



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น โดยใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี
กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

THE COOLING LOAD CALCULATION BY RADIANT TIME SERIES
METHOD FOR BANGKOK

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2552

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ในการสนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ รวมถึง รศ. ฤชากร จิรกาลวสาน แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการเป็นที่ปรึกษา และคำแนะนำอันทรงคุณค่าตลอดการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ขอแสดงความขอบคุณกรมอุตสาหกรรมวิทยาทันทีเพื่อข้อมูลสำหรับงานวิจัย สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักวิจัย เจ้าหน้าที่ส่วนต่างๆ แห่งมหาวิทยาลัยศรีปทุม รวมถึง คณะอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจตลอดการทำงานวิจัย ณ มหาวิทยาลัยแห่งนี้

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2553

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น โดยใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี
กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร

ผู้วิจัย : นายเทพฤทธิ์ ทองชูป

หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2553

บทคัดย่อ

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้วิธีพื้นฐานดั้งเดิม คือ วิธีสมดุลความร้อน ขั้นตอนการคำนวณจะมีความซับซ้อน เนื่องจากอิทธิพลของการสะสมความร้อนในส่วนต่างๆ ของพื้นที่ ทำให้มีความยุ่งยากและไม่สะดวกในการใช้งานจริง ถึงแม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะแม่นยำก็ตาม ดังนั้นจึงทำให้มีการคิดค้นวิธีการต่างๆ ขึ้นมา เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้งานจริง ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ วิธี CLTD แต่เนื่องจากการทำขั้นตอนการคำนวณให้ง่ายขึ้น จะต้องมีการกำหนดสมมุติฐานขึ้นหลายข้อ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในผลลัพธ์ที่ได้ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นแบบใหม่ขึ้นมา คือ วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี ซึ่งเป็นวิธีที่มีความสะดวกในการใช้งานและผลลัพธ์ที่ได้ออกมามีความแม่นยำ

ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น โดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีวิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน โดยมีการนำข้อมูลจริงของอุณหภูมิกระเปาะแห้งภายนอก อุณหภูมิกระเปาะเปียกภายนอก และค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเขตกรุงเทพมหานคร มาใช้งาน เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น โดยมีการเปรียบเทียบในสองกรณี คือ แบบพื้นที่ที่ไม่มีกระจกและมีกระจก ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีสมดุลความร้อนจะมีค่าต่ำกว่า วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี และวิธี CLTD เล็กน้อย ความแตกต่างจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีกระจก ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี จะมีค่าใกล้เคียงกับวิธีสมดุลความร้อนมากกว่า วิธี CLTD เนื่องจากในวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี จะมีการเฉลี่ยความร้อนจากการแผ่รังสีของบริเวณที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เพื่อให้เข้าสู่จุดสมดุล จึงทำให้ค่าความร้อนในเวลานั้นลดลง ดังนั้นจะเห็นว่าการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นขวิธีวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีจะให้ผลลัพธ์ออกมาแม่นยำกว่าวิธี CLTD ซึ่งจะทำให้การออกแบบระบบปรับอากาศมีความประหยัดทั้งด้านการลงทุนและค่าพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย

คำสำคัญ : ภาระการทำความเย็น การสะสมความร้อน อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD

Research Title : The Cooling Load Calculation by Radiant Time Series Method for Bangkok

Name of Researcher : Mr. Taperit Tongshoob

Name of Institution : Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University

Year of Publication : B. E. 2553

ABSTRACT

The original method for cooling load calculation is the Heat Balance Method. The procedures of calculation are complex because of the thermal storage effect which can lead to difficult use, even if the result is accurate. Many methods are proposed to simplify the calculation. The method that widely used is the CLTD Method. Many assumptions are used in order to simplify the calculation. Therefore the accuracy of the results may be reduced. Nowadays, the cooling load by the Radiant Time Series Method is developed. This method is convenient and accurate.

In this research, the cooling load results calculated from Radiant Time Series Method, CLTD Method and Heat Balance Method were compared. The actual measurement of the outside dry bulb and wetbulb temperatures and solar irradiant data in Bangkok area are used in the calculation in order to obtain the most accurate result. The comparison was shown in two case studies, the area without glass and the area with glass. The cooling load calculated from Heat Balance Method is a few percentage less than that of the methods by Radiant Time Series and CLTD. However, the difference increases in the area with glass case. The result calculated from the Radiant Time Series Method is closer to that of the Heat Balance Method than the result calculated from CLTD Method. Since in Radiant Time Series Method, radiant heat gain in the areas with different temperatures are averaged to a steady state which can result in a lower hourly heat gain. Therefore the cooling load calculation using Radiant Time Series Method gives more accurate result than CLTD Method. This will lead to a reduction in investment as well as energy saving costs in air conditioning system.

Keywords : Cooling Load, Thermal Storage, Radiant Time Series Method, CLTD Method

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3	คำถามการวิจัย	2
1.4	สมมุติฐานการวิจัย	2
1.5	ขอบเขตการวิจัย	2
1.6	นิยามศัพท์	2
1.7	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
2.1	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย	4
2.1.1	ความร้อนจากแสงอาทิตย์.....	4
2.1.2	สัมประสิทธิ์การบังแดด.....	6
2.2	ทฤษฎีที่รองรับทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย.....	7
2.2.1	ความร้อนภายนอกผ่านผนังทึบ (หลังคา หรือพื้น).....	7
2.2.2	การนำความร้อนผ่านผนังทึบ (หลังคา หรือพื้น).....	9
2.2.3	ความร้อนผ่านกระจก.....	10
2.2.4	การนำความร้อนผ่านกระจก.....	11
2.2.5	การส่งผ่านความร้อนของกระจก.....	12
2.2.6	ความร้อนจากภายใน.....	12
2.2.7	ความร้อนจากการระบายอากาศ.....	13
2.2.8	ความร้อนที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม.....	13
2.3	ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
2.4	สรุป	23
3	ระเบียบวิธีการวิจัย	24
3.1	รูปแบบการวิจัย.....	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3.2	กลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ	24
3.3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	24
3.4	เครื่องมือการวิจัย	25
3.5	การรวบรวมข้อมูล	25
3.6	การวิเคราะห์ข้อมูล	25
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปรายผล.....	45
4.1	การวิเคราะห์ข้อมูลในกรณีศึกษา.....	45
4.2	การอภิปรายผล.....	51
5	สรุป และข้อเสนอแนะ	53
5.1	สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	53
5.2	สรุปผลการวิจัย	53
5.3	ข้อเสนอแนะ	55
	บรรณานุกรม	56
	ภาคผนวก	60
	ภาคผนวก ก โปรแกรมการคำนวณค่าการกระทำความเย็น โดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี.....	61
	ภาคผนวก ข ค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม.....	72
	ประวัติย่อผู้วิจัย	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน มกราคม..... 27
3.2	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน กุมภาพันธ์..... 28
3.3	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน มีนาคม..... 29
3.4	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน เมษายน..... 30
3.5	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน พฤษภาคม..... 31
3.6	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน มิถุนายน..... 32
3.7	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน กรกฎาคม..... 33
3.8	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน สิงหาคม..... 34
3.9	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน กันยายน..... 35
3.10	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน ตุลาคม..... 36
3.11	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน พฤศจิกายน..... 37
3.12	ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน ธันวาคม..... 38
4.1	ความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมมูลความร้อน ในกรณีที่ 1..... 47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.2	ความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมมูลความร้อน ในกรณีที่ 2.....	48
4.3	ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็น ที่ได้จากการคำนวณวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมมูลความร้อน ในกรณีที่ 1.....	50
4.4	ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็น ที่ได้จากการคำนวณวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมมูลความร้อน ในกรณีที่ 2.....	50

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 มุมแสงอาทิตย์ต่างๆ บนระนาบแนวตั้งและแนวระดับ.....	4
2.2 มุมภาพเงาและระยะต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดด.....	6
2.3 ความร้อนจากภายนอกผ่านผนัง.....	8
2.4 การนำความร้อนผ่านผนัง.....	9
3.1 ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอกเมื่อเทียบกับเวลา ในเดือนเมษายน และเดือน ธันวาคม.....	39
3.2 ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับเวลาในเดือนเมษายน และเดือน ธันวาคม.....	40
3.3 ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอกเมื่อเทียบกับเวลา ในเดือนเมษายน และเดือน ธันวาคม.....	40
4.1 รูปแบบห้องในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2.....	46
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็น ที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมดุลความร้อน ในกรณีศึกษาที่ 1.....	49
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็น ที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมดุลความร้อน ในกรณีศึกษาที่ 2.....	49

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

ASHRAE

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

TETD

วิธีผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Total Equivalent Temperature Difference)

TFM

วิธีฟังก์ชันถ่ายเท (Transfer Function Methods)

CLTD

วิธีผลต่างอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (Cooling Load Temperature Difference)

$()_j$

ที่ผนังด้าน j

$()_{\theta}, ()_p$

ที่เวลา θ (ชั่วโมง)

$()_{-o}$

ภายนอก

$()_{-i}$

ภายใน

p, k

ตัวเลขลำดับการคำนวณ

$q''_{Iw-o, j, \theta}$

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์สู่ผนังที่ (หลังคา หรือพื้น) (W/m^2)

α_j

สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผนัง

I_t

ค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมของแสงอาทิตย์ (W/m^2)

$q''_{cvw-o, j, \theta}$

ค่าการพาความร้อนสู่ผนังภายนอก (W/m^2)

h_{co}

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอก (W/m^2K)

$t_{o, \theta}$

อุณหภูมิบรรยากาศ (อุณหภูมิภายนอก) ($^{\circ}C$)

$t_{w-os, j, \theta}$

อุณหภูมิพื้นผิวผนังภายนอก ($^{\circ}C$)

$q''_{rdw-o, j, \theta}$

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมสู่ผนัง (W/m^2)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

σ

ค่าคงที่ของ สเตฟาน โบลทซ์มานน์ (W/m²K⁴)
(Stefan Boltzmann Constant)

F_g

ตัวประกอบรูปร่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวผนัง
ภายนอกกับพื้นดิน
(View Factor of Wall to Ground Temperature)

F_{sky}

ตัวประกอบรูปร่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวผนัง
ภายนอกกับท้องฟ้า
(View Factor of Wall to Sky Temperature)

F_{air}

ตัวประกอบรูปร่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวผนัง
ภายนอกกับบรรยากาศ
(View Factor of Wall to Ground Temperature)

t_g

อุณหภูมิพื้นดิน (°C)

t_{sky}

อุณหภูมิต้องฟ้า (°C)

$q''_{cdw,j,\theta}$

ค่าการนำความร้อนผ่านผนัง (W/m²)

$t_{w-is,j,\theta}$

อุณหภูมิพื้นผิวผนังที่ภายใน (°C)

$q''_{It,j,\theta}$

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่าน
กระจก (W/m²)

t_k

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจก
(Transmittance Coefficients)

I_D

ค่าการแผ่รังสีความร้อนตรงของแสงอาทิตย์
(W/m²) (Direct Irradiance)

I_d

ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายของแสงอาทิตย์
(W/m²) (Diffuse Irradiance)

AST

เวลาปรากฏของแสงอาทิตย์ (นาทิจ)
(Apparent Solar Time)

LST

เวลามาตรฐานท้องถิ่น (นาทิจ)
(Local Standard Time)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

LAT, L

เส้นแวง (องศา)

(Latitude)

LON

เส้นรุ้ง (องศา)

(Longitude)

ET

ค่าปรับท่าเวลา (นาที)

(Equation of time)

H

มุมเวลา (นาที)

(Minute Angle)

δ

มุมลาดเอียงของแสง (องศา)

(Declination)

β

มุมแนวตั้งของแสง (องศา)

(Solar Altitude)

ϕ

มุมแนวระดับของแสง (องศา)

(Solar Azimuth)

γ

มุมสัมผัสแนวระดับของแสง (องศา)

(Solar-surface Azimuth)

ψ

มุมแนวระดับของพื้นผิวสัมผัส (องศา)

(Surface Azimuth)

หมุนตามเข็มนาฬิกาจากทิศใต้

θ

มุมตกกระทบของแสง (องศา)

(Incidence Angle)

Σ

มุมเอียงพื้นผิวสัมผัสจากแนวระดับ (องศา)

(Surface Tilt)

I_{DN}

ค่าการแผ่รังสีความร้อนตรงปกติ ของแสงอาทิตย์

(W/m^2) (Direct Normal Irradiance)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ	คำอธิบาย
A	ค่าคงที่ปรากฏของแสงอาทิตย์ (W/m^2) (Apparent Solar Constant)
B	สัมประสิทธิ์การสูญเสียของบรรยากาศ (Atmospheric Extinction Coefficient)
I_{ds}	ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายจากท้องฟ้า (W/m^2) (Sky Diffuse Irradiance)
C	ตัวประกอบการกระจายของท้องฟ้า (Sky Diffuse Factor)
I_{dg}	ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายจากพื้นดิน (W/m^2) (Ground Diffuse Irradiance)
ρ_g	สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้น (Ground Reflectivity)
I_{th}	ค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมของแสงอาทิตย์ใน แนวระดับ (W/m^2) (Total Horizontal Irradiance)
θ_H	มุมตกกระทบของแสงในแนวระดับ (องศา) (Horizontal Incidence Angle)
Ω	มุมภาพเงา (องศา) (Profile Angle)
S_w	ระยะของเงาจากอุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง (m)
S_H	ระยะของเงาจากอุปกรณ์บังแดดแนวระดับ (m)
P_V	ความยาวของอุปกรณ์บังแดดในแนวตั้ง (m)
P_H	ความยาวของอุปกรณ์บังแดดในแนวระดับ (m)
R_w	ระยะของอุปกรณ์บังแดดแนวระดับ จากขอบกระจก (m)
R_H	ระยะของอุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง จากขอบกระจก (m)
W	ความยาวของกระจกในแนวระดับ (m)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ	คำอธิบาย
H	ความยาวของกระจกในแนวระดิ่ง (m)
A_{SL}	พื้นที่รับแสงของกระจก (m ²)
SC	สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)
$q''_{cvev-o,j,\theta}$	ค่าการพาความร้อนเทียบเท่าของผนังภายนอก (W/m ²)
$t_{ew,j,\theta}$	อุณหภูมิภายนอกเทียบเท่าของผนัง (°C)
h_o	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนและการพา ความร้อนรวมภายนอก (W/m ² K)
$\Delta t_{\theta-p}$	ผลต่างระหว่างอุณหภูมิบรรยากาศที่เวลา θ กับ อุณหภูมิบรรยากาศที่เวลา p (°C)
$\Delta I_{t,j,\theta-p}$	ผลต่างระหว่างค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมที่เวลา θ กับค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมที่เวลา p (W/m ²)
$U_{w,j}$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (W/m ² K)
$q''_{ia-o,j,\theta}$	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ดูดซับ โดยกระจก (W/m ²)
a_k	สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของกระจก (Absorptance Coefficients)
$q''_{rda-o,j,\theta}$	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมที่ดูดซับ โดยกระจก (W/m ²)
$t_{osa,j,\theta}$	อุณหภูมิพื้นผิวกระจกภายนอก (°C)
$q''_{cva-o,j,\theta}$	ค่าการพาความร้อนสู่กระจกภายนอก (W/m ²)
$q''_{cveg-o,j,\theta}$	ค่าการพาความร้อนพาเทียบเท่าของกระจก (W/m ²)
$t_{eg,j,\theta}$	อุณหภูมิภายนอกเทียบเท่าของกระจก (°C)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

$q''_{cdg,j,\theta}$

ค่าการนำความร้อนผ่านกระจก (W/m²)

$Y_{g,p,j}$

ฟังก์ชันถ่ายเทการนำความร้อนแบบไขว้ของกระจก

$\Delta I_{D,\theta-p}$

ผลต่างระหว่างค่าการแผ่รังสีความร้อนตรงที่เวลา θ กับค่าการแผ่รังสีความร้อนตรงที่เวลา p (W/m²)

$\Delta I_{d,\theta-p}$

ผลต่างระหว่างค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายที่เวลา θ กับค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายที่เวลา p (W/m²)

$U_{g,j}$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (W/m²K)

$Q_{Int,hl,\theta}$

อัตราการความร้อนแฝงจากคน (Watt)

$N_{h,\theta}$

จำนวนคน (Number of Person)

K_{lat}

อัตราการความร้อนแฝงต่อคน (Watt/Person)

$Q_{Int,hs,\theta}$

อัตราการความร้อนสัมผัสจากคน (Watt)

K_{sen}

อัตราการความร้อนสัมผัสต่อคน (Watt/Person)

$Q_{Int,l,\theta}$

อัตราการความร้อนจากการส่องสว่าง (Watt)

$N_{l,\theta}$

จำนวนหลอดไฟส่องสว่าง (Unit)

W_{l-loss}

อัตราการสูญเสียของหลอดไฟส่องสว่างต่อหน่วย (Watt/Unit)

$Q_{Int,e,\theta}$

อัตราการความร้อนจากจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (Watt)

$N_{e,\theta}$

จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน (Unit)

W_{e-loss}

อัตราการสูญเสียของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อหน่วย (Watt/Unit)

$Q_{vent,\theta}$

อัตราการความร้อนจากการระบายอากาศ (Watt)

ρ

ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

\dot{Q}_θ

อัตราการระบายอากาศ (m³/s)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

c_p

ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของอากาศ
(kJ/kg K)

h_{fg}

เอนทาลปีในการควบแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ
ภายในพื้นที่ (kJ/kg)

$w_{o,\theta}$

อัตราส่วนความชื้นบรรยากาศ (ภายนอก)

w_{rc}

อัตราส่วนความชื้นภายในพื้นที่

$Q_{CV,\theta}$

อัตราการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตร
ควบคุม (Watt)

f_{cp}

อัตราส่วนการพาความร้อนขึ้นต้นต่อความร้อน
ทั้งหมดจากผนังทึบและกระจกภายนอก

f_{ch}

อัตราส่วนการพาความร้อนขึ้นต้นต่อความร้อน
ทั้งหมดจากคน

f_{cl}

อัตราส่วนการพาความร้อนขึ้นต้นต่อความร้อน
ทั้งหมดจากหลอดไฟส่องสว่าง

f_{ce}

อัตราส่วนการพาความร้อนขึ้นต้นต่อความร้อน
ทั้งหมดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

$A_{w,j}$

พื้นที่ผนังทึบภายนอก (m²)

$A_{g,j}$

พื้นที่กระจกภายนอก (m²)

$K_{w,j,\theta}$

สัมประสิทธิ์การแปลงค่าการแผ่รังสีความร้อน
รวมเป็นค่าในแนวระดับของผนังทึบ

$K_{a,j,\theta}$

สัมประสิทธิ์การแปลงค่าการแผ่รังสีความร้อน
รวมที่ถูกดูดซับ โดยกระจกเป็นค่าในแนวระดับ

$K_{CV-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ในสมการการพาความร้อน
ขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$K_{CV-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์ค่าการแผ่รังสีความร้อนในแนว
ระดับ ในสมการการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่
ปริมาตรควบคุม

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

$K_{CV-h,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนคนในสมการการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$K_{CV-l,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนหลอดไฟส่องสว่างในสมการการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$K_{CV-e,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งานในสมการการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$Q_{CV-c,\theta}$

อัตราการพาความร้อนระดมในสมการการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$Q_{RD,\theta}$

อัตราการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน (Watt)

f_{rp}

อัตราส่วนการแผ่รังสีความร้อนต่อความร้อนทั้งหมดจากผนังทึบและกระจกภายนอก

f_{rh}

อัตราส่วนการแผ่รังสีความร้อนต่อความร้อนทั้งหมดจากคน

f_{rl}

อัตราส่วนการแผ่รังสีความร้อนต่อความร้อนทั้งหมดจากหลอดไฟส่องสว่าง

f_{re}

อัตราส่วนการแผ่รังสีความร้อนต่อความร้อนทั้งหมดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

$K_{RD-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิในสมการการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน

$K_{RD-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์ค่าการแผ่รังสีความร้อนในแนวระดับ ในสมการการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน

$K_{RD-h,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนคนในสมการการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน

$K_{RD-l,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนหลอดไฟส่องสว่างในสมการการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

$K_{RD-e,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งานในสมการ
การแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน

$Q_{RD-c,\theta}$

อัตราความร้อนสะสมในสมการการแผ่รังสีความร้อน
ที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน

$Q_{CV-RD,\theta}$

อัตราการพาความร้อนชั้นที่สองจากแหล่งเก็บ
ความร้อน ที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม(Watt)

$r_0 r_1 r_2 \dots r_{23}$

ตัวประกอบเวลาการแผ่รังสีความร้อน

$\Delta N_{h,\theta-p}$

ผลต่างระหว่างจำนวนคนที่เวลา θ กับจำนวนคนที่
เวลา p (หน่วย)

$\Delta N_{l,\theta-p}$

ผลต่างระหว่างจำนวนหลอดไฟส่องสว่างที่เวลา
 θ กับจำนวนหลอดไฟส่องสว่างที่เวลา p
(หน่วย)

$\Delta N_{e,\theta-p}$

ผลต่างระหว่างจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งานที่เวลา θ
กับจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งานที่เวลา p (หน่วย)

$K_{CR-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิในสมการการพาความร้อน
ชั้นที่สองจากแหล่งเก็บความร้อน ที่เข้าสู่ปริมาตร
ควบคุม

$K_{CR-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์ค่าการแผ่รังสีความร้อนในแนว
ระดับในสมการการพาความร้อนชั้นที่สองจาก
แหล่งเก็บความร้อน ที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$K_{CR-h,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนคนในสมการการพาความร้อน
ชั้นที่สองจากแหล่งเก็บความร้อน ที่เข้าสู่
ปริมาตรควบคุม

$K_{CR-l,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนหลอดไฟส่องสว่างในสมการ
การพาความร้อนชั้นที่สองจากแหล่งเก็บความร้อน
ที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

$K_{CR-e,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานใน
สมการการพาความร้อนชั้นที่สองจากแหล่งเก็บ
ความร้อน ที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$Q_{CR-c,\theta}$

อัตราการความร้อนสะสมในสมการการพาความร้อน
ชั้นที่สองจากแหล่งเก็บความร้อน ที่เข้าสู่ปริมาตร
ควบคุม

$Q_{RDT,\theta}$

อัตราการแผ่รังสีความร้อนที่เข้าสู่พื้น โดยตรง
(Watt)

$Q_{CV-RDT,\theta}$

อัตราการพาความร้อนชั้นที่สองจากพื้น ที่เข้าสู่
ปริมาตรควบคุม (Watt)

$r_{S0} r_{S1} r_{S2} \dots r_{S23}$

ตัวประกอบเวลาการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์

$K_{t,j,\theta}$

สัมประสิทธิ์การแปลงค่าการแผ่รังสีความร้อน
รวมที่ส่งผ่านกระจกเป็นค่าในแนวระดับ

$K_{CRT-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์ค่าการแผ่รังสีความร้อนในแนว
ระดับในสมการการพาความร้อนชั้นที่สองจาก
พื้น ที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$Q_{CRT-c,\theta}$

อัตราการความร้อนสะสมในสมการการพาความร้อน
ชั้นที่สองจากพื้น ที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม

$Q_{Dir,\theta}$

อัตราการความร้อนที่เปลี่ยนเป็นภาระการทำความ
เย็นในปริมาตรควบคุมโดยตรง (Watt)

$Q_{CL,\theta}$

ค่าภาระการทำความเย็น (Watt)

$K_{CL-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ในสมการภาระการทำความ
เย็น

$K_{CL-i,\theta}$

สัมประสิทธิ์ค่าการแผ่รังสีความร้อน ในแนว
ระดับในสมการภาระการทำความเย็น

$K_{CL-h,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนคน ในสมการภาระการทำความ
เย็น

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบาย

$K_{CL-l,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนหลอดไฟส่องสว่าง ใน
สมการการระการทำความเย็น

$K_{CL-e,\theta}$

สัมประสิทธิ์จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งาน ในสมการ
การระการทำความเย็น

$Q_{CL-c,\theta}$

อัตราความร้อนสะสม ในสมการการระการทำ
ความเย็น

X

ตัวแปรหรือเหตุการณ์ X

$P(X)$

ความน่าจะเป็นของตัวแปร X

$\mu(X)$ หรือ μ_x

ค่าเฉลี่ยของตัวแปร X

$pdf(X)$, $f(X)$ หรือ $f_x(X)$

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัว
แปร X

N

จำนวนข้อมูลของตัวแปรทั้งหมด

$\sigma^2(X)$ หรือ σ_x

ค่าความแปรปรวนของตัวแปร X

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นมีพื้นฐานมาจากสมการสมดุลความร้อน ที่ต้องมีการกำหนดรูปแบบจำลองเริ่มต้น และมีการตั้งสมมุติฐานไว้หลายข้อ เพื่อแปลงสภาพความเป็นจริงให้มาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากการคำนวณตามหลักการพื้นฐานของสมดุลความร้อน มีความซับซ้อนมากไม่เหมาะในการใช้งานจริง เพื่อให้การคำนวณมีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น จึงได้มีการคิดค้นวิธีคำนวณที่ทำให้การคำนวณง่ายขึ้นและซับซ้อนน้อยลง เช่น วิธี TETD, TFM และ CLTD แต่วิธีการดังกล่าวจะทำให้ความแม่นยำในการคำนวณลดลง เนื่องจากข้อกำหนดบางประการที่ช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณ ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอการคำนวณวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนน้อยและไม่ยุ่งยากในการคำนวณเท่ากับวิธีสมดุลความร้อน แต่ให้ผลลัพธ์ออกมาใกล้เคียงกับวิธีสมดุลความร้อนมากกว่าวิธีอื่นๆ ที่กล่าวมา

ถึงแม้จะมีวิธีการคำนวณที่มีความแม่นยำแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากการคำนวณทางทฤษฎีกับความเป็นจริงมีความแตกต่างกันบางประการ ซึ่งอาจส่งผลให้การคำนวณมีความคลาดเคลื่อนได้ เพื่อปรับปรุงการคำนวณให้ถูกต้องมากขึ้น จึงได้มีการนำข้อมูลจริงที่วัดได้จากสถานที่จริงไปใช้ในการคำนวณ เพื่อลดจำนวนรูปแบบจำลอง และสมมุติฐานลง ซึ่งจะช่วยให้ผลลัพธ์ในการคำนวณมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ทำให้การเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศเพื่อใช้งานมีความแม่นยำมากขึ้น ส่งผลให้เป็นการประหยัดพลังงาน และลดการลงทุนทั้งในด้าน ต้นทุนเบื้องต้นและค่าไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น โดยใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการคำนวณโดยวิธี CLTD, วิธีสมดุลความร้อน และวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี
3. เพื่อนำข้อมูลจริงของประเทศไทย มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ ทำให้การคำนวณมีความใกล้เคียงความจริงมากขึ้น

1.3 คำถามการวิจัย

1. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี สามารถทำได้โดยมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการคำนวณ
2. การคำนวณโดยวิธี CLTD, วิธีสมมูลความร้อน และวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธีการคำนวณมีความแตกต่างกันมากหรือไม่อย่างไร
3. การนำข้อมูลจริงของประเทศไทย มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ ทำให้ผลการคำนวณออกมาอย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

1. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมการสมมูลความร้อน แบบ 1 มิติ โดยเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบสถานะ ไม่คงตัว
2. การแผ่รังสีความร้อนภายในพื้นที่ จะกำหนดให้ทุกพื้นที่รับค่าความร้อนจากการแผ่รังสีเฉลี่ยเท่ากัน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี
2. ทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณ กับวิธีการคำนวณแบบ CLTD และวิธีสมมูลความร้อน
3. ข้อมูลจริงที่นำมาประยุกต์ใช้งาน คือ อุณหภูมิ รายชั่วโมง(24 ชั่วโมง) ตลอดปี(365 วัน) ระยะเวลา 15 ปี จำนวน 131,400 ข้อมูล ความชื้น รายชั่วโมง(24 ชั่วโมง) ตลอดปี(365 วัน) ระยะเวลา 15 ปี จำนวน 131,400 ข้อมูล และ ค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ รายชั่วโมง(24 ชั่วโมง) ตลอดปี(365 วัน) ระยะเวลา 15 ปี จำนวน 131,400 ข้อมูล รวมข้อมูลทั้งหมด 394,200 ข้อมูล
4. ในการประมวลผล จะคำนวณทุกเดือน ตลอด 24 ชั่วโมง

1.6 นิยามศัพท์

การคำนวณภาระการทำความเย็น คือ การคำนวณค่าความร้อนที่ต้องขจัดออกจากห้อง เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้ได้ตามที่ต้องการ

สมมูลความร้อน คือ หลักการพื้นฐานของกฎอนุรักษ์พลังงาน โดยที่พลังงานความร้อนที่เข้าสู่จุดใดจุดหนึ่งในระบบจะต้องเท่ากับพลังงานความร้อนที่ออกจากจุดนั้น

อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี คือ วิธีการคำนวณภาระการทำความเย็น โดยกำหนดให้การแผ่รังสีความร้อนภายในพื้นที่รับค่าความร้อนจากการแผ่รังสีเฉลี่ยเท่ากัน

ASHRAE คือ สมาคมวิศวกรรม ระบบความร้อน ระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศ แห่งอเมริกา

CLTD คือ วิธีการคำนวณภาระการทำความเย็น โดยกำหนดผลต่างอุณหภูมิภาระการทำความเย็น

TETD คือ วิธีการคำนวณภาระการทำความเย็น โดยการกำหนดอุณหภูมิเทียบเท่า

TFM คือ วิธีการคำนวณภาระการทำความเย็น โดยการใช้ฟังก์ชันถ่ายเท

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี จะสามารถทำให้การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นมีความสะดวกมากขึ้น โดยที่ผลการคำนวณมีความแม่นยำ
2. การนำข้อมูลจริงของประเทศไทย มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ จะทำให้การคำนวณมีความใกล้เคียงความจริงมากขึ้น
3. เมื่อได้ค่าการคำนวณที่แม่นยำและใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการจัดการเรื่องพลังงานเพิ่มขึ้น เป็นการประหยัดพลังงาน ทำให้สามารถลดการลงทุนด้านพลังงานและค่าใช้จ่าย โดยเฉพาะค่าไฟฟ้าลงได้

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

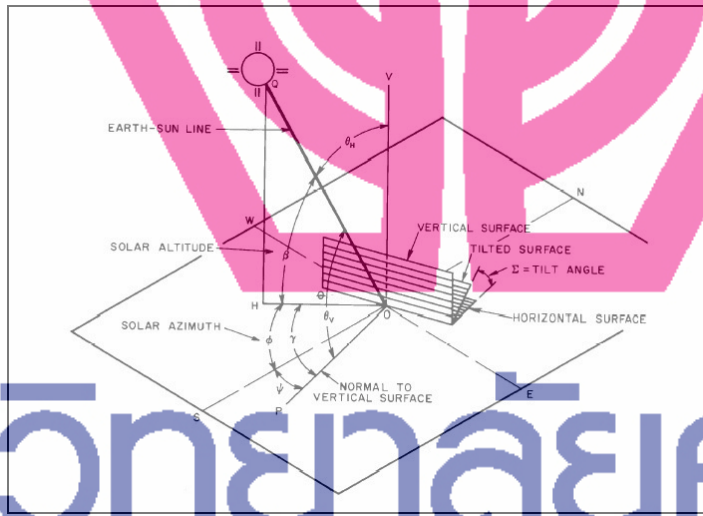
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย

2.1.1 ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar Irradiants)

ความร้อนจากภายนอกเป็นความร้อนที่ผ่านกรอบอาคาร เข้ามาซึ่งปริมาณควบคุม แหล่งกำเนิดความร้อนจากภายนอกอาคารที่มีความสำคัญ คือ แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะอาคารที่มีพื้นที่กระจกภายนอกมาก ซึ่งค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ จะขึ้นอยู่กับพิกัดที่ตั้งและสภาพท้องฟ้า โดยเริ่มต้นจากการคำนวณเวลาแสงอาทิตย์ตามสมการ

$$AST = LST - 4(LSM - LON) + ET$$

สำหรับ กรุงเทพมหานครมีพิกัดที่ $LSM = 105^\circ$
 $LON = 100.6^\circ$



ภาพประกอบ 2.1: มุมแสงอาทิตย์ต่างๆ บนระนาบแนวตั้งและแนวระดับ

มุมเวลา (Angle Hour): $H = 0.25 * (720 - AST)$

มุมแนวตั้งของแสง (Solar Altitude): $\sin(\beta) = \cos H \cos L \cos \delta + \sin L \sin \delta$

มุมแนวระดับของแสง (Solar Azimuth): $\cos(\phi) = \frac{(\sin \beta \sin L - \sin \delta)}{(\cos \beta \cos L)}$

มุมสัมพัทธ์แนวระดับของแสง (Solar-surface Azimuth): $\gamma = \phi - \psi$

มุมตกกระทบของแสง (Incidence Angle): $\cos(\theta) = \cos \beta \cos \gamma \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma$

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรก คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนตรง (Direct Irradiance)

ค่าความร้อนส่วนนี้จะเข้าสู่พื้นผิวรับแสงโดยตรง ไม่ผ่านตัวสะท้อนใดๆ โดยมีค่าความร้อนสูงสุดในแนวที่แสงตั้งฉากกับพื้นผิวรับแสงคือ

$$I_{DN} = A \exp\left(\frac{B}{\sin \beta}\right)$$

ค่าความร้อนที่พื้นผิวรับแสงสามารถรับได้จะขึ้นอยู่กับมุมที่พื้นผิวรับแสงกระทำกับแนวแสง ดังนั้นค่าการแผ่รังสีความร้อนตรงสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$I_D = I_{DN} \cos \theta \quad \text{สำหรับ} \quad \cos \theta > 0 \quad \text{_____ (2.1)}$$

ส่วนที่สอง คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจาย (Diffuse Irradiance)

ค่าความร้อนส่วนนี้จะเข้าสู่พื้นผิวรับแสงโดยผ่านการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งโดยหลักแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ ความร้อนที่สะท้อนผ่านท้องฟ้า และความร้อนที่สะท้อนผ่านพื้นดิน

ค่าความร้อนที่สะท้อนผ่านท้องฟ้ามีสมการดังนี้

$$I_{ds} = CYI_{DN}$$

เมื่อ $Y = 1$ ในแนวระดับ

$$Y = 0.55 + 0.437 \cos \theta + 0.313 \cos^2 \theta \quad \text{ในแนวตั้ง สำหรับ } \cos \theta > -0.2$$

$$Y = 0.45 \quad \text{ในแนวตั้ง สำหรับค่าอื่นๆ}$$

ค่าความร้อนที่สะท้อนผ่านพื้นดินมีสมการดังนี้

$$I_{dg} = I_{DN} (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2}$$

รวมค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายทั้งหมดคือ

$$I_d = CYI_{DN} + I_{DN} (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \quad \text{_____ (2.2)}$$

ดังนั้นจะได้ค่าการแผ่รังสีความร้อนรวมของแสงอาทิตย์ทั้งหมด คือ

$$I_t = I_{DN} \cos \theta + CYI_{DN} + I_{DN} (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \quad \text{_____ (2.3)}$$

ในทางปฏิบัติค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ จะวัดในแนวระดับเท่านั้น ดังนั้นเราต้องอาศัยความสัมพันธ์ที่กล่าวมา แปลงค่าความร้อนจากแนวระดับให้เป็นค่าการแผ่รังสีความร้อนรวม ค่าการแผ่รังสีความร้อนตรง และค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจาย ดังต่อไปนี้

$$I_{th} = I_D + I_{ds} = I_{DN} \cos \theta_H + CYI_{DN}$$

$$I_{th} = I_{DN} (\cos \theta_H + C) \quad \text{or} \quad I_{DN} = \frac{I_{th}}{(\cos \theta_H + C)} \quad \text{-----(2.4)}$$

แทนค่าลงในสมการ 3.1, 3.2 และ 3.3 จะได้ว่า

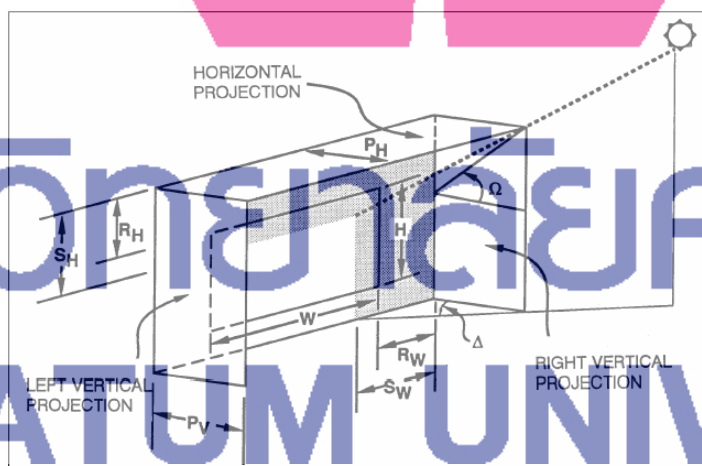
$$I_D = \frac{\cos \theta}{(\cos \theta_H + C)} I_{th} \quad \text{สำหรับ} \quad \cos \theta > 0 \quad \text{-----(2.5)}$$

$$I_d = \frac{1}{(\cos \theta_H + C)} \left(CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) I_{th} \quad \text{-----(2.6)}$$

$$I_t = \left(\frac{1}{(\cos \theta_H + C)} \left(\cos \theta + CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \right) I_{th} \quad \text{-----(2.7)}$$

2.1.2 สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient)

อุปกรณ์บังแดดหรือขอบหน้าต่างกระจกที่อยู่ภายนอกอาคาร ทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ มีหน้าที่ลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยทำให้เกิดเงาบนกระจก ซึ่งจะช่วยลดพื้นที่รับแสงของกระจกลง อาศัยหลักการทางเรขาคณิตสามารถคำนวณพื้นที่รับแสงได้ดังนี้



ภาพประกอบ 2.2: มุมภาพเงาและระยะต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดด

มุมภาพเงา (Profile Angle) คือมุมที่แนวของแสงที่ส่องผ่านอุปกรณ์บังแดดถึงกระจกกระทำกับกับแนวระดับ หาได้จากสมการ

$$\tan \Omega = \frac{\tan \beta}{\cos \gamma}$$

ความกว้างของเงาและความสูงของเงา หาได้จากสมการ

$$S_w = P_v |\tan \gamma|$$

$$S_H = P_H \tan \Omega$$

ดังนั้นจะได้ว่าพื้นที่รับแสงของกระจกและสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกคือ

$$A_{SL} = (W - (S_w - R_w)) \times (H - (S_H - R_H))$$

$$SC = \frac{A_{SL}}{W \times H}$$

เมื่อมุม γ อยู่ระหว่าง $90 - 270$ องศา เงาของอุปกรณ์บังแดดจะบังกระจกทั้งหมด ทำให้กระจกไม่มีพื้นที่ที่ได้รับแสง

สัมประสิทธิ์การบังแดดจะมีผลต่อรังสีตรงเท่านั้น ดังนั้นจากสมการที่ 1 ถ้ากระจกมีอุปกรณ์บังแดดจะได้ค่าความร้อนจากรังสีตรงคือ

$$I_D = \frac{\cos \theta}{(\cos \theta_H + C)} I_{th} \times SC \quad \text{สำหรับ } \cos \theta > 0 \quad \text{---(2.8)}$$

ดังนั้นค่าความร้อนรวมจากการแผ่รังสีคือ

$$I_r = \left(\frac{1}{(\cos \theta_H + C)} \left(\cos \theta \times SC + CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \right) I_{th} \quad \text{---(2.9)}$$

2.2 ทฤษฎีการรับรังสีที่วิจัย

2.2.1 ความร้อนภายนอกผ่านผนังทึบ (หลังคา หรือพื้น)

ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านผนังจะมาจาก 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. การแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (Solar Irradiance) เป็นความร้อนที่ผนังได้รับโดยตรงจากแสงอาทิตย์ โดยกระบวนการแผ่รังสีความร้อน ค่าความร้อนนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับความร้อนของผนัง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{tw-o,j,\theta} = \alpha_j I_{t,j,\theta} \quad \text{---(2.10)}$$

2. การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อม (Environmental Radiation) เป็นความร้อนที่ได้รับ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของ โดยกระบวนการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจะมาจาก 3 ส่วนหลักด้วยกัน คือ ท้องฟ้า พื้นดิน และบริเวณรอบข้าง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

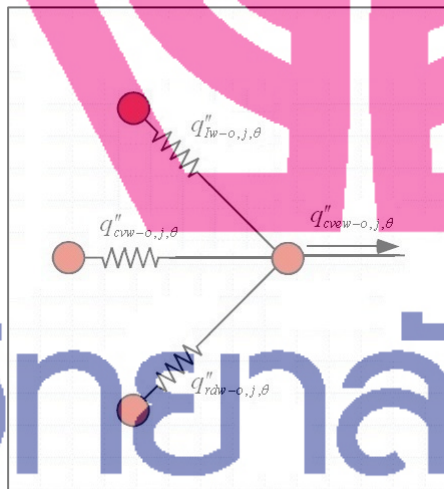
$$q''_{rdw-o,j,\theta} = \sigma F_g (t_g^4 - t_{w-os,j,\theta}^4) + \sigma F_{sky} (t_{sky}^4 - t_{w-os,j,\theta}^4) + \sigma F_{air} (t_{o,\theta}^4 - t_{w-os,j,\theta}^4) \quad (2.11)$$

3. การพาความร้อนจากภายนอก (External Convection) เป็นความร้อนที่ได้รับ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของผนัง โดยกระบวนการพาความร้อน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{cvw-o,j,\theta} = h_{co} (t_{o,\theta} - t_{w-os,j,\theta}) \quad (2.12)$$

ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านผนังทั้งหมด จะถูกแปลงให้เป็นความร้อนจากการพาเทียบเท่า เพื่อผ่านผนัง เข้าสู่ปริมาตรควบคุมคือ บริเวณอากาศภายในพื้นที่ ดังสมการ

$$q''_{cvew-o,j,\theta} = h_o (t_{ew,j,\theta} - t_{w-os,j,\theta}) \quad (2.13)$$



ภาพประกอบ 2.3: ความร้อนจากภายนอกผ่านผนัง

จากรูปที่ 2.3 ใช้สมการสมดุลความร้อน จะได้ว่า

$$q''_{tw-o,j,\theta} + q''_{cvw-o,j,\theta} + q''_{rdw-o,j,\theta} = q''_{cvew-o,j,\theta} \quad (2.14)$$

แทนค่าสมการที่ 2.10 ถึง 2.13 ลงในสมการที่ 2.14 จะได้

$$t_{ew,j,\theta} = t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j I_{t,j,\theta}}{h_o} + \frac{\sigma F_g (t_g^4 - t_{o,\theta}^4) + \sigma F_{sky} (t_{sky}^4 - t_{o,\theta}^4)}{h_o} \quad (2.15)$$

รูปแบบจำลองที่ใช้หาค่าการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อมมีหลายรูปแบบ มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมมุติฐานที่ใช้ จึงควรเลือกใช้รูปแบบที่เป็นมาตรฐานและมีความสอดคล้องกับงานวิจัย จากการศึกษาพบว่ารูปแบบจำลองที่เหมาะสมกับการทำวิจัยนี้ คือรูปแบบจำลองของ ASHRAE ซึ่งจะมีค่าคงที่บางค่าในการคำนวณดังนี้

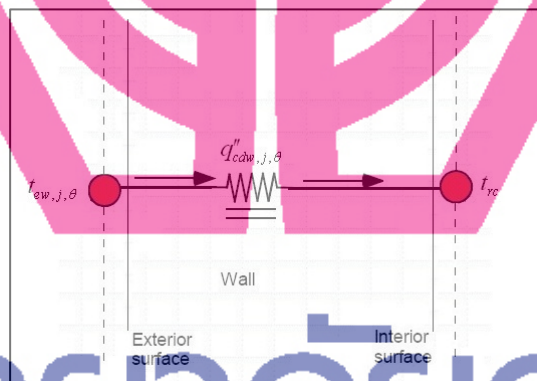
สำหรับความร้อนที่ผ่านเข้ามาในแนวระดับ
$$\frac{\sigma F_g (t_g^4 - t_{o,\theta}^4) + \sigma F_{sky} (t_{sky}^4 - t_{o,\theta}^4)}{h_o} = -4$$

สำหรับความร้อนที่ผ่านเข้ามาในแนวตั้ง
$$\frac{\sigma F_g (t_g^4 - t_{o,\theta}^4) + \sigma F_{sky} (t_{sky}^4 - t_{o,\theta}^4)}{h_o} = 0$$

แทนค่าลงในสมการ 3.15 โดยใช้ค่ามุม Σ เพื่อแสดงทิศทาง โดยที่ $\Sigma = 0^\circ$ ในแนวระดับ และ $\Sigma = 90^\circ$ ในแนวตั้ง ดังนั้นจะได้สมการคือ

$$t_{ew,j,\theta} = t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} I_{t,j,\theta} - 4 \cos \Sigma \quad (2.16)$$

2.2.2 การนำความร้อนผ่านผนังทึบ (หลังคา หรือพื้น) (Conduction through Wall, Roof or Floor)



ภาพประกอบ 2.4: การนำความร้อนผ่านผนัง

การนำความร้อนผ่านผนังจะใช้วิธีตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วง โดยกำหนด ปริมาตรควบคุมใหม่ที่พื้นผิวของผนังรวมถึงชั้นของฟิล์มอากาศที่ผิวด้วย จากสมการการนำความร้อน

$$q''_{cdw,j,\theta} = \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (t_{ew,j,\theta-p\delta} - t_{rc})$$

แทนค่า $t_{ew,j,\theta}$ จากสมการที่ 2.16 จะได้

$$q''_{cdw,j,\theta} = \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (t_{o,\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} I_{t,j,\theta-p} - 4 \cos \Sigma - t_{rc})$$

สำหรับ $t_{o,\theta-p} = t_{o,\theta} + \Delta t_{\theta-p}$ และ $I_{t,j,\theta-p} = I_{t,j,\theta} + \Delta I_{t,j,\theta-p}$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} q''_{cdw,j,\theta} &= \left(\sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} \right) t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} \left(\sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} \right) I_{t,j,\theta} \\ &+ \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} \Delta I_{t,j,\theta-p}) - \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \\ q''_{cdw,j,\theta} &= U_{w,j} t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} I_{t,j,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} \Delta I_{t,j,\theta-p}) \\ &- U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.2.3 ความร้อนผ่านกระจก

ความร้อนที่ผ่านกระจกจะมีลักษณะคล้ายกับความร้อนจากภายนอกผ่านผนัง หลังคา หรือ พื้น แบบทึบ คือมาจาก 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (Solar Irradiance) เป็นความร้อนที่กระจกได้รับโดยตรงจากแสงอาทิตย์ โดยกระบวนการแผ่รังสีความร้อน ความร้อนนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ ความร้อนที่ดูดซับโดยกระจก (Glass Absorb Heat Gain) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดซับความร้อนของกระจก และจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือการดูดซับจากรังสีตรง และการดูดซับจากรังสีกระจาย ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{la-o,j,\theta} = I_{D,j,\theta} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \quad (2.18)$$

ส่วนที่สองคือ ความร้อนที่ส่งผ่านกระจก (Glass Transmitted Heat Gain) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2. การแผ่รังสีความร้อนของสิ่งแวดล้อม (Environmental Radiation) เป็นความร้อนที่กระจกได้รับเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของกระจก โดยกระบวนการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจะมาจาก 3 ส่วนหลักด้วยกัน คือ ท้องฟ้า พื้นดิน และบริเวณรอบข้าง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} q''_{rda-o,j,\theta} &= \sigma F_g (t_g^4 - t_{osa,j\theta}^4) + \sigma F_{sky} (t_{sky}^4 - t_{osa,j\theta}^4) \\ &+ \sigma (t_{o,\theta}^4 - t_{osa,j\theta}^4) \end{aligned} \quad (2.19)$$

3. การพาความร้อนจากภายนอก (External Convection) เป็นความร้อนที่กระจกได้รับ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอกของกระจก โดยกระบวนการพาความร้อน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{cva-o,j,\theta} = h_{co} (t_{o,\theta} - t_{osa,j,\theta}) \quad \text{_____ (2.20)}$$

ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านกระจกทั้งหมด จะถูกแปลงให้เป็นความร้อนจากการพาเทียบเท่า ดังสมการ

$$q''_{cveg-o,j,\theta} = h_o (t_{eg,j,\theta} - t_{g-os,j,\theta}) \quad \text{_____ (2.21)}$$

จากสมการสมดุลความร้อนจะได้ว่า

$$q''_{la-o,j,\theta} + q''_{cva-o,j,\theta} + q''_{rda-o,j,\theta} = q''_{cveg-o,j,\theta} \quad \text{_____ (2.22)}$$

แทนค่าสมการที่ 3.18 ถึง 3.21 ลงในสมการที่ 3.22 จะได้

$$t_{eg,j,\theta} = t_{o,\theta} + \frac{1}{h_o} \left(I_{D,j,\theta} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) - 4 \cos \Sigma \quad \text{_____ (2.23)}$$

2.2.4 การนำความร้อนผ่านกระจก (Conduction through Glass)

การนำความร้อนผ่านกระจกจะใช้วิธี ตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วง เช่นเดียวกับผนัง โดยกำหนดปริมาตรควบคุมใหม่ที่พื้นผิวของกระจก รวมถึงชั้นของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้วย จากสมการการนำความร้อน

$$q''_{cdg,j,\theta} = \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} (t_{eg,j,\theta-p\delta} - t_{rc})$$

แทนค่า $t_{eg,j,\theta}$ จากสมการที่ 3.23 จะได้

$$q''_{cdg,j,\theta} = \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} \left(t_{o,\theta-p\delta} + \frac{1}{h_o} \left(I_{D,j,\theta-p\delta} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta-p\delta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) - 4 \cos \Sigma - t_{rc} \right)$$

สำหรับ $t_{o,\theta-p} = t_{o,\theta} + \Delta t_{\theta-p}$ $I_{D,\theta-p} = I_{D,\theta} + \Delta I_{D,\theta-p}$

และ $I_{d,\theta-p} = I_{d,\theta} + \Delta I_{d,\theta-p}$

จะได้ว่า

$$q''_{cdg,j,\theta} = U_{g,j} t_{o,\theta} + \frac{1}{h_o} U_{g,j} \left(I_{D,j,\theta} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) + \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} \left(\Delta I_{D,j,\theta-p} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta-p} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) \right) - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \quad (2.24)$$

2.2.5 การส่งผ่านความร้อนของกระจก (Transmission through Glass)

การแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของกระจก และจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือการส่งผ่านจากรังสีตรง และการส่งผ่านจากรังสีกระจาย ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q''_{h,j,\theta} = I_{D,j,\theta} \sum_{k=0}^5 t_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{t_k}{k+2} \right) \quad (2.25)$$

2.2.6 ความร้อนจากภายใน (Internal Heat Gain)

ความร้อนจากภายใน คือ ความร้อนที่เกิดจากสิ่งที่อยู่ในปริมาตรควบคุม สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

1. ความร้อนแฝงจากคน (Latent Heat Gain from Human)

ความร้อนส่วนนี้เกิดจากความชื้นที่ออกมาจากผู้อาศัย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนคนและกิจกรรมของผู้อาศัย แสดงดังสมการ

$$Q_{Int,hl,\theta} = N_{h,\theta} K_{lat} \quad (2.26)$$

2. ความร้อนสัมผัสจากคน (Sensible Heat Gain from Human)

ความร้อนส่วนนี้เกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิร่างกายของผู้อาศัย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมของผู้อาศัย แสดงดังสมการ

$$Q_{Int,hs,\theta} = N_{h,\theta} K_{sen} \quad (2.27)$$

3. ความร้อนจากการส่องสว่าง (Heat Gain from Lighting)

ความร้อนส่วนนี้เกิดจากการสูญเสียพลังงานความร้อนจากหลอดไฟส่องสว่าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดไฟ

$$Q_{Int,l,\theta} = N_{l,\theta} W_{l-loss} \quad (2.28)$$

4. ความร้อนจากอุปกรณ์ (Heat Gain from Equipment)

ความร้อนส่วนนี้เกิดจากการสูญเสียพลังงานความร้อนจากอุปกรณ์ที่อยู่ในปริมาณควบคุม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์

$$Q_{Int,e,\theta} = N_{e,\theta} W_{e-loss} \quad \text{_____ (2.29)}$$

2.2.7 ความร้อนจากการระบายอากาศ (Ventilation Heat Gain)

การระบายอากาศมีความจำเป็นต่อการปรับอากาศในบริเวณที่มีผู้อาศัย เพื่อรักษาคุณภาพของอากาศภายในบริเวณนั้นให้เป็นไปตามมาตรฐาน และเพื่อความสบายของผู้อาศัย ความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศจะมาจากสองส่วนด้วยกันคือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิห้องกับอากาศภายนอก และความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นภายในห้องกับอัตราส่วนความชื้นภายนอกสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$Q_{vent,\theta} = \rho \dot{Q}_\theta c_p (t_{o,\theta} - t_{rc}) + \rho \dot{Q}_\theta h_{fg} (w_{o,\theta} - w_{rc}) \quad \text{_____ (3.30)}$$

2.2.8 ความร้อนที่เข้าสู่ปริมาณควบคุม

ความร้อนทั้งหมดที่จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

1. ความร้อนที่มีทั้งการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ปริมาณควบคุม ได้แก่

- การนำความร้อนผ่านผนัง หลังคา หรือพื้นแบบทึบ (สมการที่ 2.17)
- การนำความร้อนผ่านกระจก (สมการที่ 2.24)
- ความร้อนสัมผัสจากคน (สมการที่ 2.27)
- ความร้อนจากการส่องสว่าง (สมการที่ 2.28)
- ความร้อนจากอุปกรณ์ (สมการที่ 2.29)

2. ความร้อนที่มีเฉพาะการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ปริมาณควบคุม ได้แก่

- การส่งผ่านความร้อนของกระจก (สมการที่ 2.25)

3. ความร้อนที่เปลี่ยนเป็นภาระการทำความเย็นในปริมาณควบคุมโดยตรง ได้แก่

- ความร้อนแฝงจากคน (สมการที่ 2.26)
- ความร้อนจากการระบายอากาศ (สมการที่ 2.30)

กลุ่มที่ 1 ความร้อนทั้งหมดในกลุ่มนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนแรก เป็นการพาความร้อนขึ้นต้นที่เข้าสู่ปริมาตรควบคุม คือ

$$Q_{CV,\theta} = f_{cp} \sum_{j=1}^6 \left[A_{w,j} \left(U_{w,j} t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} I_{t,j,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} \Delta I_{t,j,\theta-p} \right) \right. \right. \\ \left. \left. - U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) + A_{g,j} \left(U_{g,j} t_{o,\theta} + \frac{1}{h_o} U_{g,j} \left(I_{D,j,\theta} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} \left(\Delta I_{D,j,\theta-p} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta-p} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) \right) \right) \right. \\ \left. \left. - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) \right] + f_{ch} N_{h,\theta} K_{sen} + f_{cl} N_{l,\theta} W_{l-loss} + f_{ce} N_{e,\theta} W_{e-loss}$$

แปลงค่า $I_{t,j,\theta}$, $I_{D,j,\theta}$ และ $I_{d,j,\theta}$ ให้อยู่ในรูป $I_{th,\theta}$ โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ 2.5 ถึง 2.7 จะได้สมการคือ

$$Q_{CV,\theta} = f_{cp} \sum_{j=1}^6 \left(A_{w,j} \left(U_{w,j} t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} K_{w,j,\theta} I_{th,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} K_{w,j,\theta} \Delta I_{th,\theta-p} \right) \right. \right. \\ \left. \left. - U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) + A_{g,j} \left(U_{g,j} t_{o,\theta} + \frac{1}{h_o} U_{g,j} K_{a,j,\theta} I_{th,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} K_{a,j,\theta} I_{th,\theta} \right) \right) \right. \\ \left. \left. - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) \right) + f_{ch} N_{h,\theta} K_{sen} + f_{cl} N_{l,\theta} W_{l-loss} + f_{ce} N_{e,\theta} W_{e-loss}$$

$$\text{เมื่อ } K_{w,j,\theta} = \left(\frac{1}{(\cos \theta_H + C)} \left(\cos \theta + CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \right)$$

$$K_{a,j,\theta} = \frac{\cos \theta}{(\cos \theta_H + C)} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + \frac{2}{(\cos \theta_H + C)}$$

$$\times \left(CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right)$$

เขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูปผลคูณของสัมประสิทธิ์ที่กับค่าปัจจัยผันแปรได้ คือ

$$Q_{CV,\theta} = K_{CV-t,\theta} t_{o,\theta} + K_{CV-i,\theta} I_{th,\theta} + K_{CV-h,\theta} N_{h,\theta} \\ + K_{CV-l,\theta} N_{l,\theta} + K_{CV-e,\theta} N_{e,\theta} + Q_{CV-c,\theta} \quad (2.31)$$

เมื่อ

$$K_{CV-t,\theta} = f_{cp} \sum_{j=1}^6 (A_{w,j} U_{w,j} + A_{g,j} U_{g,j})$$

$$K_{CV-i,\theta} = f_{cp} \sum_{j=1}^6 \left(A_{w,j} \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} K_{w,j,\theta} + A_{g,j} \frac{1}{h_o} U_{g,j} K_{a,j,\theta} \right)$$

$$K_{CV-h,\theta} = f_{ch} K_{sen}$$

$$K_{CV-l,\theta} = f_{cl} W_{l-loss}$$

$$K_{CV-e,\theta} = f_{ce} W_{e-loss}$$

$$Q_{CV-c,\theta} = f_{cp} \sum_{j=1}^6 \left(A_{w,j} \left(\sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} K_{w,j,\theta-p} \Delta I_{th,\theta-p}) - U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) \right. \\ \left. + A_{g,j} \left(\sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} K_{a,j,\theta-p} \Delta I_{th,\theta-p}) - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) \right)$$

ส่วนที่สอง เป็นการแผ่รังสีความร้อนทั้งหมดเข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน คือ ผนัง หลังคา และพื้นในปริมาตรควบคุม คือ

$$Q_{CV,\theta} = f_{rp} \sum_{j=1}^6 \left[A_{w,j} \left(U_{w,j} t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} I_{t,j,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} \Delta I_{t,j,\theta-p}) \right) \right. \\ \left. - U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) + A_{g,j} \left(U_{g,j} t_{o,\theta} + \frac{1}{h_o} U_{g,j} \left(I_{D,j,\theta} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) \right. \\ \left. + \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} \left(\Delta I_{D,j,\theta-p} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + 2I_{d,j,\theta-p} \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right) \right) \right) \right) \right. \\ \left. - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) \left. \right] + f_{rh} N_{h,\theta} K_{sen} + f_{rl} N_{l,\theta} W_{l-loss} + f_{re} N_{e,\theta} W_{e-loss}$$

แปลงค่า $I_{t,j,\theta}$, $I_{D,j,\theta}$ และ $I_{d,j,\theta}$ ให้อยู่ในรูป $I_{th,\theta}$ โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ 2.5 ถึง 2.7 จะได้สมการคือ

$$Q_{RD,\theta} = f_{rp} \sum_{j=1}^6 \left(A_{w,j} \left(U_{w,j} t_{o,\theta} + \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} K_{w,j,\theta} I_{th,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} K_{w,j,\theta} \Delta I_{th,\theta-p}) \right) \right. \\ \left. - U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) + A_{g,j} \left(U_{g,j} t_{o,\theta} + \frac{1}{h_o} U_{g,j} K_{a,j,\theta} I_{th,\theta} + \sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} \left(\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} K_{a,j,\theta} \Delta I_{th,\theta-p} \right) \right. \\ \left. - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) + f_{rh} N_{h,\theta} K_{sen} + f_{rl} N_{l,\theta} W_{l-loss} + f_{re} N_{e,\theta} W_{e-loss}$$

เขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูปผลคูณของสัมประสิทธิ์กับค่าปัจจัยผันแปรได้ คือ

$$Q_{RD,\theta} = K_{RD-t,\theta} t_{o,\theta} + K_{RD-i,\theta} I_{th,\theta} + K_{RD-h,\theta} N_{h,\theta} \\ + K_{RD-l,\theta} N_{l,\theta} + K_{RD-e,\theta} N_{e,\theta} + Q_{RD-c,\theta} \quad (2.32)$$

เมื่อ

$$K_{RD-t,\theta} = f_{rp} \sum_{j=1}^6 (A_{w,j} U_{w,j} + A_{g,j} U_{g,j}) = \frac{f_{rp}}{f_{cp}} K_{CV-t,\theta}$$

$$K_{RD-i,\theta} = f_{rp} \sum_{j=1}^6 \left(A_{w,j} \frac{\alpha_j}{h_o} U_{w,j} K_{w,j,\theta} + A_{g,j} \frac{1}{h_o} U_{g,j} K_{a,j,\theta} \right) = \frac{f_{rp}}{f_{cp}} K_{CV-i,\theta}$$

$$K_{RD-h,\theta} = f_{rh} K_{sen} = \frac{f_{rh}}{f_{ch}} K_{CV-h,\theta}$$

$$K_{RD-l,\theta} = f_{rl} W_{l-loss} = \frac{f_{rl}}{f_{cl}} K_{CV-l,\theta}$$

$$K_{RD-e,\theta} = f_{re} W_{e-loss} = \frac{f_{rp}}{f_{cp}} K_{CV-t,\theta}$$

$$K_{RD-c,\theta} = f_{rp} \sum_{j=1}^6 \left(A_{w,j} \left(\sum_{p=0}^{23} Y_{w,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{\alpha_j}{h_o} K_{w,j,\theta-p} \Delta I_{th,\theta-p}) - U_{w,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) + A_{g,j} \left(\sum_{p=0}^{23} Y_{g,p,j} (\Delta t_{\theta-p} + \frac{1}{h_o} K_{a,j,\theta-p} \Delta I_{th,\theta-p}) - U_{g,j} (4 \cos \Sigma + t_{rc}) \right) \right) = \frac{f_{rp}}{f_{cp}} K_{CV-c,\theta}$$

ความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่แหล่งเก็บความร้อน คือ ผนัง หลังคา และพื้นในปริมาตรควบคุม จะค่อยๆ ถูกปล่อยออกมา แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในปริมาตรควบคุม โดยกระบวนการพาความร้อนชั้นที่สอง โดยใช้วิธีตัวประกอบเวลาการแผ่รังสี จะได้สมการคือ

$$Q_{CV-RD,\theta} = r_0 Q_{RD,\theta} + r_1 Q_{RD,\theta-1} + r_2 Q_{RD,\theta-2} + \dots + r_{23} Q_{RD,\theta-23}$$

$$Q_{CV-RD,\theta} = r_0 (K_{RD-t,\theta} t_{o,\theta} + K_{RD-i,\theta} I_{th,\theta} + K_{RD-h,\theta} N_{h,\theta} + K_{RD-l,\theta} N_{l,\theta} + K_{RD-e,\theta} N_{e,\theta} + Q_{RD-c,\theta}) + r_1 (K_{RD-t,\theta-1} t_{o,\theta-1} + K_{RD-i,\theta-1} I_{th,\theta-1} + K_{RD-h,\theta-1} N_{h,\theta-1} + K_{RD-l,\theta-1} N_{l,\theta-1} + K_{RD-e,\theta-1} N_{e,\theta-1} + Q_{RD-c,\theta-1}) + r_2 (K_{RD-t,\theta-2} t_{o,\theta-2} + K_{RD-i,\theta-2} I_{th,\theta-2} + K_{RD-h,\theta-2} N_{h,\theta-2} + K_{RD-l,\theta-2} N_{l,\theta-2} + K_{RD-e,\theta-2} N_{e,\theta-2} + Q_{RD-c,\theta-2}) + \dots + r_{23} (K_{RD-t,\theta-23} t_{o,\theta-23} + K_{RD-i,\theta-23} I_{th,\theta-23} + K_{RD-h,\theta-23} N_{h,\theta-23} + K_{RD-l,\theta-23} N_{l,\theta-23} + K_{RD-e,\theta-23} N_{e,\theta-23} + Q_{RD-c,\theta-23})$$

ถ้าห้

$$t_{o,\theta-p} = t_{o,\theta} + \Delta t_{\theta-p}$$

$$I_{th,\theta-p} = I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-p}$$

$$N_{h,\theta-p} = N_{h,\theta} + \Delta N_{h,\theta-p}$$

$$N_{l,\theta-p} = N_{l,\theta} + \Delta N_{l,\theta-p}$$

$$N_{e,\theta-p} = N_{e,\theta} + \Delta N_{e,\theta-p}$$

จะได้

$$\begin{aligned}
Q_{CV-RD,\theta} &= r_0(K_{RD-t,\theta}t_{o,\theta} + K_{RD-i,\theta}I_{th,\theta} + K_{RD-c,\theta} + K_{RD-h,\theta}N_{h,\theta} \\
&\quad + K_{RD-l,\theta}N_{l,\theta} + K_{RD-e,\theta}N_{e,\theta}) \\
&\quad + r_1(K_{RD-t,\theta-1}(t_{o,\theta} + \Delta t_{\theta-1}) + K_{RD-i,\theta-1}(I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-1}) + K_{RD-h,\theta}(N_{h,\theta} + \Delta N_{h,\theta-1}) \\
&\quad + K_{RD-l,\theta}(N_{l,\theta} + \Delta N_{l,\theta-1}) + K_{RD-e,\theta}(N_{e,\theta} + \Delta N_{e,\theta-1}) + Q_{RD-c,\theta-1}) \\
&\quad + r_2(K_{RD-t,\theta-2}(t_{o,\theta} + \Delta t_{\theta-2}) + K_{RD-i,\theta-2}(I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-2}) + K_{RD-h,\theta-2}(N_{h,\theta} + \Delta N_{h,\theta-2}) \\
&\quad + K_{RD-l,\theta-2}(N_{l,\theta} + \Delta N_{l,\theta-2}) + K_{RD-e,\theta-2}(N_{e,\theta} + \Delta N_{e,\theta-2}) + Q_{RD-c,\theta-2}) + \dots \\
&\quad + r_{23}(K_{RD-t,\theta-23}(t_{o,\theta} + \Delta t_{\theta-23}) + K_{RD-i,\theta-23}(I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-23}) + K_{RD-h,\theta-23}(N_{h,\theta} + \Delta N_{h,\theta-23}) \\
&\quad + K_{RD-l,\theta-23}(N_{l,\theta} + \Delta N_{l,\theta-23}) + K_{RD-e,\theta-23}(N_{e,\theta} + \Delta N_{e,\theta-23}) + Q_{RD-c,\theta-23})
\end{aligned}$$

เขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูปผลคูณของสัมประสิทธิ์กับค่าปัจจัยผันแปรได้ คือ

$$\begin{aligned}
Q_{CV-RD,\theta} &= K_{CR-t,\theta}t_{o,\theta} + K_{CR-i,\theta}I_{th,\theta} + K_{CR-h,\theta}N_{h,\theta} \\
&\quad + K_{CR-l,\theta}N_{l,\theta} + K_{CR-e,\theta}N_{e,\theta} + Q_{CR-c,\theta} \quad \text{-----(2.33)}
\end{aligned}$$

เมื่อ

$$K_{CR-t,\theta} = r_0K_{RD-t,\theta} + r_1K_{RD-t,\theta-1} + r_2K_{RD-t,\theta-2} + \dots + r_{23}K_{RD-t,\theta-23}$$

$$K_{CR-i,\theta} = r_0K_{RD-i,\theta} + r_1K_{RD-i,\theta-1} + r_2K_{RD-i,\theta-2} + \dots + r_{23}K_{RD-i,\theta-23}$$

$$K_{CR-h,\theta} = K_{RD-h,\theta}$$

$$K_{CR-l,\theta} = K_{RD-l,\theta}$$

$$K_{CR-e,\theta} = K_{RD-e,\theta}$$

$$\begin{aligned}
Q_{CR-c,\theta} &= (r_1K_{RD-t,\theta-1}\Delta t_{\theta-1} + r_2K_{RD-t,\theta-2}\Delta t_{\theta-2} + \dots + r_{23}K_{RD-t,\theta-23}\Delta t_{\theta-23}) \\
&\quad + (r_1K_{RD-i,\theta-1}\Delta I_{th,\theta-1} + r_1K_{RD-i,\theta-1}\Delta I_{th,\theta-2} + \dots + r_1K_{RD-i,\theta-1}\Delta I_{th,\theta-23}) \\
&\quad + (r_1K_{RD-h,\theta-1}\Delta N_{h,\theta-1} + r_2K_{RD-h,\theta-1}\Delta N_{h,\theta-2} + \dots + r_{23}K_{RD-h,\theta-1}\Delta N_{h,\theta-23}) \\
&\quad + (r_1K_{RD-l,\theta-1}\Delta N_{l,\theta-1} + r_2K_{RD-l,\theta-1}\Delta N_{l,\theta-2} + \dots + r_{23}K_{RD-l,\theta-1}\Delta N_{l,\theta-23}) \\
&\quad + (r_1K_{RD-e,\theta-1}\Delta N_{e,\theta-1} + r_2K_{RD-e,\theta-1}\Delta N_{e,\theta-2} + \dots + r_{23}K_{RD-e,\theta-1}\Delta N_{e,\theta-23}) \\
&\quad + (r_0Q_{RD-c,\theta} + r_1Q_{RD-c,\theta-1} + r_2Q_{RD-c,\theta-2} + \dots + r_{23}Q_{RD-c,\theta-23})
\end{aligned}$$

กลุ่มที่ 2 ความร้อนในกลุ่มนี้จะเป็นการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่พื้นโดยตรง ดังสมการ

$$Q_{RDT,\theta} = \sum_{j=1}^6 A_{g,j}q''_{t,j,\theta}$$

ความร้อนที่เข้าสู่พื้นจะค่อยๆ ถูกปล่อยออกมาแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในปริมาตรควบคุม โดยกระบวนการพาความร้อนชั้นที่สอง โดยใช้วิธีตัวประกอบเวลาการแผ่รังสีจะได้สมการคือ

$$Q_{CV-RDT,\theta} = r_{S0}Q_{RDT,\theta} + r_{S1}Q_{RDT,\theta-1} + r_{S21}Q_{RDT,\theta-2} + \dots + r_{S23}Q_{RDT,\theta-23}$$

$$Q_{CV-RDT,\theta} = r_{S0} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta} I_{th,\theta} A_{g,j} + r_{S1} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-1} I_{th,\theta-1} A_{g,j} + r_{S12} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-2} I_{th,\theta-2} A_{g,j} \\ + \dots + r_{S23} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-23} I_{th,\theta-23} A_{g,j}$$

เมื่อ

$$K_{t,j,\theta} = \frac{\cos \theta}{(\cos \theta_H + C)} \sum_{k=0}^5 t_k \cos^k \theta + \frac{2}{(\cos \theta_H + C)} \\ \times \left(CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \sum_{k=0}^5 \left(\frac{t_k}{j+2} \right)$$

สำหรับ

$$I_{th,\theta-p} = I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-p}$$

จะได้

$$Q_{CV-RDT,\theta} = r_{S0} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta} I_{th,\theta} A_{g,j} + r_{S1} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-1} (I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-1}) A_{g,j} \\ + r_{S2} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-2} (I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-2}) A_{g,j} + \dots + r_{S23} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-23} (I_{th,\theta} + \Delta I_{th,\theta-23}) A_{g,j}$$

เขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูปผลคูณของสัมประสิทธิ์กับค่าปัจจัยผันแปรได้คือ

$$Q_{CV-RDT,\theta} = K_{CRT-i,\theta} I_{th,\theta} + Q_{CRT-c,\theta} \quad \text{-----}(2.34)$$

เมื่อ

$$K_{CRT-i,\theta} = r_{S0} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta} A_{g,j} + r_{S1} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-1} A_{g,j} + r_{S2} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-2} A_{g,j} \\ + \dots + r_{S23} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-23} A_{g,j}$$

$$Q_{CRT-c,\theta} = r_{S1} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-1} \Delta I_{th,\theta-1} A_{g,j} + r_{S2} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-2} \Delta I_{th,\theta-2} A_{g,j} \\ + \dots + r_{S23} \sum_{j=1}^6 K_{t,j,\theta-23} \Delta I_{th,\theta-23} A_{g,j}$$

กลุ่มที่ 3 ความร้อนทั้งหมดในกลุ่มนี้จะเข้าสู่ปริมาตรควบคุมโดยตรง ดังสมการ

$$Q_{Dir,\theta} = Q_{int-h-lat,\theta} + Q_{vent,\theta}$$

$$Q_{Dir,\theta} = N_{h,\theta} K_{lat} + \rho \dot{Q}_\theta c_p (t_{o,\theta} - t_i) + \rho \dot{Q}_\theta h_{fg} (w_{o,\theta} - w_i) \quad \text{-----}(2.35)$$

ค่าภาระการทำความเย็นก็คือการรวมพลังงานความร้อนจากทั้ง 3 กลุ่มรวมกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
Q_{CL,\theta} = & K_{CV-t,\theta} t_{o,\theta} + K_{CV-i,\theta} I_{th,\theta} + K_{CV-h,\theta} N_{h,\theta} + K_{CV-l,\theta} N_{l,\theta} + K_{CV-e,\theta} N_{e,\theta} + Q_{CV-c,\theta} \\
& + K_{CR-t,\theta} t_{o,\theta} + K_{CR-i,\theta} I_{th,\theta} + K_{CR-h,\theta} N_{h,\theta} + K_{CR-l,\theta} N_{l,\theta} + K_{CR-e,\theta} N_{e,\theta} + Q_{CR-c,\theta} \\
& + K_{CRT-i,\theta} I_{th,\theta} + Q_{CRT-c,\theta} + N_{h,\theta} K_{lat} + \rho \dot{Q}_\theta c_p (t_{o,\theta} - t_i) + \rho \dot{Q}_\theta h_{fg} (w_{o,\theta} - w_i)
\end{aligned}$$

เขียนสมการใหม่ให้อยู่ในรูปผลคูณของสัมประสิทธิ์กับค่าปัจจัยผันแปรได้ คือ

$$\begin{aligned}
Q_{CL,\theta} = & K_{CL-t,\theta} t_{o,\theta} + K_{CL-i,\theta} I_{th,\theta} + K_{CL-h,\theta} N_{h,\theta} + K_{CL-l,\theta} N_{l,\theta} \\
& + K_{CL-e,\theta} N_{e,\theta} + K_{CL-w,\theta} w_{o,\theta} + Q_{CL-c,\theta}
\end{aligned} \quad (2.36)$$

เมื่อ

$$K_{CL-t,\theta} = K_{CV-t,\theta} + K_{CR-t,\theta} + \rho \dot{Q}_\theta c_p$$

$$K_{CL-i,\theta} = K_{CV-i,\theta} + K_{CR-i,\theta} + K_{CRT-i,\theta}$$

$$K_{CL-h,\theta} = K_{CV-h,\theta} + K_{CR-h,\theta} + K_{lat} = K_{sen} + K_{lat}$$

$$K_{CL-l,\theta} = K_{CV-l,\theta} + K_{RD-l,\theta} = W_{l-loss}$$

$$K_{CL-e,\theta} = K_{CV-e,\theta} + K_{RD-e,\theta} = W_{e-loss}$$

$$K_{CL-w,\theta} = \rho \dot{Q}_\theta h_{fg}$$

$$Q_{CL-c,\theta} = Q_{CV-c,\theta} + Q_{CR-c,\theta} + Q_{CRT-c,\theta} - \rho \dot{Q}_\theta c_p t_{rc} - \rho \dot{Q}_\theta h_{fg} w_{rc}$$

ในกรณีที่กระจกภายนอกมีอุปกรณ์บังแดด การวิเคราะห์ปัญหาก็ยังเป็นไปในรูปแบบเดิมทุกประการ ยกเว้นค่าตัวแปรที่เปลี่ยน 3 ตัว คือ $K_{w,j,\theta}$, $K_{a,j,\theta}$ และ $K_{t,j,\theta}$ ตามสมการ

$$K_{w,j,\theta} = \left(\frac{1}{(\cos \theta_H + C)} \left(\cos \theta \times SC_{j,\theta} + CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \right)$$

$$\begin{aligned}
K_{a,j,\theta} = & \frac{\cos \theta \times SC_{j,\theta}}{(\cos \theta_H + C)} \sum_{k=0}^5 a_k \cos^k \theta + \frac{2}{(\cos \theta_H + C)} \\
& \times \left(CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \sum_{k=0}^5 \left(\frac{a_k}{j+2} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{t,j,\theta} = & \frac{\cos \theta \times SC_{j,\theta}}{(\cos \theta_H + C)} \sum_{k=0}^5 t_k \cos^k \theta + \frac{2}{(\cos \theta_H + C)} \\
& \times \left(CY + (C + \sin \beta) \rho_g \frac{1 - \cos \Sigma}{2} \right) \sum_{k=0}^5 \left(\frac{t_k}{j+2} \right)
\end{aligned}$$

2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Development of a Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads

โดย Pedersen, C.O., Fisher, D.E. และ Liesen, R.J., 1997

งานวิจัยนี้เป็นการแสดงสูตรสำเร็จของสมการสมดุลความร้อน ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ซึ่งงานวิจัยนี้จะอยู่ภายใต้โครงการ RP-875 ของ ASHRAE มีการแสดงรูปแบบจำลองที่ถูกกำหนดให้มีคุณสมบัติสอดคล้องกับสมมติฐานของวิธีสมดุลความร้อน และรูปแบบจำลองจะสามารถแสดงถึงลักษณะของอาคารได้ภายใต้เงื่อนไขคงที่ สูตรทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ของวิธีสมดุลความร้อน จะแสดงอยู่ในแต่ละขั้นตอนการอธิบายวิธีการ ผลการวิจัยพบว่า การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้สูตรสำเร็จของสมการสมดุลความร้อนในงานวิจัยนี้ จะให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากสามารถลดสมมติฐานบางข้อที่มีส่วนให้การคำนวณสูญเสียความแม่นยำลง ถึงแม้สมการจะมีความซับซ้อนในการคำนวณ แต่เทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาขึ้นมาก ทำให้สามารถรองรับการคำนวณเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. Investigation of Outside Heat Balance Models for Use in a Heat Balance Cooling Load Calculation Procedure

โดย McClellan T.M. และ Pedersen, C.O., 1997

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการสมดุลความร้อน สำหรับการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งประกอบด้วยการถ่ายเทความร้อนหลักหลายส่วนด้วยกัน ซึ่งรวมถึงการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนระหว่างพื้นผิวภายนอกของอาคาร การนำความร้อนผ่านกรอบอาคาร การแผ่รังสีความร้อนภายใน และการพาความร้อนระหว่างพื้นผิวภายในและอากาศภายใน การทำวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่พื้นผิวภายนอกของกรอบอาคาร การสมดุลความร้อนจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ มากมาย การศึกษาพบว่าส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ การแผ่รังสีคลื่นสั้นและการพาความร้อนภายนอก การแผ่รังสีความร้อนคลื่นยาวระหว่างพื้นผิวภายนอกและสิ่งแวดล้อมจะมีความสำคัญรองลงมา ความร้อนทุกส่วนประกอบในสมการสมดุลความร้อนจะกลายเป็นความร้อนจากการนำผ่านกรอบอาคารเข้าสู่ภายใน กระบวนการถ่ายเทความร้อนในสมการสมดุลความร้อนจะต้องมีการใช้รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรวมถึงรูปแบบจำลองของการแผ่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิท้องฟ้า อุณหภูมิพื้นดิน และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนภายนอก งานวิจัยมีการแสดงรูปแบบจำลองที่หลากหลาย มีการเปรียบเทียบความ

แตกต่างกันในแต่ละรูปแบบจำลอง รวมถึงแสดงกระบวนการหาค่าความไวต่อการตอบสนองของค่าภาระการทำความเย็นส่วนประกอบในแต่ละส่วน

3. An Evaluation of Inside Surface Heat Balance Models for Cooling Load Calculations

โดย Liesen, R.J. และ Pedersen, C.O., 1997

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการสมดุลความร้อนที่เป็นกระบวนการขั้นพื้นฐานซึ่งสามารถใช้สำหรับ การกำหนดปริมาณควบคุมเพื่อใช้อธิบายลักษณะทางกายภาพของอาคาร เพื่อความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้นเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของอาคาร และช่วยให้เข้าใจวิธีการได้ง่ายขึ้น กระบวนการพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนจะแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน ปริมาณควบคุมจะแบ่งตามบริเวณของอาคารคือ สมดุลความร้อนภายนอก สมดุลความร้อนภายใน สมดุลความร้อนของอากาศ และกระบวนการนำความร้อนผ่านกรอบอาคาร ทำให้สามารถใช้สมดุลความร้อนของอาคาร เพื่อแก้ไขปัญหาในวิธีพื้นฐานได้หลายแบบ การทำวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่สูตรทั่วไปของสมดุลความร้อนของพื้นผิวภายในจากการนำความร้อนผ่านกรอบอาคาร การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในโดยการแผ่รังสี และการพาความร้อนสู่อากาศภายในบริเวณปรับอากาศ รูปแบบจำลอง ของการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในโดยการแผ่รังสีได้ถูกพัฒนาหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบที่แสดงไว้ในงานในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ค่าจริงโดยกำหนดให้พลังงานความร้อนที่เปล่งออกจากพื้นผิวมีความสม่ำเสมอ การใช้ตัวประกอบภาพฉายจริงเพื่อหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการแผ่รังสี และการใช้ตัวประกอบภาพฉายโดยการใช้วิธีถ่วงดุลพื้นที่ ผลของการวิจัยเป็นการเปรียบเทียบค่าโดยตรง จากการใช้รูปแบบจำลองต่างๆ ของการแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน ของบริเวณที่ไม่มีความซับซ้อน โดยมีการแปรผันอัตราส่วนในแต่ละด้านที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบรูปแบบจำลองต่างๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของรูปแบบที่มีต่อค่าภาระการทำความเย็น และสุดท้ายจะมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อสมดุลความร้อนของพื้นผิวภายในด้วย เพื่อหาค่าความไวต่อการตอบสนองของค่าภาระการทำความเย็น

4. The Relationship between the Radiant Time Series and Transfer Function Methods for Design Cooling Load Calculations

โดย Spittler, J.D. และ Fisher D.E., 1999

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการคำนวณภาระการทำความเย็น ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของสถานะคงตัวตามรอบเวลา เทอมอดิตของค่าภาระการทำความเย็นจะไม่มีประโยชน์กับสมมติฐานดังกล่าว การคำนวณค่าทั่วไปของตัวประกอบการตอบสนอง ฟังก์ชันถ่ายเทการ

นำความร้อน (Conduction Transfer Function) และฟังก์ชันถ่ายเทของห้อง (Room Transfer Function) ในกระบวนการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ยังต้องมีเทอมซึ่งไม่จำเป็นเหล่านี้ ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ในการศึกษาจะอธิบายถึงกระบวนการในสถานะคงตัวตามรอบเวลาของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ซึ่งได้ถูกพัฒนาไปใช้ในวิธีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี มีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบค่าตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วง (Periodic Response Factors) กับค่าตัวประกอบในวิธีฟังก์ชันถ่ายเท จากการศึกษาพบว่าการใช้ตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วงจะให้การคำนวณที่คล่องตัวกว่า สามารถคำนวณได้ภายในครั้งเดียวโดยไม่ต้องมีการวนซ้ำเหมือนวิธีอื่น

5. Application of Conduction Transfer Functions and Periodic Response Factors in Cooling Load Calculation Procedures

โดย Iu, I.S. และ Fisher, D.E., 2004

งานวิจัยนี้เป็นการแสดงภาพรวมของวิธีการใช้ฟังก์ชันการถ่ายเทความร้อน และวิธีการใช้ตัวประกอบ การตอบสนองแบบช่วงเวลา ในกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ รูปแบบที่แตกต่างกันของสมการจะถูกใช้ เพื่อเปรียบเทียบและแสดงให้เห็นความแตกต่างวิธีการใช้ฟังก์ชันการถ่ายเทความร้อน จะใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีสมดุลความร้อน ส่วนวิธีการใช้ตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วงเวลา จะใช้ในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี ในการศึกษาจะอธิบายขั้นตอนการคำนวณของทั้งสองวิธี โดยทั้งหมดจะแสดงผ่านชุดโปรแกรมคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของ ASHRAE ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า วิธีการใช้ฟังก์ชันการถ่ายเทความร้อน และวิธีการใช้ตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วงเวลา มีขั้นตอนการคำนวณเหมือนกันแตกต่างกันที่เงื่อนไขขอบเขต ซึ่งวิธีการใช้ตัวประกอบการตอบสนองแบบช่วงเวลา จะขยายขอบเขตของปริมาณความคุมจากพื้นผิวมาถึงชั้นฟิล์มของอากาศซึ่งจะรวมกระบวนการพาความร้อนที่พื้นผิวเข้าไปด้วย และการแก้ปัญหาสมการของฟังก์ชันการถ่ายเทความร้อนด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน จะทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นเล็กน้อยในผลลัพธ์ที่ได้

2.4 สรุป

การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นทุกวิธี มีพื้นฐานมาจากวิธีสมมูลความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำที่สุด แต่วิธีนี้จะค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากการคำนวณมีขั้นตอนที่ซับซ้อนมากมาย และการหาผลลัพธ์จะต้องใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ จึงได้มีการพัฒนาวิธีอื่นขึ้นมา เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เช่น วิธี CLTD แต่การพัฒนาวิธีที่มีความซับซ้อนลดลงนั้น อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในผลลัพธ์การคำนวณได้ จึงได้มีการพัฒนาการวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีขึ้นมา เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นและมีขั้นตอนการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และสะดวกต่อการใช้งาน ในงานวิจัยนี้จะมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นกับวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีขึ้น วิธีสมมูลความร้อน และ วิธี CLTD ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

จากทฤษฎีพบว่าความแตกต่างของทั้งสามวิธีจะอยู่ที่ การนำความร้อนผ่านผนัง (กระจก และหลังคา) วิธีสมมูลความร้อนนั้น ความร้อนจากภายนอกทั้งหมดจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำความร้อน ซึ่งกระบวนการนำความร้อนในผนังนั้นจะมีการคิดผลของการสะสมความร้อนเข้าไปด้วย หลังจากนั้นเมื่อความร้อนทั้งหมดเข้าสู่ภายในจะมีการแผ่รังสีความร้อนไปสู่ผนังด้านอื่น ซึ่งจะต้องใช้วิธีการ Trial Error เพื่อแก้สมการหาค่าอุณหภูมิพื้นผิวภายในของผนังแต่ละด้าน หลังจากนั้น ความร้อนจะเข้าสู่ภายในระบบโดยการพาความร้อน รวมกับการแผ่รังสีความร้อนภายใน และความร้อนจากการระบายอากาศกลายเป็นค่าภาระการทำความเย็น ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ ส่วนวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีขึ้น ก็มีหลักการเดียวกับวิธีสมมูลความร้อน แต่ในขั้นตอนการแผ่รังสีความร้อนสู่ผนังด้านอื่น จะใช้วิธีเฉลี่ยค่าความร้อนให้เท่ากันทุกด้าน ไม่ต้องใช้วิธีการ Trial Error ส่วนวิธี CLTD จะลดขั้นตอนความซับซ้อนตรงนี้ลง โดยกำหนดให้ความร้อนจากภายนอกทั้งหมดที่เข้าสู่ภายใน รวมถึงการสะสมความร้อนในผนัง ตลอดจนการพาความร้อนภายใน จนกลายเป็นค่าภาระการทำความเย็น ให้อยู่ในรูปผลต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าเพียงขั้นตอนเดียว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ความร้อนที่คำนวณจากค่า CLTD จะกลายเป็นภาระการทำความเย็นโดยตรง ซึ่งเมื่อรวมกับรวมกับการแผ่รังสีความร้อนภายใน และความร้อนจากการระบายอากาศผลลัพธ์ที่ได้คือค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดของระบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีความแตกต่างจากวิธีสมมูลความร้อนนั้นมากน้อยเพียงใด จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประยุกต์ ที่มีการเปรียบเทียบทฤษฎีการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นจากวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี กับวิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน จากงานวิจัยในหัวข้อ “การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้วิธีสมดุลความร้อน กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร” โดยมีการนำข้อมูลของสภาพภูมิอากาศจริงมาใช้ในการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณ ผ่านตัวอย่างที่มีลักษณะแตกต่างกัน 2 รูปแบบคือ อาคารที่ประกอบด้วยผนังเป็นส่วนใหญ่ และอาคารที่ประกอบด้วยกระจกเป็นส่วนใหญ่ เพื่อที่จะให้เห็นความแตกต่างในการคำนวณทั้ง 2 วิธีในแต่ละกรณี

3.2 กลุ่มตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณ

ข้อมูลที่ใช้ประกอบการคำนวณมี 3 ประเภท คือ

1. ค่าอุณหภูมิภายนอก
2. ค่าอัตราส่วนความชื้นภายนอก
3. ค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีการคำนวณ

- 1.1 ศึกษารูปแบบจำลอง สมมติฐาน และข้อกำหนดต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ
- 1.2 ศึกษาการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี
- 1.3 ศึกษาความแตกต่างของพื้นฐานการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน

2. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการ

- 2.1 เก็บข้อมูลจริงของ อุณหภูมิ ความชื้น และ ค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์
- 2.2 วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อตัดข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนออก
- 2.3 จัดทำฐานข้อมูล สำหรับการใช้งานในการคำนวณ

3. เขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณผลการวิจัย

3.1 เขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณ โดยใช้วิธีวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

3.2 เขียนโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลจริงมาใช้ในการคำนวณผล

4. คำนวณผลการวิจัยโดยใช้โปรแกรม

4.1 คำนวณผลโดยใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

4.2 นำข้อมูลจริงมาใช้ในการคำนวณผล

5. วิเคราะห์ผลการคำนวณ

5.1 วิเคราะห์ผลการคำนวณ โดยใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

5.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการคำนวณ โดยใช้วิธีสมมูลความร้อนและ CLTD

5.3 วิเคราะห์ผลการคำนวณ โดยการใช้ข้อมูลจริง

6. สรุปผลและจัดทำรายงาน

3.4 เครื่องมือการวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ประมวลผล ประสิทธิภาพสูง

2. เครื่องมือวัดและเก็บค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์

3. โปรแกรมและเอกสารอ้างอิง

3.5 การรวบรวมข้อมูล

การเก็บตัวอย่างข้อมูล ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น และค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้ในการคำนวณ จะใช้ข้อมูลจริงรายชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อมูลที่วัดได้และรวบรวมจาก กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีกรุงเทพ เป็นระยะเวลา 15 ปี รวมทั้งสิ้น 394,200 ข้อมูล ของทุกรายการ

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลที่เก็บได้เป็นข้อมูลจริง ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลและการตกหล่นของข้อมูลบางส่วนอยู่บ้าง ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจึงมีความสำคัญมาก เพื่อเป็นการจัดระเบียบข้อมูลและทำให้ข้อมูลมีความเที่ยงตรงมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์การคำนวณมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละประเภทมีขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งชุดกลุ่มชุดข้อมูลในแต่ละปีออกเป็น 12 เดือน และแบ่งชุดข้อมูลในแต่ละเดือนออกเป็น 24 ชั่วโมง ดังนั้นจะได้ชุดข้อมูลทั้งหมด 12x24 ชุดข้อมูล

2. ทำการวิเคราะห์แต่ละชุดข้อมูลอิสระต่อกัน
3. คำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเบื้องต้นของข้อมูลทั้งหมด ในแต่ละชุด
4. ทำการกลั่นกรองข้อมูล โดยการกำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ยอมรับได้
5. ตัดข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่กำหนดออก
6. คำนวณค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนใหม่
7. นำค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่ได้ไปคำนวณหาค่าสูงสุดที่ 2% เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณค่าการกระทำความเย็น

ข้อมูลของอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก จะใช้ข้อมูลรายชั่วโมงจาก สถานีกรุงเทพฯ กรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2537 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2551

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนที่กล่าวมา โดยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ยอมรับได้ที่ 99.9 % สำหรับข้อมูลของอุณหภูมิภายนอก และอัตราส่วนความชื้นภายนอก และ 99% สำหรับข้อมูลค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์มีความแปรปรวนสูง หากใช้ขอบเขตความเชื่อมั่นที่สูงเกินไป จะทำให้ค่าสูงสุดที่ได้มีค่ามากกว่าค่าทางทฤษฎี ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ค่าสูงสุดที่ 2% ของแต่ละเดือน ดังตารางที่ 3.1 ถึง 3.12

ตารางที่ 3.1: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน มกราคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	29.3	0	0.0225
2:00	29.2	0	0.0225
3:00	29.0	0	0.0224
4:00	28.9	0	0.0225
5:00	28.7	0	0.0224
6:00	28.4	0	0.0222
7:00	28.4	114	0.0221
8:00	28.9	347	0.0225
9:00	30.3	583	0.0227
10:00	31.9	791	0.0226
11:00	33.1	913	0.0222
12:00	34.1	974	0.0219
13:00	34.7	932	0.0219
14:00	35.0	823	0.0221
15:00	35.1	668	0.0220
16:00	34.9	474	0.0219
17:00	34.0	271	0.0218
18:00	32.5	84	0.0214
19:00	31.2	0	0.0213
20:00	30.3	0	0.0218
21:00	30.1	0	0.0220
22:00	29.8	0	0.0222
23:00	29.7	0	0.0225
24:00	29.5	0	0.0225

ตารางที่ 3.2: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน กุมภาพันธ์

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	29.7	0	0.0238
2:00	29.7	0	0.0238
3:00	29.6	0	0.0238
4:00	29.6	0	0.0241
5:00	29.5	0	0.0237
6:00	29.4	0	0.0236
7:00	29.4	167	0.0236
8:00	30.2	414	0.0241
9:00	31.7	656	0.0241
10:00	33.0	877	0.0238
11:00	34.3	995	0.0234
12:00	34.9	1037	0.0232
13:00	35.3	980	0.0231
14:00	35.5	895	0.0232
15:00	35.6	733	0.0234
16:00	35.4	523	0.0228
17:00	34.4	295	0.0226
18:00	32.9	107	0.0226
19:00	31.3	0	0.0228
20:00	30.5	0	0.0231
21:00	30.3	0	0.0233
22:00	30.1	0	0.0236
23:00	29.9	0	0.0236
24:00	29.8	0	0.0237

ตารางที่ 3.3: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน มีนาคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	30.2	0	0.0226
2:00	30.1	0	0.0226
3:00	30.0	0	0.0226
4:00	29.9	0	0.0227
5:00	29.7	0	0.0227
6:00	29.6	0	0.0227
7:00	29.8	231	0.0230
8:00	31.1	496	0.0234
9:00	33.0	759	0.0235
10:00	34.5	946	0.0235
11:00	35.7	1099	0.0234
12:00	36.5	1165	0.0233
13:00	37.0	1123	0.0233
14:00	37.4	1014	0.0230
15:00	37.5	829	0.0228
16:00	37.2	599	0.0226
17:00	36.3	392	0.0226
18:00	34.2	183	0.0224
19:00	32.4	0	0.0225
20:00	31.6	0	0.0226
21:00	31.0	0	0.0226
22:00	30.8	0	0.0228
23:00	30.6	0	0.0228
24:00	30.5	0	0.0228

ตารางที่ 3.4: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน เมษายน

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	31.3	0	0.0236
2:00	31.1	0	0.0235
3:00	31.0	0	0.0235
4:00	30.9	0	0.0237
5:00	30.6	0	0.0236
6:00	30.5	0	0.0236
7:00	30.9	310	0.0239
8:00	32.5	582	0.0242
9:00	34.4	851	0.0241
10:00	36.0	1041	0.0238
11:00	37.1	1175	0.0238
12:00	37.9	1251	0.0240
13:00	38.4	1209	0.0240
14:00	38.7	1078	0.0237
15:00	38.7	862	0.0235
16:00	38.2	626	0.0234
17:00	37.0	382	0.0230
18:00	35.2	163	0.0230
19:00	33.5	0	0.0232
20:00	32.4	0	0.0233
21:00	32.1	0	0.0234
22:00	31.9	0	0.0235
23:00	31.6	0	0.0235
24:00	31.5	0	0.0236

ตารางที่ 3.5: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน พฤษภาคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	31.3	0	0.0236
2:00	31.1	0	0.0235
3:00	31.0	0	0.0235
4:00	30.9	0	0.0237
5:00	30.6	0	0.0236
6:00	30.5	0	0.0236
7:00	30.9	310	0.0239
8:00	32.5	582	0.0242
9:00	34.4	851	0.0241
10:00	36.0	1041	0.0238
11:00	37.1	1175	0.0238
12:00	37.9	1251	0.0240
13:00	38.4	1209	0.0240
14:00	38.7	1078	0.0237
15:00	38.7	862	0.0235
16:00	38.2	626	0.0234
17:00	37.0	382	0.0230
18:00	35.2	163	0.0230
19:00	33.5	0	0.0232
20:00	32.4	0	0.0233
21:00	32.1	0	0.0234
22:00	31.9	0	0.0235
23:00	31.6	0	0.0235
24:00	31.5	0	0.0236

ตารางที่ 3.6: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน มิถุนายน

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	30.9	0	0.0226
2:00	30.4	0	0.0223
3:00	30.1	0	0.0221
4:00	29.8	0	0.0220
5:00	29.5	0	0.0219
6:00	29.2	0	0.0217
7:00	29.7	332	0.0222
8:00	31.2	586	0.0226
9:00	32.7	799	0.0227
10:00	33.9	939	0.0226
11:00	34.7	1055	0.0225
12:00	35.5	1075	0.0224
13:00	35.9	1015	0.0226
14:00	36.2	924	0.0226
15:00	36.4	754	0.0228
16:00	36.2	540	0.0225
17:00	35.6	323	0.0227
18:00	34.4	148	0.0225
19:00	33.2	0	0.0225
20:00	32.4	0	0.0226
21:00	32.0	0	0.0228
22:00	31.8	0	0.0230
23:00	31.4	0	0.0228
24:00	31.1	0	0.0226

ตารางที่ 3.7: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน กรกฎาคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	30.5	0	0.0224
2:00	30.1	0	0.0221
3:00	29.8	0	0.0219
4:00	29.6	0	0.0218
5:00	29.2	0	0.0216
6:00	29.0	0	0.0215
7:00	29.3	288	0.0216
8:00	30.8	543	0.0219
9:00	32.4	765	0.0220
10:00	33.4	905	0.0219
11:00	34.4	1007	0.0219
12:00	35.1	1027	0.0221
13:00	35.6	1003	0.0220
14:00	36.0	915	0.0222
15:00	36.1	760	0.0223
16:00	36.1	553	0.0223
17:00	35.6	352	0.0225
18:00	34.3	179	0.0223
19:00	32.9	0	0.0223
20:00	32.0	0	0.0224
21:00	31.5	0	0.0225
22:00	31.3	0	0.0225
23:00	31.1	0	0.0226
24:00	30.8	0	0.0225

ตารางที่ 3.8: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน สิงหาคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	30.1	0	0.0217
2:00	29.7	0	0.0213
3:00	29.4	0	0.0211
4:00	29.1	0	0.0211
5:00	28.8	0	0.0210
6:00	28.6	0	0.0209
7:00	28.9	234	0.0210
8:00	30.1	447	0.0215
9:00	31.7	659	0.0215
10:00	32.8	875	0.0214
11:00	33.8	956	0.0212
12:00	34.4	1011	0.0213
13:00	34.9	980	0.0212
14:00	35.2	889	0.0214
15:00	35.5	752	0.0215
16:00	35.4	586	0.0216
17:00	34.8	363	0.0218
18:00	33.7	168	0.0217
19:00	32.5	0	0.0218
20:00	31.7	0	0.0220
21:00	31.4	0	0.0221
22:00	31.0	0	0.0220
23:00	30.7	0	0.0219
24:00	30.4	0	0.0218

ตารางที่ 3.9: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน กันยายน

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	29.9	0	0.0220
2:00	29.5	0	0.0218
3:00	29.2	0	0.0217
4:00	29.0	0	0.0216
5:00	28.7	0	0.0214
6:00	28.5	0	0.0213
7:00	28.9	278	0.0216
8:00	30.2	536	0.0220
9:00	31.8	754	0.0221
10:00	33.0	930	0.0224
11:00	33.9	979	0.0224
12:00	34.6	972	0.0225
13:00	35.0	931	0.0226
14:00	35.6	821	0.0226
15:00	35.6	650	0.0227
16:00	35.3	441	0.0227
17:00	34.4	236	0.0226
18:00	33.2	91	0.0224
19:00	32.1	0	0.0223
20:00	31.4	0	0.0223
21:00	31.1	0	0.0225
22:00	30.8	0	0.0224
23:00	30.4	0	0.0222
24:00	30.1	0	0.0221

ตารางที่ 3.10: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน ตุลาคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	29.3	0	0.0225
2:00	29.0	0	0.0224
3:00	28.8	0	0.0223
4:00	28.6	0	0.0224
5:00	28.3	0	0.0223
6:00	28.2	0	0.0223
7:00	28.4	276	0.0225
8:00	29.9	545	0.0232
9:00	32.0	769	0.0234
10:00	33.5	930	0.0233
11:00	34.4	1042	0.0230
12:00	35.0	1037	0.0229
13:00	35.5	973	0.0227
14:00	35.7	838	0.0226
15:00	35.6	620	0.0226
16:00	35.1	382	0.0226
17:00	34.0	190	0.0226
18:00	32.7	50	0.0225
19:00	31.8	0	0.0225
20:00	31.1	0	0.0225
21:00	30.7	0	0.0226
22:00	30.4	0	0.0227
23:00	30.0	0	0.0226
24:00	29.6	0	0.0225

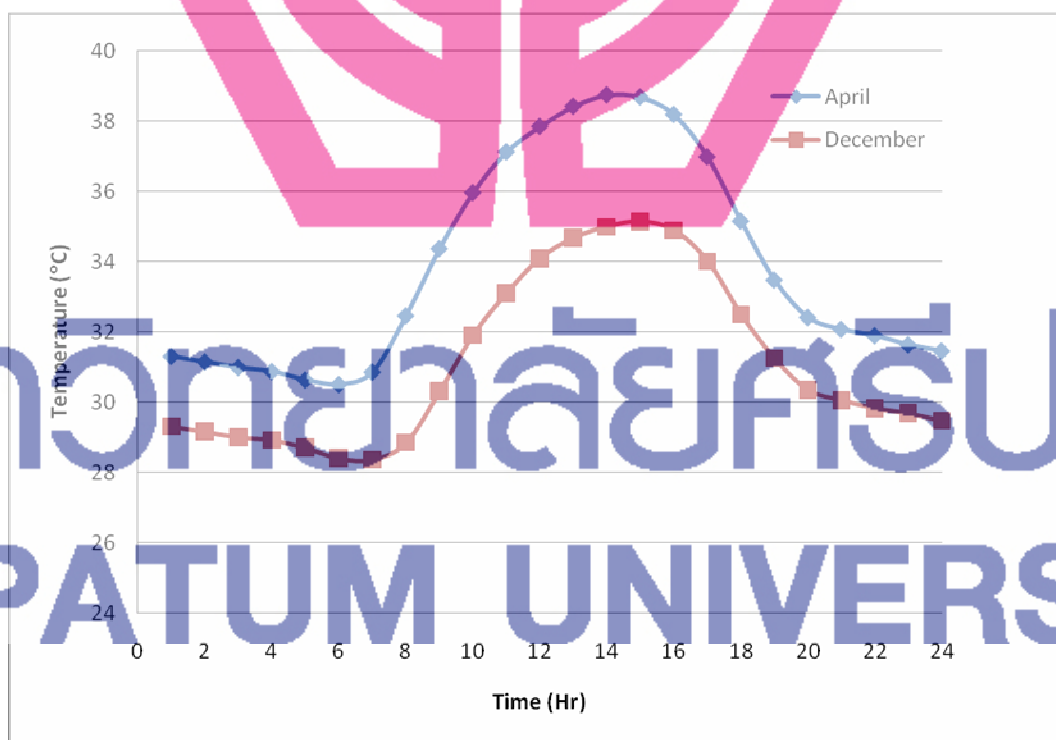
ตารางที่ 3.11: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน พฤศจิกายน

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	29.7	0	0.0218
2:00	29.4	0	0.0217
3:00	29.1	0	0.0218
4:00	28.8	0	0.0216
5:00	28.6	0	0.0216
6:00	28.4	0	0.0217
7:00	28.6	236	0.0217
8:00	30.0	507	0.0220
9:00	31.8	733	0.0221
10:00	33.4	917	0.0220
11:00	34.5	1029	0.0216
12:00	35.1	1032	0.0214
13:00	35.6	952	0.0212
14:00	35.8	837	0.0213
15:00	35.7	638	0.0213
16:00	35.3	410	0.0213
17:00	34.0	191	0.0215
18:00	32.8	34	0.0216
19:00	31.9	0	0.0216
20:00	31.4	0	0.0217
21:00	31.0	0	0.0218
22:00	30.7	0	0.0219
23:00	30.4	0	0.0219
24:00	30.1	0	0.0220

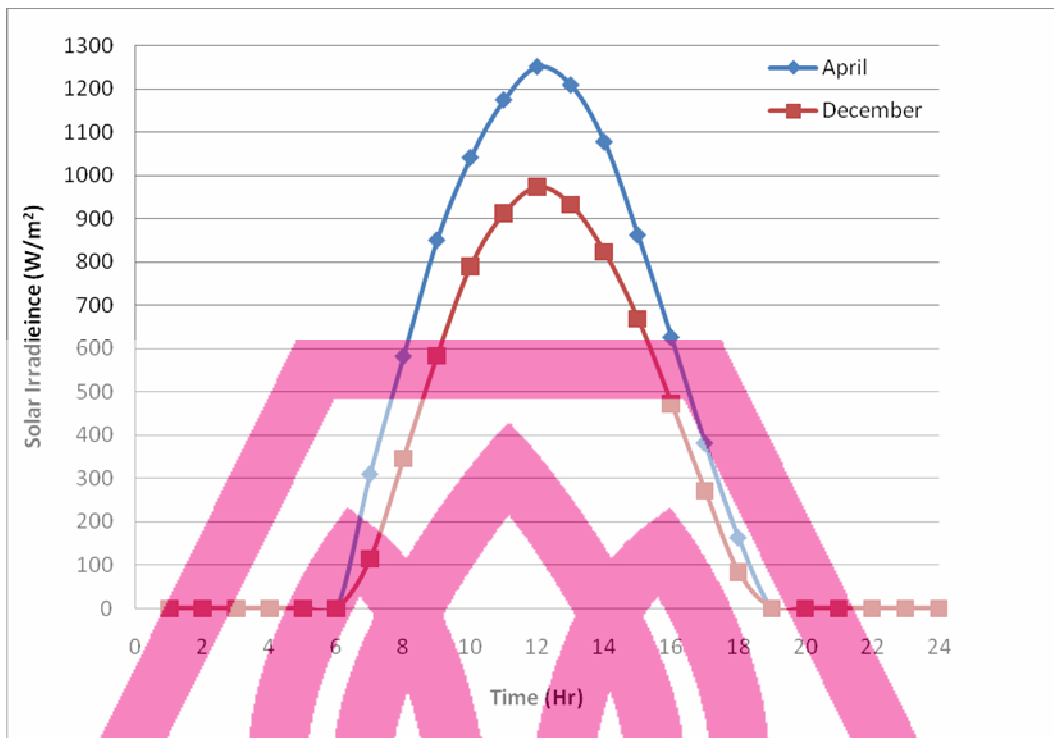
ตารางที่ 3.12: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก ในเดือน ธันวาคม

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (°C)	ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	อัตราส่วนความชื้น ภายนอก (kg _w /kg _{da})
1:00	29.9	0	0.0209
2:00	29.6	0	0.0207
3:00	29.2	0	0.0207
4:00	29.0	0	0.0206
5:00	28.7	0	0.0204
6:00	28.5	0	0.0203
7:00	28.5	170	0.0203
8:00	29.6	428	0.0206
9:00	31.3	649	0.0207
10:00	33.0	829	0.0207
11:00	34.3	935	0.0204
12:00	35.1	975	0.0201
13:00	35.5	942	0.0202
14:00	35.7	820	0.0199
15:00	35.7	652	0.0199
16:00	35.4	439	0.0199
17:00	34.3	220	0.0200
18:00	33.1	48	0.0202
19:00	32.1	0	0.0203
20:00	31.3	0	0.0205
21:00	31.0	0	0.0205
22:00	30.7	0	0.0207
23:00	30.4	0	0.0207
24:00	30.0	0	0.0207

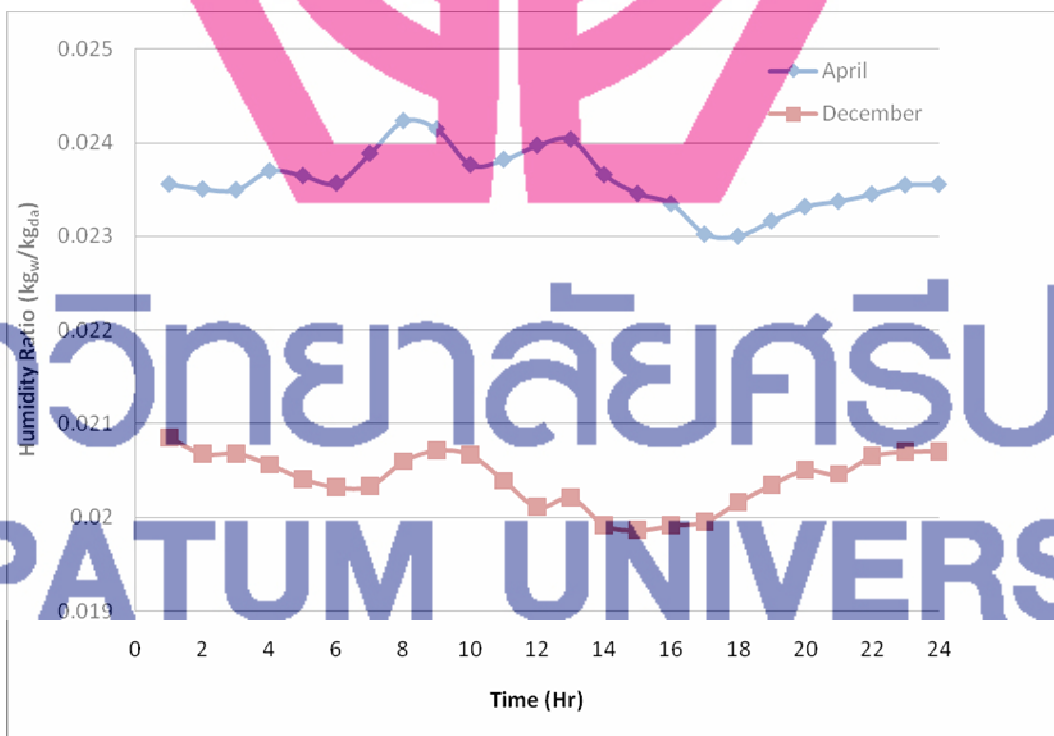
จากข้อมูลที่ได้พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก เมื่อเทียบกับเวลา จะมีลักษณะคล้ายกันในแต่ละเดือน คือ ค่าอุณหภูมิภายนอกจะมีค่าต่ำในเวลาเช้า และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ จนมีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย จากนั้นค่าอุณหภูมิภายนอกจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ ในตอนกลางคืน ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ จะเริ่มเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นในเวลาเช้า และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดเมื่อดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นที่ คือเวลา 12:20 น. จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าเป็นศูนย์เมื่อดวงอาทิตย์ตก ส่วนค่าอัตราส่วนความชื้นภายนอกจะมีลักษณะค่อนข้างคงที่ จะมีค่าสูงในตอนกลางคืนและจะลดลงเล็กน้อยในช่วงบ่ายและเย็น ข้อมูลในแต่ละเดือนถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันแต่ก็มีความแตกต่างในด้านปริมาณ โดยค่าสูงสุดของทั้งค่าอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอก จะเกิดขึ้นในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนธันวาคม ซึ่งเมื่อนำข้อมูลค่าอุณหภูมิภายนอก ค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ และอัตราส่วนความชื้นภายนอกในเดือนที่มีค่าสูงสุดและมีค่าต่ำสุดมาเขียนกราฟ จะสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 3.1 ถึง 3.3 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3.1: ค่าสูงสุดที่ 2% ของข้อมูลอุณหภูมิภายนอกเมื่อเทียบกับเวลา
ในเดือนเมษายน และเดือน ธันวาคม



ภาพประกอบ 3.2: ค่าสูงสุดที่ 2% ของค่าการแผ่รังสีความร้อนของแสงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับเวลา ในเดือนเมษายน และเดือน ธันวาคม



ภาพประกอบ 3.3: ค่าสูงสุดที่ 2% ของอัตราส่วนความชื้นภายนอก เมื่อเทียบกับเวลา ในเดือนเมษายน และเดือน ธันวาคม

ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลอุณหภูมิภายนอก ที่เวลา 9:00-10:00 น. เดือน เมษายน จำนวน 414 ข้อมูล

1. การกลั่นกรองข้อมูล

หาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก โดยการแทนค่าข้อมูลอุณหภูมิ ณ เวลาที่กำหนดจะได้

$$\mu_t = \frac{(31.8 + 31.5 + \dots + 24 + \dots + 34.6 + 33.0)}{420} = 31.99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_t^2 = \frac{(31.8 - 31.99)^2 + \dots + (24 - 31.99)^2 + \dots + (33.0 - 31.99)^2}{420} = 3.54 \text{ } ^\circ\text{C}^2$$

ทำการกลั่นกรองข้อมูลโดยกำหนดความคลาดเคลื่อนไว้ที่ความเชื่อมั่น 99.9% จะได้ขอบเขตของข้อมูลคือ 3.29σ

$$3.29\sigma = 3.29 \times \sqrt{3.54} = 6.19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

แสดงว่า ถ้าอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า $31.99 - 6.19 = 25.80 \text{ } ^\circ\text{C}$

หรือมากกว่า $31.99 + 6.19 = 38.18 \text{ } ^\circ\text{C}$

ให้ตัดข้อมูลนั้นทิ้ง ซึ่งมีจำนวน 6 ข้อมูล คือ 24.0, 25.3, 25.0, 24.5, 25.6, 24.0

จากนั้นหาค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของข้อมูลอุณหภูมิภายนอกใหม่อีกครั้งได้ดังนี้

$$\mu_t = \frac{(31.8 + 31.5 + \dots + 34.6 + 33.0)}{414} = 32.10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma_t^2 = \frac{(31.8 - 31.99)^2 + \dots + (33.0 - 31.99)^2}{414} = 2.81 \text{ } ^\circ\text{C}^2$$

2. การทดสอบแบบ ไช-สแควร์

แบ่งช่วงข้อมูลอุณหภูมิภายนอกตั้งแต่ 13.5 องศาเซลเซียสถึง 39.4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่า

ต่ำสุดและสูงสุดของข้อมูลอุณหภูมิภายนอก โดยให้มีช่วงระยะการเพิ่มของอุณหภูมิเท่ากับ 0.1 องศาเซลเซียส หากความน่าจะเป็นจากข้อมูลจริง โดยใช้อัตราส่วนความถี่ของข้อมูลจะได้

อุณหภูมิ	ความถี่ของข้อมูล	ความน่าจะเป็น
13.5	0	0
...
32	21	$\frac{21}{414} = 0.05$

อุณหภูมิ	ความถี่ของข้อมูล	ความน่าจะเป็น
...
39.4	0	0

แทนค่าค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนลงในสมการรูปแบบการกระจายของความน่าจะเป็นแบบปกติ แบบล็อก และแบบ T จากนั้น อินทิเกรตสมการเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นแบบต่างๆ

อุณหภูมิ 13.5 องศาเซลเซียส

การกระจายแบบปกติ

$$p(X) = \int_{13.45}^{13.55} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 2.81}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{X - 32.1}{2.81}\right)^2\right) dX = 4.88 \times 10^{-29}$$

การกระจายแบบล็อก

$$p(X) = \int_{13.45}^{13.55} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 0.052X}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln X - 3.46}{0.052}\right)^2\right) dX = 0$$

การกระจายแบบ T

$$p(X) = \int_{13.45}^{13.55} \frac{\Gamma(2.05)}{\Gamma(0.5)\Gamma(1.55)} \left(1 + \frac{X^2}{3.10}\right)^{-2.05} \frac{1}{\sqrt{3.10}} dX = 2.28 \times 10^{-6}$$

... ..

อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส

การกระจายแบบปกติ

$$p(X) = \int_{31.95}^{32.05} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 2.81}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{X - 32.1}{2.81}\right)^2\right) dX = 2.37 \times 10^{-2}$$

การกระจายแบบล็อก

$$p(X) = \int_{31.95}^{32.05} \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 0.052X}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln X - 3.46}{0.052}\right)^2\right) dX = 2.38 \times 10^{-2}$$

การกระจายแบบ T

$$p(X) = \int_{31.95}^{32.05} \frac{\Gamma(2.05)}{\Gamma(0.5)\Gamma(1.55)} \left(1 + \frac{X^2}{3.10}\right)^{-2.05} \frac{1}{\sqrt{3.10}} dX = 3.66 \times 10^{-2}$$

... ..

อุณหภูมิ 39.4 องศาเซลเซียส

การกระจายแบบปกติ

$$p(X) = \int_{39.35}^{39.45} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 2.81} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{X - 32.1}{2.81}\right)^2\right) dX = 1.82 \times 10^{-6}$$

การกระจายแบบล็อก

$$p(X) = \int_{39.35}^{39.45} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 0.052X} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln X - 3.46}{0.052}\right)^2\right) dX = 7.78 \times 10^{-6}$$

การกระจายแบบ T

$$p(X) = \int_{39.35}^{39.45} \frac{\Gamma(2.05)}{\Gamma(0.5)\Gamma(1.55)} \left(1 + \frac{X^2}{3.10}\right)^{-2.05} \frac{1}{\sqrt{3.10}} dX = 9.59 \times 10^{-5}$$

หาค่าการทดสอบแบบ ไช-สแควร์ของรูปแบบการกระจายต่างๆ

อุณหภูมิ 13.5 องศาเซลเซียส

การกระจายแบบปกติ $C_{fl,13.5} = \frac{(0 - 4.88 \times 10^{-29})^2}{4.88 \times 10^{-29}} = 4.88 \times 10^{-29}$

การกระจายแบบล็อก $C_{fl,13.5} = 0$

การกระจายแบบ T $C_{fl,13.5} = \frac{(0 - 2.28 \times 10^{-6})^2}{2.28 \times 10^{-6}} = 2.28 \times 10^{-6}$

...

...

...

อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส

การกระจายแบบปกติ $C_{fl,32} = \frac{(0.05 - 2.37 \times 10^{-2})^2}{2.37 \times 10^{-2}} = 0.0292$

การกระจายแบบล็อก $C_{fl,32} = \frac{(0.05 - 2.38 \times 10^{-2})^2}{2.38 \times 10^{-2}} = 0.0288$

การกระจายแบบ T $C_{fl,32} = \frac{(0.05 - 3.66 \times 10^{-2})^2}{3.66 \times 10^{-2}} = 0.0049$

...

...

...

อุณหภูมิ 39.4 องศาเซลเซียส

$$\text{การกระจายแบบปกติ} \quad C_{fn,39.4} = \frac{(0 - 1.82 \times 10^{-6})^2}{1.82 \times 10^{-6}} = 1.82 \times 10^{-6}$$

$$\text{การกระจายแบบล็อก} \quad C_{fl,39.4} = \frac{(0 - 7.78 \times 10^{-6})^2}{7.78 \times 10^{-6}} = 7.78 \times 10^{-6}$$

$$\text{การกระจายแบบ T} \quad C_{ft,39.4} = \frac{(0 - 9.59 \times 10^{-5})^2}{9.59 \times 10^{-5}} = 9.59 \times 10^{-5}$$

รวมค่าการทดสอบแบบ ไช-สแควร์ของรูปแบบการกระจายต่างๆ ทั้งหมดตั้งแต่ 13.5 องศาเซลเซียสถึง 39.4 องศาเซลเซียส

การกระจายแบบปกติ

$$C_{fn} = \sum_{i=13.5}^{39.4} C_{fn,i} = 4.88 \times 10^{-29} + \dots + 0.0292 + \dots + 1.82 \times 10^{-6} = 0.84$$

การกระจายแบบล็อก

$$C_{fl} = \sum_{i=13.5}^{39.4} C_{fl,i} = 0 + \dots + 0.0288 + \dots + 7.78 \times 10^{-6} = 0.89$$

การกระจายแบบ T

$$C_{ft} = \sum_{i=13.5}^{39.4} C_{ft,i} = 2.28 \times 10^{-6} + \dots + 0.0049 + \dots + 9.59 \times 10^{-5} = 0.90$$

จากค่าที่ได้พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน ไช-สแควร์ของการกระจายรูปแบบปกติมีค่าต่ำสุด เมื่อหาค่าเฉลี่ยทั้งปีของความคลาดเคลื่อน ไช-สแควร์ ของการกระจายรูปแบบปกติ รูปแบบล็อก และรูปแบบที่ พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.40 0.42 และ 0.73 ตามลำดับ ดังนั้นรูปแบบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่เหมาะสมคือ รูปแบบปกติ โดยมีสมการคือ

$$f(t_{o,\theta}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{t,\theta}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t_{o,\theta} - \mu_{t,\theta}}{\sigma_{t,\theta}}\right)^2\right)$$

จากนั้นนำข้อมูลค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน ไปแทนค่าในสมการการกระจายแบบปกติ เพื่อหาค่าสูงสุดที่ 2% ดังสมการ

$$0.98 = \int_{-\infty}^T \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 2.81} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t_{o,\theta} - 32.1}{2.81}\right)^2\right)$$

จะได้ $T_{2\%,9, Apr} = 34.4 \text{ } ^\circ\text{C}$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลในกรณีศึกษา

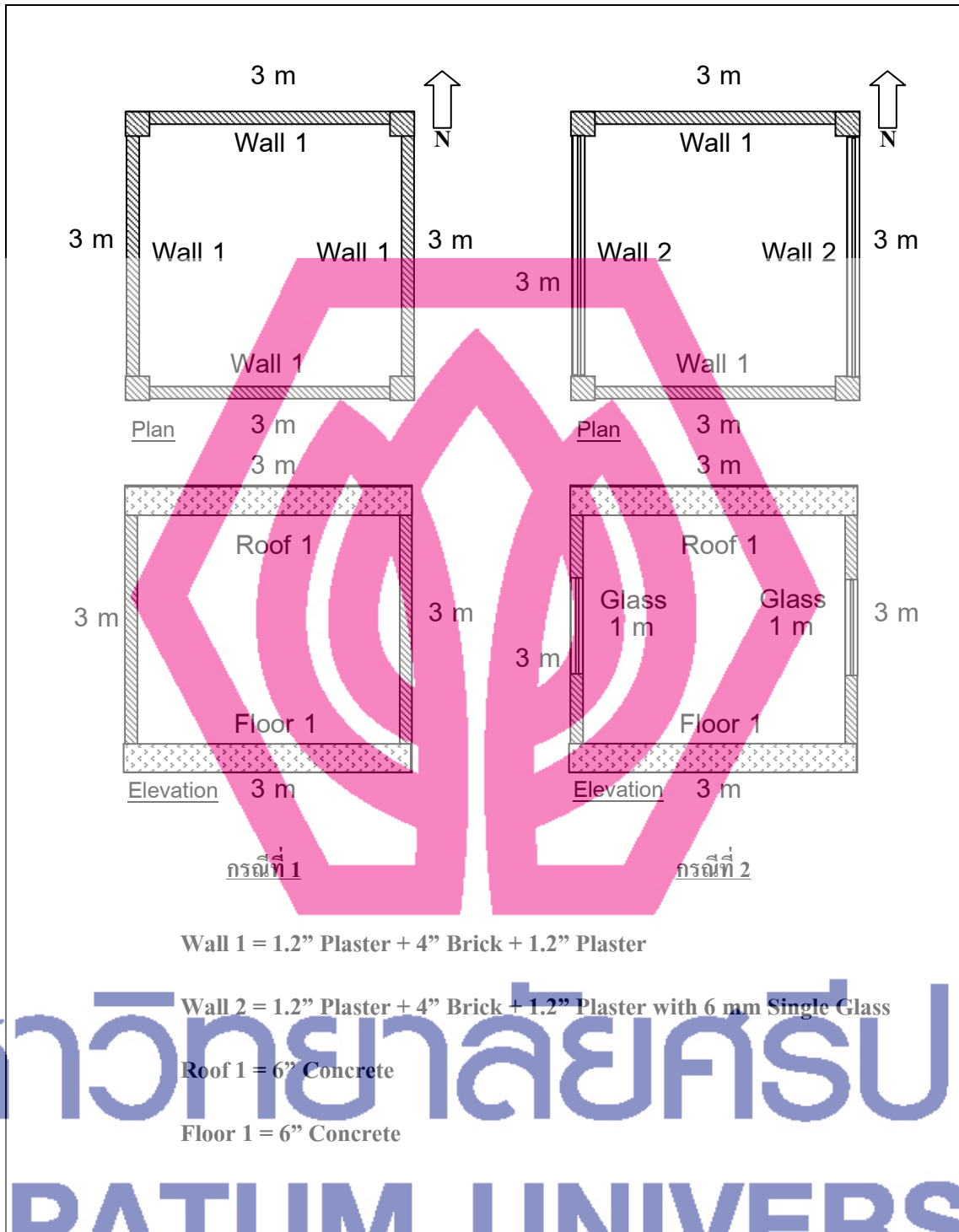
ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณีที่แตกต่างกันเหมือนกับงานวิจัยครั้งที่ผ่านมาในหัวข้อ “การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้วิธีสมดุลความร้อน กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร” เพื่อที่จะสามารถนำผลของงานวิจัยครั้งที่ผ่าน มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยครั้งนี้ได้ คือ กรณีที่อาคารเป็นผนังทึบ และอาคารที่มีกระจก เพื่อศึกษาการคำนวณในลักษณะอาคารที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

กรณีที่ 1. รูปแบบห้องที่เป็นผนังทึบทั้ง 4 ด้าน ขนาด 3 x 3 x 3 ลบ.ม. โดยกำหนดให้ผนังทั้ง 4 ด้านเป็นแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ ผนังก่ออิฐหนา 10 ซม. ฉาบปูนหนา 16 มม. ทั้งสองด้าน ส่วนหลังคาและพื้นจะใช้เป็นแบบคอนกรีตหนา 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.1 จำนวนคนภายใน 2 คน มีการระบายอากาศ 20 ลบ.ฟุต.ต่อนาที เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายและค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็นในกรณีที่ลักษณะอาคารเป็นอาคารทึบ ไม่มีกระจกหรือไม่มีแสงอาทิตย์ผ่านเข้ามาภายใน ความร้อนทั้งหมดจะผ่านผนังและหลังคาเข้ามา โดยมีการของการสะสมความร้อนที่ผนังและหลังคา

กรณีที่ 2. รูปแบบห้องที่เป็นผนังทึบทั้ง 2 ด้าน ขนาด 3 x 3 x 3 ลบ.ม. โดยมีกระจกใสหนา 6 มม. บนผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกขนาด 3 ตารางเมตร กำหนดให้ผนังเป็นแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ ผนังก่ออิฐหนา 10 ซม. ฉาบปูนหนา 16 มม. ทั้งสองด้าน ส่วนหลังคาและพื้นจะใช้เป็นแบบคอนกรีตหนา 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.1 จำนวนคนภายใน 2 คน มีการระบายอากาศ 20 ลบ.ฟุต.ต่อนาที เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายและค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็นในกรณีที่ลักษณะอาคารเป็นอาคารกระจก แสงอาทิตย์ผ่านสามารถผ่านเข้ามาภายในพื้นที่ได้ ความร้อนส่วนหนึ่งจะผ่านผนังและหลังคาเข้ามา โดยมีการของการสะสมความร้อนที่ผนังและหลังคา โดยมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งจะเข้าสู่ห้องโดยตรงและจะสะสมความร้อนที่บริเวณพื้น

โดยทั้งสองกรณี จะมีการคำนวณโดยใช้ วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี (RTS) เพื่อเปรียบเทียบกับวิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน (Heat Balance) จากงานวิจัยที่ครั้งที่แล้ว โดยมีการพิจารณาความร้อนจริง (Heat Gain) ที่เกิดขึ้นด้วยในการเปรียบเทียบ รูปแบบการป้อนข้อมูลจะแสดงไว้ในภาคผนวก

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ คือ ค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้วิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี ผลลัพธ์จากวิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อนตามลำดับ ในทั้งสองกรณี ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.2



ภาพประกอบ 4.1: รูปแบบห้องในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2

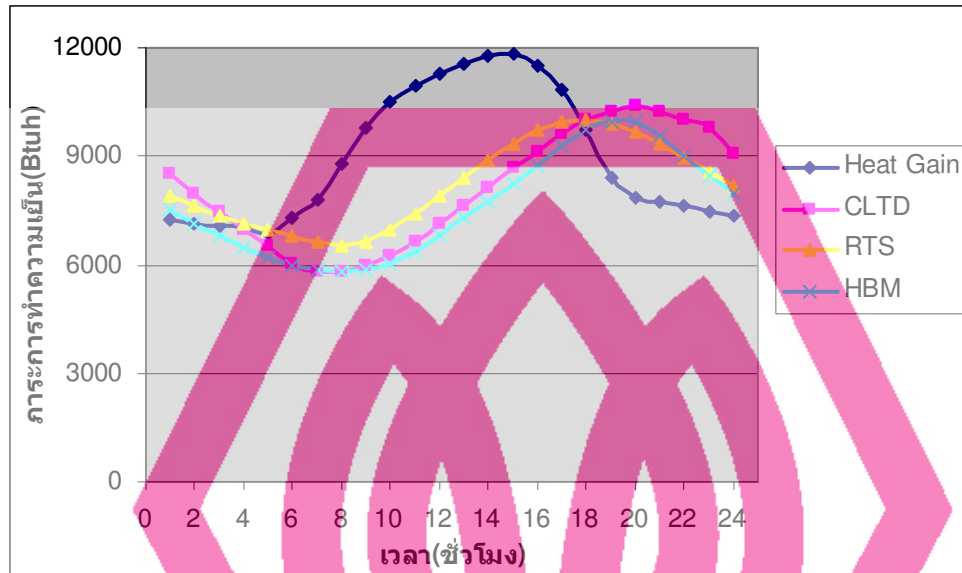
ตารางที่ 4.1: ความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมดุลความร้อน ในกรณีที่ 1

TIME	Heat Gain	CLTD	RTS	Heat Balance
1:00	7268	8492	7885	7519
2:00	7158	7942	7617	7130
3:00	7079	7477	7379	6782
4:00	7017	6970	7159	6478
5:00	6861	6521	6963	6216
6:00	7298	6007	6789	5967
7:00	7822	5792	6609	5835
8:00	8770	5796	6537	5790
9:00	9767	5967	6647	5855
10:00	10510	6253	6961	6033
11:00	10954	6647	7385	6365
12:00	11276	7151	7898	6805
13:00	11578	7625	8433	7275
14:00	11798	8128	8915	7742
15:00	11821	8673	9341	8237
16:00	11512	9121	9723	8756
17:00	10822	9597	9949	9278
18:00	9724	10024	10010	9707
19:00	8412	10257	9922	9972
20:00	7872	10419	9700	9949
21:00	7727	10250	9350	9567
22:00	7607	10016	8950	9025
23:00	7454	9766	8558	8479
0:00	7328	9042	8210	7959

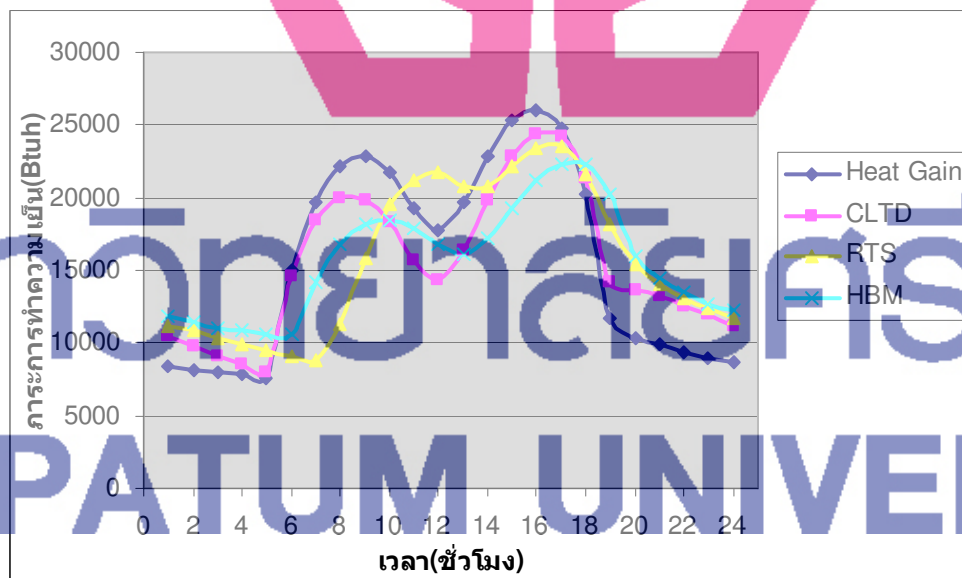
ตารางที่ 4.2: แสดงค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมดุลความร้อน ในกรณีที่ 2

TIME	Heat Gain	CLTD	RTS	Heat Balance
1:00	8441	10416	11208	11846
2:00	8184	9720	10811	11431
3:00	7959	9108	10360	11073
4:00	7896	8601	9902	10826
5:00	7594	8005	9472	10556
6:00	15069	14529	9078	10659
7:00	19696	18418	8783	14208
8:00	22111	19889	11234	16838
9:00	22815	19767	15765	18137
10:00	21798	18293	19539	18482
11:00	19310	15755	21688	17891
12:00	17726	14353	21254	16755
13:00	19641	16440	20768	16054
14:00	22793	19875	20795	17180
15:00	25308	22912	22180	19321
16:00	26026	24387	23424	21208
17:00	24749	24276	23524	22323
18:00	20279	21331	21580	22272
19:00	11638	14234	18208	20286
20:00	10365	13663	15470	16014
21:00	9926	13201	14091	14504
22:00	9367	12527	13102	13460
23:00	8920	11983	12322	12721
0:00	8647	11113	11702	12214

เมื่อนำค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน ในทั้งสองกรณี มาเขียนกราฟ จะได้กราฟออกมาดังภาพประกอบ 4.1 และ ภาพประกอบ 4.2



ภาพประกอบ 4.1: ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมดุลความร้อน ในกรณีที่ 1



ภาพประกอบ 4.2: ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความร้อนที่เข้าสู่ห้อง ค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และ วิธีสมดุลความร้อน ในกรณีที่ 2

จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่าค่าความร้อนสูงสุดที่ได้ จากการคำนวณค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็น โดยวิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน จะมีค่าที่แตกต่างกัน และเวลาการเกิดของข้อมูลค่าสูงสุดที่แตกต่างกัน ในทั้ง 2 กรณี ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3: ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน ในกรณีที่ 1

	ค่าสูงสุด (Btuh)	เวลา	ความแตกต่าง
ค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ	11,821	15:00	18.5%
ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี	10,100	20:00	1.3%
ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี CLTD	10,419	18:00	4.5%
ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีสมดุลความร้อน	9,972	19:00	0%

ตารางที่ 4.4 ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน ในกรณีที่ 2

	ค่าสูงสุด (Btuh)	เวลา	ความแตกต่าง
ค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ	26,026	16:00	16.5%
ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี	23,524	17:00	5.4%
ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี CLTD	24,387	16:00	9.2%
ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีสมดุลความร้อน	22,323	17:00	0%

4.2 อภิปรายผล

จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่า ในกรณีที่ 1 ค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณทั้งวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน จะมีรูปแบบการกระจายที่เหมือนกัน คือ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีค่าต่ำสุดในช่วงเช้า (เวลา 5:00 น. ถึง 8:00 น.) ค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเย็น (เวลา 15:00 น. ถึง 19:00 น.) แต่เวลาในการเกิดค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณ ทั้งวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน จะช้ากว่าเวลาในการเกิดค่าสูงสุดของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ 4-5 ชั่วโมง และค่าความร้อนสูงสุดที่เข้าสู่ระบบจะมีค่าสูงกว่าค่าภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้จากวิธีสมดุลความร้อน 18.5 % ทั้งนี้เนื่องจากผลของการสะสมความร้อนในผนัง

ผลลัพธ์ที่ในกรณีที่ 2 จะมีลักษณะคล้ายกับกรณีที่ 1 คือ ค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณทั้งวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อน จะมีรูปแบบการกระจายที่เหมือนกัน คือ มีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีค่าต่ำสุดในช่วงเช้า (เวลา 5:00 น. ถึง 7:00 น.) และเพิ่มขึ้นสู่จุดสูงสุดสัมพัทธ์ในช่วงสาย (เวลา 8:00 น. ถึง 11:00 น.) จากนั้นจะมีค่าลดลงจนถึงจุดต่ำสุดสัมพัทธ์ในช่วงเที่ยง (เวลา 12:00 น. ถึง 13:00 น.) และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงจุดสูงสุดในช่วงเย็น (เวลา 16:00 น. ถึง 17:00 น.) หลังจากนั้นจึงลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากลักษณะของอาคารที่มีกระจกในทิศตะวันออกและตะวันตก ทำให้ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่มีค่าสูงในเวลาที่ยังรับแสง คือช่วงสายและช่วงเย็น เวลาในการเกิดค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณ ทั้งวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และสมดุลความร้อน จะช้ากว่าเวลาในการเกิดค่าสูงสุดของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบเล็กน้อยคือ 1 ชั่วโมง ซึ่งเร็วกว่ากรณีแรก และค่าความร้อนสูงสุดที่เข้าสู่ระบบจะมีค่าสูงกว่าค่าภาระการทำความเย็น ที่คำนวณได้จากวิธีสมดุลความร้อน 16.5 % เนื่องจากลักษณะของอาคารที่มีกระจก ค่าความร้อนหลักมาจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเข้าสู่พื้นที่โดยตรงไม่มีกั้นการสะสมความร้อนในช่วงแรกเหมือนกับความร้อนที่ผ่านผนัง จึงทำให้ค่าความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นในเวลาใกล้เคียงกว่าในกรณีแรก

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะผลลัพธ์ของค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธี โดยใช้วิธีสมดุลความร้อนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นวิธีพื้นฐานและมีความแม่นยำที่สุด กรณีที่ 1 พบว่ามีรูปแบบการกระจายที่ใกล้เคียงกัน เกิดจุดสูงสุดในเวลาใกล้เคียงกัน คือ ห่างกัน 1 ชั่วโมง ในกรณีที่ 1 และเวลาเดียวกันในกรณีที่ 2 สำหรับวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี และห่างกัน 1 ชั่วโมง ในทั้ง 2 กรณี สำหรับวิธี CLTD เนื่องจากทั้ง 3 วิธีอาศัยหลักการของการสะสมความร้อนในการคำนวณเหมือนกัน จะแตกต่างกันบ้างในเรื่องของสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณ สำหรับค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี และวิธี CLTD จะมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีสมดุลความร้อน โดยค่าที่ได้จากวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีจะมีค่าใกล้เคียงกับ

วิธีสมดุลความร้อนมากกว่า เนื่องจากวิธีสมดุลความร้อนความต่างของอุณหภูมิในแต่ละด้านจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ด้านที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทความร้อนให้ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ ตามหลักการของการแผ่รังสี เพื่อปรับให้อุณหภูมิเข้าสู่จุดสมดุลไปพร้อมๆ กัน ในวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีที่อาศัยหลักการเดียวกับวิธีสมดุลความร้อน แต่ความร้อนที่เข้ามาในแต่ละด้านจะนำมาปรับสมดุลโดยการเฉลี่ยให้เท่ากันทุกด้าน ก่อนที่จะแผ่รังสีไปยังแต่ละด้าน ส่วนในวิธี CLTD การคำนวณอุณหภูมิหรือค่าความร้อนของผนังแต่ละด้านจะเป็นอิสระต่อกัน ความต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดความร้อน และความร้อนในแต่ละด้านก็จะกลายเป็นค่าภาระการทำความเย็น ไม่มีการแบ่งไปยังด้านอื่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นวิธี CLTD จึงให้ผลลัพธ์ออกมาสูงกว่าวิธีอื่นเล็กน้อย ในกรณีที่ 2 ซึ่งเป็นห้องที่มีกระจกความแตกต่างระหว่าง ค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็น ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธีจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามา ซึ่งจะสะสมไว้ที่พื้น ทำให้พื้นมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านอื่นๆ มากกว่าในกรณีที่ไม่มีกระจก ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ในวิธี CLTD ความร้อนส่วนนี้จะผ่านกระบวนการกลายเป็นค่าภาระการทำความเย็น ในวิธีอนุกรมเวลาความร้อนจะถูกเฉลี่ยไปทุกด้านเท่ากัน แต่ในวิธีสมดุลความร้อนพื้นจะถ่ายเทความร้อนให้ด้านอื่นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแต่ละด้านเพื่อเข้าสู่จุดสมดุล จึงทำให้มีความแตกต่างมากกว่าในกรณีแรก

การนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิภายนอก ค่าอัตราส่วนความชื้น และค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ ที่มีการผ่านกระบวนการทางสถิติศาสตร์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมาใช้ในการคำนวณ จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการดำเนินงานวิจัย

1. การดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ แต่แผนการดำเนินงานมีความล่าช้าในบางขั้นตอน เนื่องจากปัญหาเรื่อง การสั่งซื้อของจากต่างประเทศ ซึ่งต้องใช้เวลานานและผ่านหลายขั้นตอน และได้มีการแก้ปัญหาโดยให้ผู้วิจัยเป็นผู้สั่งซื้อของโดยตรง
2. ในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ต้องอาศัยข้อมูลจากแหล่งภายนอก คือ กรมอุตุนิยมวิทยา ถึงแม้ในสถานที่วิจัยได้ จะได้มีการจัดตั้งศูนย์วิจัยและให้คำปรึกษาด้านพลังงาน ซึ่งศูนย์ดังกล่าวก็มีความพร้อมในเรื่องของเครื่องมือแล้ว แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการข้อมูลย้อนหลัง 15 ปี ทำให้ยังคงต้องอาศัยข้อมูลจากแหล่งภายนอก แต่ก็ได้มีการเริ่มต้นจัดเก็บข้อมูลเองบ้างแล้ว เพื่อเป็นประโยชน์ในการใช้งานข้อมูลในอนาคตต่อไป

5.2 สรุปผลการวิจัย

1. ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ได้จากการคำนวณทั้งสามวิธี คือวิธี อนุกรมเวลาของการแผ่รังสี วิธี CLTD และวิธีสมดุลความร้อนจะมีค่าต่ำกว่าค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ ณ เวลานั้น และเวลาที่เกิดค่าสูงสุดของ ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดที่ได้จากการคำนวณทั้งสามวิธี จะเกิดขึ้นช้ากว่าเวลาที่เกิดค่าสูงสุดของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ เนื่องจากผลของการสะสมความร้อนที่ ผนัง หลังคา และพื้น
2. ในกรณีที่อาคารมีกระจกในทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ลักษณะการกระจายของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบ และค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณทั้งสามวิธี จะมีค่าสูงสุดสัมพันธ์ในช่วงเช้าและเย็นตามลำดับ เนื่องจากผลของความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่บริเวณพื้นที่โดยตรงในช่วงเวลานั้น
3. ในกรณีที่อาคารมีกระจกในทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เวลาในการเกิดค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณทั้งสามวิธี จะใกล้เคียงเวลาในการเกิดค่าสูงสุดของค่าความร้อนที่เข้าสู่ระบบมากกว่าในกรณีที่อาคารไม่มีกระจก เนื่องจากลักษณะของอาคารที่มีกระจก ค่าความร้อนหลักมาจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเข้าสู่พื้นที่โดยตรงไม่มีการสะสมความร้อนในช่วงแรกเหมือนกับความร้อนที่ผ่านผนัง จึงทำให้ค่าความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน

4. เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะผลลัพธ์ของค่าภาระการทำความเย็นที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธี พบว่ามีรูปแบบการกระจายที่ใกล้เคียงกัน ค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีสมดุลความร้อนซึ่งเป็นวิธีการคำนวณที่มีความแม่นยำที่สุด จะมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณ โดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี และวิธี CLTD เล็กน้อย เนื่องจากในวิธี CLTD การคำนวณอุณหภูมิหรือค่าความร้อนของผนังแต่ละด้านจะเป็นอิสระต่อกัน ความต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดความร้อน และความร้อนในแต่ละด้านก็จะกลายเป็นค่าภาระการทำความเย็น วิธีสมดุลความร้อน ความต่างของอุณหภูมิจะทำให้เกิดความร้อนเช่นเดียวกัน แต่ด้านที่มีอุณหภูมิสูงจะถ่ายเทความร้อนให้ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำด้วย เพื่อปรับให้อุณหภูมิเข้าสู่จุดสมดุลไปพร้อมๆ กัน ทำให้ค่าที่ได้ออกมาต่ำกว่าวิธี CLTD เล็กน้อย ส่วนในวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีมีหลักการเดียวกับวิธีสมดุลความร้อน แต่การถ่ายเทความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จะใช้วิธีเฉลี่ยให้ความร้อนทุกๆ ด้านให้มีค่าเท่ากัน ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีสมดุลความร้อนมากกว่าวิธี CLTD

5. ความแตกต่างระหว่าง ค่าสูงสุดของค่าภาระการทำความเย็น ที่ได้จากการคำนวณทั้งสามวิธี จะเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ห้องนั้นมีกระจก เนื่องจากความร้อนที่ผ่านกระจกเข้ามา ซึ่งจะสะสมไว้ที่พื้น ทำให้พื้นมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านอื่นๆ มากกว่าในกรณีที่ไม่มีกระจก ทำให้มีความแตกต่างมากกว่าในกรณีแรก ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย ในวิธี CLTD ความร้อนส่วนนี้จะผ่านกระบวนการกลายเป็นค่าภาระการทำความเย็น ส่วนในวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีค่าความร้อนจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงจะเฉลี่ยไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนในวิธีสมดุลความร้อนพื้นจะถ่ายเทความร้อนให้ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า พร้อมกับการปรับสมดุลในตัวเอง ซึ่งเป็นหลักการเดียวกันกับกรณีแรก

6. การนำข้อมูลจริงของสภาพภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิภายนอก ค่าอัตราส่วนความชื้น และค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณ จะทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

7. การใช้สถิติศาสตร์มาช่วยในการปรับปรุงข้อมูลก่อนนำไปใช้งานจริง จะทำให้ข้อมูลที่ได้รับความแม่นยำและความน่าเชื่อถือมากขึ้น เนื่องจากสามารถกำจัดข้อมูลในส่วนที่ผิดพลาดออกไปได้ ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนลดลง

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อดำเนินการ

1. การจัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและให้คำปรึกษาด้านพลังงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม สามารถช่วยในการเก็บข้อมูล และมีเครื่องมือต่างๆ ไว้สนับสนุนงานวิจัยได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงควรมีงานวิจัยที่สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลหรือเครื่องมือในศูนย์อย่างต่อเนื่อง
2. ควรมีโครงการวิจัย โดยความร่วมมือในการทำงานวิจัยกับหน่วยงานอื่นๆ เช่น กระทรวงพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ควรมีการทำวิจัยในทางปฏิบัติเพิ่มเติม โดยมีการสร้างห้องทดลองและมีการวัดค่าต่าง เพื่อสนับสนุนผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้
4. ปรับปรุงข้อมูลข้อมูลสภาพภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิภายนอก ค่าอัตราส่วนความชื้น และค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ ให้มีความทันสมัย และถูกต้องตามความต้องการมากขึ้น



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- เทพฤทธิ์ ทองชุบ. 2551. “การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นโดยใช้วิธีสมมูลความร้อน
กรณีศึกษาในเขตกรุงเทพมหานคร.” รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- เทพฤทธิ์ ทองชุบ. 2540. “การคำนวณภาระการทำความเย็นและการเลือกขนาดเครื่องทำความเย็น
ที่เหมาะสม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทพฤทธิ์ ทองชุบ. 2547. “การใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในการคำนวณภาระการทำความเย็น.”
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศรี จรุงเรืองกิจ. 2542. **ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักพัฒนาอู่ศูนย์มวิทยา. 2551. **รายงานข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะแห้ง.** ฐานข้อมูลรายชั่วโมง.
กรุงเทพมหานคร: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สำนักพัฒนาอู่ศูนย์มวิทยา. 2551. **รายงานข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะเปียก.** ฐานข้อมูลรายชั่วโมง.
กรุงเทพมหานคร: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สำนักพัฒนาอู่ศูนย์มวิทยา. 2551. **รายงานข้อมูลค่าความร้อนจากการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์.**
ฐานข้อมูลรายชั่วโมง. กรุงเทพมหานคร: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- Ang, A. H-S and Tang, W.H.. 1975. **Probability Concepts in Engineering Planning and
Design.** New York, USA: John Wiley.
- ASHRAE. 1993. **1993 ASHRAE Handbooks Fundamentals (SI).** Atlanta, USA:
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. 2009. **2009 ASHRAE Handbooks Fundamentals (SI).** Atlanta, USA:
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. 2007. **Air-Conditioning System Design Manual.** 2 nd Edition. Atlanta, USA:
American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. 2008. **Load Calculation Applications Manual.** Atlanta, USA: American Society
of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

- Benjamin, Jack R. and Cornell, C. Allin. 1970. **Probability, Statistics, and Decision for Civil Engineers**. New York, USA: McGraw-Hill Book Company.
- Eldridge, D., Fisher, D.E., Lu, I.S. and Chantrasrisalai, C. 2003. "Experimental Validation of Design Cooling Load Procedures: Facility Design." **ASHRAE Transactions** 109, 2: 151-159.
- Gupta, S.C. and Kapoor, V.K.. 1973. **Fundamentals of Mathematical Statistics**. Delhi, India: Sultan Chand & Son.
- Hittle, Douglas C.. 1980. "Calculating Building Heating and Cooling Load Using The Frequency Response of Multilayered Slab." A Doctoral Thesis Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering University of Illinois.
- Incropera, Frank P. and De Witt, David P.. 1990. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Third Edition**. Singapore: John Wiley & Son.
- Lu, Ip Seng. 2002. "Experimental Validation of The Radiant Time Series Method for Cooling Load Calculation." A Masteral Thesis Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Oklahoma State University.
- Lu, I.S. and Fisher, D.E.. 2004. "Application of Conduction Transfer Functions and Periodic Response Factors in Cooling Load Calculation Procedures." **ASHRAE Transactions** 110, 2: 829-841.
- Lu, I.S., Fisher, D.E., Chantrasrisalai, C. and Eldridge, D.. 2003. "Experimental Validation of Design Cooling Load Procedures: The Radiant Time Series Method." **ASHRAE Transactions** 109, 2: 139-150.
- Kreider, Jan F. and Rabl, Ari.. 1994. **Heating and Cooling of Buildings; Design for Efficiency**. Singapore: McGraw-Hill.
- McQuiston, Faye C., Parker, Jerald D. and Spitler, Jeffery D.. 2000. **Heating, Ventilating and Air-Conditioning; Analysis and Design**. 5 th Edition. Singapore: John Wiley & Son.
- McQuiston, Faye C. and Spitler, Jeffery D. 1994. **Cooling and Heating Load Calculation Manual**. 2 nd Edition. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

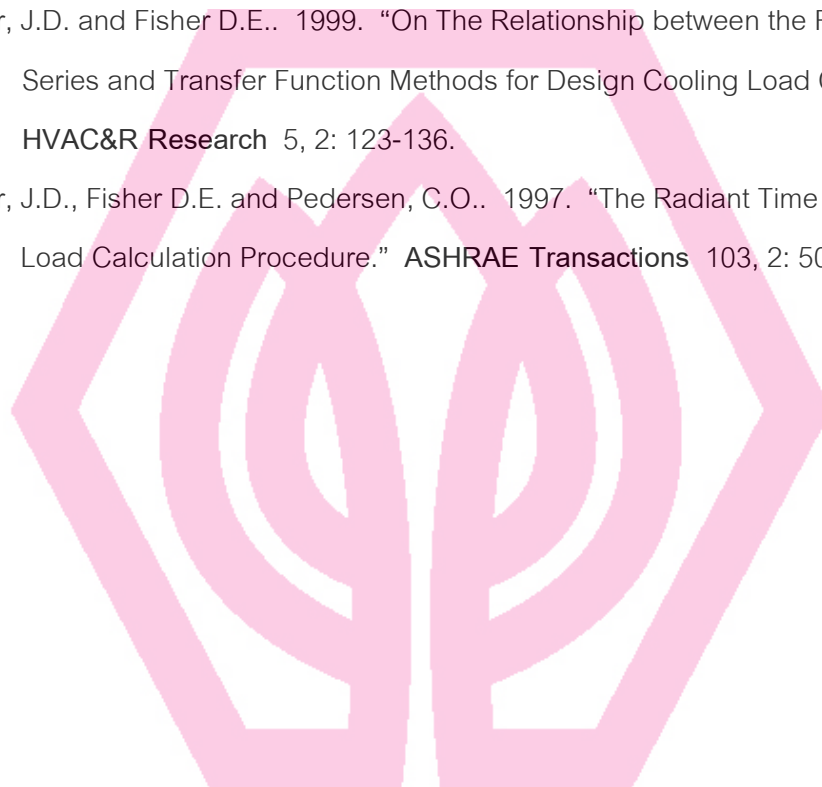
Pedersen, Curtis O., Fisher, Daniel E., Spitler, Jeffery D., Liesen, Richard J.. 1998.

Cooling and Heating Load Calculation Principles. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.

Spitler, J.D. and Fisher D.E.. 1999. "Development of Periodic Response Factors for Use with the Radiant Time Series Method." **ASHRAE Transactions** 105, 2: 491-509.

Spitler, J.D. and Fisher D.E.. 1999. "On The Relationship between the Radiant Time Series and Transfer Function Methods for Design Cooling Load Calculations." **HVAC&R Research** 5, 2: 123-136.

Spitler, J.D., Fisher D.E. and Pedersen, C.O.. 1997. "The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure." **ASHRAE Transactions** 103, 2: 503-515.



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

โปรแกรมการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น
โดยวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

```

!=== DECLARE VARIABLE ===!
COMMON PI
  DIMENSION EQT (12), DEC (12), ASC (12), BSC (12), CSC (12)
  DIMENSION Z (24), ID (24), IDS (24), IDG (24), IT (24), AA (6), TA (6)
  DIMENSION CTDR (24), CTDF (24), SHGF (24, 9, 12), SCH (9), SCW (9),
  SC (9), KA (24, 11, 12), KT (24, 11, 12), KW (24, 11, 12)
  REAL L, D, ID, IDN, IDS, IDG, IT, KA, KT, KW
  INTEGER M
  DATA WW, HW, PH, RH, PW, RW /10, 5.1, 3, -.8, 0, 0/
  DIMENSION TP (24, 12), IR (24, 12), PEO (24, 12), LIG (24, 12), EQU (24, 12),
  HR (24, 12)
  DIMENSION TPM (24, 12), IRM (24, 12), PEOM (24, 12), LIGM (24, 12),
  EQU (24, 12), HRM (24, 12)
  REAL IR, LO
  CHARACTER (8), DIMENSION (24):: TMP
  CHARACTER (8), DIMENSION (12):: MONTH
  DIMENSION UW (11), AW (11), YPW (24, 11), UG (11), AG (11), YPG (24, 11),
  ABSW (11), ZYKW (11), ZYKA (11) ZCYW (11), ZCYG (11)
  DIMENSION AC (24, 12), BC (24, 12), CC (24, 12), DC (24, 12), EC (24, 12),
  FC (24, 12)
  DIMENSION AR (24, 12), BR (24, 12), CR (24, 12), DR (24, 12), ER (24, 12),
  FR (24, 12)
  DIMENSION RTFA (24), RTFS (24)
  DIMENSION ACR (24, 12), BCR (24, 12), CCR (24, 12), DCR (24, 12), ECR (24, 12),
  FCR (24, 12), BCRS (24, 12), CCRS (24, 12)
  DIMENSION ACCL (24, 12), BCCL (24, 12), CCCL (24, 12), DCCL (24, 12),
  ECCL (24, 12), FCCL (24, 12), GCCL (24, 12)
  DIMENSION CLOAD (24, 12), CLOADM (24, 12)
  DIMENSION DAY (12)
  PI=3.14159
  DATA (AA (I), I=1, 6) / .01154, 0.77674, -3.94657, 8.57811, -8.38135, 3.01188 /
  DATA (TA (I), I=1, 6) / -.00885, 2.71235, -0.62062, -7.07329, 9.75995, -3.89922 /
  DATA (DAY (I), I=1, 12) / 31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31 /

!=== SPEG 1: FIND SOLAR COEFFICIENT ===!
!--- WRITE OUTPUT FILE ---!
  OPEN (11, FILE='COEF.TXT')
  OPEN (21, FILE='KW.TXT')
  OPEN (31, FILE='KA.TXT')
  OPEN (41, FILE='KT.TXT')

  WRITE (21, 5)
  WRITE (31, 5)

```

```

WRITE (41, 5)
5  FORMAT("TIME" 4X "S" 9X "SW" 8X "W" 9X "NW" 8X "N" 9X "NE" 8X "E"
      9X "SE" 7X "HORZ")

!--- START MONTH ---!
  READ (11,*) (TMP (I), I=1, 6)
  DO M=1, 12
    READ (11,*) MONTH (M), EQT (M), DEC (M), ASC (M), BSC (M), CSC (M)
    WRITE (21,*) MONTH (M)
    WRITE (31,*) MONTH (M)
    WRITE (41,*) MONTH (M)
    DO DN=1, DAY (M)
!--- START HOUR ---!
    DO I=1, 24

!--- FIND SOLAR TIME ---!
      T=I*60-4*(105-100.6) +EQT (M)
      H=0.25*(720-T)

!--- START DIRECTION ---!
      DO N=1, 9
        J=45*(N-1)

!--- FIND SOLAR ATITUDE ---!
      B=ASIN(C (13.59)*C (DEC (M))*C (H) +S (13.59)*S (DEC (M)))
      IF (B<0) B=0

!--- FIND SOLAR AZIMUTHE ---!
      P=ACOS ((SIN (B)*S (13.59)-S (DEC (M)))/(COS (B)*C (13.59)))
      IF (T<720.) P=-P
      IF (B==0) P=0
      PP=P*180/PI

!--- FIND INCIDENT ANGLE ---!
      SS=PP-J
      IF (((SS>=90).AND. (SS<=270)).OR. ((SS<=-90).AND. (SS>=-270))) SS=90
      IF (N==9) THEN
        Z (N) =ACOS (SIN (B))
      ELSE
        Z (N) =ACOS (COS (B)*C (SS))
      ENDIF
      IF (B==0) Z (N) =0

```

```

!--- FIND DIRECT SOLAR IRRADIANCE ---!
  IF (B>=0) IDN=ASC (M)*EXP (-BSC (M)/SIN (B))
  ID (N) =COS (Z (N))
  IF (SS==90) ID (N) =0

!--- FIND DIFFUSE SOLAR IRRADIANCE COEFFICIENT ---!
  IF (COS (Z (N))>-0.2) THEN
    Y=0.55+0.437*COS (Z (N)) +0.313*(COS (Z (N))) **2
  ELSE
    Y=0.45
  ENDIF
  IF (N==9) Y=1
  IDS (N) =CSC (M)*Y
  IDG (N) =0.1*(CSC (M) +SIN (B))
  IF (N==9) IDG (N) =0

!--- FIND SC FOR OVERHANG ---!
  OMH=ATAN (TAN (B)/C (SS))
  SH=PH*TAN (OMH)
  SW=PW*ABS (TAN (SS*PI/180))
  SCH (N) = (HW-(SH-RH))/ (HW)
  IF (SCH (N)>1) THEN
    SCH (N) =1
  ENDIF
  IF (SCH (N) <0) THEN
    SCH (N) =0
  ENDIF
  SCW (N) = (WW-(SW-RW))/ (WW)
  IF (SCW (N)>1) THEN
    SCW (N) =1
  ENDIF
  IF (SCW (N) <0) THEN
    SCW (N) =0
  ENDIF
  SC (N) =SCH (N)*SCW (N)
  IF (B==0) SC (N) =0
  IF (N==9) SC (N) =1

!--- FIND TOTAL SOLAR IRRADIANCE ---!
  IT (N) = (ID (N) +IDS (N) +IDG (N))*IDN

!--- FIND SOLAR HEAT GAIN FACTOR ---!
  ZA1=0.0

```

```

ZA2=0.0
ZT1=0.0
ZT2=0.0
SHGF (I, N, M) =0
DO K=0, 5
T1=TA (K+1)*(COS (Z (N))) **K
T2=TA (K+1)/ (K+2)
A1=AA (K+1)*(COS (Z (N))) **K
A2=AA (K+1)/ (K+2)
ZT1=ZT1+T1
ZT2=ZT2+T2
ZA1=ZA1+A1
ZA2=ZA2+A2
ENDDO

ZT=ID (N)*ZT1+2*(IDS (N) +IDG (N))*ZT2
ZA=ID (N)*ZA1+2*(IDS (N) +IDG (N))*ZA2
SHGF (I, N, M) = (ZT+0.268*ZA)*IDN
ENDDO

```

!--- CONVERT REAL IRRADIANCE ---!

```

DO N=1, 9
CTDR (N) =0
CTDF (N) =0
IF (B>0) CTDR (N) =ID (N)/ (COS (Z (9)) +CSC (M))
IF (B>0) CTDF (N)=1/(COS(Z(9))+CSC(M))*(IDS(N)+IDG(N))
KW (I, N, M) = (CTDR (N)*SC (N) +CTDF (N))
KT (I, N, M) =CTDR (N)*ZT1 *SC (N) +2*CTDF (N)*ZT2
KA (I, N, M) =CTDR (N)*ZA1*SC (N) +2*CTDF (N)*ZA2
ENDDO
KW (I, 10, M) =0
KT (I, 10, M) =0
KA (I, 10, M) =0
KW (I, 11, M) =0
KT (I, 11, M) =0
KA (I, 11, M) =0

```

!--- END OF DIRECTION ---!

```

WRITE(21,10) I,KW(I,1,M),KW(I,2,M),KW(I,3,M),KW(I,4,M),KW(I,5,M),
KW(I,6,M),KW(I,7,M),KW(I,8,M),KW(I,9,M)
WRITE(31,10) I,KA(I,1,M),KA(I,2,M),KA(I,3,M),KA(I,4,M),KA(I,5,M),
KA(I,6,M),KA(I,7,M),KA(I,8,M),KA(I,9,M)
WRITE(41,10) I,KT(I,1,M),KT(I,2,M),KT(I,3,M),KT(I,4,M),KT(I,5,M),

```

```

KT(I,6,M),KT(I,7,M),KT(I,8,M),KT(I,9,M)
10  FORMAT (I2, 9(2X, F8.4))
    ENDDO

!--- END OF HOUR ---!

    ENDDO
    ENDDO
!--- END OF MONTH ---!

!=== STEP II: CALCULATE CONVECTIVE AND RADIANT COEFFICIENT ===!

!--- READ AVERAGE TEMPERATURE, IRRADIANT, PEOPLE, LIGHTING,
EQUIPMENT ---!
OPEN (12, FILE='PROFILE.TXT')

!--- START HOUR ---!
READ (12,*) (TMP (I), I=1, 24)
READ (12,*) TMP (1)
READ (12,*) (TMP (1), (TP (I, M), I=1, 24), M=1, 12)
READ (12,*) TMP (1)
READ (12,*) (TMP (1), (IR (I, M), I=1, 24), M=1, 12)
READ (12,*) TMP (1)
READ (12,*) (TMP (1), (PEO (I, M), I=1, 24), M=1, 12)
READ (12,*) TMP (1)
READ (12,*) (TMP (1), (LIG (I, M), I=1, 24), M=1, 12)
READ (12,*) TMP (1)
READ (12,*) (TMP (1), (EQU (I, M), I=1, 24), M=1, 12)
READ (12,*) TMP (1)
READ (12,*) (TMP (1), (HR (I, M), I=1, 24), M=1, 12)
!--- END OF HOUR ---!

!--- OPEN FILES TO READ DATA AND WRITE COEFFICIENT ---!
OPEN (22, FILE='INPUT.TXT')
OPEN (32, FILE='C-COEF.TXT')
OPEN (42, FILE='R-COEF.TXT')
WRITE (32, 15)
WRITE (42, 16)
15  FORMAT ("TIME" 5X "AC" 8X "BC" 6X "CC" 10X "DC" 8X "EC" 8X "FC")
16  FORMAT ("TIME" 5X "AR" 8X "BR" 6X "CR" 10X "DR" 8X "ER" 8X "FR")

!--- READ INPUT DATA ---!

```

```

READ (22,*) (TMP (I), I=1, 11)
READ (22,*) TMP (1), (UW (J), J=1, 11)
READ (22,*) TMP (1), (AW (J), J=1, 11)

```

```

DO I=1, 24
READ (22,*) TMP (1), (YPW (I, J), J=1, 11)
ENDDO
READ (22,*) TMP (1), (ABSW (J), J=1, 11)
READ (22,*) (TMP (I), I=1, 11)
READ (22,*) TMP (1), (UG (J), J=1, 11)
READ (22,*) TMP (1), (AG (J), J=1, 11)

```

```

DO I=1, 24
READ (22,*) TMP (1), (YPG (I, J), J=1, 10)
ENDDO
READ (22,*) TMP (1), H0
READ (22,*) TMP (1), LO
READ (22,*) TMP (1), CP
READ (22,*) TMP (1), HFG
READ (22,*) TMP (1), QV
READ (22,*) TMP (1), FCP
READ (22,*) TMP (1), FCN
READ (22,*) TMP (1), FCL
READ (22,*) TMP (1), FCE
READ (22,*) TMP (1), KSEN
READ (22,*) TMP (1), KLAT
READ (22,*) TMP (1), WLLOSS
READ (22,*) TMP (1), WELOSS
READ (22,*) TMP (1), TRC
READ (22,*) TMP (1), WRC

```

```
!--- CALCULATE COEFFICIENT ---!
```

```
DO M=1, 12
```

```
!--- START TIME ---!
```

```
DO I=1, 24
```

```
ZAC=0
```

```
ZBC=0
```

```
ZCC=0
```

```
!--- START DIRECTION ---!
```

```
DO J=1, 11
```

```
ZCYW (J) = 0
```

```
ZCYG (J) = 0
```

```

ZAC = ZAC + FCP*(UW (J)*AW (J) + UG (J)*AG (J))
ZBC = ZBC+ FCP*(UW (J)*AW (J)*ABSW (J) / H0*KW (I, J, M) + UG (J) &
*AG (J) / H0*KA (I, J, M))
IY=0
DO K=I, I+23
IY=IY+1
L=I-IY+1
IF (L<1) L=L+24
ZCYW (J) = ZCYW (J) + YPW (IY, J)*((TP (L, M) – TP (I, M)) + ABSW (J) &
/H0*(KW (L, J, M)*IR (L, M) – KW (I, J, M)*IR (I, M)))
ZCYG (J) = ZCYG (J) + YPG (IY, J)*((TP (L, M) – TP (I, M)) + 1 / H0*(IR (L, M) &
*KA (L, J, M) – IR (I, M)*KA (I, J, M)))
ENDDO
IF (J==9)      THEN
                TSK=4
            ELSE
                TSK=0
            ENDIF
ZBC = ZBC + FCP*(AW (J)*ABSW (J)/H0*ZYSW (J) + AG (J)/H0*ZYKA (J))
ZCC = ZCC + FCP*(AW (J)*(ZCYW (J) - UW (J)*(TRC+TSK)) + AG (J)* &
(ZCYG (J)-UG (J)*(TRC+TSK)))
ENDDO
!--- END OF DIRECTION ---!

AC (I, M) =ZAC
BC (I, M) =ZBC
CC (I, M) =ZCC
DC (I, M) =FCN*KSEN
EC (I, M) =FCL
FC (I, M) =FCE
AR (I, M) = (1-FCP)/FCP*AC (I, M)
BR (I, M) = (1-FCP)/FCP*BC (I, M)
CR (I, M) = (1-FCP)/FCP*CC (I, M)
DR (I, M) = (1-FCN)/FCN*DC (I, M)
ER (I, M) = (1-FCL)/FCL*EC (I, M)
FR (I, M) = (1-FCE)/FCE*FC (I, M)
WRITE (32, 20) I, AC (I, M), BC (I, M), CC (I, M), DC (I, M), EC (I, M), FC (I, M)
WRITE (42, 20) I, AR (I, M), BR (I, M), CR (I, M), DR (I, M), ER (I, M), FR (I, M)
20  FORMAT (I2, 6(2X F8.2))
ENDDO
!--- END OF TIME ---!
ENDDO

```



```

!===  STEP 3: CALCULATE THE COVERTION OF RADIANT TO CONVECTIVE
      COEFFICIENT ===!
!---  READ RTF VALUES AND WRITE CR COEFFICIENT ---!
      OPEN (13, FILE='CR-COEF.TXT')
      READ (22,*) (TMP (I), I=1, 3)
      DO I=1, 24
      READ (22,*) TMP (1), RTFA (I), RTFS (I)
      ENDDO
      WRITE (13, 25)
25  FORMAT ("TIME" 5X "ACR" 8X "BCR" 6X "CCR" 10X "DCR" 8X "ECR" &
          8X "FCR")

!---  CALCULATE CR AND CRS COEFFICIENT ---!
      DO M=1, 12
      DO I=1, 24
      ZACR=0
      ZBCR=0
      ZCCR=0
      ZBCRS=0
      ZCCRS=0
      IRTF=0
      DO K=I, I+23
      IRTF=IRTF+1
      L=I-IRTF+1
      IF (L<1) L=L+24
      ZACR = ZACR + RTFA (IRTF)*AR (L, M)
      ZBCR = ZBCR + RTFA (IRTF)*BR (L, M)
      ZCCR = ZCCR + RTFA (IRTF)*AR (L, M)*(TP (L, M) - TP (I, M)) + RTFA &
      (IRTF)*BR (L, M)*(IR (L, M) - IR (I, M)) + RTFA (IRTF)*CR (L, M) + &
      RTFA (IRTF)*DR (L, M)*(PEO (L, M) - PEO (I, M)) +RTFA (IRTF)* &
      ER (L, M)*(LIG (L, M) - LIG (I, M)) + RTFA (IRTF)*FR (L, M)*(EQU (L, M) - &
      EQU (I, M))
      DO J=1, 11
      ZBCRS = ZBCRS + AG (J)*RTFS (IRTF)*KT (L, J, M)
      ZCCRS = ZCCRS + AG (J)*RTFS (IRTF)*(KT (L, J, M)*IR (L, M) - KT (I, J, M)* &
      IR (I, M))
      ENDDO
      ENDDO

      ACR (I, M) = ZACR
      BCR (I, M) = ZBCR
      CCR (I, M) = ZCCR
      BCRS (I, M) = ZBCRS

```

```

CCRS (I, M) = ZCCRS
WRITE (13, 30) I, ACR (I, M), BCR (I, M), CCR (I, M), BCRS (I, M), CCRS (I, M)
30  FORMAT (I2, 5(2X F8.2))
    ENDDO
    ENDDO

!=== STEP 4: CALCULATE COOLING LOAD COEFFICIENT ===!
    OPEN (14, FILE='CL-COEF.TXT')
    OPEN (15, FILE='COOLING_LOAD.TXT')
    OPEN (16, FILE='COOLING_LOAD_M.TXT')
    WRITE (16, 41)
40  FORMAT("TIME" 4X "ACL" 7X "BCL" 7X "CCL" 7X "DCL" 7X "ECL" 7X "FCL" &
        7X "GCL")
41  FORMAT ("TIME" 4X "COOLING LOAD")

    DO M=1, 12
        WRITE (14,*) MONTH (M)
        WRITE (15,*) MONTH (M)
        WRITE (16,*) MONTH (M)

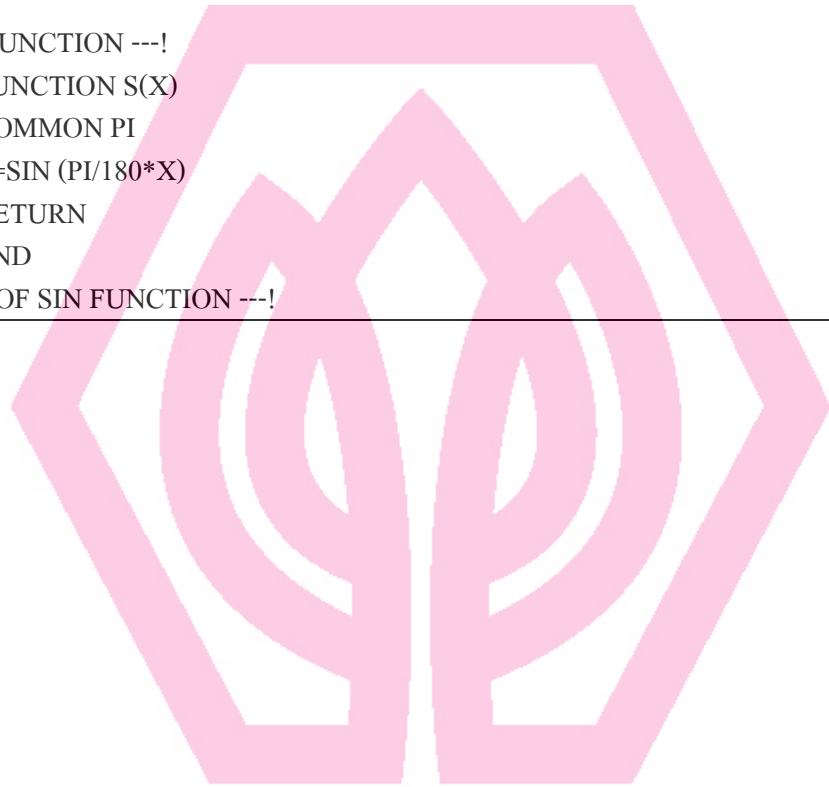
        DO I=1, 24
            ACCL (I, M) = AC (I, M) + ACR (I, M) + LO*QV*CP
            BCCL (I, M) = BC (I, M) + BCR (I, M) + BCRS (I, M)
            CCCL (I, M) = CC (I, M) + CCR (I, M) + CCRS (I, M) - LO*QV*CP*TRC - &
                LO*QV*HFG*WRC
            DCCL (I, M) = DC (I, M) + DR (I, M) + KLAT
            ECCL (I, M) = EC (I, M) + ER (I, M)
            FCCL (I, M) = FC (I, M) + FR (I, M)
            GCCL (I, M) = LO*QV*HFG
            CLOAD (I, M) = (ACCL (I, M)*TP (I, M) + BCCL (I, M)*IR (I, M) + CCCL (I, M) + &
                DCCL (I, M)*PEO (I, M) + ECCL (I, M)*LIG (I, M) + FCCL (I, M)*EQU (I, M) + &
                GCCL (I, M)*HR (I, M)) / 3516

            WRITE (14, 45) I, AC (I, M), BC (I, M), CC (I, M), ACR (I, M), BCR (I, M), &
                CCR (I, M), BCRS (I, M), CCRS (I, M)
            WRITE (15, 46) CLOAD (I, M)
45  FORMAT (I2, 6(2X F16.2), 2X 2F16.2)
46  FORMAT (I2, 2X F16.2)
        ENDDO
    ENDDO
    END

!--- END OF PRPGRAM ---!

```

```
!--- COS FUNCTION ---!  
    FUNCTION C(X)  
    COMMON PI  
    C=COS (PI/180*X)  
    RETURN  
    END  
!--- END OF COS FUNCTION ---!  
  
!--- SIN FUNCTION ---!  
    FUNCTION S(X)  
    COMMON PI  
    S=SIN (PI/180*X)  
    RETURN  
    END  
!--- END OF SIN FUNCTION ---!
```



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาคผนวก ข
ค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Input**กรณีศึกษาที่ 1**

		Type	Area(m ²)
Wall	N	F01E01 M01 E01 F02	9.0
	E	F01E01 M01 E01 F02	9.0
	S	F01E01 M01 E01 F02	9.0
	W	F01E01 M01 E01 F02	9.0
Roof		F01 M12 F03	9.0
Occupant		2	
Lighting		20 Watt/m ²	
Ventilation		9.4 l/s	
Inside Temperature		24 °C	
Inside Humidity Ratio		55 %	

กรณีศึกษาที่ 2

		Type	Area(m ²)
Wall	N	F01E01 M01 E01 F02	9.0
	E	F01E01 M01 E01 F02	6.0
	S	F01E01 M01 E01 F02	9.0
	W	F01E01 M01 E01 F02	6.0
Glass	E	6 mm	3.0
	W	6 mm	3.0
Roof		F01 M12 F03	9.0
Occupant		2	
Lighting		20 Watt/m ²	
Ventilation		9.4 l/s	
Inside Temperature		24 °C	
Inside Humidity Ratio		55 %	

Wall, Glass and Roof Properties

Wall

Hour	CTS	PRF
0	0.01019	0.02923
1	0.12294	0.35263
2	0.19261	0.55247
3	0.16643	0.47738
4	0.12819	0.36768
5	0.09639	0.27646
6	0.07209	0.20677
7	0.05385	0.15446
8	0.04022	0.11535
9	0.03003	0.08614
10	0.02243	0.06432
11	0.01675	0.04803
12	0.01250	0.03587
13	0.00934	0.02678
14	0.00697	0.02000
15	0.00521	0.01493
16	0.00389	0.01115
17	0.00290	0.00833
18	0.00217	0.00622
19	0.00162	0.00464
20	0.00121	0.00347
21	0.00090	0.00259
22	0.00067	0.00193
23	0.00050	0.00144
SUM	1.00000	2.86829

Roof

Hour	CTS	PRF
0	0.00698	0.01501
1	0.10310	0.22154
2	0.19286	0.41441
3	0.17915	0.38494
4	0.13924	0.29919
5	0.10319	0.22173
6	0.07542	0.16207
7	0.05490	0.11797
8	0.03992	0.08577
9	0.02901	0.06233
10	0.02108	0.04529
11	0.01532	0.03291
12	0.01113	0.02391
13	0.00809	0.01738
14	0.00588	0.01263
15	0.00427	0.00917
16	0.00310	0.00667
17	0.00225	0.00484
18	0.00164	0.00352
19	0.00119	0.00256
20	0.00086	0.00186
21	0.00063	0.00135
22	0.00046	0.00098
23	0.00033	0.00071
SUM	1.00000	2.14872

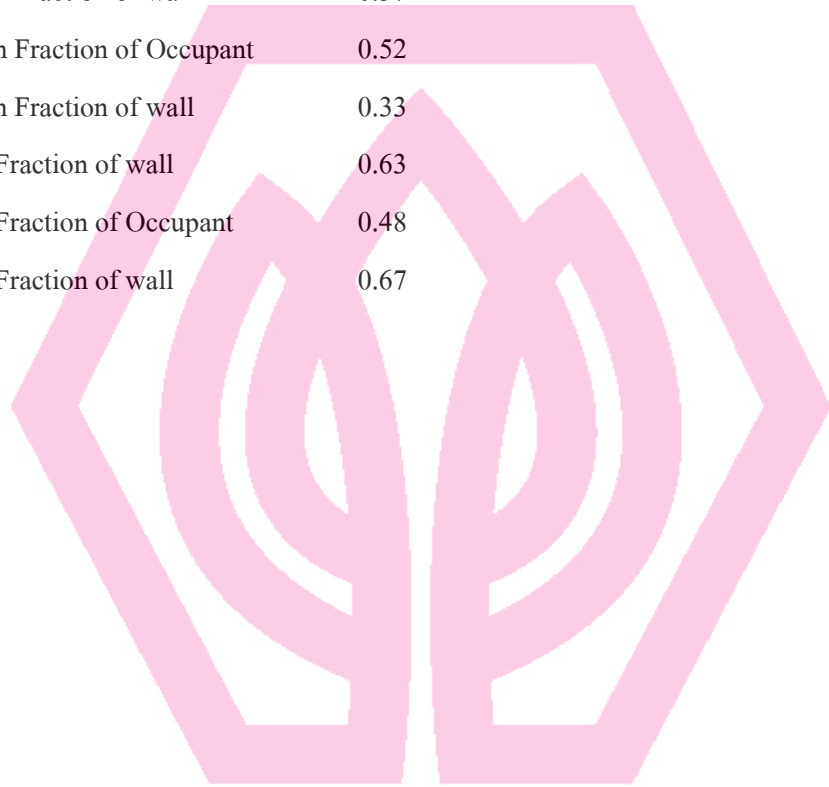
Glass

Room

Hour	CTS	PRF
0	0.97	5.69677
1	0.03	0.16685
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
SUM	1.00000	5.86

Hour	RTF	RTF(Solar)
0	0.39679	0.41491
1	0.06741	0.06597
2	0.05823	0.05740
3	0.05319	0.05230
4	0.04806	0.04709
5	0.04331	0.04230
6	0.03901	0.03798
7	0.03513	0.03411
8	0.03164	0.03064
9	0.02850	0.02752
10	0.02567	0.02473
11	0.02312	0.02223
12	0.02082	0.01998
13	0.01875	0.01796
14	0.01689	0.01615
15	0.01521	0.01452
16	0.01370	0.01306
17	0.01234	0.01174
18	0.01112	0.01056
19	0.01001	0.00950
20	0.00902	0.00855
21	0.00813	0.00769
22	0.00732	0.00692
23	0.00659	0.00623
SUM	1.00000	1.00000

Human Sensible Heat Gain	75	Watt
Human Latent Heat Gain	55	Watt
Air Density	1.2	kg/m ³
Specific Heat	1.0	kJ/kg K
Enthalpy of water	2500	kJ/kg
Convection Fraction of wall	0.37	
Convection Fraction of Occupant	0.52	
Convection Fraction of wall	0.33	
Radiation Fraction of wall	0.63	
Radiation Fraction of Occupant	0.48	
Radiation Fraction of wall	0.67	



มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	เทพฤทธิ์ ทองชุบ
วัน เดือน ปีเกิด	1 สิงหาคม พ.ศ. 2516
สถานที่เกิด	จังหวัด ปัตตานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 399/703 ซอย วิภาวดี 16/5 ถนน วิภาวดีรังสิต แขวง จอมพล เขต จตุจักร จังหวัด กรุงเทพฯ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีปทุม
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2547	วศ.ด.(วิศวกรรมเครื่องกล) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2541	วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537	วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY