

ผลกระทบของรังสีกระจายที่ผ่านทางช่องเปิดด้านทิศเหนือต่อสภาวะน่าสบายในอาคาร



นางสาว วนัสสุดา ไชยมนตรี

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0233-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECT OF DIFFUSE SOLAR RADIATION THROUGH NORTH FAÇADE
WINDOWS ON THERMAL COMFORT



Miss Wanatsuda Chaimontri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0233-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบจากรังสีกระจายที่ผ่านทางช่องเปิดด้านทิศเหนือต่อสภาวะ
นำสบายในอาคาร
โดย นางสาว วนัสสุดา ไชยมนตรี
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร
ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราโมทย์ แต่งเที่ยง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ปิยนุช เตาลานนท์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

วนัสสุดา ไชยมนตรี : ผลกระทบจากรังสีกระจายต่อสภาวะนำสบายในอาคาร (THE EFFECT OF DIFFUSE SOLAR RADIATION THROUGH WINDOWS ON THERMAL COMFORT) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค, 101 หน้า, ISBN 974-17-0233-7

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบเชิงความร้อนจากรังสีกระจายที่ผ่านทางช่องเปิดด้านทิศเหนือต่อสภาวะนำสบายในอาคาร ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีกรับอากาศภายในห้องนั้น เมื่อทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น สามารถนำมาเป็นแนวทางในการป้องกันอิทธิพลหรือผลกระทบจากความร้อนจากรังสีกระจายต่อสภาวะนำสบาย รวมทั้งยังศึกษาถึงตัวแปรที่มีความสำคัญต่อปริมาณรังสีกระจายที่จะผ่านทางช่องเปิดเข้ามาในอาคาร

กระบวนการศึกษา เริ่มจาก กำหนดห้องในอาคารเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา มีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร สูง 3.2 เมตร มีช่องเปิดด้านทิศเหนือเพียงด้านเดียว เป็นหน้าต่างแบบต่อเนื่องตลอดความยาวห้อง สูง 2.6 เมตร เป็นกระจกใส หน้า 6 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด 0.97 ด้านอื่นๆ เป็นผนังก่ออิฐทาสี และกำหนดตำแหน่งในการเก็บค่าข้อมูล 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 ห่างจากช่องเปิด 1.10 เมตร ตำแหน่งที่ 2 ห่างจากช่องเปิด 1.95 เมตร ตำแหน่งที่ 3 ห่างจากช่องเปิด 3.45 เมตร จากนั้นแบ่งการทดลองเป็น 3 แบบ โดยแบบที่ 1 มีพื้นที่ช่องเปิดเต็มความสูงช่องเปิด คิดเป็น 100 % ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลจะมีค่ามุมในแนวตั้งที่ตำแหน่งนั้นกระทำกับช่องเปิดต่างกัน โดยตำแหน่งที่ 1 ,2 และ 3 มีมุมที่กระทำกับช่องเปิด 60 องศา 45 และ 30 องศาตามลำดับ แบบที่ 2 มีพื้นที่ช่องเปิดลดลงเหลือ 50 % ตำแหน่งที่ 1 ,2 และ 3 มีมุมที่กระทำกับช่องเปิด 45 องศา 30 และ 18 องศาตามลำดับ แบบที่ 3 มีพื้นที่ช่องเปิดลดลงเหลือ 33 % ตำแหน่งที่ 1 , 2 และ 3 มีมุมที่กระทำกับช่องเปิด 30 องศา 18 และ 12 องศาตามลำดับ นำค่ามุม ณ ตำแหน่งนั้นๆ มาคำนวณหาปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าโดยใช้สมการการหาพื้นที่ของรูปทรงกลม จากนั้นทำการเก็บข้อมูลซึ่งได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมภายในห้อง ปริมาณรังสีกระจาย และ Globe temperature ณ ตำแหน่งที่กำหนดภายในห้อง ร่วมกับปริมาณรังสีกระจายและอุณหภูมิอากาศภายนอก เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการนำมาคำนวณหาค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ค่าดัชนีการโหวตเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ที่ทำนายความรู้สึกไม่สบาย เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น

ผลจากการศึกษาพบว่า ตัวแปรสำคัญต่อปริมาณรังสีกระจายที่จะผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในห้อง 4 ตัวแปร คือ ปริมาณรังสีกระจายภายนอก มุมในแนวตั้งที่ตำแหน่งนั้นๆ กระทำกับช่องเปิด ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าของตำแหน่งนั้นๆ และพื้นที่ช่องช่องเปิด และจะแปรผันตามกัน

คนที่นั่งทำงาน ณ ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งใกล้หน้าต่างมากที่สุดจะได้รับปริมาณความร้อนจากรังสีกระจายมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ที่ทำการเก็บข้อมูล ทำให้มีอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นคนที่นั่งทำงานใกล้หน้าต่างจะรู้สึกร้อนกว่าคนที่นั่งลึกเข้าไปภายในห้อง และหากต้องการให้คนที่นั่งทำงานตำแหน่งที่ 1 ใกล้หน้าต่าง มีความรู้สึกเชิงความร้อนหรือความรู้สึกสบายเท่ากับคนที่นั่งทำงานลึกเข้าไปในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3 นั้นในกรณีที่ไม่มีกรับอากาศ ตำแหน่งทั้งสองจะมีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.2 – 0.8 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 0.7 – 0.9 องศาเซลเซียส ต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 1 ลง 0.5 – 0.7 องศาเซลเซียส กรณีที่มีการปรับอากาศ ตำแหน่งทั้งสองมีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.2 – 0.8 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 1.2 – 1.6 องศาเซลเซียส ต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 1 ลง 0.7 – 0.8 องศาเซลเซียส

ภาควิชา	สถาปัตยกรรมศาสตร์	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาคาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2544	

4174199725 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD : DIFFUSE SOLAR RADIATION / THERMALCOMFORT /

WANATSUDA CHAIMONTRI : THE EFFECT OF DIFFUSE SOLAR RADIATION THROUGH WINDOWS ON THERMAL COMFORT, THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR THANIT CHINDAVANIC, pp.101 , ISBN 974-17-0233-7

The purpose of this research is to study the effect of diffuse solar radiation through North façade windows on thermal comfort. The experiments involved rooms with and without air-conditioning. This research also studies the variables, which cause the diffuse solar radiation inside the room as well. The knowledge gained from this study can be utilizes in design to prevent or reduce the effect of diffuse solar radiation.

In this study, a room in the building was set as a case study. The room was 6 x 8 square meters and 3.2 meters in height with one side of the strip window measured at 6 mm in thickness, single-glazing with shading coefficient 0.97 on the northern facade. The window spans through the width of the room measured at 2.6 meters in height. The rest of the walls were brick wall.

The positions for data collection were spread into 3 different positions. The first position was 1.10 meters, the second position was 1.95 meters and the third position was 3.45 meters away from the window. The experiments varied by the distance from the window area and the elevated angle (altitude angle) of the position with the window. The experiment number 1 was exposed to 100% of the window area; the positions deviated from the window for 60 degrees, 45 degrees and 30 degrees respectively. The experiment number 2 covered only 50% of the window area; the positions deviated from the window for 45 degrees, 30 degrees and 18 degrees respectively. The experiment number 3 covered only 33% of the window area; the positions deviated from the window for 30 degrees, 18 degrees and 12 degrees respectively.

With the angle for each position, the exposure of the sky-sight calculated from the sphere periphery formula. The air temperatures, relative humidity, wind speed, diffuse solar radiation and globe temperature measured for each position. The outside solar radiation and outside temperate also measured simultaneously for comparison. Then the mean radiant temperature, Predicted Mean Voted index and Percentage of Dissatisfied index can be calculated to evaluate the effects.

From the research result, the most influential factors on inside diffuse solar radian founded are outside diffuse solar radiation, elevated angle (altitude angle) of each position with the window, sky-sight exposure for each position and window area. It is also found that people working at the first position, closest to the window, will be most exposed to the diffuse solar radiation comparing to other test positions and this radiation caused higher mean radiant temperature. Therefore, people sitting closer to the window will experience more heat than those who are sitting further away. To adjust the equal thermal sensation for the first and third position in the room, can be done by reducing the air temperature at the first position. With non air-conditioning case, the difference of diffuse solar radiation for the first and third position are 0.2 - 0.8 Watt/m² and the mean radiant temperature differs for 0.7 – 0.9 degree Celsius, so the air temperature at the first position should be reduced for 0.5 – 0.7 degree Celsius. With the air-conditioning case, the difference of the diffuse solar radiation will be 0.2 – 0.8 Watt/m² and the mean radian temperature differs for 1.2 – 1.6 degree Celsius, so the air temperature should be reduced for 0.7 – 0.8 degree Celsius for the first position.

Department	Architecture	Student's signature.....
Field of study	Building Technology	Advisor's signature.....
Academic year	2001	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดา วณิด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และคำปรึกษาในการวิจัยมาโดยตลอด อาจารย์ ปิยนุช เตาลานนท์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งยังได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราโมทย์ แสงเที่ยง ประธานกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ และอาจารย์พรพนชลัท สุริโยธิน กรรมการ ที่ให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ คุณอัฐมี นิธิเสถียร และคุณพร ทิพา สุวรรณราชี สำหรับกำลังใจ กำลังใจและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ อาจารย์สุพัฒน์ บุญยฤทธิกิจ สำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับเครื่องมือและอาคารที่ใช้ ในการวิจัย

ทำยนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งให้ความห่วงใย ความเข้าใจและกำลังใจในการทำ วิทยานิพนธ์ รวมทั้งสนับสนุนในการศึกษาและเงินทุน จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอใจน้องสาวและน้องชายที่ เป็นกำลังใจ ขอขอบคุณ พี่ๆ และ เพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งร่างกายและแรงใจในการทำงานตลอดมา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
สารบัญแผนภูมิ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1	บทนำ.....1
1.1	ความเป็นมาของปัญหา.....1
1.2	วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....2
1.3	ขอบเขตของการวิจัย.....2
1.4	สมมติฐานในการวิจัย.....2
1.5	ระเบียบวิธีวิจัย.....2
1.6	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
บทที่ 2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1	ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อน.....4
2.1.1	การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์.....4
2.1.2	ค่าพลังงานแสงอาทิตย์บนระนาบระดับ.....6
2.1.3	การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์.....7
2.1.4	สภาพท้องฟ้า.....9
2.1.5	ปริมาณการเห็นท้องฟ้า.....10
2.2	หน้าต่าง.....12
2.2.1	ชนิดของหน้าต่าง.....12
2.2.2	คุณสมบัติของกระจก.....12
2.2.3	การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารที่เป็นช่องเปิดกระจก.....12
2.2.4	การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่าง.....13
2.3	สภาวะนำสบายเชิงความร้อน.....14
2.3.1	ความหมายของสภาวะนำสบายเชิงความร้อน.....14
2.3.2	ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อเงื่อนไขของสภาวะนำสบาย.....14
2.3.3	เงื่อนไขของสภาวะนำสบายเชิงความร้อน.....17
2.3.4	สมดุลทางความร้อน.....18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
	2.3.5 สมการความสบาย19
	2.3.6 ดัชนีทำนายนายการโหวตเฉลี่ย20
	2.3.7 เปอร์เซ็นต์ทำนายนายความรู้สึกละสบาย23
	2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง24
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย26
	3.1 วิธีดำเนินการวิจัย26
	3.1.1 การศึกษาทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง26
	3.1.2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเตรียมการทดลอง26
	3.1.3 การดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูล32
	3.1.4 การนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผล33
	3.1.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง33
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย34
	3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บข้อมูล 34
บทที่ 4	การประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูล36
	4.1 ผลการทดลอง การวิเคราะห์และอภิปรายผล36
	4.1.1 การทดลองห้องแบบที่ 1 สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ36
	4.1.2 การทดลองห้องแบบที่ 1 สภาวะที่มีการปรับอากาศ42
	4.1.3 การทดลองห้องแบบที่ 2 สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ47
	4.1.4 การทดลองห้องแบบที่ 2 สภาวะที่มีการปรับอากาศ53
	4.1.5 การทดลองห้องแบบที่ 3 สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ58
	4.1.6 การทดลองห้องแบบที่ 3 สภาวะที่มีการปรับอากาศ64
	4.1.7 ปริมาณการเห็นท้องฟ้า กับ ค่าปริมาณรังสีกระจาย69
	4.1.8 ปริมาณรังสีกระจายกับ Globe temperature71
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ75
	5.1 สรุปผลการวิจัย75
	5.2 ข้อเสนอแนะ81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	82
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าดัชนีทำนายการไหลตเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย	85
ภาคผนวก ข. สมการต่างๆ ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนและการสูญเสียความร้อน ของร่างกาย	87
ภาคผนวก ค. ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์โดยวิธีการ Regression	91
ประวัติผู้เขียน	101



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1.1 แสดง รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar radiation)	5
รูปที่ 2.1.2 แสดงค่า Angle Factor for horizontal and vertical surface	7
รูปที่ 2.1.3 แสดง Solar Angle สำหรับพื้นผิวแนวราบและแนว	8
รูปที่ 2.1.4 แสดง Solid angle และ steradians	11
รูปที่ 2.1.5 แสดงมุม Azimuth angle และ altitude angle or elevated angle	11
รูปที่ 2.3.1 แสดง dY/dL as a function of the metabolic rate	22
รูปที่ 2.3.2 แสดง PPD as function of PMV	23
รูปที่ 3.1.1 แสดงค่า Angle Factor for horizontal and vertical surface	27
รูปที่ 3.1.2 อาคารเรียนรวมและปฏิบัติการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	29
รูปที่ 3.1.3 ห้องสำหรับทดลองแบบที่ 1 และตำแหน่งการเก็บข้อมูลภายในอาคาร	30
รูปที่ 3.1.4 ห้องสำหรับทดลองแบบที่ 2 และตำแหน่งการเก็บข้อมูลภายในอาคาร	31
รูปที่ 3.1.5 ห้องสำหรับทดลองแบบที่ 3 และตำแหน่งการเก็บข้อมูลภายในอาคาร	32
รูปที่ 3.2.1 Data Logger OPUS 200/200i สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูล	33
รูปที่ 3.2.2 Globe ทองแดงทาสีดำวางบนขาตั้งกล้อ สำหรับวัดค่า Globe Temperature	34
รูปที่ 3.2.3 หัว Sensor Pyranometer และการต่อหัว Sensor Pyranometer กับ Data Logger OPUS 200/200i	34
รูปที่ 3.2.4 Data Logger OPUS 10 สำหรับเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์	34
รูปที่ 3.2.5 เครื่องมือวัดความเร็วลม Testo 450	35
รูปที่ 4.1.1 แสดงรูปตัดห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแบบที่ 1	36
รูปที่ 4.1.2 แสดงรูปตัดห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแบบที่ 2	47
รูปที่ 4.1.3 แสดงรูปตัดห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแบบที่ 3	58
รูปที่ 5.1.1 แสดงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจายภายในห้อง	75
รูปที่ 5.1.2 แสดงรูปตัดห้องและพื้นที่ช่องเปิดในแต่ละแบบของการทดลอง	76
รูปที่ 5.1.3 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 1A และ 1C ของห้องแบบที่ 1 ไม่มีการปรับอากาศ	77
รูปที่ 5.1.4 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 2A และ 2C ของห้องแบบที่ 2 ไม่มีการปรับอากาศ	78
รูปที่ 5.1.5 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 3A และ 3C ของห้องแบบที่ 3 ไม่มีการปรับอากาศ	78
รูปที่ 5.1.6 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 1A และ 1C ของห้องแบบที่ 1 มีการปรับอากาศ	79

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.1.7 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 2A และ 2C ของห้องแบบที่ 2 มีการปรับอากาศ	80
รูปที่ 5.1.8 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 3A และ 3C ของห้องแบบที่ 3 มีการปรับอากาศ	80



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 3.1.1	แสดงค่ามุมอัลติจูดที่แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ปี 2542	27
แผนภูมิที่ 4.1.1	แสดงค่าอุณหภูมิอากาศและ Globe temperature ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	37
แผนภูมิที่ 4.1.2	แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 1 (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	38
แผนภูมิที่ 4.1.3	แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	39
แผนภูมิที่ 4.1.4	แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	40
แผนภูมิที่ 4.1.5	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	41
แผนภูมิที่ 4.1.6	แสดงค่าอุณหภูมิอากาศและ Globe temperature ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)	42
แผนภูมิที่ 4.1.7	แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 1 (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	43
แผนภูมิที่ 4.1.8	แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)	44
แผนภูมิที่ 4.1.9	แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)	45
แผนภูมิที่ 4.1.10	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)	46
แผนภูมิที่ 4.1.11	แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)	48
แผนภูมิที่ 4.1.12	แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 2 (วันที่ 27 มีนาคม 2545)	49
แผนภูมิที่ 4.1.13	แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)	50
แผนภูมิที่ 4.1.14	แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)	51
แผนภูมิที่ 4.1.15	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)	52
แผนภูมิที่ 4.1.16	แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)	53
แผนภูมิที่ 4.1.17	แสดงค่ารังสีกระจายของห้องแบบที่ 2 (วันที่ 28 มีนาคม 2545)	54

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

แผนภูมิที่ 4.1.18	แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)	55
แผนภูมิที่ 4.1.19	แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)	56
แผนภูมิที่ 4.1.20	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)	57
แผนภูมิที่ 4.1.21	แสดงค่าอุณหภูมิอากาศและ Globe temperature ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)	59
แผนภูมิที่ 4.1.22	แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 3 (วันที่ 30 มีนาคม 2545)	60
แผนภูมิที่ 4.1.23	แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)	61
แผนภูมิที่ 4.1.24	แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)	62
แผนภูมิที่ 4.1.25	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)	63
แผนภูมิที่ 4.1.26	แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)	64
แผนภูมิที่ 4.1.27	แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 3 (วันที่ 29 มีนาคม 2545)	65
แผนภูมิที่ 4.1.28	แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)	66
แผนภูมิที่ 4.1.29	แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)	67
แผนภูมิที่ 4.1.30	แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)	68
แผนภูมิที่ 4.1.31	แสดงค่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle และ ค่าเฉลี่ยของปริมาณ รังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 1	69
แผนภูมิที่ 4.1.32	แสดงค่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle และ ค่าเฉลี่ยของปริมาณ รังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 2	70
แผนภูมิที่ 4.1.33	แสดงค่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle และ ค่าเฉลี่ยของปริมาณ รังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 3	70
แผนภูมิที่ 4.1.34	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)	71

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4.1.35	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)	71
แผนภูมิที่ 4.1.36	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)	72
แผนภูมิที่ 4.1.37	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)	72
แผนภูมิที่ 4.1.38	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)	73
แผนภูมิที่ 4.1.39	แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)	73



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1.1	สภาพท้องฟ้าตามปริมาณเมฆ (Cloud cover) 8 ส่วน	9
ตารางที่ 2.2.1	กระจกอ้างอิงมาตรฐานที่มุมตกกระทบทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM	12
ตารางที่ 2.3.1	แสดง Metabolic Rate ของลักษณะกิจกรรมต่างๆ	15
ตารางที่ 2.3.2	แสดงค่า Data for Different Clothing Ensembles	16
ตารางที่ 2.3.3	แสดงสมการต่างๆ ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนและการสูญเสีย ความร้อนของร่างกาย	19
ตารางที่ 2.3.4	แสดง Thermal Sensation scale for the PMV Index	20
ตารางที่ 2.3.5	แสดง Connection between Mean Vote and Ambient Temperature at Four Activity Levels	22
ตารางที่ 3.1.1	แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิด และค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 1	30
ตารางที่ 3.1.2	แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิด และค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 2	31
ตารางที่ 3.1.3	แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิด และค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 3	32
ตารางที่ 4.1.1	แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 1	36
ตารางที่ 4.1.2	แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 2	47
ตารางที่ 4.1.3	แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 3	58
ตารางที่ 4.1.4	แสดงตำแหน่งภายในห้อง ระยะห่างจากช่องเปิด ค่ามุมที่ตำแหน่งนั้นกระทำกับช่องเปิด และปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า (ใช้ Solid angle เป็นตัวแทน)	69
ตารางที่ 5.1.1	แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Solid angle กับปริมาณรังสีกระจาย	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เปลือกของอาคาร (Building envelope) เป็นส่วนของอาคารที่กั้นระหว่างสภาวะที่ควบคุมได้ภายในออกจากสภาวะที่ควบคุมไม่ได้ภายนอก เปลือกอาคารมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นผนังทึบและส่วนที่เป็นช่องเปิด

ช่องเปิดหรือหน้าต่าง (Windows) ที่เป็นกระจกของอาคาร ซึ่งเป็นแหล่งของแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพและทำให้ผู้ใช้สอยอาคารมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพภายนอกอาคาร ทั้งยังเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารอีกด้วย ซึ่งความร้อนนี้จะมีผลต่อสภาพอากาศภายในอาคาร รังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวของช่องเปิดนั้นมีด้วยกัน 3 ประเภทคือ รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct solar radiation) รังสีกระจายจากท้องฟ้า (Diffuse solar radiation) และรังสีสะท้อนจากพื้นดินและสภาพแวดล้อม (Reflected solar radiation) โดยรังสีเหล่านี้เป็นรังสีคลื่นสั้น (Short wave) เมื่อทะลุผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคารกระทบกับวัสดุหรือพื้นผิวภายในจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Long wave) และไม่สามารถผ่านกระจกกลับออกไปได้ ทำให้สะสมเกิดเป็นความร้อนภายในอาคาร มีผลทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้น เป็นการเพิ่มภาระในการทำความเย็นและสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

ในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้นแบบประเทศไทยนั้น มีหลักการในการออกแบบช่องเปิดโดยให้มีการบังแดดหรือรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความร้อนในอาคาร แต่ด้วยสภาพท้องฟ้าในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นแบบมีเมฆบางส่วน รังสีตรงกระทบกับก้อนเมฆและละอองไอน้ำในบรรยากาศ ทำให้มีรังสีกระจายเกิดขึ้นในปริมาณมากกว่าแบบท้องฟ้าแจ่มใส ซึ่งรังสีในส่วนนี้ก็มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารเช่นกัน

จากข้อมูลทางสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยาของค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (Global Solar Radiation) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524-2541 พบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 348.1 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายน 453.8 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับค่าพลังงานรังสีกระจาย (Diffused Solar Radiation) พบว่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 123.7 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยมีค่าสูงสุดในเดือนตุลาคม 168 วัตต์ต่อตารางเมตร

การออกแบบอาคารในประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่จะออกแบบให้ช่องเปิดด้านทิศเหนือไม่มีการบังแดด เนื่องจากค่ามุมอัลติจูด (altitude) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 90 องศา นั้นหมายความว่า ดวงอาทิตย์ไม่เดินทางอ้อมไปทางทิศเหนือหรือน้อยมาก ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดทางด้านทิศเหนือเข้าไปในอาคารจึงได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจายเป็นส่วนใหญ่ และเนื่องด้วยปริมาณรังสีกระจายที่ตกกระทบบนระนาบใดๆ นั้นสัมพันธ์กับปริมาณการเห็น (see) ท้องฟ้า โดยพื้นที่ในระนาบแนวนอนจะได้รับปริมาณรังสีกระจายจากท้องฟ้ามากกว่าพื้นผิวในระนาบแนวตั้ง เนื่องจากพื้นผิวในระนาบแนวนอนนั้น เห็นท้องฟ้าทั้งหมด ในขณะที่พื้นที่ในระนาบแนวตั้งเห็นท้องฟ้าเพียงครึ่งเดียว จะเห็นได้ว่าการเห็นท้องฟ้าของพื้นผิวนั้นมีความสำคัญต่อปริมาณรังสีกระจายที่ตกกระทบบนพื้นผิวนั้นๆ

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ผ่านเข้ามาในอาคาร
2. ศึกษาผลกระทบเชิงความร้อนของรังสีกระจายที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร
3. ศึกษาแนวทางในการออกแบบช่องเปิดที่สามารถป้องกันผลกระทบจากรังสีกระจาย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะรังสีกระจายจากท้องฟ้า (Sky diffuse solar radiation) ที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาในอาคาร
2. เลือกลงใช้ห้องที่มีช่องเปิดทางด้านทิศเหนือเป็นห้องที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากทิศเหนือเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจายเท่านั้น
3. ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นตัวแทนของสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น

1.4 สมมติฐานในการวิจัย

ปริมาณการเห็น (see) ท้องฟ้าของตำแหน่งใดๆ ภายในอาคารมีผลต่อปริมาณรังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ตำแหน่งนั้นๆ ได้รับ และปริมาณรังสีกระจายจากท้องฟ้ามีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อน รวมทั้งสภาวะน่าสบายเชิงความร้อน
2. วิเคราะห์ข้อมูล เพื่อทำการเตรียมการทดลอง
 - 2.1 กำหนดสภาพการใช้งานในอาคาร เป็น 2 แบบ คือ
 - สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ
 - สภาวะที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาที่มีการใช้งานในอาคาร ตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น.
 - 2.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อออกแบบการทดลองตามสภาพการใช้งานที่กำหนดไว้ โดยเริ่มจากการกำหนดตัวแปรในการวิจัย ประเภทของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการวิจัยเพื่อทำการเก็บค่า ตลอดจนการออกแบบหน่วยการทดลองที่ใช้ในการศึกษา
3. ดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูลตามประเภทของข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ไว้
4. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผล
5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบตัวแปรสำคัญและผลกระทบของตัวแปรนั้นๆ ต่อปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างของอาคาร
2. ทำให้ทราบถึงผลกระทบทางความร้อนที่เกิดขึ้นจากรังสีกระจายที่เข้ามาทางหน้าต่างของอาคารต่อสภาวะน่าสบายในอาคาร
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบอาคารในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาในเรื่องผลกระทบของรังสีกระจายที่ผ่านทางช่องเปิดของอาคารต่อสภาวะน่าสบายในอาคาร จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณรังสีกระจายที่จะผ่านเข้าสู่อาคารทางช่องเปิด ลักษณะและวัสดุของช่องเปิด สภาวะน่าสบายเชิงความร้อนภายในอาคารและตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรังสีกระจาย

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อน

2.1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังบรรยากาศโลก มี 2 ชนิด คือ

1. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (Solar Radiation) การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นี้ เกิดจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงของดวงอาทิตย์แผ่รังสีในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแลกเปลี่ยนกับพื้นผิวโลก ในช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต 0.29 μm – 0.40 μm , ช่วงแสงสว่าง 0.4 μm – 0.7 μm และช่วงใกล้อินฟราเรด 0.7 μm – 3.5 μm (The Ultra Violet, Visible and Near Infra-Red Regions) โดยเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การแผ่รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) คิดเป็นสัดส่วนของปริมาณพลังงานเท่ากับ 7%, 39% และ 52% ตามลำดับ

ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่แผ่ออกโลกจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากแกนโลกที่เอียง และวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นวงรี โดยจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,370 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าสูงสุดประมาณ 1,418 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 3 มกราคม และค่าต่ำสุดประมาณ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ที่สุดประมาณวันที่ 4 กรกฎาคม

2. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จากพื้นผิวโลก (Terrestrial Radiation) คือ การแผ่รังสีความร้อนจากบรรยากาศและวัตถุบนพื้นผิวโลก ในช่วงคลื่นแสงเหนืออินฟราเรด (The Far Infra-Red Regions) โดยเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การแผ่รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation)

ประเภทของรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) สามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. รังสีคลื่นสั้นที่แผ่ลงมาโดยตรง
2. รังสีกระจาย คือรังสีตรงที่เกิดขึ้นจากการผ่านชั้นบรรยากาศ และถูกทำให้กระจัดกระจายเนื่องจากฝุ่นละอองและโมเลกุลของอากาศ โดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 15% ของปริมาณรังสีทั้งหมดในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส แต่หากเป็นวันที่มีเมฆมาก
3. รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมและบริเวณใกล้เคียง
4. รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนออกมาจากพื้นและวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ

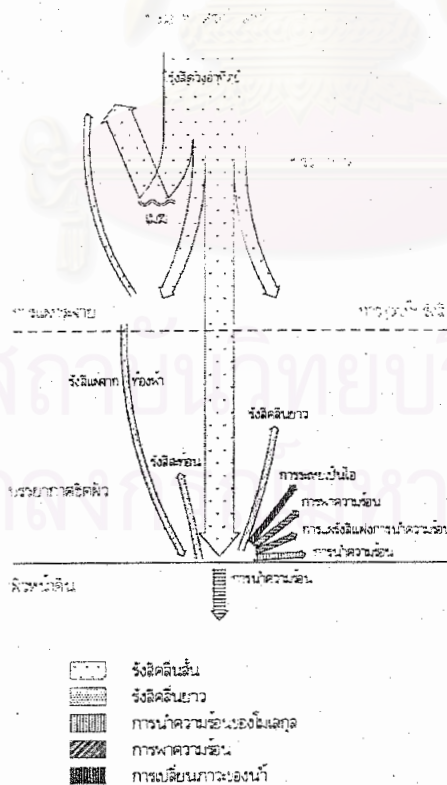
5. รังสีคลื่นยาวที่เกิดจากการสูญเสียความร้อนของวัตถุให้แก่ท้องฟ้าในตอนกลางคืน

จากรังสีทั้ง 5 ประเภท สามารถแยกออกเป็นรังสี 2 ประเภท คือ

1. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave) คือ รังสีความร้อนที่มีอยู่ในแสงสว่าง เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ รังสีชนิดนี้มีคุณสมบัติ คือ เป็นรังสีที่สามารถมองเห็นได้เฉพาะบางช่วงของความยาวคลื่น (Wave Length) คือ 380 – 780 นาโนเมตร มีอุณหภูมิสูง สามารถทะลุผ่านกระจก รวมทั้งสามารถสะท้อนได้ดี รังสีคลื่นสั้นนั้นสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทย่อย คือ

- รังสีอุลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) หรือรังสี UV มีความยาวคลื่นระหว่าง 290 – 380 นาโนเมตร
- รังสีแสงที่มนุษย์มองเห็น (Visible Light) มีความยาวคลื่นระหว่าง 380 – 780 นาโนเมตร เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ทำให้สามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้
- รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Short Wave Infrared) มีความยาวคลื่นระหว่าง 780 – 3000 นาโนเมตร

2. รังสีคลื่นยาว (Long Wave) คือ รังสีที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีคลื่นสั้นกระทบกับวัตถุที่บดบังแสง หรือส่งผ่านวัตถุ หรือส่งผ่านวัตถุไป รังสีคลื่นสั้นจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว โดยมีความยาวคลื่นประมาณ 3000 นาโนเมตร มีผลทำให้วัตถุนั้น ๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้น รังสีชนิดนี้จะเป็นรังสีที่มองไม่เห็น และสะท้อนได้ดีสำหรับวัสดุที่มีผิวมัน ทั้งยังมีค่าพลังงานความร้อนมากกว่ารังสีคลื่นยาว



รูปที่ 2.1.1 แสดง รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar radiation) (ที่มา สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 33)

2.1.2 ค่าพลังงานแสงอาทิตย์บนระนาบระดับ

โดยทั่วไป ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ผิวอาคารและภายในอาคาร มักเกิดโดย Solar Radiation เป็นหลัก ส่วน Terrestrial Radiation นั้นมีจำนวนน้อยมาก เนื่องจากปริมาณที่รับและส่งออกมาจากพื้นผิวเกือบใกล้เคียงกัน

พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม (Global Solar Radiation) คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงและแบบรังสีกระจายที่รับได้บนระนาบ (โดยทั่วไป จะวัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมบนระนาบระดับ ต่อหน่วยเวลา-หน่วยพื้นที่) (I_T)

โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้
$$I_T = I_D + I_d + I_r \quad \text{Btu/hr.ft}^2 \quad (2.1.1)$$

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นผิวใดๆ มาจาก 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง (Direct Solar Radiation) คือ พลังงานที่รับได้โดยตรงจากดวงอาทิตย์ โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึงหน่วยรับบนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง (I_D)

พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรง สามารถคำนวณหาพลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงได้จาก

$$I_D = I_{dn} \cdot \cos \theta \quad \text{Btu/hr. ft.}^2 \quad (2.1.2)$$

(เมื่อ θ = มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์)

โดย I_{dn} = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบระดับ

2. พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse Radiation) คือ พลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นแสงอาทิตย์ไว้ (I_d)

พื้นผิวในแนวอนนนั้นจะมีปริมาณของรังสีกระจายตกกระทบได้มากกว่าในพื้นผิวแนวตั้ง เนื่องจากพื้นผิวแนวอนนนั้นเห็น(see)ท้องฟ้าได้ทั้งหมด ในขณะที่พื้นผิวในแนวตั้งนั้นเห็น(see)ท้องฟ้าได้เพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น

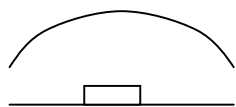
$$I_d = C \cdot I_{dn} \cdot F_{ss} \quad \text{Btu/h.ft}^2 \quad (2.1.3)$$

โดยที่ C = Diffuse Radiation Factor = $(1-F_1)[(1+\cos\beta)/2]$

F_1 = Circumsolar Brightness Coefficient

β = The inclination angel of the surface with respect to the horizontal

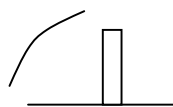
F_{ss} = $(1.0 + \cos\Sigma) / 2$ โดย Σ คือ มุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า



Angle factor for horizontal surface

$$E_{ss} = (1 + \cos 0) / 2 = 1.0$$

$$F_{sg} = (1 - \cos 0) / 2 = 0$$



Angle factor for vertical surface

$$F_{ss} = (1 + \cos 90) / 2 = 0.5$$

$$F_{sg} = (1 - \cos 90) / 2 = 0.5$$

รูปที่ 2.1.2 แสดงค่า Angle Factor for horizontal and vertical surface

3. พลังงานแสงอาทิตย์ที่เนื่องมาจากแสงสะท้อน (I_r : Reflected Solar Radiation from Surrounding Surface) เป็นพลังงานที่ได้รับจากพื้นผิวที่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบและสะท้อนกลับ

พลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบบนพื้นสามารถคำนวณได้จาก

$$I_{th} = I_{dn} * (C + \sin \beta) \quad \text{Btu/h.ft}^2 \quad (2.1.4)$$

และพลังงานที่สะท้อนจากพื้นไปยังผนัง สามารถคำนวณได้จาก

$$I_{dg} = I_{th} * 0_g * F_{sg} \quad \text{Btu/h.ft}^2 \quad (2.1.5)$$

โดยที่ 0_g = Ground Albedo (0.1 สำหรับดินสีเข้ม 0.2 สำหรับพีชคลุมดิน 0.3 สำหรับดินหรือวัสดุสีอ่อน)

$$F_{sg} = (1.0 - \cos \Sigma) / 2$$

ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมจากสมการที่ (2.1.1) จึงเท่ากับ

$$I_t = (I_{dn} \cos \theta) + (C * I_{dn} * F_{ss}) + (I_{dn} * 0_g * F_{sg}) \quad (2.1.6)$$

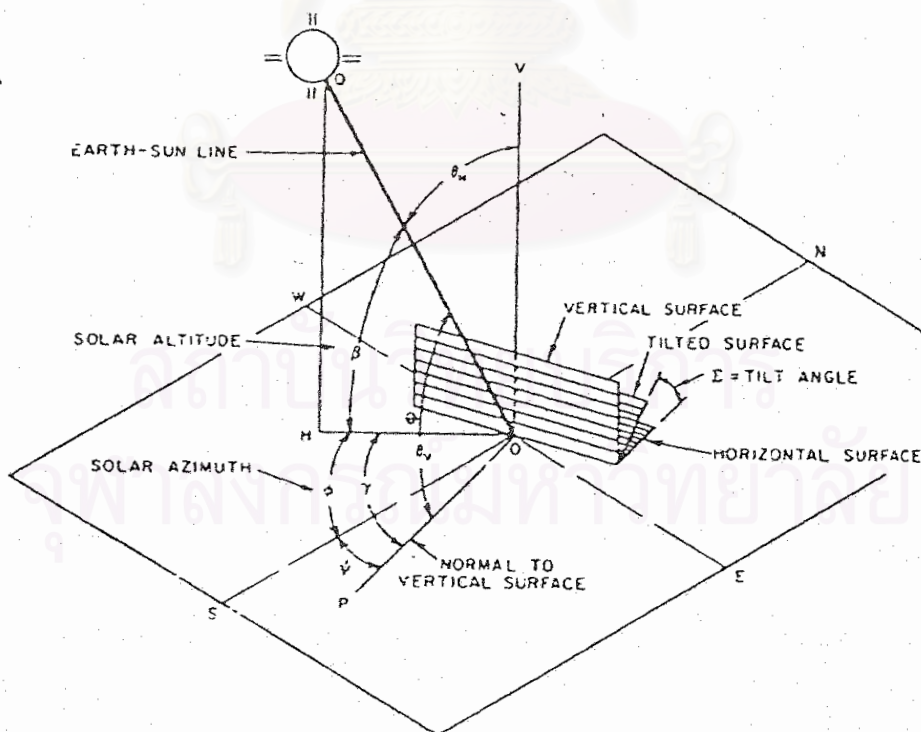
2.1.3 การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ในการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อให้่ายต่อการพิจารณาจะถือเสมือนว่าโลกอยู่กับที่และดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อยู่ในระดับพิกัด ซึ่งถือว่าโลกเป็นจุดกำเนิดการโคจรของโลกและหมุนแกนหมุนของโลกเป็นมุม 23.5 องศา ดังนั้นผู้ที่อยู่บนโลกจะเห็นดวงอาทิตย์โคจรจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก พิกัดระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์คือ มุมอัลติจูดและมุมอาซิมูทของดวงอาทิตย์

มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

1. มุมอัลติจูด (Solar altitude angle) คือมุมแนวตั้งของดวงอาทิตย์เหนือระนาบขอบฟ้า ในซีกโลกเหนือช่วงเวลากลางวัน มุมอัลติจูดจะมีค่ามากที่สุดที่ฤดูร้อน และมีค่าน้อยที่สุดในฤดูหนาว ค่าที่มากที่สุดในแต่ละประเทศจะไม่เท่ากันโดยเปลี่ยนแปลงตามละติจูดของที่ตั้งแต่ละประเทศ

2. มุมอาซิมุท (Solar azimuth angel) คือมุมแนวอนของดวงอาทิตย์ซึ่งวัดจากทิศใต้ กำหนดให้มีค่าเป็นลบทางทิศตะวันออกในช่วงก่อนเที่ยงและมีค่าเป็นบวกทางทิศตะวันตกเวลาหลังเที่ยง
3. มุมชั่วโมง (Solar hour angel) คือ มุมที่เกิดจากแนวฉายของเส้นที่ลากจากศูนย์กลางของโลกไปยังตำแหน่งใดๆ บนผิวโลกทำกับแนวต่อระหว่างศูนย์กลางของโลกและดวงอาทิตย์ที่เวลาเที่ยงสุริยะ ที่เวลาเที่ยงสุริยะ มุมนี้จะเป็นศูนย์และจะเพิ่มเป็น 15 ทุกๆ ชั่วโมง โดยทางด้านเวลาเช้าจะเป็นลบ และเวลาทางบ่ายจะเป็นบวก
4. เดคลิเนชัน δ (Declination) คือ มุมที่เกิดระหว่างแนวต่อศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์สูตร เมื่อเวลาเที่ยงสุริยะ โดยทางเหนือของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวก ทางใต้ของระนาบศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ มีค่าระหว่าง $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$
5. เส้นรุ้ง ϕ (Latitude) คือ ตำแหน่งเชิงมุมทางเหนือหรือใต้ของเส้นศูนย์สูตร โดยทางเหนือของเส้นศูนย์สูตรมีค่าเป็นบวก ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรมีค่าเป็นลบ ซึ่งมีค่าระหว่าง $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
6. มุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ (Angle of incidence) θ คือ มุมที่เกิดจากแนวของแสงอาทิตย์ทำกับแนวของเส้นตั้งฉากของระนาบ
7. มุมเซนิต (Zenith Angle) คือ มุมระหว่างแนวของลำแสงอาทิตย์ที่ทำกับแนวตั้ง
8. มุมเอียงของระนาบ (Slope) β คือ มุมของระนาบที่ทำกับแนวระดับมีค่าระหว่าง $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ (เมื่อ $\beta > 90^\circ$ แสดงว่าระนาบหันหน้าลง)



รูปที่ 2.1.3 แสดง Solar Angle สำหรับพื้นผิวแนวราบและแนวตั้ง (ที่มา ASHARE, 1997: 29.16)

2.1.4 สภาพท้องฟ้า

สภาพท้องฟ้า แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ สภาพท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky), สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วน (partly cloudy sky) และสภาพท้องฟ้าเมฆเต็มท้องฟ้า (overcast sky)

ค่าปริมาณรังสีกระจายนั้น ขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นส่วนสำคัญ โดยจะมีค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า โดยในภาวะท้องฟ้าแจ่มใส โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 100 W/m^2 แต่ในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆมากจะมีค่าอยู่ในช่วง $300 - 600 \text{ W/m}^2$

การแบ่งสภาพท้องฟ้าของกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 2.1.1 สภาพท้องฟ้าตามปริมาณเมฆ (Cloud cover) 8 ส่วน

ปริมาณเมฆ	สภาพท้องฟ้า
มีเมฆน้อยกว่า 1 ส่วน	ท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky)
มีเมฆตั้งแต่ 1 ส่วนขึ้นไปแต่ไม่ถึง 3 ส่วน	มีเมฆบางส่วน (Partly Cloudy Sky)
มีเมฆตั้งแต่ 3 ส่วนขึ้นไปถึง 5 ส่วน	มีเมฆเป็นส่วนมาก (Cloudy Sky)
มีเมฆตั้งแต่ 6 ส่วนขึ้นไปถึง 7 ส่วน	มีเมฆมาก (Very Cloudy Sky)
มีเมฆ 8 ส่วน	เมฆเต็มท้องฟ้า (Over cast Sky)

ที่มา : กองอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร รหัส:2543

สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์,ศ.ดร.;2542 จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ได้ทำการวิจัยและแบ่งสภาพท้องฟ้าในประเทศไทยโดยอ้างอิงวิธีการแบ่งสภาพท้องฟ้าคือ วิธีอัตราส่วนท้องฟ้าจาก The Illuminating Engineering Society of North America: IESNA ซึ่งใช้อัตราส่วนของรังสีกระจาย (diffuse radiation) ต่อรังสีรวม (global radiation/total radiation) โดยสรุปจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีจากท้องฟ้าบนระนาบนอน ถ้าอัตราส่วนของท้องฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 คือ มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับศูนย์ อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะไม่ถูกต้องถ้ามุมอัลติจูดมีค่าต่ำและสรุปผลการวิจัยว่า

- 1.การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และความสว่างจากท้องฟ้าในประเทศไทยมีค่าสูงตลอดปีและมีรูปแบบเหมือนกัน
2. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และความสว่างจากท้องฟ้ามีความเข้มสูง โดยเฉพาะในฤดูหนาว
- 3.ผลของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และความสว่างจากท้องฟ้าบนระนาบตั้งขึ้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์
4. จากข้อมูลความถี่ของอัตราส่วนท้องฟ้าตลอดปี 2542 พบว่าสภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทย คือ ท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน

2.1.5 ปริมาณการเห็นท้องฟ้า

พื้นผิวในแนวอนนนั้นจะมีปริมาณของรังสีกระจายตกกระทบได้มากกว่าในพื้นผิวแนวตั้ง เนื่องจากพื้นผิวแนวอนนนั้นเห็นท้องฟ้าได้ทั้งหมด ในขณะที่พื้นผิวในแนวตั้งนั้นเห็นท้องฟ้าได้เพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น

จากข้อความข้างต้น จะเห็นได้ว่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้าของพื้นที่ใดๆ เป็นตัวแปรสำคัญในการได้รับปริมาณรังสีกระจายของพื้นผิวนั้นๆ จึงต้องมีการคำนวณหาปริมาณการเห็นท้องฟ้าเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและสรุปผลการทดลอง

เนื่องจากบรรยากาศ และท้องฟ้าที่ห่อหุ้มโลกนั้น ถือว่ามีลักษณะเป็นทรงกลมเช่นเดียวกับโลก ดังนั้นในการหาปริมาณการเห็นท้องฟ้าของตำแหน่งใดๆ ภายในอวกาศ จึงใช้วิธีการเดียวกันกับการหาพื้นที่ผิวของรูปทรงกลมในการคำนวณ

1. การหาค่าปริมาณการเห็นท้องฟ้า จะคิดเปรียบเทียบกับปริมาณพื้นที่ของรูปทรงกลม (sphere)

การคำนวณค่าปริมาณพื้นที่ของทรงกลม

$$da = r^2 \sin\phi d\theta d\phi \quad (2.1.7)$$

$$= \int_{\phi_1}^{\phi_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} (r^2 d\phi \sin\theta d\theta) \quad (2.1.8)$$

$$= r^2 \int_{\phi_1}^{\phi_2} d\phi \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\sin\theta d\theta) \quad (2.1.9)$$

$$= r^2 (\phi_2 - \phi_1) [-\cos\theta_2 - (-\cos\theta_1)] \quad (2.1.10)$$

$$\text{ดังนั้นพื้นที่ของทรงกลม (a) = } r^2 (\phi_2 - \phi_1) (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (2.1.11)$$

เมื่อ a = พื้นที่ของทรงกลม

r = รัศมีของทรงกลม (radius)

ϕ = มุมกวาดในแนวระนาบ (Azimuth angle)

θ = มุมก้มในแนวตั้ง (Altitude angle or elevated angle)

2. หน่วยในการวัดค่าพื้นที่ผิวของทรงกลม

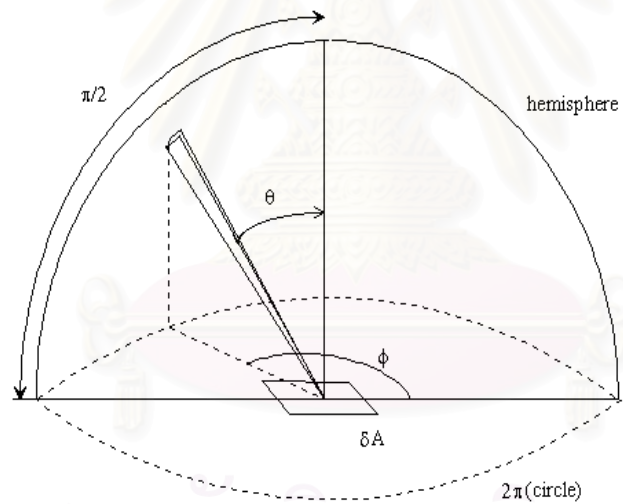
Solid angle คือ หน่วยในการวัดค่าพื้นที่ผิวของทรงกลม (sphere) มีหน่วยเป็น steradians โดย

$$\text{Solid angle } (\Omega) = \frac{\text{พื้นที่ผิวของทรงกลม}}{(\text{รัศมีของทรงกลม})^2} \quad (2.1.12)$$

รูปทรงกลมใดๆ จะมีค่าพื้นที่ผิว เท่ากับ $4\pi r^2$

ดังนั้นรูปทรงกลมใดๆ จะมีค่า solid angle เท่ากับ 4π steradians

รูปที่ 2.1.4 แสดง Solid angle และ steradians



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.1.5 แสดงมุม Azimuth angle และ altitude angle or elevated angle

2.2 หน้าต่าง (Window)

เปลือกของอาคาร (Building envelope) ทั้งส่วนที่เป็นผนังทึบและช่องเปิดหรือหน้าต่าง เป็นส่วนที่แยกส่วนของภายนอกและภายในอาคาร ทำให้ภายในอาคารสามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ หน้าต่างส่วนใหญ่จะใช้กระจกเป็นวัสดุหลัก หน้าต่างกระจกจะให้แสงธรรมชาติและความร้อนผ่านเข้ามาในอาคาร

2.2.1 ลักษณะของหน้าต่าง สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. หน้าต่างแบบต่อเนื่อง (Strip window) คือ หน้าต่างยาวตลอดผนังด้านที่พิจารณา
2. หน้าต่างไม่ต่อเนื่อง (Punched window) คือ หน้าต่างที่มีการเจาะช่องหน้าต่างเว้นช่อง ไม่ต่อเนื่องตลอดแนวผนังที่พิจารณา

2.2.2 คุณสมบัติของกระจก

1. ค่าการส่องผ่านแสงธรรมชาติ (Visible transmittance) กระจกที่มีค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติสูง เช่น กระจกใสให้แสงธรรมชาติได้เพียงพอ แต่เกิดปัญหาแสงจ้า
2. ค่าการสะท้อนแสงธรรมชาติ (Visible reflectance) กระจกสะท้อนแสงธรรมชาติทั้งภายในและภายนอก มีลักษณะเรียบและใช้โลหะเคลือบ เพื่อเพิ่มการสะท้อนแสง ทำการส่องผ่านแสงลดลง
3. ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจก (Solar Heat Gain Coefficient: SHGC หรือ Shading Coefficient: SC) เป็นตัวชี้ถึงปริมาณความร้อนเพิ่มทั้งหมด ค่า SC เป็นอัตราส่วนของแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านความร้อนโดยเทียบกับกระจกใส 3 มม. ภายใต้สภาวะเดียวกัน มีค่าระหว่าง 0.9 – 0.1

ตารางที่ 2.2.1 กระจกอ้างอิงมาตรฐานที่มุมตกกระทบทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM

กระจกใส มาตรฐาน	ค่าการส่องผ่าน (T)	ค่าการสะท้อน (P)	ค่าดูดกลืน (α)	ส.ป.ส.การบังเงา (SC)	ส.ป.ส.ความร้อนเพิ่ม (SHGC)
	0.86	0.08	0.06	1.0	0.87

2.2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารประเภทโปร่งแสง

ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารประเภทโปร่งแสง เช่น กระจก ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่าง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และมุมตกกระทบ ความเร็วและทิศทางของลมที่ผิวภายนอกและภายในของกระจก อุณหภูมิแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

การหาค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านทางช่องเปิดกระจกนั้น เนื่องจากพลังงานความร้อนนี้มีการถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร 2 แบบ คือ แบบการนำความร้อน และแบบการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งมีสมการในการคำนวณหาค่าดังนี้

1. แบบการนำความร้อน มีสมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$Q = U \times A \times (T_i - T_o) \quad (2.2.1)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา (Btu/h.)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-Value) (Btu/h. ft² °F)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft²)

T_i = อุณหภูมิที่สูงกว่า (°F)

T_o = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (°F)

2. แบบการแผ่รังสีความร้อน มีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$Q = A \times SC \times SGHF \times CLF \quad (2.2.2)$$

เมื่อ

Q = ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา (Btu/h.)

A = พื้นที่ของเปลือกอาคารที่ถ่ายเทความร้อน (ft²)

$SGHF$ = Maximum Solar Heat Gain Factor for Specific Orientation of Surface, Latitude, and Month

CLF = Cooling Load Factor with No Interior Shading

ดังนั้น ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารประเภทโปร่งแสง เช่น กระจก เข้ามาภายในอาคารทั้งหมดในเวลาหนึ่ง ๆ คือ ผลรวมของพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทแบบการนำความร้อน และแบบการแผ่รังสีความร้อน ดังนี้

$$Q = [U \times A \times (T_i - T_o)] + [A \times SC \times SGHF \times CLF] \quad (2.2.3)$$

2.2.4 การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่าง แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด

สำหรับหน้าต่างที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ (Transmittance coefficient) ขึ้นกับ hourly value ของรังสีดวงอาทิตย์เพื่อให้ได้ค่าการส่งผ่านที่ต้องการ โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์นี้ขึ้นกับ Incident angle ของรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากมีความแตกต่างของค่า Incident angle ทำให้ รังสีตรงและรังสีกระจายถูกนำมาคิดแยกกันเมื่อพิจารณาค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์

ถ้าหากคิดค่า Incident isotropic diffuse sky radiation แบบรวมในทุกๆ ค่ามุม จะได้ว่า effective incidence angle มีค่าประมาณ 60 องศา สำหรับพื้นผิวในแนวตั้งและแนวนอน (Duffie and Beckman, 1991)

2. การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดด

จะแตกต่างกับหน้าต่างที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 2 กรณี คือ

- ปริมาณรังสีตรงและ Circumsolar diffuse radiation จะลดลง เนื่องจากหน้าต่างอยู่ในร่มเงา
- Isotropic diffuse sky radiation จะลดลงเนื่องจาก พื้นที่การมองเห็นท้องฟ้าของหน้าต่าง (field of view of the sky) ลดลง เพราะอุปกรณ์บังแดด

2.3 สภาวะสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort)

2.3.1 ความหมายของสภาวะสบายเชิงความร้อน

จากคำจำกัดความของ Thermal comfort ใน 1997 ASHRAE Handbook ความหมายที่ยอมรับกันโดยทั่วไปของ สภาวะสบายเชิงความร้อน คือ เงื่อนไขทางด้านจิตใจที่แสดงออกถึงความพึงพอใจต่อสภาพสิ่งแวดล้อมทางความร้อนของมนุษย์ (ASHARE :1997)

หรือ จากคำจำกัดความในหนังสือ Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 8th Edition สภาวะสบายเชิงความร้อน หมายถึง สภาวะที่คนเราไม่รู้สึกอยู่ในสภาวะไม่สบาย หรือไม่รู้สึกว่าตัวเองมีการสูญเสียความร้อน หรือได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อม เป็นสภาวะสมดุลทางอุณหภูมि หรือระหว่างร่างกายกับสภาวะแวดล้อม (Reynolds and Stein: 1992)

จุดประสงค์การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมทางความร้อนให้เป็นสภาวะสบายเชิงความร้อน คือให้คนมีความรู้สึกสบาย พึงพอใจกับสภาพสิ่งแวดล้อมนั้น ไม่รู้สึกร้อน หรือหนาวจนเกินไป สภาวะสบายทางความร้อนนี้ สามารถตัดสินได้จากประสาทสัมผัสของคน และแต่ละคนมีความรู้สึกต่อสภาพสิ่งแวดล้อมไม่เหมือนกันถึงแม้จะอยู่ในสถานที่หรือในห้องเดียวกันก็ตาม ทั้งนี้การทำงาน การใช้ความคิด และการเข้าใจ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่ออยู่ในองค์ประกอบที่มีสภาวะสบายเชิงความร้อน

2.3.2 ตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อเงื่อนไขของสภาวะสบายเชิงความร้อน คือ

ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยของผิวผนังภายใน (Mean radiant temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วลมภายในอาคาร

ปัจจัยทางด้านตัวบุคคล ประกอบด้วย ระดับของกิจกรรมซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย ลักษณะของเสื้อผ้าที่สวมใส่

นอกจากนี้ยังมีตัวแปรอื่นๆ อีก เช่น อายุ เพศ ลักษณะทางเชื้อชาติ สภาพแวดล้อมทางสังคม วัฒนธรรม ความคุ้นเคยของแต่ละบุคคล

1. อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M)

อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายของมนุษย์ขึ้นอยู่กับลักษณะของกิจกรรม (Activity level) เช่น นั่งทำงาน เดิน ยืน วิ่ง หรือ เล่นกีฬา เป็นต้น จะวัดค่าเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น Met โดย 1 Met เท่ากับ 58.15 W/m^2 หรือ 18.4 Btu/h ft^2 ของพื้นที่ผิวร่างกาย โดยผู้ใหญ่ทั่วไปจะมีพื้นที่ผิวร่างกายประมาณ 1.8 ตารางเมตร คนที่อยู่ในสภาวะสบายที่มีระดับกิจกรรม 1 Met จะมีการสูญเสียความร้อนจากร่างกายประมาณ 100 วัตต์

ตารางที่ 2.3.1 แสดง Metabolic Rate ของลักษณะกิจกรรมต่างๆ

Activity	Metabolic rate M/A_{Du} Kcal/hr m^2	Mechanical efficiency η	Relative velocity in still air m/s
Resting			
Sleeping	35	0	0
Seated, quiet	50	0	0
Standing, relaxed	60	0	0
Walking On the level (Km/hr)			
3.2	100	0	0.9
4.0	120	0	1.1
4.8	130	0	1.3
Shop assistant	100	0 - 0.1	0.2 - 0.5
Vehicle driving			
Car (light traffic)	50	0	0
Car (heavy traffic)	100	0	0
Domestic Work			
House cleaning	100 - 170	0 - 0.1	0.1 - 0.3
Cooking	80 - 100	0	
Office Work			
Typing	50	0	0.05
Adding machine	60	0	0
Miscellaneous office work (e.g. filing, checking ledgers)	50 - 60	0	0 - 0.1
Leisure activities			
Dancing	120 - 220	0	0.2 - 2
Tennis	230	0 - 0.1	0.5 - 2
Basketball	380	0 - 0.1	1 - 3

(ที่มา Fanger, 1970: 24-26)

2. ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value)

ค่าความต้านทานหรือความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า มีหน่วยวัดเป็น Clo units โดยค่า 1 Clo จะมีค่าประมาณเทียบเท่ากับชุดสูททำงานโดยทั่วไปของชาวอเมริกันในปี 1941 และถือให้คนไม่สวมเสื้อผ้า (เปลือย) มีค่า Clo เท่ากับ 0

ตารางที่ 2.3.2 แสดงค่า Data for Different Clothing Ensembles

Clothing Ensembles	I_{cl} (clo)	f_{el}
Nude	0	1.0
Shorts	0.1	1.0
Typical Tropical Clothing Ensembles:		
Shorts, open-neck shirt with short sleeves, light socks and sandals	0.3 – 0.4	1.05
Light Summer Clothing:		
Long light-weight-trousers, open neck shirt with short sleeves	0.5	1.1
Light Working Ensemble:		
Athletic shorts, woollen socks, cotton work shirt (open-neck), and work trousers, shirt tail out	0.6	1.1
Typical Business Suit	1.0	1.15
Light Outdoor Sportswear:		
Cotton shirt, trousers, T-shirt, shorts, socks, shoes and single ply poplin (cotton and dacron) jacket	0.9	1.15
Heavy Wool Pile Ensemble:		
(Polar weather suit)	3 - 4	1.3 – 1.5

(ที่มา Fanger, 1970: 33)

3. อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (Ambient air temperature)

อุณหภูมิอากาศภายในห้องเป็นตัวหลักในการบ่งบอกถึงสภาวะสบายเชิงความร้อน ช่วงอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในขอบเขตของความสบายคือ 20 - 26.6 องศาเซลเซียส (68 - 80 องศาฟาเรนไฮท์) ถ้าอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำหรือสูงกว่านี้ ต้องมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม เช่นการทำความร้อนหรือความเย็น เพื่อปรับให้อุณหภูมิอยู่ในขอบเขตที่มีความสบาย

4. อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย (Mean radiant temperature)

อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย คือ อุณหภูมิที่ Uniform ของ black enclosure ที่มีผลลัพท์ การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ความร้อนจากคนเท่ากับห้องปิดจริง (Actual enclosure) ที่ศึกษา เมื่อคนทดสอบอยู่ในตำแหน่งท่าทางและเสื้อผ้าที่กำหนดให้

ค่า MRT สามารถคำนวณได้จากหาค่าอุณหภูมิของพื้นผิวของด้านต่างๆ ในห้อง และคำนวณหา corresponding angle factors ระหว่างบุคคลกับพื้นผิวนั้นๆ

$$MRT = T_1 F_{P-1} + T_2 F_{P-2} + \dots + T_N F_{P-N} \quad (2.3.1)$$

เมื่อ MRT คือ ค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนเฉลี่ย

T_N คือ อุณหภูมิของพื้นผิวของพื้นผิว N

F_{P-N} คือ Angle factor ระหว่างบุคคลกับพื้นผิว N

เนื่องจากการคำนวณโดยใช้ Angle factor นั้นมีความยุ่งยากในการคำนวณ จึงมีการใช้ Black Globe Thermometer ในการวัดค่าอุณหภูมิ โดยใช้ Globe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรทาสีดำ และนำอุณหภูมิจัดได้ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม เป็นตัวช่วยในการคำนวณหา Mean radiant temperature

โดยมีสูตรในการคำนวณดังนี้ (Goldman,1978)

$$T_{mrt} = [\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \} \times (T_g - T_a)] + T_a \quad (2.3.2)$$

โดย T_{mrt} = Mean radiant temperature (°C)

V_a = ความเร็วลม (m/s)

T_g = Black Globe temperature (°C)

T_a = Dry bulb temperature (°C)

5. ความเร็วลม (Air velocity, Wind speed)

ลมที่พัดผ่านตัวคนจะพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น ทั้งยังพัดพาความชื้นบริเวณผิวร่างกายออกไปซึ่งช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้นทำให้รู้สึกเย็นสบาย แต่ต้องมีความเร็วลมที่เหมาะสม หากมีความเร็วลมน้อยเกินไป จะทำให้รู้สึกอึดอัด ไม่มีอากาศถ่ายเท ถ้าหากมีความเร็วลมมากเกินไป ทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่างๆ

6. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง สัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณความชื้นสูงสุดของอากาศโดยปราศจากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation) ความชื้นจะมีความสำคัญในสภาพอากาศที่ร้อน โดยการสูญเสียความร้อนจากการระเหยของเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงของ Thermal comfort คือ 20 – 80 เปอร์เซ็นต์

2.3.3 เงื่อนไขของสภาวะนำสบายเชิงความร้อน

เงื่อนไขพื้นฐานอันดับแรกที่สำคัญสำหรับสภาวะนำสบายเชิงความร้อนของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่กำหนด คือ การพิจารณาสมดุลทางความร้อน (Heat balance) ถ้าคนเราอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่สบายจะสร้างสมดุลทางความร้อนขึ้น สมการสมดุลทางความร้อนที่สร้างขึ้นเป็นดังนี้

$$f(H/A_{UD}, I_{cl}, t_a, t_{mrt}, P_a, V_a, t_s, E_{sw}/A_{UD}) = 0 \quad (2.3.3)$$

เมื่อ H/A_{DU} = พลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในร่างกายต่อ 1 หน่วยของพื้นที่ผิวร่างกายมนุษย์ (A_{UD} = DuBois area)

I_{cl} = ค่าความต้านทานทางความร้อนของเสื้อผ้า

t_a = อุณหภูมิอากาศ

t_{mrt} = อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย

V_a = ความเร็วสัมพัทธ์

P_a = ความดันไอน้ำในอากาศ

t_s = อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนัง

E_{sw}/A_{UD} = ความร้อนที่สูญเสียต่อ 1 หน่วยพื้นที่ผิวของร่างกายมนุษย์ คิดจากการระเหยของเหงื่อ

เมื่อกำหนดระดับกิจกรรม อุณหภูมิของผิวหนัง (t_s) และการสูญเสียความร้อนจากการขับเหงื่อ (E_{sw}) จะเป็นตัวแปรทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อสมการสมดุลทางความร้อน และความรู้สึกทางสภาวะสบายเชิงความร้อน ก็เกี่ยวข้องกับ 2 ตัวแปรนี้ จากการทดลองกลุ่มคนที่มีระดับกิจกรรมที่ต่างกัน มีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนังและการขับเหงื่อที่ต่างกัน เป็นฟังก์ชันของระดับกิจกรรม ผลที่ได้เป็นดังนี้

$$t_s = f(H/A_{DU}) \quad (= 35.7 - 0.032 H/A_{UD} \text{ (}^\circ\text{C)}) \quad (2.3.4)$$

$$E_{sw} = A_{UD} f(H/A_{DU}) \quad (= 0.42A_{UD} (H/A_{UD} - 50) \text{ (kcal/hr)}) \quad (2.3.5)$$

สมการที่ (2.3.4) และ สมการที่ (2.3.5) เป็นเงื่อนไขพื้นฐานอันดับที่สองและสามสำหรับสภาวะนำสบายเชิงความร้อน เมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.3.3) จะได้สมการความสบายดังนี้

$$f(H/A_{UD}, I_{cl}, t_a, t_{mrt}, P_a, V_a) = 0 \quad (2.3.6)$$

2.3.4 สมดุลทางความร้อน

จุดประสงค์ของระบบภายในร่างกายมนุษย์ต้องการรักษาอุณหภูมิภายในให้คงที่ จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่ว่าในสภาวะสิ่งแวดล้อมทางความร้อนคงที่เป็นเวลานาน ๆ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกายของมนุษย์คงที่ เช่น การผลิตพลังงานความร้อนในร่างกายจะเท่ากับการสูญเสียพลังงานความร้อนจากร่างกายและถือว่าไม่มีพลังงานความร้อนสะสมภายในร่างกาย สมดุลทางความร้อนของเงื่อนไขดังกล่าวนี้ คือ

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - I = K = R + C \quad (2.3.6)$$

เมื่อ H = พลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในร่างกาย

E_d = การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของน้ำผ่านผิวหนัง

E_{sw} = การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อจากผิวหนัง

E_r = การสูญเสียความร้อนแฝงจากการหายใจ

L = การสูญเสียความร้อนของการหายใจแบบแห้ง (Dry respiration)

K = การสูญเสียความร้อนจากร่างกายสู่อากาศของเสื้อผ้า (การนำความร้อนผ่านเสื้อผ้า)

R = การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ความร้อนจากร่างกายสู่อากาศ

C = การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนจากร่างกายสู่อากาศ

จากสมการที่ (2.3.6) แสดงให้เห็นว่า พลังงานที่ผลิตขึ้นภายในร่างกายด้วยการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยจากผิว ($E_d + E_{sw}$) และการหายใจ ($E_r + L$) เท่ากับความร้อนที่นำผ่านเสื้อผ้า (K) หรือการสูญเสียความร้อนทางการแผ่และการพาที่ผิวหนังโดยสมมติให้ว่า E_{sw} , E_d เกิดขึ้นที่ผิวหนังหรือภายในผิวหนัง

ตารางที่ 2.3.3 แสดงสมการต่างๆ ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนและการสูญเสียความร้อนของร่างกาย

พลังงานความร้อนและการสูญเสียความร้อน	สมการในการคำนวณค่า
พลังงานความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในร่างกาย	$H/A_{UD} = M/A_{UD}(1 - \eta)$
การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของน้ำผ่านผิวหนัง	$E_d = 0.35A_{DU} * (1.92t_s - 25.3 - P_a)$
การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อจากผิวหนัง	$E_{sw} = 0.42A_{UD} (H/A_{UD} - 50)$
การสูญเสียความร้อนแฝงจากการหายใจ	$E_r = V (W_{ex} - W_a)$
การสูญเสียความร้อนของการหายใจแบบแห้ง (Dry respiration)	$L = 0.0014 * M * (34 - t_a)$
การสูญเสียความร้อนจากผิวหนังสู่อากาศของเสื้อผ้า (การนำความร้อนผ่านเสื้อผ้า)	$K = A_{UD} * (t_s - t_{cl}) / 0.18l_{cl}$
การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ความร้อนจากผิวหนังออกเสื้อผ้า	$R = 3.4 * 10^{-8} A_{UD} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4]$
การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนจากผิวหนังออกเสื้อผ้า	$C = A_{UD} * F_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a)$
อุณหภูมิของผิวหนัง	$t_s = 35.7 - 0.032 H/A_{UD}$

2.3.5 สมการสมดุลความร้อน

เมื่อแทนค่าการสูญเสียความร้อนในสมการที่ (2.3.6) และหารด้วย A_{UD} จะได้สมการสมดุลความร้อนคือ

$$\begin{aligned} M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.35[1.92t_s - 25.3 - P_a] - E_{sw}/A_{UD} - 0.0023M/A_{UD} (44 - P_a) - 0.0014 M/A_{UD} (34 - t_a) \\ = (t_s - t_{cl})/0.18l_{cl} \\ = 3.4 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \quad (2.3.7)$$

2.3.6 สมการความสบาย

เมื่อแทนค่า t_s และ E_{sw} จากตารางที่ 2.3.3 ในสมการที่ (2.3.7) จะได้

$$\begin{aligned} M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.35[43 - 0.061 M/A_{UD} (1 - \eta) - P_a] - 0.42[M/A_{UD} (1 - \eta) - 50] - 0.0023M/A_{UD} (44 - P_a) - 0.0014 M/A_{UD} (34 - t_a) \\ = (35.7 - 0.032 M/A_{UD} (1 - \eta) - t_{cl})/0.18l_{cl} \\ = 3.4 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \quad (2.3.8)$$

จัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} t_{cl} = 35.7 - 0.32 M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.18l_{cl} [M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.35 (43 - 0.061 M/A_{UD} (1 - \eta) - P_a) - \\ 0.42(M/A_{UD} (1 - \eta) - 50) - 0.0023M/A_{UD} (44 - P_a) - 0.0014 M/A_{UD} (34 - t_a)] \end{aligned} \quad (2.3.9)$$

จากสมการที่(2.3.8) พิสูจน์เฉพาะเทอมซ้ายกับขวาจะได้ว่า

$$\begin{aligned} M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.35[43 - 0.061 M/A_{UD} (1 - \eta) - P_a] - 0.42[M/A_{UD} (1 - \eta) - 50] - 0.0023M/A_{UD} (44 - P_a) - 0.0014 M/A_{UD} (34 - t_a) \\ = 3.4 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] + f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \quad (2.3.10)$$

จากสมการที่ (2.3.10) เป็นสมการความสบายที่ใช้ได้ทั่วไป ดังนั้นพอที่จะสรุปได้ว่า สมการความสบายประกอบด้วยตัวแปรดังนี้

ฟังก์ชันของชนิดเสื้อผ้า I_{cl}, f_{cl}

ฟังก์ชันของระดับกิจกรรม $M/A_{UD}, \eta, V_a$

ตัวแปรต่างๆ ทางสิ่งแวดล้อม V_a, t_a, P_a, t_{mrt}

สมการความสบายนี้ได้มาจากการทดลองกับชาวอเมริกันที่อยู่ในวัยเรียน ในสิ่งแวดล้อมที่เป็น Uniform และ steady state สามารถนำไปใช้กับคนทดสอบที่มีรูปร่าง เชื้อชาติ เพศ ฯลฯ ที่ต่างกันและสามารถนำไปใช้ได้ ในทางปฏิบัติได้

2.3.7 ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Voted: PMV)

จากการศึกษาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับ สภาวะสบายเชิงความร้อน ซึ่งมีการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมในห้องหรือสถานที่ที่ทำการศึกษ แต่จะมีคำถามว่าเมื่อมีการเบี่ยงเบนค่าจากเงื่อนไขความสบาย โดยในเงื่อนไขเดียวกันแต่ความรู้สึกของคนต่างระดับกัน ตัวแปรที่วัดได้นั้นหมายความว่าอย่างไร ดังนั้นจึงมีดัชนีแสดงความรู้สึกทางความร้อนของคนอยู่ด้วยกัน 2 ตัวคือ ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Voted: PMV) และ เปอร์เซนต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD)

เนื่องมาจากสมการความสบายเป็นเงื่อนไขของ สภาวะสบายเชิงความร้อน (Thermal comfort) สมการนี้จะให้ข้อมูลว่าตัวแปรต่าง ๆ ควรเป็นเท่าใด เพื่อก่อให้เกิด สภาวะสบายเชิงความร้อนแต่ไม่สามารถบอกได้ว่า ความรู้สึกของคนในขณะนั้นต่อสภาพอากาศเป็นอย่างไร จึงต้องมีดัชนีที่ใช้ทำนายความรู้สึกของคนว่าจะเป็นอย่างไร กับสิ่งแวดล้อมทางความร้อนที่เป็นอยู่ โดยตาม ASHARE scale จะใช้มีค่า Thermal Sensation scale เพื่อใช้วัดความรู้สึกทางความร้อน 7 ระดับด้วยกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3.4

ตารางที่ 2.3.4 แสดง Thermal Sensation scale for the PMV Index

Scale	Sensation	
-3	Cold	หนาวมาก
-2	Cool	หนาว
-1	Slightly cool	หนาวเล็กน้อย
0	Neutral comfort	พอดี
1	Slightly warm	ร้อนเล็กน้อย
2	Warm	ร้อน
3	Hot	ร้อนมาก

(ที่มา Fanger, 1970: 110)

เมื่อสภาพอากาศเป็นไปตามสมการความสบาย จะได้ผลโหวตเฉลี่ยเป็น 0 และร่างกายของคนจะพยายามรักษาสมดุลความร้อนด้วย Effector mechanisms เช่น การขับเหงื่อ การสั่นของร่างกาย ฯลฯ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า ถ้าดัชนีของความไม่สบายมากขึ้น Effector mechanisms ที่เบี่ยงเบนจากสภาวะที่สบายก็จะทำงานมากขึ้นด้วย ดังนั้นเราสมมติว่าความรู้สึกทางความร้อนที่กำหนดกิจกรรม (Activity) ว่าเป็นฟังก์ชันของ Thermal Load (L) ของร่างกาย หมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างการผลิตความร้อนภายในร่างกาย (Internal heat production) กับการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมของคนที่มีสมมติฐานว่าสามารถรักษาความสบายของอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยและการขับเหงื่อตามลักษณะกิจกรรมที่กำหนด

จากนิยามของ Thermal load ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของร่างกาย สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้เหมือนสมการความสบาย ดังนี้

$$L = M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.061 M/A_{UD} (1 - \eta) - P_a] - 0.42 (M/A_{UD} (1 - \eta) - 50) - 0.0023 M/A_{UD} (44 - P_a) - 0.0014 M/A_{UD} (34 - t_a) - 3.4 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mt} + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c (t_{cl} - t_a) \quad (\text{kcal/m}^2\text{hr}) \quad (2.3.11)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.032 M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.18 f_{cl} [3.4 \cdot 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mt} + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c (t_{cl} - t_a) \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (2.3.12)$$

หา h_c ได้จากสมการต่อไปนี้

ในกรณี free convection นั้น Nilsen และ Pedersen พบว่าเมื่อผู้ทดสอบอยู่ในท่านิ่งและทำเย็น

$$h_c = 2.05 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (\text{kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}) \quad (2.3.13)$$

$$\text{หรือ} \quad h_c = 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (2.3.14)$$

$$\text{เมื่อ} \quad 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1 (V_a)^{0.5}$$

ในกรณีเป็น force convection นั้น Winslow, Gagge และ Herrington พบว่า

$$h_c = 10.4 (V_a)^{0.5} \quad (\text{kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}) \quad (2.3.15)$$

$$\text{หรือ} \quad h_c = 12.1 (V_a)^{0.5} \quad (\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}) \quad (2.3.16)$$

$$\text{เมื่อ} \quad 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1 (V_a)^{0.5}$$

ในกรณีที่อยู่ในเงื่อนไขความสบาย ค่าภาระทางความร้อนจะเท่ากับศูนย์ นอกจากนั้น Effector mechanism จะเปลี่ยนอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนัง และการขับเหงื่อเพื่อรักษาสมดุลความร้อนของร่างกาย ดังนั้น Thermal Load จึงเป็นตัวแสดงถึงความเครียด (strain) ทางกายภาพที่ขึ้นกับ Effector mechanism ของร่างกายมนุษย์ จึงกล่าวได้ว่าความรู้สึกทางความร้อน ณ กิจกรรมที่กำหนด สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Y = f(L, H/A_{UD}) \quad (2.3.17)$$

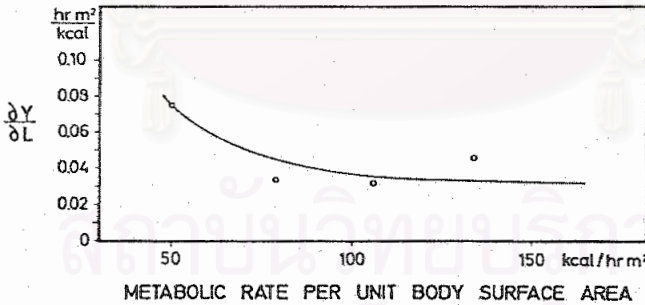
ความรู้สึกละหว่างความร้อนจะแสดงโดยการโหวตเฉลี่ย Y บนสเกล สมการที่ (2.3.18) ใช้เป็นพื้นฐานในการทดลอง โดยควบคุมตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมไว้ และใช้คนในการทดสอบ 1,396 คนในการทดลองของ Nevins และ Mcwall ในเวลา 3 ชั่วโมงจะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 2.3.5 แสดง Connection between Mean Vote and Ambient Temperature at Four Activity Levels

Activity Level	M/A_{UD} Kcal/hr m_2	I_{cl} Clo	V M/s	Mean Vote Y at Rh = 50%
Sedentary	50	0.6	0.1	$Y = - 8.471 + 0.331t$
Low	80	0.6	0.2	$Y = - 6.343 + 0.175t$
Medium	106	0.6	0.25	$Y = - 3.356 + 0.174t$
High	135	0.6	0.32	$Y = - 4.158 + 0.265t$

(ที่มา Fanger, 1970: 113)

จากตารางที่ 2.3.5 มีความสัมพันธ์ระหว่างการโหวตเฉลี่ย Y กับอุณหภูมิโดยรอบ t (Ambient temperature) เมื่ออุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย และถ้าแทนค่า M/A_{UD} , I_{cl} , V ในสมการที่ (2.4.27) และสมการที่ (2.4.28) ทั้ง 4 ระดับกิจกรรมจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง t กับ L แทนค่าในตารางที่ จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ L ดังรูปที่ 2.3.1



รูปที่ 2.3.1 แสดง dY/dL as a function of the metabolic rate (ที่มา Fanger, 1970: 113)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า dY/dL ลดลงเป็นลักษณะ exponential curve จากเส้นผ่านจุด $M/A_{UD} = 50 \text{ kcal}/m^2 \cdot \text{hr}$ ซึ่งเป็นจุดที่ใช้คนทดสอบมากกว่าจุดอื่น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$dY/dL = 0.352e^{(-0.042M/AUD)} + 0.032 \quad (m^2 \text{hr}/\text{kcal}) \quad (2.3.18)$$

เมื่ออินทิเกรตกันจะได้

$$Y = (0.352e^{(0.042M/AUD)} + 0.032) * L \tag{2.3.19}$$

เมื่อ $Y=0, L=0$

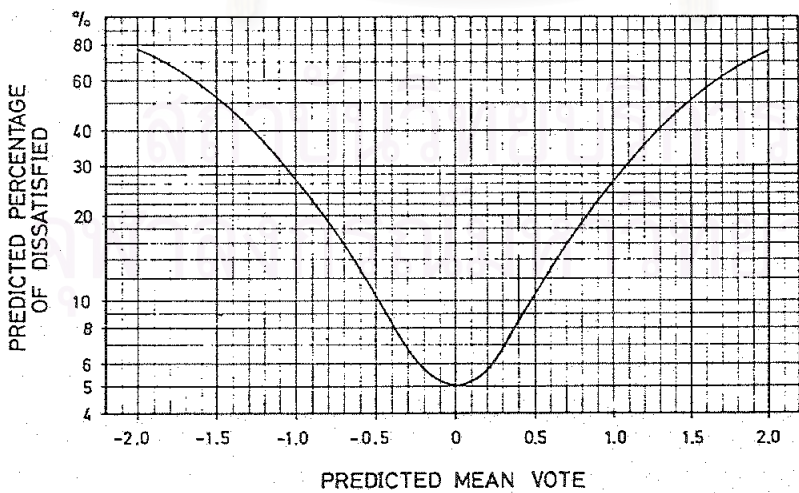
Y ในสมการที่ (2.3.19) ก็คือ PMV และเมื่อแทนค่าสมการที่ (2.3.11) ในสมการที่ (2.3.19) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} PMV = & (0.352e^{(-0.042M/AUD)} + 0.032) [M/A_{UD} (1 - \eta) - 0.35 [43 - 0.061 M/A_{UD} (1 - \eta) - P_a] \\ & - 0.42 (M/A_{UD} (1 - \eta) - 50)] - 0.0023 M/A_{UD} (44 - P_a) \\ & - 0.0014 M/A_{UD} * (34 - t_a) - 3.4 * 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mt} + 273)^4] \\ & + f_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \tag{2.3.20}$$

2.3.8 เปอร์เซนต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD)

ดัชนีความรู้สึกทางความร้อนที่ PMV ที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นของกลุ่มคนทดสอบในสภาวะที่มีตัวแปรหลายๆตัวรวมกัน การโหวตเฉลี่ยจะแสดงถึงระดับของความไม่สบายของกลุ่มคนทั้งหมด ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะอธิบายขนาดของ PMV ในห้องว่าหมายความว่าอย่างไร เช่น PMV = -0.30 เป็นค่าระหว่างความพอดีกับหนาวเล็กน้อยใช่หรือไม่ สามารถยอมรับได้หรือไม่ ถ้าความรู้สึกของคนทั้งหมดเหมือนกับผลการโหวตเฉลี่ย คำตอบคือ ใช่ แต่ความรู้สึกของคนนั้นไม่เหมือนกันถึงแม้จะอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน ดังนั้นบางคนอาจรู้สึกที่ไม่สบายต่อสภาพอากาศในห้องนั้นก็ไม่ได้ ดังนั้นแทนที่จะใช้ PMV เป็นตัวบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมทางความร้อน จะมีดัชนีอีกตัวหนึ่งที่บอกให้ทราบถึงเปอร์เซนต์ของกลุ่มคนที่รู้สึกไม่สบาย หรือโหวตที่ร้อนมาก (+3) ร้อน(+2) และหนาว (-2) หนาวมาก (-3) ดัชนีนี้ได้แก่ PPD

ความสัมพันธ์ระหว่าง PMV และ PPD สามารถหาได้จากกราฟทดลอง ซึ่ง Fanger ได้ทดลองกับชาวเดนมาร์กจำนวน 1296 คน และ Nevins และ Rohles ได้ทดลองกับชาวอเมริกัน ได้กราฟความสัมพันธ์ของ PMV และ PPD ดังนี้



รูปที่ 2.3.2 แสดง PPD as function of PMV (ที่มา Fanger, 1970: 131)

หรือสมการ

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (2.3.21)$$

จากรูปที่ 2.3.2 จะเป็นพื้นฐานในการหาค่าสิ่งแวดล้อมทางความร้อน สังเกตได้ว่า Curve ที่ได้จะมีลักษณะสมมาตร และมีค่า PPD = 5% ที่ PMV = 0 จุดนี้จะใช้เป็นเงื่อนไขความสบายที่เหมาะสม ในการใช้สมการความสบาย ทำให้เป็นจุดที่ต้องปรับเพื่อให้ได้ความสบาย ค่า PMV ที่ -0.35 จะมีค่า PPD มากกว่าจุดต่ำสุด (5%) ประมาณครึ่งหนึ่ง (7.5%) หลังจากนั้นค่า PPD จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นที่ PMV = -0.5, -1.0 จะมีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า และมากกว่า 5 เท่าของจุดที่ต่ำสุด และจากกราฟแสดงให้เห็นว่าเป็นไปไม่ได้ที่กลุ่มคนจะมีความพอใจกับสภาพอากาศทุกคน ถึงแม้ว่าจะอยู่ในระบบสิ่งแวดล้อม การแต่งกายและกิจกรรมที่เหมือนกันก็ตาม

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

“ ผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบแดด”

โดย นางสาว พรรณจิรา ทิศาภิชาติ

การวิจัยนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและการปรับปรุงอุณหภูมิภายในอาคาร โดยพิจารณาทิศทางที่ใช้เปิดช่องแสงด้านข้างและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก ในการทดลองใช้กล่องทดลองขนาด 0.90 x 0.90 x 0.90 เมตร ผนัง 5 ด้านเป็น EPS โฟม หนาด้านละ 15 เซนติเมตร ด้านที่เหลือจะช่องเปิดขนาด 0.60 x 0.60 เมตรเพื่อติดตั้งกระจก

ผลการทดลองการเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางช่องแสงที่หันไปทางทิศใต้กับทิศเหนือ

1. ช่องแสงไปทางทิศใต้ จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 77.74 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 56.69 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง 37.82 องศาเซลเซียส
2. ช่องแสงไปทางทิศเหนือ จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 45.14 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 25.69 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง 29.77 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองการเปรียบเทียบพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางช่องแสงที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง กับช่องแสงที่หันไปทางทิศเหนือ

1. กล่องทดลองที่หันช่องแสงไปทางทิศเหนือ จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 50.37 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 27.89 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง 33.84 องศาเซลเซียส

2. กล้องทดลองที่หมุนหลบแดด จะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 46.37 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและต่ำสุด เท่ากับ 23.89 องศาเซลเซียส และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในกล้อง 32.65 องศาเซลเซียส

จากการวิจัยพบว่า “อุณหภูมิเฉลี่ยในกล้องทดลองที่เปิดช่องแสงด้านข้างทางทิศเหนือมีค่าต่ำกว่าทิศใต้ แต่มีค่าใกล้เคียงกับช่องแสงด้านข้างที่หมุนหลบแดด “



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

หลังจากการศึกษาศึกษาทฤษฎีและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจายและสภาวะน่าสบาย รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จึงทำการกำหนดแนวทางในการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดตัวแปรในการวิจัย การกำหนดประเภทของข้อมูลที่จะเก็บค่า การกำหนดลักษณะของช่องเปิด ตำแหน่งในการวัดค่าเก็บข้อมูล สักรวจหาอาคารและห้องที่จะใช้เป็นหน่วยทดลองเก็บข้อมูล เมื่อได้ลักษณะของหน่วยทดลองและเตรียมอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว จึงทำการกำหนดขั้นตอนในการวิจัยเพื่อความถูกต้องและป้องกันการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง จากนั้นจึงเริ่มการทดลองเก็บข้อมูล

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์และการแผ่รังสีความร้อน รวมทั้งสภาวะน่าสบายเชิงความร้อน

3.1.2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเตรียมการทดลอง

โดยเริ่มจากการกำหนดตัวแปรในการวิจัย ประเภทของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการวิจัยเพื่อทำการเก็บค่าตลอดจนการออกแบบหน่วยการทดลองที่ใช้ในการศึกษา

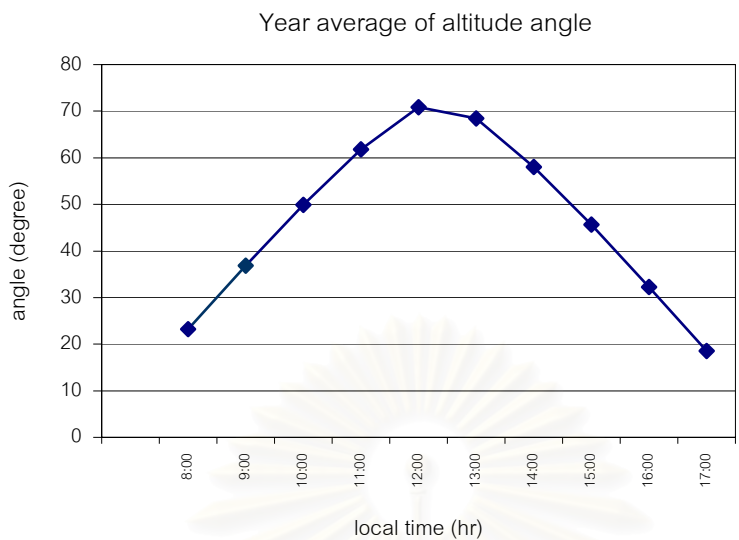
การวิเคราะห์ตัวแปรที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีและปัจจัยต่างๆ มีดังนี้

1. รังสีดวงอาทิตย์

1.1 การโคจรของดวงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาถึงการโคจรของดวงอาทิตย์ มุมอาซิมุท และ มุมอัลติจูด เพื่อดูว่าดวงอาทิตย์โคจรอ้อมทางด้านใด เนื่องจากโคจรของดวงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณรังสีกระจาย

จากการพิจารณาค่ามุมอัลติจูดที่แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ปี 2542 จะเห็นได้ว่า มุมอัลติจูด (altitude) มีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 90 องศา นั้นหมายความว่า ดวงอาทิตย์ไม่เดินทางอ้อมไปทางทิศเหนือหรือน้อยมาก ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดทางด้านทิศเหนือเข้าไปในอาคารจึงได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจายเป็นส่วนใหญ่



แผนภูมิที่ 3.1.1 แสดงค่ามุมอัลติจูดที่แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ปี 2542

1.2 พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย

พื้นผิวในแนวนอนนั้นจะที่มีปริมาณของรังสีกระจายตกกระทบได้มากกว่าในพื้นผิวแนวตั้ง เนื่องจากพื้นผิวแนวนอนนั้นเห็น (see) ท้องฟ้าได้ทั้งหมด ในขณะที่พื้นผิวในแนวตั้งนั้นเห็น (see) ท้องฟ้าได้เพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น

จากสูตรคำนวณปริมาณรังสีกระจายบนพื้นผิว

$$I_d = C * I_{dn} * F_{ss} \quad \text{Btu/h.ft}^2$$

โดยที่ C = Diffuse Radiation Factor = $(1 - F_1) [(1 + \cos \beta) / 2]$

F1 = Circumsolar Brightness Coefficient สำหรับ isotropic diffuse sky และ overcast sky จะมีค่า เท่ากับ 0

β = The inclination angel of the surface with respect to the horizontal

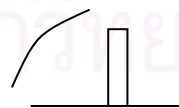
$F_{ss} = (1.0 + \cos \Sigma) / 2$ โดย Σ คือ มุมระหว่างพื้นผิวกับท้องฟ้า



Angle factor for horizontal surface

$$E_{ss} = (1 + \cos 0) / 2 = 1.0$$

$$F_{sn} = (1 - \cos 0) / 2 = 0$$



Angle factor for vertical surface

$$F_{ss} = (1 + \cos 90) / 2 = 0.5$$

$$F_{sn} = (1 - \cos 90) / 2 = 0.5$$

รูปที่ 3.1.1 แสดงค่า Angle Factor for horizontal and vertical surface

1.3 การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์

1. การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด

สำหรับหน้าต่างที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ (Transmittance coefficient) ขึ้นกับ hourly value ของรังสีดวงอาทิตย์เพื่อให้ได้ค่าการส่งผ่านที่ต้องการ โดยค่าสัมประสิทธิ์การส่งของรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นกับ Incident angle ของรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากมีความแตกต่างของค่า Incident angle ทำให้ รังสีตรงและรังสีกระจายถูกนำมาคิดแยกกันเมื่อพิจารณาค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์

ถ้าหากคิดค่า Incident isotropic diffuse sky radiation แบบรวมในทุกๆ ค่ามุม จะได้ว่า effective incidence angle มีค่าประมาณ 60 องศา สำหรับพื้นผิวในแนวตั้งและแนวนอน (Duffie and Beckman, 1991)

2. การส่งผ่านความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดดจะแตกต่างกับหน้าต่างที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด 2 กรณี คือ

- ปริมาณรังสีตรงและ Circumsolar diffuse radiation จะลดลง เนื่องจากหน้าต่างอยู่ในร่มเงา
- Isotropic diffuse sky radiation จะลดลงเนื่องจาก พื้นที่การมองเห็นท้องฟ้าของหน้าต่าง (field of view of the sky) ลดลง เพราะอุปกรณ์บังแดด

จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่า การเห็น (see) ท้องฟ้าของพื้นผิวนั้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อปริมาณรังสีกระจายที่พื้นผิวนั้นๆ ได้รับ และพื้นผิวในแนวนอนจะได้รับปริมาณรังสีกระจายมากกว่าพื้นผิวในแนวตั้ง และหากพิจารณาถึงพื้นผิวแนวตั้งภายในอาคาร ซึ่งการเห็นท้องฟ้าานั้นจะถูกบดบังโดยส่วนของอาคารนั้นคือ พื้นของชั้นบนภายในอาคารและอุปกรณ์บังแดด ดังนั้นการพิจารณาถึงค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงไปต่อผลที่จะได้รับ จึงเป็นส่วนสำคัญของการวิจัย

1.4 ปริมาณการเห็นท้องฟ้า

ได้จากการคำนวณหาพื้นที่ของทรงกลม เนื่องจากสภาพบรรยากาศและท้องฟ้า เป็นทรงกลมห่อหุ้มโลกซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมเช่นกัน

พื้นที่ผิวของทรงกลม หาได้จากสมการ

$$\text{พื้นที่ของทรงกลม (a)} = r^2 (\phi_1 - \phi_2) (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

Solid angle คือ หน่วยในการวัดค่าพื้นที่ผิวของทรงกลม (sphere) มีหน่วยเป็น steradians โดย

$$\text{Solid angle (}\omega\text{)} = \frac{\text{พื้นที่ผิวของทรงกลม}}{(\text{รัศมีของทรงกลม})^2} \quad (2.1.12)$$

รูปทรงกลมใดๆ จะมีค่าพื้นที่ผิว เท่ากับ $4\pi r^2$

ดังนั้นรูปทรงกลมใดๆ จะมีค่า solid angle เท่ากับ 4π steradians

การออกแบบหน่วยการทดลองที่ใช้ในการศึกษา

1. สักรวอาคาร เพื่อหาอาคารที่ใช้เป็นอาคารตัวอย่างในการวิจัย โดยในการวิจัยนี้จะเลือกใช้อาคารเรียนรวมและปฏิบัติการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นอาคารตัวอย่าง และเลือกห้องภายในอาคารที่อยู่ด้านเหนือและมีช่องเปิดในด้านทิศเหนือเพียงด้านเดียว โดยด้านอื่นๆเป็นผนังทึบ ไม่มีช่องเปิด เนื่องจากทิศเหนือเป็นด้านที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจายเพียงอย่างเดียว

การวางอาคาร	อาคารวางด้านยาวของอาคารในแนวแกนทิศตะวันออก-ตะวันตก โดยมีช่องเปิดทั้ง 4 ทิศ ของอาคาร
อุปกรณ์บังแดด	มีอุปกรณ์บังแดด ลักษณะเป็นแผงกันแดดตามแนวตั้ง ในด้านทิศใต้ในชั้นที่ 4-5 ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ในชั้นที่ 3-5 ส่วนในด้านทิศเหนือ ไม่มีอุปกรณ์บังแดด
ห้องที่เลือกใช้ในการวิจัย	ห้องบรรยาย ชั้น 3 ที่ 311 ที่ตั้งอยู่ทางด้านทิศเหนือ



รูปที่ 3.1.2 อาคารเรียนรวมและปฏิบัติการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 27 มีนาคม พ.ศ. 2545)

ลักษณะของห้อง ขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร มีช่องเปิดด้านทิศเหนือ ส่วนด้านอื่นเป็นผนังก่ออิฐทาสี
 ช่องเปิด ทิศเหนือ เป็นช่องเปิด ตลอดแนวความยาวห้อง สูงจากพื้น 0.20 เมตร โดยแบ่งช่อง
 เปิดเป็น 4 ส่วน ส่วนละ 60 ซม. ในส่วนล่างสุด เป็นกระจกฝ้า หนา 6 มม. ส่วนที่
 เหลือเป็นกระจกใส หนา 6 มม.
 ลักษณะการใช้งาน เป็นห้องทำงานบรรยายของสาขาวิชา สถาปัตยกรรมเขตร้อน
 ระบบปรับอากาศ ระบบ Spit Type เวลาทำงาน 8.00 – 17.00 น.

ออกแบบการทดลองเป็น 3 การทดลองด้วยกัน เพื่อทดสอบ ค่าการเห็นท้องฟ้าที่มีผลต่อปริมาณรังสี
 กระจายและ PMV ในอาคาร

การทดลองห้องแบบที่ 1

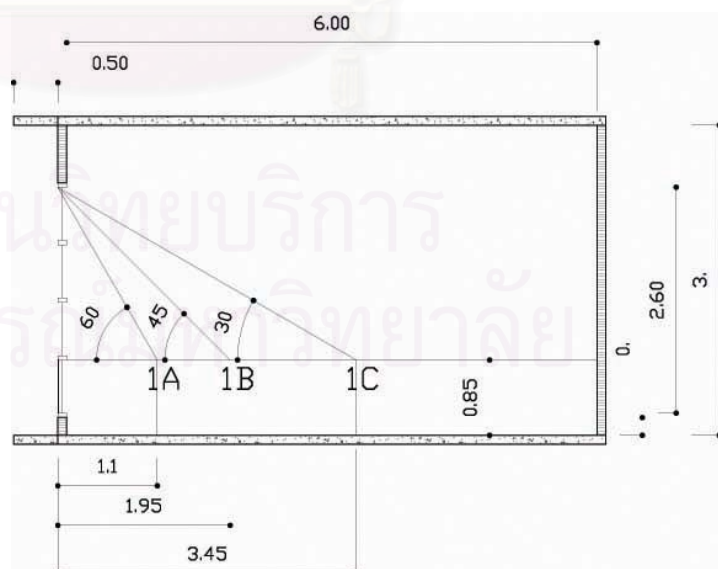
ทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดตำแหน่งในการเก็บข้อมูลต่างๆ (เป็นตัวแทน
 ของคนที่อยู่ภายในห้อง) โดยทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ

ตารางที่ 3.1.1 แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด, ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 1

ตำแหน่งที่	มุมที่กระทำกับช่องเปิดและท้องฟ้า (องศา)	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	Solid angle (steradians)
1 (1A)	60	1.10	2.27
2 (2B)	45	1.95	1.60
3 (3C)	30	3.45	0.88

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. และเก็บข้อมูล

ตามสภาพการใช้งานในอาคาร คือ สภาวะที่ไม่มีมีการปรับอากาศ และ สภาวะที่มีการปรับอากาศ



รูปที่ 3.1.3 ห้องสำหรับทดลองแบบที่ 1 และตำแหน่งการเก็บข้อมูลภายในอาคาร (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี
 (ภาพถ่าย) 31 มีนาคม พ.ศ. 2545)

การทดลองห้องแบบที่ 2

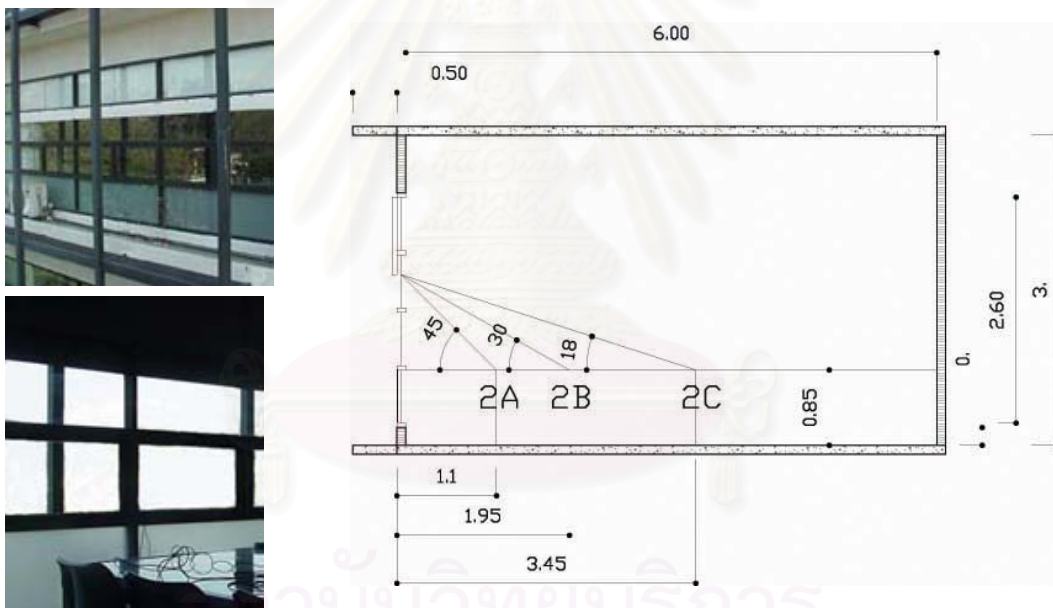
ทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดตำแหน่งในการเก็บข้อมูลต่างๆ (เป็นตัวแทนของคนที่อยู่ภายในห้อง) โดยทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ

ตารางที่ 3.1.2 แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด , ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 2

ตำแหน่งที่	มุมที่กระทำกับช่องเปิดและห้องฟ้า (องศา)	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	Solid angle (steradians)
1 (2A)	45	1.10	1.85
2 (2B)	30	1.95	1.12
3 (2C)	18	3.45	0.54

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. และเก็บข้อมูล

ตามสภาพการใช้งานในอาคาร คือ สภาวะที่ไม่มีมีการปรับอากาศ และ สภาวะที่มีการปรับอากาศ



รูปที่ 3.1.4 ห้องสำหรับทดลองแบบที่ 2 และตำแหน่งการเก็บข้อมูลภายในอาคาร (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 29 มีนาคม พ.ศ. 2545)

การทดลองห้องแบบที่ 3

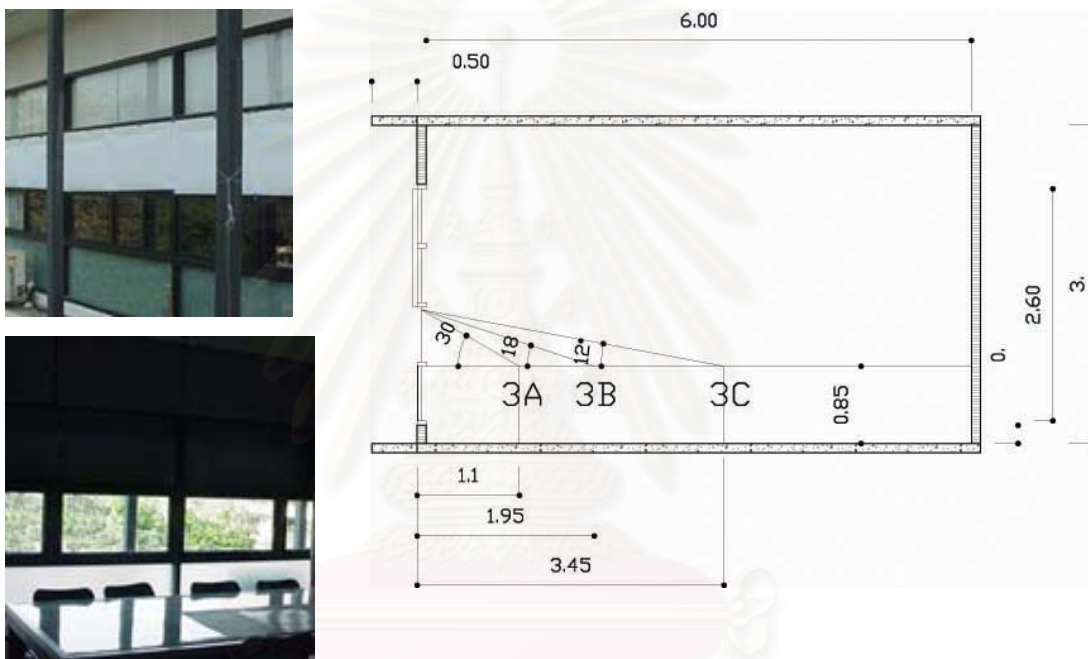
ทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยกำหนดตำแหน่งในการเก็บข้อมูลต่างๆ (เป็นตัวแทนของคนที่อยู่ภายในห้อง) โดยทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ

ตารางที่ 3.1.3 แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด, ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 3

ตำแหน่งที่	มุมที่กระทำกับช่องเปิดและท้องฟ้า (องศา)	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	Solid angle (steradians)
1 (3A)	30	1.10	1.30
2 (3B)	18	1.95	0.70
3 (3C)	12	3.45	0.36

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.และเก็บข้อมูล

ตามสภาพการใช้งานในอาคาร คือ สภาวะที่ไม่มีมีการปรับอากาศ และ สภาวะที่มีการปรับอากาศ



รูปที่ 3.1.5 ห้องสำหรับทดลองแบบที่ 3 และตำแหน่งการเก็บข้อมูลภายในอาคาร (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 27 มีนาคม พ.ศ. 2545)

3.1.3 การดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูล

ประเภทของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการวิจัยเพื่อทำการเก็บค่า

- ค่า Globe Temperature
- ค่าปริมาณรังสีกระจายภายใน
- ค่าปริมาณรังสีกระจายภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายใน
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร
- ค่าความเร็วลมภายในอาคาร

ดำเนินการทดลอง เก็บข้อมูลตามประเภทของข้อมูลที่ต้องการใช้ในการวิจัย

เมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการ นำค่า Globe Temperature มาคำนวณหาค่า Mean Radiant Temperature รวมถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อใช้ในการหาค่า Predicted Mean Voted เพื่อแสดงถึงค่าสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

3.1.4 การนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผล

3.1.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เสนอแนะแนวทางในการออกแบบช่องเปิดเพื่อลดผลกระทบจากรังสีกระจายที่มีต่อสภาวะน่าสบายในอาคารและทำให้ภายในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายหรือใกล้เคียงที่สุด โดยอ้างอิงกับมุมที่ทำกับท้องฟ้า Solid angle ปริมาณการเห็นท้องฟ้า ของตำแหน่งต่างๆ ภายในอาคาร

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัย ต้องทำการวัดค่าและเก็บข้อมูลของตัวแปร ทั้งหมด 5 ตัวแปรด้วยกันคือ

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก และภายในอาคาร
2. Globe temperature
3. รังสีกระจาย
4. ความชื้นสัมพัทธ์
5. ความเร็วลม

โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่า อ่านค่าและบันทึกข้อมูล ดังนี้

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ อ่านค่าและบันทึกข้อมูล

อุณหภูมิอากาศ ใช้สาย Thermocouple Type K

Globe Temperature ใช้สาย Thermocouple Type K ใส่ไว้ในลูกทองแดง ทาสีดำ เส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ตั้งบนขาตั้งกลิ้งเพื่อให้ได้ระดับที่ต้องการ

โดยต่อเชื่อมกับช่องสัญญาณของเครื่อง Data Logger เครื่อง Data Logger ที่เลือกใช้คือ OPUS 200/300 สำหรับเก็บข้อมูล มี 2 ช่องสัญญาณในการต่อเชื่อมกับ Sensor เครื่อง Data Logger นี้ใช้ โปรแกรม Smart Control ในการตั้งค่าการบันทึกและบันทึกข้อมูล มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.2.1 Data Logger OPUS 200/2001 สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูล (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 11 มีนาคม พ.ศ. 2545)



รูปที่ 3.2.2 Globe ทองแดงทาสีดำวางบนขาตั้งกล่อ่ง สำหรับวัดค่า Globe Temperature (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 11 มีนาคม พ.ศ. 2545)

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่ารังสีกระจาย อ่านและบันทึกข้อมูล

Pyronometer ซึ่งเป็น Sensor สำหรับวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยต่อเชื่อมกับช่องสัญญาณของเครื่อง Data Logger เครื่อง Data Logger ที่เลือกใช้คือ OPUS 200/300 สำหรับเก็บข้อมูล มี 2 ช่องสัญญาณในการต่อเชื่อมกับ Sensor เครื่อง Data Logger นี้ใช้ โปรแกรม Smart Control ในการตั้งค่าการบันทึกและบันทึกข้อมูล มีหน่วยเป็น วัตต์ ต่อ ตารางเมตร



รูปที่ 3.2.3 หัว Sensor Pyranometer และการต่อหัว Sensor Pyranometer กับ Data Logger OPUS 200/200I (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 11 มีนาคม พ.ศ. 2545)

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์ อ่านค่าและบันทึกข้อมูล

OPUS 10 เป็น Data Logger ที่มี Humidity Sensor อยู่ภายใน ใช้ โปรแกรม Smart Graph ในการตั้งค่าการบันทึกและจัดการข้อมูล มีหน่วยเป็น %Rh



รูปที่ 3.2.4 Data Logger OPUS 10 สำหรับเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 11 มีนาคม พ.ศ. 2545)

3.2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเร็วลม อ่านค่าและบันทึกข้อมูล

เครื่องวัดค่า Testo 450 ซึ่งใช้ต่อกับหัว Sensor ต่างๆ ในการวัดค่า โดยในการวิจัยนี้ใช้ต่อกับ Sensor เพื่อวัดค่าความเร็วลม มีหน่วยเป็น เมตร ต่อ วินาที



รูปที่ 3.2.6 เครื่องมือวัดความเร็วลม Testo 450 (ที่มา วนัสสุดา ไชยมนตรี (ภาพถ่าย) 11 มีนาคม พ.ศ. 2545)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูล

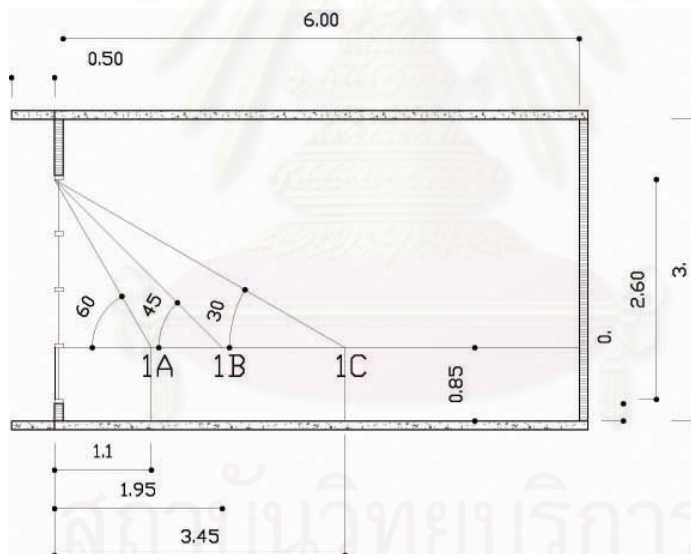
4.1 ผลการทดลอง การวิเคราะห์และอภิปรายผล

4.1.1 การทดลองห้องแบบที่ 1 สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ

ทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ ได้แก่

- ค่า Globe Temperature
- ค่าปริมาณรังสีกระจายภายในและภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร และนอกอาคาร
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร
- ค่าความเร็วลมภายในอาคาร

โดยกำหนดให้ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล ถือเป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง โดยทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.1.1 แสดงรูปตัดห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแบบที่ 1

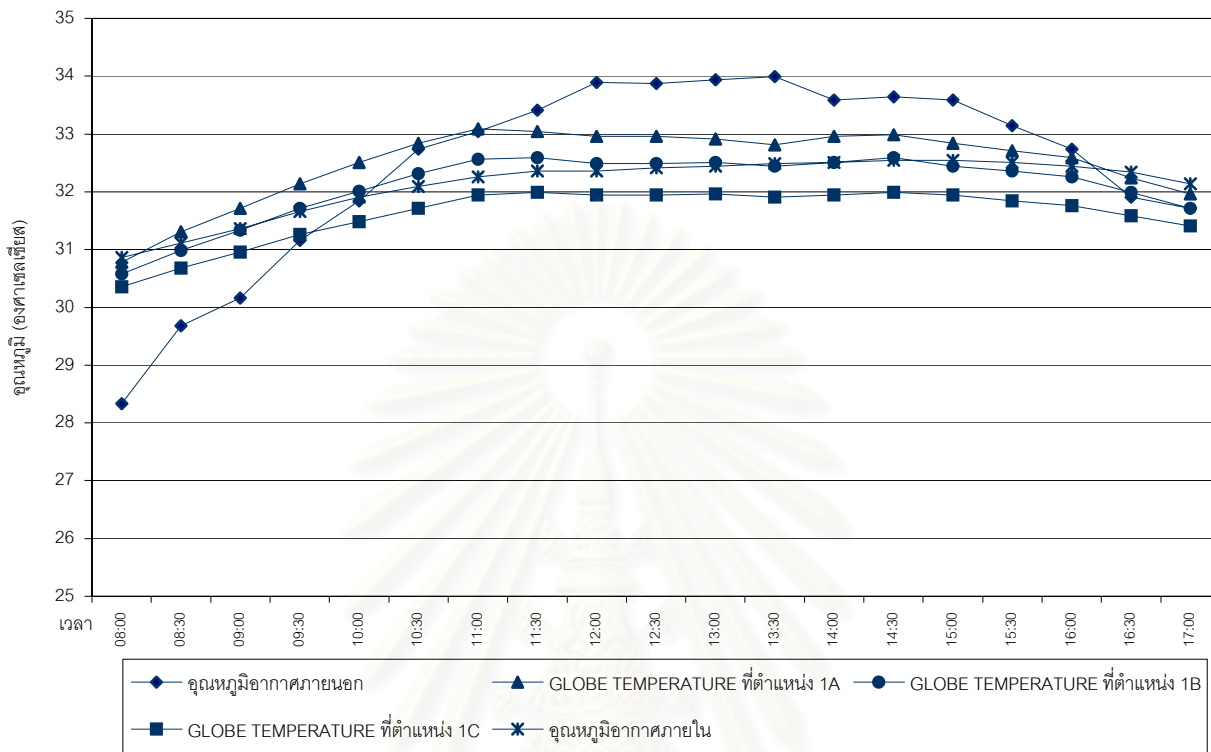
ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด, ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 1

ตำแหน่งที่	มุมที่กระทำกับช่องเปิดและห้องฟ้า (องศา)	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	Solid angle (steradians)
1A	60	1.10	2.27
1B	45	1.95	1.60
1C	30	3.45	0.88

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.

ห้องที่ทำการเก็บข้อมูลเป็นห้องระบบปิด ไม่มีความเร็วลมภายในห้อง

แผนภูมิที่ 4.1.1 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศและ Globe temperature ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.1 จะเห็นได้ว่า

ค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 1A มีค่าสูงกว่าตำแหน่งที่ 1B และ 1C ตลอดทั้งวัน ทั้งยังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง เนื่องจากตำแหน่งที่ 1A นั้นอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหน้าต่างมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.49 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 1B ซึ่งอยู่ถัดเข้าไปในห้องนั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.10 องศาเซลเซียส

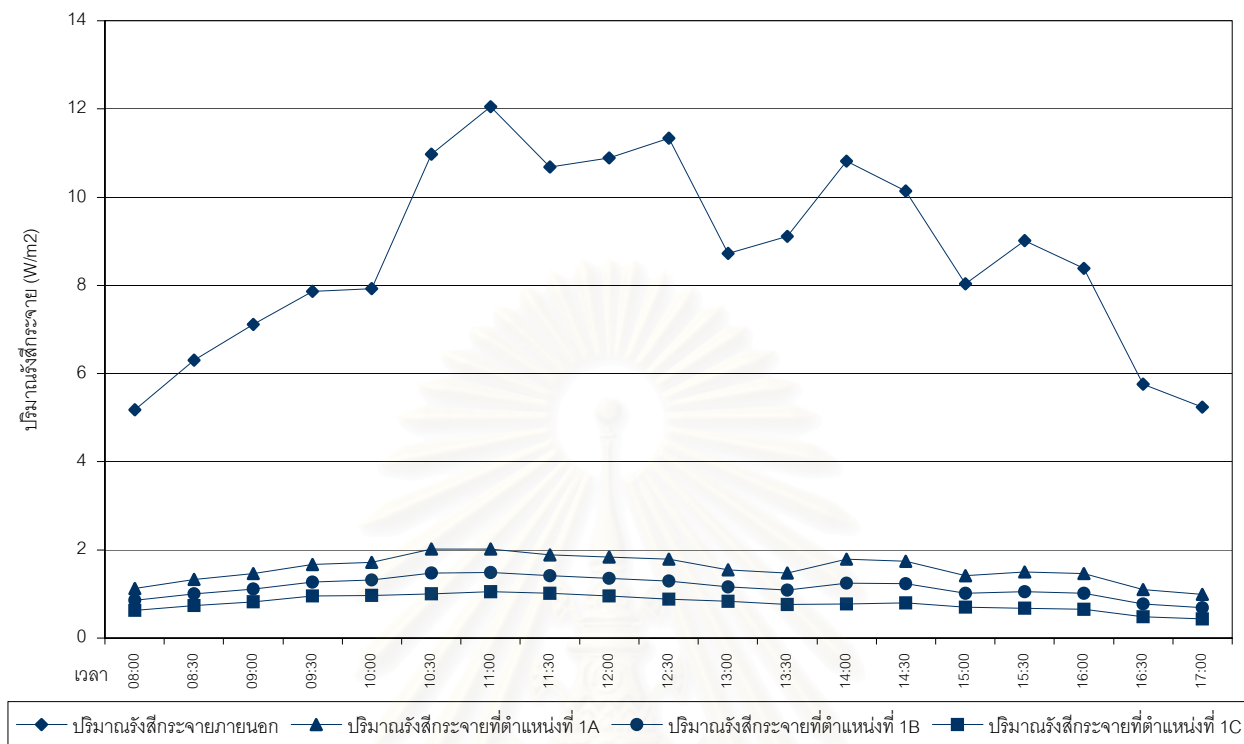
สำหรับค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 1C มีค่าต่ำที่สุด รวมทั้งยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 31.61 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอก มีอุณหภูมิต่ำในช่วงเช้าและมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ สูงสุดเวลา 13.30 นาฬิกา จากนั้นค่าค่อยๆ ลดต่ำลง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.44 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.12 องศาเซลเซียส

โดยอุณหภูมิอากาศภายในและ Globe temperature จะมีแนวโน้มในการเพิ่มและลดของอุณหภูมิสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิที่ 4.1.2 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 1 (วันที่ 31 มีนาคม 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิที่ 4.1.2 จะเห็นได้ว่า

ปริมาณรังสีกระจายภายนอกนั้น มีความแปรปรวนเกือบตลอดทั้งวัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน ทำให้เกิดการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์แบบไม่เป็น uniform และมีค่าไม่แน่นอน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5 ถึง 12 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.71 วัตต์ต่อตารางเมตร

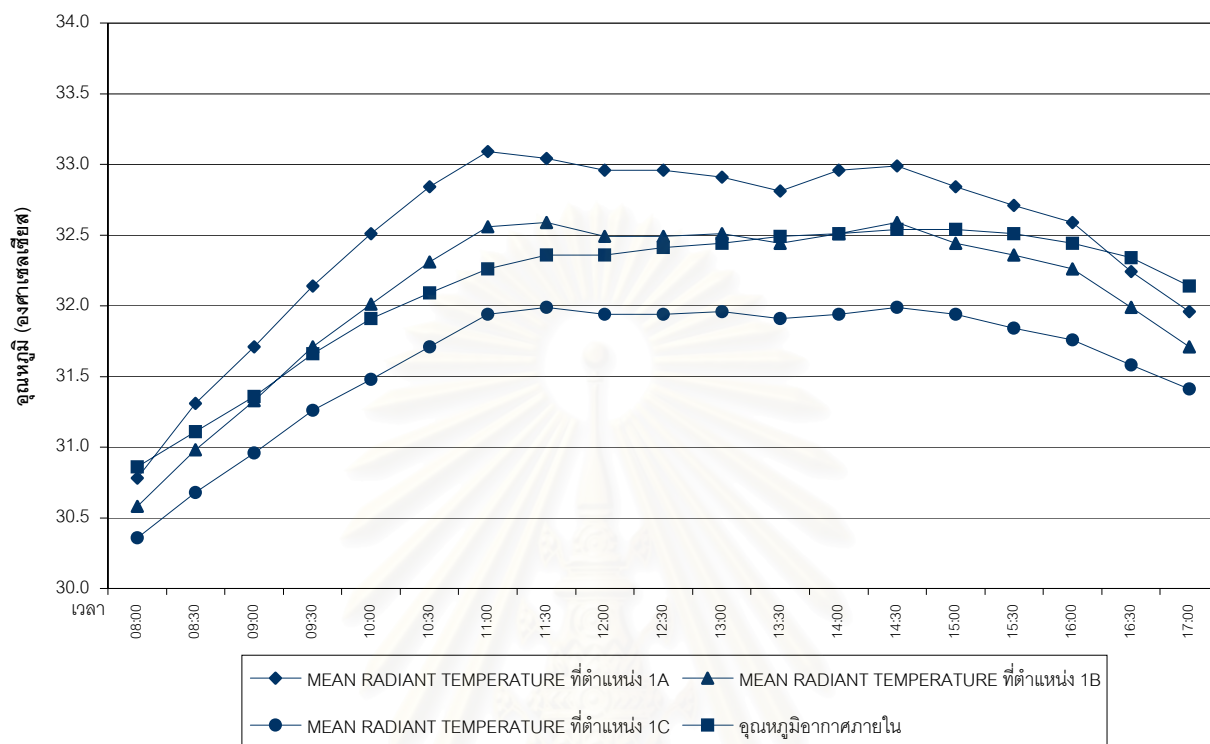
สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 1A นั้นมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้หน้าต่างและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้ามากที่สุด (2.27 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.57 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 1B มีค่าต่ำกว่า ตำแหน่ง 1A เนื่องจากอยู่ห่างจากช่องเปิดมากกว่าและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าน้อยกว่า ตำแหน่ง 2A (1.6 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.15 วัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 1C นั้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งอยู่ลึกเข้าไปในห้องทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าลดน้อยลงไป (0.88 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.80 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องนั้น มีแนวโน้มการเพิ่มและลดในแนวทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับปริมาณรังสีกระจายภายนอกหน้าต่าง

แผนภูมิที่ 4.1.3 แสดงค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย (Mean Radiant Temperature) ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.3 จะเห็นได้ว่า

เนื่องจากสภาวะภายในห้องเป็นระบบปิด ไม่มีความเร็วลมภายในห้อง เมื่อใช้ค่า Globe temperature ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและค่าความเร็วลม ซึ่งเท่ากับ 0 เมตรต่อวินาที แทนค่าในสมการ

$$T_{mrt} = \left[\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \} \times (T_g - T_a) \right] + T_a$$

เพื่อหาค่า Mean radiant temperature ค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับ ค่าที่วัดได้จาก Globe thermometer นั้นคือ เป็นค่า Globe temperature นั้นเอง

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1A จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่ความร้อนจากช่องเปิดที่มีอุณหภูมิสูง มากกว่าตำแหน่ง 1B และ 1C ที่อยู่ถัดเข้าไปในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.49 องศาเซลเซียส

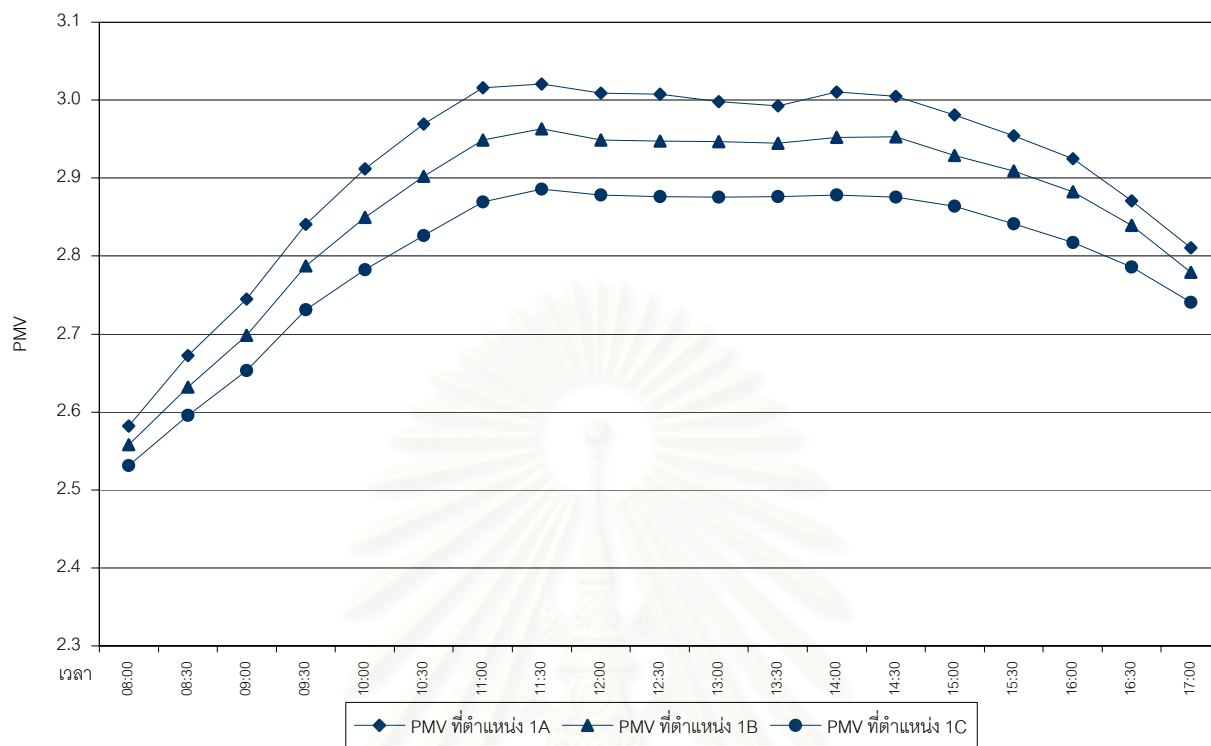
ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1B นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.10 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1C นั้นมีค่าน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ รวมทั้งมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศภายในด้วย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 31.61 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.12 องศาเซลเซียส

ซึ่งค่า Mean radiant temperature นี้จะใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความสบาย (Predicted Mean Voted: PMV) และค่าเปอร์เซ็นต์ ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD) ต่อไป

แผนภูมิที่ 4.1.4 แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.4 ค่าที่ได้ในแผนภูมินั้นมาจากการแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2.3.20) สมการหาค่า PMV โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูล คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่า Mean radiant temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม

และตัวแปรที่กำหนดค่าไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง คือ

- อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M) ขึ้นกับกิจกรรม กำหนดให้เป็นคนนั่งทำงาน มีค่า Metabolism rate 50 kcal/hr m²

- ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value) ให้เป็นเสื้อผ้าแบบ Light Working Ensemble มีค่า Clo vale เท่ากับ 0.6

จาก ASHARE scale ที่ใช้สำหรับบอกถึงค่าความรู้สึกสบายหรือร้อนหนาวของคน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 (ร้อนมาก) ถึง 3 (หนาว) นั้น

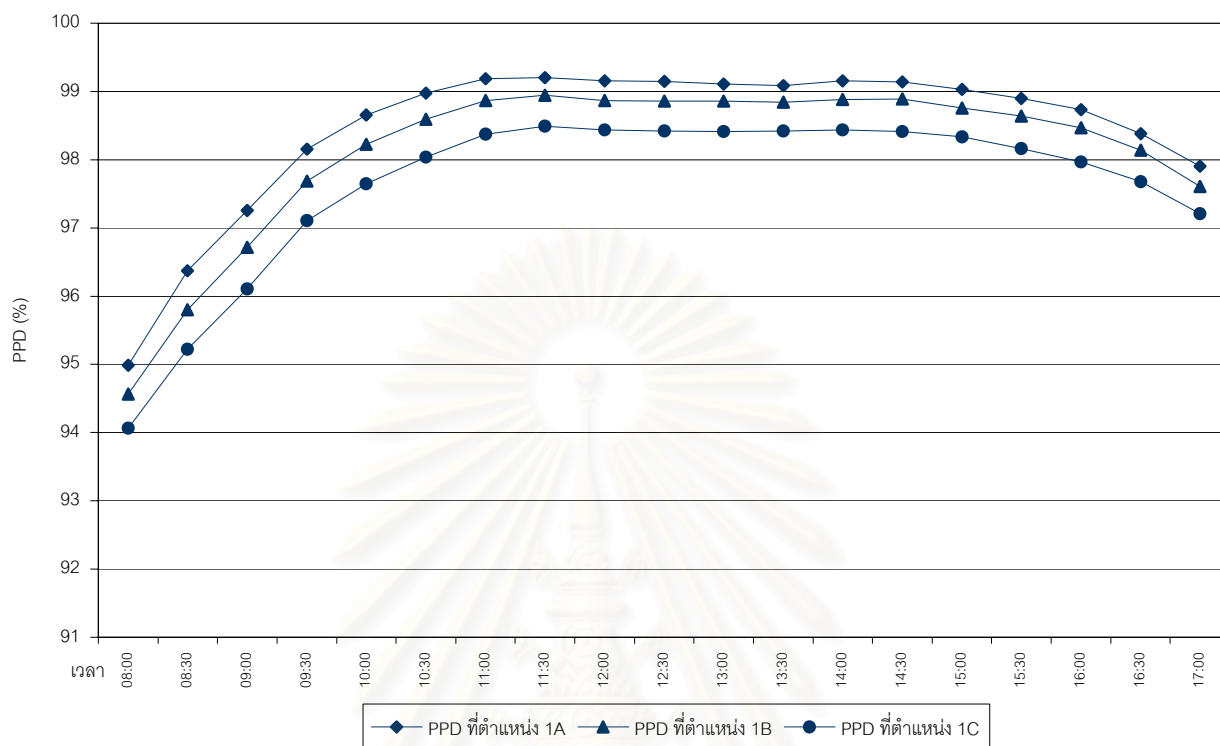
ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.91 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1B มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 1A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.86 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1C มีค่าต่ำกว่าที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.80 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

โดยค่า PMV ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าไม่สูงมากนักในช่วงเช้า แต่จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึง 11.00 น. และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันจนถึง 14.00น. จึงค่อยๆ มีค่าลดลง

แผนภูมิที่ 4.1.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิ ที่ 4.1.5 จะเห็นได้ว่า

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 1A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 98.45 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1A ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.91 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 1A จะมีกลุ่มคนถึงประมาณ 98 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 1B มีค่าเฉลี่ยประมาณ 98.12 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.86 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 1B จะมีกลุ่มคนถึงประมาณ 98 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

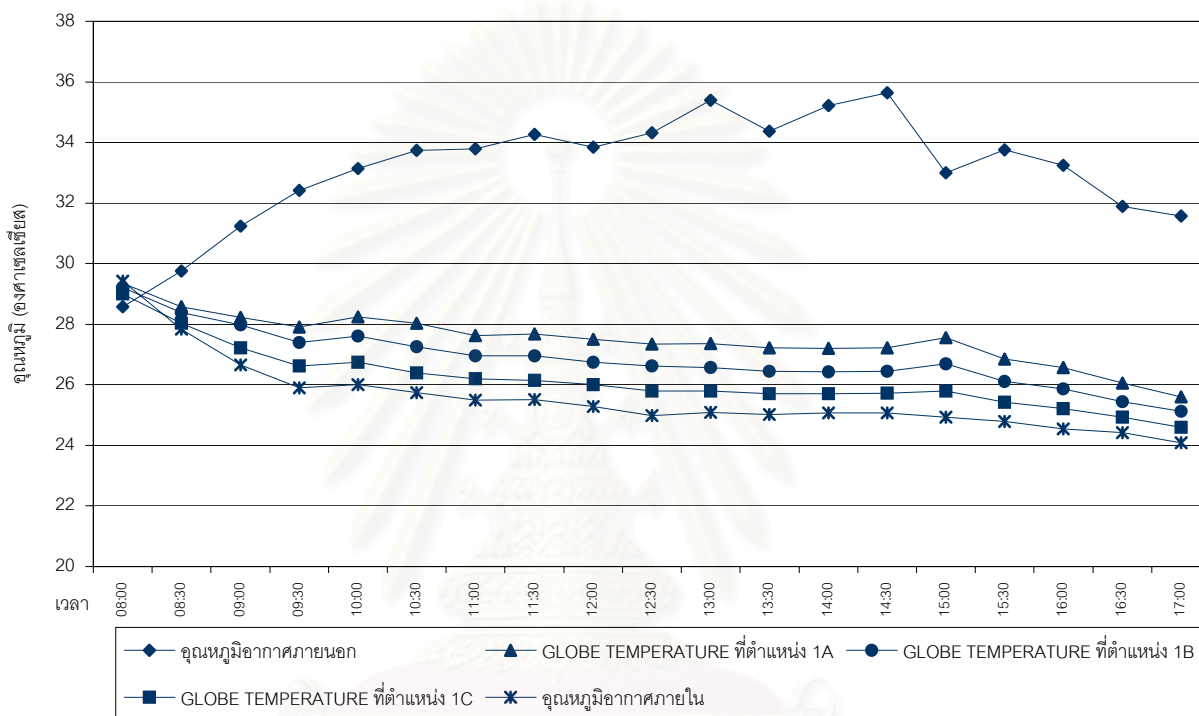
ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 1C มีค่าเฉลี่ยประมาณ 97.63 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.80 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 1C จะมีกลุ่มคนถึงประมาณ 98 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

4.1.2 การทดลองห้องแบบที่ 1 สภาวะที่มีการปรับอากาศ

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั้นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.

ห้องที่ทำการเก็บข้อมูลมีการปรับอากาศ มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที

แผนภูมิที่ 4.1.6 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.6 จะเห็นได้ว่า

ค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 1A มีค่าสูงกว่าตำแหน่งที่ 1B และ 1C ตลอดทั้งวัน ทั้งยังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง เนื่องจากตำแหน่งที่ 1A นั้นอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหน้าต่างมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 27.48 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 1B ซึ่งอยู่ถัดเข้าไปในห้องนั้นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.85 องศาเซลเซียส

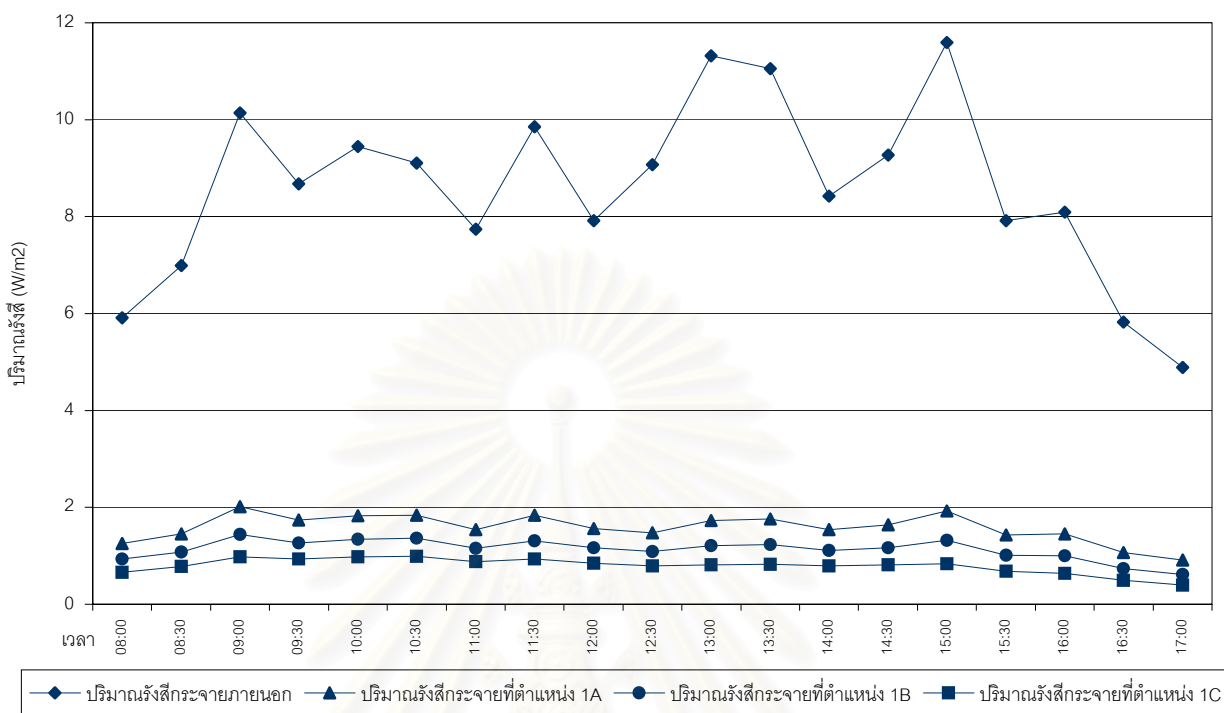
สำหรับค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 1C มีค่าต่ำที่สุด แต่ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.16 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอก มีอุณหภูมิต่ำในช่วงเช้าและมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นค่าค่อยๆ ลดต่ำลงในช่วงบ่าย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 33.11 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.57 องศาเซลเซียส

โดยอุณหภูมิอากาศภายในและ Globe temperature จะมีแนวโน้มในการเพิ่มและลดของอุณหภูมิไปในแนวทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายใน

แผนภูมิที่ 4.1.7 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 1 (วันที่ 1 เมษายน 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.7 จะเห็นได้ว่า

ปริมาณรังสีกระจายภายนอกนั้น มีความแปรปรวนตลอดทั้งวัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน ทำให้เกิดการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์แบบ ไม่เป็น uniform และมีค่าไม่แน่นอน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.59 วัตต์ต่อตารางเมตร

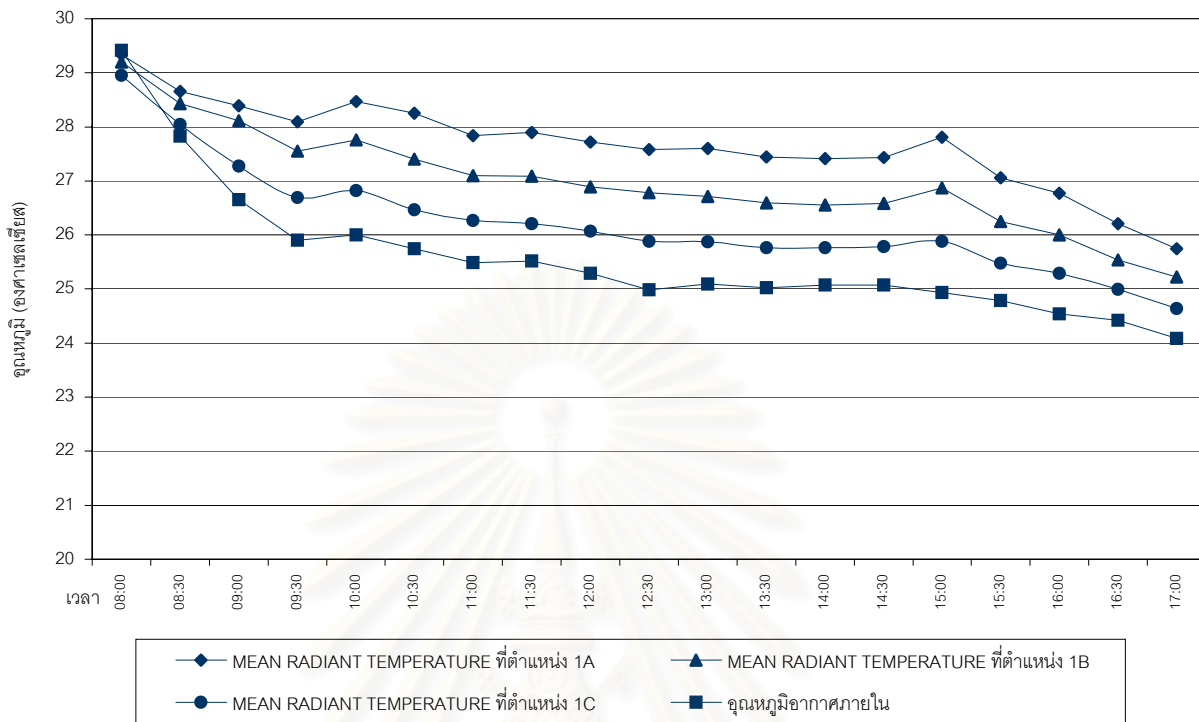
สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 1A นั้นมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้หน้าต่างและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้ามากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.58 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 1B มีค่าต่ำกว่า ตำแหน่ง 1A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.14 วัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 1C นั้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งอยู่ลึกเข้าไปในห้องทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าลดน้อยลงไป มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.79 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องนั้น มีแนวโน้มการเพิ่มและลดสัมพันธ์กับปริมาณรังสีกระจายภายนอกหน้าต่าง

แผนภูมิที่ 4.1.8 แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.8 จะเห็นได้ว่า

เนื่องจากสภาวะภายในมีการปรับอากาศ และมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ทำกรวัดค่า อุณหภูมิประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที เมื่อใช้ค่า Globe temperature ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและค่าความเร็วลม แทนค่าในสมการ

$$T_{mrt} = [\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \} \times (T_g - T_a)] + T_a$$

เพื่อหาค่า Mean radiant temperature

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1A จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่ความร้อนจากช่องเปิดที่มีอุณหภูมิสูง มากกว่าตำแหน่ง 1B และ 1C ที่อยู่ถัดเข้าไปในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 27.57 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1B นั้นมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.91 องศาเซลเซียส

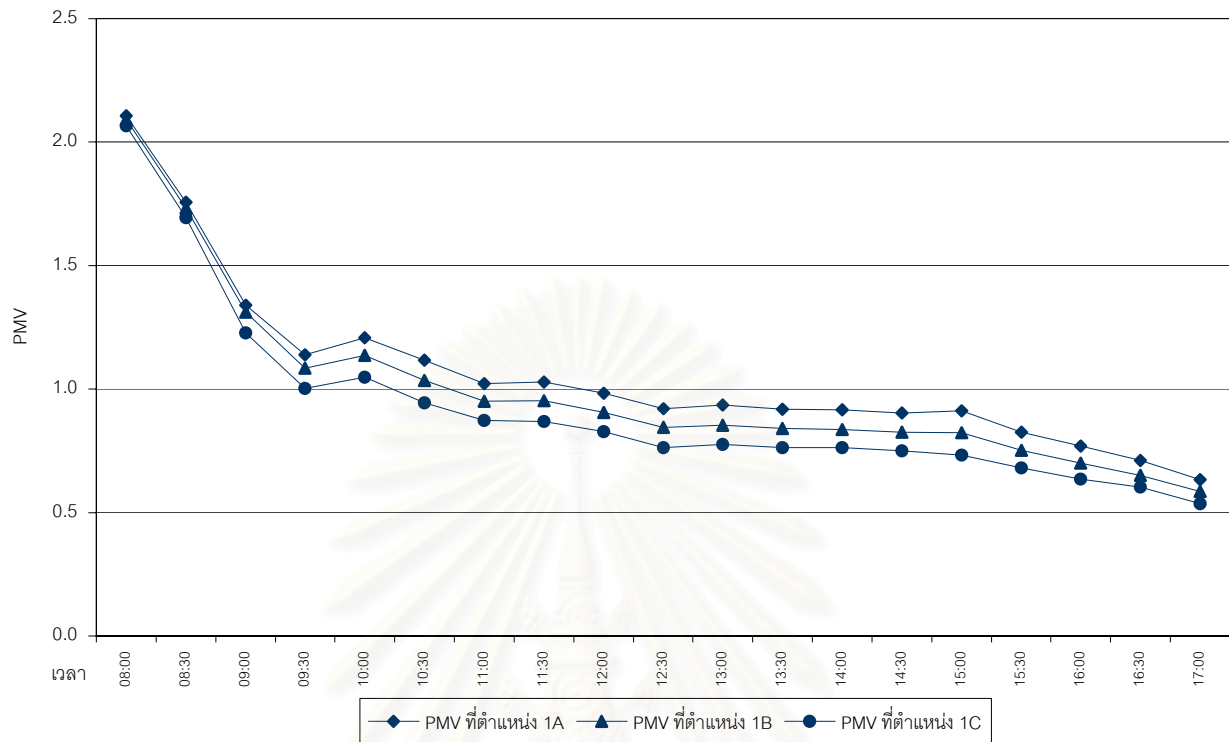
ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1C นั้นมีค่าน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ แต่มีค่ามากกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.19 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.57 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ทุกตำแหน่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน

ซึ่งค่า Mean radiant temperature นี้จะใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความสบาย (Predicted Mean Voted: PMV) และค่าเปอร์เซ็นต์ ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD) ต่อไป

แผนภูมิที่ 4.1.9 แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.9 ค่าที่ได้ในแผนภูมินั้นมาจากการแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2.3.20) สมการหาค่า PMV โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูล คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่า Mean radiant temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตัวแปรที่กำหนดค่าไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M) ขึ้นกับกิจกรรม กำหนดให้เป็นคนนั่งทำงาน มีค่า Metabolism rate 50 kcal/hr m^2 และ ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value) ให้เป็นเสื้อผ้าแบบ Light Working Ensemble มีค่า Clo vale เท่ากับ 0.6

จาก ASHARE scale ที่ใช้สำหรับบอกถึงค่าความรู้สึกสบายหรือร้อนหนาวของคน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 (ร้อนมาก) ถึง 3 (หนาว) นั้น

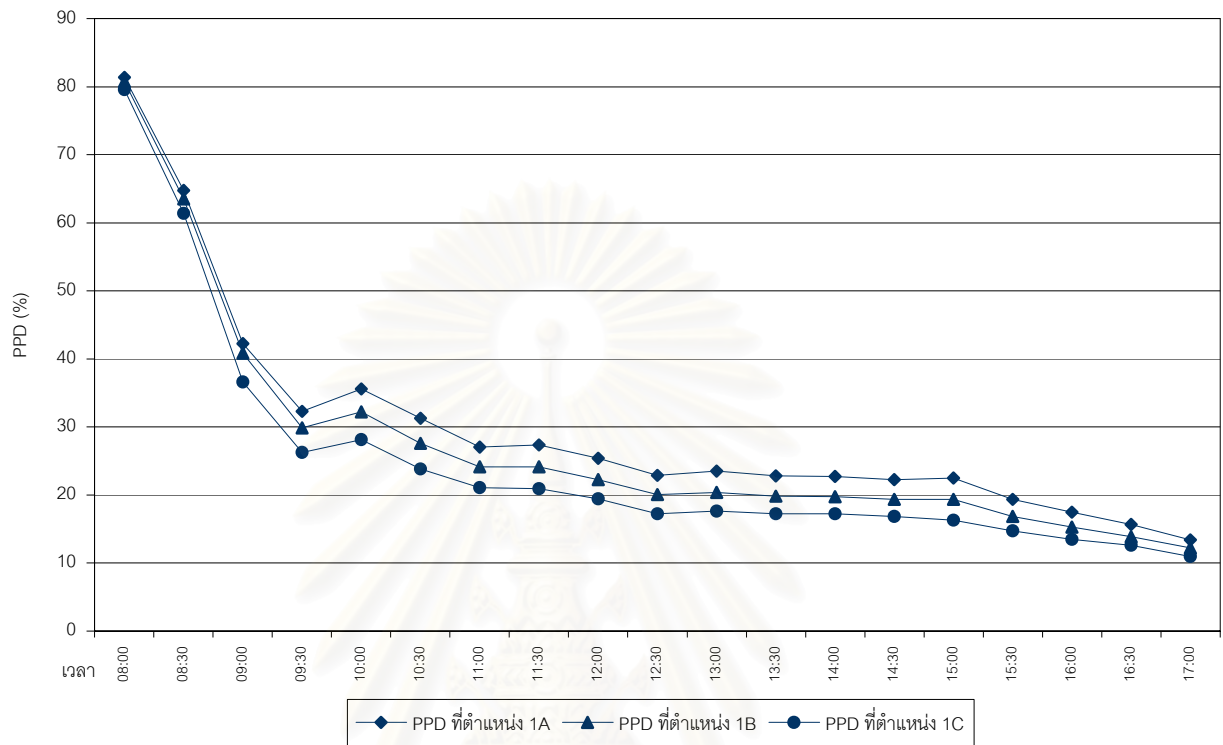
ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1A มีค่าโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.05 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1B มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 1A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.99 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1C มีค่าต่ำกว่าที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.92 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

โดยค่า PMV ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าสูงในช่วงเช้าเนื่องจากเพิ่งเปิดเครื่องปรับอากาศ แต่จะค่อยๆ ลดลงขึ้นเรื่อยๆ ๗ ตลอดวัน

แผนภูมิที่ 4.1.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.10 จะเห็นได้ว่า

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 1A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 29.60 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1A ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.05 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนเล็กน้อย นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 1A จะมียุ่คนถึงประมาณ 30 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกว่าร้อนเล็กน้อย

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 1B มีค่าเฉลี่ยประมาณ 27.24 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.99 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 1B จะมียุ่คนถึงประมาณ 27 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกว่าร้อนเล็กน้อย

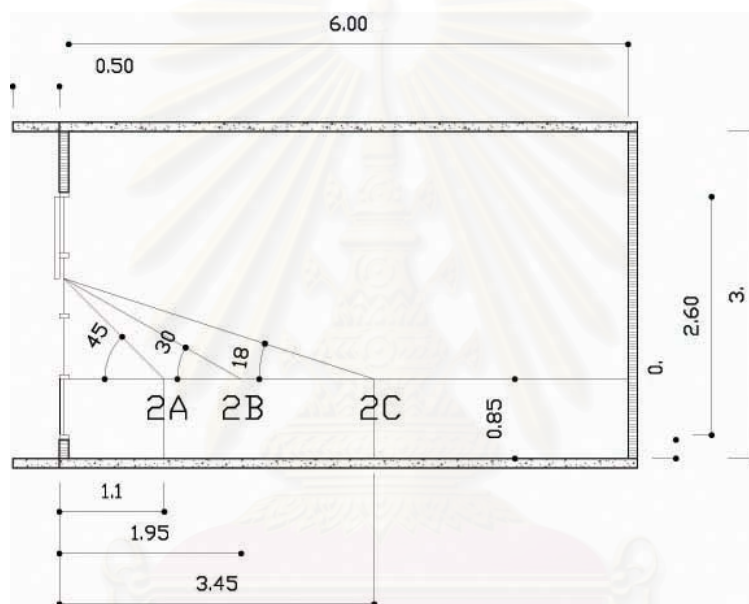
ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 1C มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.72 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 1C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.92 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 1C จะมียุ่คนถึงประมาณ 25 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกว่าร้อนเล็กน้อย

4.1.3 การทดลองห้องแบบที่ 2 สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ

ทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ ได้แก่

- ค่า Globe Temperature
- ค่าปริมาณรังสีกระจายภายในและภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร และนอกอาคาร
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร
- ค่าความเร็วลมภายในอาคาร

โดยกำหนดให้ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล ถือเป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง โดยทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.1.2 แสดงรูปตัดห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแบบที่ 2

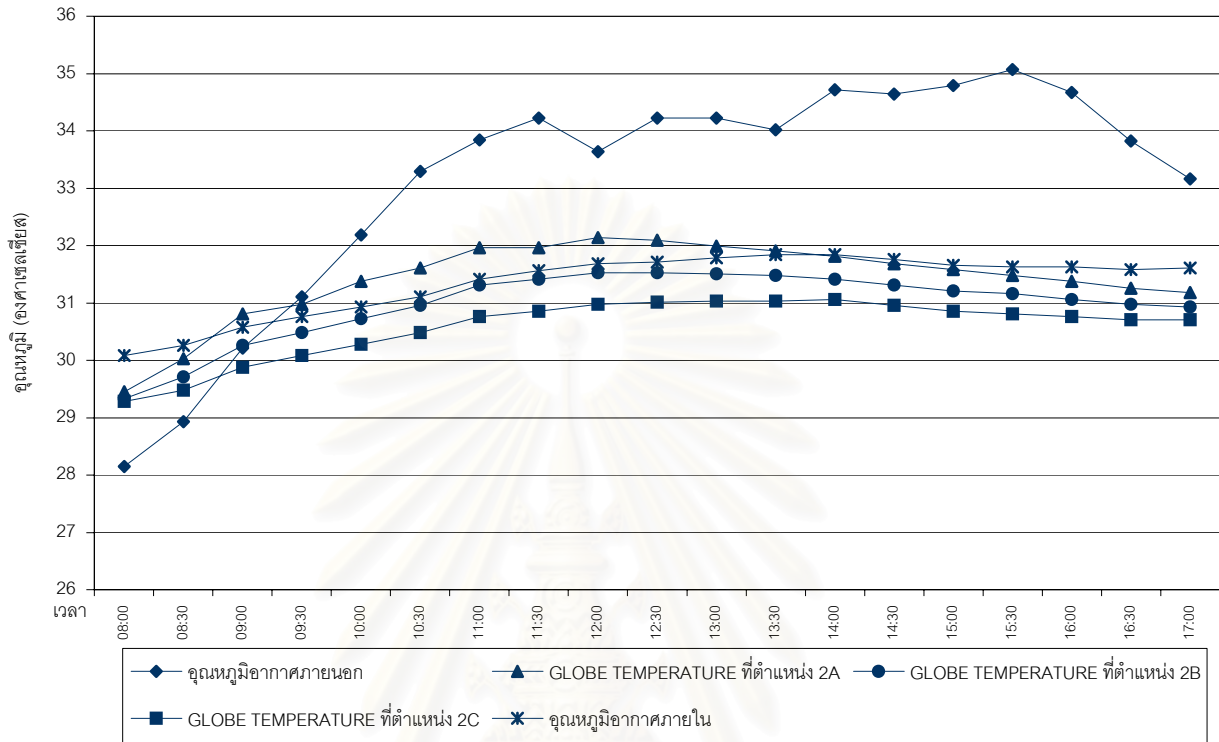
ตารางที่ 4.1.2 แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด, ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 2

ตำแหน่งที่	มุมที่กระทำกับช่องเปิดและท้องฟ้า (องศา)	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	Solid angle (steradians)
2A	45	1.10	1.85
2B	30	1.95	1.12
2C	18	3.45	0.54

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.และเก็บข้อมูล

ห้องที่ทำการเก็บข้อมูลเป็นห้องระบบปิด ไม่มีความเร็วลมภายในห้อง

แผนภูมิที่ 4.1.11 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.11 จะเห็นได้ว่า

ค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 2A มีค่าสูงกว่าตำแหน่งที่ 2B และ 2C ตลอดทั้งวัน ทั้งยังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง เนื่องจากตำแหน่งที่ 2A นั้นอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหน้าต่างมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 31.40 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 2B ซึ่งอยู่ถัดเข้าไปในห้องนั้นมีค่าต่ำกว่า ณ ตำแหน่งที่ 2A และอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.96 องศาเซลเซียส

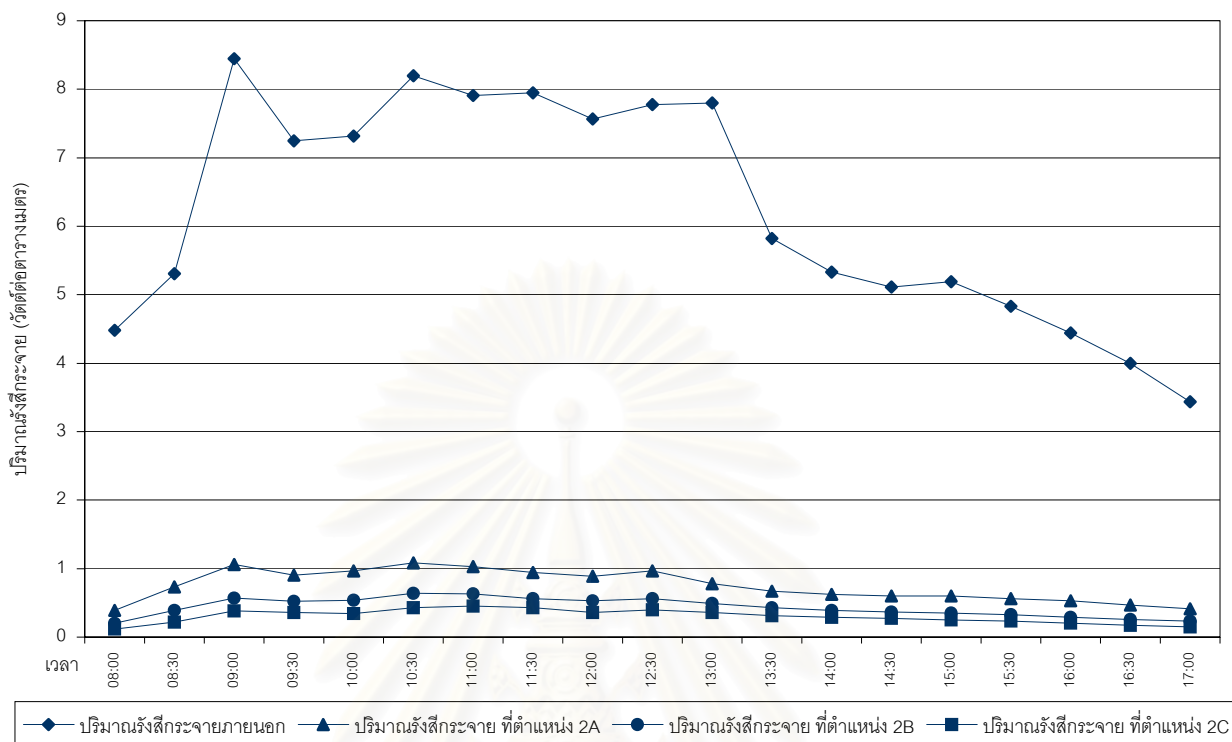
สำหรับค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 2C มีค่าต่ำที่สุด รวมทั้งยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.58 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอก มีค่าเฉลี่ยประมาณ 33.10 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 31.34 องศาเซลเซียส

โดยอุณหภูมิอากาศภายในและ Globe temperature จะมีแนวโน้มในการเพิ่มและลดของอุณหภูมิสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิที่ 4.1.12 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 2 วันที่ 27 มีนาคม 2545



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.12 จะเห็นได้ว่า

ปริมาณรังสีกระจายภายนอกนั้น มีความแปรปรวนเกือบตลอดทั้งวัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน ทำให้เกิดการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์แบบ ไม่เป็น uniform และมีค่าไม่แน่นอน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.4 วัตต์ต่อตารางเมตร

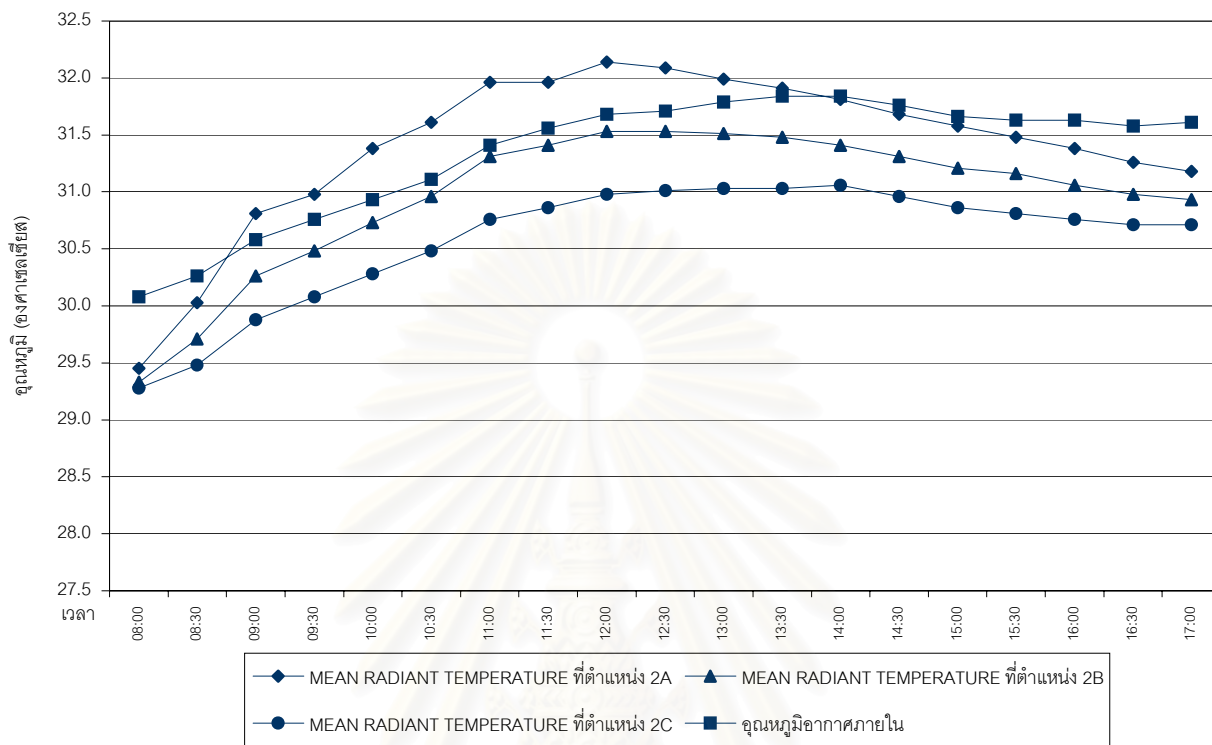
สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 2A นั้นมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้หน้าต่างและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้ามากที่สุด (1.85 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.75 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 2B มีค่าต่ำกว่า ตำแหน่ง 2A เนื่องจากมีปริมาณการเห็น(see) ท้องฟ้าน้อยกว่า ตำแหน่ง 2A (1.13 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.44 วัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 2C นั้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งอยู่ลึกเข้าไปในห้องทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าลดน้อยลงไป (0.54 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.30 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องนั้น มีแนวโน้มการเพิ่มและลดไปในทิศทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับปริมาณรังสีกระจายภายนอกหน้าต่าง

แผนภูมิที่ 4.1.13 แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.13 จะเห็นได้ว่า

เนื่องจากสภาวะภายในห้องเป็นระบบปิด ไม่มีความเร็วลมภายในห้อง เมื่อใช้ค่า Globe temperature ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและค่าความเร็วลม ซึ่งเท่ากับ 0 เมตรต่อวินาที แทนค่าในสมการ

$$T_{mrt} = [\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \} \times (T_g - T_a)] + T_a$$

เพื่อหาค่า Mean radiant temperature ค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับ ค่าที่วัดได้จาก Globe thermometer นั้น คือ เป็นค่า Globe temperature นั้นเอง

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 2A จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่ความร้อนจากช่องเปิดที่มีอุณหภูมิสูง มากกว่าตำแหน่ง 1B และ 1C ที่อยู่ถัดเข้าไปในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 31.40 องศาเซลเซียส

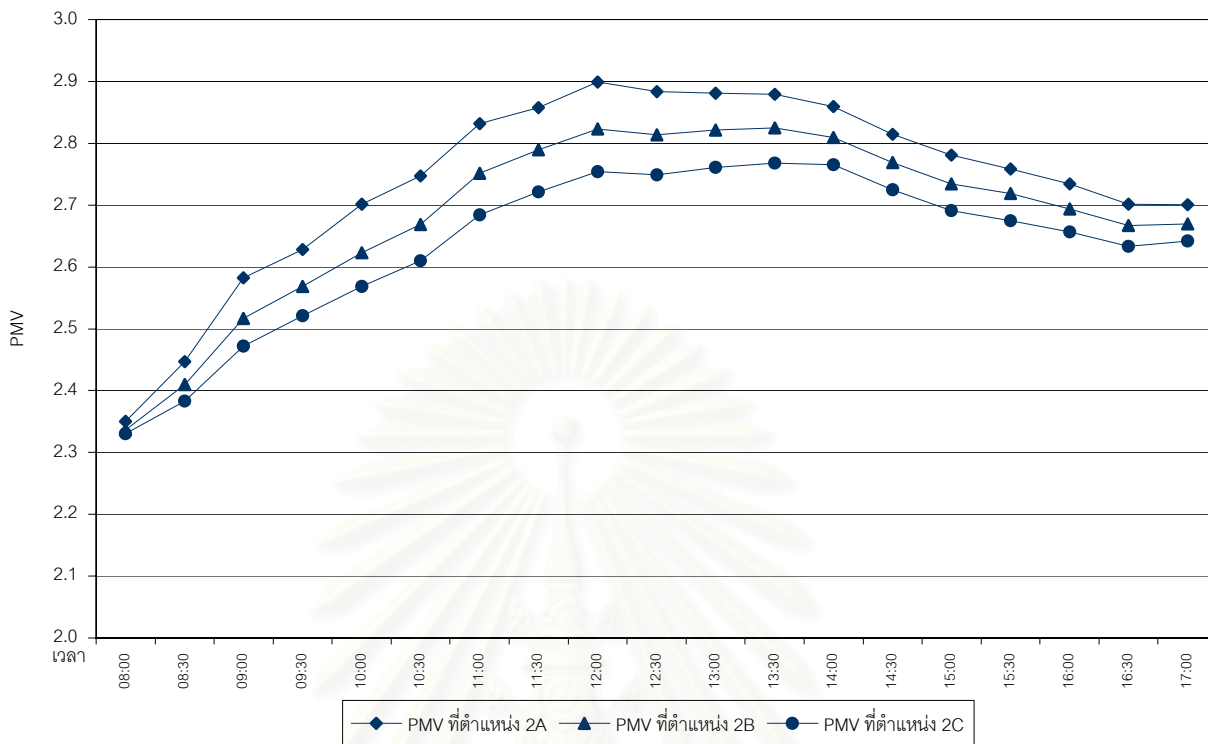
ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1B นั้นมีค่ามากกว่า ตำแหน่งที่ 1C แต่มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.96 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 1C นั้นมีค่าน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ รวมทั้งมีค่าน้อยกว่า อุณหภูมิอากาศภายในด้วย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.58 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 31.34 องศาเซลเซียส

ซึ่งค่า Mean radiant temperature นี้จะใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความสบาย (Predicted Mean Voted: PMV) และค่าเปอร์เซ็นต์ ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD) ต่อไป

แผนภูมิที่ 4.1.14 แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.14 ค่าที่ได้ในแผนภูมินั้นมาจากการแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2.3.20) ในบทที่ 2 สมการหา ค่า PMV

โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูล คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่า Mean radiant temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตัวแปรที่กำหนดค่าไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M) ขึ้นกับกิจกรรม กำหนดให้เป็นคนนั่งทำงาน มีค่า Metabolism rate 50 kcal/hr m^2 ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value) ให้เป็นเสื้อผ้าแบบ Light Working Ensemble มีค่า Clo vale เท่ากับ 0.6

จาก ASHARE scale ที่ใช้สำหรับบอกถึงค่าความรู้สึกสบายหรือร้อนหนาวของคน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 (ร้อนมาก) ถึง 3 (หนาว) นั้น

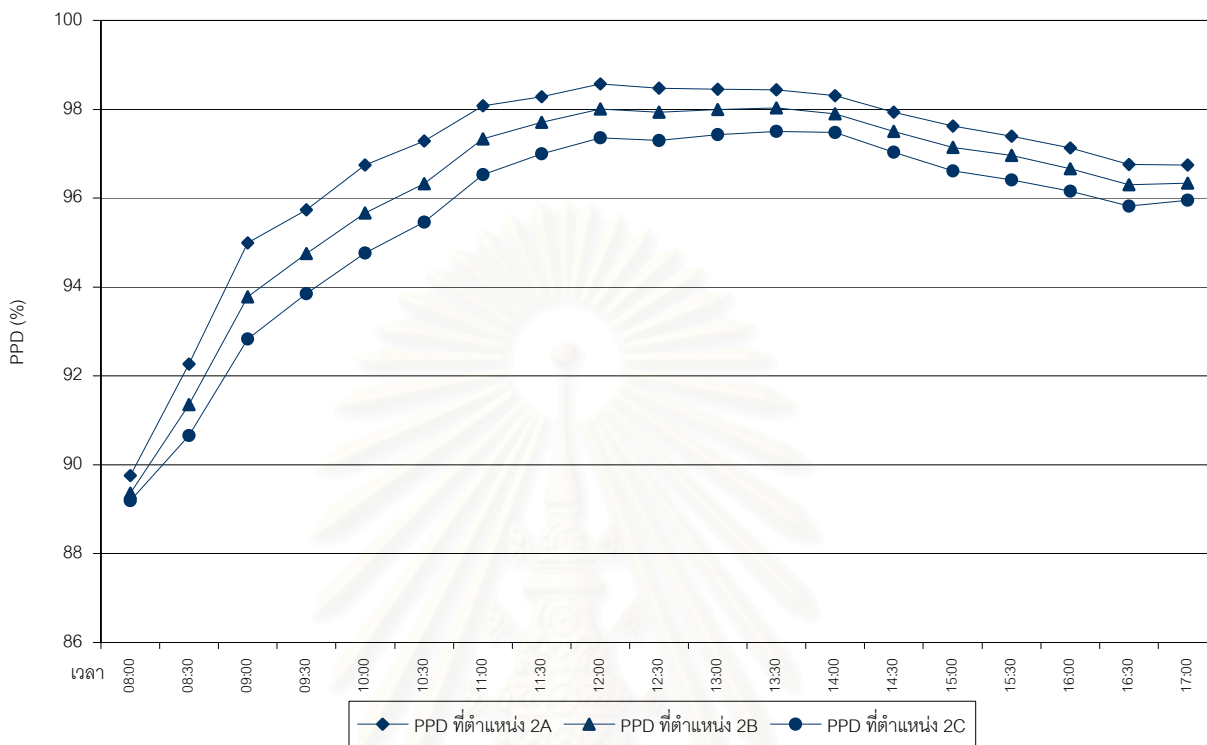
ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.74 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2B มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 2A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.68 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2C มีค่าต่ำกว่าที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.64 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

โดยค่า PMV ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าไม่สูงมากนักในช่วงเช้า แต่จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดเวลา 12.00 น. จึงค่อยๆ มีค่าลดลง

แผนภูมิที่ 4.1.15 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.15 จะเห็นได้ว่า

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 2A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 96.79 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2A ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.74 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 2A จะมียุ่กลุ่มคนถึงประมาณ 97 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 2B มีค่าเฉลี่ยประมาณ 96.16 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.68 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 2B จะมียุ่กลุ่มคนถึงประมาณ 96 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

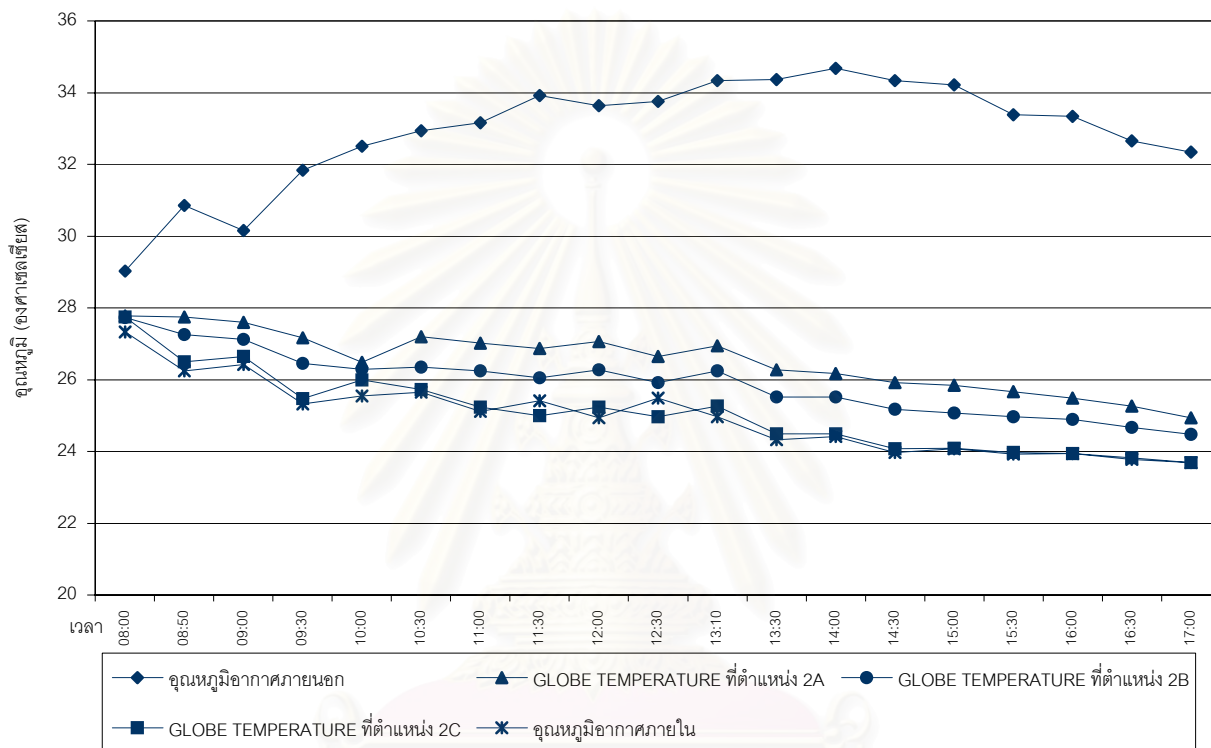
ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 2C มีค่าเฉลี่ยประมาณ 95.54 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.64 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 2C จะมียุ่กลุ่มคนถึงประมาณ 96 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

4.1.4 การทดลองห้องแบบที่ 2 สภาวะที่มีการปรับอากาศ

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั้นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.

ห้องที่ทำการเก็บข้อมูลมีการปรับอากาศ มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที

แผนภูมิที่ 4.1.16 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิที่ 4.1.16 จะเห็นได้ว่า

ค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 2A มีค่าสูงกว่าตำแหน่งที่ 2B และ 2C ตลอดทั้งวัน ทั้งยังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง เนื่องจากตำแหน่งที่ 2A นั้นอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหน้าต่างมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.53 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 2B ซึ่งอยู่ถัดเข้าไปในห้องนั้นมีค่าต่ำกว่า ณ ตำแหน่งที่ 2A แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.91 องศาเซลเซียส

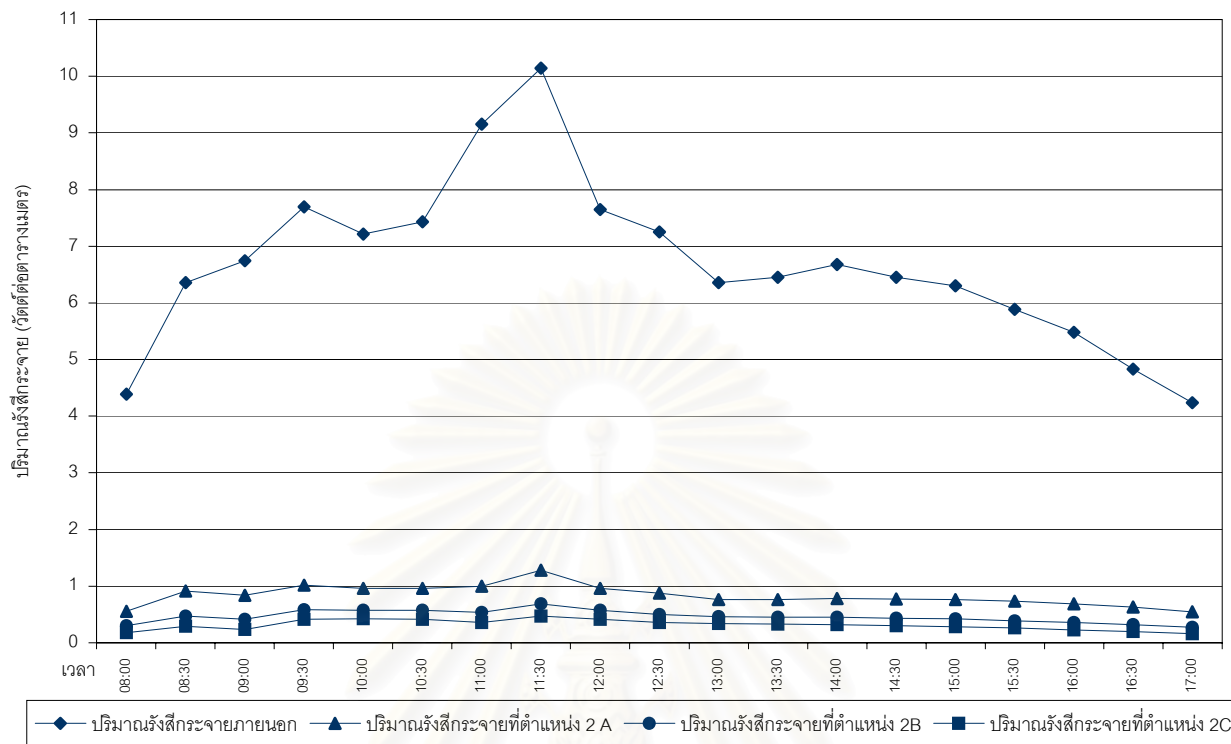
สำหรับค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 2C มีค่าต่ำที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในห้องตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.072 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอก มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.92 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.98 องศาเซลเซียส

ค่า Globe temperature ภายใน ณ ตำแหน่งต่างๆ มีแนวโน้มการเพิ่มและลดไปในทิศทางเดียวกัน และจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายใน มากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิที่ 4.1.17 แสดงค่ารังสีกระจายของห้องแบบที่ 2 วันที่ 28 มีนาคม 2545



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.17 จะเห็นได้ว่า

ปริมาณรังสีกระจายภายนอกนั้น มีความแปรปรวนในช่วงเช้า ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน ทำให้เกิดการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์แบบ ไม่เป็น uniform และมีค่าไม่แน่นอน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.67 วัตต์ต่อตารางเมตร

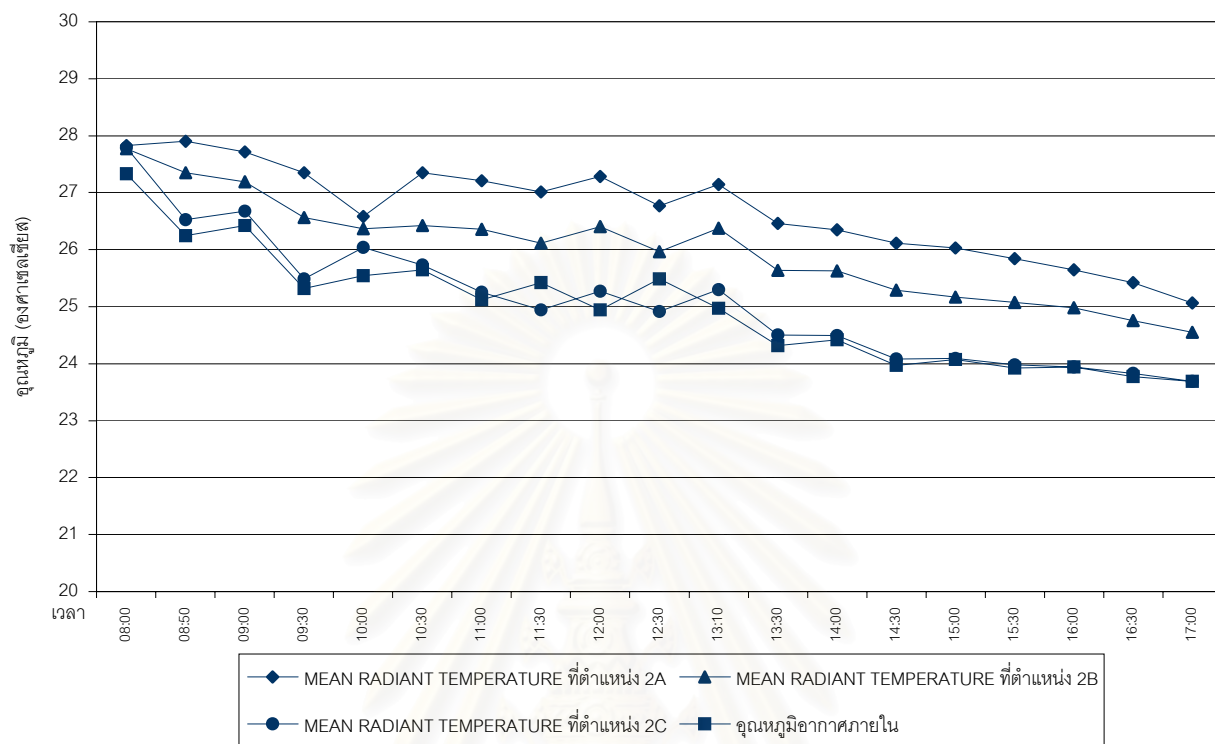
สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 2A นั้นมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้หน้าต่างและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้ามากที่สุด (1.85 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.83 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 2B มีค่าต่ำกว่า ตำแหน่ง 2A เนื่องจากมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าน้อยกว่า ตำแหน่ง 2A (1.13 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.46 วัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 2C นั้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งอยู่ลึกเข้าไปในห้องทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าน้อยลง (0.54 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.31 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องนั้น มีแนวโน้มการเพิ่มและลดไปในทิศทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับปริมาณรังสีกระจายภายนอกหน้าต่าง

แผนภูมิที่ 4.1.18 แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.18 จะเห็นได้ว่า

เนื่องจากสภาวะภายในมีการปรับอากาศ และมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดค่า อุณหภูมิประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที เมื่อใช้ค่า Globe temperature ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและค่าความเร็วลม แทนค่าในสมการ

$$T_{mrt} = \left[\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \} \times (T_g - T_a) \right] + T_a$$

เพื่อหาค่า Mean radiant temperature

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 2A จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่ความร้อนจากช่องเปิดที่มีอุณหภูมิสูง มากกว่าตำแหน่ง 2B และ 2C ที่อยู่ถัดเข้าไปในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 26.60 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 2B นั้นมีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 2A แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.95 องศาเซลเซียส

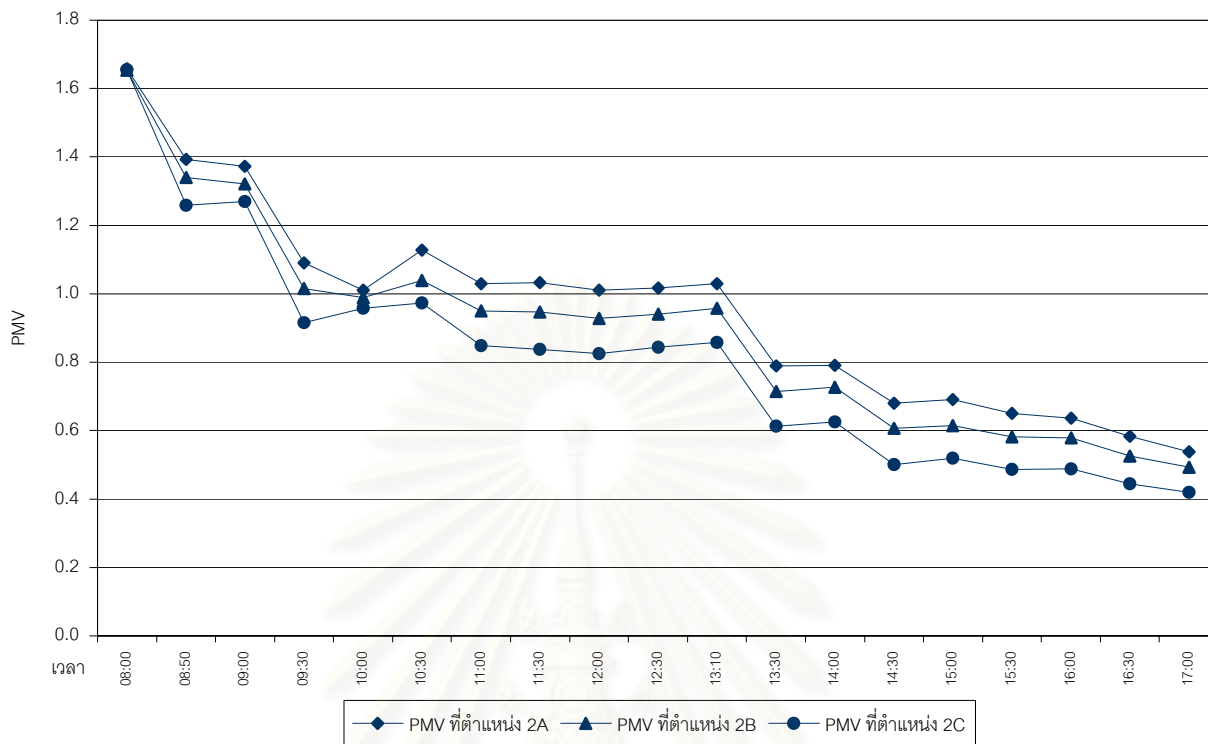
ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 2C นั้นมีค่าน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ และมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.08 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.98 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 2A และ 2B มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน ส่วน ณ ตำแหน่ง 2C นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน

ซึ่งค่า Mean radiant temperature นี้จะใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความสบาย (Predicted Mean Voted: PMV) และค่าเปอร์เซ็นต์ ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD) ต่อไป

แผนภูมิที่ 4.1.19 แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.19 ค่าที่ได้ในแผนภูมินั้นมาจากการแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2.3.20) สมการหาค่า PMV โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูล คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่า Mean radiant temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตัวแปรที่กำหนดค่าไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M) ขึ้นกับกิจกรรม กำหนดให้เป็นคนนั่งทำงาน มีค่า Metabolism rate 50 kcal/hr m^2 ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value) ให้เป็นเสื้อผ้าแบบ Light Working Ensemble มีค่า Clo vale เท่ากับ 0.6

จาก ASHARE scale ที่ใช้สำหรับบอกถึงค่าความรู้สึกสบายหรือร้อนหนาวของคน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 (ร้อนมาก) ถึง 3 (หนาว) นั้น

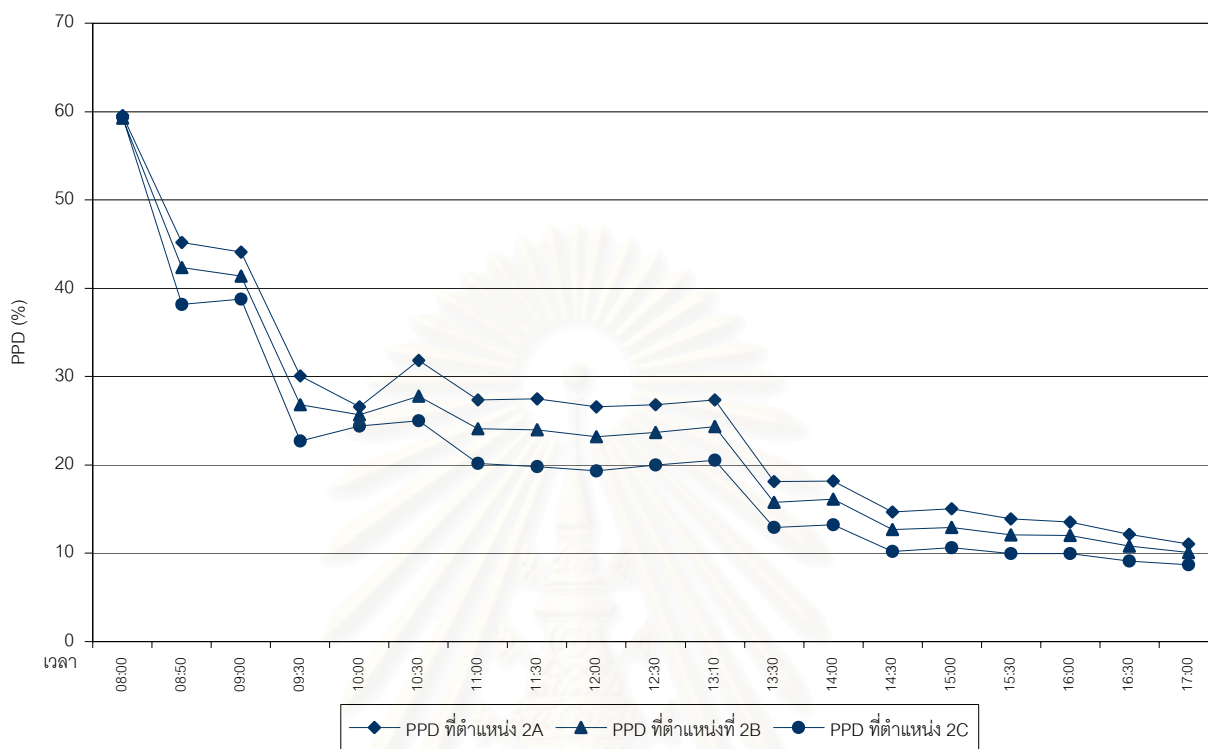
ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2A โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.95 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2B มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 2A โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.89 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2C มีค่าต่ำกว่าที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.81 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

โดยค่า PMV ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงเช้าเนื่องจากเพิ่งเปิดเครื่องปรับอากาศ จึงมีการแปรปรวนของอุณหภูมิ ทำให้ค่า PMV มีความแปรปรวนตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ค่า PMV ก็มีแนวโน้มลดลงในช่วงบ่ายจนมีค่าใกล้เคียงกับ 0 ในช่วงเย็น ซึ่งใน ASHARE scale 0 หมายถึงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) รู้สึกสบาย

แผนภูมิที่ 4.1.20 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิ ที่ 4.1.20 จะเห็นได้ว่า

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 2A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.46 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2A ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.95 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนเล็กน้อย นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 2A จะมียุ่กลุ่มคนถึงประมาณ 25 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกว่ ณ ตำแหน่งนี้ร้อนเล็กน้อย

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 2B มีค่าเฉลี่ยประมาณ 23.25 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.89 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 2B จะมียุ่กลุ่มคนถึงประมาณ 23 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกว่ ณ ตำแหน่งนี้ค่อนข้างร้อนเล็กน้อย

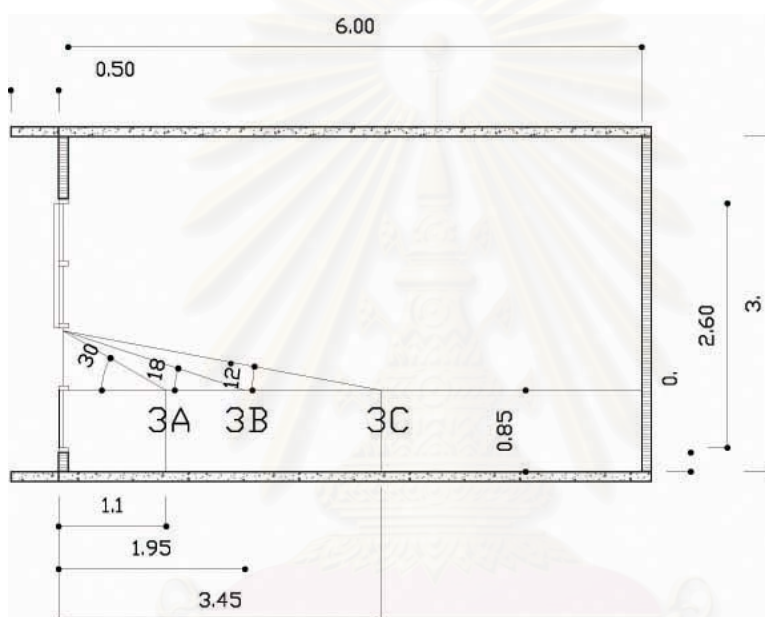
ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 2C มีค่าเฉลี่ยประมาณ 20.66 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 2C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.81 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 2C จะมียุ่กลุ่มคนถึงประมาณ 21 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกว่ ณ ตำแหน่งนี้ค่อนข้างร้อนเล็กน้อย

4.1.5 การทดลองห้องแบบที่ 3 สภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ

ทำการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ ได้แก่

- ค่า Globe Temperature
- ค่าปริมาณรังสีกระจายภายในและภายนอกอาคาร
- อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร และนอกอาคาร
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร
- ค่าความเร็วลมภายในอาคาร

โดยกำหนดให้ตำแหน่งในการเก็บข้อมูล ถือเป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานในห้อง โดยทำการเก็บค่าข้อมูลด้วยกันทั้งหมด 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 4.1.3 แสดงรูปตัดห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแบบที่ 3

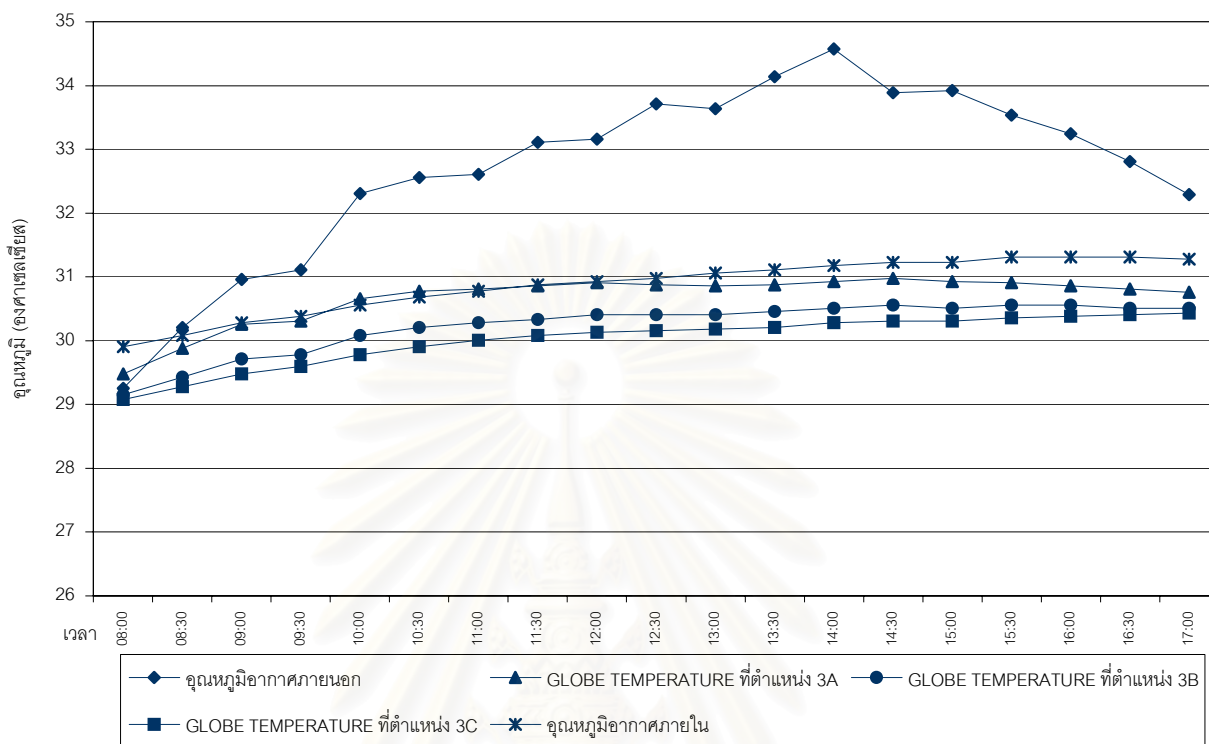
ตารางที่ 4.1.3 แสดงค่ามุมที่กระทำกับช่องเปิด, ระยะห่างจากช่องเปิดและค่า Solid angle ของห้องแบบที่ 3

ตำแหน่งที่	มุมที่กระทำกับช่องเปิดและท้องฟ้า (องศา)	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	Solid angle (steradians)
3A	30	1.10	1.30
3B	18	1.95	0.70
3C	12	3.45	0.36

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น.

ห้องที่ทำการเก็บข้อมูลเป็นห้องระบบปิด ไม่มีความเร็วลมภายในห้อง

แผนภูมิที่ 4.1.21 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศและ Globe temperature ของห้องแบบที่ 3 วันที่ 30 มีนาคม 2545 :
ไม่ปรับอากาศ



พิจารณาจากแผนภูมิที่ 4.1.21 จะเห็นได้ว่า

ค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 3A มีค่าสูงกว่าตำแหน่งที่ 3B และ 3C ตลอดทั้งวัน แต่มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในห้อง เนื่องจากตำแหน่งที่ 3A นั้นอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหน้าต่างมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.67 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 3B ซึ่งอยู่ถัดเข้าไปในห้องนั้นมีค่าต่ำกว่าตำแหน่งที่ 3A และอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.23 องศาเซลเซียส

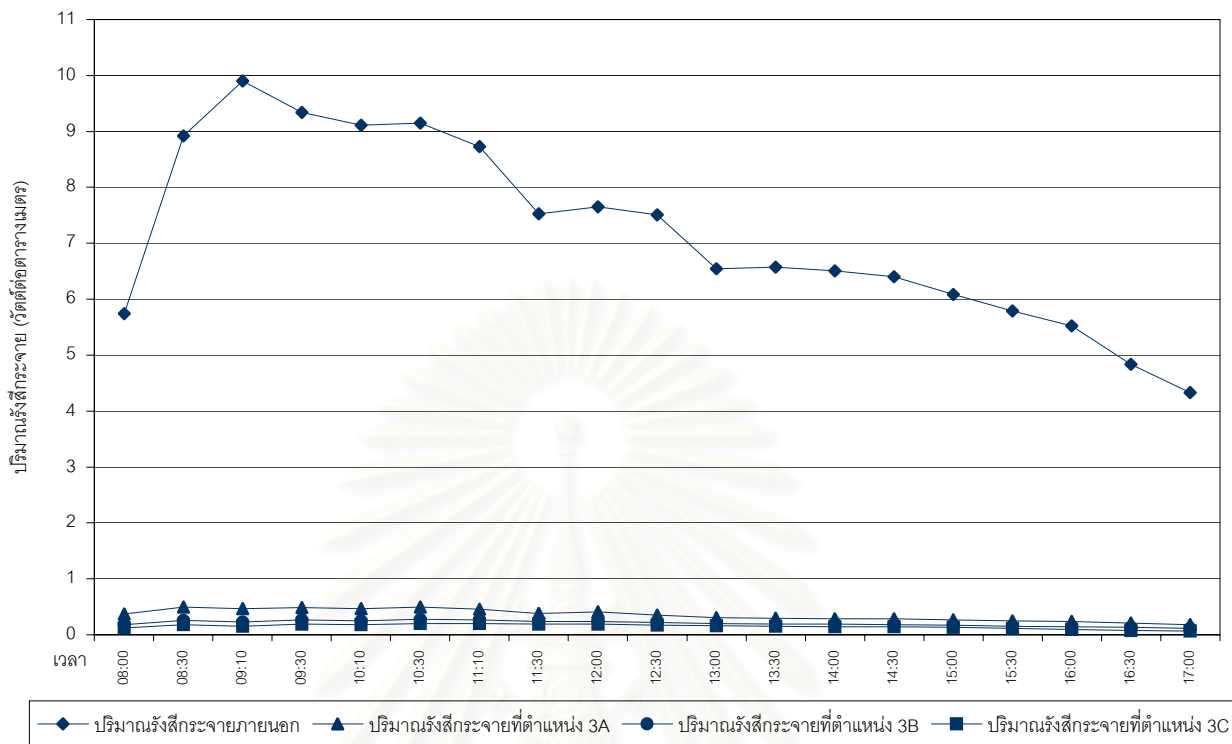
สำหรับค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 3C มีค่าต่ำที่สุด รวมทั้งยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.02 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอก มีอุณหภูมิก่อนข้างต่ำในช่วงเช้าและมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ สูงสุดเวลา 14.00 นาฬิกา จากนั้นค่าค่อยๆ ลดต่ำลง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 32.69 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.87 องศาเซลเซียส

โดยอุณหภูมิอากาศภายในและ Globe temperature จะมีแนวโน้มในการเพิ่มและลดของอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิที่ 4.1.22 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 3 วันที่ 30 มีนาคม 2545



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.22 จะเห็นได้ว่า

ปริมาณรังสีกระจายภายนอกนั้น มีความแปรปรวน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน ทำให้เกิดการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์แบบ ไม่เป็น uniform และมีค่าไม่แน่นอน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.17 วัตต์ต่อตารางเมตร

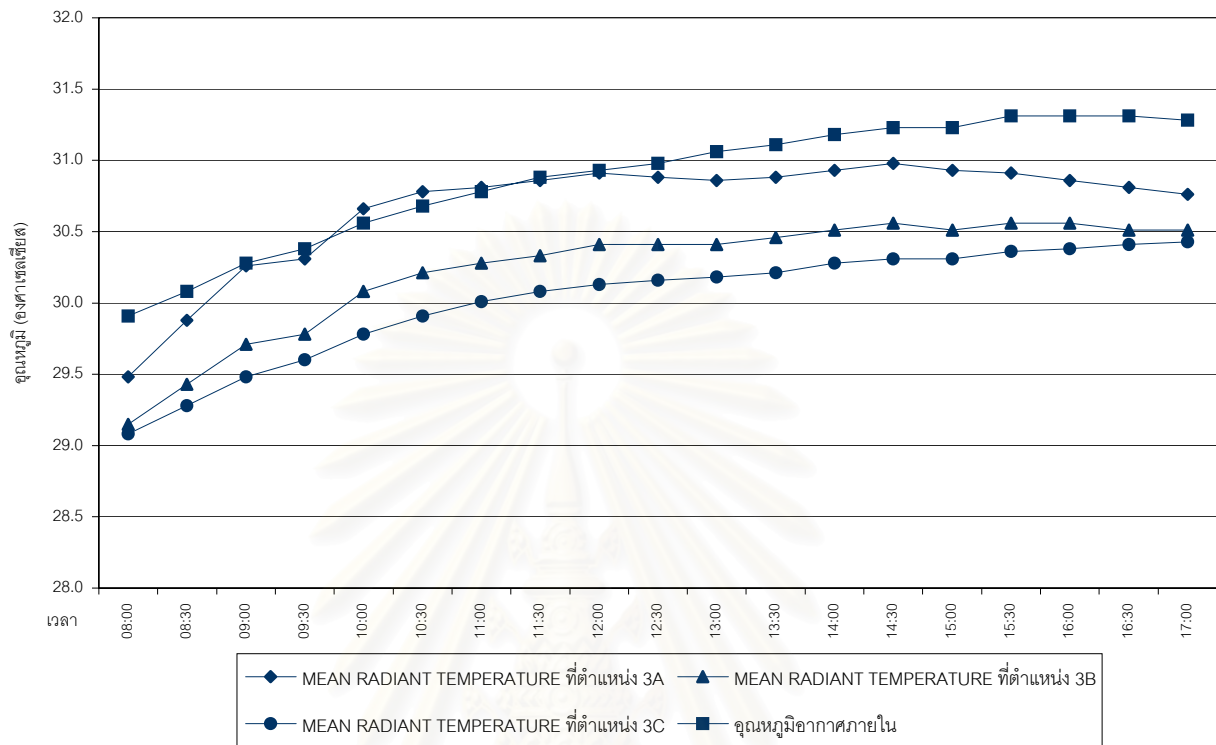
สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 3A นั้นมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้หน้าต่างและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้ามากที่สุด (1.31 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.35 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 3B มีค่าต่ำกว่า ตำแหน่ง 3A เนื่องจากมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าน้อยกว่า ตำแหน่ง 3A (0.70 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.21 วัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 3C นั้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งอยู่ลึกเข้าไปในห้องทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าลดน้อยลงไป (0.36 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.15 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องนั้น มีแนวโน้มการเพิ่มและลดไปในทิศทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับปริมาณรังสีกระจายภายนอกหน้าต่าง

แผนภูมิที่ 4.1.23 แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.23 จะเห็นได้ว่า

เนื่องจากสภาวะภายในห้องเป็นระบบปิด ไม่มีความเร็วลมภายในห้อง เมื่อใช้ค่า Globe temperature ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและค่าความเร็วลม ซึ่งเท่ากับ 0 เมตรต่อวินาที แทนค่าในสมการ

$$T_{mrt} = \left[\left\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \right\} \times (T_g - T_a) \right] + T_a$$

เพื่อหาค่า Mean radiant temperature ค่าที่ได้จะมีค่าเท่ากับ ค่าที่วัดได้จาก Globe thermometer นั้น คือ เป็นค่า Globe temperature นั้นเอง

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 3A จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่ความร้อนจากช่องเปิดที่มีอุณหภูมิสูง มากกว่าตำแหน่ง 3B และ 3C ที่อยู่ถัดเข้าไปในห้อง มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.67 องศาเซลเซียส

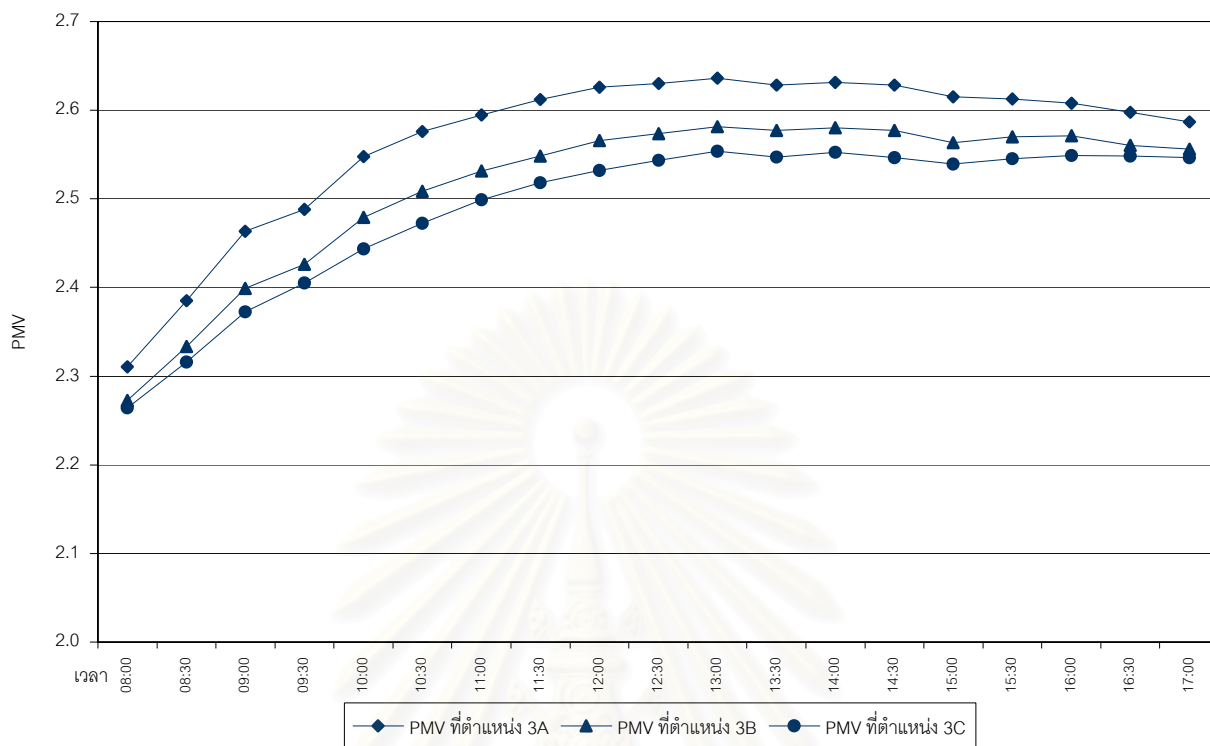
ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 3B นั้นมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.23 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 3C นั้นมีค่าน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ รวมทั้งมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิอากาศภายในด้วย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.02 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30.87 องศาเซลเซียส

ซึ่งค่า Mean radiant temperature นี้จะใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความสบาย (Predicted Mean Voted: PMV) และค่าเปอร์เซ็นต์ ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD) ต่อไป

แผนภูมิที่ 4.1.23 แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.24 ค่าที่ได้ในแผนภูมินั้นมาจากการแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2.3.20) ในบทที่ 2 สมการหา ค่า PMV

โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูล คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่า Mean radiant temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตัวแปรที่กำหนดค่าไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M) ขึ้นกับกิจกรรม กำหนดให้เป็นคนนั่งทำงาน มี ค่า Metabolism rate 50 kcal/hr m^2 ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value) ให้เป็น เสื้อผ้าแบบ Light Working Ensemble มีค่า Clo vale เท่ากับ 0.6

จาก ASHARE scale ที่ใช้สำหรับบอกถึงค่าความรู้สึกสบายหรือร้อนหนาวของคน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 (ร้อนมาก) ถึง 3 (หนาว) นั้น

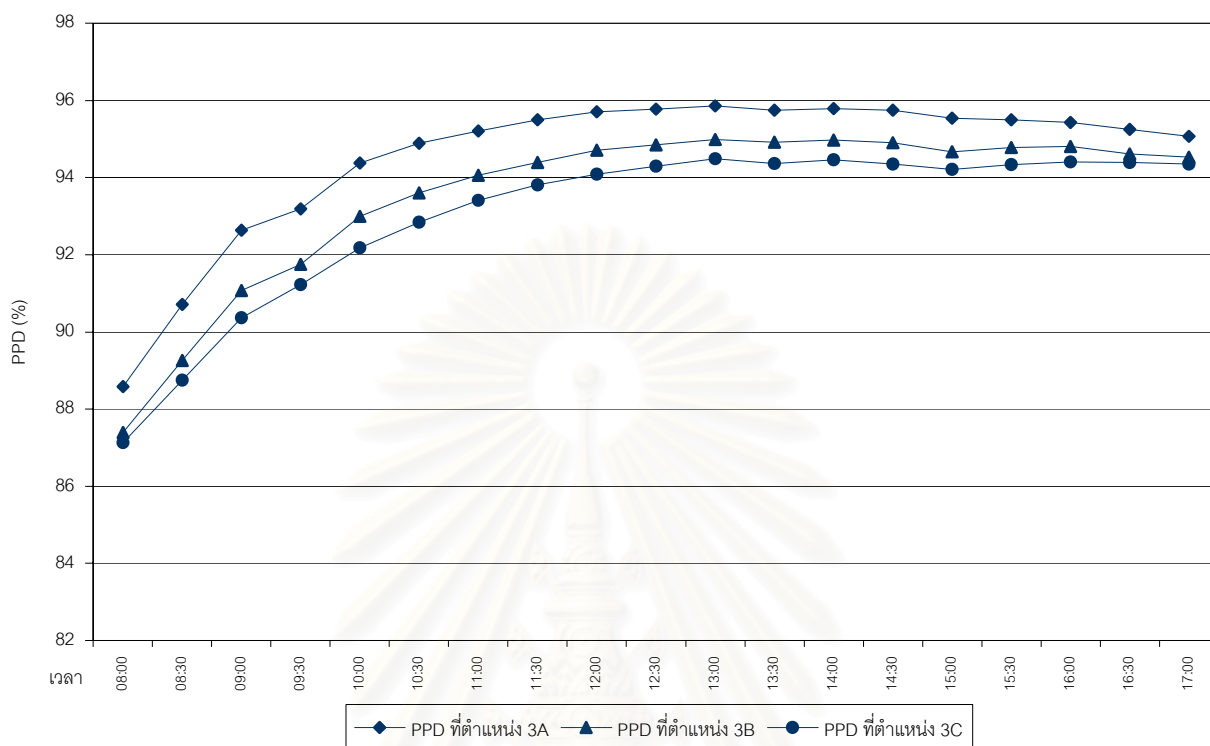
ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.57 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3B มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 3A โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.51 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3C มีค่าต่ำกว่าที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.49 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกร้อนมาก (Hot)

โดยค่า PMV ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าไม่สูงมากนักในช่วงเช้า แต่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนสูงสุดเวลา 13.00 น. จึงค่อยๆ มีค่าลดลง

แผนภูมิที่ 4.1.25 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิ ที่ 4.1.25 จะเห็นได้ว่า

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 3A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 94.55 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3A ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.57 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ในในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3A จะมีกลุ่มคนถึงประมาณ 95 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 3B มีค่าเฉลี่ยประมาณ 93.54 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.51 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ในในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3B จะมีกลุ่มคนถึงประมาณ 94 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

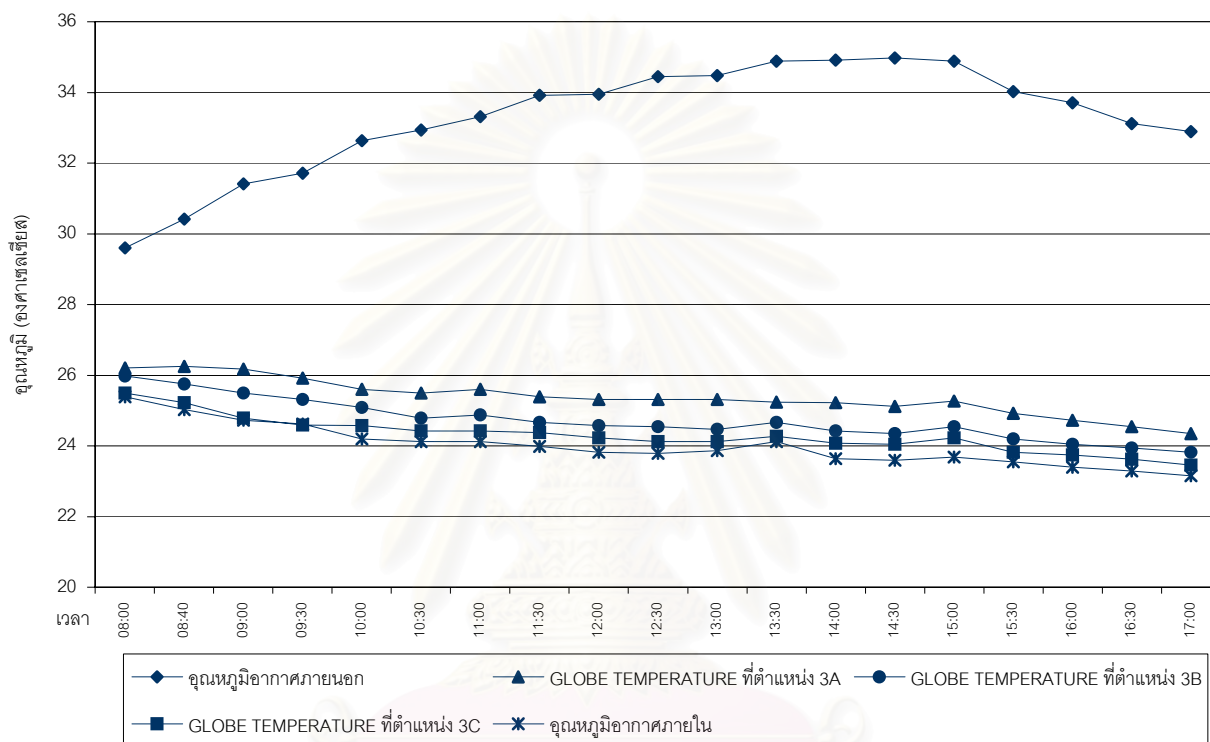
ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 3C มีค่าเฉลี่ยประมาณ 93.02 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.49 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกร้อนมาก นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ในในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3C จะมีกลุ่มคนถึงประมาณ 93 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึก ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนมาก

4.1.6 การทดลองห้องแบบที่ 3 สภาวะที่มีการปรับอากาศ

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาการทำงาน นั่นคือตั้งแต่ 8.00 – 17.00 น. และเก็บข้อมูล

ห้องที่ทำการเก็บข้อมูลมีการปรับอากาศ มีความเร็วลมเฉลี่ย ประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที

แผนภูมิที่ 4.1.26 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศ และ Globe temperature ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)



พิจารณาจากแผนภูมิ ที่ 4.1.26 จะเห็นได้ว่า

ค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 3A มีค่าสูงกว่าตำแหน่งที่ 3B และ 3C ตลอดทั้งวัน ทั้งยังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง เนื่องจากตำแหน่งที่ 3A นั้นอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหน้าต่างมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.37 องศาเซลเซียส

ส่วนค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 3B ซึ่งอยู่ถัดเข้าไปในห้องนั้นมีค่าต่ำกว่าตำแหน่งที่ 3A แต่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.71 องศาเซลเซียส

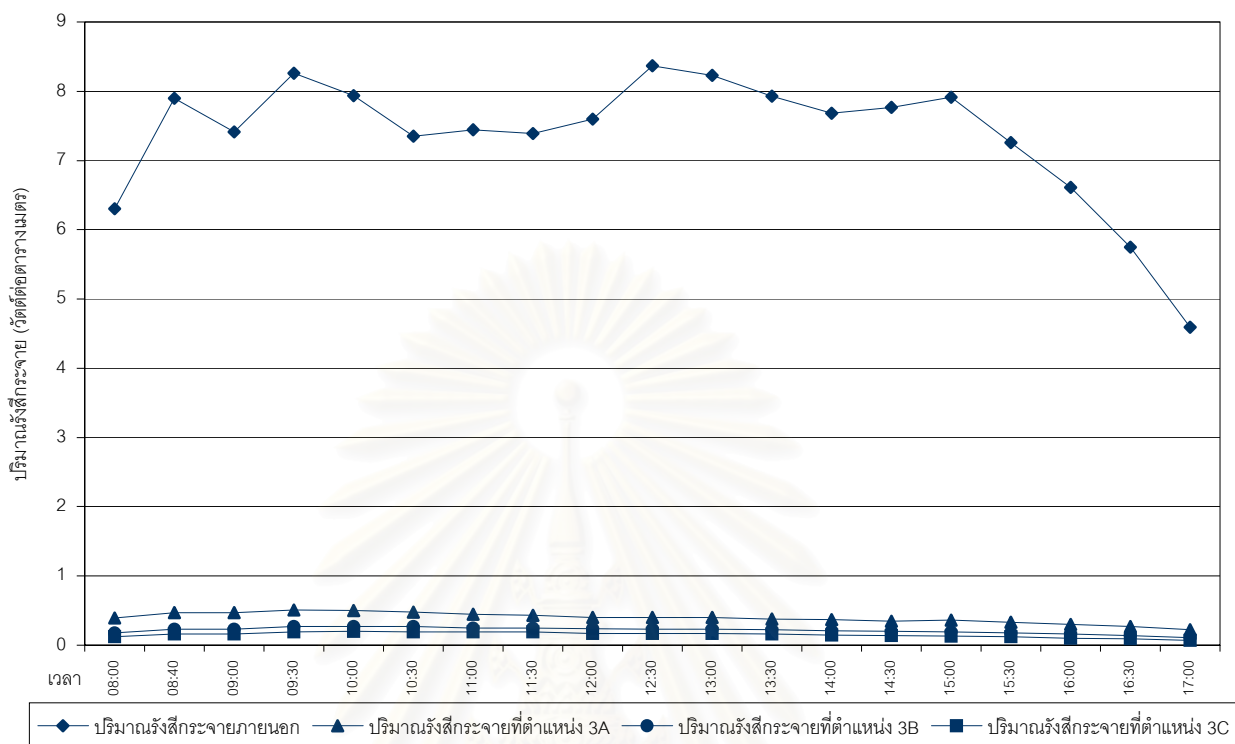
สำหรับค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งที่ 3C มีค่าต่ำที่สุด แต่ยังสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องตลอดทั้งวัน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.31 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอก มีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำในช่วงเช้าและมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนสูงสุดเวลา 15.00 น. จากนั้นค่าค่อยๆ ลดต่ำลงในช่วงบ่าย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 33.27 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24 องศาเซลเซียส

โดยอุณหภูมิอากาศภายในและ Globe temperature จะมีแนวโน้มในการเพิ่มและลดของอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

แผนภูมิที่ 4.1.27 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายของห้องแบบที่ 3 วันที่ 29 มีนาคม 2545



พิจารณาจากแผนภูมิที่ 4.1.27 จะเห็นได้ว่า

ปริมาณรังสีกระจายภายนอกนั้น มีความแปรปรวนตลอดทั้งวัน ทั้งนี้เนื่องจากสภาพท้องฟ้าเป็นแบบมีเมฆบางส่วน ทำให้เกิดการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์แบบไม่เป็น uniform และมีค่าไม่แน่นอน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 7.35 วัตต์ต่อตารางเมตร

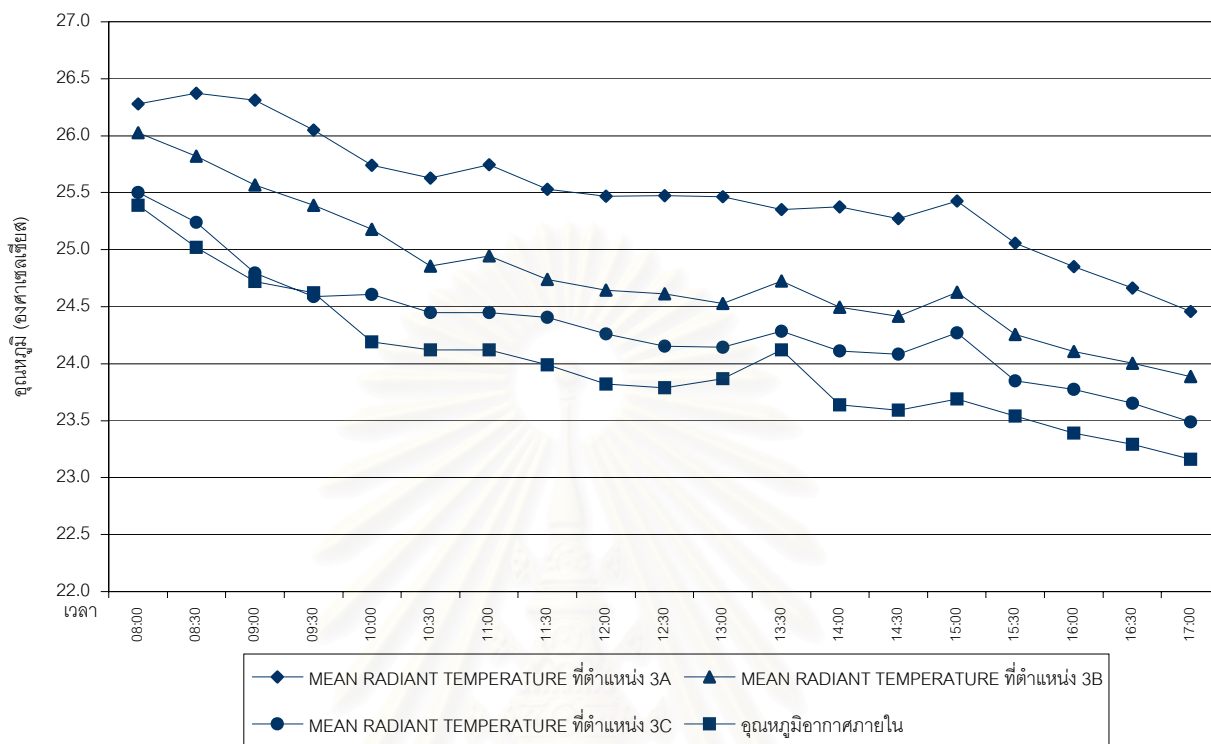
สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 3A นั้นมีค่ามากกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้หน้าต่างและมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้ามากที่สุด (1.31 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.39 วัตต์ต่อตารางเมตร

ส่วนปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 3B มีค่าต่ำกว่า ตำแหน่ง 3A เนื่องจากมีปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าน้อยกว่า ตำแหน่ง 3A (0.70 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.21 วัตต์ต่อตารางเมตร

สำหรับปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งที่ 3C นั้นมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งอยู่ลึกเข้าไปในห้องทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าน้อยลงไป (0.36 steradians) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.15 วัตต์ต่อตารางเมตร

ปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องนั้น มีแนวโน้มการเพิ่มและลดไปในทิศทางเดียวกัน และสัมพันธ์กับปริมาณรังสีกระจายภายนอกหน้าต่าง

แผนภูมิที่ 4.1.28 แสดงค่า Mean Radiant Temperature ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.28 จะเห็นได้ว่า

เนื่องจากสภาวะภายในมีการปรับอากาศ และมีความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ทำการวัดค่า อุณหภูมิประมาณ 0.2 เมตรต่อวินาที เมื่อใช้ค่า Globe temperature ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและค่าความเร็วลม แทนค่าในสมการ

$$T_{mrt} = \left[\{ 1 + (0.222 \times (V_a^{0.5})) \} \times (T_g - T_a) \right] + T_a$$

เพื่อหาค่า Mean radiant temperature

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 3A จะมีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ เนื่องจากอยู่ใกล้กับช่องเปิดมากที่สุด จึงได้รับอิทธิพลจากการแผ่ความร้อนจากช่องเปิดที่มีอุณหภูมิสูง มากกว่าตำแหน่ง 3B และ 3C ที่อยู่ถัดเข้าไปในห้อง มีค่าเฉลี่ยประมาณ 25.43 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 3B นั้นมีค่าต่ำกว่าตำแหน่งที่ 3A แต่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.74 องศาเซลเซียส

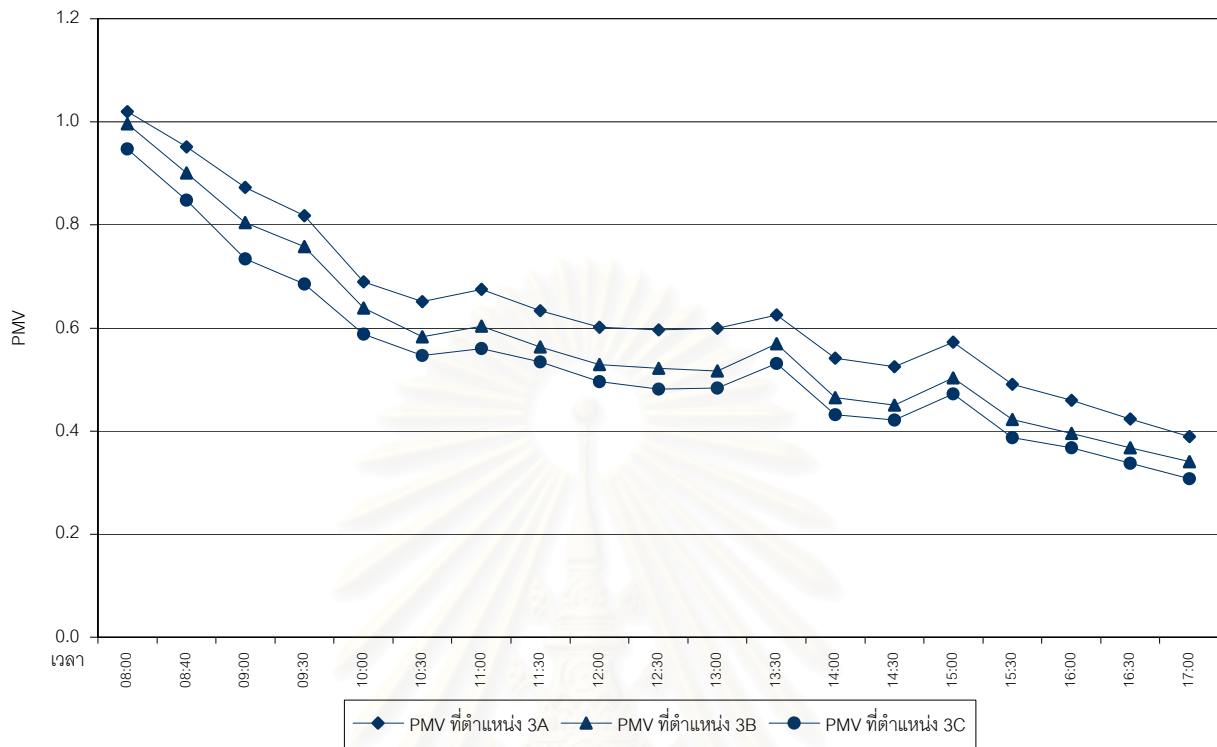
ค่า Mean radiant temperature ณ ตำแหน่งที่ 3C นั้นมีค่าน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ แต่มีค่ามากกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน มีค่าเฉลี่ยประมาณ 24.31 องศาเซลเซียส

ในขณะที่อุณหภูมิอากาศภายในมีค่าเฉลี่ยประมาณ 24 องศาเซลเซียส

ค่า Mean radiant temperature ณ ทุกตำแหน่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตลอดทั้งวัน

ซึ่งค่า Mean radiant temperature นี้จะใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความสบาย (Predicted Mean Voted: PMV) และค่าเปอร์เซ็นต์ ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted percentage dissatisfied: PPD) ต่อไป

แผนภูมิที่ 4.1.29 แสดงค่า Predicted Mean Voted ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.29 ค่าที่ได้ในแผนภูมินั้นมาจากการแทนค่าตัวแปรในสมการที่ (2.3.20) สมการหาค่า PMV โดยใช้ตัวแปรที่ได้จากการเก็บค่าข้อมูล คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้อง ค่า Mean radiant temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และตัวแปรที่กำหนดค่าไว้เพื่อใช้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง คือ อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย (Metabolism rate; M) ขึ้นกับกิจกรรม กำหนดให้เป็นคนนั่งทำงาน มีค่า Metabolism rate 50 kcal/hr m² ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย (Clo value) ให้เป็นเสื้อผ้าแบบ Light Working Ensemble มีค่า Clo vale เท่ากับ 0.6

จาก ASHARE scale ที่ใช้สำหรับบอกถึงค่าความรู้สึกสบายหรือร้อนหนาวของคน โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง -3 (ร้อนมาก) ถึง 3 (หนาว) นั้น

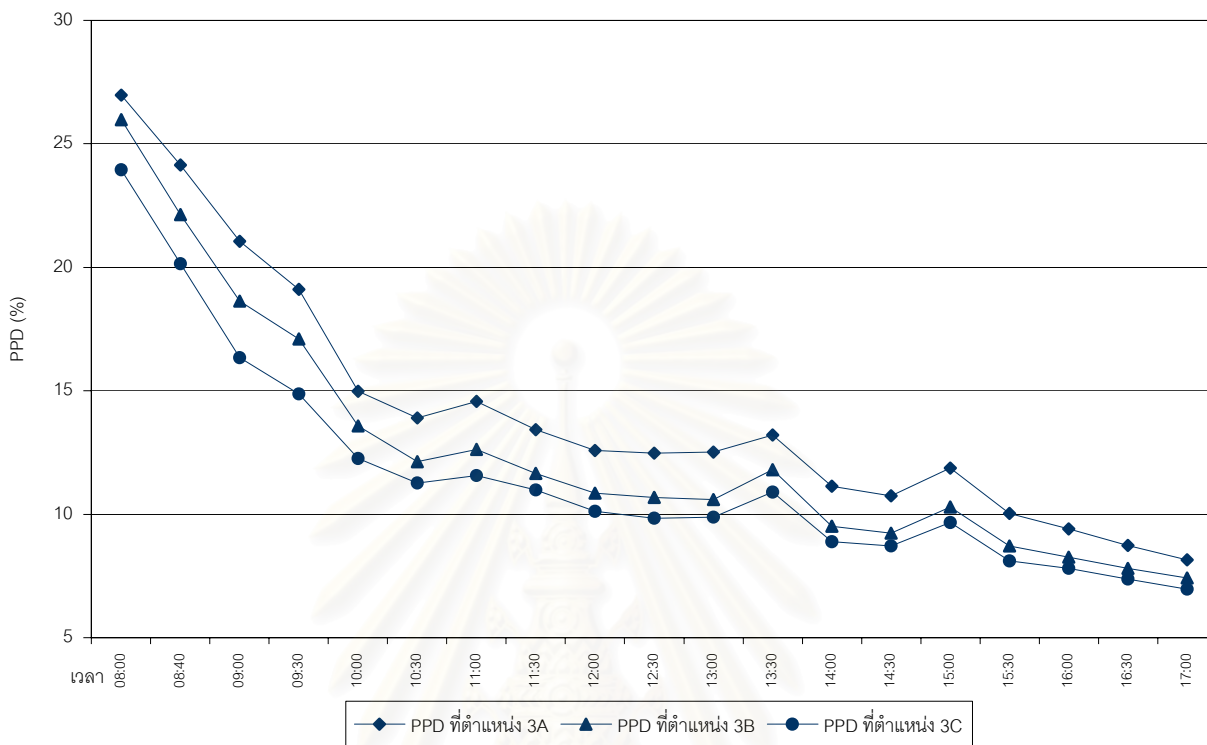
ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3A โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.63 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3B มีค่าต่ำกว่าตำแหน่ง 3A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.57 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort)

ค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3C มีค่าต่ำกว่าที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.53 ซึ่งอยู่ในช่วง scale ที่บ่งบอกว่าคนมีความรู้สึกพอดี (Neutral comfort)

โดยค่า PMV ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าสูงในช่วงเช้าเนื่องจากเพิ่งเปิดเครื่องปรับอากาศ แต่จะค่อยๆ ลดลงขึ้นเรื่อยๆ ตลอดวัน จนมีค่าใกล้เคียงกับ 0 ในช่วงเย็น ซึ่งใน ASHARE scale 0 หมายถึงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) รู้สึกสบาย

แผนภูมิที่ 4.1.30 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage Dissatisfied : PPD) ของห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)



จากแผนภูมิที่ 4.1.30 จะเห็นได้ว่า

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 3A มีค่าเฉลี่ยประมาณ 13.98 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3A ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.63 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) แต่ค่อนข้างไปทางร้อนเล็กน้อย (Slightly warm) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3A จะมียุคนถึงประมาณ 14 คนที่รู้สึกไม่สบายและมีความรู้สึกที่ว่า ณ ตำแหน่งนี้ร้อนเล็กน้อย

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 3B มีค่าเฉลี่ยประมาณ 12.50 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3B ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.57 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3B จะมียุคนถึงประมาณ 13 คนที่รู้สึกไม่สบาย

ค่า PPD ณ ตำแหน่งที่ 3C มีค่าเฉลี่ยประมาณ 11.53 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่า PMV ณ ตำแหน่งที่ 3C ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.53 ซึ่งอยู่ในช่วงความรู้สึกพอดี (Neutral comfort) นั้นหมายถึง หากมีกลุ่มคนจำนวน 100 คน อยู่ภายในห้อง ณ ตำแหน่งที่ 3C จะมียุคนถึงประมาณ 12 คนที่รู้สึกไม่สบาย

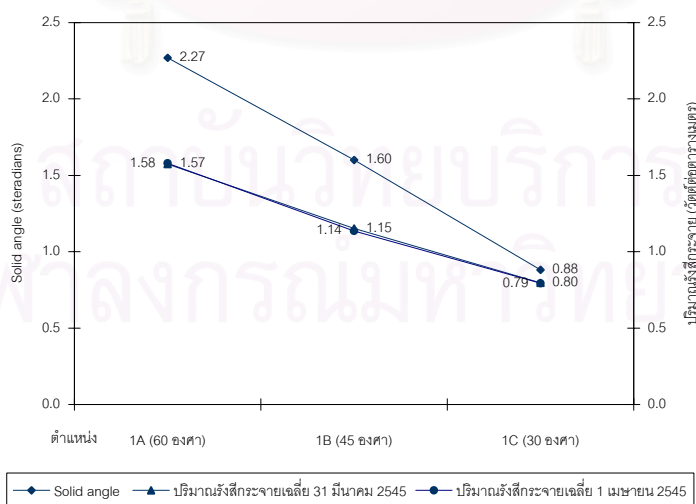
4.1.7 ปริมาณการเห็นท้องฟ้า กับ ค่าปริมาณรังสีกระจาย

จากการทดลอง เพื่อดูผลของปริมาณการเห็น(see)พื้นที่ท้องฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้อง ซึ่งเป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง โดยการเก็บข้อมูลปริมาณค่ารังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่งของห้องแบบที่ 1 แบบที่ 2 และแบบที่ 3 ในแต่ละแบบของห้องทดลองจะมีค่าปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า ณ ตำแหน่งต่างๆ แตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง

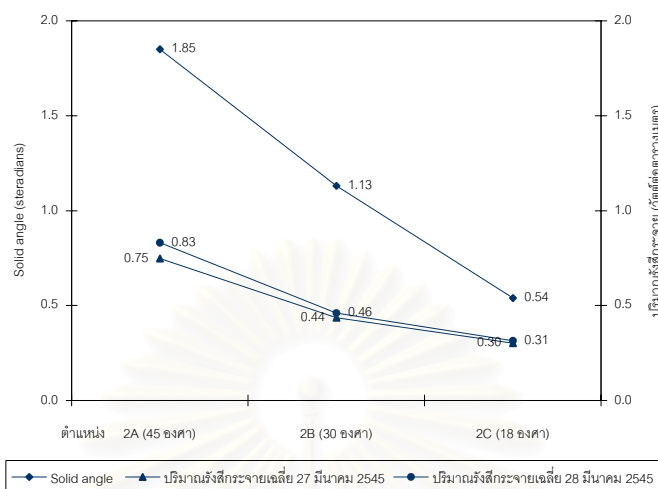
ตารางที่ 4.1.4 แสดงตำแหน่งภายในห้อง ระยะห่างจากช่องเปิด ค่ามุมที่ตำแหน่งนั้นกระทำกับช่องเปิด และ ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า (ใช้ Solid angle เป็นตัวแทน)

	ตำแหน่งที่	ระยะห่างจากช่องเปิด (เมตร)	มุมที่ทำกับช่องเปิด (องศา)	ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า Solid angle (steradians)
ห้องแบบที่1	1A	1.10	60	2.27
	1B	1.95	45	1.60
	1C	3.45	30	0.88
ห้องแบบที่2	2A	1.10	45	1.85
	2B	1.95	30	1.13
	2C	3.45	18	0.54
ห้องแบบที่3	3A	1.10	30	1.31
	3B	1.95	18	0.70
	3C	3.45	12	0.36

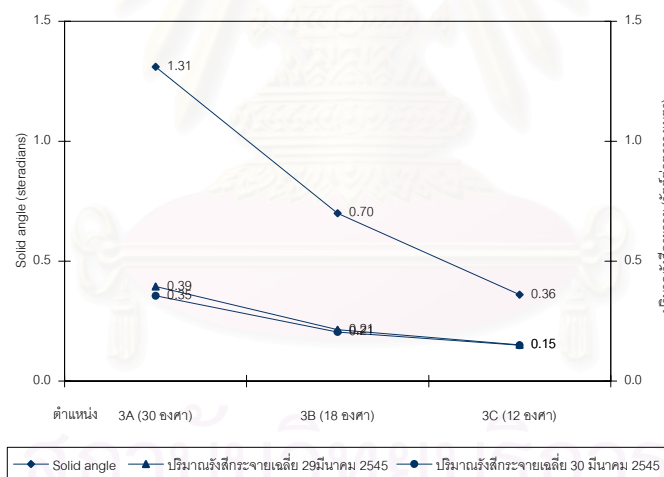
แผนภูมิที่ 4.1.31 แสดงค่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle และ ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 1



แผนภูมิที่ 4.1.32 แสดงค่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle และ ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 2



แผนภูมิที่ 4.1.33 แสดงค่า ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle และ ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 3



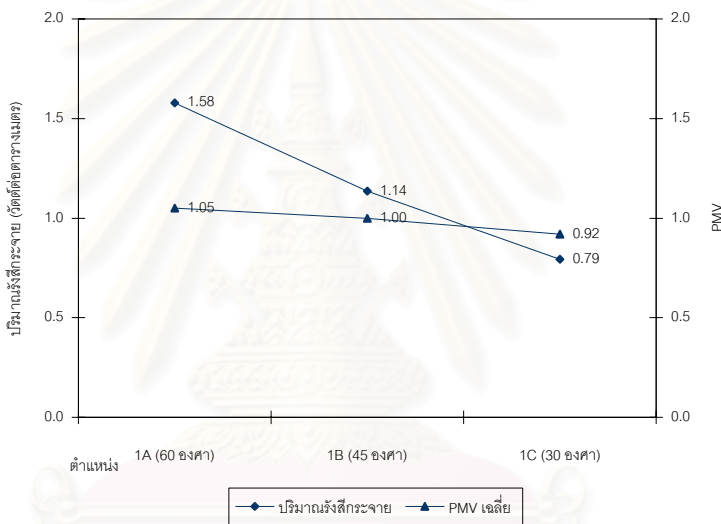
จากที่กำหนดให้ตำแหน่ง A ตำแหน่ง B และ ตำแหน่ง C ซึ่งเป็นตำแหน่งในการเก็บค่าข้อมูลต่างๆ เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง และ ณ ตำแหน่งนั้นๆ จะมีค่าปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า หรือในที่นี้แทนด้วยค่า Solid angle ไม่เท่ากัน โดยตำแหน่งที่ A ซึ่งอยู่ใกล้หน้าต่างมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการทดลองในห้องใดก็ตามจะมีค่า Solid angle มากกว่าตำแหน่งอื่นๆ อาจกล่าวได้ว่า คนที่นั่งทำงาน ณ ตำแหน่ง A มีโอกาสเห็นพื้นที่ท้องฟ้าได้มากกว่าคนที่นั่ง ณ ตำแหน่ง B และ C ที่อยู่ลึกเข้าไปในตัวห้อง (ซึ่งท้องฟ้าและเมฆนี้เป็นตัวที่ทำให้เกิดการกระจายรังสีตรงจากดวงอาทิตย์) และค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่ง A ก็จะมีค่ามากกว่าตำแหน่ง B และ C ในทุกๆ ห้องที่ทดลอง เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิทั้งหมด จะเห็นได้ว่า เมื่อค่า Solid angle หรือปริมาณการเห็นท้องฟ้าลดลง ทำให้ปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาในห้องยังตำแหน่งต่างๆ ลดลงตามไปด้วย โดยจะมีค่าลดลงในเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกัน

4.1.8 ปริมาณรังสีกระจายกับ Globe temperature

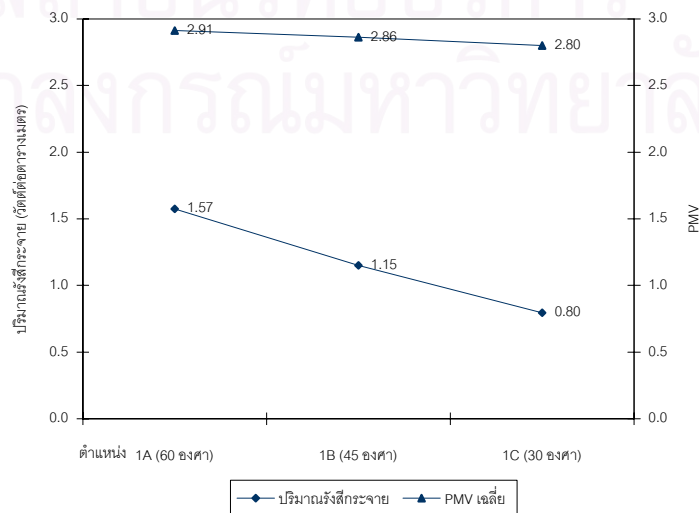
จากการทดลอง เพื่อดูผลทางความร้อนของปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้อง ซึ่งเป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง ต่อค่า Globe temperature ณ ตำแหน่งนั้นๆ โดยการเก็บข้อมูลปริมาณค่ารังสีกระจาย และ Globe temperature ณ ตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่งที่กำหนดภายในห้องแบบที่ 1 แบบที่ 2 และ แบบที่ 3 โดย ค่า Globe temperature จะเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหาค่า Mean radiant temperature ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณค่า predicted Mean Voted (ดัชนีที่บ่งบอกถึงสภาวะน่าสบาย) ต่อไป

ทำการทดลองใน 2 สภาวะ คือ สภาวะไม่ปรับอากาศ และสภาวะที่มีการปรับอากาศ

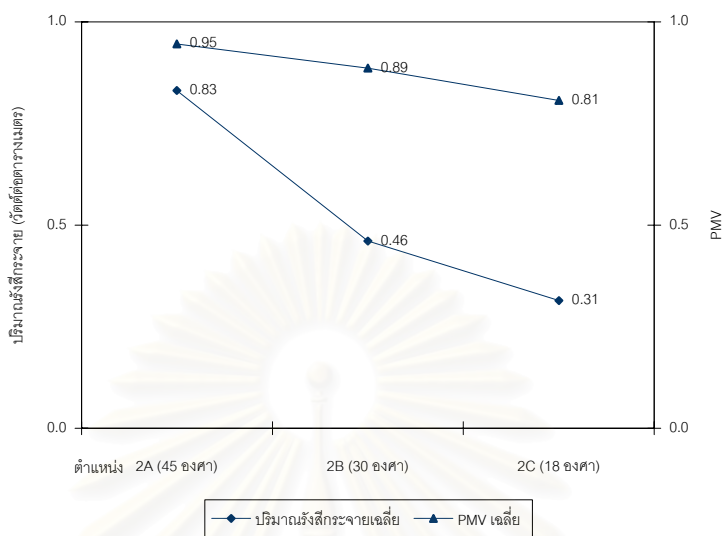
แผนภูมิที่ 4.1.34 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 1 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 31 มีนาคม 2545)



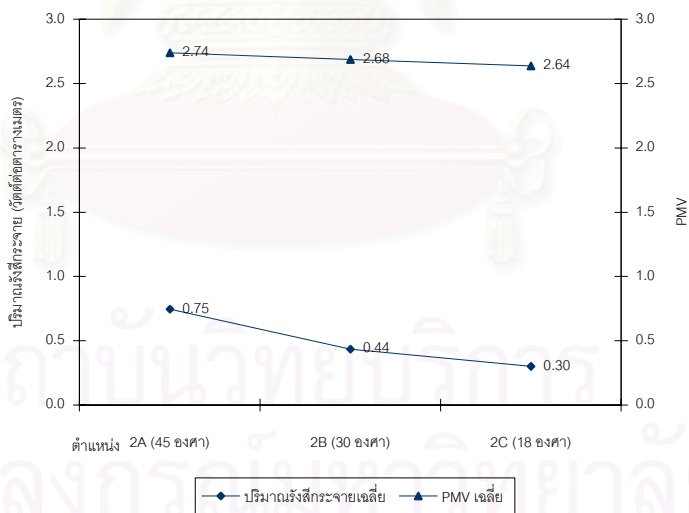
แผนภูมิที่ 4.1.35 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 1 ปรับอากาศ (วันที่ 1 เมษายน 2545)



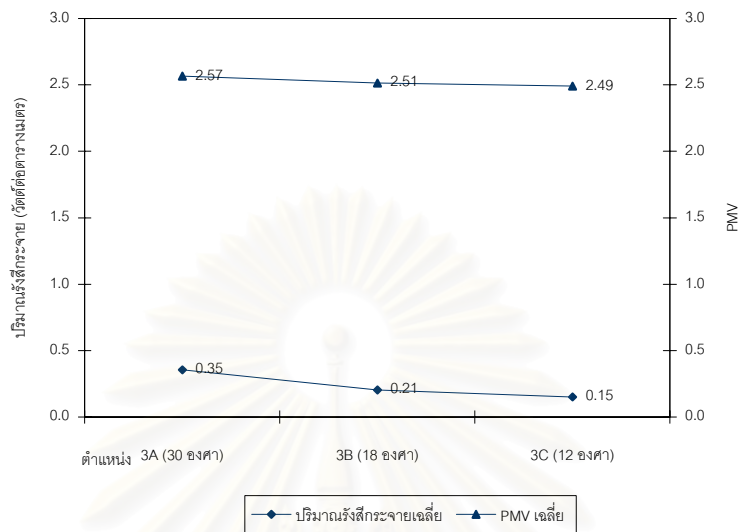
แผนภูมิที่ 4.1.36 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 2 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 27 มีนาคม 2545)



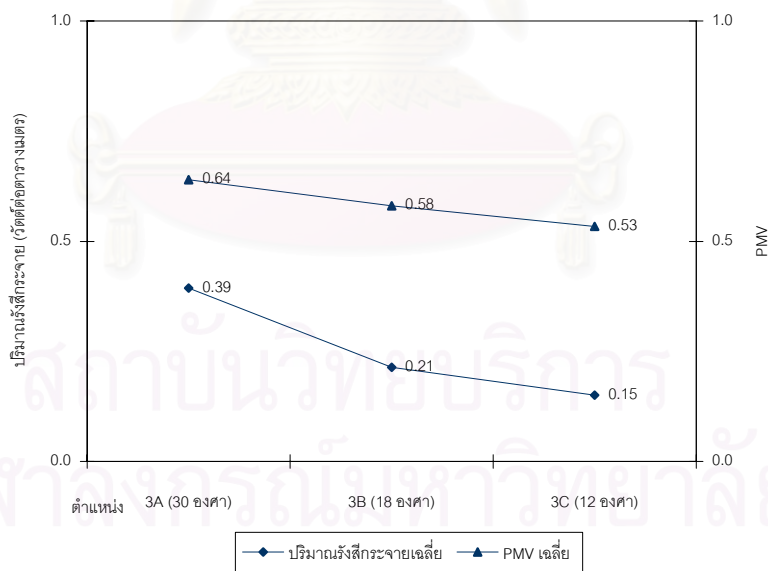
แผนภูมิที่ 4.1.37 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 2 ปรับอากาศ (วันที่ 28 มีนาคม 2545)



แผนภูมิที่ 4.1.38 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 3 ไม่ปรับอากาศ (วันที่ 30 มีนาคม 2545)



แผนภูมิที่ 4.1.39 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระจายและ Globe temperature เฉลี่ย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องแบบที่ 3 ปรับอากาศ (วันที่ 29 มีนาคม 2545)



จากการทดลอง 3 ทั้งแบบ จะเห็นได้ว่า ค่า Globe temperature จะมีค่าสูงสุด ณ ตำแหน่ง A คือ ตำแหน่งที่อยู่ใกล้หน้าต่างที่สุด และมีค่าลดต่ำลงตามลำดับ แต่ค่า Globe temperature ของทั้ง 3 ตำแหน่งจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะแตกต่างกันประมาณ 1 องศาเซลเซียส

สำหรับค่าปริมาณรังสีกระจายนั้น จะเห็นว่า ณ ตำแหน่ง A จะมีปริมาณรังสีกระจายมากที่สุด ที่ตำแหน่ง B และ C ก็จะมีปริมาณรังสีกระจายลดลงตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ได้รับรังสีกระจายมากที่สุดประมาณ 1.57 วัตต์ต่อตารางเมตร

ถึงแม้ว่าจะมีค่าแตกต่างกันของ Globe temperature ในแต่ละตำแหน่งเพียง 1 องศาเซลเซียส แต่ค่าของ Globe temperature ภายในห้องนั้นมีที่ค่าสูงถึงประมาณ 32 องศาเซลเซียส และใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งในห้อง มีผลให้สภาวะอากาศโดยรวมภายในห้องร้อนมาก

สำหรับการปรับอากาศและไม่ปรับอากาศนั้น จะมีความแตกต่างกันของค่า Globe temperature เนื่องจาก เมื่อมีการปรับอากาศจะช่วยลดค่าอุณหภูมิอากาศภายในลง ทำให้ค่า Globe temperature มีค่าลดลงด้วย แต่ค่าความแตกต่างของ Globe temperature ณ ตำแหน่งต่างๆ ยังมีค่าเหมือนกับสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ นั่นคือ มีค่าแตกต่างกันของ Globe temperature ในแต่ละตำแหน่งประมาณ 1 องศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

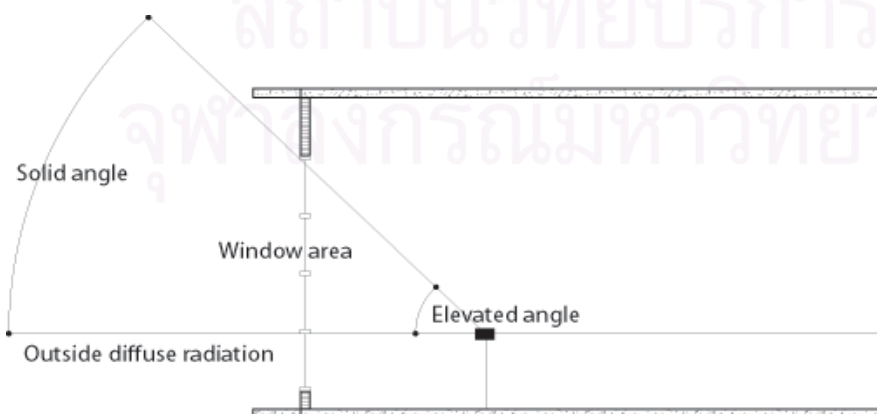
จากวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ผ่านเข้ามาในอาคารและศึกษาผลกระทบเชิงความร้อนของรังสีกระจายที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร จากการทดลอง โดยการใช้ห้องในอาคารเป็นหน่วยในการทดลอง เก็บค่าอุณหภูมิอากาศ Globe temperature ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาภายในอาคาร ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้เป็นตัวแทนของคนที่นั่งทำงานภายในห้อง ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านช่องเปิดเข้ามาในอาคาร

จากการศึกษาจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรังสีดวงอาทิตย์และจากการวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆ ในการทดลอง จากนั้นเมื่อทำการทดลองเก็บข้อมูลค่าปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ สามารถนำมาหาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจาย ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในห้อง โดยวิธีการสมการถดถอย (Regression) ได้ดังนี้

$$Y = -1.057 + 0.088X_1 + 0.195X_2 - 3.646X_3 - 0.105X_4$$

- เมื่อ
- Y = ปริมาณรังสีกระจายภายในอาคาร ณ ตำแหน่งที่ต้องการหาค่า
 - X_1 = ปริมาณรังสีกระจายภายนอก
 - X_2 = มุมแนวตั้ง(θ) ที่ตำแหน่งนั้นๆ กระทำต่อช่องเปิด
 - X_3 = ปริมาณการเห็นท้องฟ้า Solid angle
 - X_4 = พื้นที่ช่องเปิด



ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
ค่า R Square = 0.93
Standard Error = 0.12
Observations 330ข้อมูล

รูปที่ 5.1.1 แสดงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณรังสีกระจายภายในห้อง

และสรุปได้ว่า

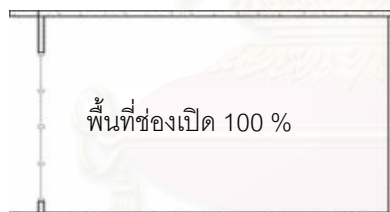
1. ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าของตำแหน่งใดๆ ในอาคาร นั้นมีผลต่อปริมาณรังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ผ่านเข้ามาในอาคาร เนื่องจากเมื่อตำแหน่งที่วัดค่าอยู่ลึกเข้าไปในห้องจะทำให้ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้าลดลง มีผลให้ปริมาณรังสีกระจายที่ได้รับลดลงด้วย

จากการทดลอง พบว่าเมื่อค่า ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า (ซึ่งในที่นี้แทนค่าด้วย Solid angle) ลดลง จะทำให้ค่าปริมาณรังสีกระจายลดลง ดังแสดงในตาราง

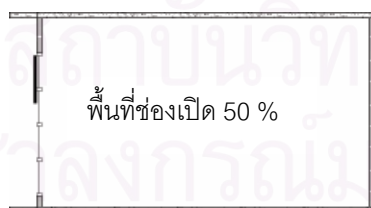
ตารางที่ 5.1.1 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Solid angle กับปริมาณรังสีกระจาย

Solid angle ลดลง	ปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิดทิศเหนือ ลดลง
30 %	28 %
39 %	45 %
47 %	45 %
61 %	50 %
71 %	62 %
73 %	62 %

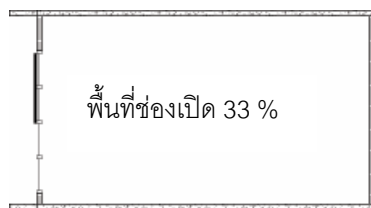
2. พื้นที่ของหน้าต่างมีผลต่อปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาในอาคาร



ปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาเมื่อเทียบกับ
ปริมาณรังสีกระจายภายนอก เท่ากับ 18 %



ปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาเมื่อเทียบกับ
ปริมาณรังสีกระจายภายนอก เท่ากับ 12 %



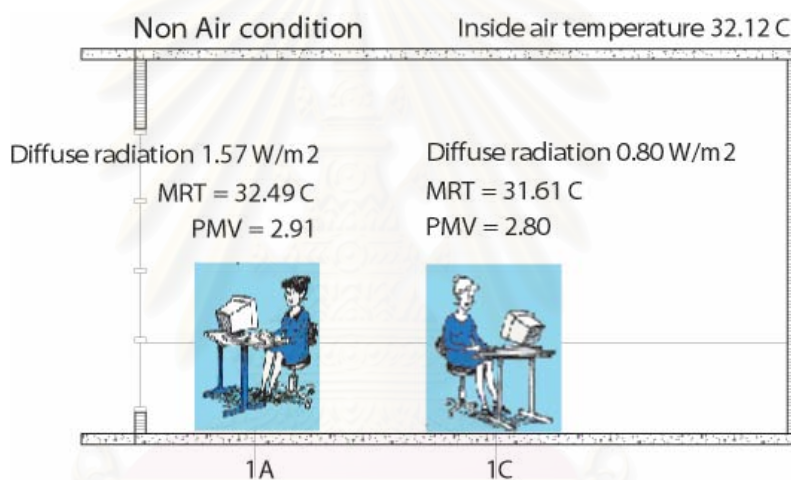
ปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาเมื่อเทียบกับ
ปริมาณรังสีกระจายภายนอก เท่ากับ 5 %

รูปที่ 5.1.2 แสดงรูปตัดห้องและพื้นที่ช่องเปิดในแต่ละแบบของการทดลอง

5.1.2 ผลกระทบเชิงความร้อนของรังสีกระจายที่ผ่านทางช่องเปิดด้านทิศเหนือต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

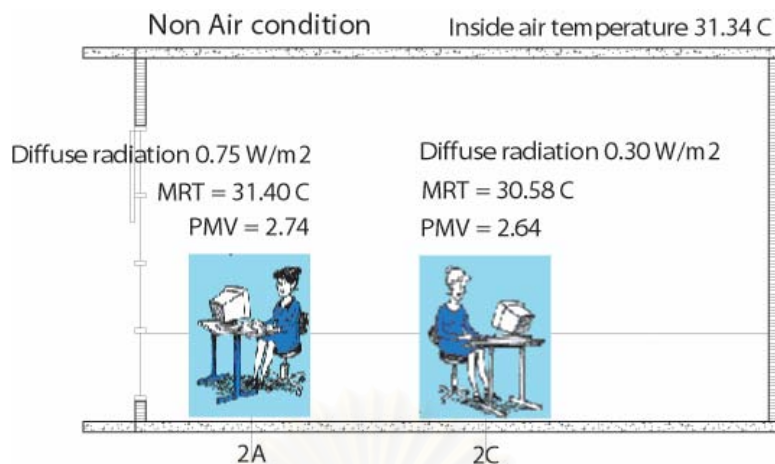
สภาวะที่ไม่ปรับอากาศ และไม่มีความเร็วลม

1. คนที่นั่งทำงาน ณ ตำแหน่งใกล้หน้าต่างจะได้รับปริมาณความร้อนจากรังสีกระจายรวมทั้งการแผ่รังสีความร้อนจากกระจกหน้าต่างมากที่สุด ทำให้ค่า Globe temperature และ Mean Radiant Temperature (ซึ่งเปรียบเสมือนอุณหภูมิที่คนที่นั่งทำงาน ณ ตำแหน่งนั้นรู้สึกและรับรู้) ณ ตำแหน่งนั้น สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในและ Globe temperature ณ ตำแหน่งอื่นๆ ทำให้คนที่นั่งทำงาน ณ ตำแหน่งใกล้หน้าต่างจะรู้สึกร้อนกว่าคนที่นั่งลึกเข้าไป
2. จากการทดลอง



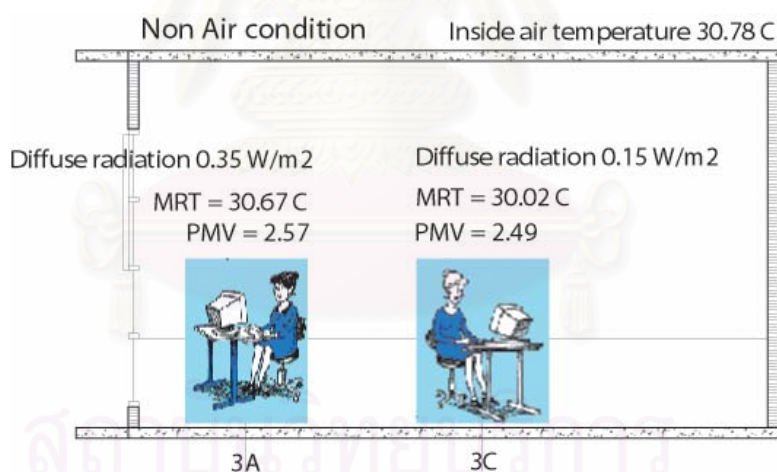
รูปที่ 5.1.3 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 1A และ 1C ของห้องแบบที่ 1 ไม่มีการปรับอากาศ

ห้องแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 1A และ 1C มีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.77 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 0.98 องศาเซลเซียส มีค่า Predicted mean voted ต่างกัน 0.11 ดังนั้น ถ้าหากต้องการให้คนที่นั่ง ณ ตำแหน่งที่ 1 มีความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) หรือมีค่า Predicted mean voted เท่ากับคนที่นั่งที่ตำแหน่ง 1C จะต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 1A ลง 0.72 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.1.4 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 2A และ 2C ของห้องแบบที่ 2 ไม่มีการปรับอากาศ

ห้องแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 2A และ 2C มีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.45 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 0.82 องศาเซลเซียส มีค่า Predicted mean voted ต่างกัน 0.10 ดังนั้นถ้าหากต้องการให้คนที่นั่ง ณ ตำแหน่งที่ 2A มีความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) หรือมีค่า Predicted mean voted เท่ากับคนที่นั่งที่ตำแหน่ง 2C จะต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 2A ลง 0.62 องศาเซลเซียส

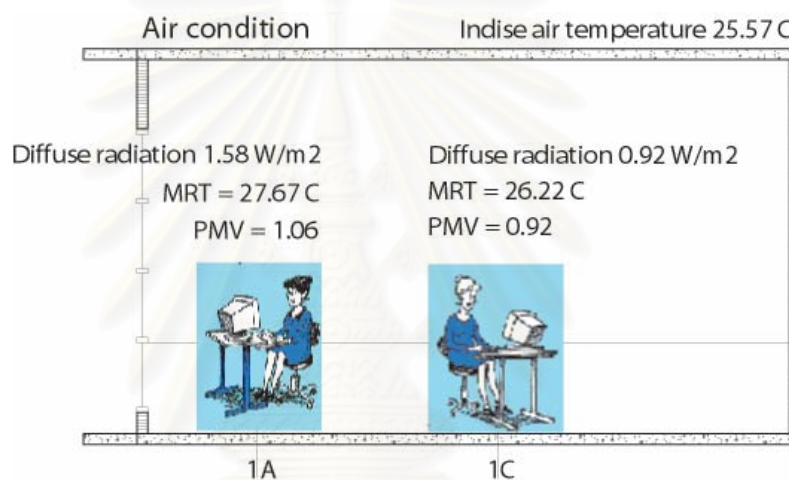


รูปที่ 5.1.5 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 3A และ 3C ของห้องแบบที่ 3 ไม่มีการปรับอากาศ

ห้องแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 3A และ 3C มีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.20 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 0.65 องศาเซลเซียส มีค่า Predicted mean voted ต่างกัน 0.08 ดังนั้นถ้าหากต้องการให้คนที่นั่ง ณ ตำแหน่งที่ 3A มีความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) หรือมีค่า Predicted mean voted เท่ากับคนที่นั่งที่ตำแหน่ง 3C จะต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 3A ลง 0.50 องศาเซลเซียส

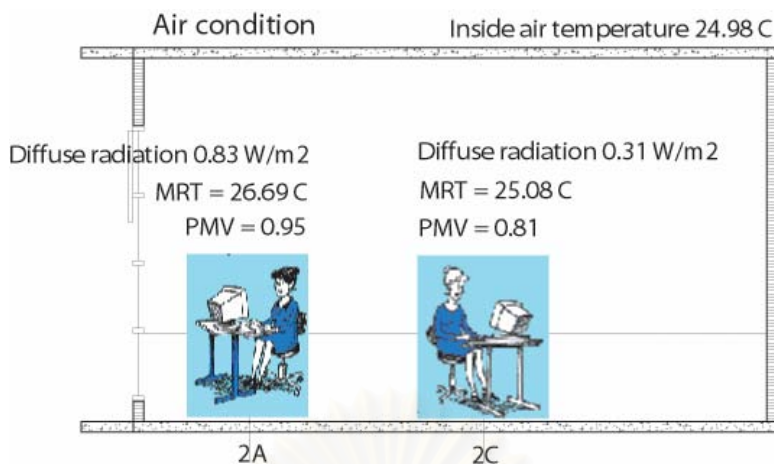
สภาวะที่มีปรับอากาศ

1. เนื่องจากการปรับอากาศช่วยลดอุณหภูมิอากาศภายในห้องลงจนใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงของความสบาย นั่นคือ 20-26.6 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามความร้อนจากรังสีกระจายและการแผ่รังสีความร้อนจากกระจกหน้าต่างยังคงทำให้ Globe temperature และ MRT ณ ตำแหน่งใกล้หน้าต่าง มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศและ MRT ณ ตำแหน่งอื่นๆ ที่อยู่ลึกเข้าไปในห้อง ทั้งยังมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศที่อยู่ในช่วงของความสบาย จึงทำให้ดัชนีการโหวตเฉลี่ยที่บอกถึงความรู้สึกสบาย (Predicted Mean Voted) มีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ที่อยู่ลึกเข้าไปในห้อง ดังนั้นคนที่นั่งทำงาน ณ ตำแหน่งใกล้หน้าต่างจะรู้สึกร้อนกว่าคนที่นั่งลึกเข้าไป
2. จากการทดลอง



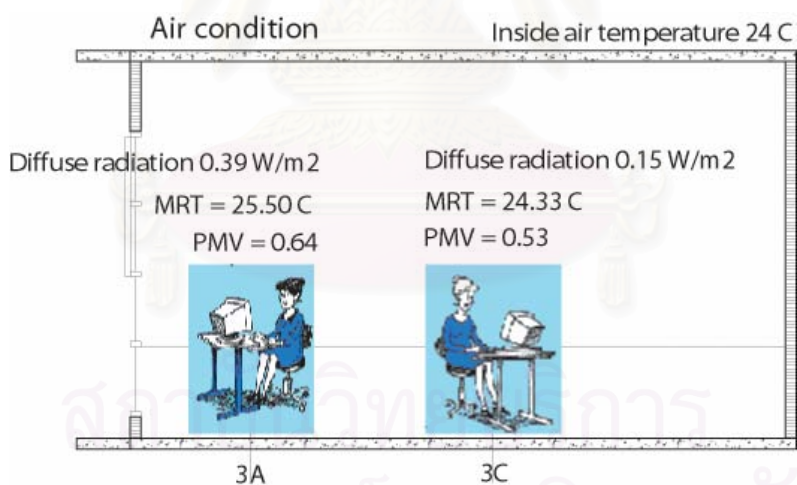
รูปที่ 5.1.6 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 1A และ 1C ของห้องแบบที่ 1 มีการปรับอากาศ

ห้องแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 1A และ 1C มีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.66 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 1.45 องศาเซลเซียส มีค่า Predicted mean voted ต่างกัน 0.14 ดังนั้นถ้าหากต้องการให้คนที่นั่ง ณ ตำแหน่งที่ 1A มีความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) หรือมีค่า Predicted mean voted เท่ากับคนที่นั่งที่ตำแหน่ง 1C จะต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 1A ลง 0.80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.1.7 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 2A และ 2C ของห้องแบบที่ 2 มีการปรับอากาศ

ห้องแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 2A และ 2C มีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.52 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 1.61 องศาเซลเซียส มีค่า Predicted mean voted ต่างกัน 0.14 ดังนั้นถ้าหากต้องการให้คนที่นั่ง ณ ตำแหน่งที่ 2A มีความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) หรือมีค่า Predicted mean voted เท่ากับคนที่นั่งที่ตำแหน่ง 2C จะต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 2A ลง 0.62 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.1.8 แสดงค่าปริมาณรังสีกระจาย อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ณ ตำแหน่ง 3A และ 3C ของห้องแบบที่ 3 มีการปรับอากาศ

ห้องแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 3A และ 3C มีค่าปริมาณรังสีกระจายต่างกัน 0.24 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ยต่างกัน 1.17 องศาเซลเซียส มีค่า Predicted mean voted ต่างกัน 0.11 ดังนั้นถ้าหากต้องการให้คนที่นั่ง ณ ตำแหน่งที่ 3A มีความรู้สึกเชิงความร้อน (Thermal sensation) หรือมีค่า Predicted mean voted เท่ากับคนที่นั่งที่ตำแหน่ง 3C จะต้องปรับลดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งที่ 3A ลง 0.68 องศาเซลเซียส

5.2 แนวทางการออกแบบช่องเปิดที่สามารถลดผลกระทบจากรังสีกระจาย

ปริมาณความร้อนจากรังสีกระจายจากท้องฟ้าที่ผ่านทางช่องเปิดทางด้านทิศเหนือเข้ามาในห้องนั้นมีผลให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงขึ้นและทำให้คนที่นั่งทำงานภายในห้องรู้สึกร้อน และจากการทดลองทำให้เราทราบว่า ปริมาณการเห็นพื้นที่ท้องฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในห้องมีผลต่อปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาในอาคาร ดังนั้นการที่จะลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากรังสีที่ผ่านเข้าไปในอาคารนั้น อาจกระทำได้โดย

1. การออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่ช่วยบังไม่ให้ช่องเปิดได้รับรังสีกระจาย นั่นคือการลดปริมาณการเห็นท้องฟ้าของตำแหน่งใดๆ ภายในห้อง โดยใช้ค่ามุมที่ตำแหน่งนั้นๆ กระทำกับท้องฟ้าในแนวตั้ง (θ) เป็นตัวช่วยในการพิจารณาออกแบบ
2. การลดพื้นที่ช่องเปิดลง ทั้งนี้เพื่อลดพื้นที่ที่จะได้รับปริมาณรังสีกระจายและลดปริมาณการแผ่รังสีความร้อนของกระจกเข้าไปในห้อง
3. การเลือกใช้กระจกที่มีสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ

อย่างไรก็ตาม การออกแบบช่องเปิดก็ควรคำนึงถึงการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติควบคู่ไปด้วย เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากการวิจัยนี้มุ่งศึกษาปริมาณรังสีกระจายที่ผ่านเข้ามาในอาคารจากด้านทิศเหนือเพียงทิศเดียว หากมีการทดลองเพิ่มเติมในทิศอื่นๆ ก็สามารถทราบถึงอิทธิพลที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

5.3.2 เมื่อมีการปรับอากาศ ควรทำการทดสอบหาค่าภาระการปรับอากาศและพลังงานที่ต้องใช้ในการทำความเย็น อันเนื่องมาจากอิทธิพลของรังสีกระจายที่ทำให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น

5.3.3 สำหรับการป้องกันรังสีกระจายที่จะตกกระทบช่องเปิด อาจจะทำการศึกษาต่อไปในเรื่องการออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้กับช่องเปิด ที่สามารถลดปริมาณรังสีกระจาย แต่ยังคงใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กฤษณะพงษ์ กীরติกร. การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์และการวัด. ในเอกสารรวบรวมการประชุมทางวิชาการเรื่อง Solar Energy and Application. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2521.
- บุศราศิริ ธนะ. การประเมินค่ารังสีตรงและรังสีกระจายของรังสีดวงอาทิตย์. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- พรรณจิรา ทิศาภิภาต. ผลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดตรงโดยการหมุนหลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- มานิจ ทองประเสริฐ. แสงอาทิตย์กับอาคาร. ในการประชุมทางวิชาการเรื่องประหยัดพลังงานในอาคารและเมืองในงานสถาปนิก 29. กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์, 2529.
- มิตรชัย อภิพัฒนะมนตรี. การจำลองแบบหาค่าความร้อนผ่านรูปร่างรอบนอกของอาคารในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

- ASHRAE. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc. 1997 ASHRAE Handbook Fundamentals. SI Edition.
- Duffie, John A. and Beckman, William A. Solar Energy Thermal Process. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- Exell, Robert H.B. Atmospheric Radiation in a Tropical Climate, AIT Research Report No. 71. Bangkok: Asian Institute of Technology, 1978.
- Exell, Robert H.B. Simulation of Solar Radiation in a Tropical Climate with Data for Thailand, AIT Research Report No. 115. Bangkok: Asian Institute of Technology, 1980.
- Exell, Robert H.B. Solar Radiation Tables for Architects in Thailand, AIT Research Report No. 128. Bangkok: Asian Institute of Technology, 1981.
- Exell, Robert H.B. Solar and Atmospheric Radiation. Renewable Energy Review Journal (1979): 3-20
- Fanger, P.O Thermal Comfort : Analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1970.
- Fisk, M.J. and Anderson H.C.W. Introduction to solar technology. Massachusettes: Addison-Wesley, 1982.

- Givoni, B. Man, Climate and Architecture. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1969.
- Koenigsbergor, O.H.; Ingersoll, T.G.; Mayhen, A.; and Szokolay, S.V. Manual of Tropical Housing and building: Part One Climate Design. Hong Kong: Longman, 1973.
- Kreith, Frank and Kreider J.F. Principles of solar engineering. Washington: Hemisphere publishing, 1978.
- Mizria, E. The Passive Solar Energy Book. Emmans, Pa: Rodale Press, 1979.
- Moore, Fuller. Environmental Control Systems : Heating Cooling Lighting. New York: McGraw-Hill, Inc, 1993.
- Newland, F.J. Characteristics of the Diffuse Component of Solar Irradiation in Hong Kong. Renewable Energy Review Journal (June 1985) : 50-62
- Olgay, V. Design with Climate. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- Robinson, N. Solar Radiation. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1966.
- Ruck, N.C. Building Design and Human Performance. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989.
- Santamouris, M.; and Asimakopoulos, D. Passive Cooling of Building. London: Jame & James, 1996.
- Saricali, K. Solar Radiation in Thailand. Master's Thesis, Department of Science, Graduate School, Asian Institute of Technology, 1974.
- Stein, Benjamin and Reynolds, John S. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings 8th Edition. Singapore: John Wiley & Sons. 1992.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนในการหาค่า Predicted Mean Voted

1. กิจกรรมของผู้ใช้อาคาร = _____(1)
2. จากกิจกรรมที่กำหนด และตารางที่ 6.1
หาค่า metabolic rate = _____(2)[kcal/hr m²]
3. จากกิจกรรมที่กำหนด และตารางที่ 6.1
หาค่า mechanical efficiency = _____(3)
4. หาค่า effective metabolic rate = (step 2)*(1 - (step3)) = _____(4)[kcal/hr m²]
5. ความชื้นสัมพัทธ์ = _____(5)[%]
6. อุณหภูมิอากาศ _____(6)[°C]
7. หาค่า air temperature ratio = 273.16/ (273.16+(step 6)) = _____(7)
8. หาค่า saturated water vapour pressure
 $C_1 = 10.79586$ $C_2 = 5.02808$ $C_3 = 1.50474 \text{ E-}04$ $C_4 = -8.29692$
 $C_5 = 0.42873 \text{ E-}03$ $C_6 = 4.76955$ $C_7 = 2.219583$
 $A = C_1 * (1 - \text{step}7) =$ _____(8a)
 $B = C_2 * \log \text{step}7 =$ _____(8b)
 $C = C_3 * \{1 - 10^{\{(C_4/\text{step}7) - 1\}} =$ _____(8c)
 $D = C_5 * 10^{\{C_6 * (1 - \text{step}7) - 1\}} =$ _____(8d)
 $P_s = 10^{\{\text{step}8a + \text{step}8b + \text{step}8c + \text{step}8d + -C_7\}} =$ _____(8e)[atm]
 $P_s = \text{step}8e * 101.3 * 10^3 =$ _____(8f)[Pa]
9. หาค่า water vapour pressure = step8f * step5*0.01333 = _____(9)[mm Hg]
10. ชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่ _____(10)
11. สำหรับชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่ และจากตารางที่ 6.2
หาค่า clothing insulation _____(11)
12. สำหรับชนิดของเสื้อผ้าที่สวมใส่ และจากตารางที่ 6.2
หาค่า clothing factor _____(12)
13. หาค่า air velocity = _____(13)
 สำหรับ closed windows/still air = 0 – 0.2 m/s
 สำหรับ open windows หรือ forced ventilation specify wind
14. หาค่า mean radiant temperature = _____(14)[°C]
 หรือ กำหนดค่าให้สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 2 °C
15. หาค่า temperature of clothing surface
 = 12.5 + 0.3350 * (step6+step14) = _____(15)[°C]

16. หาค่า convective heat transfer coefficient _____ (16)

สำหรับ ความเร็วลม > 0.2 m/s ให้ใช้ $10.4 * (\text{step13})^{0.5}$

สำหรับ ความเร็วลม ≤ 0.2 m/s ให้ใช้ $2.05 * (\text{step15} - \text{step6})^{0.25}$

17. หาค่า intermediate parameters

PART1 = $0.352 * \exp^{-0.042 * \text{step2}} + 0.032$ _____ (17a)

PART2 = $\text{step4} * 0.35 * (43 - 0.061 * \text{step4} - \text{step9}) =$ _____ (17b)

PART3 = $0.42 * (\text{step4} - 50) =$ _____ (17c)

PART4 = $0.0023 * \text{step2} * (44 - \text{step9}) =$ _____ (17d)

PART5 = $0.0014 * \text{step2} * (34 - \text{step6}) =$ _____ (17e)

PART6 = $3.4 * 10^{-8} * \text{step12} * [(\text{step15} + 273)^4 - (\text{step14} + 273)^4] =$ _____ (17f)

PART7 = $\text{step12} * \text{step16} * (\text{step15} - \text{step16}) =$ _____ (17g)

18. หาค่า PMV Index

PMV = $\text{step17a} * [\text{step17b} - \text{step17c} - \text{step17d} - \text{step17e}$
 $- \text{step17f} - \text{step17g}] =$ _____ (18)

19. หาค่า PPD Index

PPD = $100 - 95 * \exp^{-\{ -0.03353 * (\text{step18})^4 + 0.2179 * (\text{step18})^2 \}}$ _____ (19)

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

สมการต่างๆ ในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนและการสูญเสียความร้อนของร่างกาย

1. การผลิตความร้อนภายใน

พลังงานที่ปล่อยออกมาโดยขบวนการเผาผลาญในร่างกายมนุษย์ ต่อ 1 หน่วยเวลา (Metabolic rate, M) บางส่วนถูกเปลี่ยนเป็นกำลังงานภายนอก, W แต่ส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในร่างกาย, H ดังสมการ

$$M = H + W \quad (1)$$

และจากค่านิยามของ External mechanic efficiency, η

$$\eta = W/M \quad (2)$$

แทนค่าสมการที่ (2) ในสมการที่(1)

$$= M(1 - \eta) \quad (3)$$

$$\text{หรือ } H/A_{UD} = M/A_{UD}(1 - \eta) \quad (4)$$

2. การสูญเสียความร้อนทางผิวหนัง

การระเหยของน้ำผ่านผิวหนังเป็นส่วนหนึ่งของการขับเหงื่อของร่างกาย หากให้จำนวนการ Diffusion ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ แปรผันตามค่าความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัว, P_a ในอากาศล้อมรอบ (Ambient air) สมการการสูญเสียความร้อนผ่านผิวหนัง คือ

$$E_d = a * m * A_{UD} * (P_s - P_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (5)$$

เมื่อ E_d = การสูญเสียความร้อนด้วยการ Diffusion เป็นไอน้ำผ่านผิวหนัง (kcal/hr)

a = 575 kcal/kg = ความร้อนของการระเหยของน้ำที่ 35°C

m = สัมประสิทธิ์การซึมของผิวหนัง (kg/hr.m².mm Hg)

P_s = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิผิวหนัง (mm Hg)

P_a = ความดันไอของอากาศโดยรอบ (mm Hg)

จากการวิเคราะห์จะได้ว่า

$$m = 6.1 * 10^{-4} \quad (\text{kg/hr.m}^2.\text{mm Hg})$$

และจาก Steam table P_s เป็นฟังก์ชันของ t_s เมื่อ $27^\circ\text{C} < t_s < 37^\circ\text{C}$

$$P_s = 1.92t_s - 25.3 \quad (\text{mm Hg}) \text{ error น้อยกว่า } 3\% \quad (6)$$

แทนค่า a, m, P_s ใน สมการที่ (5)

$$E_d = 0.35A_{UD} * (1.92t_s - 25.3 - P_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (7)$$

3. การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ

เมื่อมีเหงื่อในอุณหภูมิอากาศ ความดันไอที่พอเหมาะซึ่งคนที่อยู่ในสภาวะสบายเชิงความร้อน อาจกล่าวได้ว่า เหงื่อที่ออกมาจะระเหยไปหมด จำนวนเหงื่อที่ออกมาจะเป็นฟังก์ชันของระดับกิจกรรมที่ทำในสภาวะสบายเชิงความร้อน

$$E_{sw} = 0.42A_{UD} (H/A_{UD} - 50) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (8)$$

4. การสูญเสียความร้อนแฝงทางการหายใจ

ความร้อนและไอน้ำจะถูกรวมอยู่ในอากาศที่เราหายใจเข้าไปโดยการพาความร้อนและการระเหยของทางเดินหายใจ และเมื่อมีการหายใจเข้า การถ่ายเทความร้อนของอากาศจะถ่ายเทกลับเข้าสู่ร่างกาย และน้ำจะกลั่นตัว แต่อากาศที่หายใจออก จะมีความร้อนและน้ำมากกว่าอากาศที่หายใจเข้าไปในสภาวะสบายๆ จะได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

$$E_{re} = V (W_{ex} - W_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (9)$$

เมื่อ E_{re} = การสูญเสียความร้อนแฝงในการหายใจ (kcal/hr)

V = ปริมาณการหมุนเวียนอากาศของปอด (kg/hr)

W_{ex} = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่หายใจออก (Kgน้ำ/Kgอากาศแห้ง)

W_a = อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่หายใจเข้า (Kgน้ำ/Kgอากาศแห้ง) = 575 kcal/kg

จากการวิเคราะห์ของ Asmussen และ Nielsen และได้รับการปรับปรุงโดย Liddel จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$V = 0.0060M \quad (\text{Kg/hr}) \quad (10)$$

จาก Mc Cutchan และ Taylor จะได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} W_{ex} - W_a &= 0.0277 + 6.5 \cdot 10^{-5} t_a - 0.80 W_a \\ &= 0.029 - 0.80 W_a \quad (\text{Kgน้ำ/Kgอากาศแห้ง}) \end{aligned} \quad (11)$$

ประมาณค่า $W_a = 0.622 \cdot P_a / (P - P_a)$ ด้วย $0.00083 P_a$ ใน สมการที่(11)

เมื่อ P_a = ความดันบางส่วนของไอน้ำในอากาศที่หายใจเข้า (mm Hg)

P = 760 mm Hg

แทนค่าในสมการที่ (9) จะได้ว่า

$$E_{re} = 0.0023 \cdot M \cdot (44 - P_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (12)$$

5. การสูญเสียความร้อนของการหายใจ(แบบแห้ง)

การสูญเสียความร้อนจากร่างกายอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศที่หายใจเข้าและหายใจออก

$$\begin{aligned} L &= V \cdot C_p \cdot (t_{ex} - t_a) \\ &= 0.0014 \cdot M \cdot (t_{ex} - t_a) \quad (\text{kcal/hr}) \end{aligned} \quad (13)$$

เมื่อ C_p = 0.24 kcal/kg °c

= ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้งที่ความดันคงที่

และค่า t_{ex} หาได้จากสูตรของ Mc Cutchan และ Taylor

$$t_{ex} = 32.6 + 0.066 * t_a + 32 * W_a \quad (14)$$

แต่การสูญเสียความร้อนในส่วนนี้มีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับส่วนอื่นๆ ดังนั้น ค่าประมาณของ t_{ex} ที่ถือว่ามีความแม่นยำได้พอสมควร คือ

$$t_{ex} = 34^{\circ}C = \text{อุณหภูมิผิวหนังของคนเมื่ออยู่ในสภาวะสบายเชิงความร้อน}$$

แทนค่า t_{ex} ใน สมการที่ (13)

$$L = 0.0014 * M * (34 - t_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (15)$$

6. การนำความร้อนผ่านเสื้อผ้า

การส่งผ่านความร้อน(แห้ง) ระหว่างผิวหนังและผิวนอกของเสื้อผ้า มีความซับซ้อนทั้งการพาความร้อน การแผ่ความร้อนภายใน ช่องว่างระหว่างผิวหนังกับเสื้อผ้ารวมถึงการนำความร้อนของเสื้อผ้าเอง Gagge ได้กำหนดเทอม I_{cl} เป็นสัญลักษณ์ที่ไม่มีหน่วย ซึ่งหมายถึง ความต้านทานความร้อนทั้งหมดจากผิวหนังถึงผิวนอกของเสื้อผ้า

$$I_{cl} = R_{cl} / 0.18 \quad (\text{clo}) \quad (16)$$

เมื่อ R_{cl} = ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจากผิวหนังถึงผิวนอกของเสื้อผ้า ($\text{m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$) หรือ $1 \text{ clo} = 0.155\text{m}^2 \text{ c/W}$

การวัด I_{cl} ค่อนข้างยากเพราะไม่มีเครื่องมือวัดความต้านทานการนำความร้อนของเนื้อผ้าที่แปลงค่าเป็นความต้านทานการนำความร้อนของวัสดุอากาศ

การสูญเสียความร้อนจากผิวหนังสู่ผิวนอกของเสื้อผ้า คือ

$$K = A_{UD} * (t_s - t_{cl}) / 0.18 I_{cl} \quad (\text{kcal/hr}) \quad (17)$$

7. การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ความร้อน

การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่เกิดขึ้นระหว่างร่างกายคนกับสิ่งแวดล้อมและการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ จากผิวนอกของเสื้อผ้าสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = A_{eff} \epsilon \sigma [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mrt} + 273)^4] \quad (\text{kcal/hr}) \quad (18)$$

เมื่อ A_{eff} = พื้นที่ Effective ของการแผ่ความร้อนของเสื้อผ้า

ϵ = สัมประสิทธิ์การส่งออกของผิวนอกของเสื้อผ้า

σ = ค่าคงที่ Stefan-Boltzman = $4.96 * 10^{-8}$ ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{hrK}^4$)

t_{mrt} = อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิที่ Uniform ของ black enclosure ที่มีผลลัพธ์ การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่ความร้อนจากคนเท่ากับห้องปิดจริง (Actual enclosure) ที่ศึกษา เมื่อคนทดสอบอยู่ในตำแหน่ง ท่าทางและเสื้อผ้าที่กำหนดให้

T_{cl} = ค่าอุณหภูมิของพื้นผิวเสื้อผ้า

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากร่างกายคนที่มีส่วนเว้าโค้ง ดังนั้นจะใช้พื้นที่ Effective แทนพื้นผิวของคน

$$A_{eff} = f_{eff} * f_{cl} * A_{UD} \quad (\text{m}^2) \quad (19)$$

เมื่อ A_{eff} = พื้นที่ Effective ของการแผ่ความร้อนของเสื้อผ้า

f_{eff} = ตัวประกอบ

f_{cl} = อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของรูปร่างเสื้อผ้ากับพื้นที่ผิวคน(เปลือย)

A_{UD} = พื้นที่ผิวของร่างกายคน(เปลือย) (m²)

จากการทดลองจะได้ว่า $f_{eff} = 0.71$ เป็นค่าเฉลี่ยสำหรับคนนั่งและคนยืน

จากข้อมูลของ Hardy J.d. และ Mitchell ϵ ของผิวหนังมีค่าใกล้เคียงกับ 1 และเสื้อผ้าส่วนใหญ่จะมีค่า ϵ ประมาณ 0.95 ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่ใช้ คือ 0.97

แต่ถ้าคนได้รับแสงสว่างจาก Short wave เช่น ดวงอาทิตย์ การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่ทั้งหมด หา ค่าได้จากสมการที่ (18) แต่การหาค่า ของกรณีนี้จำเป็นต้องหาข้อมูลเกี่ยวข้องกับการสะท้อนกลับของผิวหนังกับ เสื้อผ้า

จากสมการที่ (18) เมื่อแทนค่า A_{eff} , ϵ , σ จะได้

$$R = 3.4 \times 10^{-8} A_{UD} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (t_{mt} + 273)^4] \quad (\text{kcal/hr}) \quad (20)$$

8. การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อน

การสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนจากผิวนอกของเสื้อผ้า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = A_{UD} * F_{cl} * h_c (t_{cl} - t_a) \quad (\text{kcal/hr}) \quad (21)$$

เมื่อ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kcal/hr) โดยที่ค่าของ h_c ขึ้นกับชนิดของการพา และถ้าความเร็วอากาศต่ำๆ การถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบ free convection ดังนั้น h_c จะเป็นฟังก์ชันของ $t_{cl} - t_a$ ถ้าเป็น force convection, h_c จะเป็นฟังก์ชันของความเร็วอากาศ

ในกรณี free convection นั้น Nilsen และ Pedersen พบว่าเมื่อผู้ทดสอบอยู่ในท่านั่งและทำยืน

$$h_c = 2.05 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}) \quad (22)$$

$$\text{หรือ } h_c = 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \quad (\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$$

$$\text{เมื่อ } 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1(V_a)^{0.5} \quad (23)$$

ในกรณีเป็น force convection นั้น Winslow, Gagge และ Herrington พบว่า

$$h_c = 10.4(V_a)^{0.5} \quad (\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}) \quad (24)$$

$$\text{หรือ } h_c = 12.1(V_a)^{0.5} \quad (\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C})$$

$$\text{เมื่อ } 2.38 (t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1(V_a)^{0.5} \quad (25)$$

ภาคผนวก ค.

ผลจากการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยวิธีการ Regression

SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.970164
R Square	0.941218
Adjusted R Square	0.940495
Standard Error	0.113109
Observations	330

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	66.57711	16.64428	1300.979	1.5E-198
Residual	325	4.157938	0.012794		
Total	329	70.73505			

	Coefficient	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-1.05753	0.031717	-33.3431	6.4E-107	-1.11993	-0.99514	-1.11993	-0.99514
ปริมาณรังสีกระจาย ภายนอก	0.088449	0.003798	23.29023	2.91E-71	0.080978	0.09592	0.080978	0.09592
มุมแนวตั้งที่กระทำ กับช่องเปิด	0.194548	0.019276	10.09289	5.14E-21	0.156627	0.232469	0.156627	0.232469
ปริมาณการเห็น ห้องฟ้า solid angle	-3.64612	0.407332	-8.95122	2.76E-17	-4.44746	-2.84478	-4.44746	-2.84478
พื้นที่ช่องเปิด	-0.10473	0.014459	-7.2432	3.2E-12	-0.13317	-0.07628	-0.13317	-0.07628

RESIDUAL OUTPUT

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>	<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	0.594041277	-0.204041277	37	0.669223064	-0.049223064
2	0.588734327	-0.078734327	38	0.665685097	-0.055685097
3	0.742635867	-0.042635867	39	0.655955569	-0.055955569
4	0.66745408	0.06254592	40	0.649764248	-0.049764248
5	0.706371711	-0.016371711	41	0.653302215	-0.063302215
6	0.949606905	0.020393095	42	0.632074416	-0.052074416
7	0.945184447	0.114815553	43	0.656840181	-0.056840181
8	0.811626213	0.128373787	44	0.640919332	-0.050919332
9	0.901844358	0.108155642	45	0.621460517	-0.061460517
10	0.839045453	0.060954547	46	0.624998483	-0.064998483
11	0.922187665	0.117812335	47	0.59050331	-0.05050331
12	0.949606905	0.140393095	48	0.586965344	-0.056965344
13	0.845236894	0.124763106	49	0.59050331	-0.06050331
14	0.877078593	0.072921407	50	0.578120428	-0.068120428
15	0.870887151	0.119112849	51	0.566622037	-0.076622037
16	0.923072156	0.156927844	52	0.551585679	-0.081585679
17	0.930148089	0.189851911	53	0.534780339	-0.074780339
18	0.970834703	0.069165297	54	0.522397456	-0.082397456
19	0.8974219	0.1325781	55	0.502054149	-0.092054149
20	0.820471129	0.139528871	56	0.301021442	-0.101021442
21	0.927494614	0.072505386	57	0.295714492	-0.045714492
22	0.900959866	0.039040134	58	0.449616033	-0.069616033
23	1.152155484	-0.122155484	59	0.374434246	0.015565754
24	0.984102078	0.075897922	60	0.413351877	-0.023351877
25	0.867349185	0.022650815	61	0.65658707	-0.10658707
26	0.863811218	0.106188782	62	0.652164612	-0.082164612
27	0.942530972	-0.022530972	63	0.518606379	0.041393621
28	0.885923509	0.084076491	64	0.608824523	-0.028824523
29	0.902728849	-0.012728849	65	0.546025618	-0.026025618
30	0.902728849	-0.052728849	66	0.62916783	-0.03916783
31	0.887692492	-0.107692492	67	0.65658707	-0.06658707
32	0.795705364	-0.035705364	68	0.55221706	-0.01221706
33	0.736444426	-0.026444426	69	0.584058758	-0.034058758
34	0.712563153	-0.042563153	70	0.577867317	0.022132683
35	0.693104337	-0.033104337	71	0.630052322	0.009947678
36	0.696642304	-0.016642304	72	0.637128255	0.002871745

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>	<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
73	0.677814869	-0.047814869	111	0.117651194	0.002348806
74	0.604402065	0.025597935	112	0.112344244	0.027655756
75	0.527451295	0.042548705	113	0.266245785	-0.036245785
76	0.63447478	-0.05447478	114	0.191063998	0.028936002
77	0.607940031	-0.047940031	115	0.229981629	0.010018371
78	0.859135649	-0.289135649	116	0.473216822	-0.113216822
79	0.691082243	-0.061082243	117	0.468794364	-0.088794364
80	0.57432935	-0.04432935	118	0.335236131	0.064763869
81	0.570791384	-0.000791384	119	0.425454275	-0.025454275
82	0.649511137	-0.119511137	120	0.362655371	-0.002655371
83	0.592903674	-0.032903674	121	0.445797582	-0.025797582
84	0.609709015	-0.089709015	122	0.473216822	-0.083216822
85	0.609709015	-0.099709015	123	0.368846812	-0.028846812
86	0.594672657	-0.104672657	124	0.40068851	-0.02068851
87	0.50268553	-0.05268553	125	0.394497069	0.035502931
88	0.443424592	-0.013424592	126	0.446682074	-0.016682074
89	0.419543318	0.010456682	127	0.453758007	-0.003758007
90	0.400084503	0.009915497	128	0.494444621	-0.034444621
91	0.403622469	0.016377531	129	0.421031817	0.028968183
92	0.376203229	0.013796771	130	0.344081047	0.085918953
93	0.372665263	0.007334737	131	0.451104532	-0.021104532
94	0.362935855	0.017064145	132	0.424569783	0.005430217
95	0.356744414	0.013255586	133	0.675765401	-0.265765401
96	0.36028238	-0.00028238	134	0.507711995	-0.067711995
97	0.339054581	0.010945419	135	0.390959102	-0.030959102
98	0.363820346	-0.013820346	136	0.387421136	0.012578864
99	0.347899497	0.002100503	137	0.466140889	-0.116140889
100	0.328440682	0.001559318	138	0.409533426	-0.009533426
101	0.331978648	-0.001978648	139	0.426338767	-0.066338767
102	0.297483476	0.012516524	140	0.426338767	-0.046338767
103	0.293945509	0.006054491	141	0.411302409	-0.051302409
104	0.297483476	-0.007483476	142	0.319315282	0.010684718
105	0.285100593	0.004899407	143	0.260054344	0.069945656
106	0.273602202	-0.003602202	144	0.23617307	0.07382693
107	0.258565845	0.001434155	145	0.216714255	0.093285745
108	0.241760504	0.008239496	146	0.220252221	0.079747779
109	0.229377621	0.010622379	147	0.192832981	0.097167019
110	0.209034314	0.020965686	148	0.189295015	0.090704985

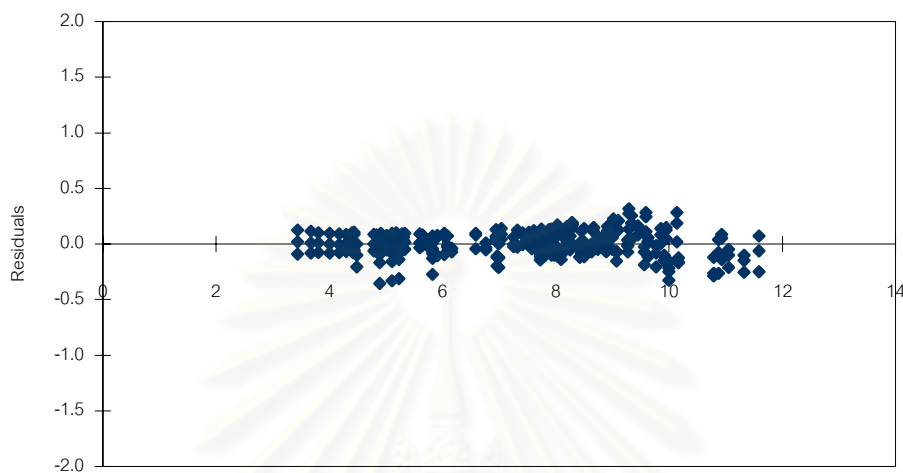
<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>	<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
149	0.179565607	0.100434393	187	1.701835909	0.138164091
150	0.173374166	0.096625834	188	1.650535396	-0.020535396
151	0.176912132	0.083087868	189	1.60896429	0.00103571
152	0.155684333	0.094315667	190	1.531129028	0.028870972
153	0.180450099	0.069549901	191	1.527591062	0.062408938
154	0.164529249	0.075470751	192	1.616040223	-0.066040223
155	0.145070434	0.084929566	193	1.632845564	-0.152845564
156	0.1486084	0.0813916	194	1.707142859	-0.107142859
157	0.114113228	0.105886772	195	1.730139641	-0.170139641
158	0.110575261	0.099424739	196	1.831856176	-0.101856176
159	0.114113228	0.085886772	197	1.682377094	0.057622906
160	0.101730345	0.088269655	198	1.715103283	-0.215103283
161	0.090231954	0.089768046	199	1.807974903	-0.047974903
162	0.075195597	0.094804403	200	1.712449809	-0.172449809
163	0.058390256	0.101609744	201	1.540858436	-0.110858436
164	0.046007374	0.113992626	202	1.575353609	-0.035353609
165	0.025664066	0.124335934	203	1.593927933	-0.073927933
166	1.353346214	-0.103346214	204	1.593927933	-0.033927933
167	1.363960114	-0.093960114	205	1.650535396	-0.010535396
168	1.413491644	-0.043491644	206	1.626654122	0.073345878
169	1.448871308	0.001128692	207	1.797361003	0.052638997
170	1.486019956	-0.006019956	208	1.85573745	0.07426255
171	1.547934369	0.072065631	209	1.792054054	0.037945946
172	1.727486166	0.282513834	210	1.676185653	-0.026185653
173	1.656726837	0.253273163	211	1.531129028	-0.101129028
174	1.540858436	0.139141564	212	1.694759976	-0.014759976
175	1.597465899	0.142534101	213	1.514323688	-0.144323688
176	1.652304379	0.317695621	214	1.546165386	-0.096165386
177	1.634614547	0.205385453	215	1.448871308	-0.208871308
178	1.666456245	0.163543755	216	1.446217833	-0.196217833
179	1.678839127	0.281160873	217	1.34538579	-0.27538579
180	1.710680825	0.149319175	218	1.293200785	-0.313200785
181	1.635499038	0.204500962	219	1.282586885	-0.332586885
182	1.618693698	0.121306302	220	1.26312807	-0.35312807
183	1.563855218	0.146144782	221	0.878020594	0.061979406
184	1.515208179	0.024791821	222	0.888634494	0.071365506
185	1.535551486	0.054448514	223	0.938166024	0.081833976
186	1.628423106	0.191576894	224	0.973545688	0.106454312

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>	<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
225	1.010694336	0.099305664	263	1.38041183	-0.06041183
226	1.072608749	0.127391251	264	1.316728434	-0.076728434
227	1.252160546	0.187839454	265	1.200860033	-0.070860033
228	1.181401217	0.188598783	266	1.055803408	-0.045803408
229	1.065532816	0.174467184	267	1.219434357	-0.079434357
230	1.122140279	0.147859721	268	1.038998068	-0.088998068
231	1.176978759	0.273021241	269	1.070839766	-0.070839766
232	1.159288927	0.200711073	270	0.973545688	-0.123545688
233	1.191130625	0.148869375	271	0.970892214	-0.110892214
234	1.203513508	0.246486492	272	0.87006017	-0.13006017
235	1.235355206	0.124644794	273	0.817875165	-0.137875165
236	1.160173419	0.209826581	274	0.807261265	-0.157261265
237	1.143368078	0.156631922	275	0.78780245	-0.16780245
238	1.088529598	0.191470402	276	0.58500076	0.07499924
239	1.039882559	0.120117441	277	0.595614659	0.094385341
240	1.060225866	0.129774134	278	0.645146189	0.094853811
241	1.153097486	0.226902514	279	0.680525854	0.099474146
242	1.226510289	0.083489711	280	0.717674501	0.082325499
243	1.175209776	0.034790224	281	0.779588914	0.080411086
244	1.13363867	0.04636133	282	0.959140711	0.020859289
245	1.055803408	0.114196592	283	0.888381383	0.041618617
246	1.052265442	0.127734558	284	0.772512981	0.157487019
247	1.140714603	0.009285397	285	0.829120445	0.110879555
248	1.157519944	-0.067519944	286	0.883958924	0.136041076
249	1.231817239	-0.101817239	287	0.866269092	0.133730908
250	1.254814021	-0.124814021	288	0.89811079	0.08188921
251	1.356530556	-0.146530556	289	0.910493673	0.109506327
252	1.207051474	0.022948526	290	0.942335371	0.047664629
253	1.239777664	-0.249777664	291	0.867153584	0.122846416
254	1.332649283	-0.102649283	292	0.850348243	0.109651757
255	1.237124189	-0.137124189	293	0.795509763	0.174490237
256	1.065532816	-0.035532816	294	0.746862725	0.133137275
257	1.100027989	0.009972011	295	0.767206032	0.132793968
258	1.118602313	-0.018602313	296	0.860077651	0.129922349
259	1.118602313	0.001397687	297	0.933490455	0.006509545
260	1.175209776	-0.005209776	298	0.882189941	0.037810059
261	1.151328502	0.058671498	299	0.840618835	0.039381165
262	1.322035384	0.087964616	300	0.762783574	0.087216426

<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
301	0.759245607	0.110754393
302	0.847694768	0.022305232
303	0.864500109	-0.074500109
304	0.938797404	-0.148797404
305	0.961794186	-0.161794186
306	1.063510722	-0.253510722
307	0.914031639	-0.114031639
308	0.946757829	-0.326757829
309	1.039629448	-0.209629448
310	0.944104354	-0.164104354
311	0.772512981	-0.052512981
312	0.807008154	-0.017008154
313	0.825582478	-0.045582478
314	0.825582478	-0.035582478
315	0.882189941	-0.072189941
316	0.858308668	-0.048308668
317	1.029015549	-0.139015549
318	1.087391995	-0.247391995
319	1.023708599	-0.263708599
320	0.907840198	-0.187840198
321	0.762783574	-0.082783574
322	0.926414522	-0.206414522
323	0.745978233	-0.115978233
324	0.777819931	-0.137819931
325	0.680525854	-0.120525854
326	0.677872379	-0.117872379
327	0.577040335	-0.087040335
328	0.52485533	-0.07485533
329	0.514241431	-0.084241431
330	0.494782615	-0.094782615

แผนภูมิที่ 1ค แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายภายนอก Residual Plot

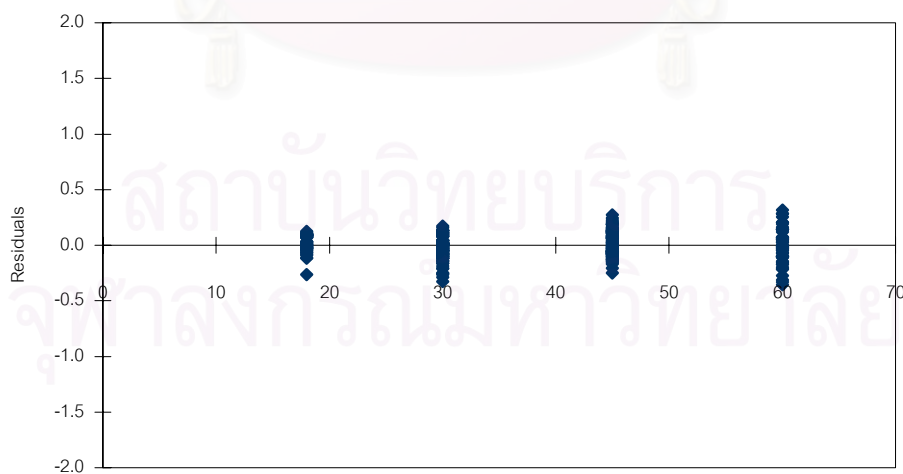
ปริมาณรังสีกระจายภายนอก Residual Plot



ปริมาณรังสีกระจายภายนอก (วัดต่อตารางเมตร)

แผนภูมิที่ 2ค แสดงมุมแนวตั้งที่กระทำกับช่องเปิด Residual Plot

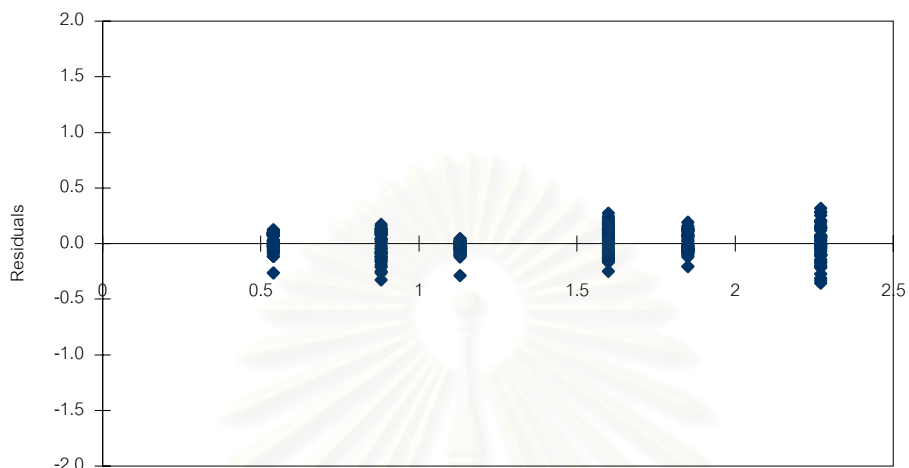
มุมแนวตั้งที่กระทำกับช่องเปิด Residual Plot



มุมแนวตั้งที่กระทำกับช่องเปิด (องศา)

แผนภูมิที่ 3 แสดงค่าปริมาณการเห็นท้องฟ้า (solid angle) Residual Plot

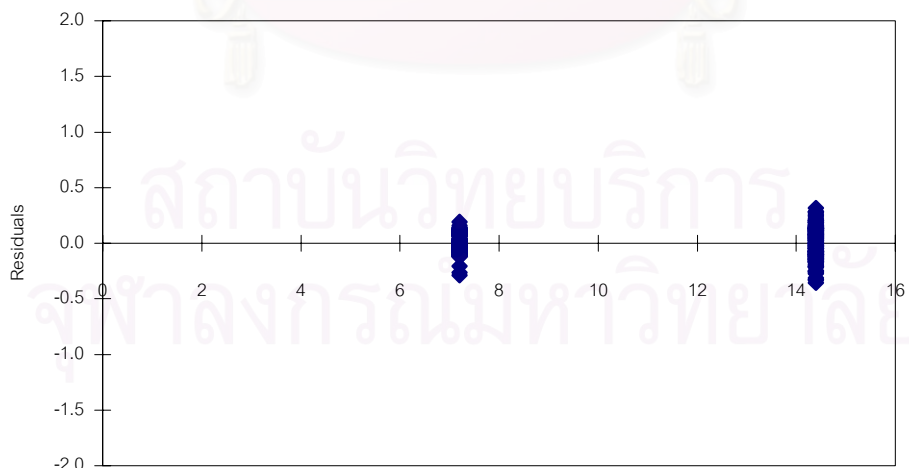
ปริมาณการเห็นท้องฟ้า (solid angle) Residual Plot



ปริมาณการเห็นท้องฟ้า (solid angle) (steradians)

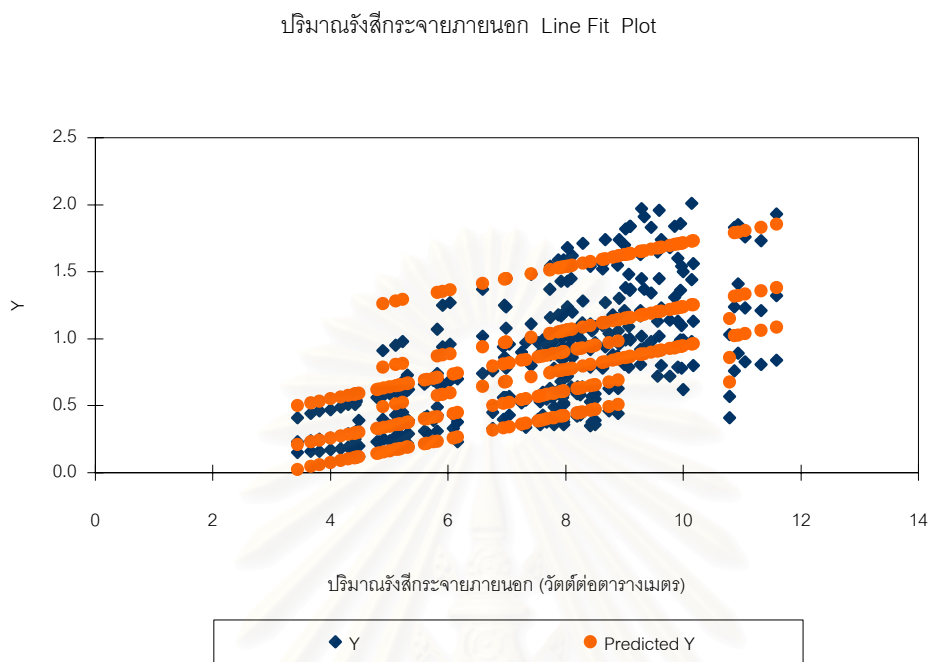
แผนภูมิที่ 4 แสดงค่าพื้นที่ช่องเปิด Residual Plot

พื้นที่ช่องเปิด Residual Plot

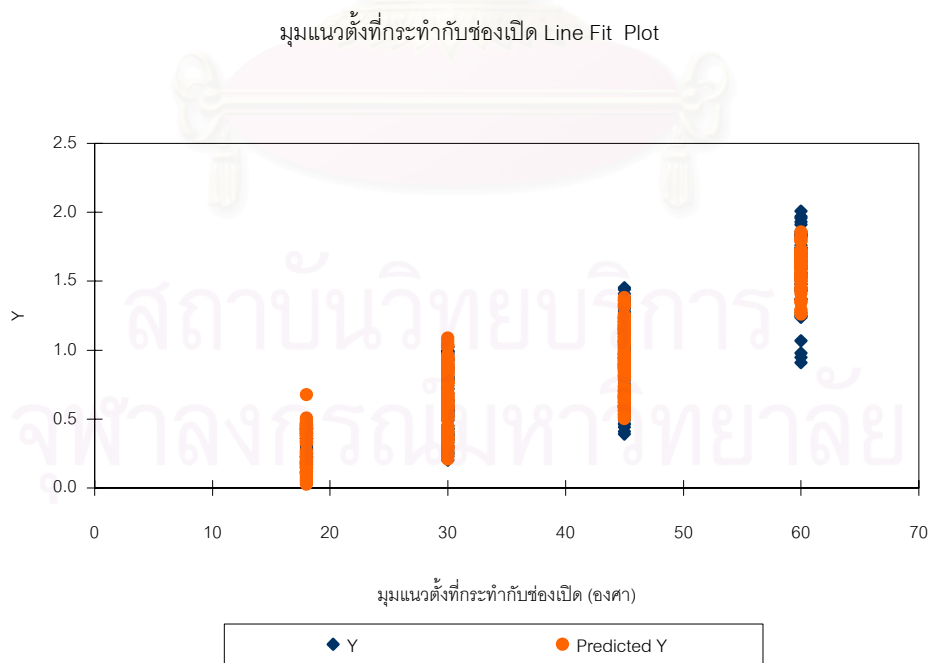


พื้นที่ช่องเปิด (ตารางเมตร)

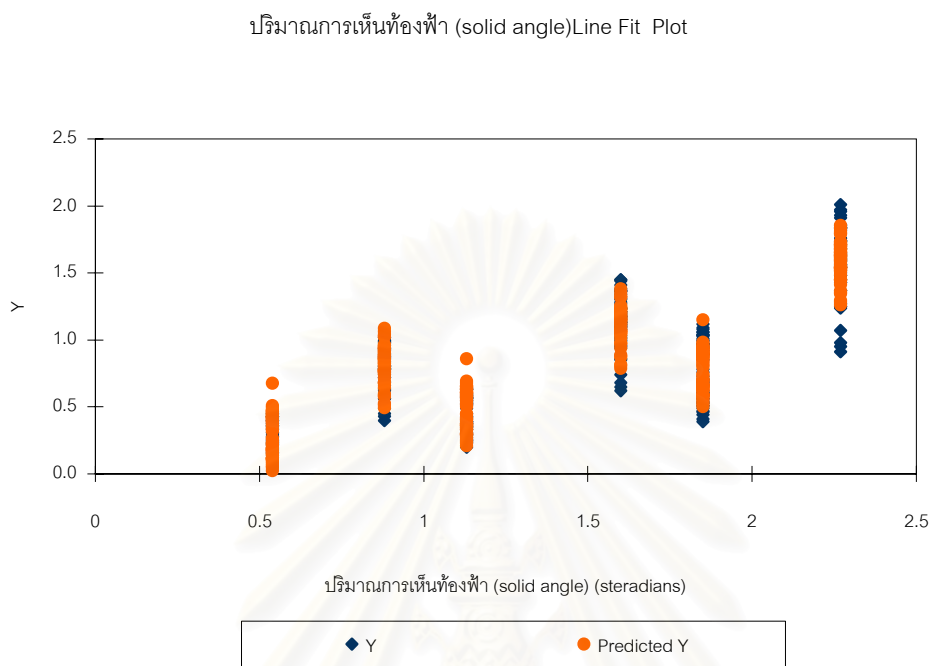
แผนภูมิที่ 5ค แสดงค่าปริมาณรังสีกระจายภายนอก Line Fit Plot



แผนภูมิที่ 6ค แสดงค่ามุมแนวตั้งที่กระทำกับช่องเปิด Line Fit Plot



แผนภูมิที่ 7ค แสดงค่าปริมาณการเห็นท้องฟ้า (solid angle)Line Fit Plot



แผนภูมิที่ 8ค แสดงค่าพื้นที่ช่องเปิด Line Fit Plot



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว วันัสสุดา ไชยมนตรี เกิดเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2517 ที่อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา การศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 โรงเรียนอนุบาลสงขลา การศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 3 โรงเรียนวรนาารีเฉลิม จังหวัดสงขลา การศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 - 5 โรงเรียนมหาวิทยาลัยราชภัฏ จังหวัดสงขลา

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540 ปัจจุบัน รับราชการ ตำแหน่งอาจารย์ระดับ 4 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งแต่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย