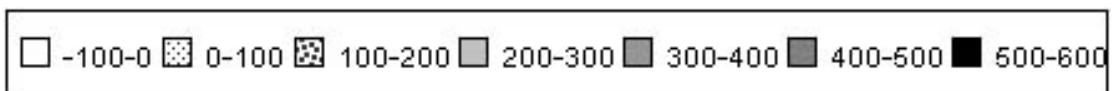
รูปที่ 5.2.2.1.2(ต่อ) แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น.ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)



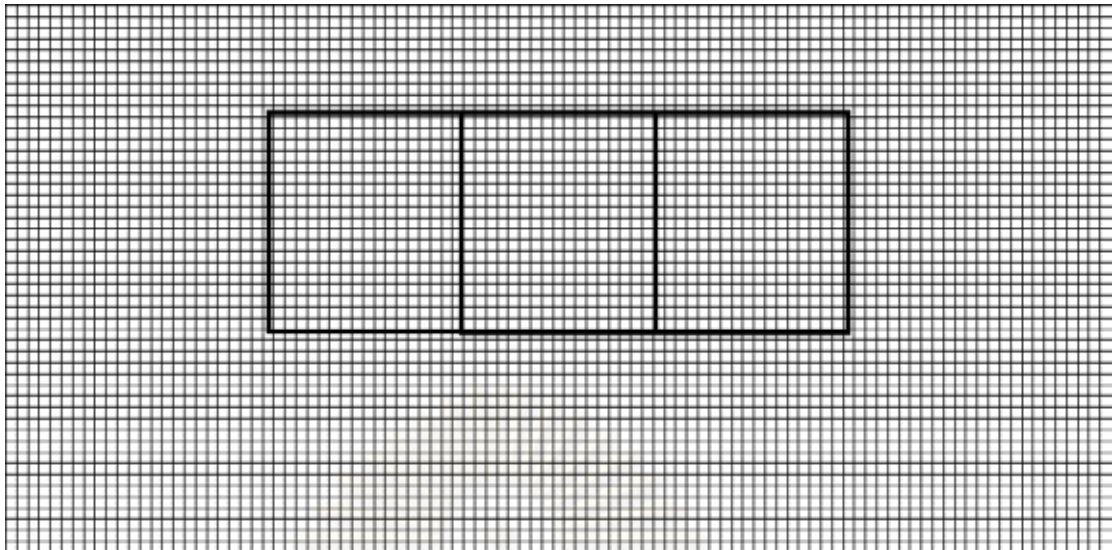
4:00 PM



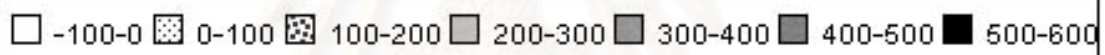
5:00 PM

หน่วย W/m^2

รูปที่ 5.2.2.1.2(ต่อ) แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น.ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)



6:00 PM

หน่วย W/m^2

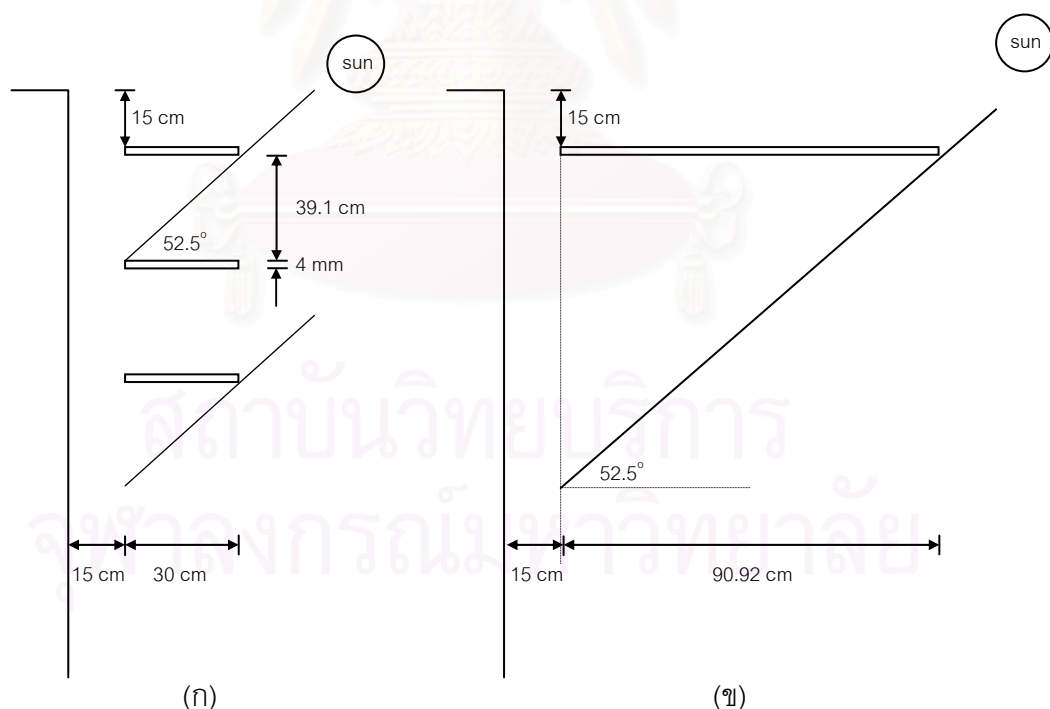
รูปที่ 5.2.2.1.2(ต่อ) แสดงค่าความร้อนรวมที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร
ด้านทิศใต้ที่เวลาตั้งแต่ 06:00 – 18:00 น.ของวันที่ 21 ธันวาคม (หน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 ผลการคำนวณพลังงานความร้อนและอุณหภูมิผิวเปลือกอาคารระหว่างอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น กับ อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแดดจากรังสีดวงอาทิตย์ระดับเดียวกัน

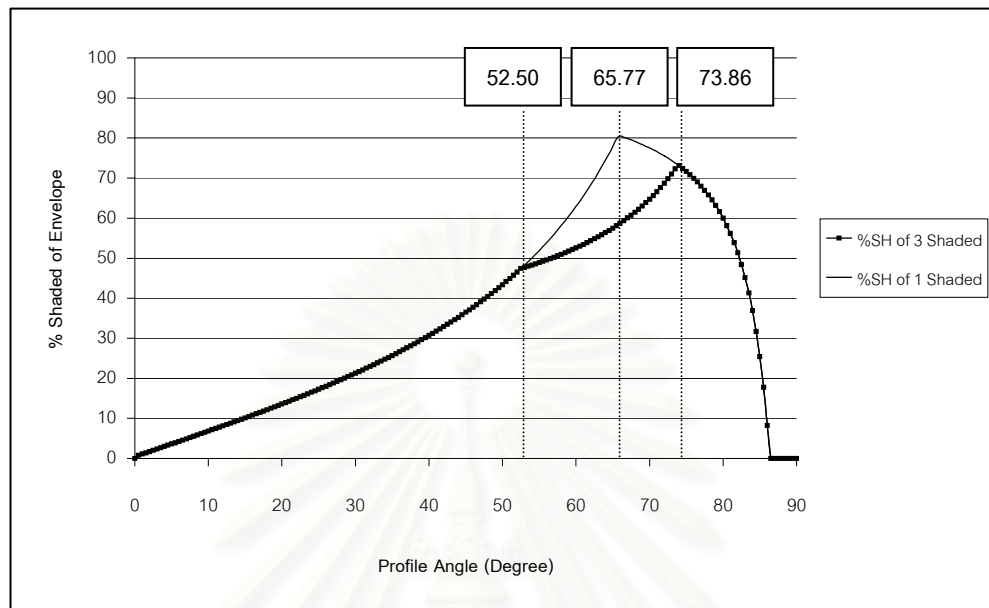
เปลือกอาคารด้านทิศใต้ ของอาคารที่ตั้งอยู่จังหวัดกรุงเทพฯ ในวันที่ 21 ธันวาคมนั้น ดวงอาทิตย์จะทำมุมเซนทิทสูงสุดเท่ากับ 37.5 องศา หรือเท่ากับมุมโพลีไฟล์ที่ 52.5 องศา ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลที่แตกต่างของ ค่าความร้อนรวมที่เกิดจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคาร ระหว่างเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ 1 ชั้น จะกำหนดให้มีความสามารถในการบังแดดจากรังสีตรงในรูป 2 มิติที่เท่ากัน หรือแสดงว่าอุปกรณ์บังแดดจากรังสีตรงทั้งสองชนิดนี้สามารถบังแสงจากรังสีตรง ตั้งแต่มุมโพลีไฟล์ที่ 0 ถึง 52.5 องศา ในรูป 2 มิติ ได้เท่ากัน

อุปกรณ์บังแดดแนวนอนทั้ง 2 ชนิด จะถูกกำหนดเงื่อนไขเบื้องต้นให้มีการบังแดดจากรังสีตรงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะแสดงรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 2 ชนิด ดังรูป

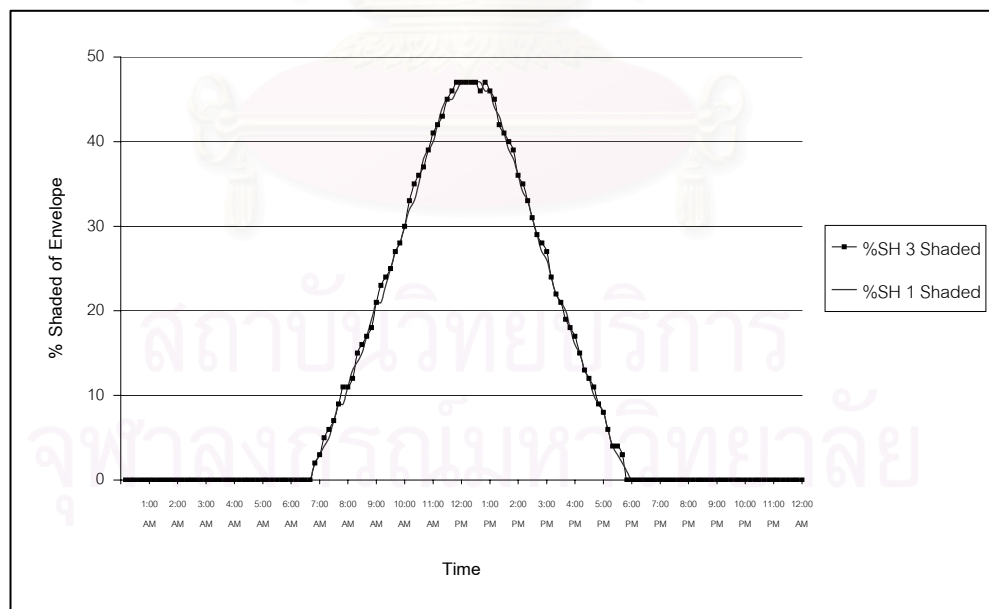


รูปที่ 5.2.3.1 พิกัดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน (ก) 1 ชั้น (ข) 3 ชั้น

การตรวจสอบเบื้องต้นสำหรับเปอร์เซ็นต์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนทั้งสองชนิด แสดงได้ดังรูปที่ 5.2.3.2 และ 5.2.3.3



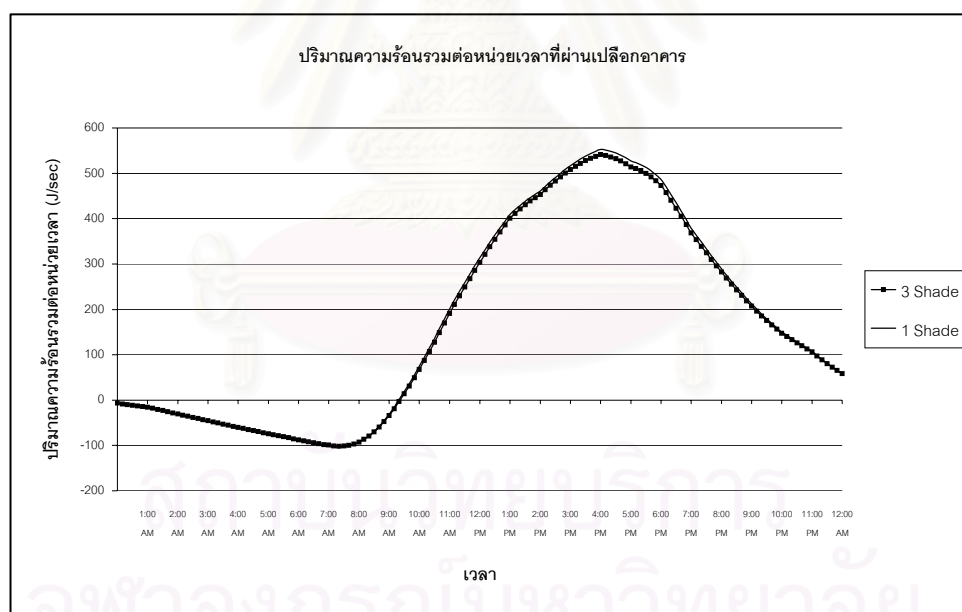
รูปที่ 5.2.3.2 เปอร์เซ็นต์การบังแดดบนเปลือกอาคารที่มีอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ 1 ชั้น ที่มุมไฟโพลีใดๆ เมื่อพิจารณาแบบ 2 มิติ



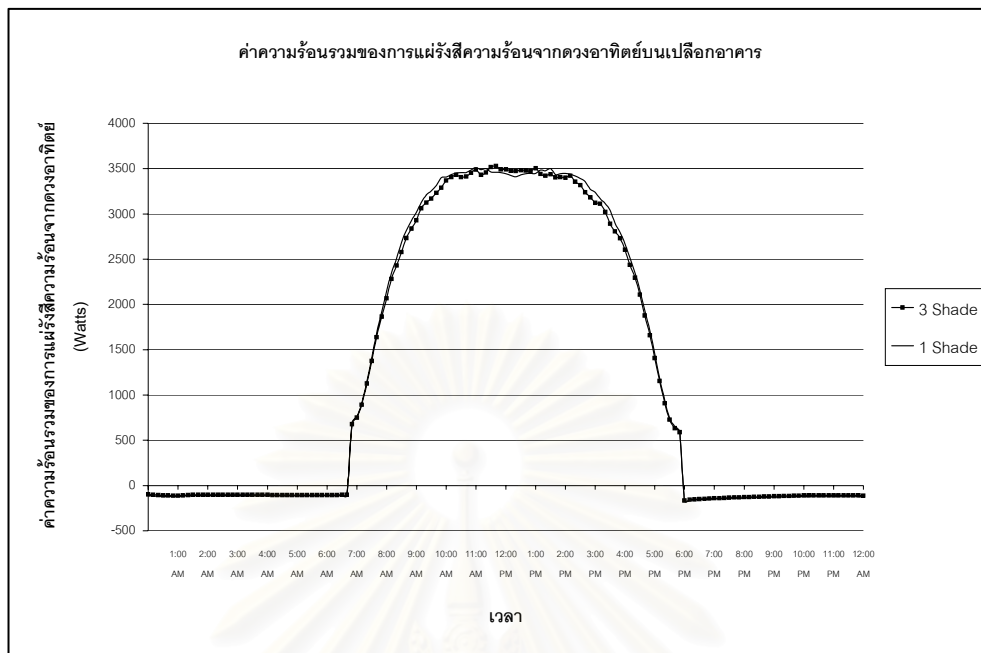
รูปที่ 5.2.3.3 เปอร์เซ็นต์การบังแดดบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 3 ชั้น และ 1 ชั้นที่เวลาใดๆ ของวันที่ 21 ธันวาคม เมื่อพิจารณาแบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 5.2.3.2 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น สามารถบังแดดให้กับเปลือกอาคารได้เท่ากัน ยกเว้นมุมไฟฟลท์ที่ 52.50 ถึง 73.86 องศา ซึ่งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น จะมีความสามารถในการบังแดดได้มากกว่า สาเหตุจากอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น เกิดการบังแดดทับกันระหว่างชั้น ซึ่งส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การบังแดดบนเปลือกอาคารต่ำกว่าเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น

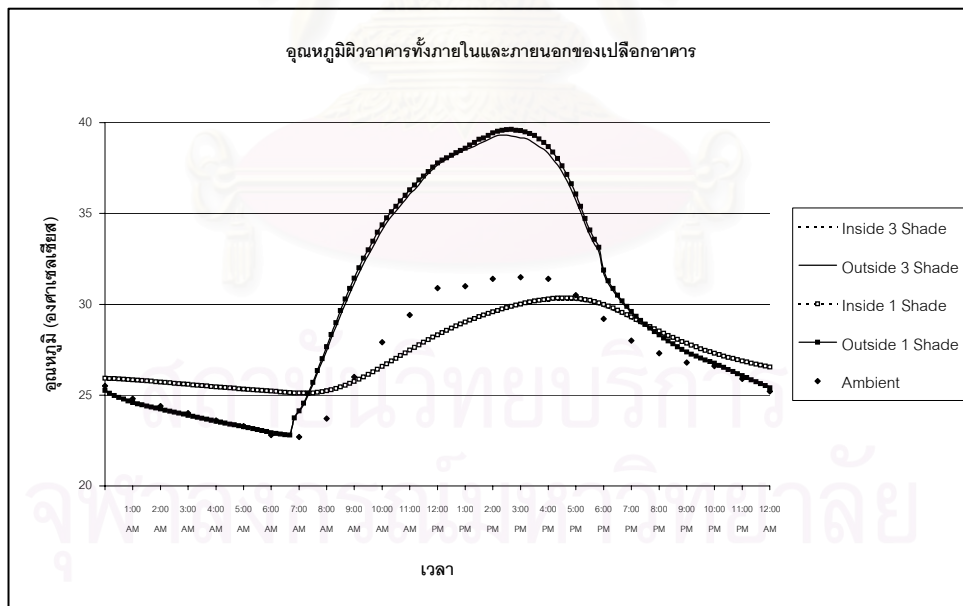
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.2.3.3 ความสามารถในการบังแดดของอุปกรณ์บังแดดทั้งสองชนิด มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่จากรูปที่ 5.2.3.3 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น สามารถบังแดดจากรังสีตรงได้ดีกว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ซึ่งเกิดจาก ช่วงปลายของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น อยู่ใกล้กับผิวของเปลือกอาคารมากกว่า การเปรียบเทียบผลของพลังงานความร้อนบนเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดทั้ง 2 ชนิด จะแสดงดังรูปต่อไป



รูปที่ 5.2.3.4 การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

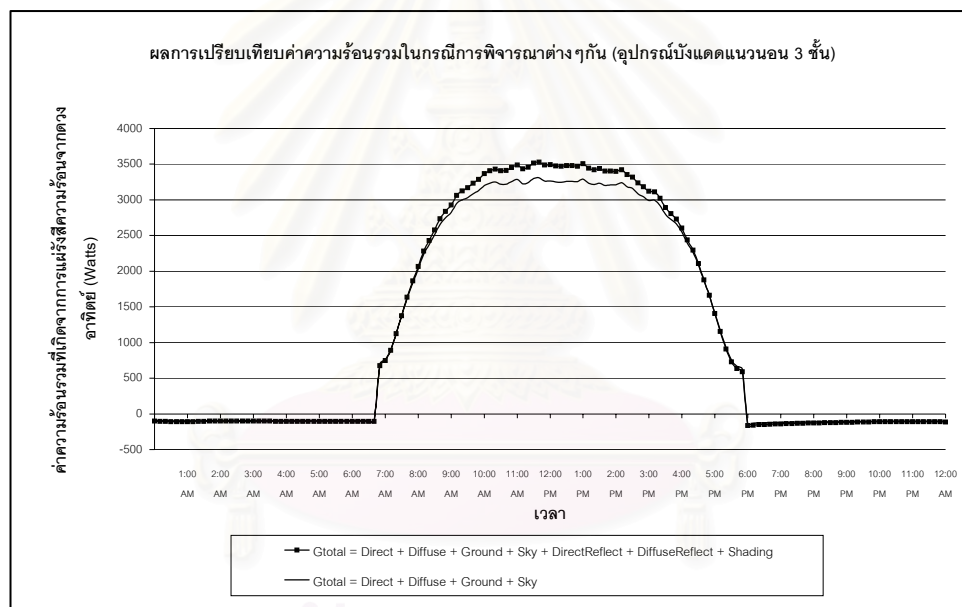


รูปที่ 5.2.3.5 การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

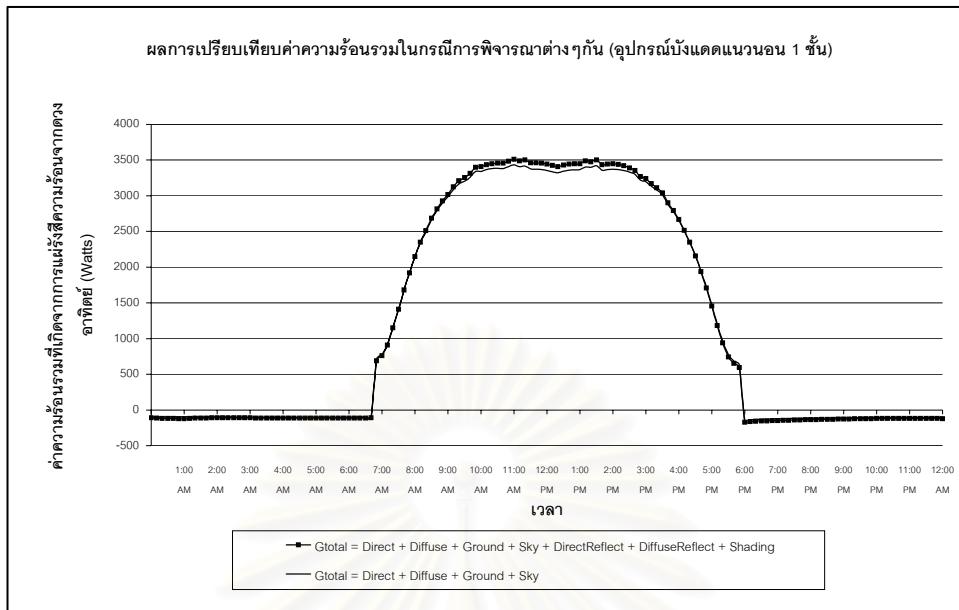


รูปที่ 5.2.3.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารด้านทิศใต้ทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

ค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่ตกบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดทั้งสองชนิดนั้น โดยทั่วไปเพื่อลดความยุ่งยากและจำกัดเวลาในการคำนวณ ผลรวมของการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนเปลือกอาคารนั้น จะเกิดจากองค์ประกอบหลักๆเท่านั้น นั่นคือ ค่าการแผ่รังสีตรง ค่าการแผ่รังสีกระจาย ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินสู่เปลือกอาคาร และ ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า แต่ในโปรแกรมที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมานั้น จะพิจารณาทุกองค์ประกอบที่เกิดขึ้นจริง โดยมีผลจาก การสะท้อนรังสีตรง การสะท้อนรังสีกระจาย และ การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด เพิ่มขึ้นอีก 3 ตัว ซึ่งผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความร้อนรวมที่พิจารณาต่างๆกัน จะแสดงได้ดังรูปที่ 5.2.3.7 และ 5.2.3.8



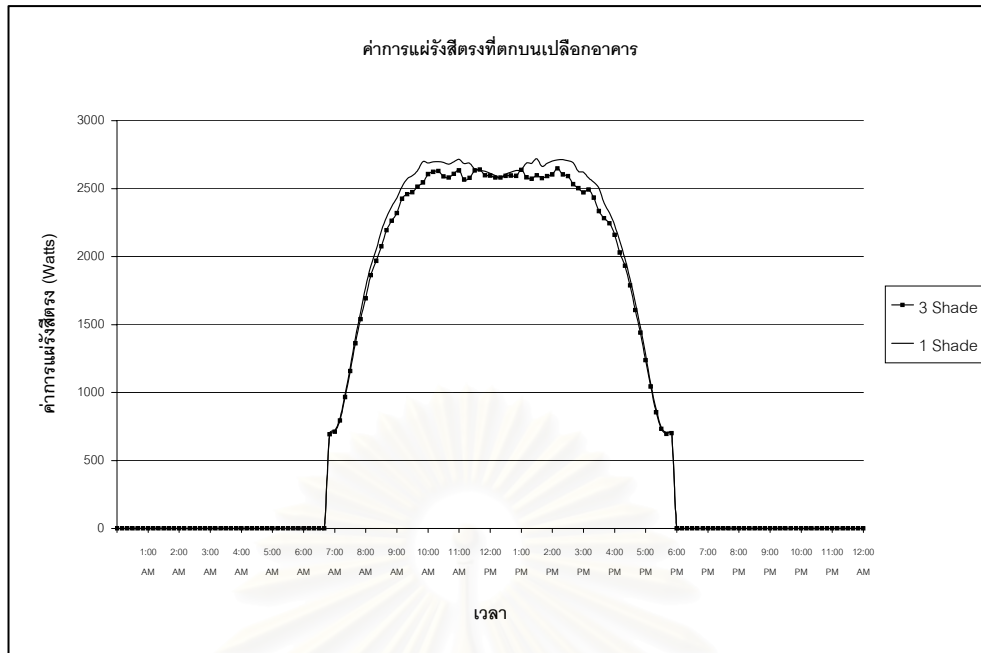
รูปที่ 5.2.3.7 การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ในกรณีการพิจารณาต่างๆกัน เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



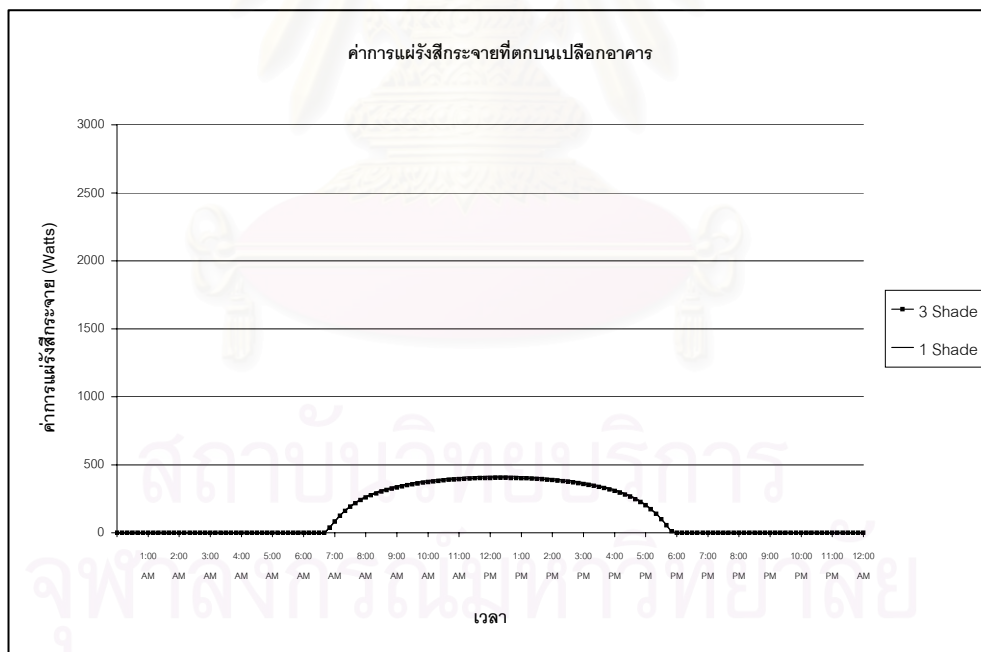
รูปที่ 5.2.3.8 การเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ในกรณีการพิจารณาต่างๆกัน เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

รายละเอียดของ ค่าการแผ่รังสีตรง การแผ่รังสีกระจาย การสะท้อนรังสีตรง การสะท้อนรังสีกระจาย การสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดิน การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า และ การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด ที่ตกบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนทั้งสองชนิด สามารถแยกผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 5.2.3.9 ถึง 5.2.3.15 ได้ดังนี้

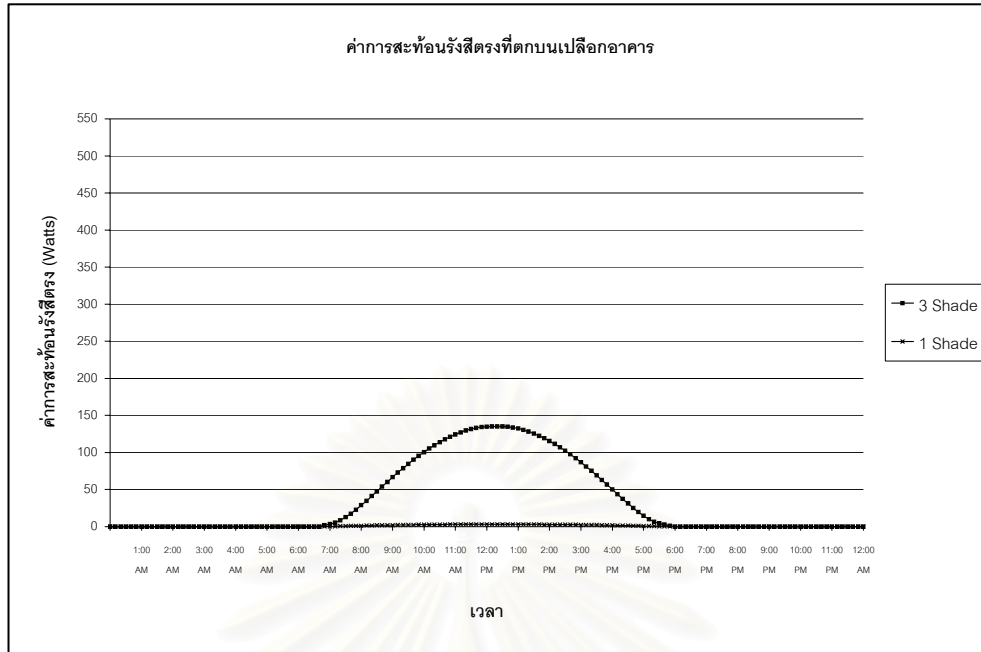
สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



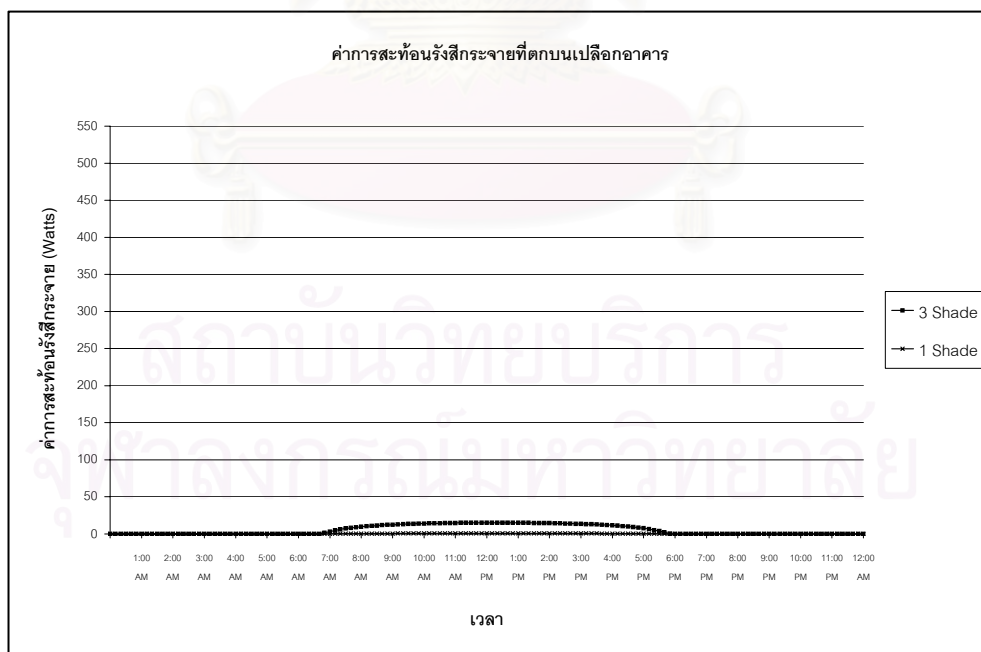
รูปที่ 5.2.3.9 การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีตรงบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



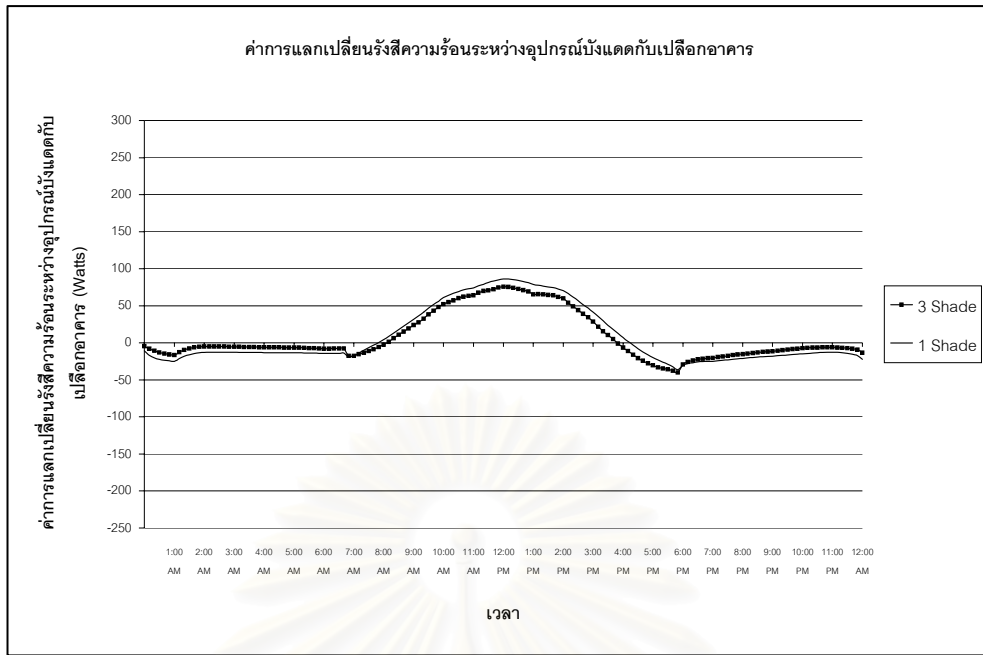
รูปที่ 5.2.3.10 การเปรียบเทียบค่าการแผ่รังสีกระจายบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



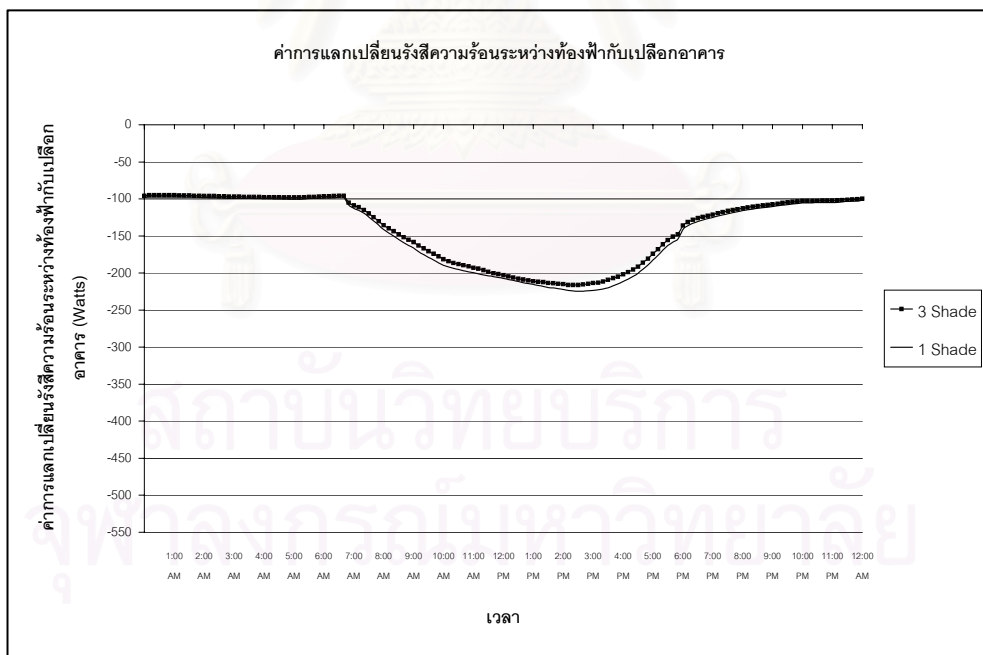
รูปที่ 5.2.3.11 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีตรงบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



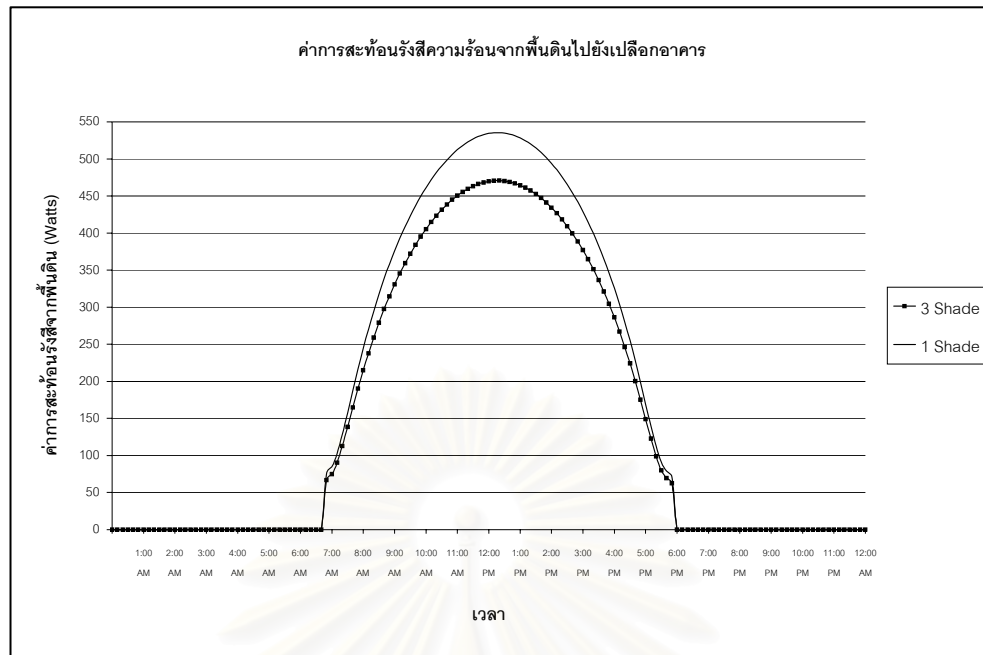
รูปที่ 5.2.3.12 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีกระจายบนเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.3.13 การเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.3.14 การเปรียบเทียบค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างห้องฟ้ายกับเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม



รูปที่ 5.2.3.15 การเปรียบเทียบค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินไปยังเปลือกอาคารด้านทิศใต้เมื่อมีการ ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนแบบ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ของวันที่ 21 ธันวาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนตลอด 24 ชั่วโมง ระหว่างเปลือกอาคารด้านทิศใต้ที่มีการใช้อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ 1 ชั้น จะแสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 5.2.3.1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆกรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ 1 ชั้นของเปลือกอาคารที่หันหน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม

| ข้อมูลเบื้องต้น | | | | | | |
|--|------------------------------------|--------|----------------------|--------|--------|----------------------|
| ทิศของเปลือกอาคาร | : ใต้ | | | | | |
| วันที่ทำการทดลอง | : 21 ธันวาคม | | | | | |
| พื้นที่เปลือกอาคารรวม | : 10 ตารางเมตร (4 เมตร x 2.5 เมตร) | | | | | |
| หัวข้อ | อุปกรณ์บังแดด 1 ชั้น | % | อุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น | % | ผลต่าง | ผลต่าง (เปอร์เซ็นต์) |
| ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคาร (MJ) | 14.99 | - | 14.60 | - | 0.39 | 2.58* |
| ค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อพิจารณาทุกตัว (MJ) | 104.49 | 100 | 103.26 | 100 | 1.22 | 1.17* |
| ค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อพิจารณาเฉพาะบางตัว (MJ) | 103.70 | - | 99.09 | - | 4.61 | 4.45* |
| ค่าการแผ่รังสีตรง (MJ) | 88.28 | 84.49 | 85.42 | 82.72 | 2.85 | 3.23* |
| ค่าการแผ่รังสีกระจาย (MJ) | 12.95 | 12.39 | 12.60 | 12.20 | 0.35 | 2.69* |
| ค่าการสะท้อนรังสีตรง (MJ) | 0.09 | 0.08 | 3.09 | 2.99 | 3.00 | 97.25** |
| ค่าการสะท้อนรังสีกระจาย (MJ) | 0.02 | 0.02 | 0.47 | 0.46 | 0.45 | 95.40** |
| ค่าการสะท้อนรังสีจากพื้นดิน (MJ) | 15.02 | 14.37 | 13.20 | 12.79 | 1.82 | 12.09* |
| ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า (MJ) | -12.54 | -12.00 | -12.14 | -11.75 | -0.41 | 3.26* |
| ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด (MJ) | 0.68 | 0.65 | 0.61 | 0.59 | 0.07 | 9.63* |

(* เทียบกับกรณีมีอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น)

(** เทียบกับกรณีมีอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น)

จากผลการทดสอบในตารางที่ 5.2.3.1 ระหว่างเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแดดจากรังสีตรงบนเปลือกอาคารได้ในระดับเดียวกันนั้น ผลที่เกิดขึ้นจริงแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น มีความสามารถในการลดพลังงานความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากกว่า โดยปริมาณความร้อนรวมตลอดทั้งวัน บนเปลือกอาคารด้านทิศใต้ วันที่ 21 ธันวาคม ของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ต่ำกว่า 1 ชั้น ถึง 2.58% ซึ่งผลเกิดจาก ความสามารถในการบังแดดในรูป 3 มิติ ของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ที่มีต่อเปลือกอาคารมีมากกว่า

ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่มีจำนวนชั้นมากขึ้นโดยมีความสามารถในการบังแดดในรูป 2 มิติ ที่เท่ากัน จะมีการบังแดดที่มากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าทิศทางของดวงอาทิตย์ ทำมุมเกือบขนานกับผิวของเปลือกอาคารความสามารถในการบังแดดของรังสีตรงของเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่มีจำนวนชั้นมากกว่า จะบังแดดได้ดียิ่งขึ้น จากตารางที่ 5.2.3.3 แสดงให้เห็นว่าเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่มีจำนวนชั้นมากขึ้น สามารถลดค่าความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีได้มากขึ้น โดยระยะห่าง และ ความกว้างของอุปกรณ์บังแดด สามารถแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2.3.2 แสดงระยะของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ถึง 5 ชั้น

| จำนวนชั้นของอุปกรณ์บังแดด | ระยะห่างระหว่างชั้น (ซม.) | ความกว้างของอุปกรณ์บังแดด(ซม.) |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1 | - | 90.92 |
| 2 | 58.85 | 45.16 |
| 3 | 39.10 | 30.00 |
| 4 | 29.23 | 22.43 |
| 5 | 23.30 | 17.88 |

ตารางที่ 5.2.3.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนต่างๆของเปลือกอาคารขนาด 10 ตารางเมตร ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นที่หันหน้าทางด้านทิศใต้ ของวันที่ 21 ธันวาคม

| หัวข้อ | ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด | อุปกรณ์บังแดด 1 ชั้น | | อุปกรณ์บังแดด 2 ชั้น | | อุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น | | อุปกรณ์บังแดด 4 ชั้น | | อุปกรณ์บังแดด 5 ชั้น | |
|---|------------------------------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | MJ | MJ | ผลต่าง(%) | MJ | ผลต่าง(%) | MJ | ผลต่าง(%) | MJ | ผลต่าง(%) | MJ | ผลต่าง(%) |
| ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคาร | 19.98 | 14.99 | 24.97 | 14.77 | 26.05 | 14.60 | 26.91 | 14.43 | 27.78 | 14.29 | 28.44 |
| ค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมเมื่อพิจารณาทุกตัว | 148.96 | 104.49 | 29.86 | 104.26 | 30.01 | 103.27 | 30.67 | 102.27 | 31.34 | 101.52 | 31.84 |
| ค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมเมื่อพิจารณาบางตัว | 148.96 | 103.70 | 30.38 | 100.34 | 32.64 | 99.09 | 33.48 | 98.35 | 33.98 | 97.93 | 34.26 |
| ค่าการแผ่รังสีตรง | 134.74 | 88.28 | 34.48 | 86.11 | 36.09 | 85.42 | 36.60 | 84.98 | 36.93 | 84.72 | 37.13 |
| ค่าการแผ่รังสีกระจาย | 17.72 | 12.95 | 26.92 | 12.63 | 28.74 | 12.60 | 28.89 | 12.63 | 28.73 | 12.65 | 28.58 |
| ค่าการสะท้อนรังสีตรง | - | 0.09 | - | 2.68 | - | 3.09 | - | 3.00 | - | 2.82 | - |
| ค่าการสะท้อนรังสีกระจาย | - | 0.02 | - | 0.38 | - | 0.47 | - | 0.49 | - | 0.48 | - |
| ค่าการสะท้อนรังสีจากพื้นดิน | 15.25 | 15.02 | 1.49 | 13.79 | 9.54 | 13.20 | 13.40 | 12.87 | 15.56 | 12.70 | 16.71 |
| ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า | -18.75 | -12.54 | 33.09 | -12.19 | 34.99 | -12.13 | 35.27 | -12.13 | 35.27 | -12.14 | 35.24 |
| ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด | - | 0.68 | - | 0.86 | - | 0.61 | - | 0.43 | - | 0.29 | - |

ผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับกรณีเปลือกอาคารไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

บทที่ 6

วิเคราะห์ สรุป และ เสนอแนะผลงานวิจัย

6.1 ข้อวิเคราะห์ผลงานวิจัย

จากการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการกำหนดให้เปลือกอาคารด้านทิศใต้ วันที่ 21 ธันวาคม ที่มีขนาด 4.00 ม. X 2.50 ม. ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น เพื่อเปรียบเทียบ ค่าพลังงานความร้อนต่างๆที่เกิดขึ้นบนเปลือกอาคาร โดยการกำหนดให้ ค่าการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีลักษณะแจ่มใส ตามแบบของ ฮอตเทล และกำหนดให้มีช่วงเวลาในการทดสอบโปรแกรมทุกๆ 10 นาที และวิธีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารสู่ภายในอาคารโดยใช้วิธีการนำความร้อนแบบ 1 มิติในสภาวะไม่คงที่ โดยอ้างอิงจาก ไพเรซ และ สมิธ และได้มีการเปรียบเทียบผลของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE ดังแสดงในรายละเอียดต่อไป

การเปรียบเทียบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์กับโปรแกรม DOE ได้เปรียบเทียบข้อมูลการใส่ค่าความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ และ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม คือ ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคาร กับ อุณหภูมิผิวของเปลือกภายนอกอาคาร สำหรับเปลือกอาคารด้านทิศใต้ของวันที่ 21 ธันวาคม ที่มีขนาดเปลือกอาคาร 4.00 เมตร x 2.50 เมตร (พื้นที่ 10 ตารางเมตร) กรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จากผลของค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ โปรแกรม DOE มีข้อแตกต่างเกิดขึ้น คือ ในโปรแกรม DOE ช่วงเวลาของการทดสอบจะทำทุก 1 ชั่วโมง ดังนั้น ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะคำนวณทุก 1 ชั่วโมง แต่ในโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นได้กำหนดช่วงเวลาคำนวณทุก 10 นาที และในโปรแกรม DOE จะไม่พิจารณาผลจากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนจากห้องฟ้ากับเปลือกอาคาร ในช่วงเวลาดวงอาทิตย์ตก ซึ่งผลที่ต่างต่างนี้ทำให้ค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นมีค่าต่ำกว่าโปรแกรม DOE และสำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กำหนดให้อุณหภูมิของแต่ละชั้นของผนังอาคารมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ อุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร แต่โปรแกรม DOE ได้ทำการทดสอบตลอดทั้งปี ผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาในช่วงเริ่มต้น ผลจากการทำเงื่อนไขเบื้องต้น (Initial Condition) ที่เท่ากันไม่ได้ เนื่องจากโปรแกรมที่ประดิษฐ์จำเป็นต้องรู้อุณหภูมิของแต่ละชั้นของผนังอาคาร แต่โปรแกรม DOE ให้ค่าอุณหภูมิเพียง

ค่าเดียว คือ อุณหภูมิที่ผิวภายนอก ดังนั้นจึงกำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของทุกชั้นของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นมีค่าเท่ากันตลอดทุกชั้นของผนังอาคาร

ค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคารกับอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารจะมีความสัมพันธ์กัน เมื่อกำหนดให้ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เท่ากัน นั่นคือ ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาจะมีค่ามากขึ้น เมื่ออุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารมีค่าลดลง ในทางกลับกัน ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาจะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1.1 และ 5.1.3 ผลความแตกต่างระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นกับโปรแกรม DOE มีผลมาจาก ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณไม่เท่ากัน และ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ต่างกัน มีผลต่อปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาด้วย

ผลการเปรียบเทียบระหว่างเปลือกอาคารที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด กับ เปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น โดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความสามารถในการบังแดดให้กับเปลือกอาคารได้สูงสุด 47% ที่มุมอัลติจูด 52.5 องศา ตั้งแต่เวลา 11:50น. ถึง 12:50น. ผลของค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ สำหรับตำแหน่งที่มีความสามารถในการบังแดดสูงสุด สามารถลดค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ลงได้ 38.17% กรณีพิจารณาผลจากรังสีความร้อนทุกตัว (รังสีตรง รังสีกระจาย การสะท้อนรังสีตรง การสะท้อนรังสีกระจาย การสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดิน การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด และการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า) และ 42.16% กรณีพิจารณาผลจากรังสีความร้อนบางตัว (รังสีตรง รังสีกระจาย การสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดิน และการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า) แต่เมื่อพิจารณาเพียงค่าการแผ่รังสีตรงเท่านั้น สามารถลดความร้อนลงได้ถึง 47% แสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการบังแดดไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้ว่า ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ว่าจะลดลงเท่ากัน

สำหรับการพิจารณาด้วยผลรวมในแต่ละวัน ตั้งแต่ 0:00 น. ถึง 24:00 น. อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น มีความสามารถในการบังแดดเฉลี่ย เท่ากับ 25.57% ของพื้นที่เปลือกอาคารทั้งหมด สามารถลดค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ได้ 30.67% กรณีพิจารณาผลจากรังสีความร้อนทุกตัว และ 33.48% กรณีพิจารณาผลจากรังสีความร้อนบางตัว โดยเทียบกับกรณีเปลือกอาคารที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลจากรังสีความร้อนบางตัว จะมีความผิดพลาด 4.04% ทั้งนี้ เนื่องจาก ค่าการสะท้อนรังสีตรง ค่าการสะท้อนรังสีกระจาย และ

ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น เท่ากับ 2.99 0.46 และ 0.59% ตามลำดับ (โดยเทียบกับกรณีพิจารณาผลจากรังสีความร้อนทุกตัว)

สำหรับผลของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น จะลดลง 26.91% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อพิจารณาทุกตัว ลดลง 30.67% แสดงให้เห็นว่า ผลของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลา กับค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไม่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงซึ่งกันและกัน ซึ่งผลของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลา จะมีตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าความจุความร้อน ค่าการนำความร้อนของวัสดุทำผนังอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวผนังภายนอกและภายในอาคาร เป็นต้น

เมื่อเปลือกอาคารที่ใช้ทดสอบ ได้ทำการติดตั้งช่องเปิดที่มีขนาด 2.10 ม. X 1.00 ม. โดยมีพื้นที่เท่ากับ 2.1 ตร.ม. หรือคิดเป็น 21 % ของพื้นที่เปลือกอาคารทั้งหมด โดยการกำหนดให้ช่องเปิดเป็นแบบเปิดโล่งเพื่อทดสอบให้เห็นค่าความร้อนที่เข้าสู่สูงสุด ปริมาณความร้อนรวมในแต่ละวันที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีช่องเปิด เพิ่มขึ้น 135.60% โดยเทียบกับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิด และไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด หรือเพิ่มขึ้น 27.086 MJ จากเดิมมีเพียง 19.975 MJ แต่เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแดดที่ช่องเปิดของเปลือกอาคารเฉลี่ย 49.07% ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่ผ่านเปลือกอาคาร เมื่อมีช่องเปิดและอุปกรณ์บังแดด เพิ่มขึ้นเพียง 18.84% โดยเทียบกับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด หรือ เพิ่มขึ้น 3.764 MJ ผลแสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น สามารถลดปริมาณความร้อนลงได้ถึง 116.76%

เมื่อพิจารณาเปลือกอาคารที่ติดตั้งช่องเปิด จะพบว่า ปริมาณความร้อนรวมในแต่ละวันจะมีค่าเพิ่มขึ้น 135.60% กรณีไม่มีอุปกรณ์บังแดด และ 62.61% กรณีติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แสดงให้เห็นว่า ช่องเปิดขนาดเพียง 21 % ของพื้นที่เปลือกอาคาร มีผลกระทบต่อปริมาณความร้อนรวมในแต่ละวันมากถึง 135.60% และ เมื่อพิจารณาเปลือกอาคารที่มีช่องเปิด และมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด กับ เปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิด และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด พบว่า ปริมาณความร้อนรวมในแต่ละวันมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 18.84% แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีช่องเปิดที่เปลือกอาคาร ควรจะมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดควบคู่กัน จะทำให้อุปกรณ์บังแดดมีประสิทธิภาพที่สูงกว่า การลดปริมาณความร้อนของเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิด

จากรูปที่ 5.2.2.1.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อติดตั้งช่องเปิดที่เปลือกอาคาร และมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดควบคู่กันด้วย เพื่อให้ปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางช่องเปิดลดลง แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความร้อนรวมที่เข้าสู่เปลือกอาคารทั้งหมด ในช่วงที่อุปกรณ์บังแดดสามารถบังแสงแดดที่จะเข้าสู่ช่องเปิดได้ 100 % ปริมาณความร้อนจะใกล้เคียงกับ เปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิด และ ไม่มีอุปกรณ์บังแดด แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีช่องเปิดควรจะออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้เหมาะสมกับปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ในบางเวลา ความสามารถในการบังแดดที่ผ่านช่องเปิด ไม่สามารถบังแดดได้ 100 % ปริมาณความร้อนรวมที่เข้าสู่อาคารจะมีค่าสูงกว่าเดิมมาก ผลต่างของปริมาณความร้อนรวม จึงแตกต่างกัน 18.84 %

สำหรับผลการเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น กับ อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแสงแดดจากรังสีตรงได้ในระดับเดียวกัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ลดลง 1.17% กรณีพิจารณาค่ารังสีความร้อนทุกตัว และลดลง 4.45% กรณีพิจารณาค่ารังสีความร้อนบางตัว แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบที่เกิดจากการแผ่รังสีบางตัวที่ไม่ได้พิจารณา ส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น 3.28%

สำหรับค่าการแผ่รังสีรวมที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เมื่อพิจารณาเพียงบางตัว (รังสีตรง รังสีกระจาย การสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดิน และ การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับท้องฟ้า) สำหรับอุปกรณ์ บังแดดแนวนอน 3 ชั้น แสดงให้เห็นว่ามีค่าต่ำกว่า 4.04% และ สำหรับอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น มีค่าต่ำกว่า 0.75% เทียบกับค่าการแผ่รังสีรวมเมื่อพิจารณาทุกตัว จากผลการทดสอบนี้ แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีอุปกรณ์บังแดดแนวนอนหลายชั้นมากขึ้น การพิจารณารังสีความร้อนที่เกิดจากการสะท้อนรังสีตรง และ การสะท้อนรังสีกระจาย มีผลกระทบมากขึ้น

สำหรับผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าการแผ่รังสีตรงของเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด 3 ชั้น กับ 1 ชั้น จะเห็นได้ว่า ถึงแม้ความสามารถในการบังแดดในรูป 2 มิติ ตั้งแต่มุมอัลติจูด เท่ากับ 0 ถึง 52.5 องศา จะมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาในรูป 3 มิติ จะเห็นว่าอุปกรณ์บังแดดที่มีจำนวนชั้นที่มากกว่าจะมีผลทำให้การบังแดดมีค่ามากกว่าตามไปด้วย ดังผลของการแผ่รังสีตรง การแผ่รังสีกระจาย การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างท้องฟ้ากับเปลือกอาคาร จึงลดลง 3.23% 2.69% และ 3.26% ตามลำดับ

สำหรับการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ตัวแปรหลัก คือ ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของอุปกรณ์บังแดด และ อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดด โดยลดค่าทั้งสองลงจะทำให้ผลของรังสีความร้อนลดลง แต่เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดด จากวัสดุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม จะเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การเปล่งรังสีสูง เท่ากับ 0.93 และกำหนดวัสดุเพื่อให้อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดดสูงด้วย โดยกำหนดให้ความหนาของอุปกรณ์บังแดดที่น้อยเท่ากับ 4 มิลลิเมตร และเพื่อวัตถุประสงค์ในการนำความร้อนแบบ 1 มิติ เพื่อให้อุณหภูมิผิวทั้งด้านบนและด้านล่างของอุปกรณ์บังแดดมีค่าที่สูง เพื่อนำผลของรังสีความร้อนชนิดนี้มาเปรียบเทียบกับรังสีความร้อนชนิดอื่น ผลแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าอุณหภูมิผิวและค่าการเปล่งรังสีของอุปกรณ์บังแดดจะมีค่าที่สูง ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น เท่ากับ 0.65 และ 0.59% เทียบกับค่าความร้อนรวม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ว่าจะกำหนดให้มีคุณสมบัติของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนที่สูง แต่สัดส่วนของค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด เทียบกับค่าความร้อนรวมมีค่าต่ำมาก ซึ่งสามารถละผลจากส่วนนี้ได้

6.2 ข้อสรุปผลงานวิจัย

ผลกระทบจากการสะท้อนรังสีตรง และ การสะท้อนรังสีกระจาย จะมีผลมากขึ้น เมื่ออุปกรณ์บังแดดมีจำนวนชั้นมากขึ้น โดยมีความสามารถในการบังแดดจากรังสีตรงในระดับเดียวกัน และ สำหรับการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคาร เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น มีค่าเท่ากับ 0.65 และ 0.59% ของค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมทั้งหมด ตามลำดับ ถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดให้คุณสมบัติต่างๆ เช่น ความหนาของอุปกรณ์บังแดดที่บางขนาด 4 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อนที่สูง เพื่อให้อุณหภูมิผิวของอุปกรณ์บังแดด และ กำหนดให้ค่าการเปล่งรังสีที่สูงแล้ว ผลของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคาร ยังมีค่าต่ำ ซึ่งสามารถละผลนี้ได้เพื่อลดระยะเวลาและความซับซ้อนในการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ลง

สำหรับการเปรียบเทียบความสามารถในการบังแดดจากรังสีตรงของอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น และ 3 ชั้น เมื่อกำหนดให้ความสามารถในการบังแดดจากรังสีตรงในรูป 2 มิติที่เท่ากัน แต่จากผลลัพธ์ที่ใช้ในการคำนวณแบบ 3 มิติ แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่มีจำนวนชั้นมากขึ้น จะมีผลทำให้ความสามารถในการบังแดดได้มากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความ

ร้อนของการแผ่รังสีตรง การแผ่รังสีกระจาย การแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างห้องฟ้ากับเปลือกอาคาร และการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดินลดลง

สำหรับเปลือกอาคารที่มีช่องเปิด 21% ของพื้นที่เปลือกอาคารทั้งหมด เมื่อไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่เข้าสู่อาคารจะมีค่าสูงกว่าเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดถึง 135.60% แต่เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่เข้าสู่อาคารจะมีค่าสูงชันเพียง 18.84% และช่วงเวลาที่อุปกรณ์บังแดดสามารถบังแดดได้ 100% ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่เข้าสู่อาคารในช่วงนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับเปลือกอาคารที่ไม่มีช่องเปิดและไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด แต่ในช่วงบ่าย ความสามารถในการบังแดดลดลง ส่งผลให้ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงเวลาที่ได้รับปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาสูงสุด การควบคุมเพื่อไม่ให้ปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาในช่วงบ่ายสูงชันนั้น สามารถทำได้โดยติดตั้งอุปกรณ์บังแดดหลายชั้นที่สามารถปรับมุมได้เพื่อบังแดดในช่วงบ่ายที่จะลอดผ่านนี้ หรือ ใช้สภาพแวดล้อมเป็นส่วนในการช่วยลดปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาได้เช่นกัน

6.3 ข้อเสนอแนะผลงานวิจัย

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอนจำนวนชั้นมากขึ้น จะมีผลทำให้ความสามารถในการบังแดดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการติดตั้งจำนวนชั้นของอุปกรณ์บังแดดมากขึ้น ค่าการสะท้อนรังสีตรง และ ค่าการสะท้อนรังสีกระจาย เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ผลของการสะท้อนรังสีตรง และการสะท้อนรังสีกระจายสามารถลดได้ตั้งนั้นเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณลง สามารถกำหนดให้อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น เปรียบเสมือน อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น ที่มีความสามารถในการบังแดดที่ใกล้เคียงกัน เพื่อช่วยลดขั้นตอนในการคำนวณลงได้เช่นกัน จากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น มีค่าสูงกว่าอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น เพียง 1.17% หรือ เพื่อลดผลจากการสะท้อนรังสีตรง และการสะท้อนรังสีกระจาย สำหรับอุปกรณ์บังแดดที่มีจำนวนชั้นมากขึ้น สามารถทำได้ โดยเลือกวัสดุที่จะใช้ทำอุปกรณ์บังแดดที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนที่ต่ำๆได้เช่นกัน

เมื่อพิจารณาค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเปลือกอาคาร จะเห็นว่ากำหนดให้อุปกรณ์บังแดดมีความหนาเพียง 4 มิลลิเมตร เพื่อให้อุณหภูมิผิวด้านในใต้ของ

อุปกรณ์บังแดดมีค่าสูงพอเพื่อใช้ในการคำนวณ แต่ผลที่ได้สำหรับค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างอุปกรณ์บังแดดแนวนอนกับเปลือกอาคาร เพียง 0.59 และ 0.65% สำหรับ 1 ชั้น และ 3 ชั้น ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ชนิดและความหนาของอุปกรณ์บังแดดไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ และ ความหนาที่มากพอ สำหรับลดค่าความร้อนของส่วนนี้

สำหรับเปลือกอาคารที่มีช่องเปิด เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น จะเห็นว่าในช่วงบ่าย ปริมาณความร้อนสูงมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์บังแดดไม่สามารถบังแดดในแนวนี้ได้ ส่งผลให้ปริมาณความร้อนของช่วงบ่ายมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดที่ปรับมุมได้ซึ่งคล้ายกับมู่ลี่ หรือใช้สภาพแวดล้อม เช่น ต้นไม้ อาคารหลังถัดไปเป็นอุปกรณ์ช่วยในการบังแดดในช่วงบ่ายที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้ปริมาณความร้อนในช่วงนี้ลดลงได้เช่นกัน

จากผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น การใช้ค่าการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ทางทฤษฎี เพื่อนำผลของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นสูงสุดมาพิจารณา อุปกรณ์บังแดดที่มีทิศทางในแนวนอนเพียงอย่างเดียว และ การละอิทธิพลของเปลือกอาคารด้านอื่น มีส่วนทำให้ผลที่ได้จากการทดสอบ มีค่าที่ต่างจากความเป็นจริง และ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเห็นว่าการประกอบสำหรับการคำนวณที่สำคัญ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนบนเปลือกอาคาร ที่มีผลต่อค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลา และอุณหภูมิผิวของเปลือกอาคาร อย่างมาก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ในทางทฤษฎี ถูกนำมาใช้ ผลที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ส่งผลให้อุณหภูมิผิวของเปลือกอาคารมีค่าสูงขึ้นมาก แต่เมื่อใช้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากโปรแกรมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น โปรแกรม DOE ค่าที่เกิดขึ้น ก็จะมีค่าที่ต่างจากทฤษฎีมาก ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อ้างอิงจากโปรแกรม DOE ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ผลจากสัมประสิทธิ์การพาความร้อนบนเปลือกอาคารจึงเป็นหัวข้อที่น่าจะมีการศึกษาต่อไป

สิ่งที่หน้าศึกษาต่อไปจากผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ คือ การลดความซับซ้อนของโปรแกรม โดยพิจารณาผลของค่าการแผ่รังสีตรง ค่าการแผ่รังสีกระจาย ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนจากพื้นดิน และ ค่าการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างเปลือกอาคารกับอุปกรณ์บังแดด เพียงอย่างเดียว แต่อุปกรณ์บังแดดที่ใช้ในการทดสอบสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพในการบังแดดสูงสุด โดยไม่มีการกำหนดให้อุปกรณ์บังแดดเป็นระนาบ และ ช่องเปิดควรมีการติดตั้งหน้าต่าง หรือ กระจกชนิดต่างๆ และ ที่สำคัญ คือ การหาค่าปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาของอาคาร ซึ่งรวมเปลือกอาคารทั้ง 4 ด้าน และหลังคา กับพื้นอาคาร เพื่อหาผลของปริมาณความร้อนรวมต่อหน่วยเวลาที่เข้าสู่อาคารอย่างแท้จริง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. การถ่ายเทความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์
เซ็นเตอร์ การพิมพ์, 2526.

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Abraham, Yezioro.; and Edna, Shaviv. Shading a Design Tool for Analyzing Mutual
Shading between Buildings. Pergamon Journal Solar Energy 52 (1994) :
23-37.

ASHRAE Technical Committees and Task Group. 1997 ASHRAE HANDBOOK
FUNDAMENTALS. SI ed. Atlanta : American Society of Heating,
Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc , 1997

Frank, P., Incropera.; and David, P., Dewitt. Introduction to Heat Transfer. 3rd ed.
New York : John Wiley & Son, 1996.

Giovanni, S., Barozzi. Shading Effect of Eggcrate Devices on Vertical Windows of
Arbitrary Orientation. Pergamon Journal Solar Energy 39 (1987) :
329-342.

John, A., Duffie. Solar Engineering of Thermal Processes. New York : A Wiley
Interscience Publication, 1980.

Mccluney, R., Ph.D. Awning Shading Algorithm Update. Ashrae Transaction 96 (1997) :
34-38.

Mohammed, Ahmed Hamdan. Thermal Gains Through Windows. Pergamon Energy
Conversion 35 (1994) : 501-506.

- Pfrommer, P.; Lomas, K. J.; and Kupke, Chr. Solar Radiation Transport Through Slat-Type Blinds a New Model and its Application for Thermal Simulation of Buildings. Pergamon Journal Solar Energy 57 (1996) : 77-91.
- Price, B. A.; and Smith, T. F. Thermal Response of Composite Building Envelope Accounting for Thermal Radiation. Pergamon Energy Conversion 32 (1995) : 23-33.
- Richard, J., Liesen. Ph.D. An Evaluation of Inside Surface Heat Balance Model for Cooling Load Calculations. ASHRAE Transaction 103 (1997) : 485-502.
- Sattler, M. A.; Sharples, S.; and Page, J. K. The Geometry of The Shading of Buildings by Various Tree Shapes. Pergamon Journal Solar Energy 38 (1987) : 187-201.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

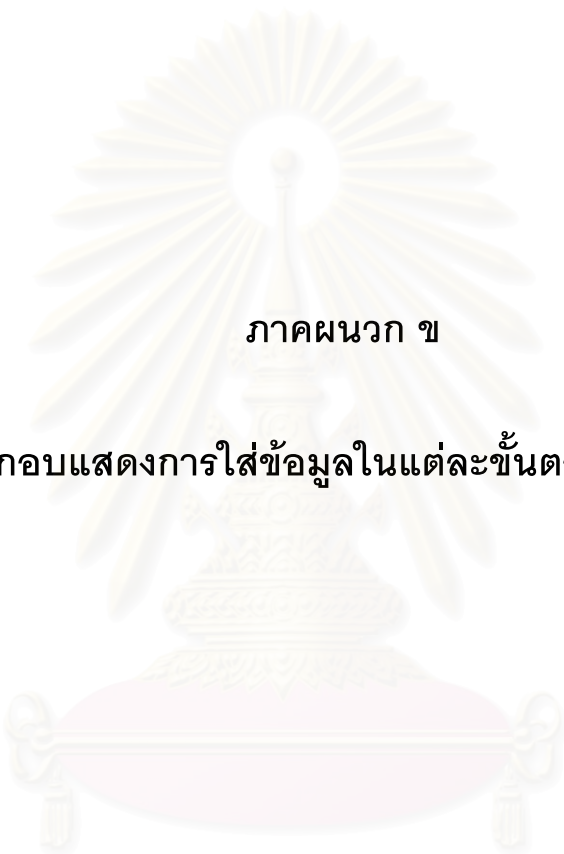


ภาคผนวก ก

ข้อมูลเบื้องต้นของผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม
สำหรับวันที่ 21 ธันวาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

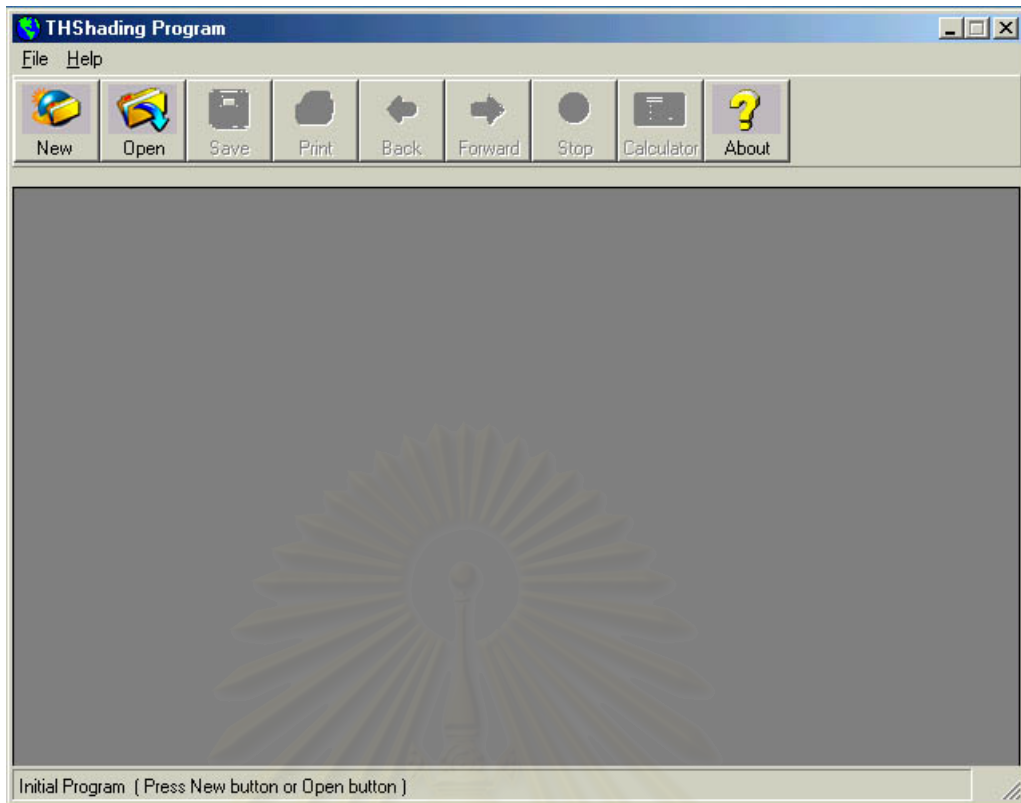
| Input Data | | | | | | |
|-----------------------------|---|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Step1 | Input Data | | | | | |
| | มุมของผนังอาคารที่ทำมุมกับทิศเหนือ (B :องศา) | 180 | | | | |
| | ความยาวของผนังอาคาร (W :ชม.) | 400 | | | | |
| Step2 | ความสูงของผนังอาคาร (H :ชม.) | 250 | | | | |
| | จำนวนชั้นวัสดุของผนังอาคาร(ชั้น) | 3 | | | | |
| | ชั้นที่ | วัสดุชนิด | k (w/m.K) | Cp (J/kg.K) | p(kg/m3) | หนา(cm) |
| | 1 | Cement mortar | .72 | 780 | 1860 | 1 |
| Step3 | 2 | Brick ,common | .72 | 835 | 1920 | 10 |
| | 3 | Cement mortar | .72 | 780 | 1860 | 1 |
| | 1. จำนวนชั้นของอุปกรณ์ผนังแคด | 3 | | | | |
| | 2. ความยาวของอุปกรณ์ผนังแคด (Z : cm) | 30 | | | | |
| | 3. ความหนาของอุปกรณ์ผนังแคด (Y : cm) | .4 | | | | |
| | 4. ความกว้างของอุปกรณ์ผนังแคด (X : cm) | 400 | | | | |
| | 5. ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผนังแคดทั้งสอง (t : cm) | 39.1 | | | | |
| | 6. ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผนังแคดกับผนังอาคาร (S : cm) | 15 | | | | |
| | 8. ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผนังแคดกับผนังอาคาร (X1 : cm) | 0 | | | | |
| | 7. ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ผนังแคดกับเพดานอาคาร (U : cm) | 15 | | | | |
| Step4 | ชนิดวัสดุ | k (w/m.K) | Cp (J/kg.K) | p(kg/m3) | | |
| | Asbestos-cement board | .58 | 1000 | 1920 | | |
| Step4 | Time | WindIn (km/hr) | WindOut (km/hr) | TempAirIn (oC) | TempAirOut (oC) | DewPoint (oC) |
| | 00.00 AM | 0.9 | 0 | 26 | 25.5 | 19.29 |
| | 01.00 AM | 0.9 | 0 | 26 | 24.8 | 19.3 |
| | 02.00 AM | 0.9 | 1.85 | 26 | 24.4 | 19.02 |
| | 03.00 AM | 0.9 | 1.85 | 26 | 24 | 18.74 |
| | 04.00 AM | 0.9 | 1.85 | 26 | 23.6 | 18.62 |
| | 05.00 AM | 0.9 | 1.85 | 26 | 23.3 | 18.29 |
| | 06.00 AM | 0.9 | 1.85 | 26 | 22.8 | 19.16 |
| | 07.00 AM | 0.9 | 1.85 | 26 | 22.7 | 19.2 |
| | 08.00 AM | 0.9 | 3.7 | 26 | 23.7 | 19.96 |
| | 09.00 AM | 0.9 | 5.55 | 26 | 26 | 19.69 |
| | 10.00 AM | 0.9 | 5.55 | 26 | 27.9 | 18.47 |
| | 11.00 AM | 0.9 | 7.4 | 26 | 29.4 | 18.57 |
| | 12.00 PM | 0.9 | 7.4 | 26 | 30.9 | 17.65 |
| | 01.00 PM | 0.9 | 7.4 | 26 | 31 | 18.13 |
| | 02.00 PM | 0.9 | 5.55 | 26 | 31.4 | 18.1 |
| | 03.00 PM | 0.9 | 5.55 | 26 | 31.5 | 17.52 |
| | 04.00 PM | 0.9 | 5.55 | 26 | 31.4 | 17.21 |
| | 05.00 PM | 0.9 | 3.7 | 26 | 30.5 | 17.86 |
| | 06.00 PM | 0.9 | 3.7 | 26 | 29.2 | 18.5 |
| | 07.00 PM | 0.9 | 1.85 | 26 | 28 | 18.75 |
| | 08.00 PM | 0.9 | 1.85 | 26 | 27.3 | 19.08 |
| | 09.00 PM | 0.9 | 1.85 | 26 | 26.8 | 19 |
| | 10.00 PM | 0.9 | 1.85 | 26 | 26.6 | 18.93 |
| 11.00 PM | 0.9 | 3.7 | 26 | 25.9 | 18.78 | |
| 12.00 PM | 0.9 | 0 | 26 | 25.2 | 19.43 | |
| Step5 | ผิวของผนังภายนอกอาคาร | | | | | |
| | วัสดุชนิด | Emissivity | Absorptance | Reflectivity | | |
| | Concrete | .88 | .6 | .4 | | |
| | ผิวของผนังภายในอาคาร | | | | | |
| | วัสดุชนิด | Emissivity | Absorptance | Reflectivity | | |
| | Concrete | .88 | .6 | .4 | | |
| | ผิวของอุปกรณ์ผนังแคด | | | | | |
| | วัสดุชนิด | Emissivity | Absorptance | Reflectivity | | |
| | Asbestos-Cement Board | .93 | .63 | .37 | | |
| | ค่าการเปล่งรังสีของท้องฟ้า | .5 | | | | |
| ค่าการสะท้อนรังสีของพื้นดิน | .2 | | | | | |
| Step6 | 1. วันที่ใช้ในการคำนวณ | December | 21 | | | |
| | 2. ละติจูด (องศา) | North | 13.92 | | | |
| | 3. ลองจิจูดมาตรฐาน (องศา) | East | 105 | | | |
| | 4. ลองจิจูดท้องถิ่น (องศา) | East | 100.6 | | | |
| | 5. ลักษณะภูมิประเทศ | Tropical zone | | | | |
| | 6. ระดับความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเล (เมตร) | 12 | | | | |



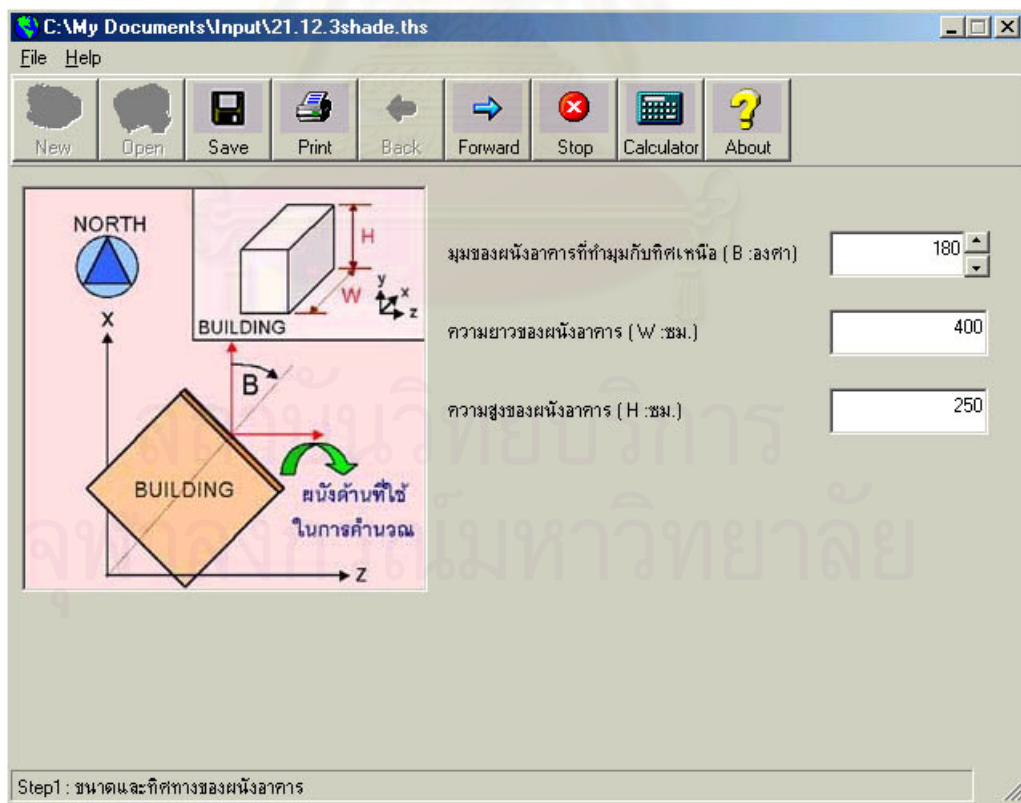
ภาคผนวก ข

ภาพประกอบแสดงการใส่ข้อมูลในแต่ละขั้นตอนของโปรแกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.1 หน้าจอหลักของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

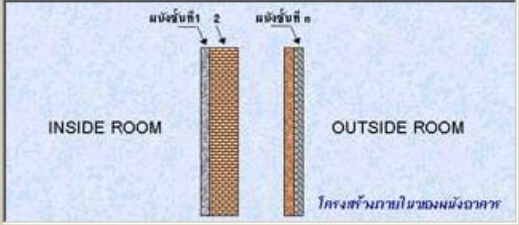


รูปที่ ข.2 หน้าจอขั้นตอนที่ 1 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับการใส่ขนาดและทิศทางของผนังอาคาร

C:\My Documents\Input\21.12.3shade.ths

File Help

New Open Save Print Back Forward Stop Calculator About



จำนวนชั้นวัสดุของผนังอาคาร(ชั้น)

3

หมายเหตุ : ชั้นของผนังกำหนดได้สูงสุดเพียง 7 ชั้นเท่านั้น

| ชั้นที่ | วัสดุชนิด | k (w/m.K) | Cp (J/kg.K) | p(kg/m3) | หนา(cm) |
|---------|---------------|-----------|-------------|----------|---------|
| 1 | Cement mortar | .72 | 780 | 1860 | 1 |
| 2 | Brick ,common | .72 | 835 | 1920 | 10 |
| 3 | Cement mortar | .72 | 780 | 1860 | 1 |

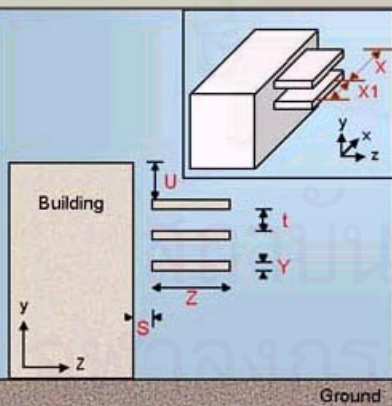
Step2 : วัสดุของผนังอาคาร

รูปที่ ข.3 หน้าจอขั้นตอนที่ 2 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุของผนังอาคาร

C:\My Documents\Input\21.12.3shade.ths

File Help

New Open Save Print Back Forward Stop Calculator About

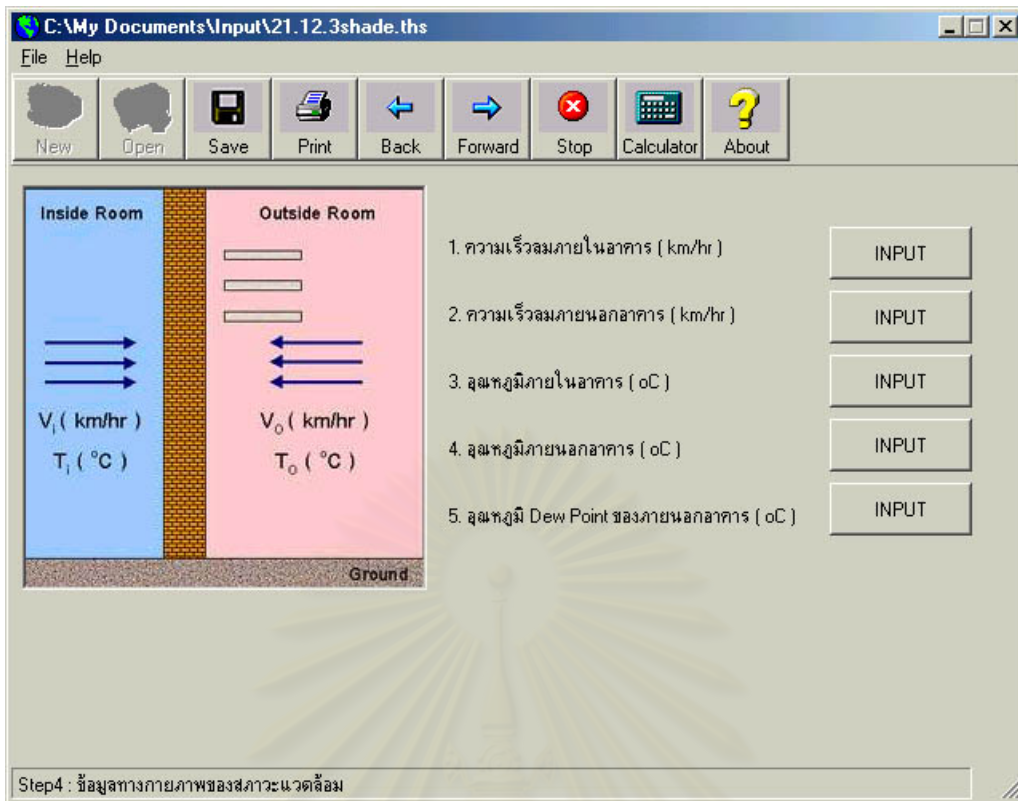


- จำนวนชั้นของอุปกรณ์บังแดด
- ความยาวของอุปกรณ์บังแดด (Z : cm)
- ความหนาของอุปกรณ์บังแดด (Y : cm)
- ความกว้างของอุปกรณ์บังแดด (X : cm)
- ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดทั้งสอง (t : cm)
- ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร (S : cm)
- ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร (X1 : cm)
- ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับเพดานอาคาร (U : cm)

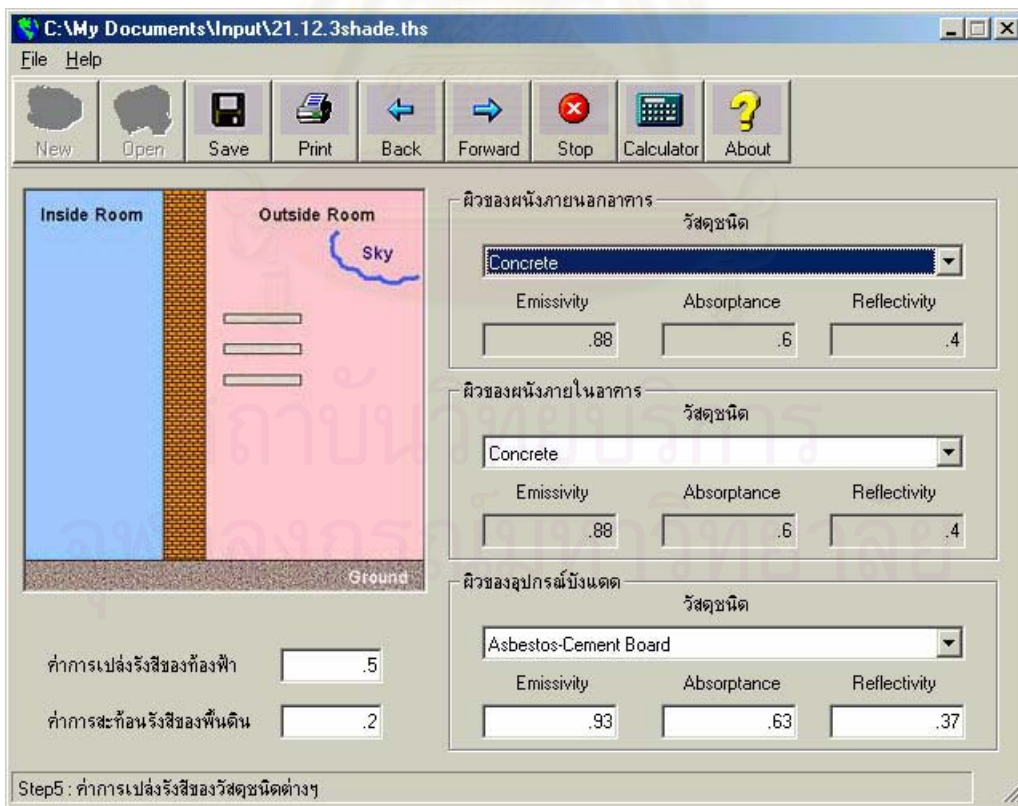
| ชนิดวัสดุ | k (w/m.K) | Cp (J/kg.K) | p(kg/m3) |
|-----------------------|-----------|-------------|----------|
| Asbestos-cement board | .58 | 1000 | 1920 |

Step3 : ข้อมูลของอุปกรณ์บังแดด

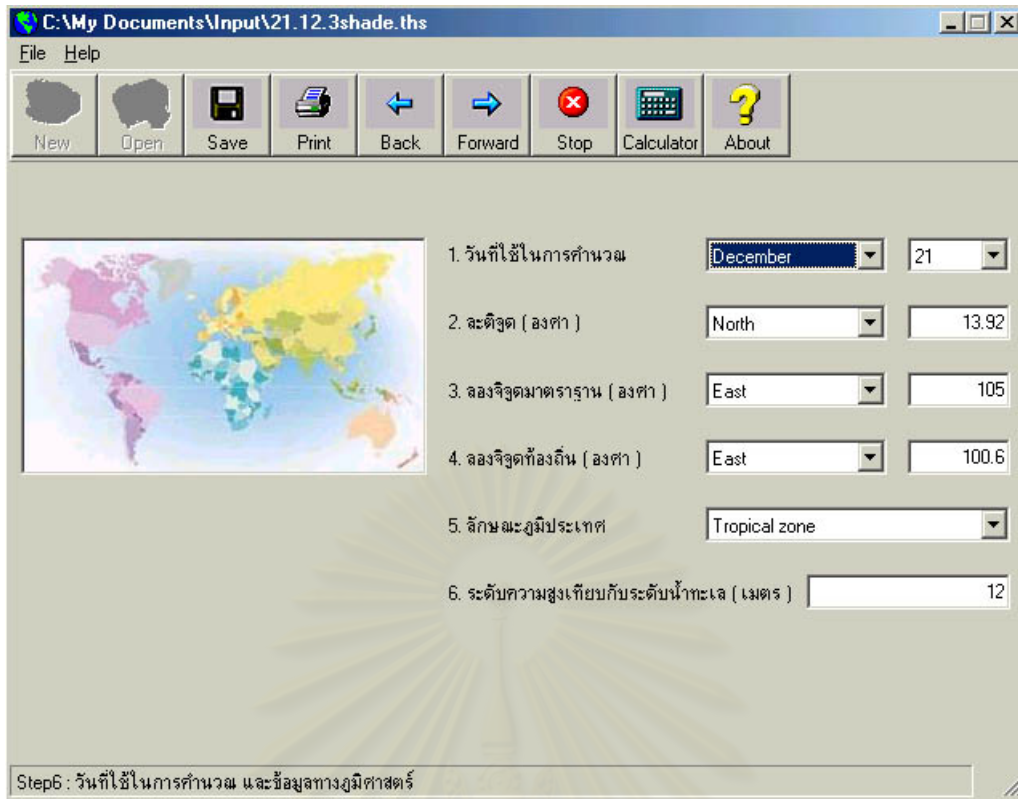
รูปที่ ข.4 หน้าจอขั้นตอนที่ 3 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลของอุปกรณ์บังแดด



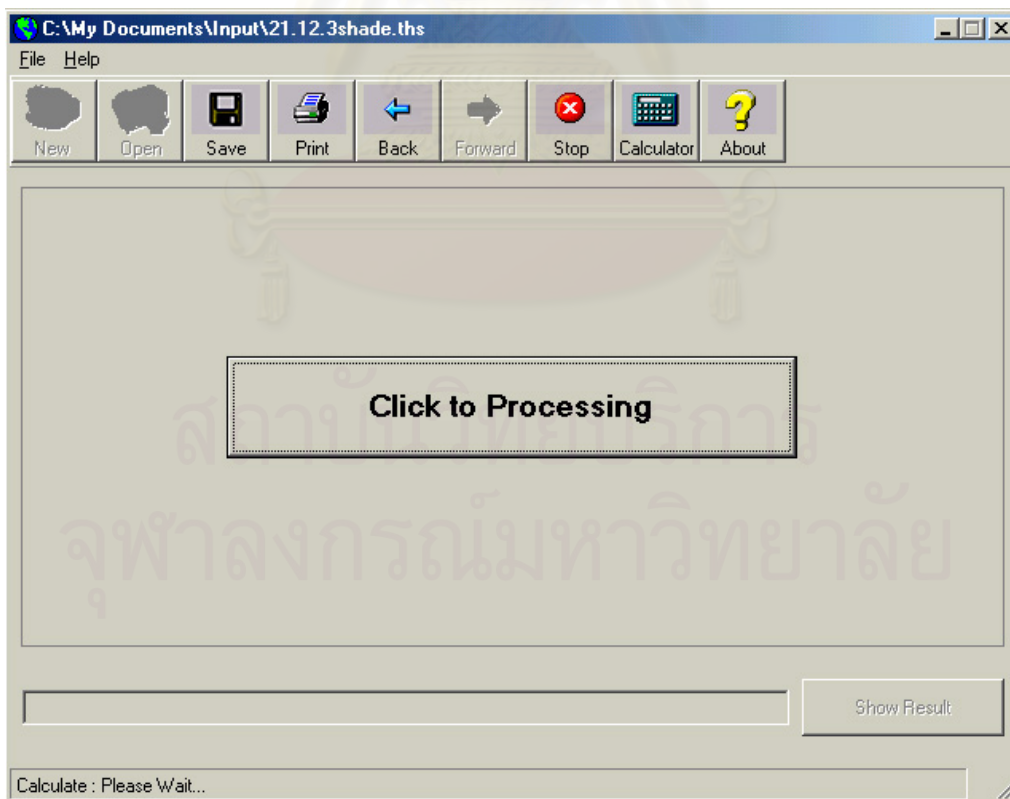
รูปที่ ข.5 หน้าจอขั้นตอนที่ 4 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลทางกายภาพของสภาวะแวดล้อม



รูปที่ ข.6 หน้าจอขั้นตอนที่ 5 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับค่าการเปล่งรังสีของวัสดุชนิดต่างๆ



รูปที่ ข.7 หน้าจอขั้นตอนที่ 6 การใส่ข้อมูลเกี่ยวกับวันที่ใช้ในการคำนวณและข้อมูลทางภูมิศาสตร์



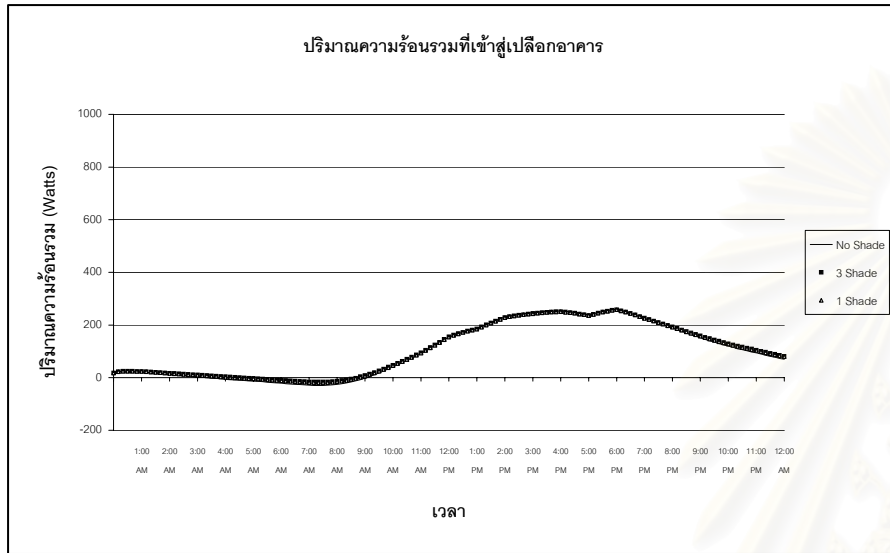
รูปที่ ข.8 หน้าจอแสดงการขั้นตอนเริ่มต้นการคำนวณโปรแกรมคอมพิวเตอร์



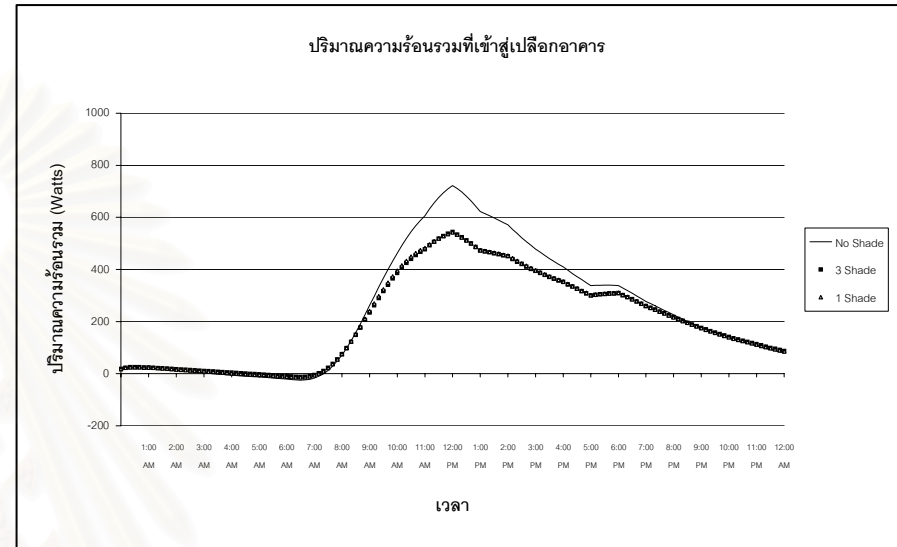
ภาคผนวก ค

กราฟเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคาร
เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ
ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในวันที่ต่างๆ

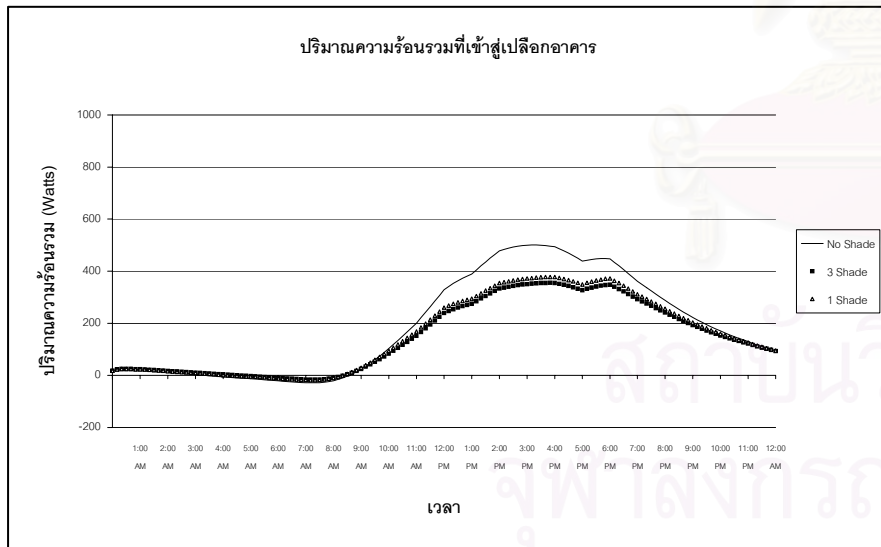
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



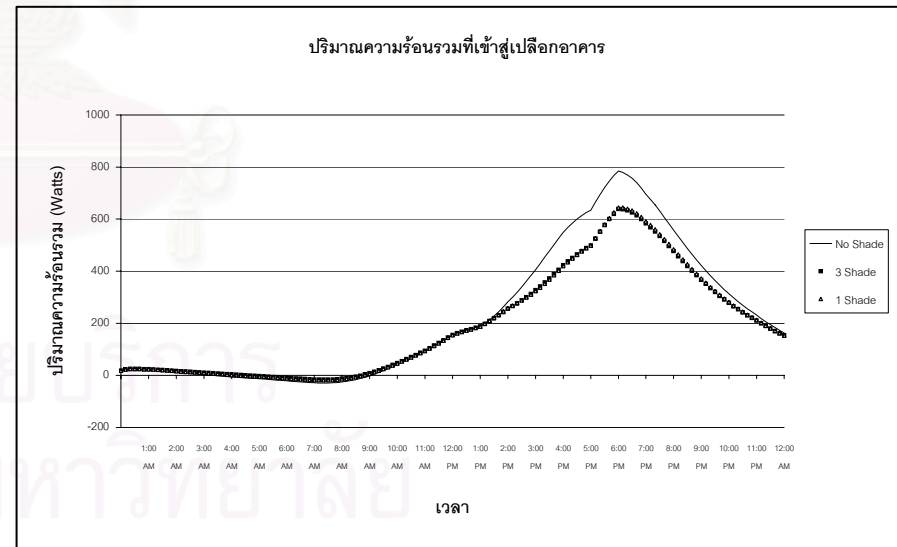
เหนือ



ตะวันออก



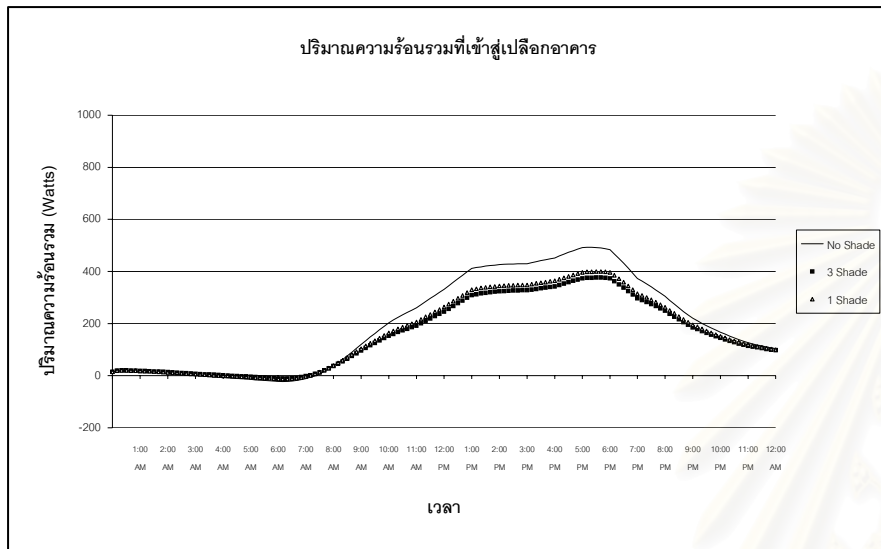
ใต้



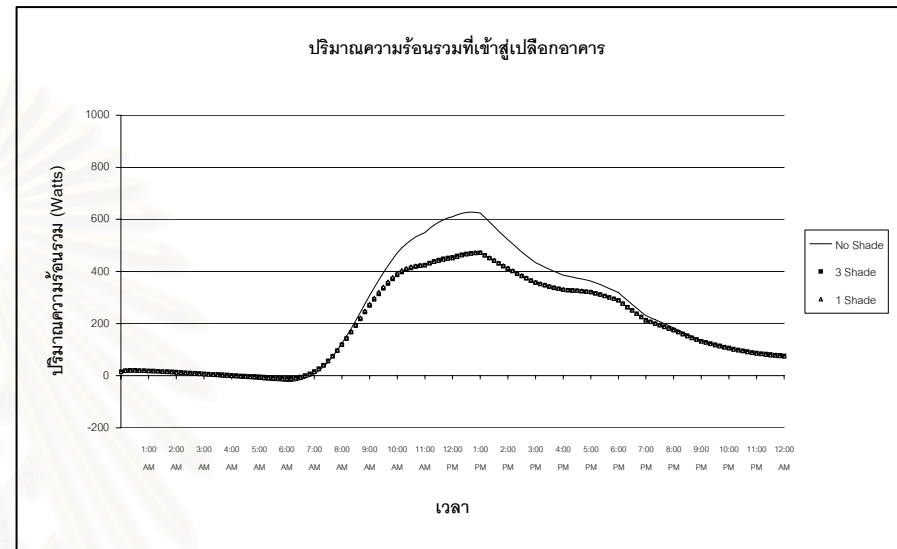
ตะวันตก

21 มีนาคม

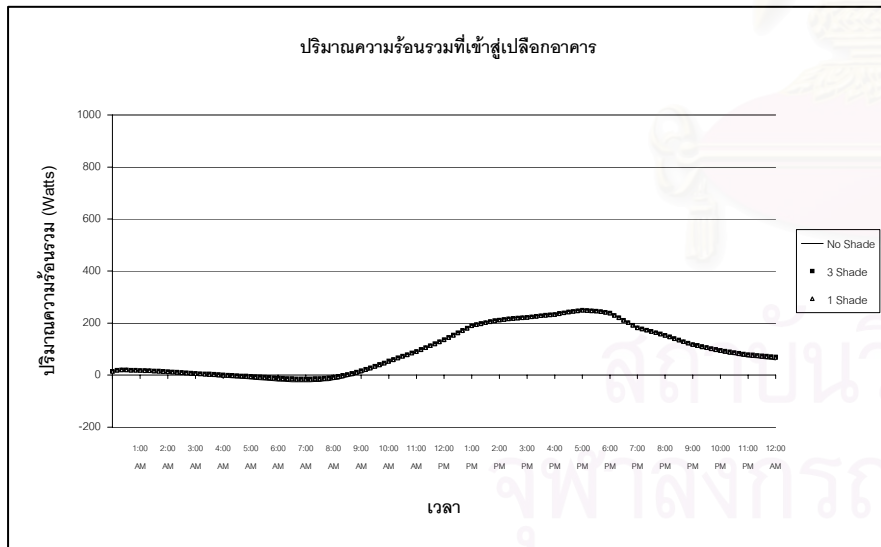
รูปที่ ค.1 ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



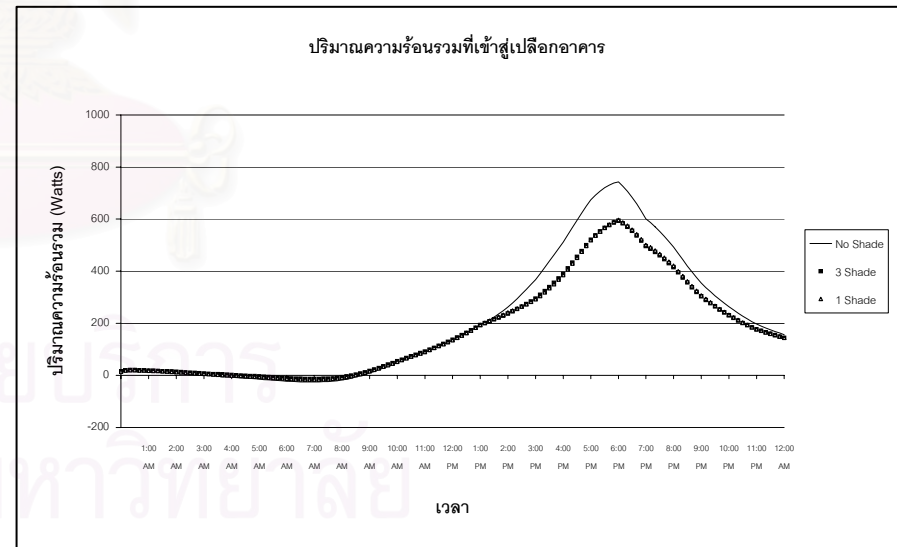
เหนือ



ตะวันออก



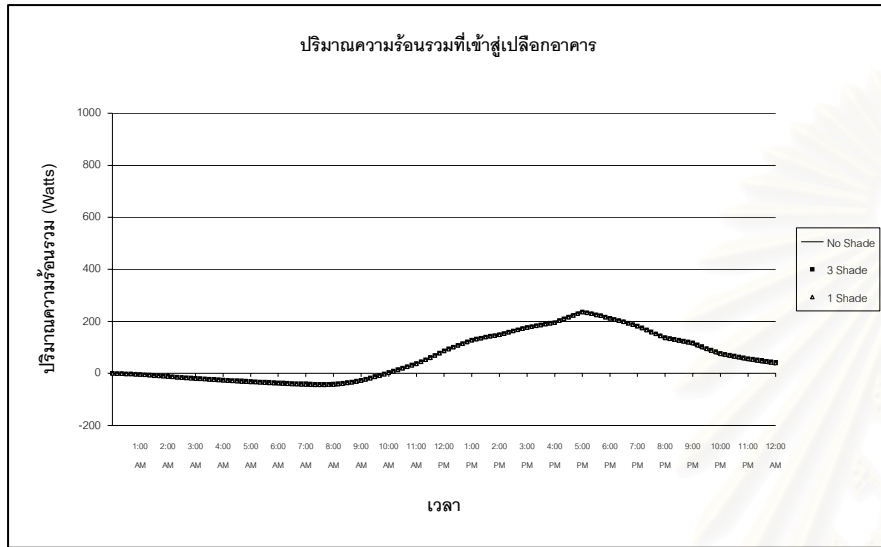
ใต้



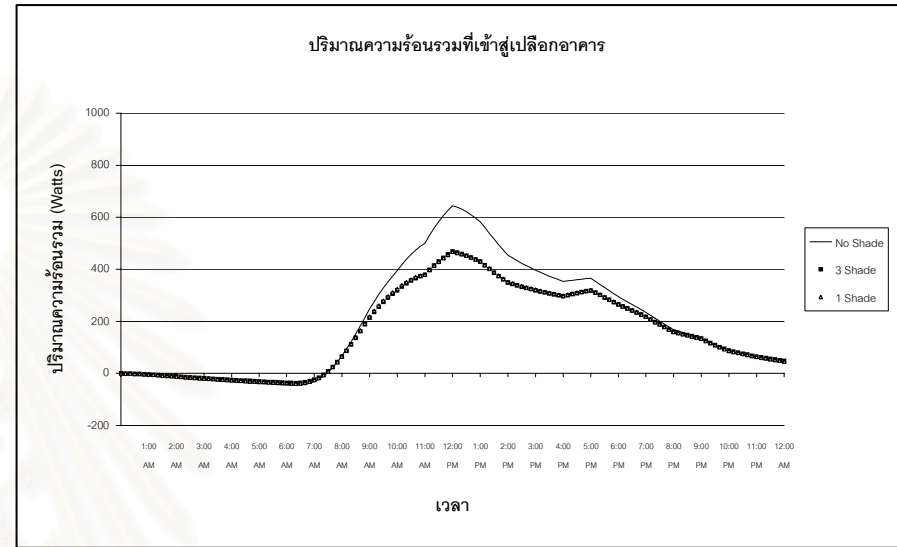
ตะวันตก

21 มิถุนายน

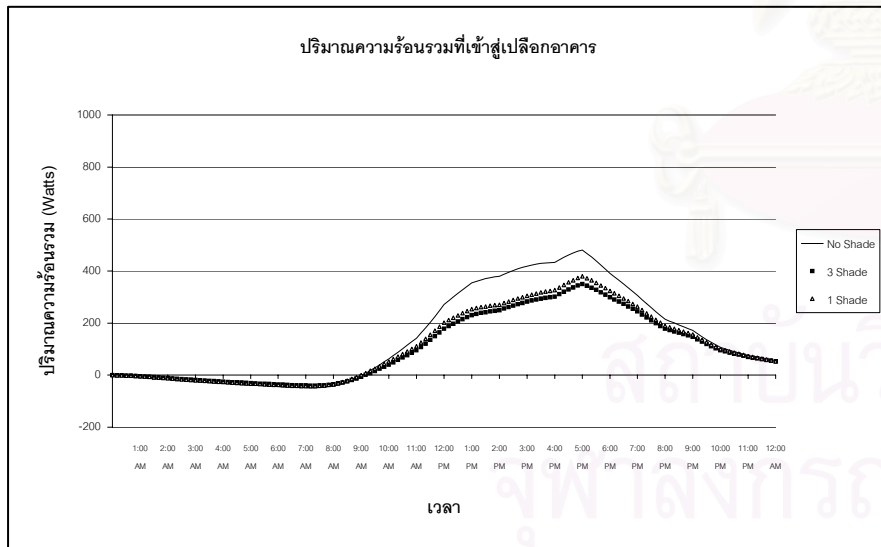
รูปที่ ค.1(ต่อ) ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



เหนือ

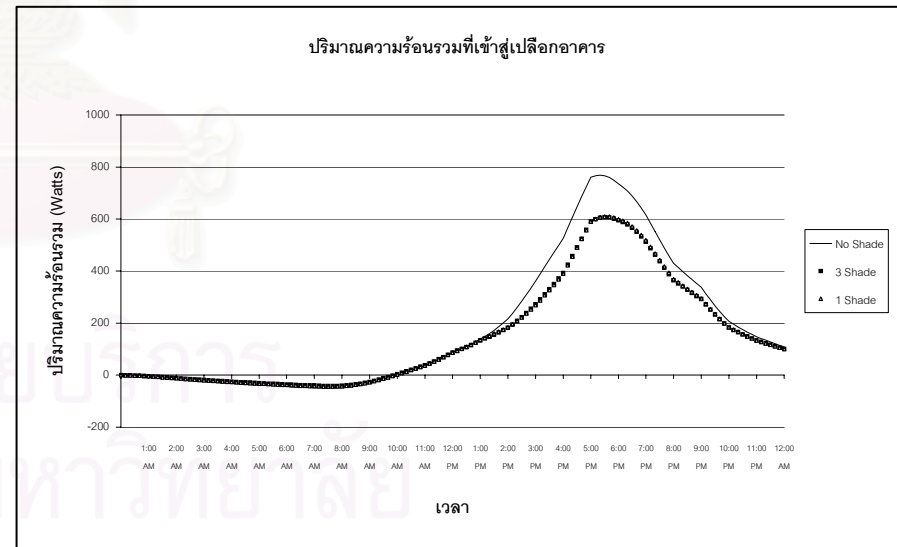


ตะวันออก



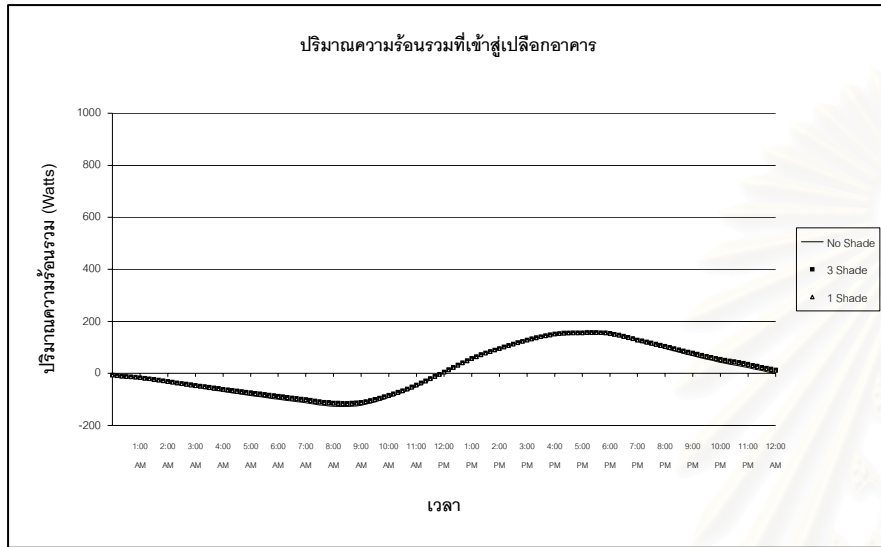
ใต้

21 กันยายน

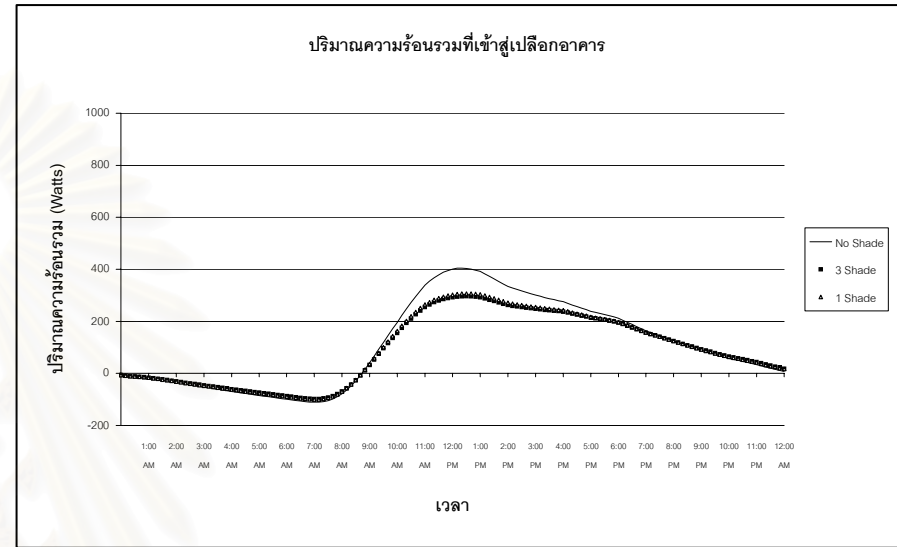


ตะวันตก

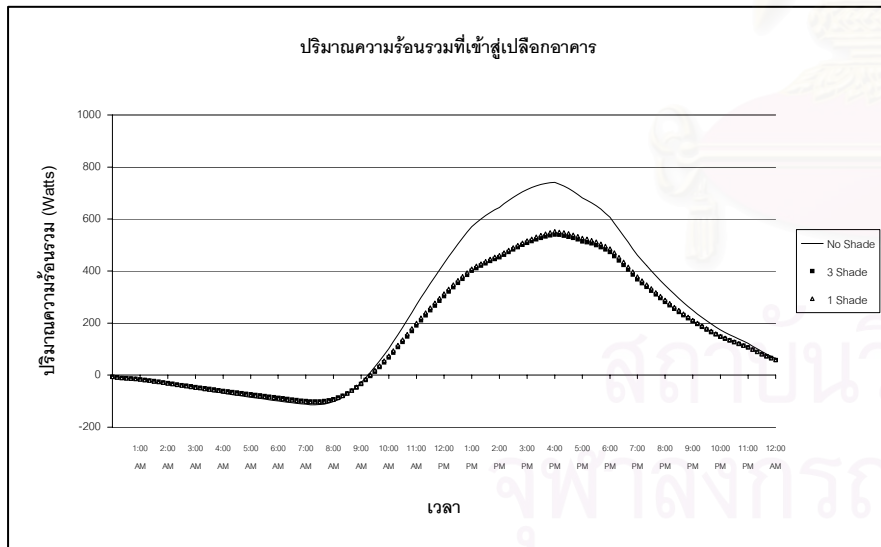
รูปที่ ค.1(ต่อ) ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



เหนือ

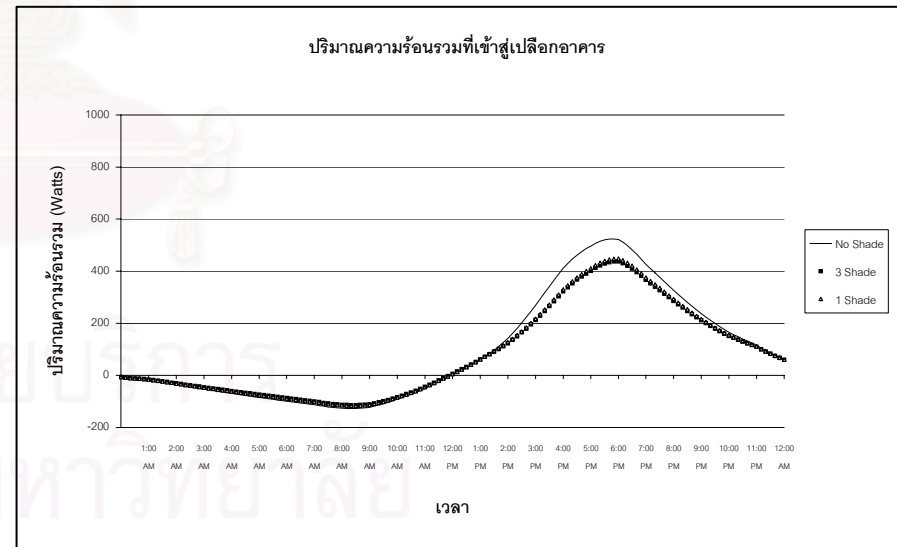


ตะวันออก



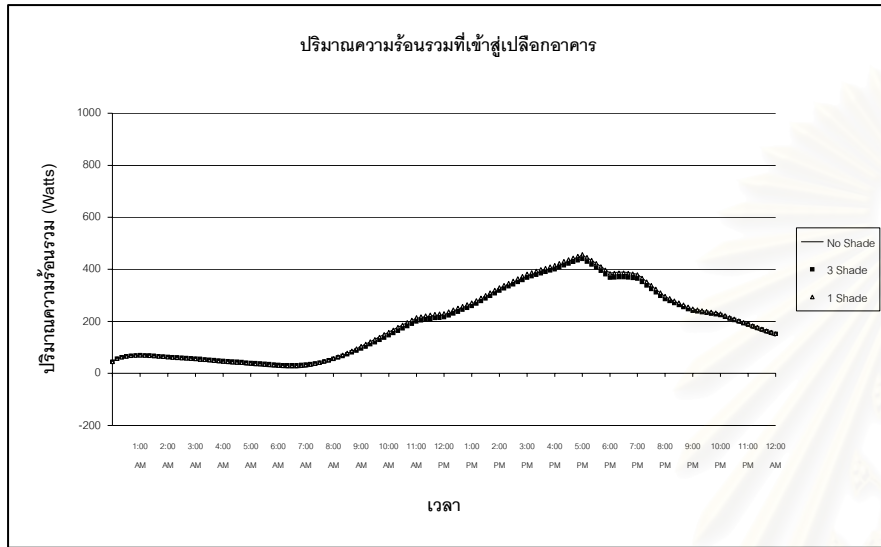
ใต้

21 ธันวาคม

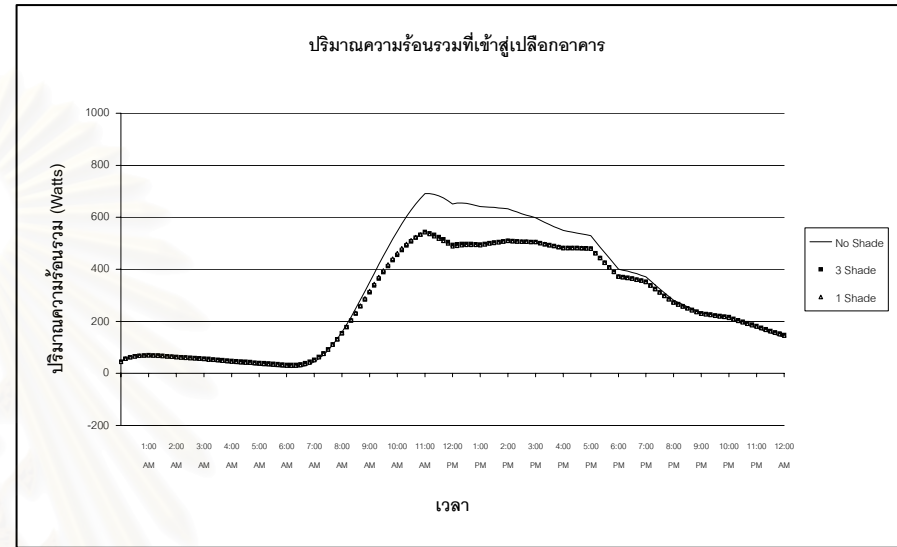


ตะวันตก

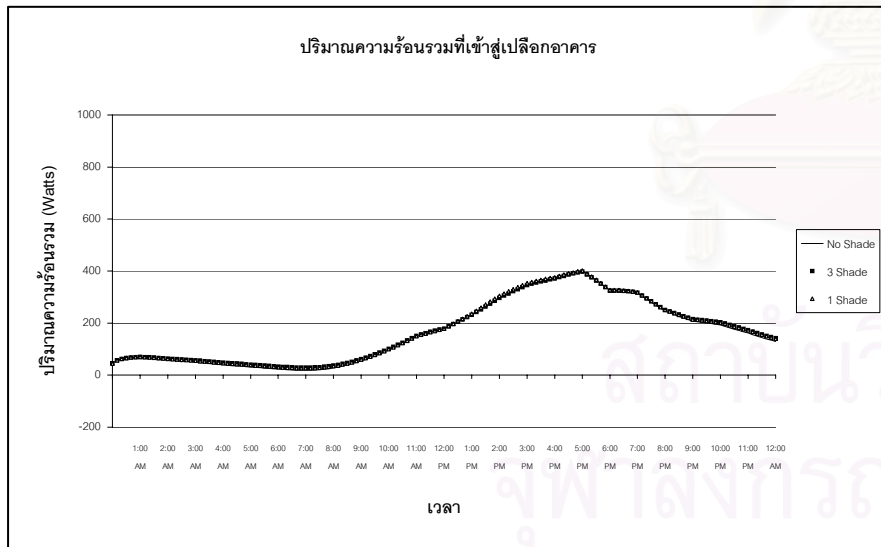
รูปที่ ค.1(ต่อ) ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



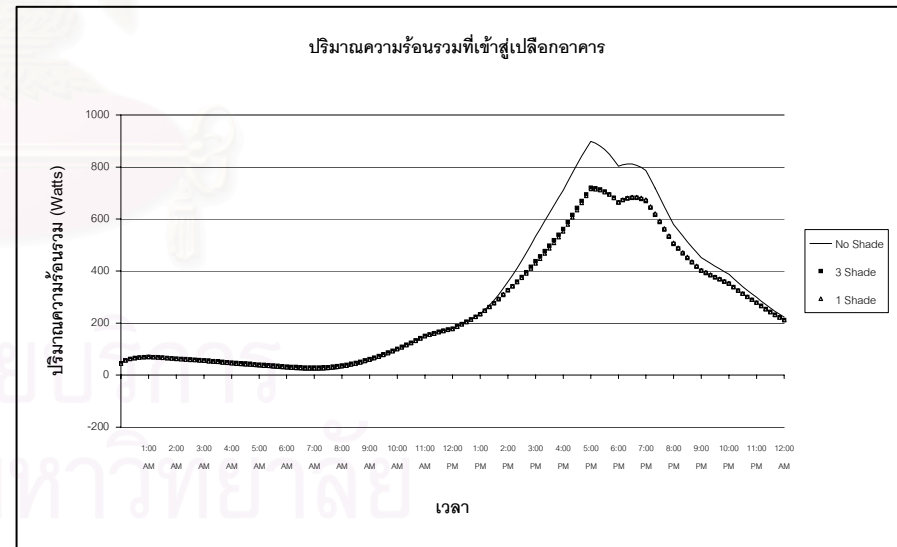
เหนือ



ตะวันออก



ใต้



ตะวันออก

27 เมษายน

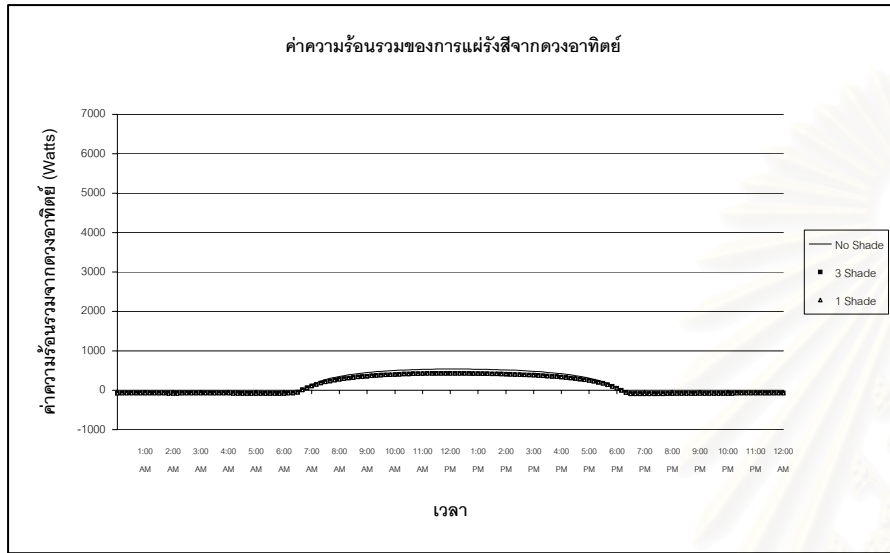
รูปที่ ค.1(ต่อ) ปริมาณความร้อนรวมที่ผ่านเปลือกอาคารเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



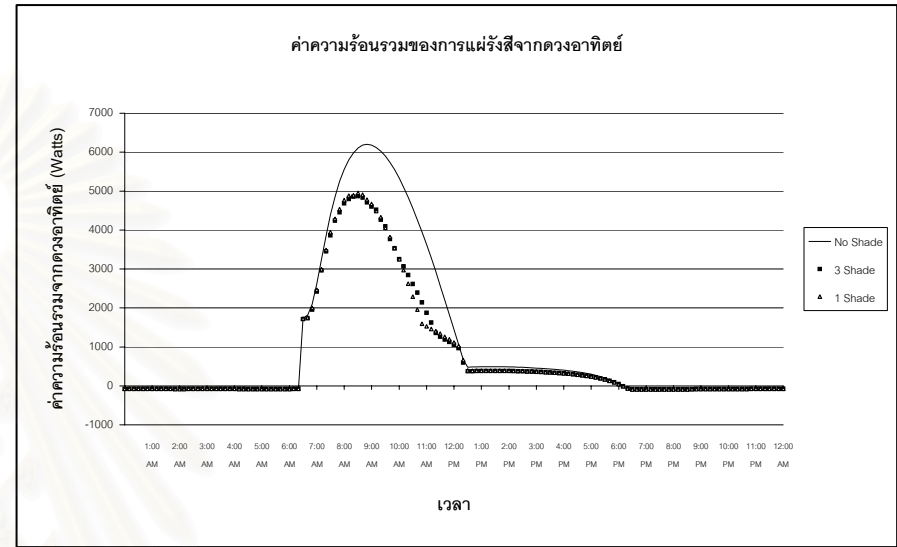
ภาคผนวก ง

กราฟเปรียบเทียบค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์
เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ
ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในวันที่ต่างๆ

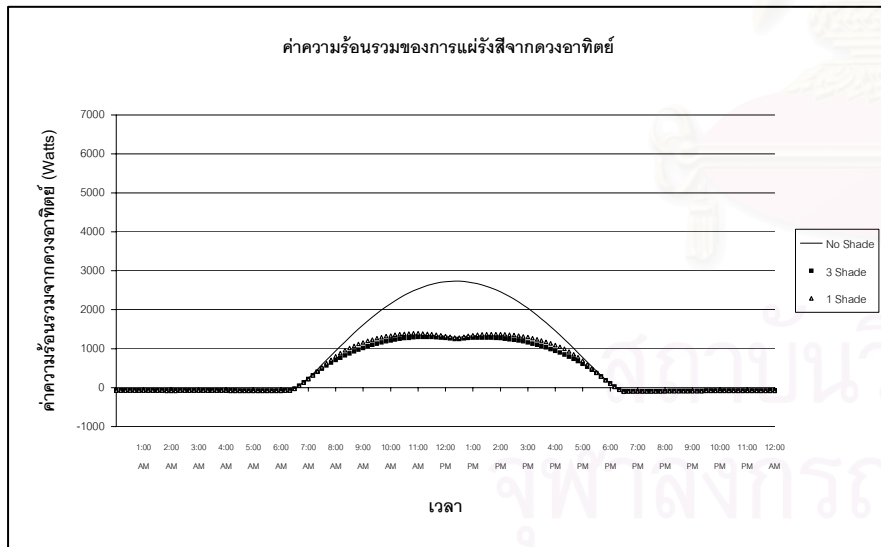
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



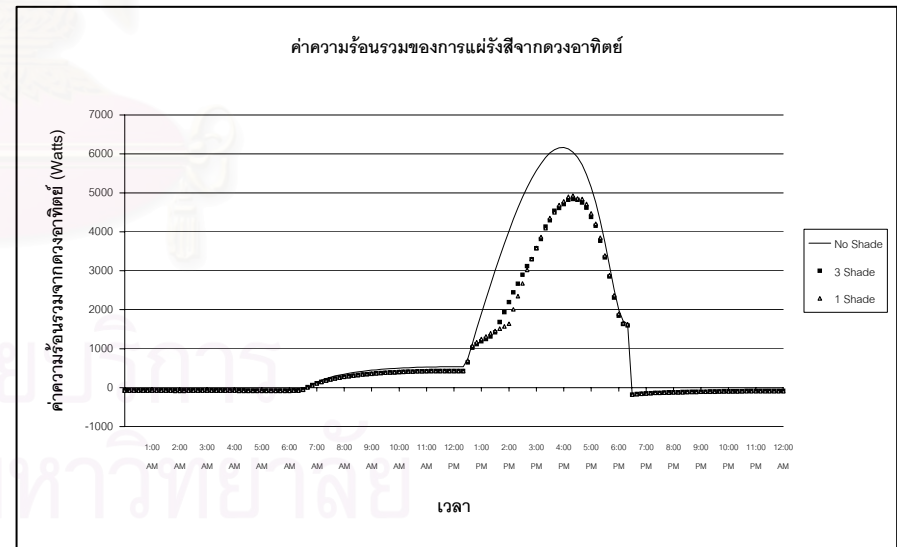
เหนือ



ตะวันออก



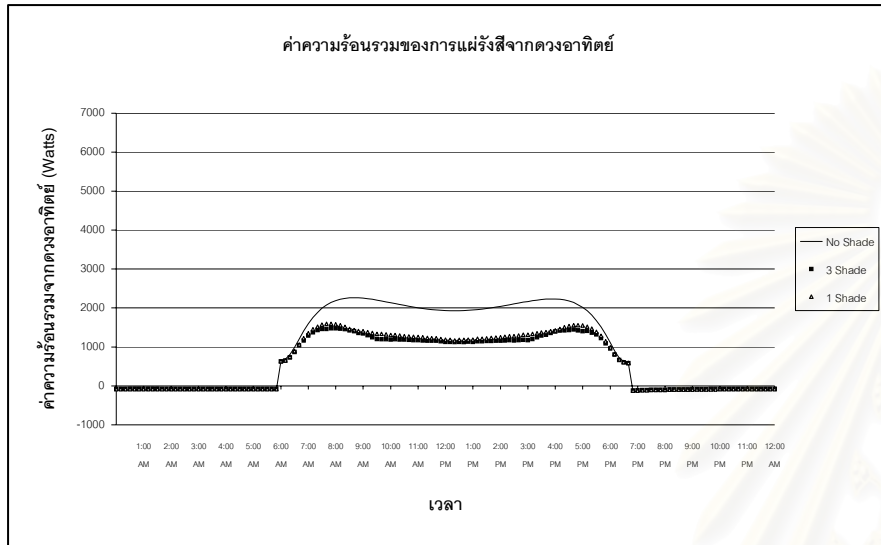
ใต้



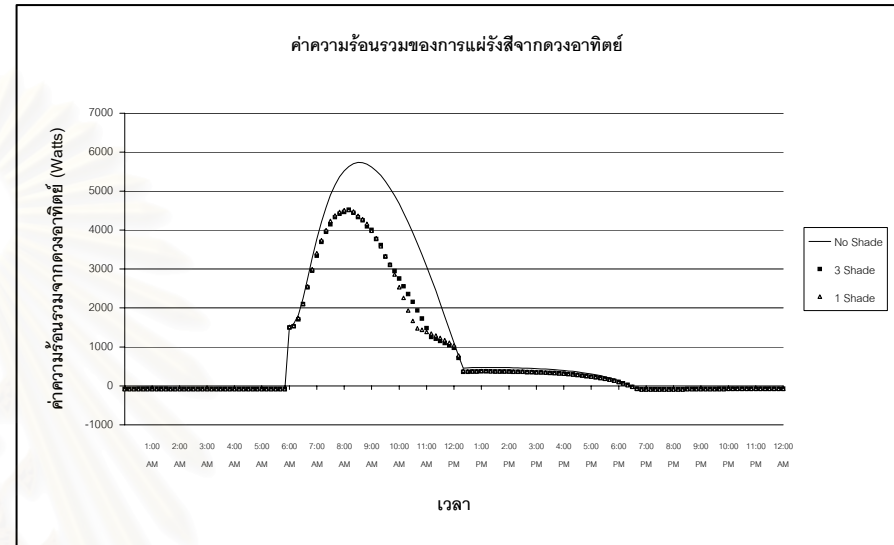
ตะวันตก

21 มีนาคม

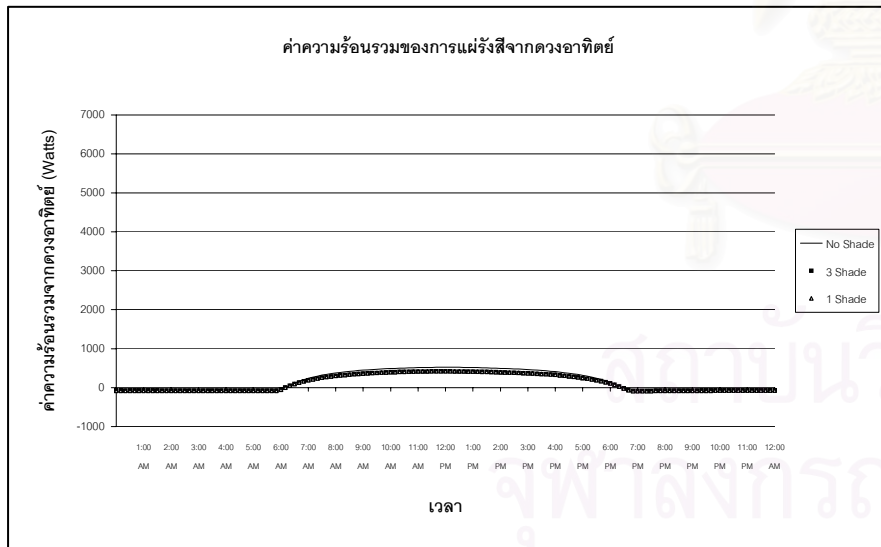
รูปที่ ง.1 ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



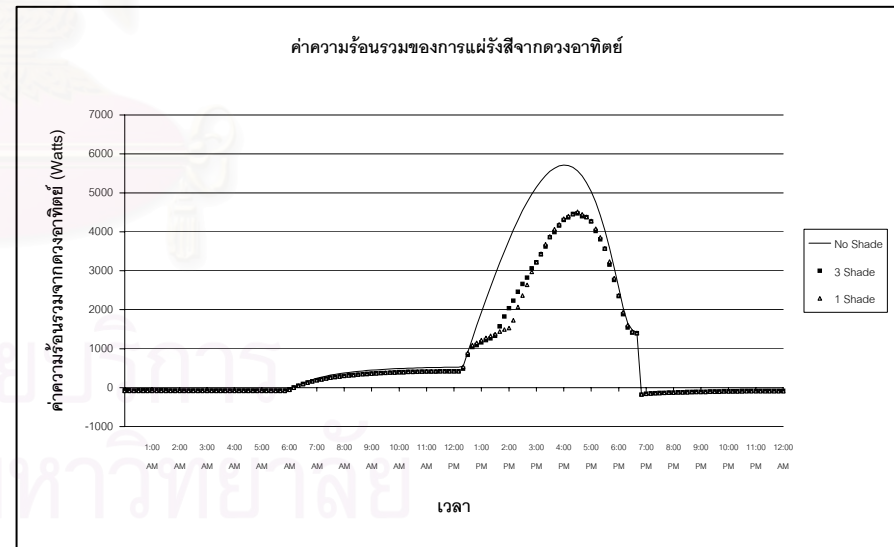
เหนือ



ตะวันออก



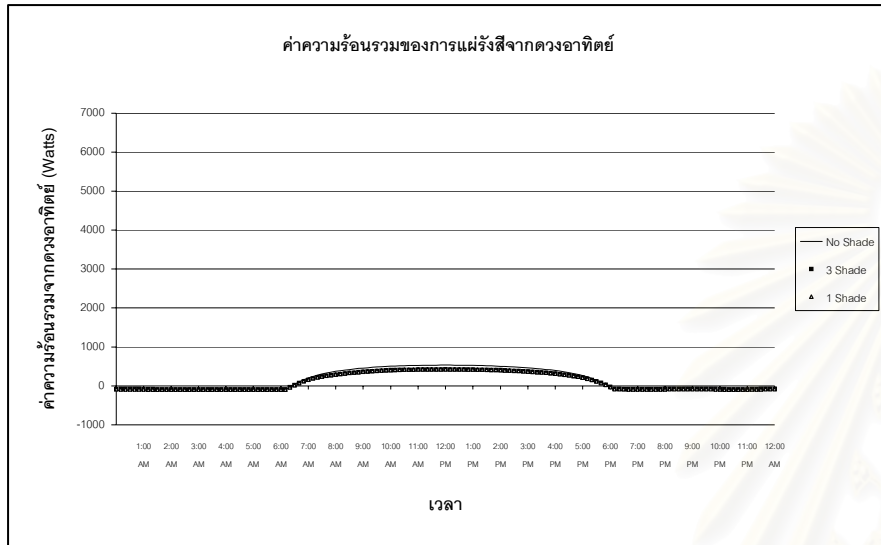
ใต้



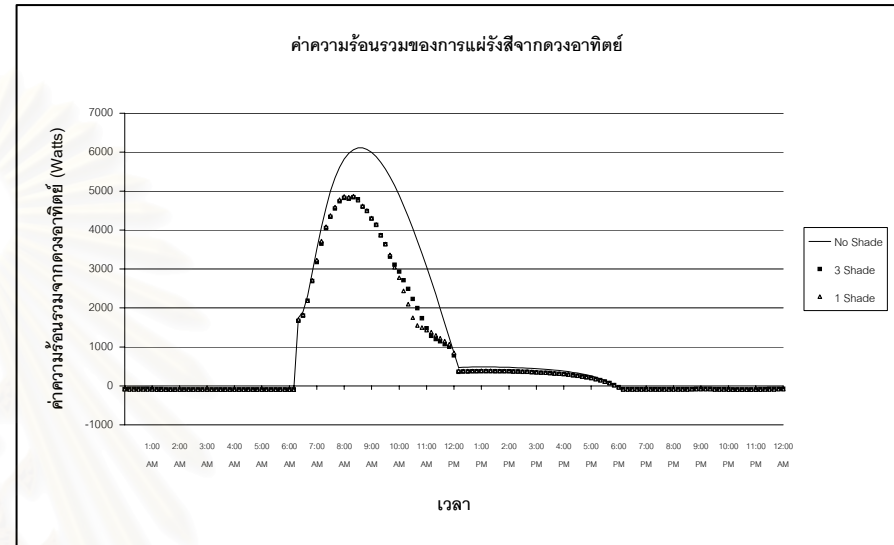
ตะวันตก

21 มิถุนายน

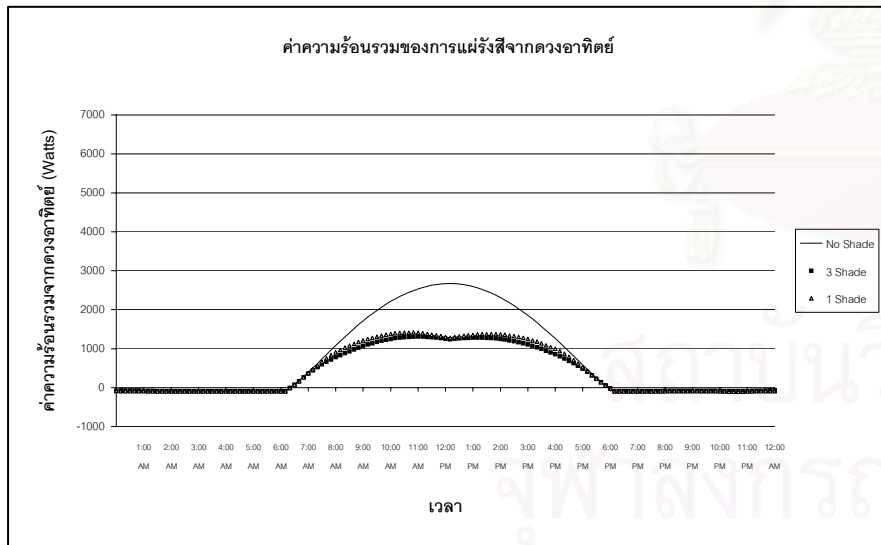
รูปที่ 1.1(ต่อ) ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



เหนือ

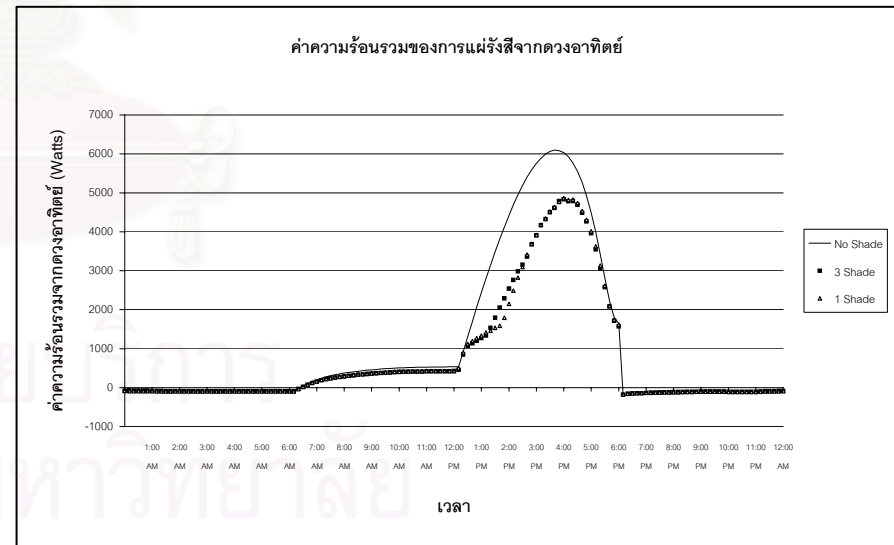


ตะวันออก



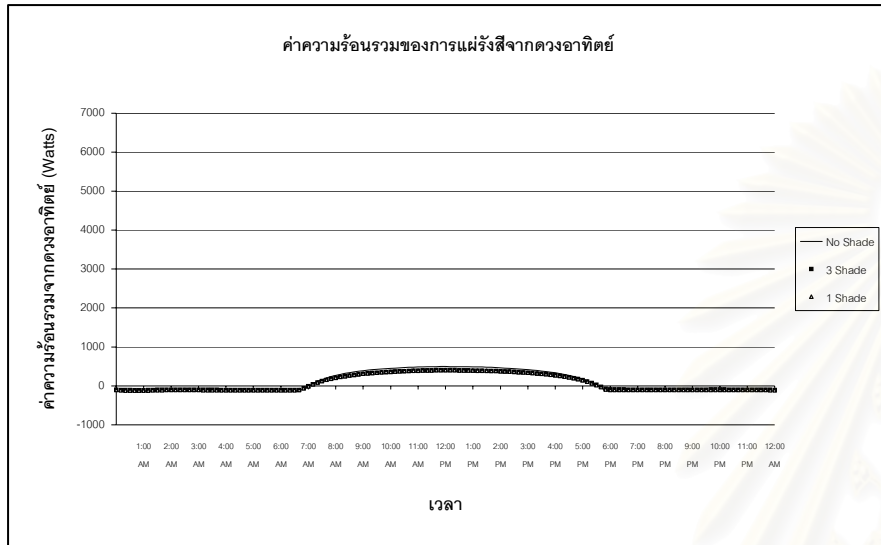
ใต้

21 กันยายน

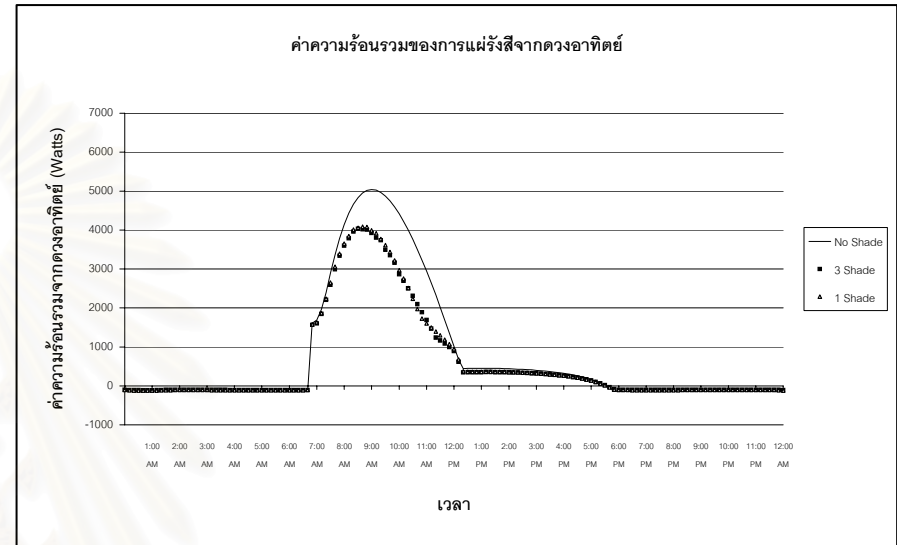


ตะวันตก

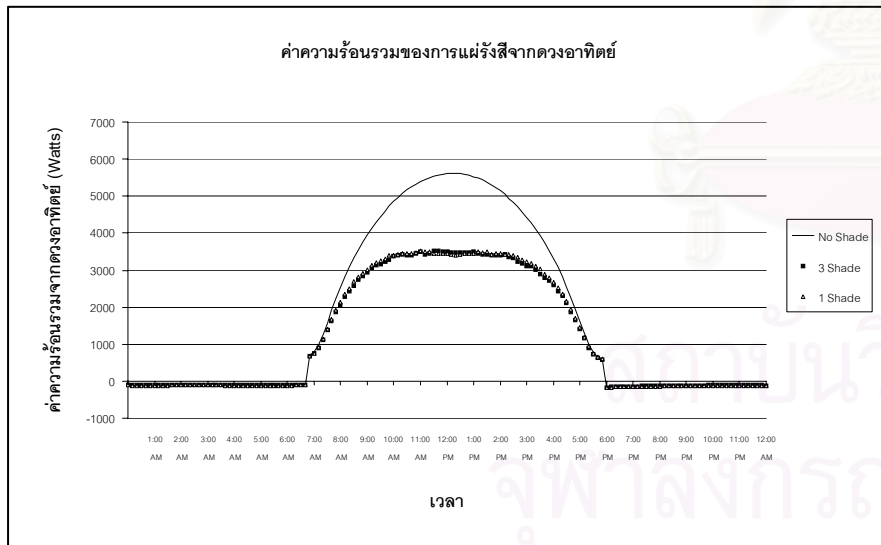
รูปที่ ง.1(ต่อ) ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



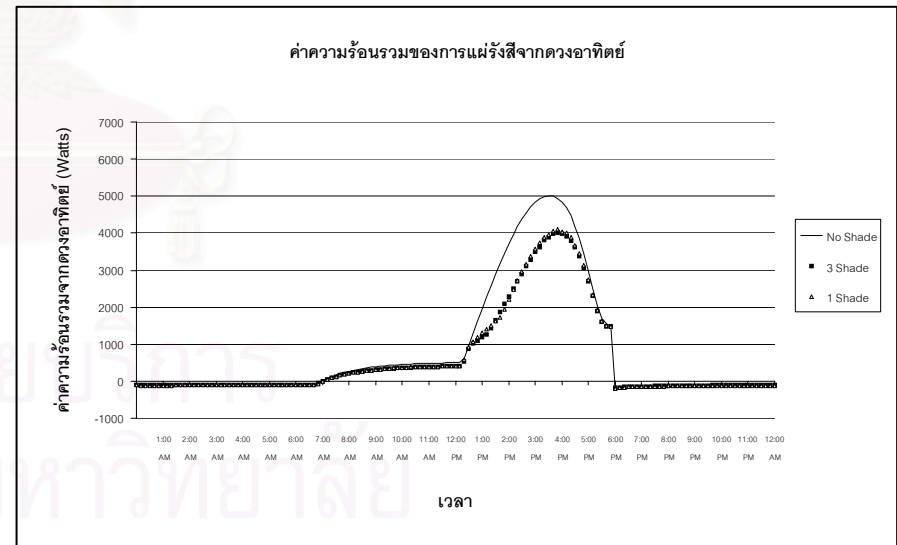
เหนือ



ตะวันออก



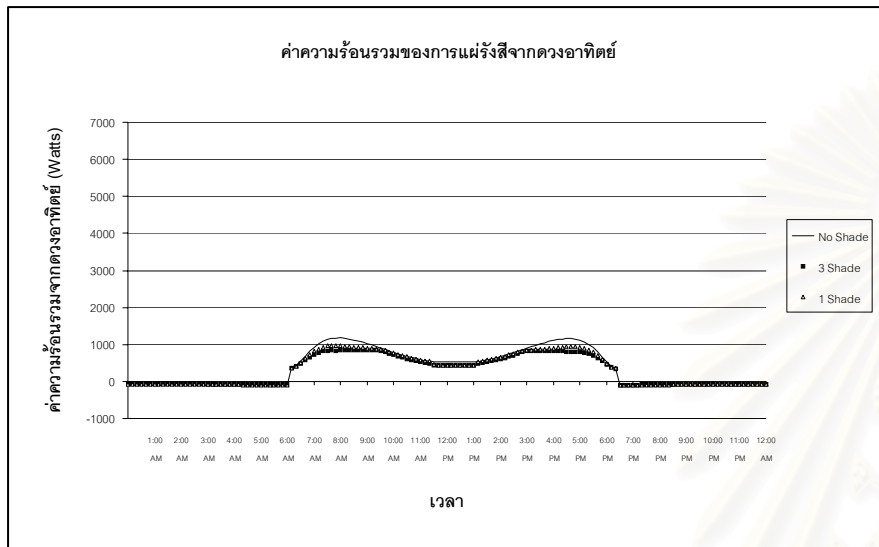
ใต้



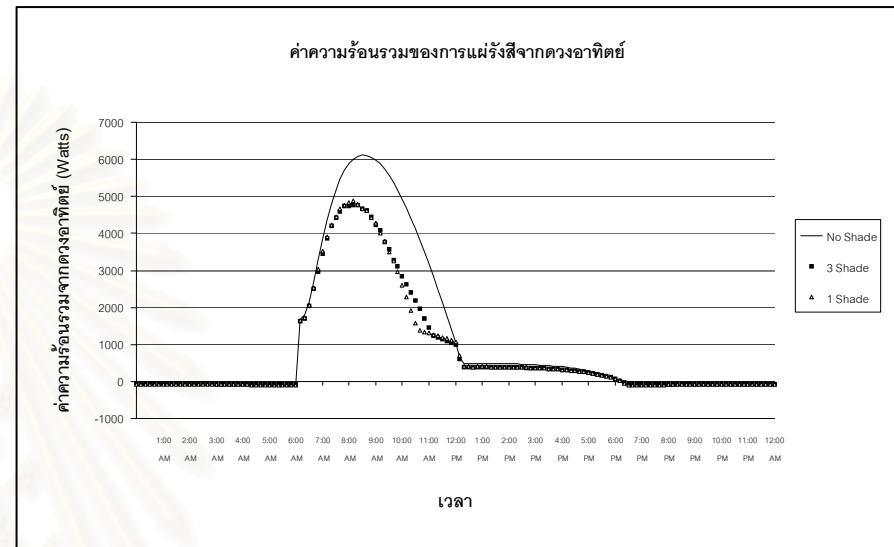
ตะวันตก

21 ธันวาคม

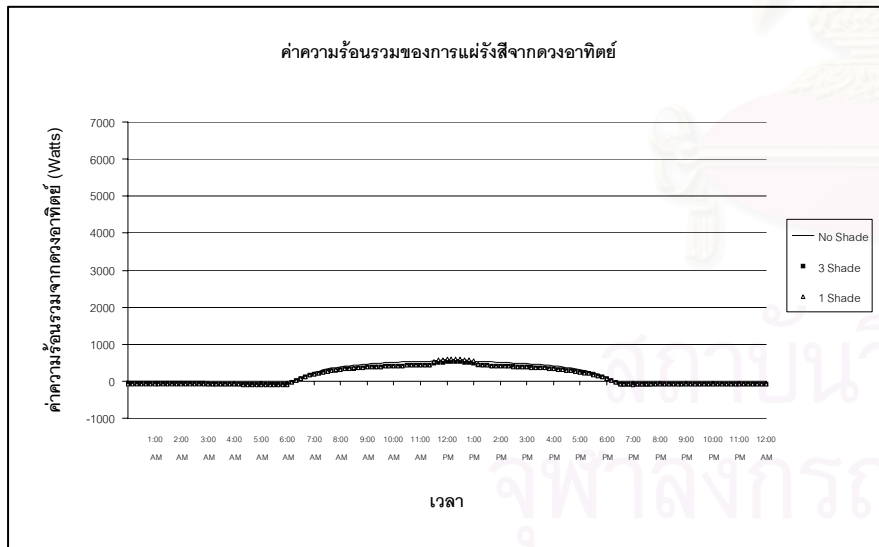
รูปที่ ง.1(ต่อ) ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



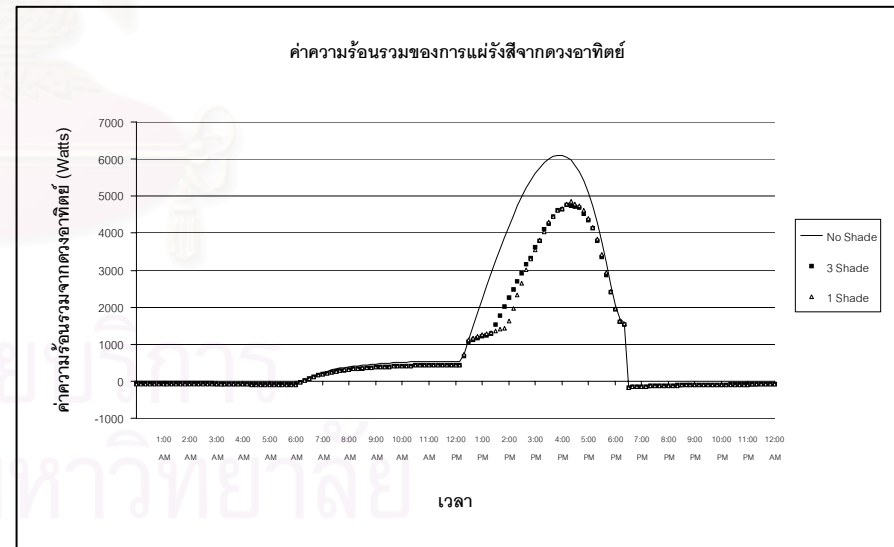
เหนือ



ตะวันออก



ใต้



ตะวันตก

27 เมษายน

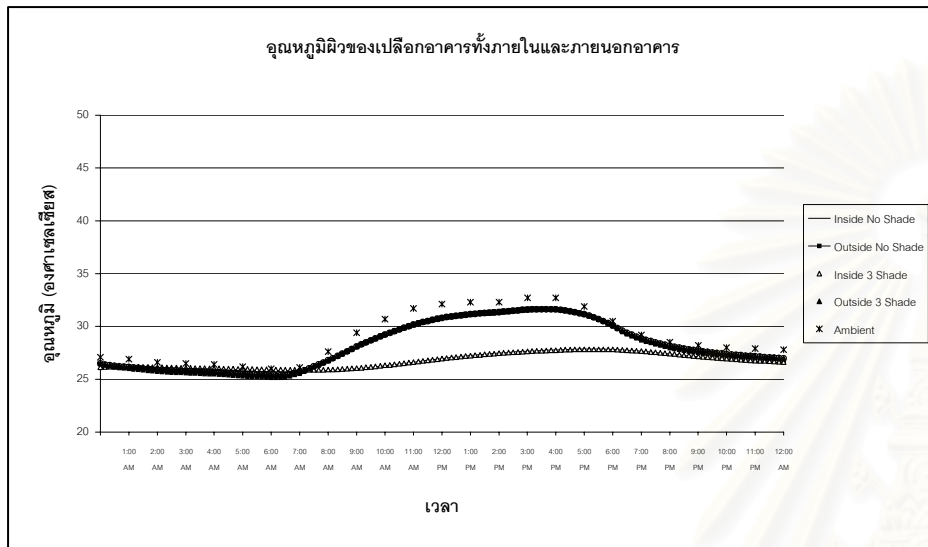
รูปที่ ง.1(ต่อ) ค่าความร้อนรวมของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 1 ชั้น 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



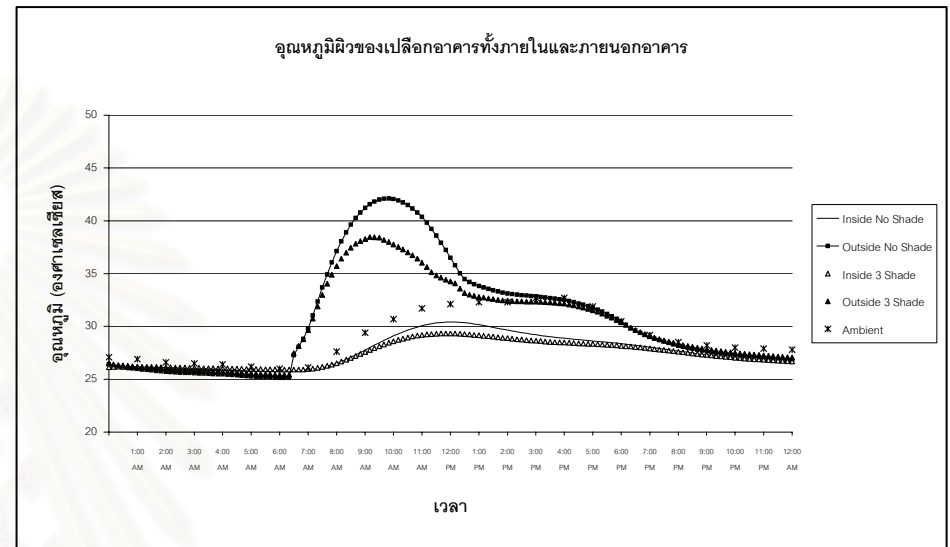
ภาคผนวก จ

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในอาคาร
เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ
ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ในวันที่ต่างๆ

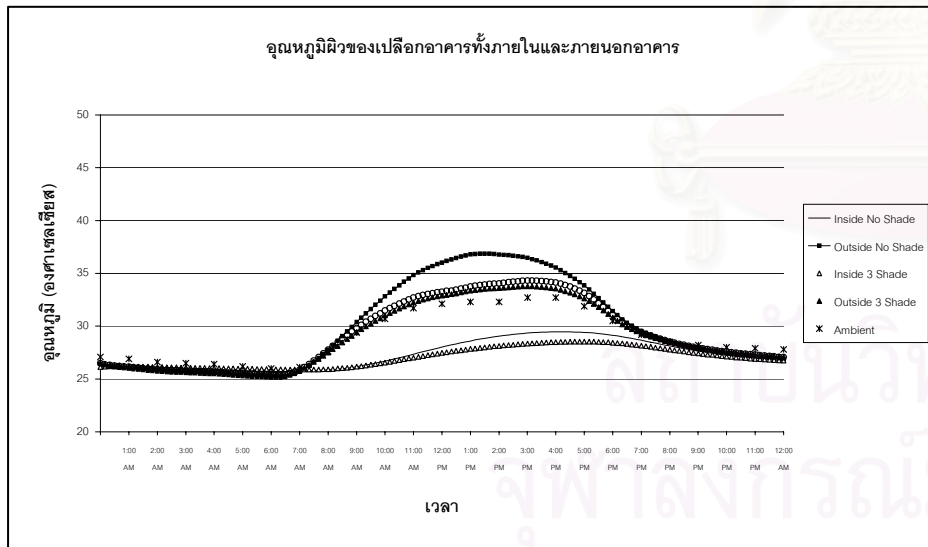
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



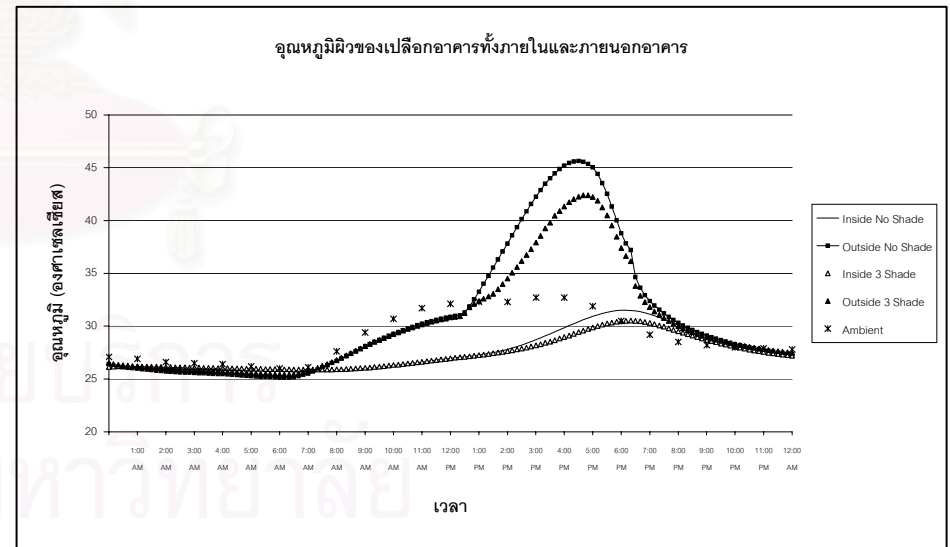
เหนือ



ตะวันออก



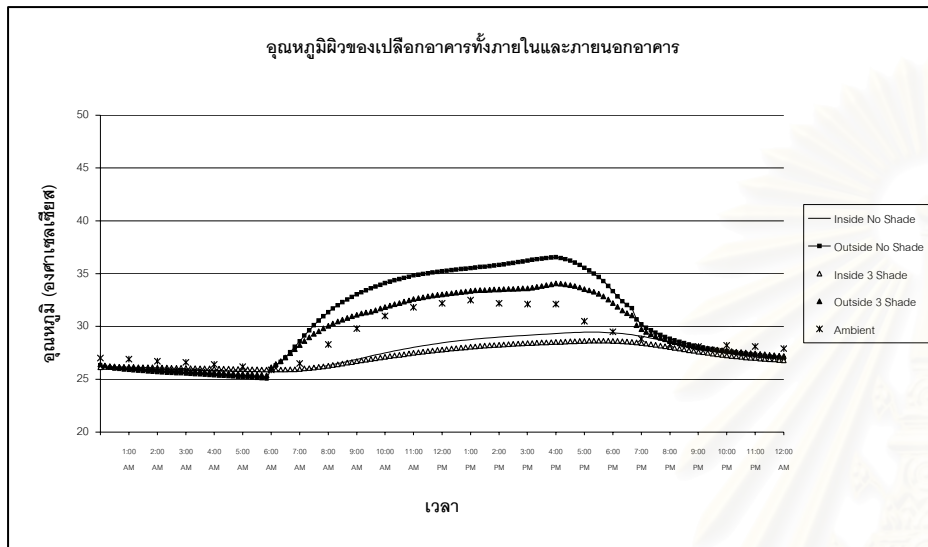
ใต้



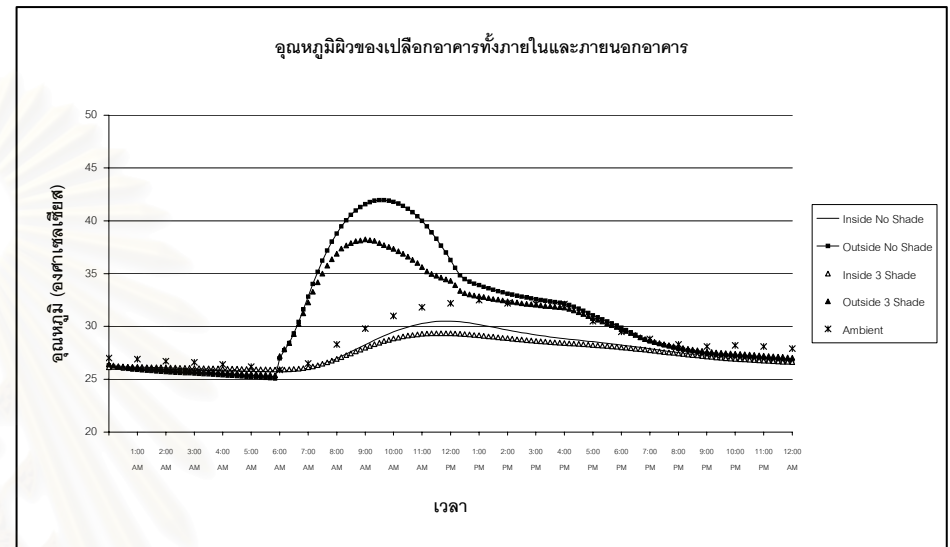
ตะวันตก

21 มีนาคม

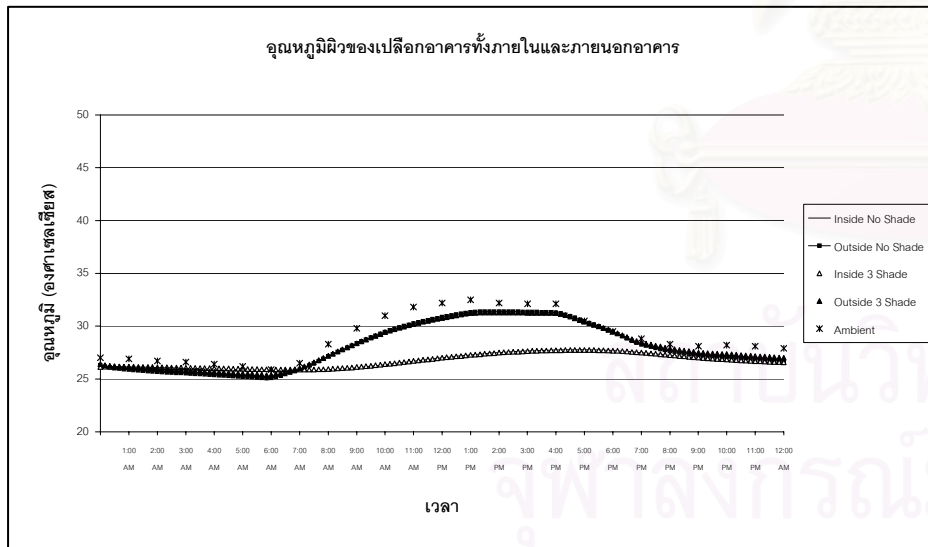
รูปที่ จ.1 จุดหมุ่มีผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวอนน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



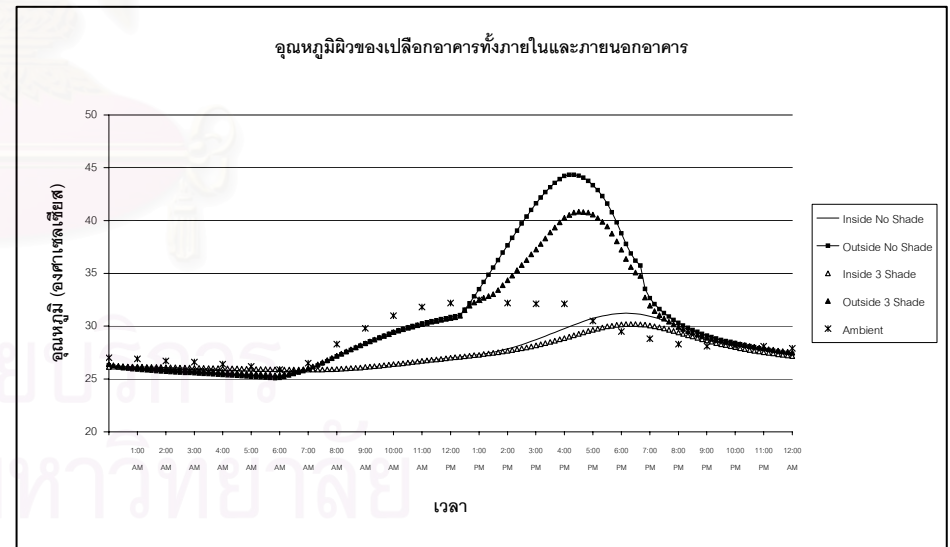
จันทร์



อังคาร



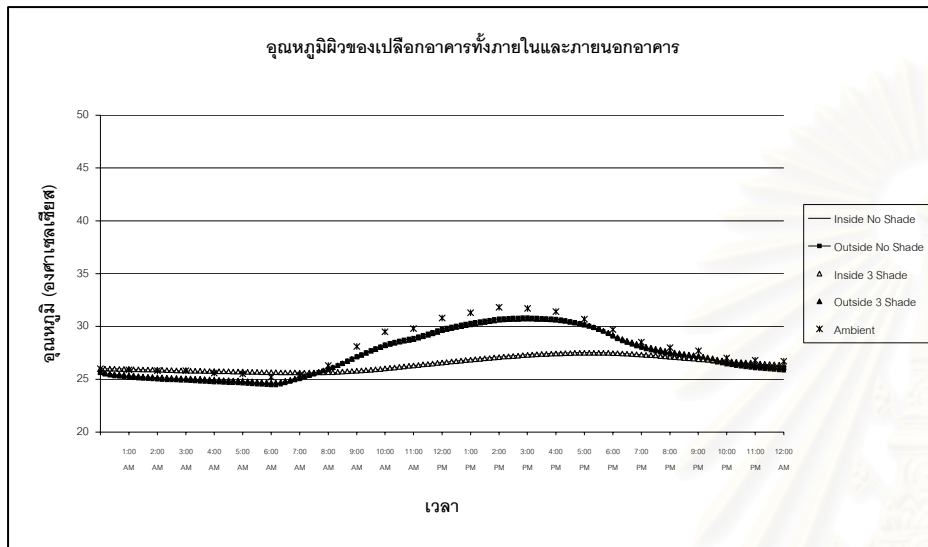
พุธ



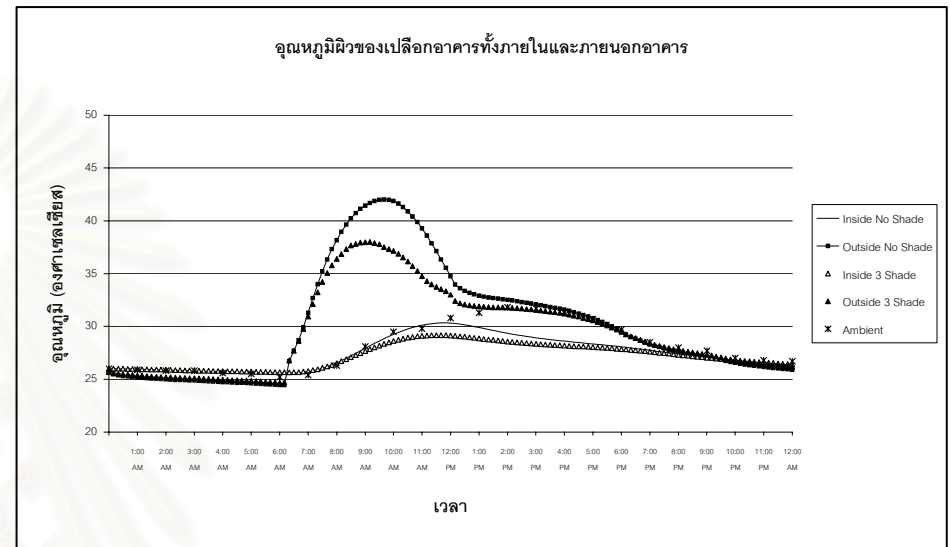
พฤหัสบดี

21 มิถุนายน

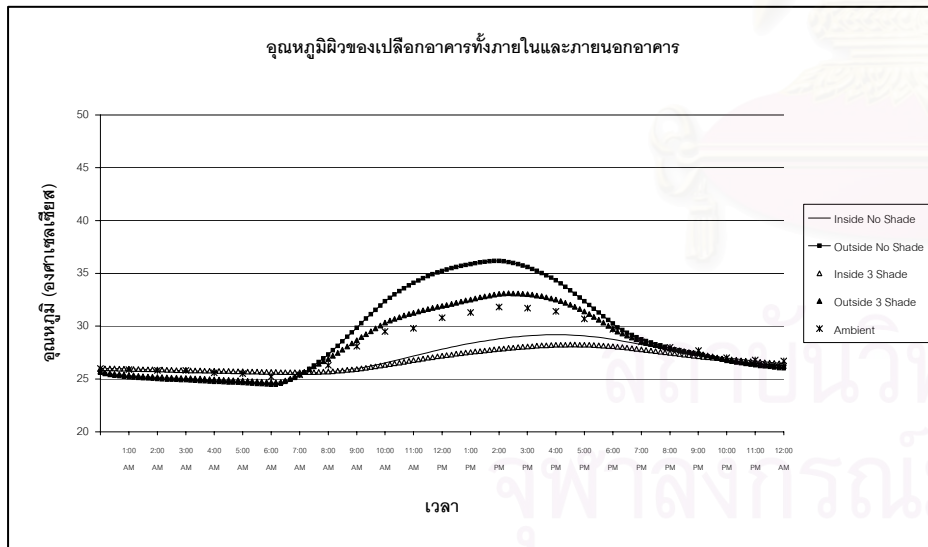
รูปที่ ๑.1(ต่อ) อุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



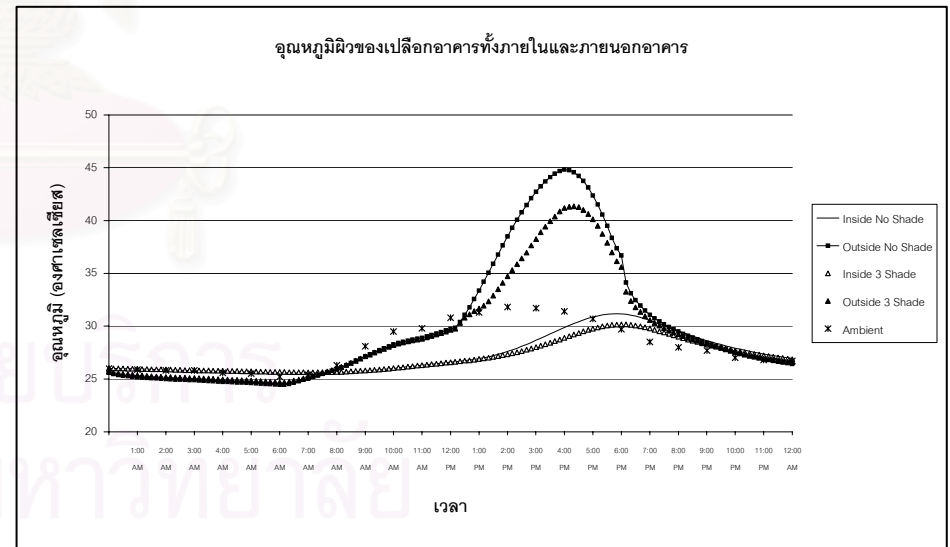
เหนือ



ตะวันออก



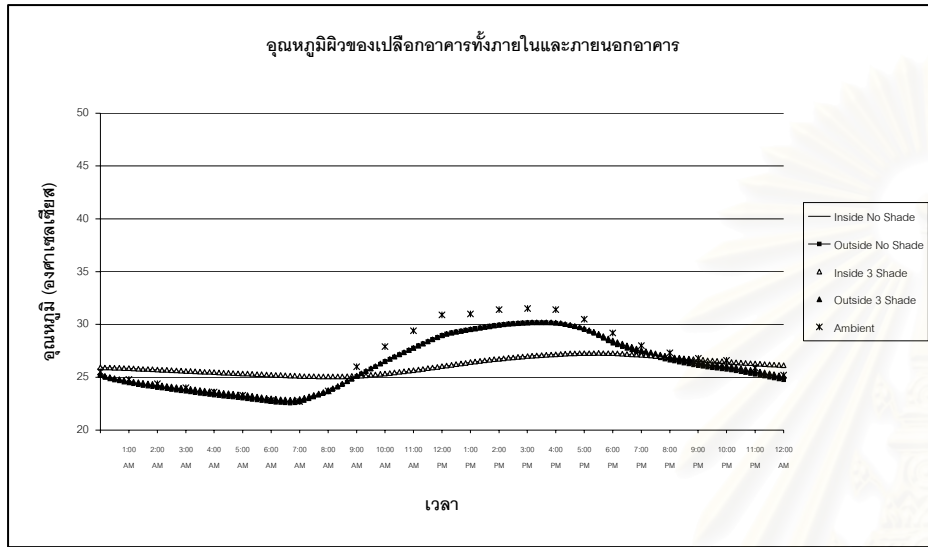
ใต้



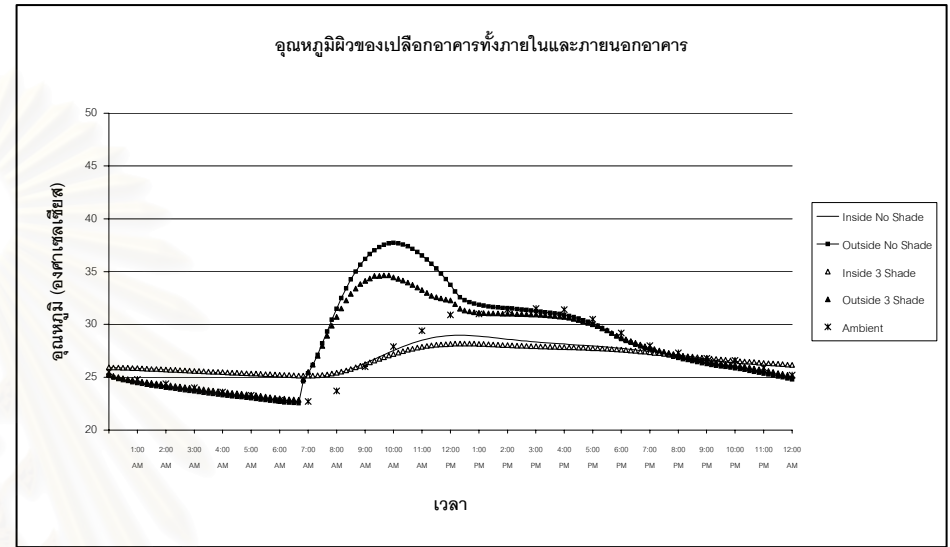
ตะวันตก

21 กันยายน

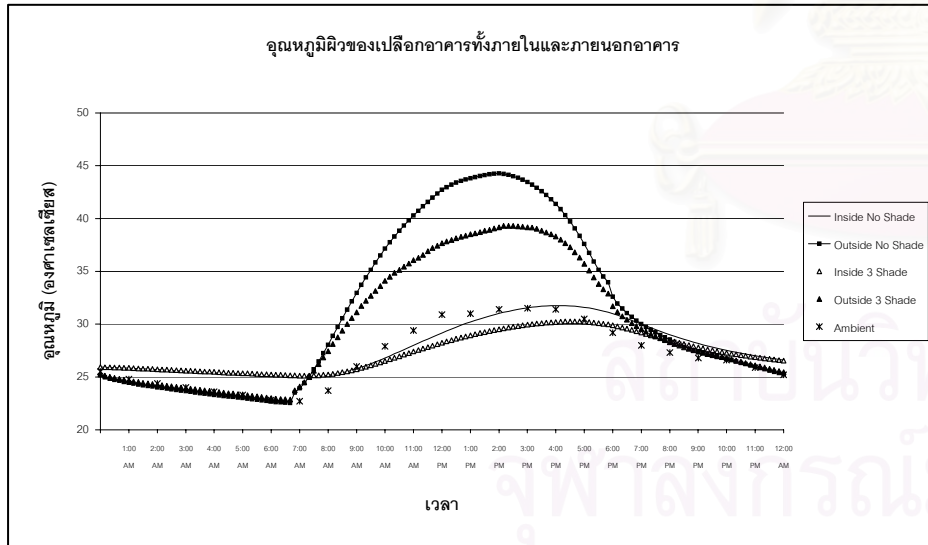
รูปที่ ๑.1(ต่อ) อุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



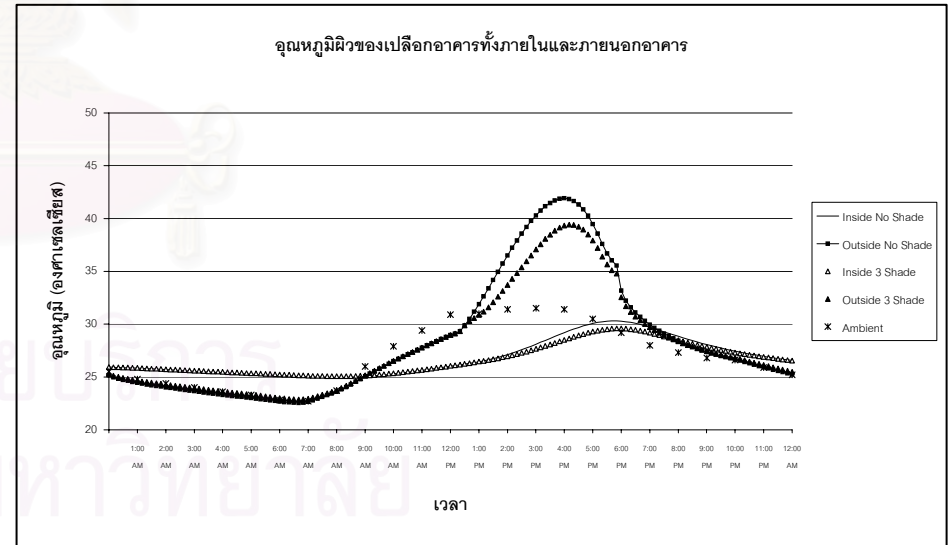
เหนือ



ตะวันออก



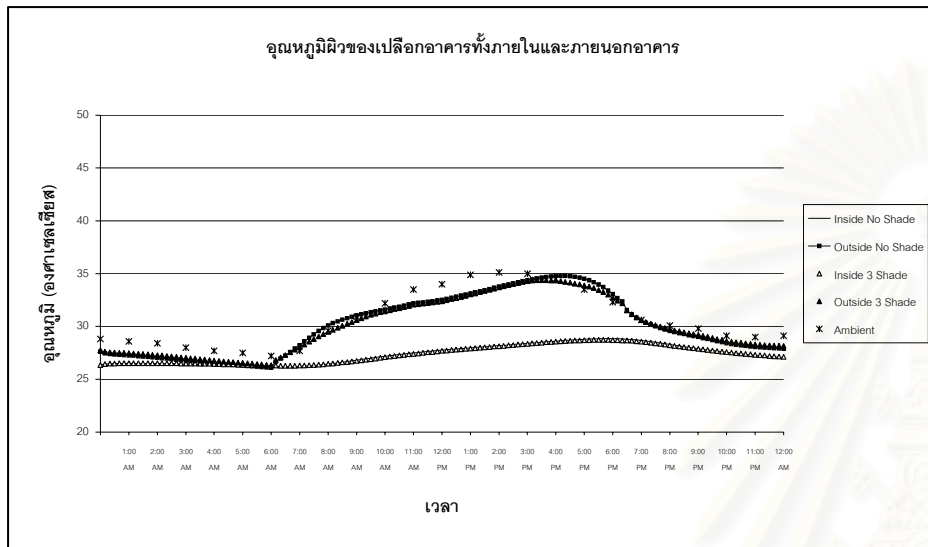
ใต้



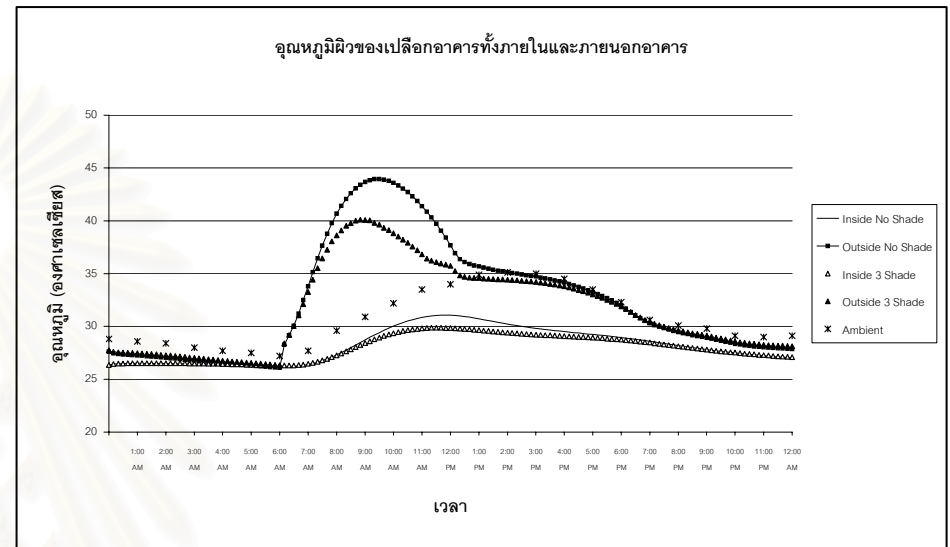
ตะวันตก

21 ธันวาคม

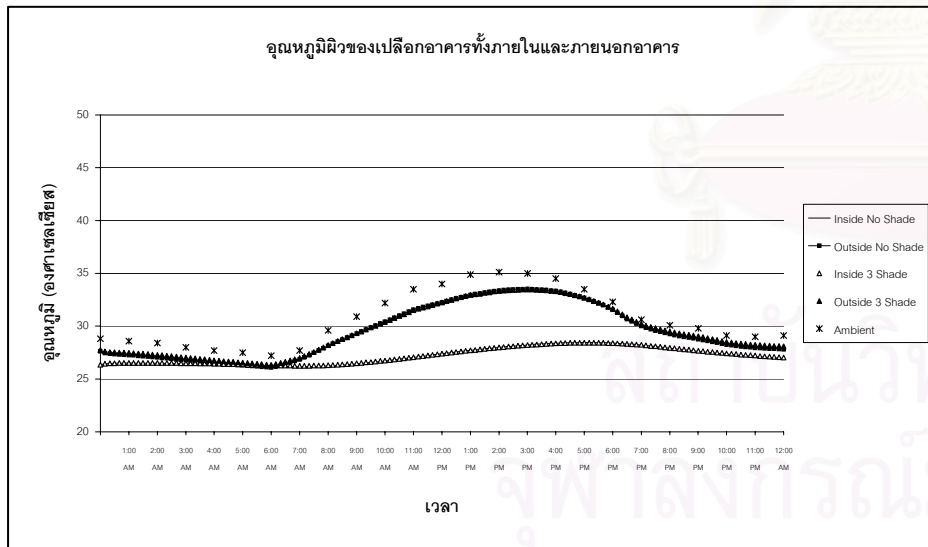
รูปที่ ๑.1(ต่อ) อุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



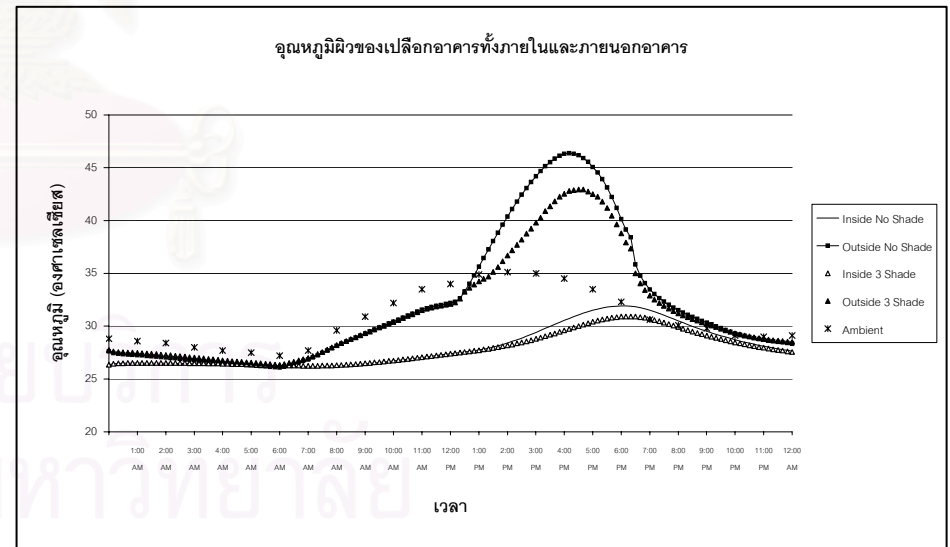
เหนือ



ตะวันออก



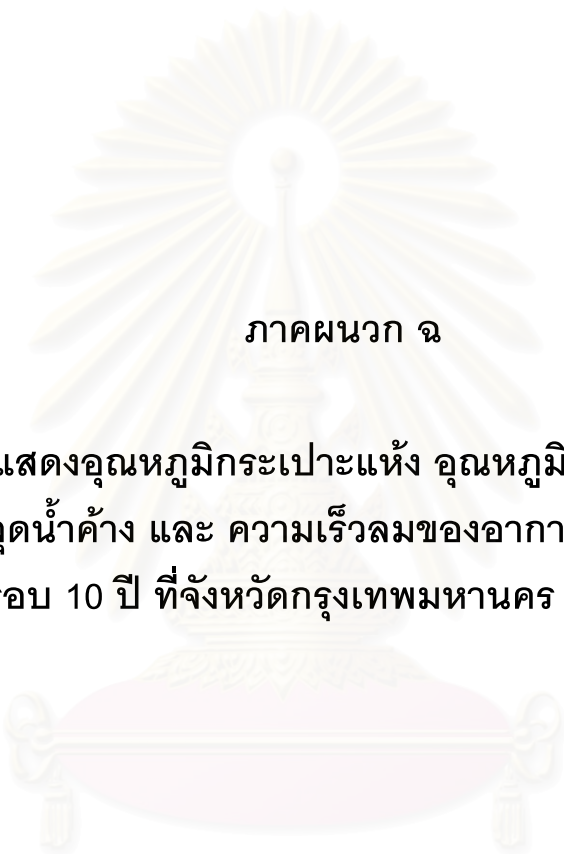
ใต้



ตะวันตก

27 เมษายน

รูปที่ ๑.1(ต่อ) อุณหภูมิผิวอาคารทั้งภายในและภายนอกเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดแนวนอน 3 ชั้น และ ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ที่เวลาต่างๆ



ภาคผนวก ฉ

ตารางแสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก
อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ความเร็วลมของอากาศภายนอกอาคาร
ในรอบ 10 ปี ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในวันที่ต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.1 ตารางแสดงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และ ความเร็วลมของอากาศภายนอกอาคารที่วันต่างๆกัน

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-Bulb Temperature, °C)

| Time | 12:00 AM | 1:00 AM | 2:00 AM | 3:00 AM | 4:00 AM | 5:00 AM | 6:00 AM | 7:00 AM | 8:00 AM | 9:00 AM | 10:00 AM | 11:00 AM | 12:00 PM | 1:00 PM | 2:00 PM | 3:00 PM | 4:00 PM | 5:00 PM | 6:00 PM | 7:00 PM | 8:00 PM | 9:00 PM | 10:00 PM | 11:00 PM | 12:00 AM |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 21-มี.ค. | 27.10 | 26.90 | 26.60 | 26.50 | 26.40 | 26.20 | 26.00 | 26.10 | 27.60 | 29.40 | 30.70 | 31.70 | 32.10 | 32.30 | 32.30 | 32.70 | 32.70 | 31.90 | 30.50 | 29.20 | 28.50 | 28.20 | 28.00 | 27.90 | 27.80 |
| 21-ธ.ค. | 25.50 | 24.80 | 24.40 | 24.00 | 23.60 | 23.30 | 22.80 | 22.70 | 23.70 | 26.00 | 27.90 | 29.40 | 30.90 | 31.00 | 31.40 | 31.50 | 31.40 | 30.50 | 29.20 | 28.00 | 27.30 | 26.80 | 26.60 | 25.90 | 25.20 |
| 21-มิ.ย. | 27.00 | 26.90 | 26.70 | 26.60 | 26.40 | 26.20 | 25.90 | 26.50 | 28.30 | 29.80 | 31.00 | 31.80 | 32.20 | 32.50 | 32.20 | 32.10 | 32.10 | 30.50 | 29.50 | 28.80 | 28.30 | 28.10 | 28.20 | 28.10 | 27.90 |
| 21-ก.ย. | 26.00 | 25.90 | 25.80 | 25.80 | 25.60 | 25.50 | 25.20 | 25.40 | 26.30 | 28.10 | 29.50 | 29.80 | 30.80 | 31.30 | 31.80 | 31.70 | 31.40 | 30.70 | 29.70 | 28.50 | 28.00 | 27.70 | 27.00 | 26.80 | 26.70 |
| 27-เม.ย. | 28.80 | 28.60 | 28.40 | 28.00 | 27.70 | 27.50 | 27.20 | 27.70 | 29.60 | 30.90 | 32.20 | 33.50 | 34.00 | 34.90 | 35.10 | 35.00 | 34.50 | 33.50 | 32.30 | 30.60 | 30.10 | 29.80 | 29.10 | 29.00 | 29.10 |

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-Bulb Temperature, °C)

| Time | 12:00 AM | 1:00 AM | 2:00 AM | 3:00 AM | 4:00 AM | 5:00 AM | 6:00 AM | 7:00 AM | 8:00 AM | 9:00 AM | 10:00 AM | 11:00 AM | 12:00 PM | 1:00 PM | 2:00 PM | 3:00 PM | 4:00 PM | 5:00 PM | 6:00 PM | 7:00 PM | 8:00 PM | 9:00 PM | 10:00 PM | 11:00 PM | 12:00 AM |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 21-มี.ค. | 24.90 | 24.70 | 24.80 | 24.70 | 24.50 | 24.40 | 24.50 | 25.10 | 25.20 | 25.40 | 25.40 | 25.40 | 25.20 | 25.20 | 25.70 | 25.30 | 25.00 | 25.20 | 25.20 | 25.20 | 25.40 | 25.20 | 25.40 | 25.30 | 24.90 |
| 21-ธ.ค. | 21.20 | 21.00 | 20.70 | 20.40 | 20.20 | 19.90 | 20.30 | 20.30 | 21.10 | 21.60 | 21.40 | 21.90 | 21.80 | 22.10 | 22.20 | 21.90 | 21.70 | 21.80 | 21.80 | 21.60 | 21.60 | 21.40 | 21.30 | 21.00 | 21.20 |
| 21-มิ.ย. | 24.60 | 24.40 | 24.30 | 24.20 | 24.20 | 24.20 | 24.60 | 25.00 | 25.40 | 25.30 | 25.70 | 25.50 | 25.70 | 25.80 | 25.90 | 25.90 | 25.90 | 25.50 | 25.30 | 25.20 | 25.30 | 25.40 | 25.60 | 25.20 | 24.80 |
| 21-ก.ย. | 24.40 | 24.40 | 24.40 | 24.40 | 24.20 | 24.20 | 24.60 | 25.00 | 25.60 | 25.60 | 25.60 | 25.70 | 25.60 | 25.70 | 25.40 | 25.50 | 25.80 | 25.30 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.10 | 25.20 | 25.10 | 24.50 |
| 27-เม.ย. | 25.90 | 26.00 | 25.80 | 25.60 | 25.50 | 25.40 | 25.40 | 25.60 | 25.90 | 26.10 | 26.00 | 26.60 | 26.20 | 25.70 | 25.70 | 25.80 | 26.30 | 26.00 | 26.30 | 25.50 | 25.40 | 25.80 | 25.60 | 25.50 | 25.60 |

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew-Point Temperature, °C)

| Time | 12:00 AM | 1:00 AM | 2:00 AM | 3:00 AM | 4:00 AM | 5:00 AM | 6:00 AM | 7:00 AM | 8:00 AM | 9:00 AM | 10:00 AM | 11:00 AM | 12:00 PM | 1:00 PM | 2:00 PM | 3:00 PM | 4:00 PM | 5:00 PM | 6:00 PM | 7:00 PM | 8:00 PM | 9:00 PM | 10:00 PM | 11:00 PM | 12:00 AM |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 21-มี.ค. | 24.12 | 23.91 | 24.16 | 24.06 | 23.82 | 23.75 | 23.96 | 24.75 | 24.36 | 24.00 | 23.52 | 23.15 | 22.69 | 22.61 | 23.37 | 22.61 | 22.14 | 22.77 | 23.30 | 23.79 | 24.32 | 24.15 | 24.50 | 24.40 | 23.87 |
| 21-ธ.ค. | 19.29 | 19.30 | 19.02 | 18.74 | 18.62 | 18.29 | 19.16 | 19.20 | 19.96 | 19.69 | 18.47 | 18.57 | 17.65 | 18.13 | 18.10 | 17.52 | 17.21 | 17.86 | 18.50 | 18.75 | 19.08 | 19.00 | 18.93 | 18.78 | 19.43 |
| 21-มิ.ย. | 23.74 | 23.49 | 23.42 | 23.32 | 23.39 | 23.47 | 24.14 | 24.48 | 24.40 | 23.71 | 23.85 | 23.26 | 23.41 | 23.45 | 23.71 | 23.75 | 23.75 | 23.74 | 23.82 | 23.93 | 24.25 | 24.47 | 24.71 | 24.18 | 23.69 |
| 21-ก.ย. | 23.82 | 23.86 | 23.90 | 23.90 | 23.69 | 23.73 | 24.39 | 24.86 | 25.36 | 24.75 | 24.25 | 24.29 | 23.78 | 23.74 | 23.11 | 23.30 | 23.85 | 23.38 | 23.31 | 23.75 | 23.94 | 24.19 | 24.58 | 24.51 | 23.71 |
| 27-เม.ย. | 24.92 | 25.13 | 24.92 | 24.78 | 24.75 | 24.68 | 24.78 | 24.89 | 24.64 | 24.47 | 23.86 | 24.28 | 23.50 | 22.37 | 22.29 | 22.49 | 23.46 | 23.38 | 24.27 | 23.71 | 23.74 | 24.43 | 24.39 | 24.29 | 24.39 |

ความเร็วลมภายนอก (km/hr)

| Time | 12:00 AM | 1:00 AM | 2:00 AM | 3:00 AM | 4:00 AM | 5:00 AM | 6:00 AM | 7:00 AM | 8:00 AM | 9:00 AM | 10:00 AM | 11:00 AM | 12:00 PM | 1:00 PM | 2:00 PM | 3:00 PM | 4:00 PM | 5:00 PM | 6:00 PM | 7:00 PM | 8:00 PM | 9:00 PM | 10:00 PM | 11:00 PM | 12:00 AM |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 21-มี.ค. | 7.40 | 5.55 | 3.70 | 5.55 | 5.55 | 3.70 | 5.55 | 7.40 | 9.25 | 11.10 | 11.10 | 11.10 | 14.80 | 11.10 | 12.95 | 11.10 | 9.25 | 5.55 | 9.25 | 7.40 | 7.40 | 7.40 | 7.40 | 7.40 | 5.55 |
| 21-ธ.ค. | 0.00 | 0.00 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 3.70 | 5.55 | 5.55 | 7.40 | 7.40 | 7.40 | 5.55 | 5.55 | 5.55 | 3.70 | 3.70 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 3.70 | 0.00 |
| 21-มิ.ย. | 3.70 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 3.70 | 1.85 | 5.55 | 7.40 | 7.40 | 5.55 | 7.40 | 11.10 | 9.25 | 7.40 | 7.40 | 9.25 | 9.25 | 3.70 | 3.70 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 3.70 |
| 21-ก.ย. | 1.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.70 | 5.55 | 3.70 | 3.70 | 11.10 | 11.10 | 7.40 | 7.40 | 7.40 | 12.95 | 9.25 | 7.40 | 3.70 | 5.55 | 0.00 | 0.00 | 1.85 |
| 27-เม.ย. | 5.55 | 7.40 | 3.70 | 1.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.85 | 3.70 | 5.55 | 7.40 | 9.25 | 5.55 | 7.40 | 11.10 | 12.95 | 12.95 | 14.80 | 7.40 | 9.25 | 5.55 | 5.55 | 9.25 | 9.25 | 7.40 |



ภาคผนวก ช

ตัวอย่างการคำนวณหาเวลาของดวงอาทิตย์ขึ้น และ ดวงอาทิตย์ตก
ของวันที่ 21 ธันวาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณหาเวลาของดวงอาทิตย์ขึ้น และ ดวงอาทิตย์ตก
ของวันที่ 21 ธันวาคม

ข้อมูลเบื้องต้น

| | | |
|-------------------------|---|--------------------|
| วันที่ใช้ในการทดลอง | : | 21 ธันวาคม |
| ทิศของเปลือกอาคาร | : | ใต้ |
| ตำแหน่งละติจูด | : | 13.92 องศา |
| ตำแหน่งลองจิจูดมาตรฐาน | : | 105.0 องศาตะวันออก |
| ตำแหน่งลองจิจูดท้องถิ่น | : | 100.6 องศาตะวันออก |

จากสมการ

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \phi \cos \omega + \sin \delta \sin \phi$$

โดยที่

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} (284 + 355) \right) = -23.45 \text{ องศา}$$

$$\phi = 13.92 \text{ องศา}$$

$$\theta_z = 90 \text{ องศา}$$

$$\therefore 0 = \sin(-23.45)\sin(13.92) + \cos(-23.45)\cos(13.92)\cos \omega$$

$$\cos \omega = 0.1075$$

$$\omega = 83.83 \text{ องศา}$$

$$\therefore \text{เวลาสุริยะของดวงอาทิตย์ขึ้น คือ 6:24 น.}$$

$$\text{เวลาสุริยะของดวงอาทิตย์ลง คือ 17:36 น.}$$

จาก $\text{Solar Time} = \text{Standard Time} - 4(L_{st} - L_{loc}) + E$

โดยที่ $E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B, \quad B = \frac{360(n-81)}{364}$

ดังนั้น $B = \frac{360(355-81)}{364} = 270.99$

$$E = 1.02913$$

∴ Solar Time = Standard Time – 16.97087

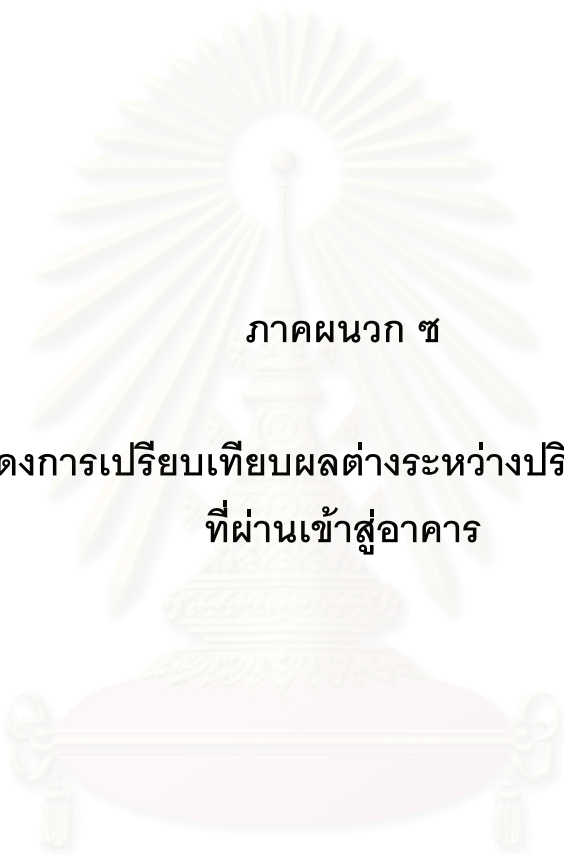
Standard Time = Solar Time + 17 Min

∴ เวลาท้องถิ่นของดวงอาทิตย์ขึ้น คือ 6:41 น.

เวลาท้องถิ่นของดวงอาทิตย์ตก คือ 17:53 น.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ซ

ตัวอย่างแสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างปริมาณความร้อนรวม
ที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างแสดงการเปรียบเทียบผลต่างระหว่างปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

ปริมาณความร้อนรวมในแต่ละวัน จะเกิดจากผลรวมของปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนถึงดวงอาทิตย์ตก ซึ่งในที่นี้ เวลาท้องถิ่นดวงอาทิตย์ขึ้นของวันที่ 21 ธันวาคม คือ 6:50 น. และเวลาท้องถิ่นของดวงอาทิตย์ตก คือ 17:50 น. ปริมาณความร้อนรวมในแต่ละวัน (Daily Total Heat Gain, H_{daily}) สามารถหาได้จากสมการ

$$H_{daily} \text{ (MJ)} = \sum_{i=sunrise}^{sunset} \frac{\text{Total Heat Gain (Watts)} \times 600 \text{ sec}}{1 \times 10^6}$$

สำหรับวิธีการเปรียบเทียบผลต่างของปริมาณความร้อนในแต่ละวันเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดจะใช้สมการดังนี้

$$\text{Error}(\%) = \frac{2 \times (H_{daily, noshade} - H_{daily, shade})}{(H_{daily, noshade})} \times 100$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



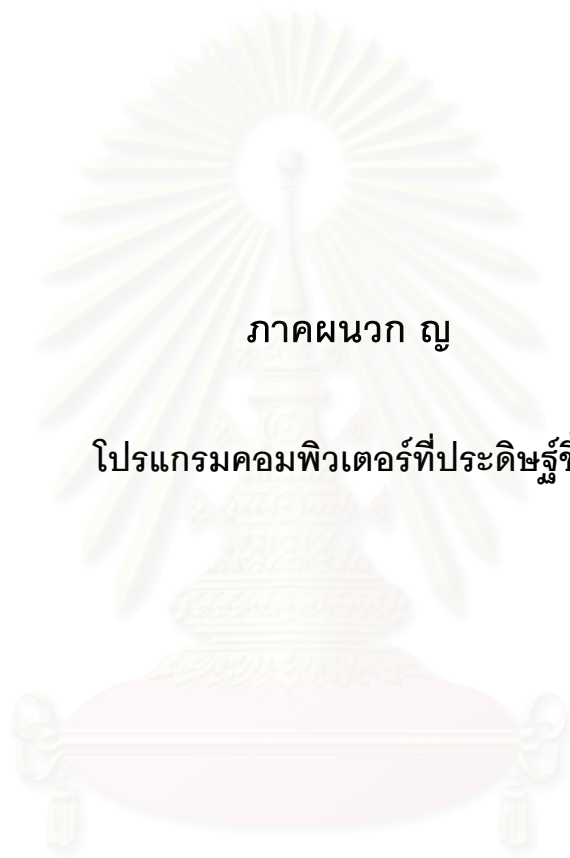
ภาคผนวก ฅ

แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวม ค่าความร้อนรวม
และ อุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์
บังแดด ระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ โปรแกรม DOE2.1E
ของวันที่ 21 ธันวาคม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฅ.1 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนรวม ค่าความร้อนรวม และอุณหภูมิผิวภายนอกเปลือกอาคารด้านทิศใต้ กรณีไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ระหว่างโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น กับ โปรแกรม DOE2.1E ของวันที่ 21 ธันวาคม

| เวลา | ปริมาณความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคาร (วัตต์) | | ค่าความร้อนรวมจากดวงอาทิตย์ (วัตต์) | | อุณหภูมิผิวภายนอกอาคาร (องศาเซลเซียส) | |
|----------|--|---------|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|---------|
| | DOE2.1E | PROGRAM | DOE2.1E | PROGRAM | DOE2.1E | PROGRAM |
| 1:00 AM | 86.9 | -17.6 | 0.0 | -131.0 | 26.5 | 24.4 |
| 2:00 AM | 56.2 | -35.1 | 0.0 | -131.3 | 25.9 | 24.0 |
| 3:00 AM | 29.8 | -52.5 | 0.0 | -132.3 | 25.4 | 23.6 |
| 4:00 AM | 66 | -69.2 | 0.0 | -132.9 | 24.9 | 23.3 |
| 5:00 AM | -14.3 | -84.7 | 0.0 | -133.8 | 24.6 | 23.0 |
| 6:00 AM | -32.3 | -99.1 | 0.0 | -131.5 | 24.1 | 22.7 |
| 7:00 AM | -48.6 | -111.5 | 246.0 | 800.2 | 24.6 | 23.9 |
| 8:00 AM | -51.2 | -101.8 | 1646.2 | 2531.2 | 28.0 | 28.0 |
| 9:00 AM | -13.8 | -28.6 | 3311.3 | 3953.0 | 33.1 | 33.0 |
| 10:00 AM | 75.1 | 102.6 | 4616.8 | 4854.0 | 38.5 | 37.2 |
| 11:00 AM | 212.9 | 270.6 | 5458.8 | 5393.5 | 41.2 | 40.3 |
| 12:00 PM | 359.9 | 430.2 | 5780.5 | 5611.9 | 44.2 | 42.7 |
| 1:00 PM | 497.1 | 570.8 | 5626.0 | 5528.6 | 45.3 | 43.8 |
| 2:00 PM | 598.7 | 644.8 | 5017.3 | 5142.0 | 45.7 | 44.3 |
| 3:00 PM | 671.6 | 713.5 | 3970.4 | 4428.7 | 44.6 | 43.5 |
| 4:00 PM | 701.3 | 741.3 | 2500.8 | 3311.4 | 42.4 | 41.4 |
| 5:00 PM | 665.7 | 681.3 | 898.8 | 1621.7 | 38.1 | 37.6 |
| 6:00 PM | 569.0 | 606.9 | 0.0 | -202.9 | 34.3 | 32.6 |
| 7:00 PM | 470.0 | 460.5 | 0.0 | -176.6 | 32.2 | 30.0 |
| 8:00 PM | 374.0 | 345.6 | 0.0 | -161.2 | 30.7 | 28.5 |
| 9:00 PM | 292.3 | 249.4 | 0.0 | -151.7 | 29.2 | 27.5 |
| 10:00 PM | 222.5 | 173.8 | 0.0 | -143.4 | 28.5 | 26.7 |
| 11:00 PM | 167.0 | 122.5 | 0.0 | -141.8 | 27.8 | 26.0 |
| 12:00 AM | 123.2 | 64.6 | 0.0 | -137.6 | 27.1 | 25.3 |



ภาคผนวก ญ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```

=====
forms-frmCalculate
=====

Private Sub About_Click()
    frmAbout.Show
End Sub

Private Sub cmdProcess_Click()
    Phi = 3.14159265
    Factor = Phi / 180
    cmdProcess.MousePointer = 13
    cmdProcess.Visible = False
    frmInitial.testchange2 = False

'++++++
    frmCalculate.ProgressBar1.Value = 1
    Call DefineSymbol '(Processing1)
    Call SetGridWallAndShading '(Processing2)
    Call FrsFrg '(Processing3)
    Call InitialDirectDiffuse '(Processing4)
    Call InitialDiffuseReflect '(Processing 5)
    If LayerShade <> "None" Then
        Call InitialTempShade '(Processing 5)
    End If
    Call InitialHeatGainThroughWall '(Processing6)
    For k = 1 To 145

        frmCalculate.ProgressBar1.Value = 21 + k / 2
        Call DirectDiffuseZenithAzimuth
'(Processing4)
        Call SolarRadiation_Unshade '(Processing5)
        Call HeatGainThroughWall_Unshade
'(Processing6)
        Call TotalSolarRadiation_Unshade
'(Processing5)
        If LayerShade <> "None" Then
            BetaDegree = (Angle_Wall -
Azimuth(k) / Factor)
            If BetaDegree > 270 And
BetaDegree < 360 Then
                BetaDegree = BetaDegree - 360
            ElseIf BetaDegree < -270 And
BetaDegree > -360 Then
                BetaDegree = BetaDegree +
360
            End If
            Beta = BetaDegree * Factor
            ZenithCheck = Zenith(k) / Factor
            Call InitialDirectReflect
'(Processing5)
            Call InitialShade '(Processing5)
            For i = 1 To 100
            For j = 1 To 100
                Call InitialViewFactorShade
'(Processing5)
                Call SolarRadiation_Shade
'(Processing5)
            Call
HeatGainThroughWall_Shade '(Processing6)
            Call TotalSolarRadiation_Shade
'(Processing5)
                Next j
            Next i
        Next k
        Call Evaluate '(Processing8)

'++++++
    frmCalculate.ProgressBar1.Value = 100
    cmdProcess.MousePointer = 0
    cmdResult.Enabled = True
    cmdResult.Default = True

    Toolbar1.Buttons.Item(6).Enabled = True
    StatusBar1.Panels.Item(1).Text = "Calculate :
Completed."
    Beep
End Sub

Private Sub cmdResult_Click()
    frmCalculate.Hide
    frmResult.Show
End Sub

Private Sub exit_Click()
    Call ExitIt
End Sub

Private Sub print_Click()
    frmCalculate.PrintForm
End Sub

Private Sub save_Click()
    Call SaveIt
End Sub

Private Sub saveas_Click()
    Call SaveIt
End Sub

Private Sub Toolbar1_ButtonClick(ByVal Button As
MSComctlLib.Button)
    Select Case Button.Key
        Case Is = "Save"
            Call SaveIt
        Case Is = "Print"
            frmCalculate.PrintForm
        Case Is = "Back"
            frmStep6.Show
            frmCalculate.Hide
        Case Is = "Forward"
            frmResult.Show
            frmCalculate.Hide
        Case Is = "Stop"
            Call ExitIt
        Case Is = "Calculator"
            filerun = Shell("c:\windows\calc")
        Case Is = "About"
            frmAbout.Show
    End Select
End Sub

Sub SaveIt()
    Dim strThs As String
    strThs = "ths Files (*.ths)|*.ths"
    CommonDialog1.Filter = strThs
    CommonDialog1.FileName = ""
    CommonDialog1.ShowSave
    If CommonDialog1.FileName <> "" Then
        search$ = "."
        findPos% = InStr(CommonDialog1.FileName$,
search$)
        If findPos% = 0 Then
            frmInitial.Text1 = CommonDialog1.FileName &
".ths"
        Else
            frmInitial.Text1 = CommonDialog1.FileName
        End If
    End If
    frmInitial.testchange = False
    Call mdesave1
End Sub

Sub ExitIt()
    If frmInitial.testchange = True Then

```

```

message = MsgBox("Do you want to save the
change you made to databases?", 51, "Please Confirm")
If message = vbYes Then
    Call Savelt
    End
ElseIf message = vbNo Then
    End
Else
    End If
Else
    End
End If
End Sub

=====
Modules-fnInterval
=====

Public Function Interval(ByVal Min As Single, ByVal Max
As Single, ByVal Number As Integer) As Integer
    Min = Int(Min)
    check = (Max - Min) / Number
    If check <> 0 Then
        If Int(check) = 0 Then
            check = 1
        Else
            If check / Int(check) <> 1 Then
                check = Int(check) + 1
            End If
        End If
    End If
    Interval = check
End Function

=====
Modules-fnMinMax
=====

Public Function Min(Grid() As Single, M As Integer) As
Single
    InitialValue = Grid(M, 1, 1, 1)
    For i = 1 To 100
        For j = 1 To 100
            For k = 1 To 145
                testmin = Grid(M, i, j, k)
                If Grid(M, i, j, k) < InitialValue Then
                    InitialValue = Grid(M, i, j, k)
                End If
            Next k
        Next j
    Next i
    Min = InitialValue
End Function

Public Function Max(Grid() As Single, M As Integer) As
Single
    InitialValue = Grid_Value(M, 1, 1, 1)
    For i = 1 To 100
        For j = 1 To 100
            For k = 1 To 145
                testmin = Grid(M, i, j, k)
                If Grid(M, i, j, k) > InitialValue Then
                    InitialValue = Grid(M, i, j, k)
                End If
            Next k
        Next j
    Next i
    Max = InitialValue
End Function

=====
Modules-mdeData
=====

'time 0.00 , 0.10 , 0.20 , ... , 24.00 Amount 145 number
Global Times(145) As String
'-----Any grid-----Dimension (x,y,time)

Global Direct(1 To 145) As Single
Global Diffuse(1 To 145) As Single
    'Unshade
Global Grid_HeatGain_Unshade(1 To 145) As Single
Global Gsolarunshade(1 To 145) As Single
Global Grid_TotalUnshade(1 To 145) As Single
Global Grid_DirectUnshade(1 To 145) As Single
Global Grid_DiffuseUnshade(1 To 145) As Single
Global Grid_SkyUnshade(1 To 145) As Single
Global Grid_GroundUnshade(1 To 145) As Single
Global Grid_TempOut_Unshade(1 To 145) As Single
Global Grid_TempIn_Unshade(1 To 145) As Single
    'Shade
Global Frs(1 To 100, 1 To 100) As Single
Global Frg(1 To 100, 1 To 100) As Single
Global Grid_Value(1 To 11, 1 To 100, 1 To 100, 1 To
145) As Single
Global Gsolar(1 To 100, 1 To 100, 1 To 145) As Single

'Define Grid_Value(n,100,100,145)
'(n= 1) Grid_HeatGain_Shade
'(n= 2) Grid_TotalShade
'(n= 3) Grid_Direct
'(n= 4) Grid_Diffuse
'(n= 5) Grid_DirectReflect
'(n= 6) Grid_DiffuseReflect
'(n= 7) Grid_Shading
'(n= 8) Grid_Sky
'(n= 9) Grid_Ground
'(n=10) Grid_TempOut_Shade
'(n=11) Grid_TempIn_Shade

'-----Total-----Dimension (time)
'1.Thermal
    'Unshade
Global Sum_HeatGain_Unshade(1 To 145) As Single
Global Sum_TotalUnshade(1 To 145) As Single
Global Sum_DirectUnshade(1 To 145) As Single
Global Sum_DiffuseUnshade(1 To 145) As Single
Global Sum_GroundUnshade(1 To 145) As Single
Global Sum_SkyUnshade(1 To 145) As Single
    'Shade
Global Sum_HeatGain_Shade(1 To 145) As Single
Global Sum_TotalShade(1 To 145) As Single
Global Sum_Direct(1 To 145) As Single
Global Sum_Diffuse(1 To 145) As Single
Global Sum_DirectReflect(1 To 145) As Single
Global Sum_DiffuseReflect(1 To 145) As Single
Global Sum_Shading(1 To 145) As Single
Global Sum_Sky(1 To 145) As Single
Global Sum_Ground(1 To 145) As Single

'2.Temperature

Global Average_TempOut_Shade(1 To 145) As Single
Global Average_TempIn_Shade(1 To 145) As Single

```

```

=====
                        Modules-mdeOpen
=====

Option Explicit

Public Type lastname
    'Step1
    angleOfBuilding As Single
    lenght As Single
    height As Single
    'Step2
    LayerWall As Single
    TypeWall(1 To 7) As String
    IndexTypeWall(1 To 7) As Integer
    kWall(1 To 7) As Single
    CpWall(1 To 7) As Single
    DensityWall(1 To 7) As Single
    ThicknessWall(1 To 7) As Single
    blank_frm2combo1 As Boolean
    'Step3
    LayerShade As String
    TypeShade As String
    IndexTypeShade As Integer
    x_Shade As Single
    x1_Shade As Single
    y_Shade As Single
    z_Shade As Single
    t_Shade As Single
    s_Shade As Single
    u_Shade As Single
    k_Shade As Single
    Cp_Shade As Single
    Density_Shade As Single
    'Step4
    WindIn(1 To 25) As Single
    WindOut(1 To 25) As Single
    Temp_Air_In(1 To 25) As Single
    Temp_Air_Out(1 To 25) As Single
    DewPoint(1 To 25) As Single
    'Step5
    TypeSurface(1 To 3) As String
    IndexTypeSurface(1 To 3) As Single
    Emiss_Surface(1 To 3) As Single
    absorp_Surface(1 To 3) As Single
    reflect_Surface(1 To 3) As Single
    Emiss_Sky As Single
    reflect_Ground As Single
    'Step6
    Month As String
    Date As String
    Latitude_Direction As String
    Latitude_Degree As Single
    Longitude_Direction_Std As String
    Longitude_Degree_Std As Single
    Longitude_Direction_Loc As String
    Longitude_Degree_Loc As Single
    Zone As String
    SeaLevel As Single
End Type

Public Sub mdeopen1()

Dim record As lastname
Dim i, N_Index, N_Index2, N_Index3 As Integer

Open frmInitial.Text2 For Binary As #1
    Get #1, , record

step1:
    frmStep1.Text1 = record.angleOfBuilding
    frmStep1.Text2 = record.lenght
    frmStep1.Text3 = record.height

step2:
    If record.LayerWall = 0 Then
        GoTo step3:
    End If
    frmStep2.Combo1 = record.LayerWall
    For i = 1 To frmStep2.Combo1
        Call MaterialOfWall
    If Val(record.IndexTypeWall(i)) > N_Index Then
        frmStep2.Combo2(i).AddItem record.TypeWall(i)
    End If
    If record.TypeWall(i) = "" Then
        GoTo step3:
    End If
    frmStep2.Combo2(i) = record.TypeWall(i)
    frmStep2.Text1(i) = record.kWall(i)
    frmStep2.Text2(i) = record.CpWall(i)
    frmStep2.Text3(i) = record.DensityWall(i)
    frmStep2.Text4(i) = record.ThicknessWall(i)
    Next i
step3:
    If record.LayerShade = "" Then
        GoTo step4:
    End If
    frmStep3.Combo1 = record.LayerShade
    Call MaterialOfShade
    If Val(record.IndexTypeShade) > N_Index2 Then
        frmStep3.Combo2.AddItem record.TypeShade
    End If
    If record.TypeShade = "" Then
        GoTo step4:
    End If
    frmStep3.Combo2 = record.TypeShade
    frmStep3.Text1(1) = record.z_Shade
    frmStep3.Text1(2) = record.y_Shade
    frmStep3.Text1(3) = record.x_Shade
    If record.LayerShade <> "1" Then
        frmStep3.Text1(4) = record.t_Shade
    End If
    frmStep3.Text1(5) = record.s_Shade
    frmStep3.Text1(6) = record.x1_Shade
    frmStep3.Text1(7) = record.u_Shade
    frmStep3.Text1(8) = record.k_Shade
    frmStep3.Text1(9) = record.Cp_Shade
    frmStep3.Text1(10) = record.Density_Shade
step4:
    For i = 1 To 25
        frmWindIn.Text1(i - 1) = record.WindIn(i)
        frmWindOut.Text1(i - 1) = record.WindOut(i)
        frmTempAirIn.Text1(i - 1) = record.Temp_Air_In(i)
        frmTempAirOut.Text1(i - 1) =
record.Temp_Air_Out(i)
        frmDewPoint.Text1(i - 1) = record.DewPoint(i)
    Next i
step5:
    For i = 1 To 3
        Call MaterialOfSurface
        If Val(record.IndexTypeSurface(i)) > N_Index3
Then
            frmStep5.Combo1(i).AddItem
record.TypeSurface(i)
        End If
        If record.TypeSurface(i) = "" Then
            GoTo step6:
        End If
        frmStep5.Combo1(i) = record.TypeSurface(i)
        frmStep5.Text1(i) = record.Emiss_Surface(i)
        frmStep5.Text2(i) = record.aborp_Surface(i)
        frmStep5.Text3(i) = record.reflect_Surface(i)
    Next i
    frmStep5.Text4 = record.Emiss_Sky
    frmStep5.Text5 = record.reflect_Ground
step6:
    If record.Month = "" Then

```

```

GoTo one:
End If
frmStep6.Combo1 = record.Month
one:
If record.Date = "" Then
GoTo Two:
End If
frmStep6.Combo2 = record.Date
Two:
If record.Latitude_Direction = "" Then
GoTo three:
End If
frmStep6.Combo3 = record.Latitude_Direction
three:
If record.Longitude_Direction_Std = "" Then
GoTo four:
End If
frmStep6.Combo4 = record.Longitude_Direction_Std
four:
If record.Longitude_Direction_Loc = "" Then
GoTo five:
End If
frmStep6.Combo6 = record.Longitude_Direction_Loc
five:
If record.Zone = "" Then
GoTo six:
End If
frmStep6.Combo5 = record.Zone
six:
frmStep6.Text1 = record.Latitude_Degree
frmStep6.Text2 = record.Longitude_Degree_Std
frmStep6.Text4 = record.Longitude_Degree_Loc
frmStep6.Text3 = record.SeaLevel
Close #1
frmStep1.Show
frmInitial.Hide
End Sub

```

```

=====
Modules-mdeProcessing1
=====

```

```

Global Angle_Wall As Single
Global Long_Wall As Single
Global High_Wall As Single
Global LayerWall As Single
Global TypeWall(1 To 7) As String
Global kWall(1 To 7) As Single
Global CpWall(1 To 7) As Single
Global DensityWall(1 To 7) As Single
Global ThicknessWall(1 To 7) As Single
Global LayerShade As String
Global TypeShade As String
Global z_Shade As Single
Global y_Shade As Single
Global x_Shade As Single
Global t_Shade As Single
Global s_Shade As Single
Global x1_Shade As Single
Global u_Shade As Single
Global k_Shade As Single
Global Cp_Shade As Single
Global Density_Shade As Single
Global WindIn(1 To 145) As Single
Global WindOut(1 To 145) As Single
Global TempAirIn(1 To 145) As Single
Global TempAirOut(1 To 145) As Single
Global DewPoint(1 To 145) As Single
Global WindInDif, WindOutDif, TempAirInDif As Single
Global TempAirOutDif, DewPointDif As Single
Global TypeSurface(1 To 3) As String
Global EmissSurface(1 To 3) As Single
Global AbsorpSurface(1 To 3) As Single

```

```

Global ReflectSurface(1 To 3) As Single
Global EmissSky As Single
Global ReflectGround As Single
Global Month As String
Global Dates As Integer
Global LatitudeDirection As String
Global LatitudeAngle As Single
Global LongDirectionStd As String
Global LongAngleStd As Single
Global LongDirectionLoc As String
Global LongAngleLoc As Single
Global Zone As String
Global SeaLevel As Single

Public Sub DefineSymbol()
Dim i, j As Integer
Angle_Wall = Val(frmStep1.Text1)
Long_Wall = Val(frmStep1.Text2) / 100
High_Wall = Val(frmStep1.Text3) / 100
LayerWall = frmStep2.Combo1
For i = 1 To LayerWall
TypeWall(i) = frmStep2.Combo2(i)
kWall(i) = Val(frmStep2.Text1(i))
CpWall(i) = Val(frmStep2.Text2(i))
DensityWall(i) = Val(frmStep2.Text3(i))
ThicknessWall(i) = Val(frmStep2.Text4(i)) / 100
Next i
LayerShade = frmStep3.Combo1
If LayerShade <> "None" Then
TypeShade = frmStep3.Combo2
z_Shade = Val(frmStep3.Text1(1)) / 100
y_Shade = Val(frmStep3.Text1(2)) / 100
x_Shade = Val(frmStep3.Text1(3)) / 100

If LayerShade <> "1" Then
t_Shade = Val(frmStep3.Text1(4)) / 100
End If

s_Shade = Val(frmStep3.Text1(5)) / 100
x1_Shade = Val(frmStep3.Text1(6)) / 100
u_Shade = Val(frmStep3.Text1(7)) / 100
k_Shade = Val(frmStep3.Text1(8))
Cp_Shade = Val(frmStep3.Text1(9))
Density_Shade = Val(frmStep3.Text1(10))
End If
For i = 1 To 145 Step 6
WindIn(i) = Val(frmWindIn.Text1((i - 1) / 6))
WindOut(i) = Val(frmWindOut.Text1((i - 1) / 6))
TempAirIn(i) = Val(frmTempAirIn.Text1((i - 1) / 6))
TempAirOut(i) = Val(frmTempAirOut.Text1((i - 1) / 6))
DewPoint(i) = Val(frmDewPoint.Text1((i - 1) / 6))
Next i
For i = 1 To 144 Step 6
WindInDif = (WindIn(i + 6) - WindIn(i)) / 6
WindOutDif = (WindOut(i + 6) - WindOut(i)) / 6
TempAirInDif = (TempAirIn(i + 6) - TempAirIn(i)) / 6
TempAirOutDif = (TempAirOut(i + 6) - TempAirOut(i)) / 6
DewPointDif = (DewPoint(i + 6) - DewPoint(i)) / 6
For j = 1 To 5
WindOut(i + j) = WindOut(i) + j * WindOutDif
WindIn(i + j) = WindIn(i) + j * WindInDif
TempAirOut(i + j) = TempAirOut(i) + j * TempAirOutDif
TempAirIn(i + j) = TempAirIn(i) + j * TempAirInDif
DewPoint(i + j) = DewPoint(i) + j * DewPointDif
Next j
Next i
If LayerShade <> "None" Then
j = 3

```

```

Else
    j = 2
End If
For i = 1 To j
    TypeSurface(i) = frmStep5.Combo1(i)
    EmissSurface(i) = Val(frmStep5.Text1(i))
    AbsorpSurface(i) = Val(frmStep5.Text2(i))
    ReflectSurface(i) = Val(frmStep5.Text3(i))
Next i
EmissSky = Val(frmStep5.Text4)
ReflectGround = Val(frmStep5.Text5)
Month = frmStep6.Combo1
Dates = Val(frmStep6.Combo2)
LatitudeDirection = frmStep6.Combo3
LatitudeAngle = Val(frmStep6.Text1)
LongDirectionStd = frmStep6.Combo4
LongAngleStd = Val(frmStep6.Text2)
LongDirectionLoc = frmStep6.Combo6
LongAngleLoc = Val(frmStep6.Text4)
Zone = frmStep6.Combo5
SeaLevel = Val(frmStep6.Text3) / 1000
End Sub

=====
Modules-mdeProcessing2
=====

Global Interval_X, Interval_Y As Single
Global GridX(1 To 100, 1 To 100), GridY(1 To 100, 1 To 100), GridZ(1 To 100, 1 To 100) As Single
Global SH_X(1 To 20, 1 To 4), SH_Y(1 To 20, 1 To 4), SH_Z(1 To 20, 1 To 4) As Single
Global NumberShade As Integer

Public Sub SetGridWallAndShading()
'+++++ Find Dimension of Grid of Wall
    Interval_X = Long_Wall / 100
    Interval_Y = High_Wall / 100
    NumberGrid = 10000
    For i = 1 To 100
        For j = 1 To 100
            GridX(i, j) = Interval_X / 2 + (i - 1) * Interval_X
            GridY(i, j) = Interval_Y / 2 + (j - 1) * Interval_Y
            GridZ(i, j) = 0
        Next j, i
    '+++++ Find Dimension of Shading
    If LayerShade <> "None" Then
        NumberShade = 2 * LayerShade
        For i = 1 To NumberShade
            For j = 1 To 4
                'Dimension X
                If j = 1 Or j = 2 Then
                    SH_X(i, j) = x1_Shade
                ElseIf j = 3 Or j = 4 Then
                    SH_X(i, j) = x1_Shade + x_Shade
                End If
                'Dimension Y
                If LayerShade = "1" Then
                    SH_Y(i, j) = High_Wall - u_Shade - Int(i
/ 2) * y_Shade
                Else
                    SH_Y(i, j) = High_Wall - u_Shade - Int(i
/ 2) * y_Shade - Int((i - 1) / 2) * t_Shade
                End If
                'Dimension Z
                If j = 1 Or j = 4 Then
                    SH_Z(i, j) = s_Shade
                ElseIf j = 2 Or j = 3 Then
                    SH_Z(i, j) = s_Shade + z_Shade
                End If
            Next j, i
        End If
    End Sub

=====
Modules-mdeProcessing3
=====

Dim Angle(10) As Single
Global Beta, BetaDegree, ZenithCheck As Single
Global Phi, Factor As Single
Global UpDown, NumberUp, NumberDown As Single
Global ZViewFactor(1 To 100, 1 To 100, 1 To 2, 1 To 100) As Single
Global LayerViewFactor(1 To 100, 1 To 100, 1 To 2, 1 To 100) As Integer

Public Sub FrsFrg()
If LayerShade <> "None" Then
    Angle(1) = 18.43
    Angle(2) = 45
    Angle(3) = 59.78
    Angle(4) = 72.44
    Angle(5) = 84.23
    Angle(6) = 95.77
    Angle(7) = 107.56
    Angle(8) = 120.22
    Angle(9) = 135.43
    Angle(10) = 162

    For i = 1 To 100
        frmCalculate.ProgressBar1.Value = 1 + 20 / 100 * i
        For j = 1 To 100
            Beta = -85.5
            Frs(i, j) = 0.5
            Frg(i, j) = 0.5
            NumberUp = 0
            NumberDown = 0
            For L = 1 To 20
                For k = 1 To 5
                    ZenithCheck = Angle(k)
                    M = InterceptAdvance(i, j, k, GridX, GridY,
GridZ, _
                    SH_X, SH_Y, SH_Z, NumberShade,
Beta, ZenithCheck)
                    If M = 2 Then
                        Frs(i, j) = Frs(i, j) - 0.005
                    End If
                Next k
            For k = 6 To 10
                ZenithCheck = Angle(k)
                M = InterceptAdvance(i, j, k, GridX, GridY,
GridZ, _
                SH_X, SH_Y, SH_Z, NumberShade,
Beta, ZenithCheck)
                If M = 2 Then
                    Frg(i, j) = Frg(i, j) - 0.005
                End If
            Next k
            Beta = Beta + 9
        Next L
    Next j, i
Else
    For i = 1 To 100
        For j = 1 To 100
            Frs(i, j) = 0.5
            Frg(i, j) = 0.5
        Next j, i
    End If
End Sub

Function Intercept(i, j, GridX, GridY, GridZ, SH_X _
, SH_Y, SH_Z, NumberShade,
Beta, ZenithCheck)
    M = 0
    'CALCULATE

```

```

GX = GridX(i, j)
GY = GridY(i, j)
GZ = GridZ(i, j)
Altitude = (90 - ZenithCheck) * Factor
For n = 1 To NumberShade
  'FIND POINT ON PLANE
  PY = SH_Y(n, 1)
  Amp = (PY - GY) / Sin(Altitude)
  PX = GX + Amp * Cos(Altitude) * Sin(Beta)
  PZ = GZ + Amp * (Cos(Altitude) * Cos(Beta))
  'CHECK INTERCEPT ON PLANE
  If PX >= SH_X(n, 1) And PX <= SH_X(n, 4)
Then
  If PZ >= SH_Z(n, 1) And PZ <= SH_Z(n, 2)
Then
  Intercept = 2
  GoTo Intercept_Shading:
End If
End If
Next n
Intercept = 0
Intercept_Shading:
End Function

Function InterceptAdvance(i, j, k, GridX, GridY, GridZ,
SH_X_,
, SH_Y, SH_Z, NumberShade,
Beta, ZenithCheck)
M = 0
'CALCULATE
GX = GridX(i, j)
GY = GridY(i, j)
GZ = GridZ(i, j)
Beta_Radius = Beta * Factor
Altitude = (90 - ZenithCheck) * Factor
For n = 1 To NumberShade
  'FIND POINT ON PLANE
  PY = SH_Y(n, 1)
  Amp = (PY - GY) / Sin(Altitude)
  PX = GX + Amp * Cos(Altitude) *
Sin(Beta_Radius)
  PZ = GZ + Amp * (Cos(Altitude) *
Cos(Beta_Radius))
  'CHECK INTERCEPT ON PLANE
  If PX >= SH_X(n, 1) And PX <= SH_X(n, 4)
Then
  If PZ >= SH_Z(n, 1) And PZ <= SH_Z(n, 2)
Then
  InterceptAdvance = 2

  'Additional
  If k >= 1 And k <= 5 Then
    NumberUp = NumberUp + 1
    ZViewFactor(i, j, 1, NumberUp) = PZ
    If n = 1 Or n = 2 Then
      LayerViewFactor(i, j, 1, NumberUp) =
1
    Else
      LayerViewFactor(i, j, 1, NumberUp) =
2
    End If
    ElseIf k >= 6 And k <= 10 Then
      NumberDown = NumberDown + 1
      ZViewFactor(i, j, 2, NumberDown) = PZ
      If n = 1 Or n = 2 Then
        LayerViewFactor(i, j, 2,
NumberDown) = 1
      Else
        LayerViewFactor(i, j, 2,
NumberDown) = 2
      End If
    End If
  End If

  GoTo Intercept_Shading:
End If
End Function

Public Sub InitialDirectDiffuse()
'ทำให้เพราะจะได้ไม่ต้องวงวนลูบใน subroutine
DirectDiffuseZenithAzimuth()
' 1. DAY
If Month = "January" Then
  N_Day = Dates
ElseIf Month = "February" Then
  N_Day = Dates + 31
ElseIf Month = "March" Then
  N_Day = Dates + 59
ElseIf Month = "April" Then
  N_Day = Dates + 90
ElseIf Month = "May" Then
  N_Day = Dates + 120
ElseIf Month = "June" Then
  N_Day = Dates + 151
ElseIf Month = "July" Then
  N_Day = Dates + 181
ElseIf Month = "August" Then
  N_Day = Dates + 212
ElseIf Month = "September" Then
  N_Day = Dates + 243
ElseIf Month = "October" Then
  N_Day = Dates + 273
ElseIf Month = "November" Then
  N_Day = Dates + 304
ElseIf Month = "December" Then
  N_Day = Dates + 334
End If
' 2. LONGITUDE AND LATITUDE
If LongDirectionStd = "East" Then
  LongAngleStd = Abs(LongAngleStd)
ElseIf LongDirectionStd = "West" Then
  LongAngleStd = Abs(LongAngleStd) * (-1)
End If
If LongDirectionLoc = "East" Then
  LongAngleLoc = Abs(LongAngleLoc)
ElseIf LongDirectionLoc = "West" Then
  LongAngleLoc = Abs(LongAngleLoc) * (-1)
End If
If LatitudeDirection = "North" Then
  LatitudeAngle = Abs(LatitudeAngle)
ElseIf LatitudeDirection = "South" Then
  LatitudeAngle = Abs(LatitudeAngle) * (-1)
End If
' 3. LATITUDE IS RADIAN
LatitudeAngle = LatitudeAngle * Factor
' 4. DECLINATION IS RADIAN
Declina = (23.45 * Sin(360 / 365 * (284 +
N_Day) * Factor)) * Factor

```

```

' 5. FIND Gon
    Gon = 1353 * (1 + 0.033 * Cos(360 / 365 *
N_Day * Factor))
' 6. CHANGE SURFACE AZIMUTH FROM NORTH TO
SOUTH
    If Angle_Wall = 0 Then
        SurfaceAzimuth = 180
    Elseif Angle_Wall > 0 And Angle_Wall < 360 Then
        SurfaceAzimuth = Angle_Wall - 180
    End If
' 7. FIND Tb,Td (Atmospheric transmittance for beam
and diffuse)
    If Zone = "Tropical zone" Then
        R0 = 0.95
        R1 = 0.98
        Rk = 1.02
    Elseif Zone = "Mid-Latitude summer zone" Then
        R0 = 0.97
        R1 = 0.99
        Rk = 1.02
    Elseif Zone = "Subartic summer zone" Then
        R0 = 0.99
        R1 = 0.99
        Rk = 1.01
    Elseif Zone = "Mid-Latitude winter zone" Then
        R0 = 1.03
        R1 = 1.01
        Rk = 1
    End If
    R0X = R0 * (0.4237 - 0.00821 * (6 - SeaLevel) ^
2)
    R1X = R1 * (0.5055 + 0.00595 * (6.5 -
SeaLevel) ^ 2)
    RkX = Rk * (0.2711 + 0.01858 * (2.5 -
SeaLevel) ^ 2)
End Sub

Public Sub DirectDiffuseZenithAzimuth()
'FIND DIRECT , DIFFUSE , ALTITUDE AND AZIMUTH
' 1. SOLAR TIME (SolarTime)
    LocTime = TimeSerial(0, k * 10 - 10, 0)
    b = 360 / 364 * (N_Day - 81) * Factor
    E = 9.87 * Sin(2 * b) - 7.53 * Cos(b) - 1.5 * Sin(b)
    xxx = Hour(LocTime)
    yyy = Minute(LocTime) - 4 * (LongAngleStd -
LongAngleLoc) + E
    SolarTime(k) = TimeSerial(xxx, yyy, 0)
' 2. HOUR ANGLE TIME IS RADIAN (HourAngle)
    TotalMin_Solar_Time = Hour(SolarTime(k)) * 60 +
Minute(SolarTime(k))
    HourAngle = ((TotalMin_Solar_Time - 720) * 15 / 60)
* Factor
'3. Zenith and Azimuth At Noon
    xx = LatitudeAngle
    cos_zenith_noon = Cos(Declina) * Cos(xx) * Cos(0) +
Sin(Declina) * Sin(xx)
    zenith_noon = Acos(Val(cos_zenith_noon))
    cos_azimuth_noon = (Sin(Declina) - Sin(xx) *
Cos(zenith_noon)) / (Sin(zenith_noon) * Cos(xx))
    azimuth_noon = Acos(Val(cos_azimuth_noon))
' 3. ZENITH ANGLE IS RADIAN (Zenith)
    Cos_Zenith(k) = Cos(Declina) * Cos(xx) *
Cos(HourAngle) + Sin(Declina) * Sin(xx)
    If Cos_Zenith(k) <= 0 Then
        CosZeta(k) = 0
        Tb(k) = 0
        Td(k) = 0
        Direct(k) = 0
        Diffuse(k) = 0
        Zenith(k) = 90 * Factor
        Azimuth(k) = 0
        GoTo StopCalculate:
    End If

    Zenith(k) = Acos(Val(Cos_Zenith(k)))
' 4. SOLAR AZIMUTH ANGLE IS RADIAN (Azimuth)
    cos_azimuth = (Sin(Declina) - Sin(xx) *
Cos(Zenith(k))) / (Sin(Zenith(k)) * Cos(xx))
    Azimuth(k) = Acos(Val(cos_azimuth))
    If HourAngle > 0 Then
        If azimuth_noon > 2.7 And azimuth_noon < 3.5
Then
            Azimuth(k) = (2 * Phi) - (Azimuth(k))
        Else
            Azimuth(k) = -Azimuth(k)
        End If
    End If

' 5. Transmittance of Direct and Diffuse
    Tb(k) = R0X + R1X * Exp(-RkX / Cos_Zenith(k))
    Td(k) = 0.271 - 0.2939 * Tb(k)
' 6. CosZeta(k) , Direct and Diffuse
    AAA = Declina
    BBB = LatitudeAngle
    CCC = 90 * Factor * Beta
    DDD = (SurfaceAzimuth) * Factor * วัตจากทิศใต้
    EEE = HourAngle
    CosZeta(k) = Sin(AAA) * Sin(BBB) * Cos(CCC) -
Sin(AAA) * Cos(BBB) * Sin(CCC) * Cos(DDD) _
+ Cos(AAA) * Cos(BBB) * Cos(CCC) *
Cos(EEE) _
+ Cos(AAA) * Sin(BBB) * Sin(CCC) *
Cos(DDD) * Cos(EEE) _
+ Cos(AAA) * Sin(CCC) * Sin(DDD) *
Sin(EEE)
    Diffuse(k) = Gon * Cos_Zenith(k) * Td(k)
    If CosZeta(k) <= 0 Then
        CosZeta(k) = 0
        Direct(k) = 0
    Else
        Direct(k) = Gon * CosZeta(k) * Tb(k)
    End If
StopCalculate:
End Sub

Function Acos(x As Single) As Single
    If x > 0 Then
        Acos = Atn(Sqr(Abs(1 - x ^ 2))) / x
    Elseif x < 0 Then
        Acos = 22 / 7 + Atn(Sqr(Abs(1 - x ^ 2))) / x
    Elseif x = 0 Then
        Acos = 11 / 7
    End If
End Function

=====
Modules-mdeProcessing5
=====

Global AngleCheck(1 To 145), AngleXp(1 To 145),
Tunshade(1 To 145) As Single
Global CheckLower, CheckUpper, CheckLeft, CheckRight
As Single
Global Fupper(1 To 145), F1(1 To 145), F2(1 To 145),
F3(1 To 145) As Single
Global FFupper, FF1, FF2, FF3 As Single
Global Tsky, Ta, Tdp As Single
Global Tdr_inner, Tdr_upper As Single
Global AA(1 To 145), BB, DD, EE, WW, UU As Single
Global Z_Solar(1 To 145), NumberCheck, DistanceA(1 To
145) As Single
Global Ftopup, Ftoplow, Fsolarup, Fsolarlow, Fnonup,
Fnonlow As Single
Global Ttopup(1 To 145), Ttoplow(1 To 145) As Single
Global Tsolarup(1 To 145), Tsolarlow(1 To 145),
Tnonup(1 To 145), Tnonlow(1 To 145) As Single
Global Viscous, k_Air, BetaConv As Single

```

```

Global hconvshadeup(145), hconvshadelow(145) As
Single
Global WF_up, WF_low, RF_Shade, P_Area_Shade,
AreaShade, DeltaTempShadeUp, DeltaTempShadeLow As
Single
Global LenghtSolar, Gsolarshade(1 To 3, 1 To 145),
Fshadesky As Single
Global Ts_predict(1 To 3, 1 To 3), Ts_cal(1 To 3, 1 To 3),
Tso(1 To 3, 1 To 3) As Single
Global Tsolid(1 To 3, 1 To 3), Lenght_Solar, Lenght_Non
As Single
Global ErrorCheck(1 To 3, 1 To 3), h_up(1 To 3), h_low(1
To 3) As Single
Global Delta_Time, Delta_shade, Stefan, WI, WJ, Tamb,
Wind As Single
Global AAA, BBB, CCC, DDD, EEE, FFF, GGG, HHH, III,
JJJ, KKK, LLL As Single
Global Capacitance, Radiate, ViewFactor, DetTotal,
DetT1, DetT2, DetT3 As Single

Public Sub SolarRadiation_Unshade()
    Grid_DirectUnshade(k) = Direct(k)
    Grid_DiffuseUnshade(k) = 0.5 * Diffuse(k)
    Grid_GroundUnshade(k) = 0.5 * ReflectGround *
(Direct(k) + 0.5 * Diffuse(k))
    Gsolarunshade(k) = Grid_DirectUnshade(k) +
Grid_DiffuseUnshade(k) + Grid_GroundUnshade(k)
End Sub

Public Sub TotalSolarRadiation_Unshade()
    Tamb = TempAirOut(k) + 273.15
    Tdp = DewPoint(k) + 273.15
    Tsky = Tamb * (0.8 + (Tdp - 273) / 250) ^ (1 / 4)
    Grid_SkyUnshade(k) = EmissSky * Stefan * 0.5 *
(Tsky ^ 4 - Twallunshade(k, 1) ^ 4)
    Grid_TotalUnshade(k) = Gsolarunshade(k) +
Grid_SkyUnshade(k)
End Sub

Public Sub SolarRadiation_Shade()
'FIND ALL SOLAR RADIATION
' n=2. Grid_TotalShade
' n=3. Grid_Direct
' n=4. Grid_Diffuse
' n=5. Grid_DirectReflect
' n=6. Grid_DiffuseReflect
' n=7. Grid_Shading
' n=8. Grid_Sky
' n=9. Grid_Ground

    Call FindDirect
    Call FindDiffuse
    Call FindDirectReflect
    Call FindDiffuseReflect
    Call FindGround
    Call FindTotal
End Sub

Public Sub FindTotal()
' Not include Radiate from sky and shading
    Gsolar(i, j, k) = Grid_Value(3, i, j, k) +
Grid_Value(4, i, j, k) + Grid_Value(5, i, j, k) _
+ Grid_Value(6, i,
j, k) + Grid_Value(9, i, j, k)
End Sub

Public Sub TotalSolarRadiation_Shade()
    Call FindShading
    Call FindSky
    Grid_Value(2, i, j, k) = Gsolar(i, j, k) +
Grid_Value(7, i, j, k) + Grid_Value(8, i, j, k)
End Sub

Public Sub FindDirect()
    If Direct(k) <> 0 Then
        M = Intercept(i, j, GridX, GridY, GridZ, _
SH_X, SH_Y, SH_Z, NumberShade, Beta,
ZenithCheck)
        If M = 2 Then
            Grid_Value(3, i, j, k) = 0
        ElseIf M = 0 Then
            Grid_Value(3, i, j, k) = Direct(k)
        End If
    Else
        Grid_Value(3, i, j, k) = 0
    End If
End Sub

Public Sub FindDiffuse()
    Grid_Value(4, i, j, k) = Frs(i, j) * Diffuse(k)
End Sub

Public Sub InitialDirectReflect()
    If Direct(k) <> 0 Then
        If LayerShade <> "1" Then
            '1.FIND ANGLE
            AngleCheck(k) = Atn(t_Shade / z_Shade)
            If ZenithCheck > 0 And ZenithCheck < 90 And _
BetaDegree > -90 And BetaDegree < 90 Then
                AngleXp(k) = Atn(1 / (Tan(Zenith(k)) *
Cos(Beta)))
            Else
                AngleXp(k) = 0
            End If
            '2.FIND Tunshade
            If AngleXp(k) >= AngleCheck(k) And AngleXp(k)
< 90 * Factor Then
                Tunshade(k) = 0
                AA(k) = t_Shade / Tan(AngleXp(k))
            ElseIf AngleXp(k) > 0 And AngleXp(k) <
AngleCheck(k) Then
                Tunshade(k) = 1 - Tan(AngleXp(k)) *
(z_Shade / t_Shade)
                AA(k) = z_Shade
            End If
            ' ตัวแปรต่างๆได้ที่ sub InitialDiffuseReflect
            If CheckUpper <> 100 Then
                Fupper(k) = 1 / 2 * (1 + UU / DD *
(Sqr(1 + ((EE / UU) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / UU) ^
2))))
            ElseIf CheckUpper = 100 Then
                Fupper(k) = 0
            End If
            F1(k) = 1 / 2 * (1 + WW / AA(k) *
(Sqr(1 + ((EE + DD - AA(k)) / WW) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE
+ DD) / WW) ^ 2)))
            F2(k) = 1 - 1 / 2 * (1 + WW / AA(k) *
(Sqr(1 + ((DD - AA(k)) / WW) ^ 2) - Sqr(1 + (DD / WW)
^ 2))) _
- 1 / 2 * (1 + WW / AA(k) - Sqr(1
+ (WW / AA(k)) ^ 2))
            F3(k) = 1 / 2 * (1 + WW / DD * (Sqr(1
+ (EE / WW) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / WW) ^ 2)))
            ElseIf LayerShade = "1" Then
                If CheckUpper <> 100 Then
                    Fupper(k) = 1 / 2 * (1 + UU / DD *
(Sqr(1 + (EE / UU) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / UU) ^
2)))
                ElseIf CheckUpper = 100 Then
                    Fupper(k) = 0
                End If
            End If
        End Sub

Public Sub FindDirectReflect()

```



```

If i >= CheckLeft And i <= CheckRight Then
  If j >= 1 And j <= CheckLower Then
    Grid_Value(5, i, j, k) = 0
  ElseIf j >= CheckLower And j <= CheckUpper Then
    If LayerShade = "1" Then
      Grid_Value(5, i, j, k) = 0
    Else
      Grid_Value(5, i, j, k) =
(ReflectSurface(3) * F1(k) + ReflectSurface(3) ^ 2 *
F2(k) * F3(k)) _
* (1 -
Tunshade(k)) * Direct(k)
    End If
  ElseIf j > CheckUpper And j <= 100 Then
    Grid_Value(5, i, j, k) =
(ReflectSurface(3) * Fupper(k)) * Direct(k)
    End If
  Else
    Grid_Value(5, i, j, k) = 0
  End If
End Sub

Public Sub InitialDiffuseReflect()
  If LayerShade <> "None" Then
    If LayerShade <> "1" Then
      CheckLower = Int(SH_Y(NumberShade, 1) /
Interval_Y) + 1
      CheckUpper = 100 - Int(u_Shade /
Interval_Y)
      CheckLeft = Int(x1_Shade / Interval_X) + 1
      CheckRight = 100 - Int((Long_Wall -
x1_Shade - x_Shade) / Interval_X)
      DD = z_Shade
      EE = s_Shade
      WW = t_Shade
      UU = u_Shade
      BB = z_Shade
      If CheckUpper <> 100 Then
        FFupper = 1 / 2 * (1 + UU / DD *
(Sqr(1 + (EE / UU) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / UU) ^
2)))
        ElseIf CheckUpper = 100 Then
          FFupper = 0
        End If
        FF1 = 1 / 2 * (1 + WW / BB * (Sqr(1 + ((EE
+ DD - BB) / WW) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / WW) ^
2)))
        FF2 = 1 - 1 / 2 * (1 + WW / BB * (Sqr(1 +
((DD - BB) / WW) ^ 2) - Sqr(1 + (DD / WW) ^ 2))) _
- 1 / 2 * (1 + WW / BB - Sqr(1 +
(WW / BB) ^ 2))
        FF3 = 1 / 2 * (1 + WW / DD * (Sqr(1 + (EE /
WW) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / WW) ^ 2)))
        Tdr_inner = (ReflectSurface(3) * FF1 +
ReflectSurface(3) ^ 2 * FF2 * FF3) * (1 - FF1 - FF2)
        Tdr_upper = (ReflectSurface(3) * FFupper) *
(1 - FFupper)
        ElseIf LayerShade = "1" Then
          CheckLower = 100 - Int(u_Shade /
Interval_Y)
          CheckUpper = CheckLower
          CheckLeft = Int(x1_Shade / Interval_X) + 1
          CheckRight = 100 - Int((Long_Wall -
x1_Shade - x_Shade) / Interval_X)
          DD = z_Shade
          EE = s_Shade
          UU = u_Shade
          If CheckUpper <> 100 Then
            FFupper = 1 / 2 * (1 + UU / DD *
(Sqr(1 + (EE / UU) ^ 2) - Sqr(1 + ((EE + DD) / UU) ^
2)))
            ElseIf CheckUpper = 100 Then
              FFupper = 0
            End If
          End Sub

Public Sub FindDiffuseReflect()
  If i >= CheckLeft And i <= CheckRight Then
    If j >= 1 And j <= CheckLower Then
      Grid_Value(6, i, j, k) = 0
    ElseIf j >= CheckLower And j <= CheckUpper Then
      If LayerShade = "1" Then
        Grid_Value(6, i, j, k) = 0
      Else
        Grid_Value(6, i, j, k) = Tdr_inner *
Diffuse(k)
      End If
    ElseIf j > CheckUpper And j <= 100 Then
      Grid_Value(6, i, j, k) = Tdr_upper *
Diffuse(k)
    End If
  Else
    Grid_Value(6, i, j, k) = 0
  End If
End Sub

Public Sub FindShading()
  fff1 = Ftopup * (Ttopup(k) ^ 4 - Twallshade(i, j, k, 1)
^ 4)
  fff2 = Ftoplow * (Ttoplow(k) ^ 4 - Twallshade(i, j, k,
1) ^ 4)
  If LayerShade <> "1" Then
    fff3 = Fsolarup * (Tsolarup(k) ^ 4 - Twallshade(i, j,
k, 1) ^ 4)
    fff4 = Fsolarlow * (Tsolarlow(k) ^ 4 - Twallshade(i,
j, k, 1) ^ 4)
    fff5 = Fnonup * (Tnonup(k) ^ 4 - Twallshade(i, j, k,
1) ^ 4)
    fff6 = Fnonlow * (Tnonlow(k) ^ 4 - Twallshade(i, j,
k, 1) ^ 4)
    Grid_Value(7, i, j, k) = EmissSurface(3) * 5.67 * 10
^ (-8) * (fff1 + fff2 + fff3 + fff4 + fff5 + fff6)
  Else
    Grid_Value(7, i, j, k) = EmissSurface(3) * 5.67 * 10
^ (-8) * (fff1 + fff2)
  End If
End Sub

Public Sub FindSky()
  Grid_Value(8, i, j, k) = EmissSky * Frs(i, j) * 5.67 *
10 ^ (-8) * (Tsky ^ 4 - Twallshade(i, j, k, 1) ^ 4)
End Sub

Public Sub FindGround()
  Grid_Value(9, i, j, k) = Frg(i, j) * ReflectGround *
(Direct(k) + 0.5 * Diffuse(k))
End Sub

Public Sub InitialShade()
  Call FindTempShade
End Sub

Public Sub InitialViewFactorShade()
  Ftopup = 0
  Ftoplow = 0
  Fsolarup = 0
  Fsolarlow = 0
  Fnonup = 0
  Fnonlow = 0
  If LayerShade = "1" Then
    Ftopup = 0.5 - Frg(i, j)
  End If
  Tdr_upper = (ReflectSurface(3) * FFupper) *
(1 - FFupper)
  End If
End Sub

Public Sub FindDiffuseReflect()
  If i >= CheckLeft And i <= CheckRight Then
    If j >= 1 And j <= CheckLower Then
      Grid_Value(6, i, j, k) = 0
    ElseIf j >= CheckLower And j <= CheckUpper Then
      If LayerShade = "1" Then
        Grid_Value(6, i, j, k) = 0
      Else
        Grid_Value(6, i, j, k) = Tdr_inner *
Diffuse(k)
      End If
    ElseIf j > CheckUpper And j <= 100 Then
      Grid_Value(6, i, j, k) = Tdr_upper *
Diffuse(k)
    End If
  Else
    Grid_Value(6, i, j, k) = 0
  End If
End Sub

Public Sub FindShading()
  fff1 = Ftopup * (Ttopup(k) ^ 4 - Twallshade(i, j, k, 1)
^ 4)
  fff2 = Ftoplow * (Ttoplow(k) ^ 4 - Twallshade(i, j, k,
1) ^ 4)
  If LayerShade <> "1" Then
    fff3 = Fsolarup * (Tsolarup(k) ^ 4 - Twallshade(i, j,
k, 1) ^ 4)
    fff4 = Fsolarlow * (Tsolarlow(k) ^ 4 - Twallshade(i,
j, k, 1) ^ 4)
    fff5 = Fnonup * (Tnonup(k) ^ 4 - Twallshade(i, j, k,
1) ^ 4)
    fff6 = Fnonlow * (Tnonlow(k) ^ 4 - Twallshade(i, j,
k, 1) ^ 4)
    Grid_Value(7, i, j, k) = EmissSurface(3) * 5.67 * 10
^ (-8) * (fff1 + fff2 + fff3 + fff4 + fff5 + fff6)
  Else
    Grid_Value(7, i, j, k) = EmissSurface(3) * 5.67 * 10
^ (-8) * (fff1 + fff2)
  End If
End Sub

Public Sub FindSky()
  Grid_Value(8, i, j, k) = EmissSky * Frs(i, j) * 5.67 *
10 ^ (-8) * (Tsky ^ 4 - Twallshade(i, j, k, 1) ^ 4)
End Sub

Public Sub FindGround()
  Grid_Value(9, i, j, k) = Frg(i, j) * ReflectGround *
(Direct(k) + 0.5 * Diffuse(k))
End Sub

Public Sub InitialShade()
  Call FindTempShade
End Sub

Public Sub InitialViewFactorShade()
  Ftopup = 0
  Ftoplow = 0
  Fsolarup = 0
  Fsolarlow = 0
  Fnonup = 0
  Fnonlow = 0
  If LayerShade = "1" Then
    Ftopup = 0.5 - Frg(i, j)
  End If

```

```

Ftoplow = 0.5 - Frs(i, j)
Else
  If Z_Solar(k) < s_Shade + z_Shade And Z_Solar(k) >
s_Shade Then
    For M = 1 To 2
      If M = 1 Then
        NumberCheck = (0.5 - Frs(i, j)) * 200
      ElseIf M = 2 Then
        NumberCheck = (0.5 - Frg(i, j)) * 200
      End If

      If NumberCheck = 0 Then
        If M = 1 Then
          Ftoplow = 0
          Fsolarlow = 0
          Fnonlow = 0
        ElseIf M = 2 Then
          Ftopup = 0
          Fsolarup = 0
          Fnonup = 0
        End If
      Else
        For n = 1 To NumberCheck
          '3.Process
          If M = 1 Then
            If LayerViewFactor(i, j, M, n) = 1 Then
              Ftoplow = Ftoplow + 0.005
            Else
              If ZViewFactor(i, j, M, n) >= Z_Solar(k)
Then
                Fsolarlow = Fsolarlow + 0.005
              ElseIf ZViewFactor(i, j, M, n) <
Z_Solar(k) Then
                Fnonlow = Fnonlow + 0.005
              End If
            End If
          ElseIf M = 2 Then
            If LayerViewFactor(i, j, M, n) = 1 Then
              Ftopup = Ftopup + 0.005
            Else
              If ZViewFactor(i, j, M, n) >= Z_Solar(k)
Then
                Fsolarup = Fsolarup + 0.005
              ElseIf ZViewFactor(i, j, M, n) <
Z_Solar(k) Then
                Fnonup = Fnonup + 0.005
              End If
            End If
          End If
        Next n
      End If
    Next M

    ElseIf Z_Solar(k) = s_Shade Then
      For M = 1 To 2
        If M = 1 Then
          NumberCheck = (0.5 - Frs(i, j)) * 200
        ElseIf M = 2 Then
          NumberCheck = (0.5 - Frg(i, j)) * 200
        End If

        If NumberCheck = 0 Then
          If M = 1 Then
            Ftoplow = 0
            Fsolarlow = 0
            Fnonlow = 0
          ElseIf M = 2 Then
            Ftopup = 0
            Fsolarup = 0
            Fnonup = 0
          End If
        Else
          For n = 1 To NumberCheck
            '3.Process
            If M = 1 Then
              If LayerViewFactor(i, j, M, n) = 1 Then
                Ftoplow = Ftoplow + 0.005
              Else
                If ZViewFactor(i, j, M, n) >= Z_Solar(k)
Then
                  Fsolarlow = Fsolarlow + 0.005
                ElseIf ZViewFactor(i, j, M, n) <
Z_Solar(k) Then
                  Fnonlow = Fnonlow + 0.005
                End If
              End If
            ElseIf M = 2 Then
              If LayerViewFactor(i, j, M, n) = 1 Then
                Ftopup = Ftopup + 0.005
              Else
                If ZViewFactor(i, j, M, n) >= Z_Solar(k)
Then
                  Fsolarup = Fsolarup + 0.005
                ElseIf ZViewFactor(i, j, M, n) <
Z_Solar(k) Then
                  Fnonup = Fnonup + 0.005
                End If
              End If
            End If
          Next n
        End If
      End If
    Next M

    ElseIf Z_Solar(k) = s_Shade + z_Shade Then
      Fnonup = 0.5 - Frg(i, j)
      Fnonlow = 0.5 - Frs(i, j)
    End If
  End If
End Sub

Public Sub InitialTempShade()
  Delta_shade = y_Shade / 2
  Delta_Time = 60 * 10 '10 Min
  LenghtSolar = z_Shade
  If LayerShade <> "1" Then
    WI = z_Shade
    WJ = t_Shade
    Fshadesky = (1 + (WJ / WI)) - (1 + (WJ / WI) ^ 2)
    ^ (1 / 2)) / 2
  End If

  WF_up = 1.5
  WF_low = 1
  RF_Shade = 1.16
  P_Area_Shade = 2 * z_Shade + 2 * x_Shade
  AreaShade = z_Shade * x_Shade
End Sub

Public Sub FindTempShade()
  Dim Layer As Integer

  '1.Find Distance Z of Solar Vary with Time
  If LayerShade <> "1" Then
    If ZenithCheck > 0 And ZenithCheck < 90 And _
BetaDegree > -90 And BetaDegree < 90 Then
      DistanceA(k) = (t_Shade) * (Tan(Zenith(k)) *
Cos(Beta))
      Z_Solar(k) = s_Shade + z_Shade -
DistanceA(k)
      If Z_Solar(k) < s_Shade Then
        Z_Solar(k) = s_Shade
      End If
    Else
      Z_Solar(k) = s_Shade + z_Shade
    End If
  End If

  '2.FindTempShade

  Wind = WindOut(k) / 3.6

  If LayerShade = "1" Then
    If ZenithCheck > 0 And ZenithCheck < 90 And _
BetaDegree > -90 And BetaDegree < 90 Then

```

```

    Gsolarshade(1, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Tb(k) + Td(k))
    Gsolarshade(2, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Td(k))
Else
    Gsolarshade(1, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Td(k))
    Gsolarshade(2, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Td(k))
End If
Else
    If ZenithCheck > 0 And ZenithCheck < 90 And _
BetaDegree > -90 And BetaDegree < 90 Then
        Gsolarshade(1, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Tb(k) + Td(k))
        Gsolarshade(2, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Fshadesky * Td(k))
        Gsolarshade(3, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Tb(k) + Fshadesky * Td(k))
    Else
        Gsolarshade(1, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Td(k))
        Gsolarshade(2, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Fshadesky * Td(k))
        Gsolarshade(3, k) = Gon * Cos_Zenith(k) *
(Fshadesky * Td(k))
    End If
End If

If LayerShade = "1" Then
    ijk = 2
Else
    ijk = 3
End If

For Layer = 1 To ijk

    If Layer = 1 Then
        ViewFactor = 1
    Else
        ViewFactor = Fshadesky
    End If

    If k = 1 Then
        For A = 1 To 3
            Ts_predict(Layer, A) = Tamb
            Tso(Layer, A) = Tamb
        Next A
    Else
        For A = 1 To 3
            Ts_predict(Layer, A) = Ts_cal(Layer, A)
        Next A
    End If

LoopCheck:

    DeltaTempShadeUp = Ts_predict(Layer, 1) - Tamb
    h_up(Layer) = 2.537 * WF_up * RF_Shade *
(P_Area_Shade * Wind / AreaShade) ^ (1 / 2) + 9.482 *
Abs(DeltaTempShadeUp) ^ (1 / 3) / (6.238)

    DeltaTempShadeLow = Ts_predict(Layer, 3) - Tamb
    h_low(Layer) = 2.537 * WF_low * RF_Shade *
(P_Area_Shade * Wind / AreaShade) ^ (1 / 2) + 9.482 *
Abs(DeltaTempShadeLow) ^ (1 / 3) / (6.238)

    Capacitance = Density_Shade * Cp_Shade *
Delta_shade / Delta_Time
    Radiate = EmissSky * Stefan * ViewFactor

    AAA = -h_up(Layer) - Radiate * (Tso(Layer, 1)) ^ 3
- k_Shade / Delta_shade - Capacitance / 2
    BBB = k_Shade / Delta_shade

    CCC = 0
    DDD = -Capacitance / 2 * Tso(Layer, 1) -
h_up(Layer) * Tamb - Radiate * Tsky ^ 4 - _
AbsorpSurface(3) * Gsolarshade(Layer, k)
    EEE = BBB
    FFF = -2 * k_Shade / Delta_shade - Capacitance
    GGG = BBB
    HHH = -Capacitance * Tso(Layer, 2)
    III = 0
    JJJ = BBB
    KKK = -h_low(Layer) - BBB - Capacitance / 2
    LLL = -h_low(Layer) * Tamb - Capacitance / 2 *
Tso(Layer, 3)

    DetTotal = (AAA * FFF * KKK + BBB * GGG * III +
CCC * EEE * JJJ) _
- (III * FFF * CCC + JJJ * GGG * AAA + KKK
* EEE * BBB)
    DetT1 = (DDD * FFF * KKK + BBB * GGG * LLL +
CCC * HHH * JJJ) _
- (LLL * FFF * CCC + JJJ * GGG * DDD + KKK
* HHH * BBB)
    DetT2 = (AAA * HHH * KKK + DDD * GGG * III +
CCC * EEE * LLL) _
- (III * HHH * CCC + LLL * GGG * AAA + KKK
* EEE * DDD)
    DetT3 = (AAA * FFF * LLL + BBB * HHH * III +
DDD * EEE * JJJ) _
- (III * FFF * DDD + JJJ * HHH * AAA + LLL *
EEE * BBB)

    Ts_cal(Layer, 1) = DetT1 / DetTotal
    Ts_cal(Layer, 2) = DetT2 / DetTotal
    Ts_cal(Layer, 3) = DetT3 / DetTotal

    For n = 1 To 3
        ErrorCheck(Layer, n) = Abs(2 * (Ts_cal(Layer, n)
- Ts_predict(Layer, n)) * 100 _
/ (Ts_cal(Layer, n) +
Ts_predict(Layer, n)))
    Next

    If ErrorCheck(Layer, 1) > 0.01 Or ErrorCheck(Layer,
2) > 0.01 _
Or ErrorCheck(Layer, 3) > 0.01 Then
        For M = 1 To 3
            Ts_predict(Layer, M) = Ts_cal(Layer, M)
        Next M
        GoTo LoopCheck:
    End If

    For C = 1 To 3
        Tso(Layer, C) = Ts_cal(Layer, C)
    Next C
Next Layer

Ttopup(k) = Ts_cal(1, 1)
Ttoplevel(k) = Ts_cal(1, 3)
If LayerShade <> "1" Then
    Tnonup(k) = Ts_cal(2, 1)
    Tnonlow(k) = Ts_cal(2, 3)
    Tsolarup(k) = Ts_cal(3, 1)
    Tsolarlow(k) = Ts_cal(3, 3)
End If

hconvshadeup(k) = h_up(1)
hconvshadelow(k) = h_low(1)

End Sub

```

```

=====
                        Modules-mdeProcessing6
=====

Global NN As Integer
Global CheckUnshade As Boolean
Global DX(1 To 21), Delta(1 To 21), k_Wall(1 To 21) As Single
Global Kcomb(1 To 21), Cap(1 To 21), sumK, Ktotal As Single
Global Rad_Out, Rad_In As Single
Global ReOut, ReIn, Troom, WindOutside, WindInside, Diff As Single
Global AConstOut, BConstOut, CConstOut, AConstIn, BConstIn, CConstIn As Single
Global Tw_predict(1 To 21), Two(1 To 21), Tw_cal(1 To 21) As Single
Global Twallunshade(1 To 145, 1 To 21) As Single
Global h_Out, h_In, ErrorWall(1 To 21) As Single
Global Twallshade(1 To 100, 1 To 100, 1 To 145, 1 To 10) As Single
Global Row, Column As Integer
Global IP, IE, IC As Integer
Global Ratio, Sum As Single
Global AZ(1 To 21, 1 To 21), BZ(1 To 21) As Single

Public Sub InitialHeatGainThroughWall()
    Stefan = 5.67 * 10 ^ (-8)
    NN = 3 * LayerWall
    For i = 1 To LayerWall
        If i = 1 Then
            DX(1) = ThicknessWall(i) / 5
            DX(2) = 2 * ThicknessWall(i) / 5
            DX(3) = 2 * ThicknessWall(i) / 5
        ElseIf i = LayerWall Then
            DX(3 * (i - 1) + 1) = 2 * ThicknessWall(i) / 5
            DX(3 * (i - 1) + 2) = 2 * ThicknessWall(i) / 5
            DX(3 * (i - 1) + 3) = ThicknessWall(i) / 5
        Else
            DX(3 * (i - 1) + 1) = ThicknessWall(i) / 3
            DX(3 * (i - 1) + 2) = ThicknessWall(i) / 3
            DX(3 * (i - 1) + 3) = ThicknessWall(i) / 3
        End If
    Next i

    For i = 1 To NN - 1
        If i = 1 Then
            Delta(1) = DX(1) + DX(2) / 2
        ElseIf i = NN - 1 Then
            Delta(NN - 1) = DX(NN - 1) / 2 + DX(NN)
        Else
            Delta(i) = (DX(i) + DX(i + 1)) / 2
        End If
    Next i

    For i = 1 To LayerWall
        k_Wall(3 * (i - 1) + 1) = kWall(i)
        k_Wall(3 * (i - 1) + 2) = kWall(i)
        k_Wall(3 * (i - 1) + 3) = kWall(i)
    Next i

    For i = 1 To NN - 1
        If i = 1 Or i = NN - 1 Then
            Kcomb(i) = k_Wall(i) / Delta(i)
        Else
            Kcomb(i) = (DX(i) / k_Wall(i) + DX(i + 1) / k_Wall(i + 1)) ^ (-1) * 2
        End If
    Next i

    For i = 1 To LayerWall
        Cap(3 * (i - 1) + 1) = DensityWall(i) * CpWall(i) * DX(3 * (i - 1) + 1) / 600
        Cap(3 * (i - 1) + 2) = DensityWall(i) * CpWall(i) * DX(3 * (i - 1) + 2) / 600
        Cap(3 * (i - 1) + 3) = DensityWall(i) * CpWall(i) * DX(3 * (i - 1) + 3) / 600
    Next i

    For Row = 1 To NN
        For Column = 1 To NN
            AZ(Row, Column) = 0
            Next Column
        Next Row

    Ktotal = kWall(LayerWall) / (ThicknessWall(LayerWall) * 2 / 5)

    Rad_Out = EmissSurface(1) * Stefan
    Rad_In = EmissSurface(2) * Stefan

    AConstOut = 10.788
    BConstOut = 1.349
    CConstOut = 0
    AConstIn = 10.788
    BConstIn = 1.349
    CConstIn = 0

End Sub

Public Sub HeatGainThroughWall_Unshade()
    CheckUnshade = True

    Tamb = TempAirOut(k) + 273.15
    Tdp = DewPoint(k) + 273.15
    Tsky = Tamb * (0.8 + (Tdp - 273) / 250) ^ (1 / 4)
    Troom = TempAirIn(k) + 273.15
    WindOutside = WindOut(k) / 3.6
    WindInside = WindIn(k) / 3.6

    If k = 1 Then
        Diff = (Tamb - Troom) / (NN - 1)
        For A = 1 To NN
            If A = 1 Then
                Tw_predict(A) = Tamb
                Two(A) = Tamb
            ElseIf A = NN Then
                Tw_predict(A) = Troom
                Two(A) = Troom
            Else
                Tw_predict(A) = Tamb - (A) * Diff
                Two(A) = Tw_predict(A)
            End If
        Next A
    Else
        For A = 1 To NN
            Tw_predict(A) = Twallunshade(k - 1, A)
            Two(A) = Twallunshade(k - 1, A)
        Next A
    End If

LoopStartAgain:

    h_Out = AConstOut + (BConstOut * WindOutside) + (CConstOut * WindOutside ^ 2)

    h_In = AConstIn + (BConstIn * WindInside) + (CConstIn * WindInside ^ 2)

    Call FindTempWall

```

```

Call Gauss
For A = 1 To NN
  ErrorWall(A) = Abs(2 * (Tw_cal(A) - Tw_predict(A))
* 100 _
  / (Tw_cal(A) + Tw_predict(A)))
  If ErrorWall(A) > 0.01 Then
    For M = 1 To NN
      Tw_predict(M) = Tw_cal(M)
    Next M
    GoTo LoopStartAgain2:
  End If
Next A

For A = 1 To NN
  Twallunshade(k, A) = Tw_cal(A)
  If A = 1 Then
    Grid_TempOut_Unshade(k) = Tw_cal(A)
  ElseIf A = NN Then
    Grid_TempIn_Unshade(k) = Tw_cal(A)
  End If
Next A

*****
'Value of HeatGain for Unshade
Grid_HeatGain_Unshade(k) = h_Out *
(Twallunshade(k, NN) - Troom)
*****

End Sub

Public Sub HeatGainThroughWall_Shade()
  CheckUnshade = False

  If k = 1 Then
    Diff = (Tamb - Troom) / (NN - 1)
    For A = 1 To NN
      If A = 1 Then
        Tw_predict(A) = Tamb
        Two(A) = Tamb
      ElseIf A = NN Then
        Tw_predict(A) = Troom
        Two(A) = Troom
      Else
        Tw_predict(A) = Tamb - (A) * Diff
        Two(A) = Tw_predict(A)
      End If
    Next A
  Else
    For A = 1 To NN
      Tw_predict(A) = Twallshade(i, j, k - 1, A)
      Two(A) = Twallshade(i, j, k - 1, A)
    Next A
  End If

LoopStartAgain2:
  h_Out = AConstOut + (BConstOut * WindOutside) +
(CConstOut * WindOutside ^ 2)

  h_In = AConstIn + (BConstIn * WindInside) +
(CConstIn * WindInside ^ 2)

  Call FindTempWall
  Call Gauss

  For A = 1 To NN
    ErrorWall(A) = Abs(2 * (Tw_cal(A) - Tw_predict(A))
* 100 _
    / (Tw_cal(A) + Tw_predict(A)))
    If ErrorWall(A) > 0.01 Then
      For M = 1 To NN
        Tw_predict(M) = Tw_cal(M)
      Next M
      GoTo LoopStartAgain2:
    End If
  Next A

  For A = 1 To NN
    Twallshade(i, j, k, A) = Tw_cal(A)
    If A = 1 Then
      Grid_Value(10, i, j, k) = Tw_cal(A) - 273.15
    ElseIf A = NN Then
      Grid_Value(11, i, j, k) = Tw_cal(A) - 273.15
    End If
  Next A

  *****
  'Value of HeatGain for Shade
  Grid_Value(1, i, j, k) = h_Out * (Twallshade(i, j, k,
  NN) - Troom)
  *****

End Sub

Public Sub FindTempWall()
  For Row = 1 To NN
    If Row = 1 Then
      If CheckUnshade = True Then
        AZ(Row, 1) = -h_Out - Rad_Out * Two(1) ^ 3
* 0.5 - Kcomb(1) - Cap(1)
        AZ(Row, 2) = Kcomb(1)
        BZ(Row) = -Cap(1) * Two(1) - h_Out * Tamb
- Rad_Out * Tsky ^ 4 * 0.5 _
- AbsorpSurface(1) * Gsolarunshade(k)
      Else
        AZ(Row, 1) = -h_Out - Rad_Out * Two(1) ^ 3
* (1 - Frg(i, j)) - Kcomb(1) - Cap(1)
        AZ(Row, 2) = Kcomb(1)
        If LayerShade = "1" Then
          BZ(Row) = -Cap(1) * Two(1) - h_Out *
Tamb - Rad_Out * (Frs(i, j) * Tsky ^ 4 + Ftopup *
Ttopup(k) ^ 4 _
+ Ftoplow * Ttoplow(k) ^ 4) -
AbsorpSurface(1) * Gsolar(i, j, k)
        Else
          BZ(Row) = -Cap(1) * Two(1) - h_Out *
Tamb - Rad_Out * (Frs(i, j) * Tsky ^ 4 + Ftopup *
Ttopup(k) ^ 4 _
+ Ftoplow * Ttoplow(k) ^ 4 +
Fsolarup * Tsolarup(k) ^ 4 _
+ Fsolarlow * Tsolarlow(k) ^ 4 +
Fnonup * Tnonup(k) ^ 4 _
+ Fnonlow * Tnonlow(k) ^ 4) -
AbsorpSurface(1) * Gsolar(i, j, k)
        End If
      End If
    ElseIf Row = NN Then
      AZ(Row, NN - 1) = Kcomb(Row - 1)
      AZ(Row, NN) = -Kcomb(Row - 1) - h_In -
Cap(Row)
      BZ(Row) = -h_In * Troom - Cap(Row) *
Two(Row)
    Else
      AZ(Row, Row - 1) = Kcomb(Row - 1)
      AZ(Row, Row) = -Kcomb(Row - 1) -
Kcomb(Row) - Cap(Row)
      AZ(Row, Row + 1) = Kcomb(Row)
      BZ(Row) = -Cap(Row) * Two(Row)
    End If
  Next Row

```

```

End Sub

Public Sub Gauss()

    For IP = 1 To NN - 1
    For IE = IP + 1 To NN
        Ratio = AZ(IE, IP) / AZ(IP, IP)
    For IC = IP + 1 To NN
        AZ(IE, IC) = AZ(IE, IC) - Ratio * AZ(IP, IC)
    Next IC
    BZ(IE) = BZ(IE) - Ratio * BZ(IP)
    Next IE
    For IE = IP + 1 To NN
        AZ(IE, IP) = 0
    Next IE
    Next IP
    Tw_cal(NN) = BZ(NN) / AZ(NN, NN)
    For IE = NN - 1 To 1 Step -1
        Sum = 0
        For IC = IE + 1 To NN
            Sum = Sum + AZ(IE, IC) * Tw_cal(IC)
        Next IC
        Tw_cal(IE) = (BZ(IE) - Sum) / AZ(IE, IE)
    Next IE

End Sub

=====
Modules-mdeProcessing8
=====

Dim i As Integer
Global NameRange(1 To 11, 1 To 8) As String
Global Value_Min(1 To 11) As Single
Global Value_Max(1 To 11) As Single
Global Value_Interval(1 To 11) As Single
Global Value_CountRange(1 To 8, 1 To 11, 1 To 145) As Single
'Value_CountRange ( ช่วงต่างๆ 8 ช่วง , Solar และTemp
ชนิดต่างๆ 11 ชนิด , เวลา )

Public Sub Evaluate()
    Call AllDataUnshade
    If LayerShade <> "None" Then
        frmCalculate.ProgressBar1.Value = 96
        Call AllDataShade
        frmCalculate.ProgressBar1.Value = 97
        Call FindMinMaxInterval
        frmCalculate.ProgressBar1.Value = 98
        Call Range
        frmCalculate.ProgressBar1.Value = 99
        Call CountOfRange
    End If
End Sub

Public Sub AllDataUnshade()
    For k = 1 To 145
        Times(k) = TimeSerial(0, k * 10 - 10, 0)
        Sum_HeatGain_Unshade(k) =
Grid_HeatGain_Unshade(k) * (Long_Wall * High_Wall)
        Sum_TotalUnshade(k) = Grid_TotalUnshade(k) *
(Long_Wall * High_Wall)
        Sum_DirectUnshade(k) = Grid_DirectUnshade(k) *
(Long_Wall * High_Wall)
        Sum_DiffuseUnshade(k) = Grid_DiffuseUnshade(k)
* (Long_Wall * High_Wall)
        Sum_GroundUnshade(k) = Grid_GroundUnshade(k)
* (Long_Wall * High_Wall)
        Sum_SkyUnshade(k) = Grid_SkyUnshade(k) *
(Long_Wall * High_Wall)
    Next k
End Sub

Public Sub AllDataShade()
Dim AreaGrid As Single
'Grid_Value(10,i,j,k) = Grid_TempOut_shade(i,j,k) Unit
Degree C
'Grid_Value(11,i,j,k) = Grid_TempIn_shade(i,j,k) Unit
Degree C

    For k = 1 To 145
        Sum_HeatGain_Shade(k) = 0
        Sum_TotalShade(k) = 0
        Sum_Direct(k) = 0
        Sum_Diffuse(k) = 0
        Sum_DirectReflect(k) = 0
        Sum_DiffuseReflect(k) = 0
        Sum_Shading(k) = 0
        Sum_Sky(k) = 0
        Sum_Ground(k) = 0
        For i = 1 To 100
            For j = 1 To 100
                Sum_HeatGain_Shade(k) =
Sum_HeatGain_Shade(k) + Grid_Value(1, i, j, k)
                Sum_TotalShade(k) = Sum_TotalShade(k) +
Grid_Value(2, i, j, k)
                Sum_Direct(k) = Sum_Direct(k) +
Grid_Value(3, i, j, k)
                Sum_Diffuse(k) = Sum_Diffuse(k) +
Grid_Value(4, i, j, k)
                Sum_DirectReflect(k) = Sum_DirectReflect(k)
+ Grid_Value(5, i, j, k)
                Sum_DiffuseReflect(k) =
Sum_DiffuseReflect(k) + Grid_Value(6, i, j, k)
                Sum_Shading(k) = Sum_Shading(k) +
Grid_Value(7, i, j, k)
                Sum_Sky(k) = Sum_Sky(k) + Grid_Value(8, i,
j, k)
                Sum_Ground(k) = Sum_Ground(k) +
Grid_Value(9, i, j, k)
            Next j
            Next i
            NumberOfGrid = 10000
            AreaGrid = Long_Wall * High_Wall /
NumberOfGrid
            Sum_HeatGain_Shade(k) =
Sum_HeatGain_Shade(k) * AreaGrid
            Sum_TotalShade(k) = Sum_TotalShade(k) *
AreaGrid
            Sum_Direct(k) = Sum_Direct(k) * AreaGrid
            Sum_Diffuse(k) = Sum_Diffuse(k) * AreaGrid
            Sum_DirectReflect(k) = Sum_DirectReflect(k)
* AreaGrid
            Sum_DiffuseReflect(k) =
Sum_DiffuseReflect(k) * AreaGrid
            Sum_Shading(k) = Sum_Shading(k) *
AreaGrid
            Sum_Sky(k) = Sum_Sky(k) * AreaGrid
            Sum_Ground(k) = Sum_Ground(k) * AreaGrid
            Average_TempOut_Shade(k) = 0
            Average_TempIn_Shade(k) = 0

            For i = 1 To 100
                For j = 1 To 100
                    Average_TempOut_Shade(k) =
Average_TempOut_Shade(k) + Grid_Value(10, i, j, k)
                    Average_TempIn_Shade(k) =
Average_TempIn_Shade(k) + Grid_Value(11, i, j, k)
                Next j, i
                Average_TempOut_Shade(k) =
Average_TempOut_Shade(k) / NumberOfGrid
                Average_TempIn_Shade(k) =
Average_TempIn_Shade(k) / NumberOfGrid
            Next k

```

```

End Sub

Public Sub FindMinMaxInterval()
Dim M As Integer
For M = 1 To 11
    Value_Min(M) = Min(Grid_Value(), M)
    Value_Max(M) = Max(Grid_Value(), M)
    Value_Interval(M) = Interval(Value_Min(M),
Value_Max(M), 5)
    Value_Min(M) = Int(Value_Min(M))
    Value_Interval(M) = Int(Value_Interval(M)) + 1
Next M

' Value_Min(1) = -20
' Value_Min(2) = -50
' Value_Min(3) = 0
' Value_Min(4) = 0
' Value_Min(5) = 0
' Value_Min(6) = 0
' Value_Min(7) = -30
' Value_Min(8) = -50
' Value_Min(9) = 0
' Value_Min(10) = 20
' Value_Min(11) = 20
,
' Value_Interval(1) = 20
' Value_Interval(2) = 150
' Value_Interval(3) = 40
' Value_Interval(4) = 40
' Value_Interval(5) = 3
' Value_Interval(6) = 3
' Value_Interval(7) = 15
' Value_Interval(8) = 10
' Value_Interval(9) = 5
' Value_Interval(10) = 5
' Value_Interval(11) = 5

End Sub

Public Sub Range()
For i = 1 To 11
    NameRange(i, 1) = Value_Min(i) & "<= X < " &
Value_Min(i) + Value_Interval(i)
    NameRange(i, 2) = Value_Min(i) +
Value_Interval(i) & "<= X < " & Value_Min(i) + 2 *
Value_Interval(i)
    NameRange(i, 3) = Value_Min(i) + 2 *
Value_Interval(i) & "<= X < " & Value_Min(i) + 3 *
Value_Interval(i)
    NameRange(i, 4) = Value_Min(i) + 3 *
Value_Interval(i) & "<= X < " & Value_Min(i) + 4 *
Value_Interval(i)
    NameRange(i, 5) = Value_Min(i) + 4 *
Value_Interval(i) & "<= X <=" & Value_Min(i) + 5 *
Value_Interval(i)
Next i
End Sub

Public Sub CountOfRange()
For M = 1 To 11
For k = 1 To 145
    For n = 1 To 5
        Value_CountRange(n, M, k) = 0
    Next n
For i = 1 To 100
For j = 1 To 100
    If Grid_Value(M, i, j, k) >= Value_Min(M) And
Grid_Value(M, i, j, k) < Value_Min(M) +
Value_Interval(M) Then
        Value_CountRange(1, M, k) =
Value_CountRange(1, M, k) + 1
    ElseIf Grid_Value(M, i, j, k) >= Value_Min(M) +
Value_Interval(M) And Grid_Value(M, i, j, k) <
Value_Min(M) + 2 * Value_Interval(M) Then
        Value_CountRange(2, M, k) =
Value_CountRange(2, M, k) + 1
    ElseIf Grid_Value(M, i, j, k) >= Value_Min(M) + 2 *
Value_Interval(M) And Grid_Value(M, i, j, k) <
Value_Min(M) + 3 * Value_Interval(M) Then
        Value_CountRange(3, M, k) =
Value_CountRange(3, M, k) + 1
    ElseIf Grid_Value(M, i, j, k) >= Value_Min(M) + 3 *
Value_Interval(M) And Grid_Value(M, i, j, k) <
Value_Min(M) + 4 * Value_Interval(M) Then
        Value_CountRange(4, M, k) =
Value_CountRange(4, M, k) + 1
    ElseIf Grid_Value(M, i, j, k) >= Value_Min(M) + 4 *
Value_Interval(M) And Grid_Value(M, i, j, k) <=
Value_Min(M) + 5 * Value_Interval(M) Then
        Value_CountRange(5, M, k) =
Value_CountRange(5, M, k) + 1
    End If
Next j
Next i
Next k
Next M

'ทำให้เป็นเปอร์เซ็นต์
For n = 1 To 5
For M = 1 To 11
For k = 1 To 145
    Value_CountRange(n, M, k) =
Value_CountRange(n, M, k) * 100 / (10000)
Next k
Next M
Next n
End Sub

=====
Modules-mdeSave
=====

Option Explicit

Public Type lastname
'Step1
angleOfBuilding As Single
lenght As Single
height As Single
'Step2
LayerWall As Single
TypeWall(1 To 7) As String
IndexTypeWall(1 To 7) As Integer
kWall(1 To 7) As Single
CpWall(1 To 7) As Single
DensityWall(1 To 7) As Single
ThicknessWall(1 To 7) As Single
'Step3
LayerShade As String
TypeShade As String
IndexTypeShade As Integer
x_Shade As Single
x1_Shade As Single
y_Shade As Single
z_Shade As Single
t_Shade As Single
s_Shade As Single
u_Shade As Single
k_Shade As Single
Cp_Shade As Single
Density_Shade As Single
'Step4
WindIn(1 To 25) As Single
WindOut(1 To 25) As Single

```

```

Temp_Air_In(1 To 25) As Single
Temp_Air_Out(1 To 25) As Single
DewPoint(1 To 25) As Single
'Step5
TypeSurface(1 To 3) As String
IndexTypeSurface(1 To 3) As Single
Emiss_Surface(1 To 3) As Single
absorp_Surface(1 To 3) As Single
reflect_Surface(1 To 3) As Single
Emiss_Sky As Single
reflect_Ground As Single
'Step6
Month As String
Date As String
Latitude_Direction As String
Latitude_Degree As Single
Longitude_Direction_Std As String
Longitude_Degree_Std As Single
Longitude_Direction_Loc As String
Longitude_Degree_Loc As Single
Zone As String
SeaLevel As Single
End Type

Public Sub mdesave1()

Dim record As lastname
Dim i As Integer

Open frmInitial.Text1 For Binary As #1

step1:
record.angleOfBuilding = Val(frmStep1.Text1)
record.lenght = Val(frmStep1.Text2)
record.height = Val(frmStep1.Text3)

step2:
If frmStep2.Combo1.Text = "" Then
GoTo step3:
End If
record.LayerWall = frmStep2.Combo1
For i = 1 To frmStep2.Combo1
record.TypeWall(i) = frmStep2.Combo2(i)
record.IndexTypeWall(i) =
Val(frmStep2.Combo2(i).ListCount)
record.kWall(i) = Val(frmStep2.Text1(i))
record.CpWall(i) = Val(frmStep2.Text2(i))
record.DensityWall(i) = Val(frmStep2.Text3(i))
record.ThicknessWall(i) = Val(frmStep2.Text4(i))
Next i

step3:
record.LayerShade = frmStep3.Combo1
record.TypeShade = frmStep3.Combo2
record.IndexTypeShade =
Val(frmStep3.Combo2.ListCount)
record.z_Shade = Val(frmStep3.Text1(1))
record.y_Shade = Val(frmStep3.Text1(2))
record.x_Shade = Val(frmStep3.Text1(3))
If record.LayerShade <> "1" Then
record.t_Shade = Val(frmStep3.Text1(4))
End If
record.s_Shade = Val(frmStep3.Text1(5))
record.x1_Shade = Val(frmStep3.Text1(6))
record.u_Shade = Val(frmStep3.Text1(7))
record.k_Shade = Val(frmStep3.Text1(8))
record.Cp_Shade = Val(frmStep3.Text1(9))
record.Density_Shade = Val(frmStep3.Text1(10))

step4:
For i = 1 To 25
record.WindIn(i) = Val(frmWindIn.Text1(i - 1))
record.WindOut(i) = Val(frmWindOut.Text1(i - 1))
record.Temp_Air_In(i) = Val(frmTempAirIn.Text1(i
- 1))

record.Temp_Air_Out(i) =
Val(frmTempAirOut.Text1(i - 1))
record.DewPoint(i) = Val(frmDewPoint.Text1(i - 1))
Next i
step5:
For i = 1 To 3
record.TypeSurface(i) = frmStep5.Combo1(i)
record.IndexTypeSurface(i) =
Val(frmStep5.Combo1(i).ListCount)
record.Emiss_Surface(i) = Val(frmStep5.Text1(i))
record.absorp_Surface(i) =
Val(frmStep5.Text2(i))
record.reflect_Surface(i) =
Val(frmStep5.Text3(i))
Next i
record.Emiss_Sky = Val(frmStep5.Text4)
record.reflect_Ground = Val(frmStep5.Text5)

step6:
record.Month = frmStep6.Combo1
record.Date = frmStep6.Combo2
record.Latitude_Direction = frmStep6.Combo3
record.Longitude_Direction_Std =
frmStep6.Combo4
record.Longitude_Direction_Loc =
frmStep6.Combo6
record.Zone = frmStep6.Combo5
record.Latitude_Degree = Val(frmStep6.Text1)
record.Longitude_Degree_Std =
Val(frmStep6.Text2)
record.Longitude_Degree_Loc =
Val(frmStep6.Text4)
record.SeaLevel = Val(frmStep6.Text3)

Put #1, , record
Close #1

If frmInitial.Text1.Text <> "Text1" Then
frmStep1.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmStep2.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmStep3.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmStep4.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmStep5.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmStep6.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmResult.Caption = frmInitial.Text1.Text
frmCalculate.Caption = frmInitial.Text1.Text
End If
End Sub

=====
Modules-mdeShade
=====

Option Explicit
'ss mean property of material of shading
Dim ss(100) As shadelastname
Dim i, j, k As Integer
Dim checkList2, checkDataBase2, checkCustom2,
N_Index2 As Integer

Public Type shadelastname
k As Single
Cp As Single
density As Single
End Type

Public Sub propertyOfShade()

'0 ---CUSTOM---
'1 Acoustic tile
'2 Asbestos-cement board
'3 Brick ,common
'4 Cellular glass
'5 Cement mortar

```



```

'6 Clay ss(10).density = 800
'7 Concrete (stone mix)
'8 Cork ss(11).k = 0.15
'9 Glass fiber ,blanket ss(11).Cp = 1380
'10 Gypsum or plaster board ss(11).density = 1010
'11 Hardboard low density
'12 Hardboard high density ss(12).k = 0.17
'13 Hardboard ,siding ss(12).Cp = 1300
'14 Hardwoods (oak ,maple) ss(12).density = 1000
'15 Homogeneous board from repulped paper
'16 Laminated paper board ss(13).k = 0.094
'17 Particle board low density ss(13).Cp = 1170
'18 Particle board medium density ss(13).density = 640
'19 Particle board high density
'20 Plywood ss(14).k = 0.16
'21 Polystyrene ,expanded extruded (R-12) ss(14).Cp = 1255
'22 Polystyrene ,expanded molded beads ss(14).density = 720
'23 Polyuretance foam
'24 Sheathing ,intermediate density ss(15).k = 0.072
'25 Sheathing ,regular density ss(15).Cp = 1170
'26 Shingle backer ss(15).density = 480
'27 Softwood (fir,pine)
'28 Wood ,shredded /Cemented ss(16).k = 0.072
'29 Cement plaster ,sand aggregate ss(16).Cp = 1380
'30 Gypsum plaster ,lightweight aggregate ss(16).density = 480
'31 Perlite aggregate
'32 Vermiculite aggregate ss(17).k = 0.102
ss(17).Cp = 1300
ss(17).density = 590

N_Index2 = 33
If checkDataBase2 = 10 Then
Else
  ss(0).k = 0 ss(18).k = 0.135
  ss(0).Cp = 0 ss(18).Cp = 1300
  ss(0).density = 0 ss(18).density = 800

  ss(1).k = 0.058 ss(19).k = 0.17
  ss(1).Cp = 1340 ss(19).Cp = 1300
  ss(1).density = 290 ss(19).density = 1000

  ss(2).k = 0.58 ss(20).k = 0.12
  ss(2).Cp = 1000 ss(20).Cp = 1215
  ss(2).density = 1920 ss(20).density = 545

  ss(3).k = 0.72 ss(21).k = 0.027
  ss(3).Cp = 835 ss(21).Cp = 1210
  ss(3).density = 1920 ss(21).density = 55

  ss(4).k = 0.058 ss(22).k = 0.04
  ss(4).Cp = 145 ss(22).Cp = 1210
  ss(4).density = 1000 ss(22).density = 16

  ss(5).k = 0.72 ss(23).k = 0.024
  ss(5).Cp = 780 ss(23).Cp = 0
  ss(5).density = 1860 ss(23).density = 24

  ss(6).k = 1.3 ss(24).k = 0.066
  ss(6).Cp = 880 ss(24).Cp = 1300
  ss(6).density = 1460 ss(24).density = 350

  ss(7).k = 1.4 ss(25).k = 0.055
  ss(7).Cp = 880 ss(25).Cp = 1300
  ss(7).density = 2300 ss(25).density = 290

  ss(8).k = 0.039 ss(26).k = 0.057
  ss(8).Cp = 1800 ss(26).Cp = 1300
  ss(8).density = 120 ss(26).density = 290

  ss(9).k = 0.036 ss(27).k = 0.12
  ss(9).Cp = 795 ss(27).Cp = 1380
  ss(9).density = 105 ss(27).density = 510

  ss(10).k = 0.17 ss(28).k = 0.087
  ss(10).Cp = 1090 ss(28).Cp = 1590
  ss(10).density = 350 ss(28).density = 350

```

```

ss(29).k = 0.72
ss(29).Cp = 840
ss(29).density = 1860

ss(30).k = 0.236
ss(30).Cp = 0
ss(30).density = 720

ss(31).k = 0.22
ss(31).Cp = 1340
ss(31).density = 720

ss(32).k = 0.24
ss(32).Cp = 0
ss(32).density = 720

checkDataBase2 = 10
End If

If frmStep3.Combo2.ListIndex = -1 Then
ElseIf frmStep3.Combo2.ListIndex = 0 Then
  For i = 8 To 10 Step 1
    frmStep3.Text1(i).BackColor = &H80000005
    frmStep3.Text1(i).Locked = False
  Next i
  checkCustom2 = 10
  frmCustom3.Show vbModal
ElseIf frmStep3.Combo2.ListIndex >= N_Index2 Then
  For i = 8 To 10 Step 1
    frmStep3.Text1(i).BackColor = &H80000005
    frmStep3.Text1(i).Locked = False
  Next i
  checkCustom2 = 10
Else
  If checkCustom2 = 10 Then
    For j = 8 To 10 Step 1
      frmStep3.Text1(j).BackColor = &H80000016
      frmStep3.Text1(j).Locked = True
    Next j
  Else
  End If
  k = frmStep3.Combo2.ListIndex
  frmStep3.Text1(8).Text = ss(k).k
  frmStep3.Text1(9).Text = ss(k).Cp
  frmStep3.Text1(10).Text = ss(k).density
End If
End Sub

Public Sub MaterialOfShade()
  If checkList2 = 10 Then
  Else
    frmStep3.Combo2.AddItem "---CUSTOM---"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Acoustic tile"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Asbestos-cement
board"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Brick ,common"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Cellular glass"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Cement mortar"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Clay"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Concrete (stone mix)"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Cork"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Glass fiber ,blanket"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Gypsum or plaster
board"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Hardboard low
density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Hardboard high
density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Hardboard ,siding"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Hardwoods (oak
,maple)"

    frmStep3.Combo2.AddItem "Homogeneous board
from repulped paper"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Laminated paper
board"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Particle board low
density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Particle board medium
density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Particle board high
density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Plywood"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Polystyrene ,expanded
extruded (R-12)"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Polystyrene ,expanded
molded beads"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Polyuretance foam"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Sheathing
,intermediate density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Sheathing ,regular
density"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Shingle backer"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Softwood (fir,pine)"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Wood ,shredded
/Cemented"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Cement plaster ,sand
aggregate"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Gypsum plaster
,lightweight aggregate"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Perlite aggregate"
    frmStep3.Combo2.AddItem "Vermiculite aggregate"
  End If
  checkList2 = 10
End Sub

=====
                          Modules-mdeSurface
=====

Option Explicit
'ww mean property of material of wall
Dim sf(0 To 50) As surfaceLastname
Dim i, k As Integer
Dim checkList3, checkDataBase3, checkCustom3,
N_Index3 As Integer

Public Type surfaceLastname
  emiss As Single
  absorp As Single
  reflect As Single
End Type

Public Sub propertyOfSurface()
  '1 Asbestos-cement board
  '2 Gymsum or plaster board
  '3 Plywood
  '4 Sheathing,regular density
  '5 Acoustic tile
  N_Index3 = 16
  If checkDataBase3 = 10 Then
  Else

    sf(0).emiss = 0
    sf(0).absorp = 0
    sf(0).reflect = 0

    sf(1).emiss = 0.93
    sf(1).absorp = 0.63
    sf(1).reflect = 0.37

    sf(2).emiss = 0.88
    sf(2).absorp = 0.6

```

```

sf(2).reflect = 0.4

sf(3).emiss = 0.98
sf(3).absorp = 0.98
sf(3).reflect = 0.02

sf(4).emiss = 0.9
sf(4).absorp = 0.26
sf(4).reflect = 0.74

sf(5).emiss = 0.92
sf(5).absorp = 0.16
sf(5).reflect = 0.84

sf(6).emiss = 0.03
sf(6).absorp = 0.09
sf(6).reflect = 0.91

sf(7).emiss = 0.84
sf(7).absorp = 0.14
sf(7).reflect = 0.86

sf(8).emiss = 0.37
sf(8).absorp = 0.11
sf(8).reflect = 0.89

sf(9).emiss = 0.05
sf(9).absorp = 0.15
sf(9).reflect = 0.85

sf(10).emiss = 0.13
sf(10).absorp = 0.65
sf(10).reflect = 0.35

sf(11).emiss = 0.28
sf(11).absorp = 0.8
sf(11).reflect = 0.2

sf(12).emiss = 0.1
sf(12).absorp = 0.92
sf(12).reflect = 0.08

sf(13).emiss = 0.3
sf(13).absorp = 0.93
sf(13).reflect = 0.07

sf(14).emiss = 0.08
sf(14).absorp = 0.92
sf(14).reflect = 0.08

sf(15).emiss = 0.09
sf(15).absorp = 0.87
sf(15).reflect = 0.13

checkDataBase3 = 10
End If

For i = 1 To 3

    If frmStep5.Combo1(i).ListIndex = -1 Then
    ElseIf frmStep5.Combo1(i).ListIndex = 0 Then
        frmStep5.Text1(i).BackColor = &H80000005
        frmStep5.Text1(i).Locked = False
        frmStep5.Text2(i).BackColor = &H80000005
        frmStep5.Text2(i).Locked = False
        frmStep5.Text3(i).BackColor = &H80000005
        frmStep5.Text3(i).Locked = False
        checkCustom3 = 10
        frmCustom5.i.Text = i
        frmCustom5.Show vbModal
    ElseIf frmStep5.Combo1(i).ListIndex >= N_Index3
    Then
        frmStep5.Text1(i).BackColor = &H80000005

        frmStep5.Text1(i).Locked = False
        frmStep5.Text2(i).BackColor = &H80000005
        frmStep5.Text2(i).Locked = False
        frmStep5.Text3(i).BackColor = &H80000005
        frmStep5.Text3(i).Locked = False
        checkCustom3 = 10
    Else
        If checkCustom3 = 10 Then
            frmStep5.Text1(i).BackColor = &H80000016
            frmStep5.Text1(i).Locked = True
            frmStep5.Text2(i).BackColor = &H80000016
            frmStep5.Text2(i).Locked = True
            frmStep5.Text3(i).BackColor = &H80000016
            frmStep5.Text3(i).Locked = True
        Else
            End If
        k = frmStep5.Combo1(i).ListIndex
        frmStep5.Text1(i).Text = sf(k).emiss
        frmStep5.Text2(i).Text = sf(k).absorp
        frmStep5.Text3(i).Text = sf(k).reflect
    End If
    Next i
End Sub

Public Sub MaterialOfSurface()
    If checkList3 = 10 Then
    Else
        For i = 1 To 3
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "---CUSTOM---"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Brick ,red"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Concrete"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem
            "Paint:Black(Parsons)"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem
            "Paint:White,acrylic"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem
            "Paint:White,oxide"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem
            "Aluminum:Polished"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem
            "Aluminum:Anodized"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Aluminum:Quartz
            overcoated"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Aluminum:Foil"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Galvanized sheet
            metal:Clean,new"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Galvanized sheet
            metal:Oxided,weathered"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Metal,Plated:Black
            sulfide"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Metal,Plated:Black
            cobalt oxide"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Metal,Plated:Black
            nickal oxide"
            frmStep5.Combo1(i).AddItem "Metal,Plated:Black
            chrome"
        Next i
    End If
    checkList3 = 10
End Sub

=====
Modules-mdeTransfer
=====

Dim MyObject As Object
Dim xx(100) As String

Public Sub Transfer()

```

```

'--- 1.Load form Progressive bar
frmProgressTransfer.Show
frmProgressTransfer.ProgressBar1.Value = 0

'--- 2.Initial
Set MyObject = CreateObject("Excel.Application")
MyObject.Visible = False
MyObject.workbooks.Add

'--- 3.Create Nameworksheets 1 and 2
Call CreateNameWorksheet1and2

'--- 4.transfer
Call TransferInput
frmProgressTransfer.ProgressBar1.Value = 5
Call TransferOutput_Sum
frmProgressTransfer.ProgressBar1.Value = 10
Call CreateWorksheet3to14
If LayerShade <> "None" Then
    Call TransferOut
    Call CreateNameWorksheet3to13
    Call CreateTopicName
End If

*****TEST OUTPUT*****
Call TestOther
*****

'--- 5.Close form Progressive bar
frmProgressTransfer.ProgressBar1.Value = 100
frmProgressTransfer.Hide
frmProgressTransfer.MousePointer = 0

'--- 6.Close memory
MyObject.Application.Quit

End Sub

Public Sub CreateNameWorksheet1and2()
    MyObject.worksheets("Sheet1").Name = "1.Input"
    MyObject.worksheets("Sheet2").Name = "2.Sum"
End Sub

Public Sub TransferInput()
*****INPUT*****
With MyObject.worksheets("1.Input")
    .Range("B1") = "Input Data"
    'Step1
    .Range("A2") = "Step1"
    .Range("B3") = frmStep1.Label1
    .Range("H3") = frmStep1.Text1
    .Range("B4") = frmStep1.Label2
    .Range("H4") = frmStep1.Text2
    .Range("B5") = frmStep1.Label3
    .Range("H5") = frmStep1.Text3
    'Step2
    .Range("A6") = "Step2"
    .Range("B7") = frmStep2.Label1
    .Range("H7") = frmStep2.Combo1
    .Range("B8") = frmStep2.Label8
    .Range("C8") = frmStep2.Label3
    .Range("H8") = frmStep2.Label4
    .Range("I8") = frmStep2.Label5
    .Range("J8") = frmStep2.Label6
    .Range("K8") = frmStep2.Label9
    For i = 1 To Val(frmStep2.Combo1)
        .cells(i + 8, 2) = frmStep2.Label2(i)
        .cells(i + 8, 3) = frmStep2.Combo2(i)
        .cells(i + 8, 8) = frmStep2.Text1(i)
        .cells(i + 8, 9) = frmStep2.Text2(i)
        .cells(i + 8, 10) = frmStep2.Text3(i)
        .cells(i + 8, 11) = frmStep2.Text4(i)
    Next i

    'Step3
    .Range("A" & (8 + i)) = "Step3"
    .Range("B" & (8 + i) + 1) = frmStep3.Label1(0)
    .Range("H" & (8 + i) + 1) = frmStep3.Combo1
    j = 0
    If frmStep3.Combo1 <> "None" Then
        For j = 1 To 7
            .Range("B" & (8 + i) + 1 + j) =
frmStep3.Label1(j)
            If j = 4 Then
                If LayerShade <> "1" Then
                    .Range("H" & (8 + i) + 1 + j) =
frmStep3.Text1(j)
                End If
            Else
                .Range("H" & (8 + i) + 1 + j) =
frmStep3.Text1(j)
            End If
        Next j
        .Range("B" & (8 + i) + 9) = frmStep3.Label1(13)
        .Range("H" & (8 + i) + 9) = frmStep3.Label1(8)
        .Range("I" & (8 + i) + 9) = frmStep3.Label1(9)
        .Range("J" & (8 + i) + 9) = frmStep3.Label1(10)
        .Range("B" & (8 + i) + 10) = frmStep3.Combo2
        .Range("H" & (8 + i) + 10) = frmStep3.Text1(8)
        .Range("I" & (8 + i) + 10) = frmStep3.Text1(9)
        .Range("J" & (8 + i) + 10) = frmStep3.Text1(10)
        j = 9
    End If
    'Step4
    .Range("A" & (8 + i) + (2 + j)) = "Step4"
    .Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 1) = "Time"
    .Range("D" & (8 + i) + (2 + j) + 1) = "WindIn"
    .Range("F" & (8 + i) + (2 + j) + 1) = "WindOut"
    .Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 1) = "TempAirIn"
    .Range("J" & (8 + i) + (2 + j) + 1) = "TempAirOut"
    .Range("L" & (8 + i) + (2 + j) + 1) = "DewPoint"
    .Range("D" & (8 + i) + (2 + j) + 2) = "(km/hr)"
    .Range("F" & (8 + i) + (2 + j) + 2) = "(km/hr)"
    .Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 2) = "(oC)"
    .Range("J" & (8 + i) + (2 + j) + 2) = "(oC)"
    .Range("L" & (8 + i) + (2 + j) + 2) = "(oC)"
    For k = 1 To 25
        .Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 2 + k) =
frmWindIn.Label4(k - 1)
        .Range("D" & (8 + i) + (2 + j) + 2 + k) =
frmWindIn.Text1(k - 1).Text
        .Range("F" & (8 + i) + (2 + j) + 2 + k) =
frmWindOut.Text1(k - 1).Text
        .Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 2 + k) =
frmTempAirIn.Text1(k - 1).Text
        .Range("J" & (8 + i) + (2 + j) + 2 + k) =
frmTempAirOut.Text1(k - 1).Text
        .Range("L" & (8 + i) + (2 + j) + 2 + k) =
frmDewPoint.Text1(k - 1).Text
    Next k
    'Step5
    .Range("A" & (8 + i) + (2 + j) + 27 + 1) = "Step5"
    If LayerShade <> "None" Then
        M = 3
    Else
        M = 2
    End If
    For L = 1 To M
        .Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 28 + 3 * (L - 1))
= frmStep5.Frame1(L).Caption
        .Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 29 + 3 * (L - 1))
= frmStep5.Label3
        .Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 29 + 3 * (L - 1))
= frmStep5.Label4
        .Range("I" & (8 + i) + (2 + j) + 29 + 3 * (L - 1)) =
frmStep5.Label5
    Next L

```

```

.Range("J" & (8 + i) + (2 + j) + 29 + 3 * (L - 1)) =
frmStep5.Label6
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 1))
= frmStep5.Combo1(L)
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 1))
= frmStep5.Text1(L)
.Range("I" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 1)) =
frmStep5.Text2(L)
.Range("J" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 1)) =
frmStep5.Text3(L)
Next L
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 1)
= frmStep5.Label1
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 1)
= frmStep5.Text4
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 2)
= frmStep5.Label2
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 2)
= frmStep5.Text5
'Step6
.Range("A" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 3)
= "Step6"
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 4)
= frmStep6.Label1
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 4)
= frmStep6.Combo1
.Range("I" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 4)
= frmStep6.Combo2
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 5)
= frmStep6.Label2
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 5)
= frmStep6.Combo3
.Range("I" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 5)
= frmStep6.Text1
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 6)
= frmStep6.Label3
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 6)
= frmStep6.Combo4
.Range("I" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 6)
= frmStep6.Text2
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 7)
= frmStep6.Label6
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 7)
= frmStep6.Combo6
.Range("I" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 7)
= frmStep6.Text4
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 8)
= frmStep6.Label4
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 8)
= frmStep6.Combo5
.Range("B" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 9)
= frmStep6.Label5
.Range("H" & (8 + i) + (2 + j) + 30 + 3 * (L - 2) + 9)
= frmStep6.Text3
End With
End Sub

Public Sub TransferOutput_Sum()
****Format****
With MyObject.worksheets("2.Sum")
.Range("B1:Q1").MergeCells = True
.Range("R1:U1").MergeCells = True
.Range("B2:G2").MergeCells = True
.Range("H2:Q2").MergeCells = True
.Range("R2:S2").MergeCells = True
.Range("T2:U2").MergeCells = True

.Range("A3") = "Time"
.Range("B1") = "Sum of any solar radiation (Watt)"
.Range("R1") = "Average Temperature(oC)"
.Range("B2") = "With No Shade"
.Range("H2") = "With Shade"
.Range("R2") = "No Shade"

.Range("T2") = "Shade"
.Range("B3") = "Heat gain"
.Range("C3") = "Total"
.Range("D3") = "Direct"
.Range("E3") = "Diffuse"
.Range("F3") = "Ground"
.Range("G3") = "Sky"
.Range("H3") = "Heat gain"
.Range("I3") = "TotalAll"
.Range("J3") = "Total"
.Range("K3") = "Direct"
.Range("L3") = "Diffuse"
.Range("M3") = "DirectReflect"
.Range("N3") = "DiffuseReflect"
.Range("O3") = "Shading"
.Range("P3") = "Sky"
.Range("Q3") = "Ground"
.Range("R3") = "TempIn"
.Range("S3") = "TempOut"
.Range("T3") = "TempIn"
.Range("U3") = "TempOut"

*****Data*****
For i = 1 To 145
.cells(i + 3, 1) = Times(i)
.cells(i + 3, 2).Value = Sum_HeatGain_Unshade(i)
.cells(i + 3, 3).Value = Sum_TotalUnshade(i)
.cells(i + 3, 4).Value = Sum_DirectUnshade(i)
.cells(i + 3, 5).Value = Sum_DiffuseUnshade(i)
.cells(i + 3, 6).Value = Sum_GroundUnshade(i)
.cells(i + 3, 7).Value = Sum_SkyUnshade(i)
.cells(i + 3, 18).Value = Grid_TempIn_Unshade(i) -
273.15
.cells(i + 3, 19).Value = Grid_TempOut_Unshade(i)
- 273.15
Next i

If LayerShade <> "None" Then
For i = 1 To 145
.cells(i + 3, 8).Value =
Sum_HeatGain_Shade(i)
.cells(i + 3, 9).Value = Sum_TotalShade(i)
.cells(i + 3, 10).Value = Sum_Direct(i) +
Sum_Diffuse(i) + Sum_Ground(i) + Sum_Sky(i)
.cells(i + 3, 11).Value = Sum_Direct(i)
.cells(i + 3, 12).Value = Sum_Diffuse(i)
.cells(i + 3, 13).Value = Sum_DirectReflect(i)
.cells(i + 3, 14).Value = Sum_DiffuseReflect(i)
.cells(i + 3, 15).Value = Sum_Shading(i)
.cells(i + 3, 16).Value = Sum_Sky(i)
.cells(i + 3, 17).Value = Sum_Ground(i)
.cells(i + 3, 20).Value =
Average_TempIn_Shade(i)
.cells(i + 3, 21).Value =
Average_TempOut_Shade(i)
Next i
End If
End With
End Sub

Public Sub CreateWorksheet3to14()
NumberOfSheet = 14
For i = 1 To NumberOfSheet - 3
MyObject.worksheets.Add
Next i
End Sub

Public Sub TransferOut()
For i = 1 To 11
frmProgressTransfer.ProgressBar1.Value = 10 + 89
* i / 11
With MyObject.worksheets("Sheet" & i + 2)
.Range("A1") = "Time"

```

```

.Range("B1:F1").MergeCells = True
For j = 1 To 5
    .cells(2, 1 + j) = NameRange(i, j)
Next j
For k = 1 To 145
    .cells(k + 2, 1) = Times(k)
For M = 1 To 5
    .cells(k + 2, M + 1) =
Value_CountRange(M, i, k)
Next M
Next k
End With
Next i
End Sub

Public Sub CreateNameWorksheet3to13()
    MyObject.worksheets("Sheet3").Name =
"3.HeatgainShade"
    MyObject.worksheets("Sheet4").Name =
"4.TotalShade"
    MyObject.worksheets("Sheet5").Name = "5.Direct"
    MyObject.worksheets("Sheet6").Name = "6.Diffuse"
    MyObject.worksheets("Sheet7").Name =
"7.DirectReflect"
    MyObject.worksheets("Sheet8").Name =
"8.DiffuseReflect"
    MyObject.worksheets("Sheet9").Name = "9.Shading"
    MyObject.worksheets("Sheet10").Name = "10.Sky"
    MyObject.worksheets("Sheet11").Name = "11.Ground"
    MyObject.worksheets("Sheet12").Name =
"12.TempOut"
    MyObject.worksheets("Sheet13").Name =
"13.TempIn"
End Sub

Public Sub CreateTopicName()
    MyObject.worksheets("3.HeatgainShade").Range("B1")
= "ช่วงปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("4.TotalShade").Range("B1") =
"ช่วงปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("5.Direct").Range("B1") = "ช่วง
ปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("6.Diffuse").Range("B1") = "ช่วง
ปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("7.DirectReflect").Range("B1") =
"ช่วงปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("8.DiffuseReflect").Range("B1")
= "ช่วงปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("9.Shading").Range("B1") =
"ช่วงปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("10.Sky").Range("B1") = "ช่วง
ปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("11.Ground").Range("B1") =
"ช่วงปริมาณความร้อนที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("12.TempOut").Range("B1") =
"ช่วงอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ (%)"
    MyObject.worksheets("13.TempIn").Range("B1") =
"ช่วงอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ (%)"
End Sub

Public Sub TestOther()

    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 1) = "k"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 2) =
"Ttopup(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 3) =
"Ttoplow(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 4) =
"Tsolarup(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 5) =
"Tsolarlow(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 6) =
"Tnonup(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 7) =
"Tnonlow(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 8) =
"Gsolarshade(1, k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 9) =
"Gsolarshade(2, k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 10) =
"Cos_Zenith(k)"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 11) =
"TwallunshadeOut"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 12) =
"TwallunshadeIn"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 13) =
"hconvshadeup"
    MyObject.worksheets("Sheet14").cells(1, 14) =
"hconvshadelow"

    For k = 1 To 145
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 1) = k
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 2) =
Ttopup(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 3) =
Ttoplow(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 4) =
Tsolarup(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 5) =
Tsolarlow(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 6) =
Tnonup(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 7) =
Tnonlow(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 8) =
Gsolarshade(1, k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 9) =
Gsolarshade(2, k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 10) =
Cos_Zenith(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 11) =
Twallunshade(k, 1)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 12) =
Twallunshade(k, NN)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 13) =
hconvshadeup(k)
        MyObject.worksheets("Sheet14").cells(k + 1, 14) =
hconvshadelow(k)
    Next k
End Sub

=====
Modules-mdeWall
=====

Option Explicit
'ww mean property of material of wall
Dim WW(100) As wallLastname
Dim i, j As Integer
Dim checkList1, checkDataBase1, checkCustom1,
N_Index As Integer

Public Type wallLastname
    k As Single
    Cp As Single
    density As Single
End Type

Public Sub propertyOfWall()

'0 ---CUSTOM---
'1 Acoustic tile
'2 Asbestos-cement board
'3 Brick ,common
'4 Cellular glass
'5 Cement mortar

```

```

'6 Clay WW(10).Cp = 1090
'7 Concrete (stone mix) WW(10).density = 800
'8 Cork
'9 Glass fiber ,blanket WW(11).k = 0.15
'10 Gypsum or plaster board WW(11).Cp = 1380
'11 Hardboard low density WW(11).density = 1010
'12 Hardboard high density
'13 Hardboard ,siding WW(12).k = 0.17
'14 Hardwoods (oak ,maple) WW(12).Cp = 1300
'15 Homogeneous board from repulped paper WW(12).density = 1000
'16 Laminated paper board
'17 Particle board low density WW(13).k = 0.094
'18 Particle board medium density WW(13).Cp = 1170
'19 Particle board high density WW(13).density = 640
'20 Plywood
'21 Polystyrene ,expanded extruded (R-12) WW(14).k = 0.16
'22 Polystyrene ,expanded molded beads WW(14).Cp = 1255
'23 Polyuretance foam WW(14).density = 720
'24 Sheathing ,intermediate density
'25 Sheathing ,regular density WW(15).k = 0.072
'26 Shingle backer WW(15).Cp = 1170
'27 Softwood (fir,pine) WW(15).density = 480
'28 Wood ,shredded /Cemented
'29 Cement plaster ,sand aggregate WW(16).k = 0.072
'30 Gypsum plaster ,lightweight aggregate WW(16).Cp = 1380
'31 Perlite aggregate WW(16).density = 480
'32 Vermiculite aggregate WW(17).k = 0.102
N_Index = 33 WW(17).Cp = 1300
If checkDataBase1 = 10 Then WW(17).density = 590
Else
WW(0).k = 0 WW(18).k = 0.135
WW(0).Cp = 0 WW(18).Cp = 1300
WW(0).density = 0 WW(18).density = 800
WW(1).k = 0.058 WW(19).k = 0.17
WW(1).Cp = 1340 WW(19).Cp = 1300
WW(1).density = 290 WW(19).density = 1000
WW(2).k = 0.58 WW(20).k = 0.12
WW(2).Cp = 1000 WW(20).Cp = 1215
WW(2).density = 1920 WW(20).density = 545
WW(3).k = 0.72 WW(21).k = 0.027
WW(3).Cp = 835 WW(21).Cp = 1210
WW(3).density = 1920 WW(21).density = 55
WW(4).k = 0.058 WW(22).k = 0.04
WW(4).Cp = 145 WW(22).Cp = 1210
WW(4).density = 1000 WW(22).density = 16
WW(5).k = 0.72 WW(23).k = 0.024
WW(5).Cp = 780 WW(23).Cp = 0
WW(5).density = 1860 WW(23).density = 24
WW(6).k = 1.3 WW(24).k = 0.066
WW(6).Cp = 880 WW(24).Cp = 1300
WW(6).density = 1460 WW(24).density = 350
WW(7).k = 1.4 WW(25).k = 0.055
WW(7).Cp = 880 WW(25).Cp = 1300
WW(7).density = 2300 WW(25).density = 290
WW(8).k = 0.039 WW(26).k = 0.057
WW(8).Cp = 1800 WW(26).Cp = 1300
WW(8).density = 120 WW(26).density = 290
WW(9).k = 0.036 WW(27).k = 0.12
WW(9).Cp = 795 WW(27).Cp = 1380
WW(9).density = 105 WW(27).density = 510
WW(10).k = 0.17 WW(28).k = 0.087
WW(28).Cp = 1590

```

```

WW(28).density = 350

WW(29).k = 0.72
WW(29).Cp = 840
WW(29).density = 1860

WW(30).k = 0.236
WW(30).Cp = 0
WW(30).density = 720

WW(31).k = 0.22
WW(31).Cp = 1340
WW(31).density = 720

WW(32).k = 0.24
WW(32).Cp = 0
WW(32).density = 720

checkDataBase1 = 10
End If

For i = 1 To frmStep2.Combo1.Text
If frmStep2.Combo2(i).ListIndex = -1 Then
ElseIf frmStep2.Combo2(i).ListIndex = 0 Then
frmStep2.Text1(i).BackColor = &H80000005
frmStep2.Text2(i).BackColor = &H80000005
frmStep2.Text3(i).BackColor = &H80000005
frmStep2.Text1(i).Locked = False
frmStep2.Text2(i).Locked = False
frmStep2.Text3(i).Locked = False
checkCustom1 = 10
frmCustom2.i.Text = i
frmCustom2.Show 'vbModal
ElseIf frmStep2.Combo2(i).ListIndex >= N_Index
Then
frmStep2.Text1(i).BackColor = &H80000005
frmStep2.Text2(i).BackColor = &H80000005
frmStep2.Text3(i).BackColor = &H80000005
frmStep2.Text1(i).Locked = False
frmStep2.Text2(i).Locked = False
frmStep2.Text3(i).Locked = False
checkCustom1 = 10
Else
If checkCustom1 = 10 Then
frmStep2.Text1(i).BackColor = &H80000016
frmStep2.Text2(i).BackColor = &H80000016
frmStep2.Text3(i).BackColor = &H80000016
frmStep2.Text1(i).Locked = True
frmStep2.Text2(i).Locked = True
frmStep2.Text3(i).Locked = True
Else
End If
j = frmStep2.Combo2(i).ListIndex
frmStep2.Text1(i).Text = WW(j).k
frmStep2.Text2(i).Text = WW(j).Cp
frmStep2.Text3(i).Text = WW(j).density
End If
Next i

End Sub

Public Sub MaterialOfWall()
If checkList1 = 10 Then
Else
For i = 1 To 7
frmStep2.Combo2(i).AddItem "---CUSTOM---"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Acoustic tile"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Asbestos-cement
board"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Brick ,common"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Cellular glass"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Cement mortar"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Clay"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Concrete (stone
mix)"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Cork"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Glass fiber
,blanket"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Gypsum or
plaster board"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Hardboard low
density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Hardboard high
density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Hardboard
,siding"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Hardwoods (oak
,maple)"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Homogeneous
board from repulped paper"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Laminated paper
board"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Particle board low
density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Particle board
medium density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Particle board
high density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Plywood"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Polystyrene
,expanded extruded (R-12)"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Polystyrene
,expanded molded beads"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Polyuretance
foam"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Sheathing
,intermediate density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Sheathing
,regular density"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Shingle backer"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Softwood
(fir, pine)"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Wood ,shredded
/Cemented"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Cement plaster
,sand aggregate"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Gypsum plaster
,lightweight aggregate"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Perlite aggregate"
frmStep2.Combo2(i).AddItem "Vermiculite
aggregate"
Next i
End If
End Sub
checkList1 = 10
End Sub

```


ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย บุญลภ ดานะสถิตย์ถาวร เกิดวันที่ 17 เมษายน พ.ศ.2520 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ1) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2541 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการถ่ายเทความร้อน ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย