

เปรียบเทียบประสิทธิผลของค่าสัมประสิทธิ์ในกระจกและแผงบังแดด

นายจิรเดช เทพพิพิธ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

THE COMPARISON OF EFFECTIVE SHADING COEFFICIENT BETWEEN GLAZING GLASS
AND SHADING DEVICE

Mr. Jiradet Theppipit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เปรียบเทียบประสิทธิผลของค่าสัมประสิทธิ์ในกระจกและแผงบังแดด
โดย	นายจิรเดช เทพพิพิธ
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ศักดิ์ วัฒนสินธุ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวานิศวรรค์ เจริญพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวงนิค)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัทธ์ สุริโยธิน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุต)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิจชัย จิตขจรวานิช)

จิรเดช เทพพิพิธ : เปรียบเทียบประสิทธิผลของค่าสัมประสิทธิ์ในกระจกและแผงบังแดด (THE COMPARISON OF EFFECTIVE SHADING COEFFICIENT BETWEEN GLAZING GLASS AND SHADING DEVICE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ธนิต จินดาวงนิค, 122 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการศึกษาและเปรียบเทียบแนวทางการออกแบบวัสดุประกอบช่องเปิดเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร ระหว่างการใช้กระจกกันความร้อนและการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก (SHGC) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ที่ปรากฏอยู่ในสมการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์และวิธีการอนุรักษ์พลังงานในอาคารควบคุม โดยทำการทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing) ขนาด 3.00x3.00 เมตร เพื่อวัดอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่เกิดขึ้นจริงในสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย พร้อมทั้งทำการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) เพื่อหาผลกระทบของทิศทางช่องเปิดอาคารที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศในอาคาร การศึกษามีทั้งหมด 3 กรณีศึกษา โดยกำหนดค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก (SHGC) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ที่แตกต่างกัน แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 แบบมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปของการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิผลการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศของอาคารที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก (SHGC) ต่ำกว่าอาคารที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของแผงบังแดด (SC) ในทุกกรณีศึกษา โดยมีแนวโน้มของความแตกต่างระหว่างทั้ง 2 ค่าสัมประสิทธิ์มากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเลือกใช้กระจกคุณภาพดีและอุปกรณ์บังแดดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดดีขึ้น (ค่า SHGC และ SC ต่ำลง) ในขณะที่ผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่อาคารที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ของกระจก (SHGC) ทำได้ดีกว่าในทุกกรณีศึกษา แต่ในทางกลับกันอาคารที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จะมีความสามารถในการนำแสงสว่างจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในตัวอาคารได้ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2555

5374142325 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS : SHADING COEFFICIENT / GLAZING GLASS / SHADING DEVICE

JIRADET THEPPIPIT : THE COMPARISON OF EFFECTIVE SHADING
COEFFICIENT BETWEEN GLAZING GLASS AND SHADING DEVICE.

ADVISOR : ASSOC PROF.THANIT CHINDAVANIG, 122 pp.

Department : Architecture..... Student's Signature.....

Field of Study : Architecture..... Advisor's Signature.....

Academic Year :2012.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก รศ.ธนิศ จินดาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำชี้แนะตลอดระยะเวลาการศึกษาตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ได้แก่ รศ.ดร.สุวนิตวีร์ เจริญพงศ์ ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อรอรจน์ เศรษฐบุตตร และ รศ.พวรรณชลัท สุริโยธิน กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผศ.ดร.กิจชัย จิตขจรวานิช กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำความรู้ในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตครั้งที่ 1 ปีงบประมาณ 2555 ของ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ นางสาวกษิดา ชำนาญดี และศรีบศรัว สำหรับสถานที่และการอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทดลอง รวมถึง บิดา มารดา และศรีบศรัวของข้าพเจ้าเอง ผู้ซึ่งคอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนบุคคลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้ หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในภายภาคหน้า ไม่มากก็น้อย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร.....	8
2.2 ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคาร(OTTV).....	16
2.3 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.1 การกำหนดกระบวนการและตัวแปรในการวิจัย.....	36
3.2 ห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing).....	44
3.3 เครื่องมือในการทดลอง.....	47
3.4 การกำหนดตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	56

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลข้อมูล.....	60
4.1 การทดลองกรณีศึกษาที่ 1 ค่า SHGC และค่า SC สูง.....	61
4.2 การทดลองกรณีศึกษาที่ 1 ค่า SHGC และค่า SC กลาง.....	66
4.3 การทดลองกรณีศึกษาที่ 1 ค่า SHGC และค่า SC ต่ำ.....	71
4.4 การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation).....	76
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	85
5.2 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	90
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	92
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	122

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ารังสีตรง (beam, E_{es}) และรังสีกระจาย (diffuse, E_{ed}) ของดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่มีรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับวันอ้างอิงทั้ง 4 วัน.....	24
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance, τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่าง ๆ.....	26
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติกระจกโฟรตสี บลูกรีน 6 mm.....	38
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติกระจก solat tag สีฟ้าไฟลีน หนา 6 mm.....	39
ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติกระจก solar tag สีเหลืองอุษา หนา 6 mm.....	39
ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติกระจกโฟรตใส หนา 6 mm.....	39
ตารางที่ 3.5 แสดงผลการคลาดเคลื่อนของตัววัดอุณหภูมิเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย.....	52
ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลพื้นฐาน ที่นำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์... ..	56
ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนกรณีศึกษาของการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	76
ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) การปรับอากาศเป็นรายเดือน กรณีศึกษาที่ 1.....	78
ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) การปรับอากาศเป็นรายเดือน กรณีศึกษาที่ 2.....	79
ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) การปรับอากาศเป็นรายเดือน กรณีศึกษาที่ 3.....	81
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแตกต่างของใช้พลังงานในการปรับอากาศจากการหันทิศทาง ช่องเปิดอาคาร.....	83
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาในห้องทดลอง.....	83
ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ประกอบช่องเปิด.....	91

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการนำความร้อนของสสาร.....	8
ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะการพาความร้อนของสสาร.....	10
ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะการแผ่รังสีความร้อน.....	11
ภาพที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติการดูดซับ สะท้อน และการแผ่รังสี.....	13
ภาพที่ 2.5 แสดงความยาวคลื่นต่างๆของรังสีอาทิตย์.....	14
ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะการไหลผ่านกระจกของคลื่นที่ความยาวคลื่นต่างกัน.....	14
ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะการไหลผ่านช่องเปิดของคลื่นรังสีเข้ามาในตัวอาคาร.....	15
ภาพที่ 2.8 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก.....	18
ภาพที่ 2.9 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....	20
ภาพที่ 2.10 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง.....	22
ภาพที่ 2.11 แสดงกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก.....	26
ภาพที่ 2.12 แสดงกระบวนการทำงานของระบบปรับอากาศแบบกดดันไอ.....	30
ภาพที่ 2.13 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม BEC.....	34
ภาพที่ 2.14 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการคำนวณค่า SC และการใส่ค่าของโปรแกรม BEC.....	35
ภาพที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์บังแดดจากการคำนวณค่า SC ₁ ด้วยโปรแกรม BEC.....	41
ภาพที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์บังแดดจากการคำนวณค่า SC ₂ ด้วยโปรแกรม BEC.....	42
ภาพที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์บังแดดจากการคำนวณค่า SC ₃ ด้วยโปรแกรม BEC.....	43
ภาพที่ 3.4 แสดงขนาดและตำแหน่งขององค์ประกอบห้องทดลอง.....	44
ภาพที่ 3.5 แสดงโครงสร้างและวัสดุประกอบห้องทดลอง.....	45
ภาพที่ 3.6 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของผนังห้องทดลอง.....	46
ภาพที่ 3.7 แสดงภาพห้องทดลองด้านพลังงาน.....	47

ภาพที่ 3.8 เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล.....	47
ภาพที่ 3.9 เครื่องเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ และสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ.....	48
ภาพที่ 3.10 Globe thermometer.....	48
ภาพที่ 3.11 มิเตอร์ไฟฟ้า.....	48
ภาพที่ 3.12 เครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ DAIKIN.....	49
ภาพที่ 3.13 แสดงการทดสอบความนำเชื้อถั่วของหัว thermocouple ด้วยการแช่น้ำร้อน.....	50
ภาพที่ 3.14 แสดงการทดสอบความนำเชื้อถั่วของหัว thermocouple ด้วยการเก็บข้อมูลในสภาวะปิด.....	51
ภาพที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิอัตโนมัติ.....	54
ภาพที่ 3.16 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์.....	55
ภาพที่ 3.17 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₁ mockup ที่หันไปทางทิศเหนือ.....	57
ภาพที่ 3.18 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₁ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันออก.....	57
ภาพที่ 3.19 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₁ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันตก.....	57
ภาพที่ 3.20 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₂ mockup ที่หันไปทางทิศเหนือ.....	58
ภาพที่ 3.21 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₂ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันออก.....	58
ภาพที่ 3.22 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₂ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันตก.....	58
ภาพที่ 3.23 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₃ mockup ที่หันไปทางทิศเหนือ.....	59

ภาพที่ 3.24 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₃ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันออก.....	59
ภาพที่ 3.25 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC ₃ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันตก.....	59
ภาพที่ 4.1 ห้องทดลองพลังงาน 1 (SHGC ₁ mockup) และห้องทดลองพลังงาน 2 (SC ₁ mockup)...	61
ภาพที่ 4.2 ห้องทดลองพลังงาน 1 (SHGC ₂ mockup) และห้องทดลองพลังงาน 2 (SC ₂ mockup)...	66
ภาพที่ 4.3 ห้องทดลองพลังงาน 1 (SHGC ₃ mockup) และห้องทดลองพลังงาน 2 (SC ₃ mockup)...	71

แผนภูมิที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง ($^{\circ}\text{C}$) กรณีศึกษาที่ 2.....	68
แผนภูมิที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิผิวกระจก ($^{\circ}\text{C}$) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2.....	68
แผนภูมิที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}\text{C}$) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2.....	69
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) ในการปรับอากาศ ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2.....	70
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง ($^{\circ}\text{C}$) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.....	72
แผนภูมิที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง ($^{\circ}\text{C}$) กรณีศึกษาที่ 3.....	73
แผนภูมิที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิผิวกระจก ($^{\circ}\text{C}$) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.....	73
แผนภูมิที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}\text{C}$) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.....	74
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) ในการปรับอากาศ ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 3.....	75
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y)ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิด ทิศทางต่างๆ กรณีศึกษาที่ 1.....	77
แผนภูมิที่ 4.17 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y)ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิด ทิศทางต่างๆ กรณีศึกษาที่ 2.....	79

แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิด ทิศทางต่างๆ กรณีศึกษาที่ 3.....	80
แผนภูมิที่ 4.19 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศ ของการหันช่องเปิดทิศทางต่างๆ.....	82
แผนภูมิที่ 5.1 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (°C) ภายในห้องทดลองของทั้ง 3 กรณีศึกษา.....	85
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงค่า globe temperatureเฉลี่ย (°C) ในห้องทดลองของทั้ง 3 กรณีศึกษา.....	86
แผนภูมิที่ 5.3 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวกระจกของทั้ง 3 กรณีศึกษา.....	87
แผนภูมิที่ 5.4 แสดงอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ (kWh) ของทั้ง 3 กรณีศึกษา.....	88
แผนภูมิที่ 5.5 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศ ของการหันช่องเปิดทิศทางต่างๆ.....	89

บทที่ 1

บทนำ

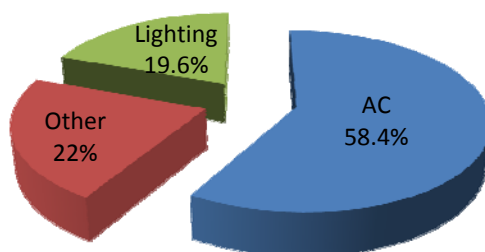
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการด้านความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตทั่วไปของมนุษย์ แต่เทคโนโลยีเหล่านี้มักต้องแลกด้วยผลผลิตจากธรรมชาติ นั่นคือ "พลังงาน" ที่มีทั้งรูปแบบที่ใช้แล้วหมดไป (nonrenewable energy) และแบบที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (renewable energy) ซึ่งพลังงานในรูปแบบแรก ถือเป็นพลังงานหลักที่มนุษย์ใช้เป็นส่วนมากในปัจจุบัน และแนวโน้มอัตราการใช้พลังงานก็มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผลกระทบออกมาในด้านวิกฤตพลังงานที่พบเห็นมากในปัจจุบัน

การออกแบบสถาปัตยกรรมก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีส่วนร่วมรับผิดชอบต่อภาพรวมในการใช้พลังงานในปัจจุบัน และในฐานะสถาปนิกก็มีหน้าที่ที่จะต้องตระหนักถึงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการออกแบบตัวอาคารให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนกระบวนการออกแบบ ตั้งแต่การวางแผนการออกแบบรูปทรงและเปลือกอาคาร วางแผนการก่อสร้าง กำหนดวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ออกแบบการจัดการอาคารให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด ไปจนถึงการวางระบบการปรับอากาศ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นความรับผิดชอบต่อสถาปนิกที่ต้องคำนึงถึงเป็นสำคัญ

การใช้พลังงานในอาคารที่ตั้งอยู่ในประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอย่างประเทศไทย สามารถแบ่งรูปแบบการใช้พลังงานออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ การใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นในอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบไฟฟ้าอื่นๆ ในอาคาร ซึ่งมากกว่า 50% ของพลังงานทั้งหมด เป็นการใช้เพื่อทำความเย็นในอาคาร (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2551) เนื่องจากสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคารสูง โดยเฉพาะช่องเปิดของตัวอาคารที่สถาปนิกมักจะพบคำถามที่เกิดขึ้นในความสมดุลของการ

ออกแบบระหว่าง ความสวยงาม ประโยชน์ใช้สอย และอัตราการประหยัดพลังงาน ซึ่งในความเป็นสถาปนิก 2 อย่างแรกเป็นสิ่งที่สถาปนิกจะคำนึงถึงเป็นสำคัญเสมอ จนเป็นผลให้เกิดรูปแบบการแก้ปัญหาของการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดเข้าสู่ตัวอาคารออกมาหลากหลายรูปแบบ แต่ที่ได้รับความนิยมจากสถาปนิกทั่วไปมากที่สุด คือ การใช้กระจกป้องกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์แบบต่างๆ และการติดตั้งแผงบังแดด (shading device) ซึ่งทั้งสองแบบนี้สามารถที่จะคำนวณหาความสามารถในการป้องกันรังสีอาทิตย์ออกมาเป็นตัวเลข เพื่อที่จะสามารถคำนวณและประยุกต์ใช้ในการออกแบบได้จริงได้



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานในส่วนต่างๆของอาคาร

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient ,SC) ของอุปกรณ์บังแดดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) ในกระจก เป็นค่าที่ปรากฏในสมการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) ซึ่งถือเป็นเกณฑ์ในการออกแบบอาคารที่คำนึงถึงการใช้พลังงานของตัวอาคาร และทั้งสองค่าจะเป็นค่าที่มีความสำคัญในการเลือกที่จะใช้วิธีการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร ดังนั้นหากเราทราบถึงความเหมือนและความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ในการคำนวณของแผงกันแดดและกระจกแล้ว ก็จะสามารถที่จะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการเลือกแนวทางที่มีประสิทธิภาพได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1. เปรียบเทียบประสิทธิผลในการประหยัดพลังงานของกระจกกันความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient, SC) ของอุปกรณ์บังแดด

1.2.2. เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคารที่มีค่าของอุปกรณ์ประกอบช่องเปิดเท่ากันระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) ของกระจกและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient ,SC) ของอุปกรณ์บังแดด

1.2.3. เสนอแนวทางการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านทางช่องเปิดของอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1. ศึกษาและทดลองแบบจำลองของการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารที่มีการใช้งานช่วงเวลา 8.00 น.-18.00น. และตั้งอยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเท่านั้น

1.3.2. ศึกษาเฉพาะกระจกกันความร้อนหนา 6 mm. 3 ชนิดที่มีค่า SHGC แตกต่างกัน เปรียบเทียบอุปกรณ์บังแดดที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่เท่ากัน (SHGC=SC)

1.3.3. การสร้างห้องทดลองด้านพลังงาน (Mock up for energy testing) มีจำนวนทั้งหมด 2 ห้องทดลอง ที่ติดตั้งวัสดุป้องกันความร้อนที่ผ่านช่องเปิดแตกต่างกัน แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ของอุปกรณ์บังแดดเท่ากับค่าและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ของกระจก และกำหนดตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน

1.3.4. การกำหนดช่องเปิดของห้องทดลองด้านพลังงาน (Mock up for energy testing) จะกำหนดไว้ด้านทิศใต้ ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารตลอดทั้งวัน และจะไปจำลองผลกระทบที่เกิดจากทิศทางอื่นๆในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3.5. การทดสอบห้องทดลองด้านพลังงาน มีเวลาที่จำกัด จึงทำการทดสอบในช่วงปลายเดือนมีนาคมจนถึงสิ้นเดือนเมษายน ซึ่งจะใกล้เคียงกับวันอัมบัง (Vernal Equinox) เพื่อหาค่าเฉลี่ย แต่สำหรับการทดลองที่สมบูรณ์ ต้องทำการทดลองตลอดทั้งปีเพื่อหาค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด

1.3.6. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง จะอ้างอิงจากโปรแกรม Building Energy Code Software: BEC Software ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ตลอดทั้งปี และใช้โปรแกรม Visual DOE 4.0 ในการจำลองผลกระทบที่เกิดจากทิศทางช่องเปิดอาคาร

1.3.7. การศึกษาผลกระทบของทิศทางการวางตัวอาคารจะกำหนดทิศไว้ 4 ทิศ คือ เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก

1.3.8 ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่ติดตั้งในการทดลองจะเป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอนและแนวตั้งที่ติดตั้งรอบขอบของช่องเปิด

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

การกำหนดขั้นตอนการทำการวิจัย รวมไปถึงกระบวนการทดลองของห้องทดลองพลังงาน และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้กำหนดไว้ดังนี้

1.4.1. การศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านทางช่องเปิด รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับตัวอาคาร โดยทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร
- 2) ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคาร (OTTV)

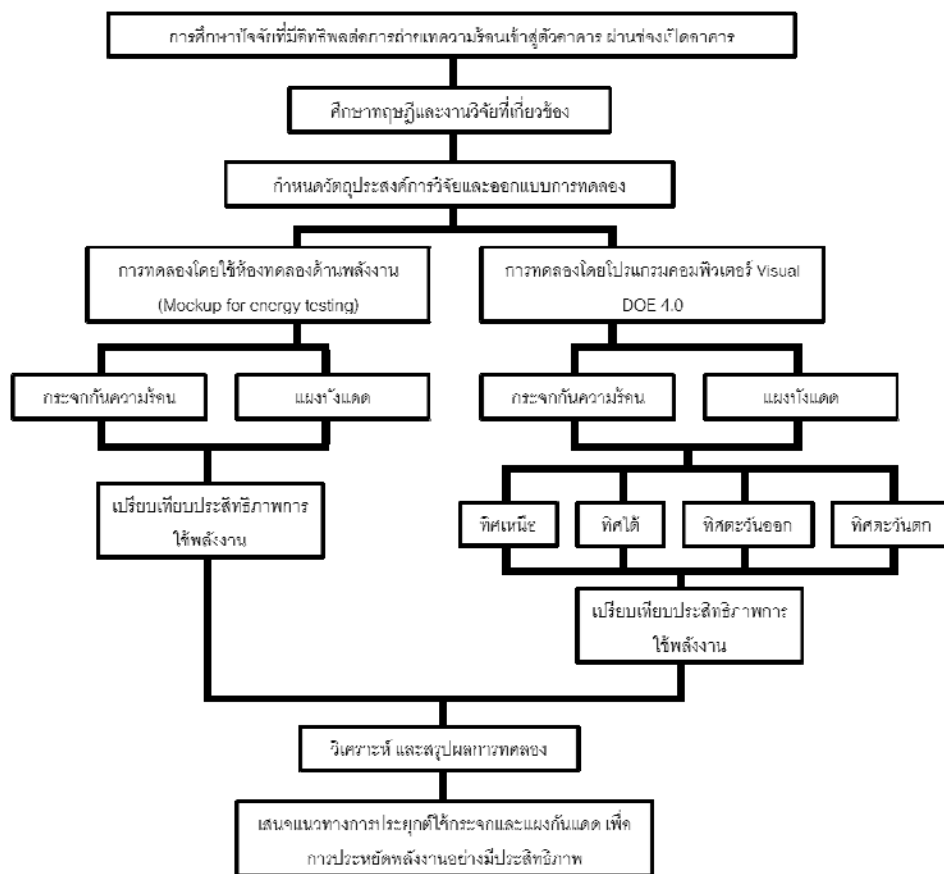
- 3) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่า สัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient ,SC) ของแผงบังแดด และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) ของกระจกกันความร้อน
- 4) ศึกษางานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเปลือกอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน

1.4.2. การออกแบบการทดลองเพื่อที่จะทราบถึงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานที่เกิดจากการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร โดยการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่เท่ากันระหว่างกระจกกันความร้อน และแผงกันแดด จะใช้การทดลอง 2 รูปแบบคือ

- 1) การใช้ห้องทดลองด้านพลังงาน (Mock up for energy testing) เพื่อที่จะได้ทราบถึงประสิทธิภาพและความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การบังแดดทั้งสองประเภทในสภาพภูมิอากาศจริง
- 2) การทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer simulation) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การบังแดดกับทิศทางการวางตัวอาคาร

1.4.3. วิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

- 1) วิเคราะห์ผลการทดลองจากห้องทดลองด้านพลังงาน เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างในการใช้พลังงานทำความเข้าใจเกี่ยวกับตัวห้องทดลอง ของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์
- 2) สรุปผลจากการทดลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้เห็นถึงผลกระทบของทิศทางที่มีต่อวิธีการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดด้วยกระจกกันความร้อน และแผงกันแดด
- 3) วิเคราะห์ผลสรุปการทดลองทั้ง 2 แบบแล้วเสนอแนวทางการใช้วิธีการแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านช่องเปิดอย่างถูกต้อง



แผนภูมิที่ 1.2 แสดงระเบียบวิธีการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิผลของการประหยัดพลังงานระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient ,SC) ของอุปกรณ์บังแดด และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC) ของกระจกที่เท่ากัน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้กระจกกันความร้อนและแผงบังแดด ประกอบเปลือกอาคารในทิศทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
3. ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ที่จำเป็นต้องแก้ปัญหาการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร และสามารถเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนของแนวทางการแก้ไขปัญหา

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยในบทนี้จะเน้นศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารในลักษณะต่างๆ รวมถึงผลกระทบของปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อผลการวิจัย การใช้พลังงานในการปรับอากาศภายในอาคาร โดยจะศึกษาในภาพรวมในหลักการและนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจะประกอบด้วยหัวข้อหลักๆ ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร

2.2 ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคาร (OTTV)

2.2.1 เกณฑ์การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (OTTV)

2.2.2 ทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC)

2.2.3 ทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC)

2.3 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 แนวทางการออกแบบช่องเปิดของอาคารปรับอากาศ

2.3.2 การทำงานและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

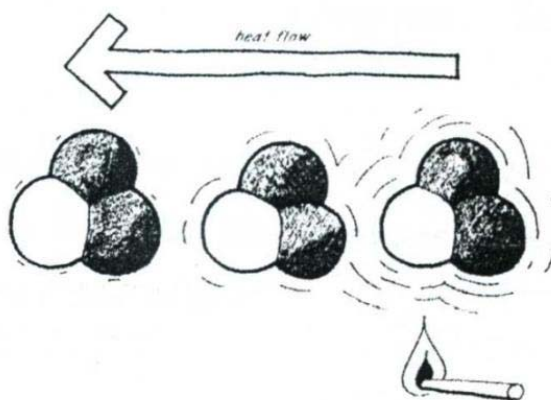
2.3.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ด้วยโปรแกรม ประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (building energy code software, BEC)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร

2.1.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยธรรมชาติทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยในแต่ละชนิดจะมีลักษณะกระบวนการที่แตกต่างกันดังนี้ คือ

1. การนำความร้อน (conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่มีของแข็งเป็นตัวนำ โดยเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในระดับโมเลกุลที่ต่างกัน และส่งผ่านต่อไปยังโมเลกุลที่สัมผัสกัน โดยส่งผ่านจากโมเลกุลที่มีความร้อนสูงไปสู่โมเลกุลที่มีความร้อนต่ำกว่าเสมอ กล่าวคือวัสดุที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลมากก็จะสามารถนำความร้อนได้มาก ดังจะแสดงออกมาในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ของวัสดุนั้นๆ ยิ่งค่า U-value สูงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุนั้นก็จะสูงตามไปด้วย



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการนำความร้อนของสสาร (Fuller , 1993)

โดยการนำความร้อนสามารถอธิบายได้เป็นสมการดังต่อไปนี้

$$Q = U \times A \times (T_i - T_o) \quad \text{หรือ}$$

$$Q = U \times A \times CLTD$$

เมื่อ $Q =$ พลังงานความร้อน (Btu/h)

$U =$ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) , (Btu/h.ft².°F)

$A =$ พื้นที่ที่มีการถ่ายเทความร้อน (m²)

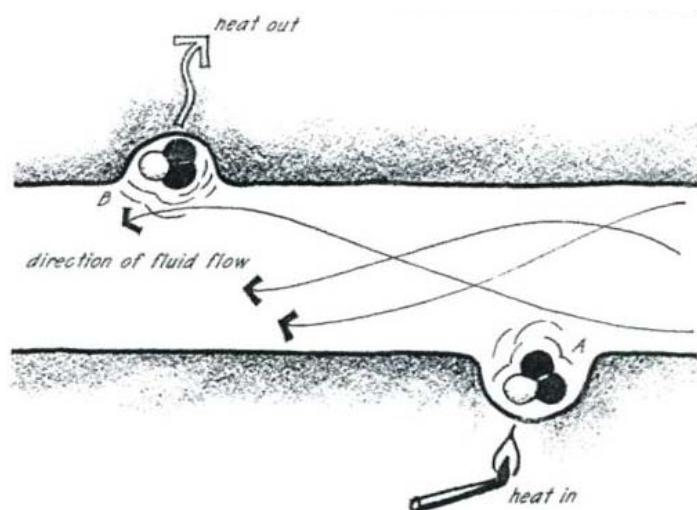
$T_i =$ อุณหภูมิที่สูงกว่า (°F)

$T_o =$ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า (°F)

CLTD = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference) , (°F)

โดยการจะเลือกใช้ค่า ΔT ที่เป็นค่า $T_i - T_o$ ก็ต่อเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในของอาคารมีค่าคงที่ แต่ถ้าต้องการให้ได้ค่าตัวเลขที่ใกล้เคียงความจริง ก็จะต้องกำหนดค่า ΔT เป็นค่า CLTD เนื่องจากเป็นค่าที่มีการปรับโดยอ้างอิงจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมโดยรอบ ทั้งในตัวแปลของ วันเวลา และตำแหน่ง รวมถึงลักษณะทางกายภาพอื่นๆด้วย

2. การพาความร้อน (convection) เป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านตัวกลางที่มีลักษณะเป็นของไหล เช่น อากาศ ก๊าซ ของเหลว โดยเมื่อสสารอุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลจะมีความหนาแน่นลดลงทำให้น้ำหนักเบา จึงเกิดการลอยตัวขึ้น และถูกแทนที่ด้วยสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และความหนาแน่นมากกว่า จนเกิดเป็นการเคลื่อนที่แบบของไหล



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะการพาความร้อนของสสาร (Fuller , 1993)

โดยจะสามารถอธิบายการไหลเวียนของความร้อนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = h \times A \times (T_a - T_s)$$

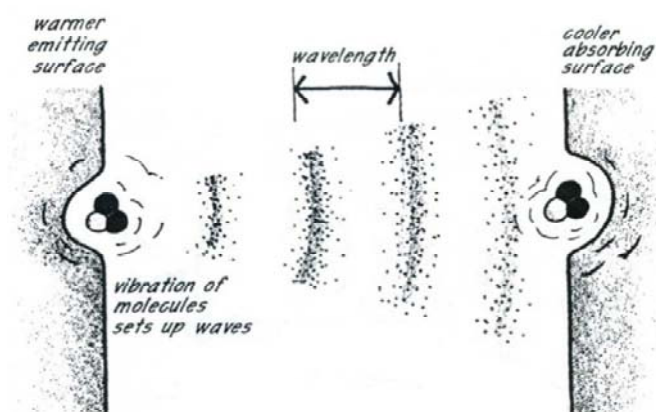
เมื่อ h = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของฟิล์มอากาศบริเวณที่มี
อากาศไหลผ่าน

A = พื้นที่ผิววัสดุที่ของไหลผ่าน

T_a = ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}\text{F}$)

T_s = อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ ($^{\circ}\text{F}$)

3. การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดในรูปการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากการสั่นไหวของโมเลกุล โดยจะมีลักษณะคล้ายการนำความร้อนอันเกิดจากความร้อนที่ตกกระทบกับโมเลกุลจนทำให้เกิดการดูดซับพลังงาน จนทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่การแผ่รังสีความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลาง สามารถกระจายไปได้ทุกทิศทาง และไม่ขึ้นอยู่กับการโน้มถ่วงของโลก



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะการแผ่รังสีความร้อน (Fuller , 1993)

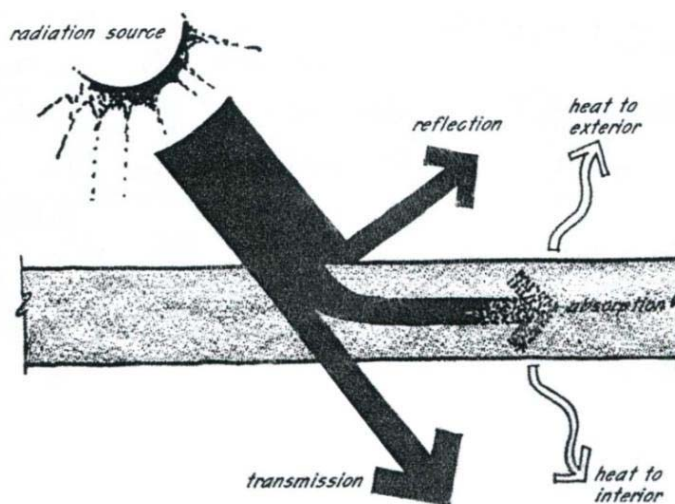
เมื่อมีรังสีความร้อนเข้ามากระทบกับพื้นผิววัสดุที่มีลักษณะที่บดบัง จะทำให้วัสดุนั้นมีพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน โดยจะแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (absorptivity , α) คือคุณสมบัติของการกักเก็บความร้อนที่เกิดจากรังสีความร้อนของวัสดุ คุณสมบัตินี้จะเป็นส่วนทำให้อุณหภูมิของวัสดุนั้นๆสูงขึ้น เช่น กระจกใส 3 mm. มีค่าความดูดซับรังสีความร้อนอยู่ที่ร้อยละ 8 ที่มุมตกกระทบปกติ และการแต่งเติมสารในเนื้อกระจกบางชนิด เพื่อประโยชน์ใช้สอยที่แตกต่างกัน จะทำให้กระจกมีการดูดกลืนรังสีความร้อนสูงขึ้น เมื่อโดนแดดอุณหภูมิกระจกก็จะสูงกว่ากระจกใส

2. ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (reflectivity , β) คือคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อนเมื่อเกิดการตกกระทบ โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของวัสดุ และมุมตกกระทบ (incident angle) ของรังสี โดยค่าการสะท้อนรังสีโดยทั่วไปของวัสดุชนิดกระจกจะไม่มี ความแตกต่างกันมาก อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีการผลิตกระจกโฟลท (float glass manufacturing process)(สุนทร บุญญาธิการ,2551) แต่ก็มีวัสดุกระจกบางประเภทที่ไม่ต้องการให้มีค่าการสะท้อนรังสีมากเกินไป เช่น กระจกตัดเงา (anti reflective glass) ซึ่งจะทำให้ค่าการส่องผ่านของกระจกเพิ่มมากขึ้น
3. ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (transmissivity , τ) คือคุณสมบัติของวัสดุที่ยอมให้รังสีความร้อนผ่านวัสดุ จากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง โดยในรังสีความร้อนสามารถแยกสัดส่วนของรังสีได้หลายชนิด เช่น ค่าความส่องผ่านของแสงที่ตามองเห็น (visible transmittance) ค่าความส่องผ่านของรังสีไวโอเล็ต (UV transmittance) หรือค่าความส่องผ่านรังสีรวม (total solar transmittance) โดยในแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้การเลือกวัสดุต้องคำนึงถึงความสามารถในการยอมให้แสงส่องผ่านด้วย เช่น กระจกควรมีค่าความส่องผ่านของแสงที่ตามองเห็นในระดับที่เหมาะสม ในขณะที่มีค่าความส่องผ่านของรังสีไวโอเล็ตไม่มากเกินไป

วัสดุต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนจากคุณสมบัติทั้ง 3 ชนิดในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความยาวของคลื่นรังสีที่ตกกระทบ โดยผลรวมของสัมประสิทธิ์ของทั้ง 3 ค่ารวมกันจะได้เท่ากับ 1 เสมอ ดังจะเห็นได้จากสมการ

$$\alpha + \beta + \tau = 1$$



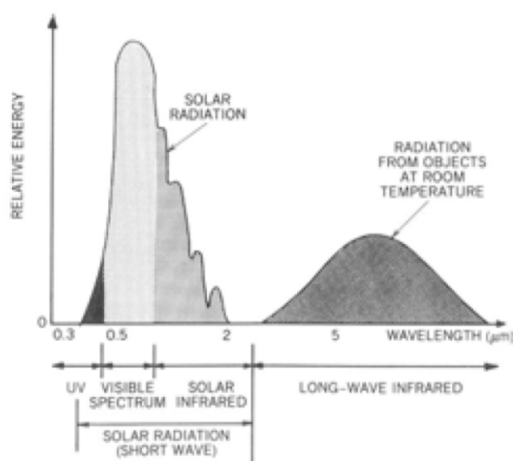
ภาพที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติของการดูดซับ สะท้อน และส่งผ่านรังสี (Fuller , 1993)

2.1.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร

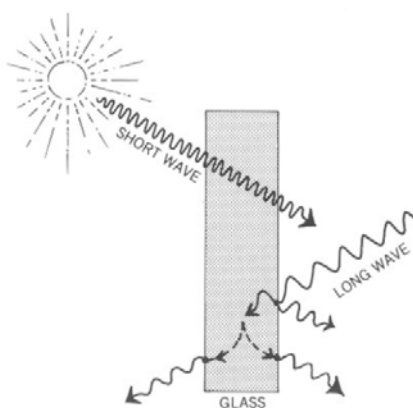
ช่องเปิดเป็นส่วนที่มีค่าการต้านทานความร้อน (R) ต่ำที่สุดในส่วนประกอบของเปลือกอาคาร (Stein and Reynold, 1999:137) ดังนั้นช่องเปิดจึงถือเป็นส่วนสำคัญที่มีอิทธิพลต่อภาพรวมการใช้พลังงานของอาคารในการปรับอากาศ โดยเฉพาะอาคารที่ตั้งอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคาร สามารถแยกได้ 3 กรณี (ASHRAE , 2004;30.3) คือ

1. การนำความร้อน และการพาความร้อน ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ (2.1.1)
2. ผลรวมของรังสีคลื่นยาว (net long wave) ซึ่งเป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2,500 นาโนเมตร ได้แก่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว (long-wave infrared) เป็นรังสีที่มีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ สามารถผ่านช่องเปิดกระจกออกไปได้ยาก

3. รังสีคลื่นสั้น (short wave) เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 2,500 นาโนเมตร ส่วนมากจะเป็นรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ หรือจากการสะท้อนจากวัตถุโดยรอบ ซึ่งจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงผ่านช่องเปิดกระจกได้ง่าย รังสีคลื่นสั้นประกอบด้วย รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) แสงที่มองเห็นได้ (visible spectrum) และรังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (short-wave infrared)



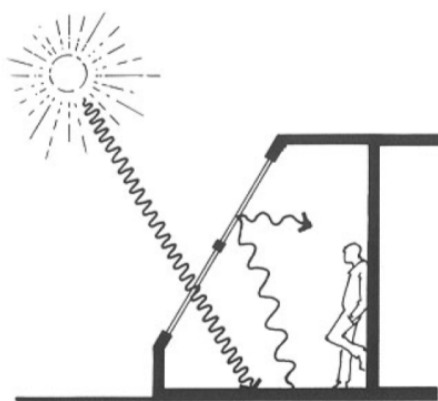
ภาพที่ 2.5 แสดงความยาวคลื่นต่างๆของรังสีอาทิตย์ (John Wiley & Sons, Inc, 1991)



ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะการไหลผ่านกระจกของคลื่นที่มีความยาวคลื่นต่างกัน

(อรรถจันทร์ เศรษฐสุนทร , 2554)

ดังนั้นเมื่อรังสีที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นรังสีที่มีคลื่นสั้น สามารถทะลุทะลวงผ่านช่องเปิดอาคารเข้ามาภายในตัวอาคาร ตกกระทบและถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวภายในอาคาร แล้วได้สะท้อนออกมาในรูปแบบของรังสีคลื่นยาวที่มีพลังงานความร้อนอยู่ในตัว และสามารถทะลุไหลผ่านช่องเปิดออกไปนอกตัวอาคารได้ยาก จึงเกิดเป็นความร้อนสะสมอยู่ในตัวอาคาร ดังที่แสดงในรูป



ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะการไหลผ่านช่องเปิดของคลื่นรังสีเข้ามาในตัวอาคาร

(อรรจน์ เศรษฐบุตตร , 2554)

2.1.3 การวัดค่าอุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature, MRT)

อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อนสามารถวัดได้จากการถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อน รวมถึงแสงอาทิตย์ที่มีผลตรงต่อสภาพแวดล้อมในขณะนั้น โดยสามารถวัดได้จากอุณหภูมิพื้นผิวของผนังด้านต่างๆในห้องกับตำแหน่งที่วัดค่า MRT โดยใช้มุมกระทำ (solid angle) ระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิว โดยจะได้ค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตาม ผลของอุณหภูมิต่อสภาวะนำสบายของมนุษย์นั้น จะต้องวัดออกมาในรูปของ operative temperature ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดจากอุณหภูมิอากาศในห้องและอุณหภูมิพื้นผิวต่างๆ โดยการวัดจะใช้ globe thermometer ที่เป็นโลหะทองแดงทรงกลม ทาสีดำด้าน ภายในใช้ thermometer วัดค่าที่ได้ออกมาเป็น operative temperature หรือ globe temperature ซึ่งมีผลต่อสภาวะนำสบายของมนุษย์มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์

2.2 ทฤษฎีการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านเปลือกอาคาร(OTTV)

2.2.1 เกณฑ์การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร(OTTV)

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (overall thermal transfer value , OTTV) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการกำหนดมาตรฐานในการพิจารณาการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารเป็นมาตรฐานในการออกแบบอาคาร โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$OTTV = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

- เมื่อ OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
- U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)
- WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือของผนังโปร่งแสง ต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา
- TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)
- U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร - องศาเซลเซียส ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$)
- ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^\circ C$)
- SHGC = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR = ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ/หรือผนังทึบ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

เมื่อพิจารณาถึงตัวแปรต่างๆของสมการจะพบว่า ในส่วนของตัวแปรของวัสดุประกอบอาคารที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อช่องเปิดอาคารคือค่า SC และค่า SHGC ซึ่งทั้งสองค่านี้ถือเป็นตัวแปรที่ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการในการควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดอาคารได้ โดยไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแนวทางการออกแบบ หรือหน้าที่ใช้สอยของตัวอาคาร

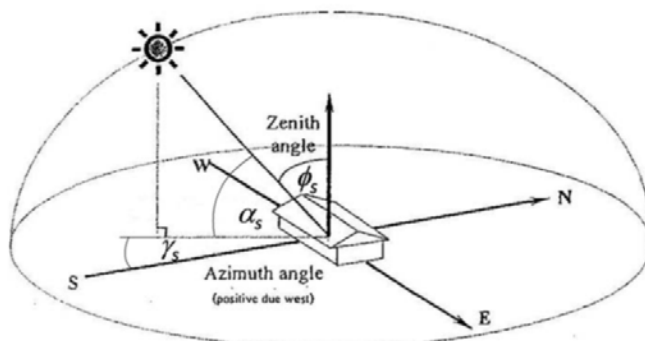
2.2.2 ทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient ,SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังผนังโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง (กระทรวงพลังงาน, 2552) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดเกิดจากผล 2 ปัจจัยหลักคือ

1. ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดด
2. รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

การคำนวณตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดด

การหาตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดดจะคำนึงถึงตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใดๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (altitude, α_s) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมูทของดวงอาทิตย์ (azimuth, γ_s) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก (กระทรวงพลังงาน, 2552)



ภาพที่ 2.8 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก
(กระทรวงพลังงาน, 2552)

ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับอุปกรณ์บังแดดของมุมต่างๆดังรูปที่ 2.7 จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามธรรมชาติ จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก และสามารถหาได้โดยการคำนวณหาเวลาสุริยะ (solar time) ซึ่งเป็นเวลาที่สอดคล้องกับตำแหน่งจริงของดวงอาทิตย์ จากสมการต่อไปนี้

$$t_s = t_l - 4(L_{gs} - L_{gl}) + E_{qt}$$

เมื่อ t_s = เวลาสุริยะ

t_l = เวลามาตรฐานท้องถิ่น

L_{gs} = เส้นแวงหลักมาตรฐานสำหรับประเทศไทยเท่ากับ 105 องศาตะวันออก

L_{gl} = เส้นแวงของตำแหน่งที่พิจารณาสำหรับประเทศไทย ให้ใช้ค่าเท่ากับ 100.5 องศาตะวันออก

E_{qt} = สมการของเวลา (equation of time) หรือผลต่างของเวลาสุริยะกับเวลาปกติ มีหน่วยเป็นนาที

โดยสมการของเวลา (equation of time, E_{qt}) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{qt} = 9.87(\sin 2B) - 7.53(\cos B) - 1.5(\sin B)$$

$$B = (360^\circ)(j_d - 81) / 364$$

เมื่อ j_d = วันจูเลียน (Julian date) คือ ลำดับที่ของวันในหนึ่งปี เช่น 1 = วันที่ 1 มกราคม หรือ 152 = วันที่ 1 มิถุนายน เป็นต้น

นอกจากนี้ การคำนวณหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของมุมยกขึ้นหรือมุมเงยของดวงอาทิตย์ (altitude, α_s) และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (azimuth, γ_s) ยังสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sin \alpha_s = (\sin L_t)(\sin \delta) + (\cos L_t)(\cos \delta)(\cos \omega)$$

$$\sin \gamma_s = (\cos \delta)(\sin \omega) / (\cos \alpha_s)$$

เมื่อ L_t = เส้นรุ้ง (latitude) ของตำแหน่งที่พิจารณา เช่น กรุงเทพมหานคร ให้ใช้ค่าเท่ากับ 13.7 องศาเหนือ

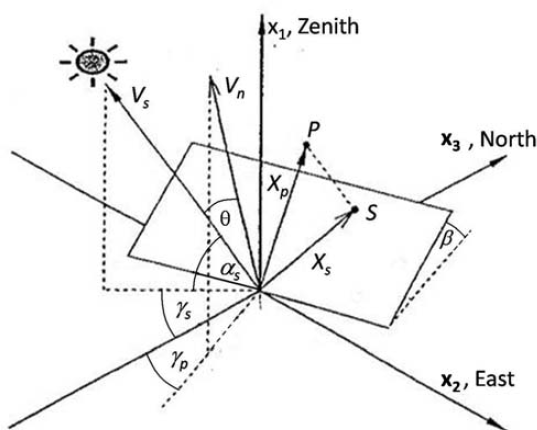
δ = มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ หรือมุมเดคลิเนชัน (declination angle) คือ มุมที่แนวลำแสงอาทิตย์ไปยังจุดกึ่งกลางของโลกกระทำกับระนาบเส้นศูนย์สูตร มุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์สำหรับวันจูเลียน (j_d) ใดๆ หน่วยเป็นเรเดียน (rad) สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin [(360^\circ)(284 + j_d) / 365]$$

ω = มุมแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ก่อนหรือหลังเวลาเที่ยงสุริยะ (solar hour angle) มีหน่วยเป็นเรเดียน (rad) โดยหาได้จากสมการ

$$\omega = \pi(t_s - 12) / 12$$

การคำนวณรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด
การคำนวณหารูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ทำ
มุมใดๆกับดวงอาทิตย์จะกำหนดระนาบและมุมต่างๆได้ดังรูป



ภาพที่ 2.9 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่างๆ ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์
(กระทรวงพลังงาน, 2552)

จากรูปจะเห็นได้ว่า แกนพิกัด X_1 , X_2 , X_3 ถูกกำหนดด้วยเส้น ซีนิธ (Zenith) ตะวันออกและทิศเหนือ โดยสำหรับเวกเตอร์แสดงทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวกเตอร์, V_s^x) และเวกเตอร์ของระนาบเอียง (V_n^x) ซึ่งตั้งฉากกับระนาบเอียง สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_s^x = \begin{bmatrix} \sin \alpha_s \\ -\cos \alpha_s \cdot \sin \gamma_s \\ -\cos \alpha_s \cdot \cos \gamma_s \end{bmatrix}$$

$$V_n^x = \begin{bmatrix} \cos \beta \\ -\sin \beta \cdot \sin \gamma_p \\ -\sin \beta \cdot \cos \gamma_p \end{bmatrix}$$

และเมื่อมุม θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์ทั้ง 2 ให้คำนวณหาค่า $\cos\theta$ จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\cos\theta &= (V_s^x, V_n^x) \\ &= (\sin\alpha_s)(\cos\beta) + (\sin\alpha_s)(\sin\gamma_s)(\sin\beta)(\sin\gamma_p) + (\cos\alpha_s)(\cos\gamma_s)(\sin\beta)(\sin\gamma_p)\end{aligned}$$

เมื่อ β = มุมเอียง (inclination angle) ของระนาบที่พิจารณา

γ_p = มุมอะซิมูทของระนาบที่พิจารณา (azimuth of surface)

$\cos\theta$ = โคไซน์ของมุมระหว่างระนาบที่พิจารณากับทิศทางของดวงอาทิตย์ (โซลาร์เวกเตอร์)

การคำนวณหาปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบช่องเปิดของระนาบใดๆที่ไม่มีการบังแดดของอุปกรณ์บังแดด สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_{et\theta} = E_{es} \cos\theta + E_{ed} [(1 + \cos\beta) / 2]$$

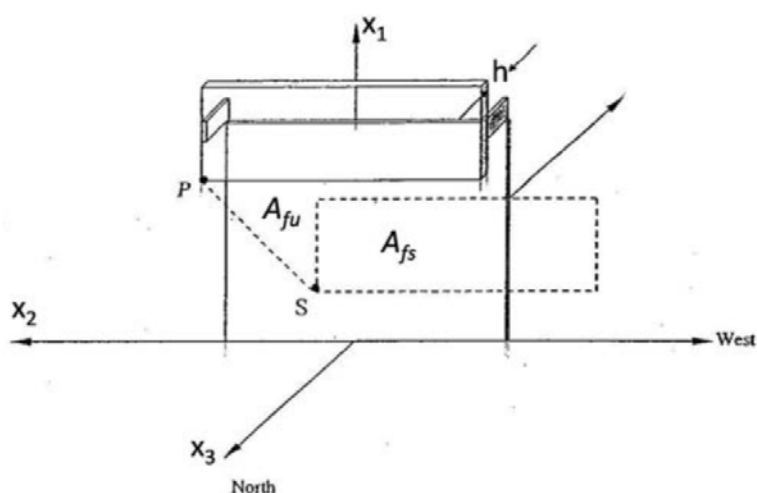
เมื่อ E_{et} = รังสีตรงของดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²)

E_{ed} = รังสีกระจายของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²)

และเมื่ออุปกรณ์บังแดด ได้บังรังสีดวงอาทิตย์ที่จะตกลงสู่ระนาบใดๆของช่องเปิด จะสามารถคำนวณหาจุดที่เกิดเงาที่อยู่เหนือระนาบนั้นๆตามตัวแปลใน รูปที่ 2.9 โดยกำหนดให้ X_p เป็นเวกเตอร์แสดงพิกัดของจุด P ซึ่งอยู่เหนือระนาบที่พิจารณาและให้ระยะทางจากระนาบเอียงถึงจุด P เท่ากับ h และกำหนดให้ S เป็นเงาของจุด P ที่ตกลงบนระนาบที่พิจารณาเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ เวกเตอร์ X_s แสดงพิกัดของจุด S เวกเตอร์ X_s เวกเตอร์ X_p และเวกเตอร์ V_s^x มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$X_s = X_p - [(h V_s^x) / \cos\theta]$$

อย่างไรก็ตามเงาจะเกิดบนระนาบนั้นๆ ก็ต่อเมื่อจุดที่เกิดเงาอยู่บนระนาบ ในขณะที่ดวงอาทิตย์หันหน้าเข้าสู่ระนาบนั้นๆ ด้วย และเมื่อพิจารณาอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่างดังรูปที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 การบังแดดโดยอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดตั้งอยู่ด้านหน้าของหน้าต่าง
(กระทรวงพลังงาน, 2552)

จากรูปด้านบนต่างหันไปทางทิศเหนือ จุด P คือจุดที่อยู่ที่ยุ่มของอุปกรณ์บังแดด ถ้าพิกัดของจุด P แทนด้วย X_p พิกัดของจุด S หรือจุดเงาที่เกิดขึ้นบนระนาบของหน้าต่างอันเนื่องมาจากจุด P แทนด้วย X_s และ h คือระยะห่างของแผงบังแดดกับช่องเปิด จะทำให้เกิดพื้นที่ 2 ลักษณะคือ

1. พื้นที่ A_{fs} คือพื้นที่ที่เกิดเงาบนช่องเปิด พื้นที่นี้จะไม่ได้รับรังสีตรง (beam, E_{es}) จากดวงอาทิตย์ แต่จะได้รับอิทธิพลบางส่วนจากรังสีกระจาย (diffuse, E_{ed})
2. พื้นที่ A_{fu} คือพื้นที่ที่ไม่เกิดเงาบนช่องเปิด พื้นที่นี้จะได้รับอิทธิพลของทั้งรังสีตรง (beam, E_{es}) และบางส่วนจากรังสีกระจาย (diffuse, E_{ed})

สำหรับช่องเปิดที่ทำมุมเอียง β และมีพื้นที่ที่ไม่อยู่ใต้เงา (A_{fu}) จากพื้นที่ทั้งหมดของช่องเปิด (A_f) สามารถคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนช่องเปิด (E_{ew}) ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$E_{ew} = (A_{fu} / A_f)(E_{es})(\cos\theta) + (E_{ed})[(1+\cos\beta) / 2]$$

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ณ เวลานั้นๆ ที่ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$SC = E_{ew} / E_{et\theta}$$

- เมื่อ E_{ew} = รังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนช่องเปิดที่พิจารณา มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)
- $E_{et\theta}$ = รังสีรวมของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนช่องเปิดที่พิจารณา เสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์ของอุปกรณ์บังแดด (SC) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ผ่านอุปกรณ์บังแดดมาตกกระทบบนหน้าต่างที่พิจารณาตลอดช่วงเวลาการใช้งานอาคารในแต่ละวันของวันอ้างอิง 4 วัน (21 มีนาคม, 22 มิถุนายน, 23 กันยายน และ 22 ธันวาคม) ต่อผลรวมของปริมาณรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบบนช่องเปิดนั้นๆ เสมือนหนึ่งไม่มีอุปกรณ์บังแดดในระยะเวลาเดียวกัน โดยค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีสามารถหาได้จากสมการ

$$(SC)_y = \left[\frac{\left(\sum_{h=i}^n E_{ew} \right)_{21\text{March}} + \left(\sum_{h=i}^n E_{ew} \right)_{22\text{June}} + \left(\sum_{h=i}^n E_{ew} \right)_{23\text{September}} + \left(\sum_{h=i}^n E_{ew} \right)_{22\text{December}}}{\left(\sum_{h=i}^n E_{et\theta} \right)_{21\text{March}} + \left(\sum_{h=i}^n E_{et\theta} \right)_{22\text{June}} + \left(\sum_{h=i}^n E_{et\theta} \right)_{23\text{September}} + \left(\sum_{h=i}^n E_{et\theta} \right)_{22\text{December}}} \right]$$

- เมื่อ $(SC)_y$ = ค่าเฉลี่ยตลอดปีของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร
- i และ n = ชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก

รังสีตรง (E_{es}) และรังสีกระจาย (E_{ed}) ของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวแนวนอน สำหรับวันอ้างอิง 4 วัน ให้ใช้ค่าตามที่กำหนดในตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ารังสีตรง (beam, E_{es}) และรังสีกระจาย (diffuse, E_{ed}) ของดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่มีรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับวันอ้างอิงทั้ง 4 วัน

เวลา	พลังงานของรังสีอาทิตย์ (W/m^2)							
	21 มีนาคม		22 มิถุนายน		23 กันยายน		22 ธันวาคม	
	Beam	Diffuse	Beam	Diffuse	Beam	Diffuse	Beam	Diffuse
6.00	0.0	0.0	7.5	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0
7.00	68.5	44.9	105.0	77.8	94.4	77.1	64.4	19.9
8.00	185.7	121.6	196.2	145.4	202.3	165.1	270.0	83.5
9.00	290.1	190.0	275.6	204.3	296.2	241.8	454.4	140.5
10.00	374.8	245.5	338.6	250.9	369.9	302.0	603.3	186.5
11.00	433.8	284.1	381.2	282.6	418.3	341.4	704.9	217.9
12.00	463.2	303.4	401.1	297.3	437.9	357.5	751.3	232.2
13.00	461.0	301.9	397.0	294.2	427.6	349.0	738.9	228.4
14.00	427.3	279.8	369.1	273.6	388.0	316.7	668.7	206.7
15.00	364.5	238.7	319.1	236.5	321.7	262.6	546.1	168.8
16.00	276.7	181.2	250.0	185.3	233.5	190.6	380.8	117.7
17.00	170.0	111.3	165.9	123.0	129.2	105.5	185.6	57.4
18.00	51.7	33.9	72.0	53.3	16.1	13.1	0.0	0.0

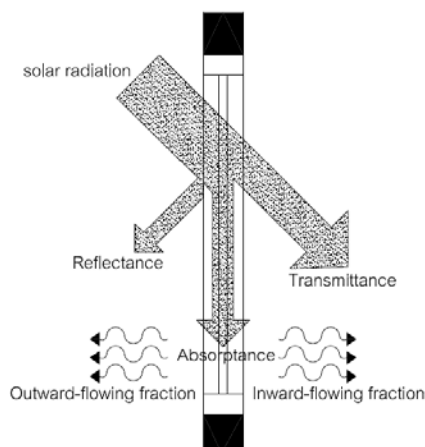
2.2.2 ทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (SHGC) คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วนที่โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามาภายในอาคาร (กระทรวงพลังงาน, 2552)

โดยส่วนมากจะสามารถหาค่า SHGC ได้จากค่าการทดสอบของผู้ผลิตวัสดุเพื่อเปรียบเทียบหาอัตราส่วนของผลรวมของค่าการส่งผ่านรังสี (solar transmittance) และค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (solar absorptance) ของเนื้อวัสดุ แล้วเกิดการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ค่า SHGC คือค่าที่แสดงผลรวมของการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวอาคาร ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังจะเห็นในสมการ

$$SHGC = T + NA$$

เมื่อ	SHGC = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์
	T = ค่าการส่งผ่านรังสีอาทิตย์ (solar transmittance)
	A = ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (solar absorptance)
	N = ค่าการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (inward-flowing fraction)



ภาพที่ 2.11 แสดงกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจก

แต่ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (SHGC) ของกระจกได้ กระทรวงพลังงานได้กำหนดค่า SHGC ของกระจกชนิดต่างๆไว้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (visible transmittance, τ_{vis}) ของกระจกชนิดต่างๆ

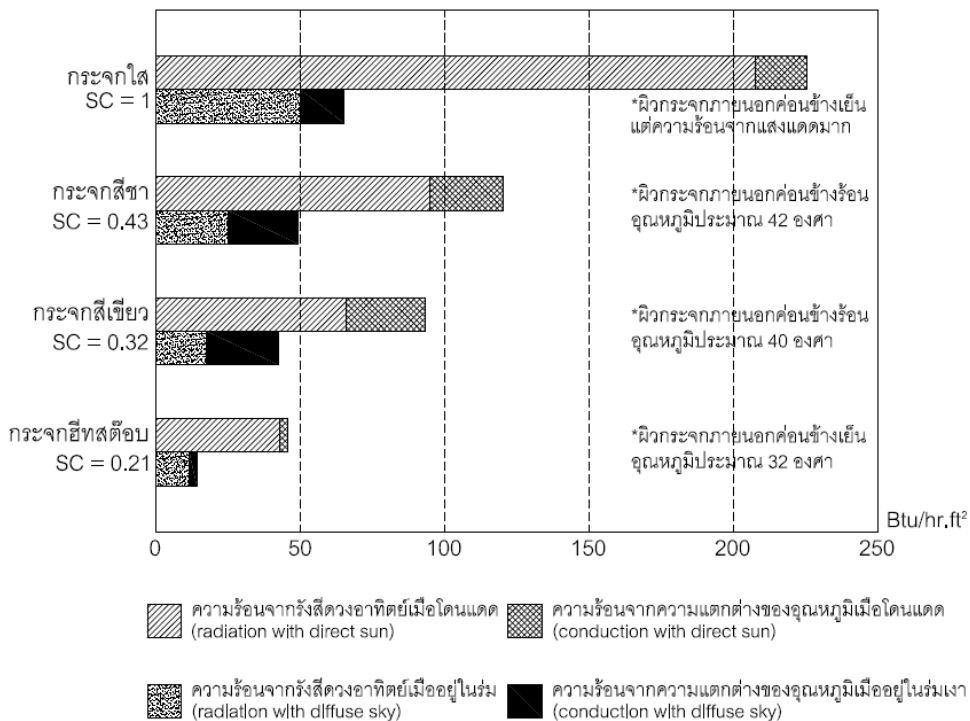
ความหนา กระจก (mm.)	ชนิดกระจก	ค่าการส่ง ผ่านรังสีที่ตา มองเห็น (τ_{vis})	สัมประสิทธิ์ การถ่ายเท ความร้อน (SHGC)
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว			
6	กระจกใส	0.88	0.73
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.54
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.54
6	กระจกสีเทา	0.46	0.52
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.55
กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว			
6	กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส ๒๐%	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม ๒๐%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม ๓๐%	0.30	0.35

กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว			
6	กระจกใส - กระจกใส	0.78	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์ - กระจกใส	0.47	0.41
6	กระจกสีเขียว - กระจกใส	0.68	0.41
6	กระจกสีเทา - กระจกใส	0.41	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว - กระจกใส	0.67	0.43
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง - กระจกใส	0.59	0.33
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม ๓๐% และกระจกใส	0.27	0.25
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเท่ากับ ๐.๒)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.73	0.53
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีเท่ากับ ๐.๑)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง - กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.57	0.27

2.3 ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 แนวทางการออกแบบช่องเปิดของอาคารปรับอากาศ

การออกแบบช่องเปิดอาคารนั้น ควรคำนึงถึงทิศทางที่ช่องเปิดกระทำกับดวงอาทิตย์เป็นพิเศษ เนื่องจากค่ารังสีอาทิตย์มีค่าความร้อนสูง และเมื่อกระจกโดนรังสีดวงอาทิตย์จะทำให้ตัวกระจกมีอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะกระจกที่มีสีเข้มจนทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารสูงดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 2.1



*การเปรียบเทียบที่อุณหภูมิภายนอกที่ 35 องศาเซลเซียส ความเร็วลมค่อนข้างต่ำ

แผนภูมิที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกชนิดต่างๆ

(สุนทร บุญญาธิการ, 2547:52)

การเลือกกระจกเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ควรคำนึงถึงประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน และมีความสามารถในการกรองคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีที่ก่อให้เกิดความร้อนในอาคาร แต่ในขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องมีประสิทธิภาพในการยอมให้รังสีที่เป็นคลื่นช่วงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (visible spectrum) หรือแสงสว่างเข้ามาในปริมาณเพียงพอต่อความต้องการในการใช้สอย โดยกระจกที่ถือว่ามีประสิทธิภาพนั้น อุณหภูมิพื้นผิวกระจกเมื่อโดนรังสีดวงอาทิตย์จะต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผิวมนุษย์ จึงจะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากผิวมนุษย์ไปสู่พื้นผิวกระจกที่เย็นกว่า ซึ่งจะถือเป็นการช่วยการลดอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature, MRT) ของพื้นผิวโดยรอบ

การเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมแบบร้อนชื้นในประเทศไทย ได้มีการตั้งเกณฑ์ในการเลือกใช้ในส่วนของคุณสมบัติด้านการอนุรักษ์พลังงานและความร้อนไว้ดังนี้ (จิตติมา กลั่นหอม, 2546)

- มีความสามารถในการกันความร้อนได้ดี (R-value สูง) และค่าการนำความร้อนต่ำ (U-value ต่ำ)
- มีความสามารถในการทนความร้อนสูง และสะท้อนความร้อนได้ดี (reflectance)
- มีการรั่วซึมของอากาศน้อยและป้องกันการรั่วซึมของอากาศได้ดี
- ป้องกันกันความชื้นและการรั่วซึมจากภายนอกได้ดี
- มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์ (SHGC) ต่ำ
- มีค่าการส่องผ่านของแสงสูง (VT)
- มีค่า LSG (light to solar heat gain) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงอัตราส่วนของ VT ต่อ SHGC สูง
- มีค่าการส่องผ่านของรังสี UV ซึ่งเป็นรังสีความถี่ที่ทำให้เกิดความร้อนในตัวอาคารต่ำ

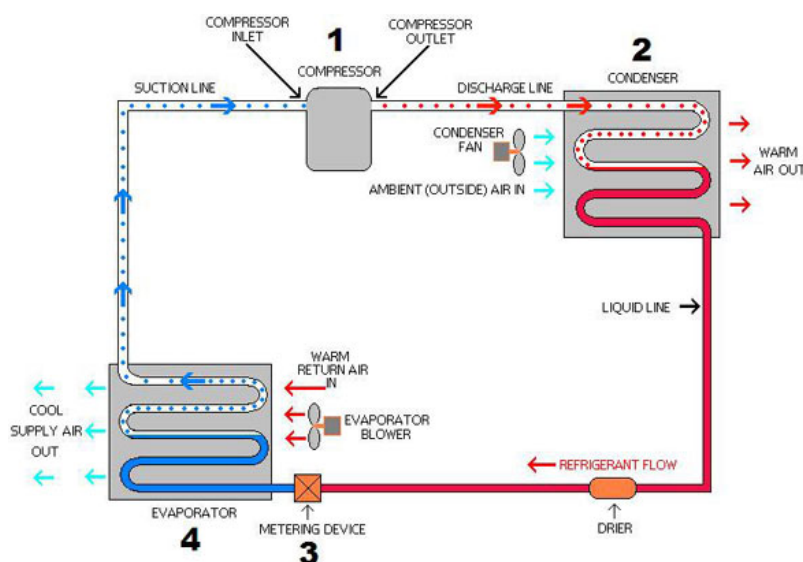
2.3.2 การทำงานและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

การทำงานและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศมีจุดประสงค์หลักคือ ทำความเย็นและลดความชื้นในอากาศ รวมถึงเพิ่มการไหลเวียนและความสะอาดของอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อปรับสภาพพื้นที่ให้เข้าสู่สภาวะน่าสบายของมนุษย์

กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

กระบวนการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 ลักษณะ คือ ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (absorption refrigeration unit) และระบบการทำความเย็นแบบ

กดดันไอหรืออัดไอ (vapor compression refrigeration unit) ซึ่งได้รับความนิยมในปัจจุบันมากกว่าระบบแรก โดยอาศัยหลักการในการใช้เครื่องคอมเพรสเซอร์อัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูง แล้วจึงทำการระบายความร้อนเพื่อให้ของเหลวเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว และถูกลดความดันและอุณหภูมิทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะ จากนั้นจะได้อากาศที่มีความเย็นแล้วจึงจ่ายลมผ่านเครื่องทำระเหย (evaporator) ก็จะได้ลมที่มีอุณหภูมิที่ต่ำในการปรับสภาพพื้นที่ปรับอากาศ



ภาพที่ 2.12 แสดงกระบวนการทำงานของระบบปรับอากาศแบบกดดันไอ

(<http://www.air-conditioning-and-refrigeration-guide.com>)

ระบบทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่

1. คอมเพรสเซอร์ (compressor) หรือเครื่องอัดไอ ทำหน้าที่ดูดสารหล่อเย็นในสถานะที่เป็นก๊าซ ในขณะที่สารหล่อเย็นดังกล่าวมีการระเหยจาก อีวาพอเรเตอร์ (evaporator) จากนั้นจะเกิดกระบวนการอัดเพื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิ ทำให้สารหล่อเย็นกลายเป็นสารที่มีความ

ร้อนสูงเพื่อกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยไอของสารจะถูกส่งผ่านไปยังคอนเดนเซอร์ (condenser) เพื่อทำกระบวนการถ่ายเทความร้อนจนควบแน่นเป็นสถานะของเหลว

2. คอนเดนเซอร์ (condenser) หรือคอยล์ร้อน ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับสารหล่อเย็นในสภาพที่เป็นก๊าซ ให้เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนออกนอกระบบ แต่สารหล่อเย็นยังมีอุณหภูมิและความชื้นสูงอยู่ จากนั้นจึงจะส่งสารหล่อเย็นไปยังอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น และอุปกรณ์ลดความดันต่อไป

3. อุปกรณ์ป้อนสารทำความเย็น (metering device) ทำหน้าที่ควบคุมการปริมาตร การไหลของสารหล่อเย็นให้มีปริมาณที่เหมาะสม และทำการลดความดันเพื่อให้สารหล่อเย็นเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก๊าซ และมีอุณหภูมิต่ำ ก่อนจะถูกส่งต่อไปยัง อีวาพอเรเตอร์ (evaporator)

4. อีวาพอเรเตอร์ (evaporator) หรือคอยล์เย็น ทำหน้าที่ดูดอากาศเย็นที่เกิดในพื้นที่ปรับอากาศ ในขณะที่สารหล่อเย็นในระบบจะเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก๊าซ และดูดความร้อนผ่านผิวท่อทางเดินของสารหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิลง จากนั้นก๊าซจะถูกส่งไปยังคอมเพรสเซอร์ (compressor) เพื่อทำการอัดแรงดันและระบายความร้อนต่อไป

การคำนวณประสิทธิภาพและค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

1. การคำนวณค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (energy efficiency ratio : EER) ซึ่งคือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ จากอัตราส่วนภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำได้จริง (output) ต่อกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศนำไปใช้ทำความเย็น (input) ดังจะกล่าวได้ว่า เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER สูง จะถือว่าเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพที่ดีนั่นเอง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$EER = \text{ภาระการทำความเย็น (Btu/hr)} / \text{กำลังไฟฟ้า (W)}$$

$$\text{หรือ } EER = 3.412 \text{ (COP)}$$

2. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (coefficient of performance, COP) เป็นค่าที่เปรียบเทียบระหว่างอัตราการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศกับพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำความเย็น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{COP} = \text{อัตราการทำความเย็น (Btu/hr)} / \text{พลังงานไฟฟ้า (Btu/hr)}$$

3. ค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (cooling load, Q) ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ที่เกิดจากผลคูณของอัตราการไหลของอากาศกับผลต่างของค่าเอนทัลปี (enthalpy) ที่ช่องจ่ายลมเย็นและช่องดูดกลับ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = 4.5 (\text{CFM})(h_2 - h_1)$$

เมื่อ CFM = อัตราการไหลของอากาศ (ft^3/min)

h_1 = เอนทัลปีของอุณหภูมิและความชื้นของช่องจ่ายลม

h_2 = เอนทัลปีของอุณหภูมิและความชื้นของช่องดูดกลับ

4. อัตราการไหลของอากาศ (cubic feet per minute, CFM) คืออัตราการปล่อยอากาศออกมาจากหัวจ่ายลม มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (ft^3/min) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{CFM} = \text{ความเร็วลมที่ช่องหัวจ่าย} \times \text{ขนาดพื้นที่หน้าตัดช่องลม (ft}^2\text{)}$$

5. ค่ากำลังไฟ (power) คือ อัตราการการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = I V$$

เมื่อ $P =$ กำลังไฟฟ้า (W)

$I =$ กระแสไฟฟ้า (A)

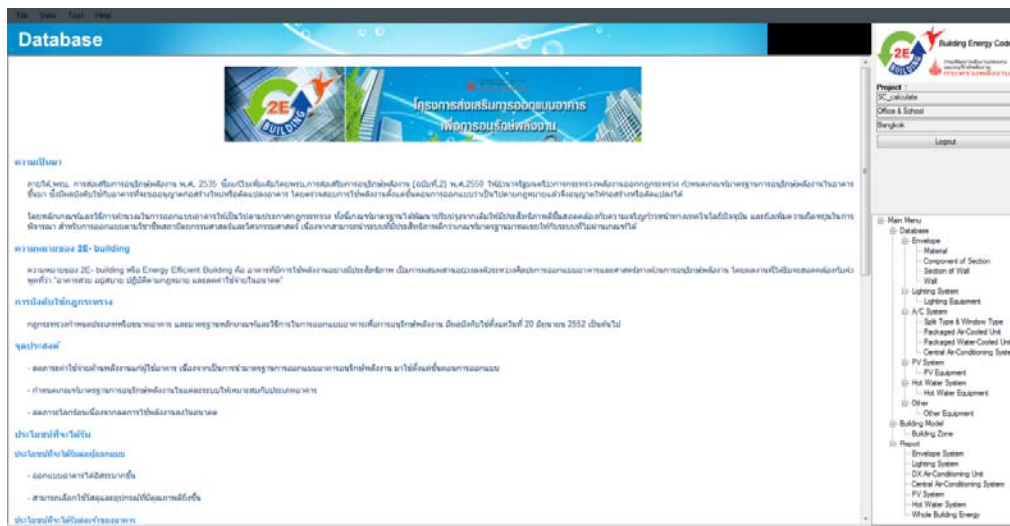
$V =$ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

6. ค่าพลังงานไฟฟ้า เกิดจากผลคูณระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า กับระยะเวลาในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)} = \text{กำลังไฟฟ้า (kW)} \times \text{เวลา (hr)}$$

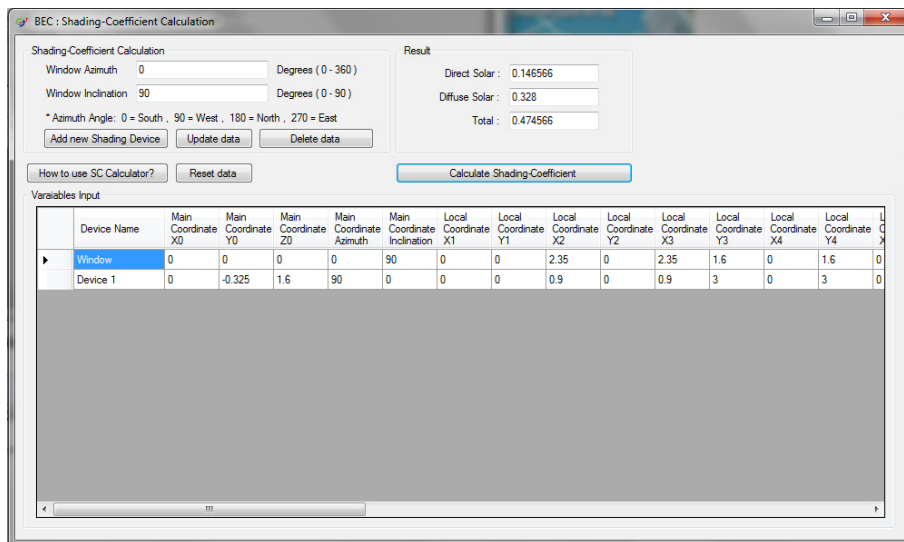
2.3.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ด้วยโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code software, BEC)

จากสมการการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดจะเห็นได้ว่าเป็นสมการคำนวณที่ซับซ้อน หลายขั้นตอน ยากต่อการคำนวณด้วยมือเปล่า ดังนั้นทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการจัดทำโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code software, BEC) เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคารภายในประเทศไทย ว่าเป็นไปตามเกณฑ์และมาตรฐานในการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานหรือไม่ โดยเริ่มมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 20 มิถุนายน 2552



ภาพที่ 2.13 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรม BEC

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (SC) ของโปรแกรม BEC จะเป็นการคำนวณภายใต้ข้อจำกัดของข้อมูลสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ทั้งการคำนวณค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (beam) และแสงสะท้อนจากสภาพแวดล้อม (diffuse) จึงทำให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยโปรแกรมจะให้กำหนดค่าตำแหน่งและขนาดของช่องเปิดเป็นตัวเลขต่างๆ เช่น ค่า Window Azimuth , Window Inclination และกำหนดตัวเลขของขนาดและตำแหน่งของแผงบังแดด เช่นการใส่ค่า Main coordinate ที่จุด X0,Y0,Z0 หรือ Local coordinate ที่จุด X1,Y1,Z1,X2,Y2,Z2... ซึ่งจุดเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดลักษณะของอุปกรณ์บังแดดเพื่อที่โปรแกรมจะได้ทำการคำนวณต่อไป โดยค่าที่โปรแกรมคำนวณได้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด เฉลี่ยตลอดทั้งปี (SC)_y ที่สามารถนำไปใช้เป็นค่ากลางในการทดลองได้



ภาพที่ 2.14 แสดงตัวอย่างหน้าต่างการคำนวณค่า SC และการใส่ค่าของโปรแกรม BEC

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยในบทนี้จะเป็นการศึกษาถึงแนวโน้มการใช้พลังงานของวัสดุประกอบช่องเปิดที่แตกต่างกัน โดยจะมุ่งเน้นไปที่วัสดุประกอบช่องเปิด 2 ประเภทหลักๆคือ กระจกเพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) และอุปกรณ์บังแดดเพื่อศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) ซึ่งค่า SC และ SHGC เป็นองค์ประกอบสำคัญในการหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (OTTV) ดังจะเห็นได้จากสมการ

$$OTTV = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

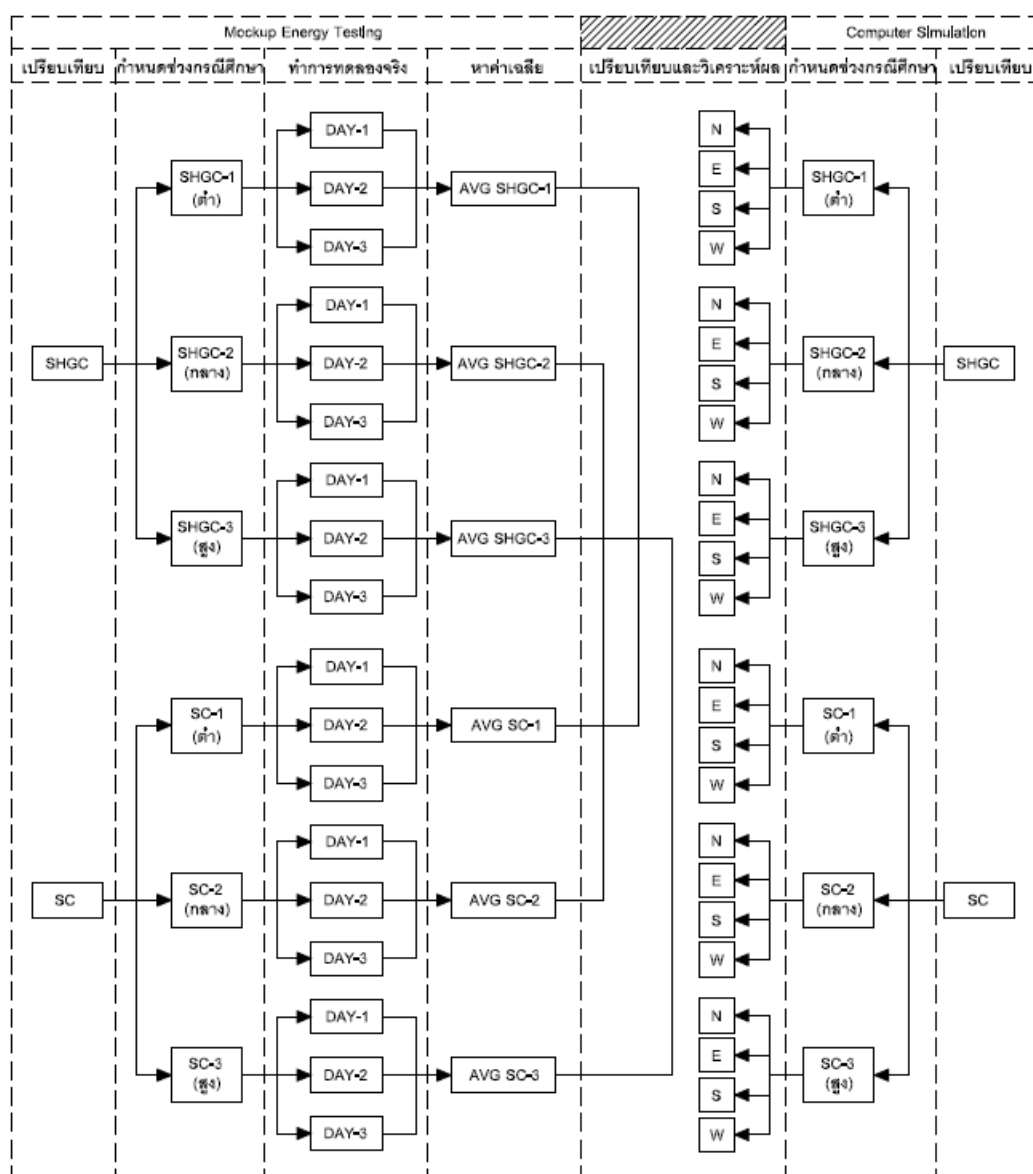
ดังนั้นการทดลองนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไร เมื่อตัวแปร SC และ SHGC จากสมการมีค่าเท่ากัน โดยอาศัยการวัดค่าอัตราการใช้พลังงานจากห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing) ในสภาพภูมิอากาศจริง แล้วจึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ (computer simulation) ด้านการวางทิศทางตัวอาคารเพื่อหาภาพรวมของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยวิธีในการดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดกระบวนการและตัวแปรในการวิจัย

3.1.1 การกำหนดกระบวนการในการวิจัย

การกำหนดโปรแกรมการวิจัยนี้ จะมุ่งเน้นที่จะหาความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของค่า SHGC และ SC เป็นตัวตั้ง โดยจะมีการกำหนดค่าทั้ง 2 แบบออกเป็น 3 ค่า

กรณีศึกษา คือ ค่าสัมประสิทธิ์สูง (SHGC₁, SC₁) กลาง (SHGC₂, SC₂) และต่ำ (SHGC₃, SC₃) และใช้
 ช่วงเวลาในการทดลองแต่ละกรณีเป็นเวลา 3 วันเพื่อทำการหาค่าเฉลี่ย แล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์
 เปรียบเทียบผลการทดลองในแต่ละช่วงกรณีศึกษา จากนั้นจึงใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
 เพื่อหาผลกระทบจากทิศทางการวางตัวอาคาร ดังจะสามารถอธิบายในแผนภูมิที่ 3.1



แผนภูมิที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัยและตัวแปรต่างๆ

จากแผนภูมิจะเห็นว่า การทดลองแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองด้วยห้องทดลองพลังงาน (mockup energy testing) และการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) โดยการทดลองจริงด้วยห้องทดลองพลังงานจะสร้างขึ้นมา 2 ห้องทดลอง เพื่อที่จะสามารถทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของค่า SC และ SHGC ที่อยู่ในกรณีศึกษาเดียวกันได้อย่างถูกต้องในวันทดลองเดียวกัน โดยวันที่ทำการทดลองจะอยู่ในช่วงวันที่ 21 มีนาคม 2555 ถึงวันที่ 3 เมษายน 2555 ซึ่งจะใกล้เคียงกับ 1 ในวันอ้างอิงทั้ง 4 คือวัน วสันตวิษุวัต (vernal equinox) ที่ตรงกับวันที่ 21 มีนาคมของทุกปี โดยการทดลองจะทำการทดลองช่วงกรณีละ 3 วันเพื่อหาค่าเฉลี่ย และพักห้องทดลองพลังงานระหว่าง 2-3 วันเพื่อปรับสภาพห้องทดลอง และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ทดลอง

การวัดค่าจากการทดลองด้วยห้องทดลองพลังงานจะทำการวัดในช่วงเวลาทำการที่มีการปรับอากาศจริงในอาคารทั่วไป คือช่วง 8.00-18.00 น. โดยจะทำการวัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติทุกๆ 15 นาที และอ่านค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทุกๆ 1 ชั่วโมง

3.1.2 การเลือกค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) ของกระจกในการทดลอง

การเลือกค่า SHGC เพื่อนำไปติดตั้งห้องทดลองทั้ง 3 กรณีศึกษา จะเลือกจากกระจกชนิด ชั้นเดียว หนา 6 mm. ของบริษัท กระจกไทยอาสาฮี จำกัด (มหาชน) โดยทำการเริ่มจากชนิดของกระจกที่พบทั่วไปในการออกแบบ คือ กระจกโฟลต สีบลูกรีน 6 mm. แล้วจึงเลือกกระจกที่มีช่วงระยะห่างของค่า SHGC ที่แตกต่างกันอีก 2 ชนิด ที่สามารถหาได้ในท้องตลาด โดยมีคุณสมบัติดังนี้

1. กระจกโฟลต สีบลูกรีน หนา 6 mm. ค่า SHGC = 0.54 มีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

Visible Light		Solar Energy			RHG		U-value(w/m ² ,btu/ft ² .hr)		SC	SHGC	LSG
reflectance	Trans	ref	tran	abs	Watt/m ²	Btu/ft ² .hr	Winter-N	Summer-D			
7	72	7	42	51	460	146	6.18/1.09	6.23/1.10	0.65	0.54	1.33

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติกระจกโฟลต สีบลูกรีน 6 mm. (ที่มา : <http://www.agc-flatglass.co.th>)

2. กระจก solar tag สีฟ้าโพลิน หนา 6 mm. ค่า SHGC = 0.39 (รหัสสินค้า TBL 135) มี

คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

Visible Light		Solar Energy			RHG		U-value(w/m ² ,btu/ft ² .hr)		SC	SHGC	LSG
reflectance	Trans	ref	tran	abs	Watt/m ²	Btu/ft ² .hr	Winter-N	Summer-D			
19.8	35	18	25	57	324	103	5.62/0.99	5.50/0.97	0.45	0.39	0.90

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติกระจก solar tag สีฟ้าโพลิน หนา 6 mm.

(ที่มา : <http://www.agc-flatglass.co.th>)

3. กระจก solar tag สีเหลืองอุษา หนา 6 mm. ค่า SHGC = 0.24 (รหัสสินค้า CS 214) มี

คุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

Visible Light		Solar Energy			RHG		U-value(w/m ² ,btu/ft ² .hr)		SC	SHGC	LSG
reflectance	Trans	ref	tran	abs	Watt/m ²	Btu/ft ² .hr	Winter-N	Summer-D			
19.8	15.1	11.9	8.3	79.8	234	74	5.27/93	5.48/97	0.30	0.24	0.50

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติกระจก solar tag สีเหลืองอุษา หนา 6 mm.

(ที่มา : <http://www.agc-flatglass.co.th>)

การเลือกกระจกชนิดชั้นเดียว หนา 6 mm. ที่มีค่า SHGC สูง เช่น กระจก solar tag สีฟ้าโพลิน และสีเหลืองอุษา เป็นกระจกชนิดที่ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นกระจกสีเข้ม ราคาสูง ค่าการนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารน้อย หากต้องการกระจกกันความร้อนที่มีค่า SHGC สูง ผู้ออกแบบส่วนใหญ่จะนิยมเลือกใช้กระจกชนิดอื่น เช่น กระจก 2 ชั้น ที่มีความสามารถในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาได้สูงกว่า โดยสมบัติกระจกทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าค่า transmittance ของกระจกโพลิต สีบลูกรีน มีค่ามากที่สุด ซึ่งจะทำให้กระจกมีค่าการส่องผ่านรังสีความร้อนจากทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจายสูงกว่ากระจกชนิดอื่น แต่ในทางกลับกัน กระจก solar tag สีเหลืองอุษาที่มีสีของกระจกเข้ม ก็มีค่า absorption สูงกว่ากระจกชนิดอื่น มีผลให้การกระจกจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้มาก อุณหภูมิผิวกระจกก็จะสูงกว่ากระจกชนิดอื่น

3.1.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) ในการทดลอง

เนื่องจากห้องทดลองมีการปรับอากาศ ช่องเปิดจึงจำเป็นต้องติดตั้งกระจก การคำนวณหาค่า SC ที่ใช้ในการทดลองจะต้องนำไปคูณกับค่า SHGC ของกระจกโพลติส หนา 6 mm. เพื่อให้ค่าเท่ากับค่า SHGC ของห้องทดลองที่ติดตั้งกระจกกันความร้อนในแต่ละกรณีศึกษา หาได้จากสมการ

$$SC_1 \times SHGC_0 = SHGC_1 \text{ ---- กรณีศึกษาที่ 1}$$

$$SC_2 \times SHGC_0 = SHGC_2 \text{ ---- กรณีศึกษาที่ 2}$$

$$\text{และ } SC_3 \times SHGC_0 = SHGC_3 \text{ ---- กรณีศึกษาที่ 3}$$

เมื่อ $SHGC_1 =$ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ของกระจกที่ติดตั้งที่ห้องทดลอง SHGC ในกรณีศึกษาที่ 1 (=0.54)

$SHGC_2 =$ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ของกระจกที่ติดตั้งที่ห้องทดลอง SHGC ในกรณีศึกษาที่ 2 (=0.39)

$SHGC_3 =$ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ของกระจกที่ติดตั้งที่ห้องทดลอง SHGC ในกรณีศึกษาที่ 3 (=0.24)

$SHGC_0 =$ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ของกระจกโพลติส 6 mm. (=0.82)

$SC_1 =$ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ในกรณีศึกษาที่ 1

$SC_2 =$ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ในกรณีศึกษาที่ 2

$SC_3 =$ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ในกรณีศึกษาที่ 3

Visible Light		Solar Energy			RHG		U-value(w/m ² ,btu/ft ² .hr)		SC	SHGC	LSG
reflectance	Trans	ref	tran	abs	Watt/m ²	Btu/ft ² .hr	Winter-N	Summer-D			
8	88	7	80	13	650	206	6.40/1.13	5.83/1.03	0.96	0.82	1.07

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติกระจกโฟลตใสหนา 6 mm. (ที่มา : <http://www.agc-flatglass.co.th>)

เมื่อทราบค่า SC ที่ต้องการมาแล้ว การคำนวณหาค่า SC ของอุปกรณ์บังแดดนั้นจะใช้โปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building Energy Code software, BEC) โดยในแต่ละกรณีศึกษาสามารถหาได้ดังนี้

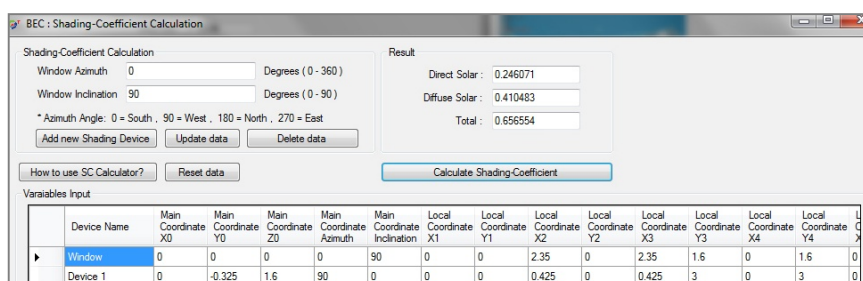
1. การคำนวณหาค่า SC กรณีศึกษาที่ 1 (SC₁) สามารถหาได้จากสมการ

$$SC_1 \times SHGC_0 = SHGC_1$$

$$SC_1 = 0.54 / 0.82$$

$$SC_1 = 0.6585$$

ใช้โปรแกรม BEC ในการคำนวณหาลักษณะของอุปกรณ์บังแดดได้ดังรูป



ภาพที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์บังแดดจากการคำนวณค่า SC กรณีศึกษาที่ 1 (SC₁)

จากรูปจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์บังแดดที่ได้จะมีค่า $SC_1 = 0.656554$ ซึ่งแบ่งออกเป็น การได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ 0.246071 และได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจาย 0.410483 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า SC_1 ที่ต้องการ โดยรูปทรงอุปกรณ์บังแดดจะเป็นลักษณะแผงบังแดดติดขอบกระจกบนยื่นออกมาจากผนัง 0.425 m. รั้งยาว 3 m. ตลอดหน้ากว้างอาคาร

2. การคำนวณหาค่า SC กรณีศึกษาที่ 2 (SC_2) สามารถหาได้จากสมการ

$$SC_2 \times SHGC_0 = SHGC_2$$

$$SC_2 = 0.39 / 0.82$$

$$SC_2 = 0.4756$$

ใช้โปรแกรม BEC ในการคำนวณหาลักษณะของอุปกรณ์บังแดดได้ดังรูป

BEC : Shading-Coefficient Calculation

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth 0 Degrees (0 - 360)

Window Inclination 90 Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South , 90 = West , 180 = North , 270 = East

Add new Shading Device Update data Delete data

Result

Direct Solar : 0.146566

Diffuse Solar : 0.328

Total : 0.474566

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	Local Coordinate X5	Local Coordinate Y5
Window	0	0	0	0	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	90	0	0	0	0.9	0	0.9	3	0	3	0	0



ภาพที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์บังแดดจากการคำนวณค่า SC กรณีศึกษาที่ 2 (SC_2)

จากรูปจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์บังแดดที่ได้จะมีค่า $SC_2 = 0.474566$ ซึ่งแบ่งออกเป็นการได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ 0.146566 และได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจาย 0.328 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า SC_2 ที่ต้องการ โดยรูปทรงอุปกรณ์บังแดดจะเป็นลักษณะแผงบังแดดติดขอบกระจกบน ยื่นออกมาจากผนัง 0.90 m. รั้งยาว 3 m. ตลอดหน้ากว้างอาคาร

3. การคำนวณหาค่า SC กรณีศึกษาที่ 3 (SC_3) สามารถหาได้จากสมการ

$$SC_3 \times SHGC_0 = SHGC_3$$

$$SC_3 = 0.24 / 0.82$$

$$SC_3 = 0.2927$$

ใช้โปรแกรม BEC ในการคำนวณหาลักษณะของอุปกรณ์บังแดดได้ดังรูป

BEC : Shading-Coefficient Calculation

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth 0 Degrees (0 - 360)

Window Inclination 90 Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Add new Shading Device Update data Delete data

Result

Direct Solar : 0.061372

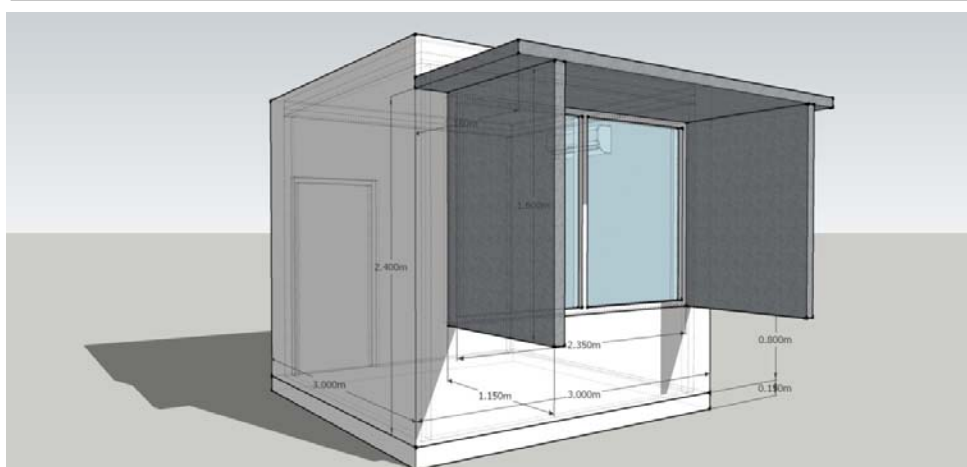
Diffuse Solar : 0.233518

Total : 0.29489

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Variables Input

	Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	U	G	X
▶	Window	0	0	0	0	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0		
	Device 1	0	-0.325	1.6	90	0	0	0	1.15	0	1.15	3	0	3	0		
	Device 2	0	0	0	90	90	0	0	1.15	0	1.15	1.6	0	1.6	0		
	Device 3	2.35	0	0	90	90	0	0	1.15	0	1.15	1.6	0	1.6	0		



ภาพที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์บังแดดจากการคำนวณค่า SC กรณีศึกษาที่ 3 (SC_3)

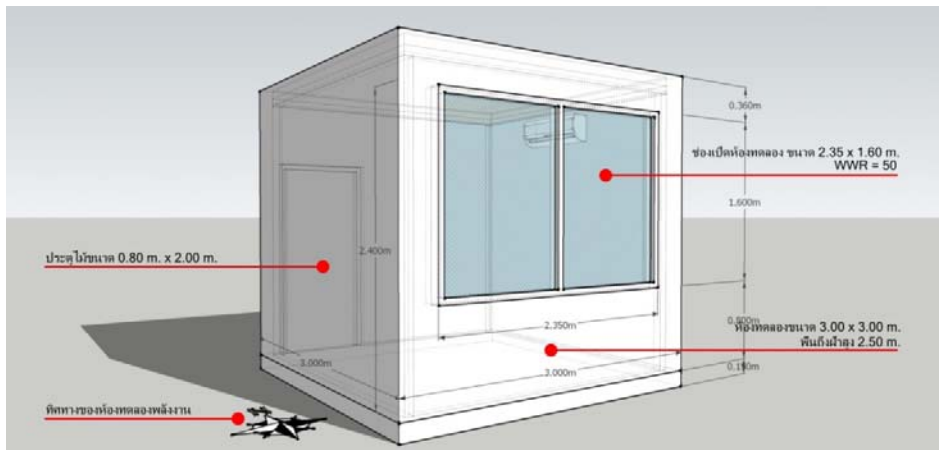
จากรูปจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์บังแดดที่ได้จะมีค่า $SC_3 = 0.29489$ ซึ่งแบ่งออกเป็นการได้รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ 0.061372 และได้รับอิทธิพลจากรังสีกระจาย 0.233518 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า SC_3 ที่ต้องการ โดยรูปทรงอุปกรณ์บังแดดจะเป็นลักษณะแผงบังแดดรอบบานกรอบกระจกทั้ง 3 ด้านและยื่นออกมาจากผนัง 1.15 m. เท่ากันทั้ง 3 ด้าน

3.2 ห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing)

3.2.1 การออกแบบห้องทดลองด้านพลังงาน

การออกแบบด้านทดลองด้านพลังงานจะเป็นการออกแบบให้เป็นห้องทดลองระบบปิด เพื่อลดปัจจัยแทรกซ้อนต่างๆ และควบคุมตัวแปรที่จะต้องให้เหมือนกันทั้ง 2 ห้องทดลอง เพราะจะทำให้ผลการทดลองใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

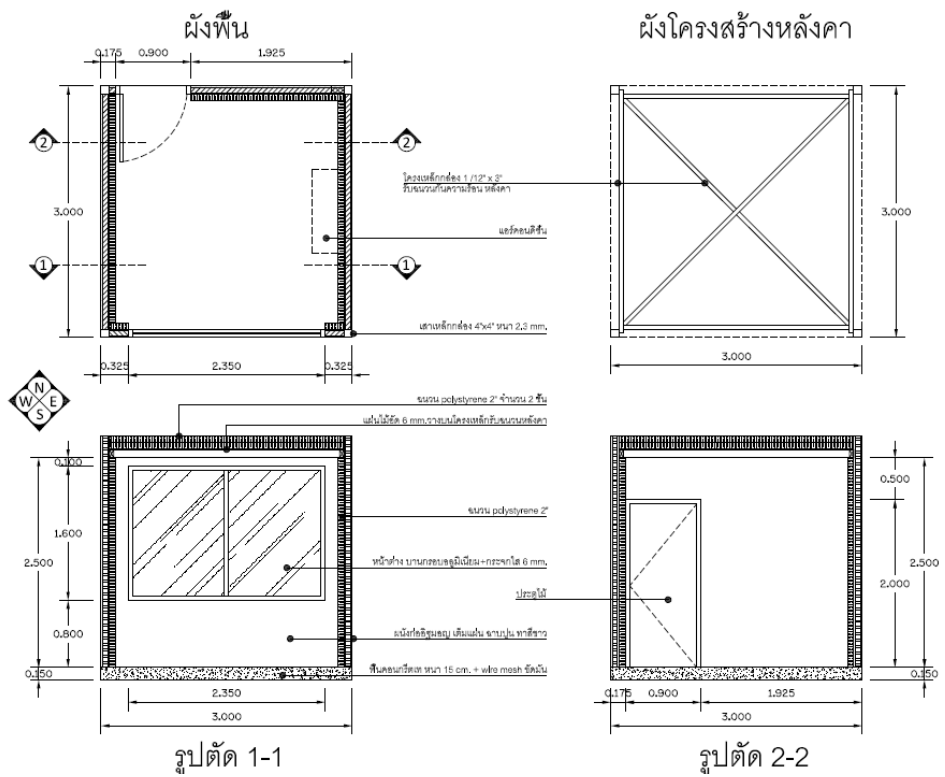
- ห้องทดลองมีขนาด 3.00 x 3.00 m. ระยะเวลาถึงฝ้าสูง 2.50 m. จำนวน 2 ห้อง
- ช่องเปิดที่ต้องการหาค่าจากการทดลอง จะหันหน้าไปทางทิศใต้ ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากแสงแดดตลอดทั้งวัน โดยมีขนาด กว้าง 2.35 m. สูง 1.60 m. และยกจากพื้นห้องทดลอง 0.80 m. ซึ่งคิดเป็น 50% ของขนาดพื้นที่ผนังด้านทิศใต้ โดยค่า $WWR = 50$ ถือเป็นค่าโดยเฉลี่ยของอาคารทั่วไป (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)
- ประตูเข้าห้องทดลองด้านพลังงานจะติดตั้งอยู่ทางทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์ต่ำที่สุด และมีขนาดกว้าง 0.90 m. สูง 2.00 m.
- ผนังด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเป็นผนังทึบ
- ที่ตั้งห้องทดลองด้านพลังงาน ตั้งอยู่ที่ตำบลหลักหก อำเภอเมืองปทุมธานี ตรงกับพิกัด Latitude = 13.98 °N Longitude = 100.60 °E



ภาพที่ 3.4 แสดงขนาดและตำแหน่งขององค์ประกอบห้องทดลอง

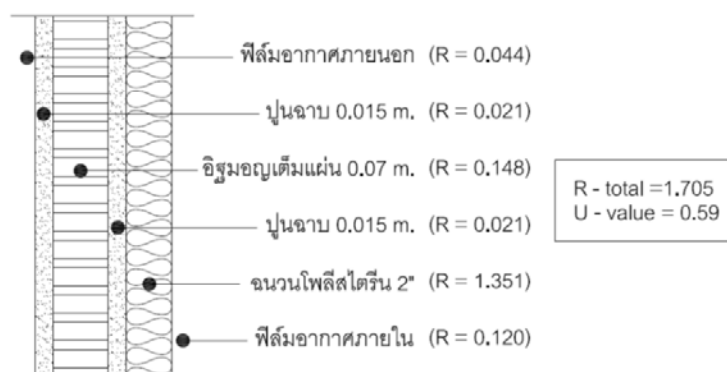
3.2.2 การเลือกใช้วัสดุของห้องทดลองพลังงาน

การเลือกใช้วัสดุต่างๆของห้องทดลองจะเป็นการเลือกวัสดุที่หาได้ทั่วไปตามท้องตลาด และนิยมใช้ในงานก่อสร้างอาคารทั่วไป โดยมีหลักในการเลือกใช้วัสดุประกอบห้องทดลองส่วนต่างๆดังนี้



ภาพที่ 3.5 แสดงโครงสร้างและวัสดุประกอบห้องทดลอง

- พื้นห้องทดลองเป็นพื้นคอนกรีตเทหนา 15 cm. เสริมเหล็กไวร์เมช เพื่อกันความชื้น ซึ่ซึมขึ้นมาจากพื้นดิน
- เสาคอาคาร ใช้เสาเหล็กกล่อง 4"x4" หนา 2 mm.
- ผนังก่ออิฐมวลเติมแผ่น ฉาบปูน ทาสีขาว ฝั่งด้านในห้องทดลองปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนโฟลีสไตรีน หนา 2" เพื่อลดอิทธิพลแทรกซ้อนจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ โดยมีค่าการต้านทานความร้อนดังนี้



ภาพที่ 3.6 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของผนังห้องทดลอง

- ช่องเปิด บานกรอบอลูมิเนียม ขนาด 2.35 x 1.60 m. ติดตั้งตามแบบ
- ประตูไม้อัดมาตรฐานขนาดรวมวงกบ 0.90 x 2.00 m.
- โครงหลังคาเหล็ก 1 1/2" x 3" กรงไม้อัด 6 mm. ปิดทับด้วยฉนวนโฟลีสไตรีน 2" จำนวน 2 ชั้น เพื่อลดอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา
- อุปกรณ์บังแดด ใช้ฉนวนโฟลีสไตรีนในการติดตั้งเพราะมีคุณสมบัติ เบา ติดตั้งง่าย และตัวฉนวนไม่นำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเมื่อมีการสัมผัสผนังอาคาร



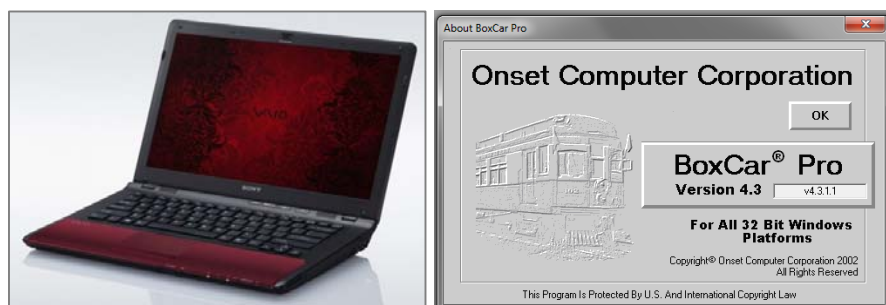
ภาพที่ 3.7 แสดงภาพห้องทดลองด้านพลังงาน

3.3 เครื่องมือในการทดลอง

3.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่อง พร้อมโปรแกรม Boxcar Pro ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับตั้งค่าการเก็บข้อมูลของเครื่องเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ (data logger) และสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermocouple)



ภาพที่ 3.8 เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูล

2. เครื่องเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ (data logger) ยี่ห้อ HOBO จำนวน 7 เครื่องและสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermocouple) จำนวน 14 สาย ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ติดตั้งในห้องทดลองเพื่อเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติในทุกๆ 15 นาที



ภาพที่ 3.9 เครื่องเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ และสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ

3. Globe thermometer พร้อมขาตั้งจำนวน 2 ชุด สำหรับวัดค่าการแผ่รังสีความร้อน (mean radiant temperature, MRT) ภายในห้องทดลอง



ภาพที่ 3.10 globe thermometer

4. มิเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 2 เครื่อง เพื่อใช้วัดค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 3.11 มิเตอร์ไฟฟ้า

5. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ยี่ห้อ DAIKIN รุ่น Seista (AT09JV2S) ขนาด 9000 BTU จำนวน 2 เครื่อง



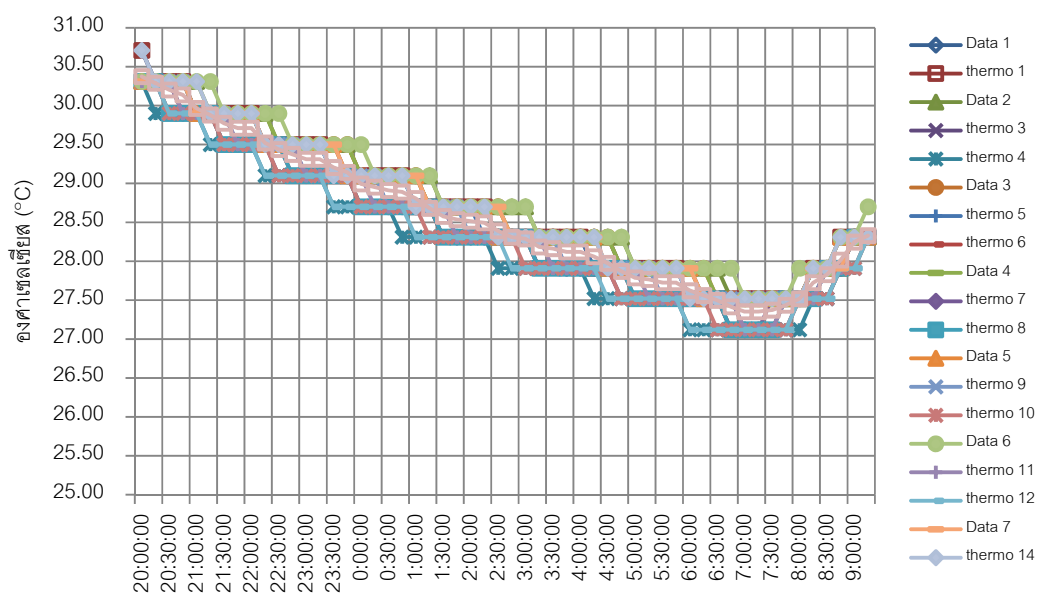
ภาพที่ 3.12 เครื่องปรับอากาศ ยี่ห้อ DAIKIN

3.3.2 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

การทดสอบเครื่องมือในการทดลอง เพื่อที่จะได้ทราบถึงความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือของการตรวจวัดผลการทดลอง โดยจะทำการทดสอบ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การทดสอบความน่าเชื่อถือของสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermocouple) ด้วยวิธีการแช่น้ำร้อน
2. การทดสอบความน่าเชื่อถือของสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermocouple) และเครื่องเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ (data logger) ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลในสถานะแบบปิด
3. การตรวจสอบการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในสภาพห้องทดลองจริง

แผนภูมิ 3.4 แสดงผลการทดสอบความน่าเชื่อถือด้วยวิธีวัดค่าในสภาวะปิด ครั้งที่ 2



จากการทดสอบในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 จะพบว่าหัววัดอุณหภูมิ thermocouple ที่ 2 และ 13 มีค่าความคลาดเคลื่อนอย่างมากจนไม่สามารถนำมาใช้ในการวัดค่าการทดลองได้ จึงได้ทำการคัดแยกออก และจากการทดลองในสภาวะปิดทั้ง 2 รอบนั้นได้สังเกตเห็นค่าความคลาดเคลื่อนของหัววัดอุณหภูมิ thermocouple และเครื่องวัดอุณหภูมิ data logger ที่เหลือ จะพบว่าทุกหัวมีค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของการทดสอบดังนี้

ตัววัดอุณหภูมิ	data1	ther 1	data2	ther3	ther 4	data3	ther 5	ther 6	data4	ther 7
ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบที่ 1(°C)	0.08	0.05	0.22	-0.19	-0.29	0.14	0.09	-0.12	0.15	-0.06
ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบที่ 2(°C)	0.11	0.09	0.19	-0.17	-0.3	0.14	0.08	-0.13	0.14	-0.05

ตัววัดอุณหภูมิ	ther8	data5	ther 9	ther10	data 6	ther11	ther12	data 7	ther14
ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบที่ 1(°C)	-0.18	0.14	-0.03	-0.21	0.26	-0.07	-0.27	0.18	0.12
ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบที่ 2(°C)	-0.14	0.11	-0.02	-0.2	0.24	-0.08	-0.26	0.11	0.11

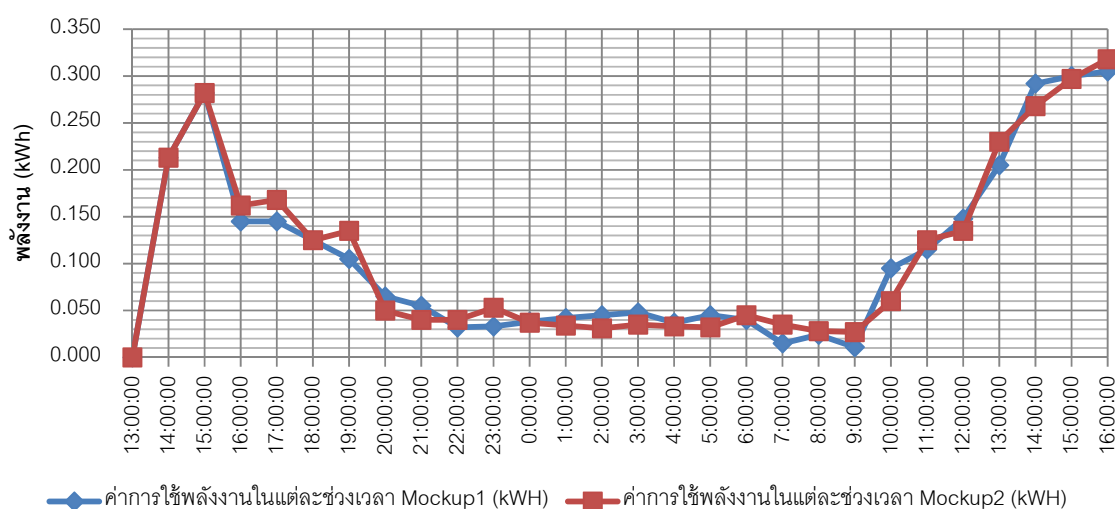
ตารางที่ 3.5 แสดงผลการคลาดเคลื่อนของตัววัดอุณหภูมิเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย

จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของตัววัดอุณหภูมิแต่ละตัวจากการทดสอบทั้ง 2 ครั้ง จะมีค่าไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เช่นหัววัดอุณหภูมิ thermocouple 3 ในการทดลองที่ 1 มีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยของทุกหัวที่ -0.19°C และในการทดลองที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ -0.17°C ซึ่งแสดงว่าค่าเหล่านี้เป็นค่าการคลาดเคลื่อนที่คงที่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกตัววัดอุณหภูมิที่มีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน ในการติดตั้งตำแหน่งตัววัดอุณหภูมิที่จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบกัน เพื่อที่จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เช่น การเลือกตัววัดอุณหภูมิในการวัดอุณหภูมิห้องทดลองทั้งสองห้อง ก็จะใช้ตัววัดอุณหภูมิ data logger 1 และ data logger 3 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกันในการวัดค่าเพื่อเปรียบเทียบกัน

3. การตรวจสอบอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในสภาพห้องทดลองจริง

การทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานในห้องทดลองก็เพื่อจะได้ทราบถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่อง โดยจะทำการอ่านค่ามิเตอร์ไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 27 ชั่วโมง ดังจะเห็นได้จากผลการทดลอง

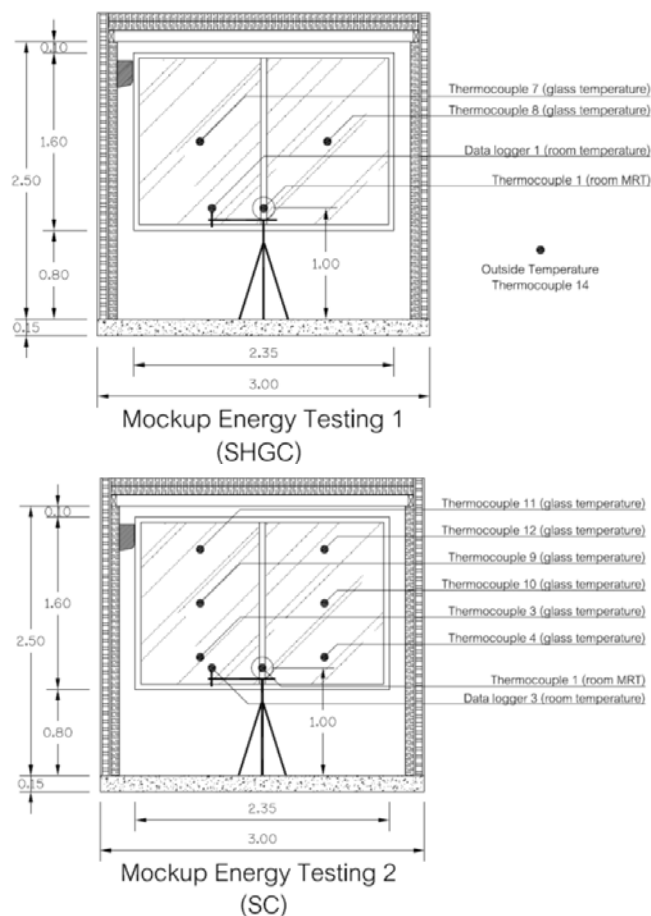
แผนภูมิที่ 3.5 แสดงอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 ห้องทดลอง



จากการทดลองหาอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่องจะพบว่าห้องทดลองที่ 1 ใช้พลังงานไปทั้งหมด 3.005 kWh และห้องทดลองที่ 2 ใช้พลังงานไปทั้งหมด 3.038 kWh ซึ่งถือเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกันมาก คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ 1.09% จึงได้ทำการทดสอบในลักษณะเดิมอีก 2 การทดสอบ ก็จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น จะมีค่าเท่ากับ 1.09% ดังนั้นจึงถือว่าอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศมีค่าความคลาดเคลื่อนคงที่ที่ 1.09% เสมอ

3.3.3 การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ

การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิจะทำการเลือกและจับคู่ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกัน ให้อยู่ในตำแหน่งที่จะต้องมีการเปรียบเทียบกัน โดยจะมีการติดตั้งดังรูป



ภาพที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิอัตโนมัติ

การติดตั้งเครื่องมือวัดการแผ่รังสีความร้อน (globe thermometer) และอุณหภูมิห้องจะติดตั้งอยู่กลางห้องและสูงจากพื้นห้อง 1 m. ในขณะที่การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิกระจกในห้องทดลองที่ 1 (ติดกระจกกันความร้อน) จะใช้ตัววัดอุณหภูมิ 2 ตัวเพื่อหาค่าเฉลี่ย แต่ห้องทดลองที่ 2 (ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) จะใช้ตัววัดอุณหภูมิ 6 ตัวกระจายตัวอยู่ทั่วผืนกระจก เพราะกระจกจะมีทั้งส่วนที่โดนแดดและได้ส่วนที่ได้รับเงาจากแผงบังแดด จึงต้องวัดอุณหภูมิในหลายๆจุดของผืนกระจก ในขณะที่การวัดอุณหภูมิภายนอกจะติดตั้งตัววัดอุณหภูมิอยู่ในที่ร่มและลมโกรกตลอดทั้งวัน โดยมีลักษณะการติดตั้งดังรูป



ภาพที่ 3.16 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์

3.4 การกำหนดตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ตัวแปรในการจำลองห้องทดลองขึ้นมาในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual DOE 4.0 จะกำหนดขึ้นให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับห้องทดลองด้านพลังงานจริงมากที่สุด เพื่อให้ได้ค่าที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับการทดลองด้วยห้องทดลอง โดยจะกำหนดตัวแปรต่างๆไว้ดังนี้

Condition	Type	Data
1. Model overall	Building type	Office
	Building area	9 m ²
	Cooling equipment	Split type
	Dimension	3.00 x 3.00 m.
	Floor to ceiling	2.6 m.
	Time used	8.00-18.00 (1 year)
2. Construction	Wall U-value	0.59 Btu/h.ft ²
	Color absorption	0.6
	Insulation	Yes
	Infiltration	0.05 CFM
3. Window	SHGC	0.54 , 0.39 , 0.24
	SC	0.54 , 0.39 , 0.24
4. File reference	Weather file	BKKTMY

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลพื้นฐาน ที่นำมาใช้ในการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เนื่องจากค่า SC ของอุปกรณ์บังแดดที่จะนำมาทดลองในการหันทิศทางของช่องเปิดอาคาร จะได้รับอิทธิพลต่อการทำมุมกับดวงอาทิตย์ จึงต้องมีการคำนวณลักษณะของอุปกรณ์บังแดดด้วยโปรแกรม BEC ใหม่ เพื่อให้ทราบถึงค่า SC ที่แท้จริงของแผงบังแดดที่หันไปในทิศทางนั้นๆ

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth Degrees (0 - 360)

Window Inclination Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South , 90 = West , 180 = North , 270 = East

Result

Direct Solar :

Diffuse Solar :

Total :

Variables Input

	Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	L	C	X
▶	Window	0	0	0	180	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0		
	Device 1	0	-0.325	1.6	270	0	0	0	0.6	0	0.6	3	0	3	0		

ภาพที่ 3.17 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₁ mockup ที่หันไปทางทิศเหนือ (ระยะยื่น 0.60 m. เหนือช่องเปิด ค่า , SC = 0.6657)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth Degrees (0 - 360)

Window Inclination Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South , 90 = West , 180 = North , 270 = East

Result

Direct Solar :

Diffuse Solar :

Total :

Variables Input

	Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	L	C	X
▶	Window	0	0	0	270	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0		
	Device 1	0	-0.325	1.6	0	0	0	0	0.55	0	0.55	3	0	3	0		

ภาพที่ 3.18 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₁ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันออก (ระยะยื่น 0.55 m. เหนือช่องเปิด ค่า , SC = 0.6634)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth Degrees (0 - 360)

Window Inclination Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South , 90 = West , 180 = North , 270 = East

Result

Direct Solar :

Diffuse Solar :

Total :

Variables Input

	Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	L	C	X
▶	Window	0	0	0	90	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0		
	Device 1	0	-0.325	1.6	180	0	0	0	0.55	0	0.55	3	0	3	0		

ภาพที่ 3.19 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₁ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันตก (ระยะยื่น 0.55 m. เหนือช่องเปิด ค่า , SC = 0.6720)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth: 180 Degrees (0 - 360)
 Window Inclination: 90 Degrees (0 - 90)
 * Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Result
 Direct Solar: 0.0157794
 Diffuse Solar: 0.462847
 Total: 0.478627

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	L	C	X
Window	0	0	0	180	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	270	0	0	0	1.5	0	1.5	3	0	3	0	0	0

ภาพที่ 3.20 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₂ mockup ที่หันไปทางทิศเหนือ (ระยะยื่น 1.50 m. เหนือช่องเปิด ค่า , SC = 0.4786)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth: 270 Degrees (0 - 360)
 Window Inclination: 90 Degrees (0 - 90)
 * Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Result
 Direct Solar: 0.128887
 Diffuse Solar: 0.34807
 Total: 0.476957

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	L	C	X
Window	0	0	0	270	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	0	0	0	0	1.1	0	1.1	3	0	3	0	0	0

ภาพที่ 3.21 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₂ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันออก (ระยะยื่น 1.10 m. เหนือช่องเปิด ค่า , SC = 0.4770)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth: 90 Degrees (0 - 360)
 Window Inclination: 90 Degrees (0 - 90)
 * Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Result
 Direct Solar: 0.14207
 Diffuse Solar: 0.333879
 Total: 0.475949

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	L	C	X
Window	0	0	0	90	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	180	0	0	0	1.15	0	1.15	3	0	3	0	0	0

ภาพที่ 3.22 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₂ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันตก (ระยะยื่น 1.15 m. เหนือช่องเปิด ค่า , SC = 0.4756)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth: 180 Degrees (0 - 360)

Window Inclination: 90 Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Add new Shading Device Update data Delete data

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Result

Direct Solar: 0.00866605

Diffuse Solar: 0.282886

Total: 0.291552

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	Local Coordinate X5	Local Coordinate Y5
Window	0	0	0	180	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	270	0	0	0	1.9	0	1.9	3	0	3	0	0
Device 2	0	0	0	270	90	0	0	1.9	0	1.9	1.6	0	1.6	0	0
Device 3	2.35	0	0	270	90	0	0	1.9	0	1.9	1.6	0	1.6	0	0

ภาพที่ 3.23 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₃ mockup ที่หันไปทางทิศเหนือ (ระยะยื่น 1.90 m. 3 ด้านรอบช่องเปิด ค่า, SC = 0.2916)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth: 270 Degrees (0 - 360)

Window Inclination: 90 Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Add new Shading Device Update data Delete data

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Result

Direct Solar: 0.0651895

Diffuse Solar: 0.234053

Total: 0.299242

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	Local Coordinate X5	Local Coordinate Y5
Window	0	0	0	270	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	0	0	0	0	1.4	0	1.4	3	0	3	0	0
Device 2	0	0	0	0	90	0	0	1.4	0	1.4	1.6	0	1.6	0	0
Device 3	2.35	0	0	0	90	0	0	1.4	0	1.4	1.6	0	1.6	0	0

ภาพที่ 3.24 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₃ mockup ที่หันไปทางตะวันออก (ระยะยื่น 1.40 m. 3 ด้านรอบช่องเปิด ค่า, SC = 0.2992)

Shading-Coefficient Calculation

Window Azimuth: 90 Degrees (0 - 360)

Window Inclination: 90 Degrees (0 - 90)

* Azimuth Angle: 0 = South, 90 = West, 180 = North, 270 = East

Add new Shading Device Update data Delete data

How to use SC Calculator? Reset data Calculate Shading-Coefficient

Result

Direct Solar: 0.0921355

Diffuse Solar: 0.198811

Total: 0.290947

Variables Input

Device Name	Main Coordinate X0	Main Coordinate Y0	Main Coordinate Z0	Main Coordinate Azimuth	Main Coordinate Inclination	Local Coordinate X1	Local Coordinate Y1	Local Coordinate X2	Local Coordinate Y2	Local Coordinate X3	Local Coordinate Y3	Local Coordinate X4	Local Coordinate Y4	Local Coordinate X5	Local Coordinate Y5
Window	0	0	0	90	90	0	0	2.35	0	2.35	1.6	0	1.6	0	0
Device 1	0	-0.325	1.6	180	0	0	0	1.7	0	1.7	3	0	3	0	0
Device 2	0	0	0	180	90	0	0	1.7	0	1.7	1.6	0	1.6	0	0
Device 3	2.35	0	0	180	90	0	0	1.7	0	1.7	1.6	0	1.6	0	0

ภาพที่ 3.25 แสดงการคำนวณอุปกรณ์บังแดดห้องทดลอง SC₃ mockup ที่หันไปทางทิศตะวันตก (ระยะยื่น 1.70 m. 3 ด้านรอบช่องเปิด ค่า, SC = 0.2909)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลข้อมูล

การทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุประกอบช่องเปิดอาคาร 2 แบบ ระหว่างกระจกกันความร้อนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) ต่างกัน 3 ช่วงกรณีศึกษา กับอุปกรณ์บังแดดที่มีค่าค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) ต่างกัน 3 ช่วงกรณีศึกษา โดยอาศัยการศึกษาจากอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดเข้าสู่ตัวอาคาร จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้มาศึกษาเปรียบเทียบถึงการเลือกใช้วัสดุประกอบช่องเปิดอาคารที่มีประสิทธิภาพได้อย่างถูกต้อง

การทดลองนี้จะแบ่ง 2 ส่วน คือ การทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิผลของค่า SHGC , SC ในสภาพแวดล้อมจริง และการทดลองจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของการวางทิศทางของช่องเปิดที่สัมพันธ์กับค่า SHGC และค่า SC โดยจะแบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วงกรณีศึกษา คือ ช่องเปิดที่มีค่า SHGC และค่า SC สูง กลาง และต่ำ ดังนั้นจะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนคือ

1. การทดลองช่วงกรณีศึกษาที่ 1 ค่า SHGC และค่า SC สูง
2. การทดลองช่วงกรณีศึกษาที่ 2 ค่า SHGC และค่า SC กลาง
3. การทดลองช่วงกรณีศึกษาที่ 3 ค่า SHGC และค่า SC ต่ำ
4. การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation)

4.1 การทดลองกรณีศึกษาที่ 1 ค่า SHGC และค่า SC สูง

การทดลองในกรณีศึกษาที่ 1 จะเป็นการทดลองที่มีตัวแปรคือค่า SHGC และ SC สูง โดยจะทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวกระจก อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ค่าการแผ่รังสีความร้อน และอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยจะกำหนดให้

ห้องทดลองที่ 1 ($SHGC_1$ mockup) ที่ช่องเปิดมีการติดตั้งกระจกโพลีต สีบลูกรีน

หนา 6 mm. ค่า SHGC = 0.54 พร้อมบานกรอบอลูมิเนียม

ห้องทดลองที่ 2 (SC_1 mockup) ที่ช่องเปิดมีการติดตั้งกระจกโพลีตใส หนา 6 mm.

ค่า SHGC = 0.82 พร้อมบานกรอบอลูมิเนียม และอุปกรณ์บังแดด

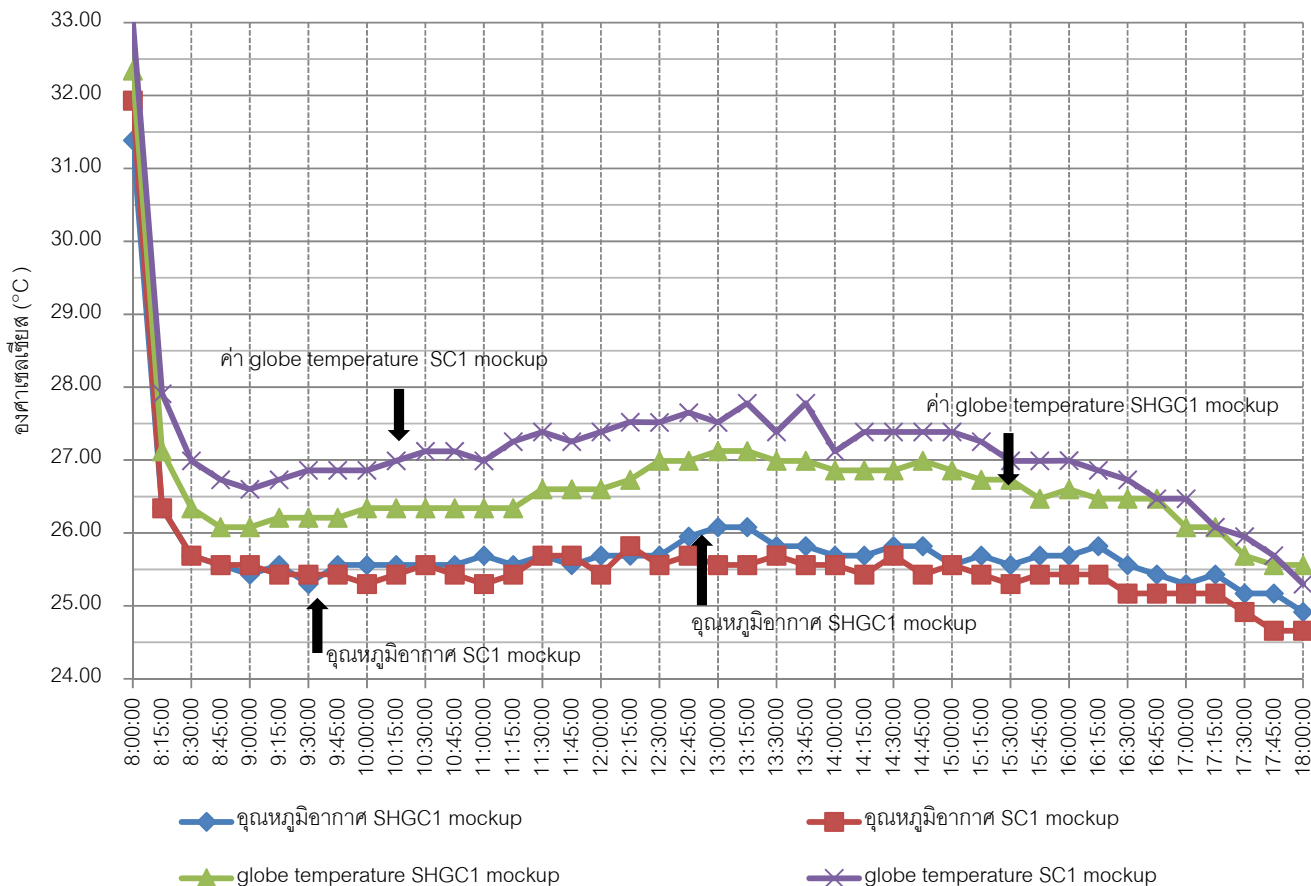
ยื่นออกจากผนัง 42.5 cm. มีค่า SC = 0.6565 ซึ่งจะมีผลคูณของ

ทั้งสองค่าได้เท่ากับ 0.5383



ภาพที่ 4.1 ห้องทดลองพลังงาน 1 ($SHGC_1$ mockup) และห้องทดลองพลังงาน 2 (SC_1 mockup)

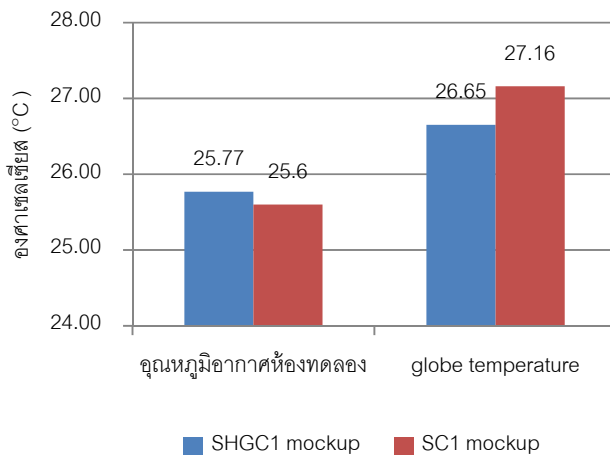
การวัดผลการทดลองจะเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วันเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยทำการทดลองในช่วงวันที่ 21-23 มีนาคม 2555 เวลา 8.00-18.00 น. ซึ่งสภาวะอากาศส่วนใหญ่ในช่วงนี้จะเป็นลักษณะอากาศร้อน ท้องฟ้าเปิดในช่วงเช้า และมีเมฆบางส่วนในช่วงบ่าย โดยจะได้ผลการทดลองดังนี้



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 1

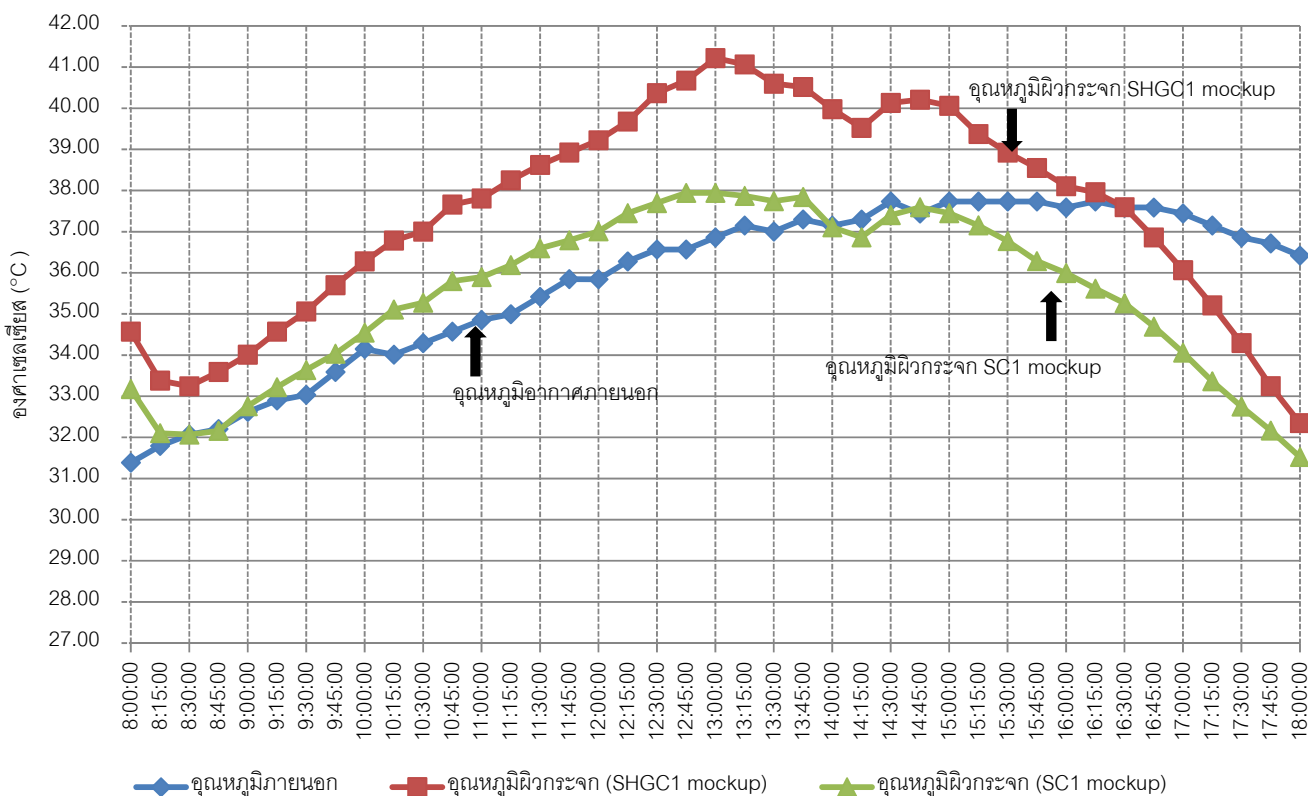
ค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง จากแผนภูมิ

จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศห้อง SHGC₁ mockup จะมีค่าสูงกว่าห้อง SC₁ mockup อยู่เล็กน้อยตลอดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล โดยจะมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างอยู่ที่ 0.17 °C แต่ในทางกลับกัน ค่า globe temperature ของห้องทดลอง SC₁ mockup กลับมีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SHGC₁ mockup ตลอดช่วงการเก็บข้อมูลเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 0.51 °C ดังนั้น ห้องทดลอง SHGC₁ mockup จะมีค่าสภาวะน่าสบายของมนุษย์ดีกว่า เนื่องจากอิทธิพลของค่า globe temperature ที่สูงกว่า



แผนภูมิที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)

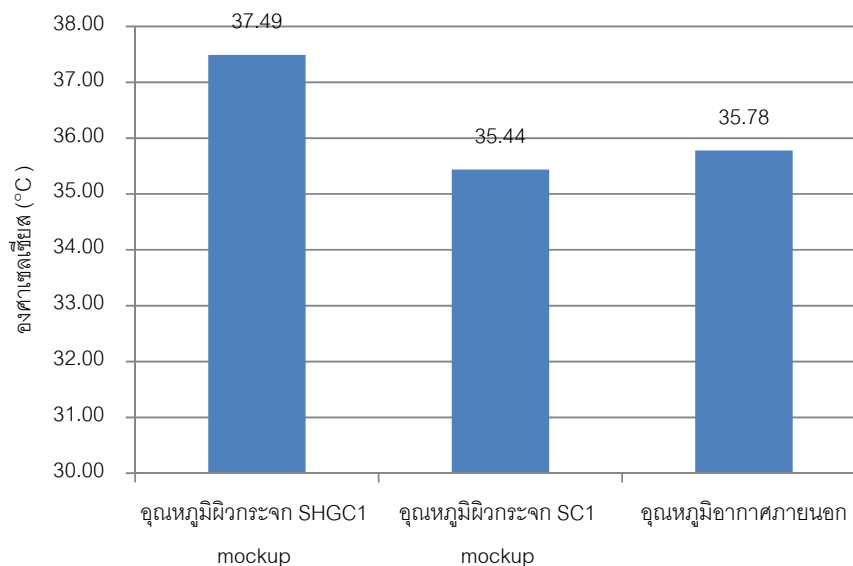
กรณีศึกษาที่ 1



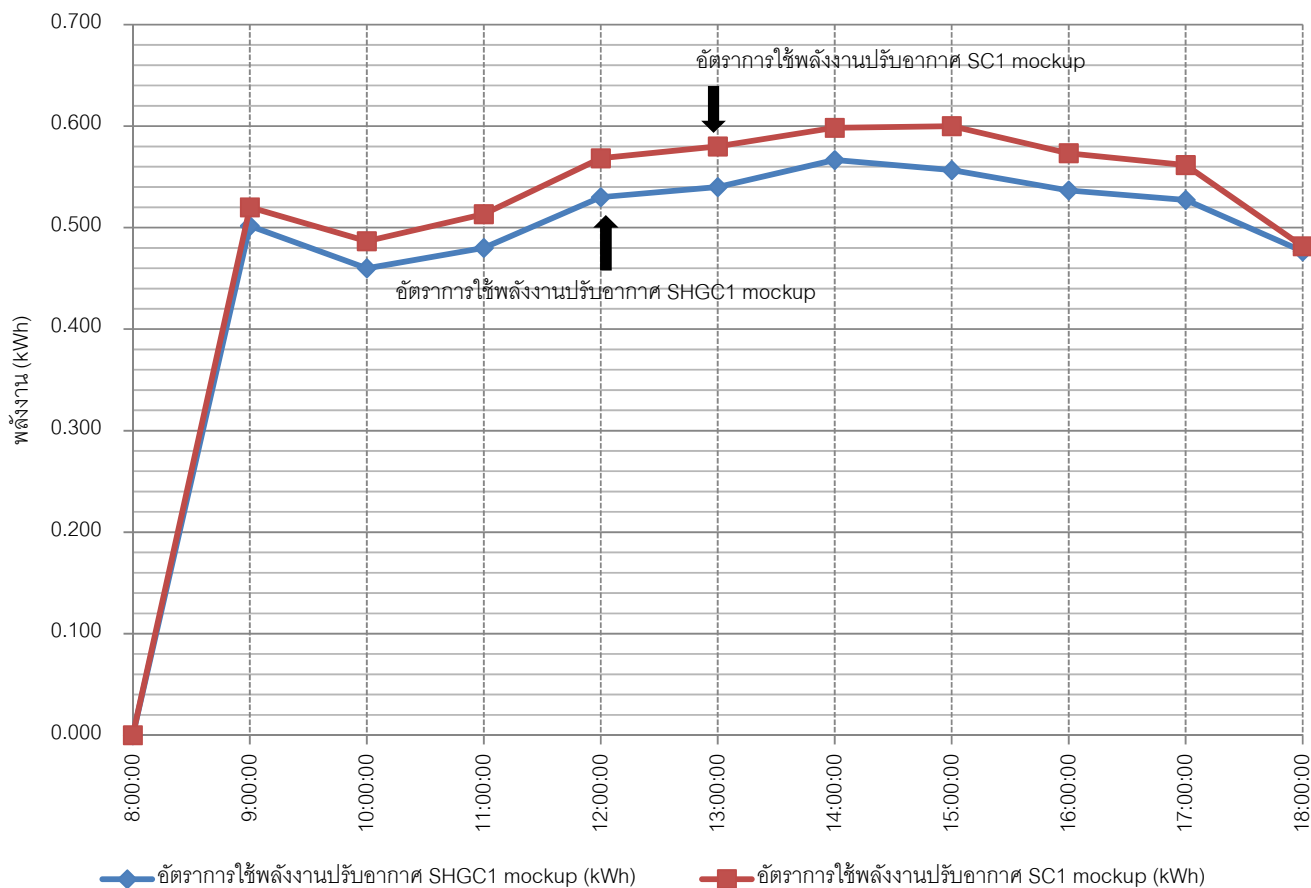
แผนภูมิที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิผิวกระจก (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 1

อุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก จากแผนภูมิที่ 4.2 จะเห็นว่า อุณหภูมิผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC₁ mockup จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เริ่มการเก็บผลการทดลองเวลา 8.00 น. ไปจนถึงเวลาประมาณ 16.30 น. โดยจะมีค่าสูงกว่ามากที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. ในส่วนห้องทดลอง SC₁ mockup อุณหภูมิผิวกระจกจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยในช่วงเวลา 8.00 – 10.00 น. และจะมากขึ้นในช่วงเวลา 10.00 – 13.45 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิผิวกระจกจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง

อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC₁ mockup จะมีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SC₁ mockup อยู่มากพอสมควร โดยเฉลี่ยประมาณ 2.05 °C และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ยประมาณ 1.71 °C ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 4.4



แผนภูมิที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 1



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) ในการปรับอากาศของการทดลองกรณีศึกษาที่ 1

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ จากแผนภูมิที่ 4.5 จะพบว่า

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SC₁ mockup จะมีค่าการใช้พลังงานที่มากกว่าห้องทดลอง SHGC₁ mockup ตลอดช่วงเวลาเก็บผลการทดลอง โดยผลรวมของการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SC₁ mockup มีค่า 5.483 kWh และห้องทดลอง SHGC₁ mockup มีค่าการใช้พลังงาน 5.176 kWh ซึ่งคิดผลต่างเป็น 5.8% ของการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

4.2 การทดลองกรณีศึกษาที่ 2 ค่า SHGC และค่า SC ระดับกลาง

การทดลองในกรณีศึกษาที่ 2 จะเป็นการทดลองที่มีตัวแปรคือค่า SHGC และ SC ระดับกลาง โดยจะทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวกระจก อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ค่าการแผ่รังสีความร้อน และอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยจะกำหนดให้

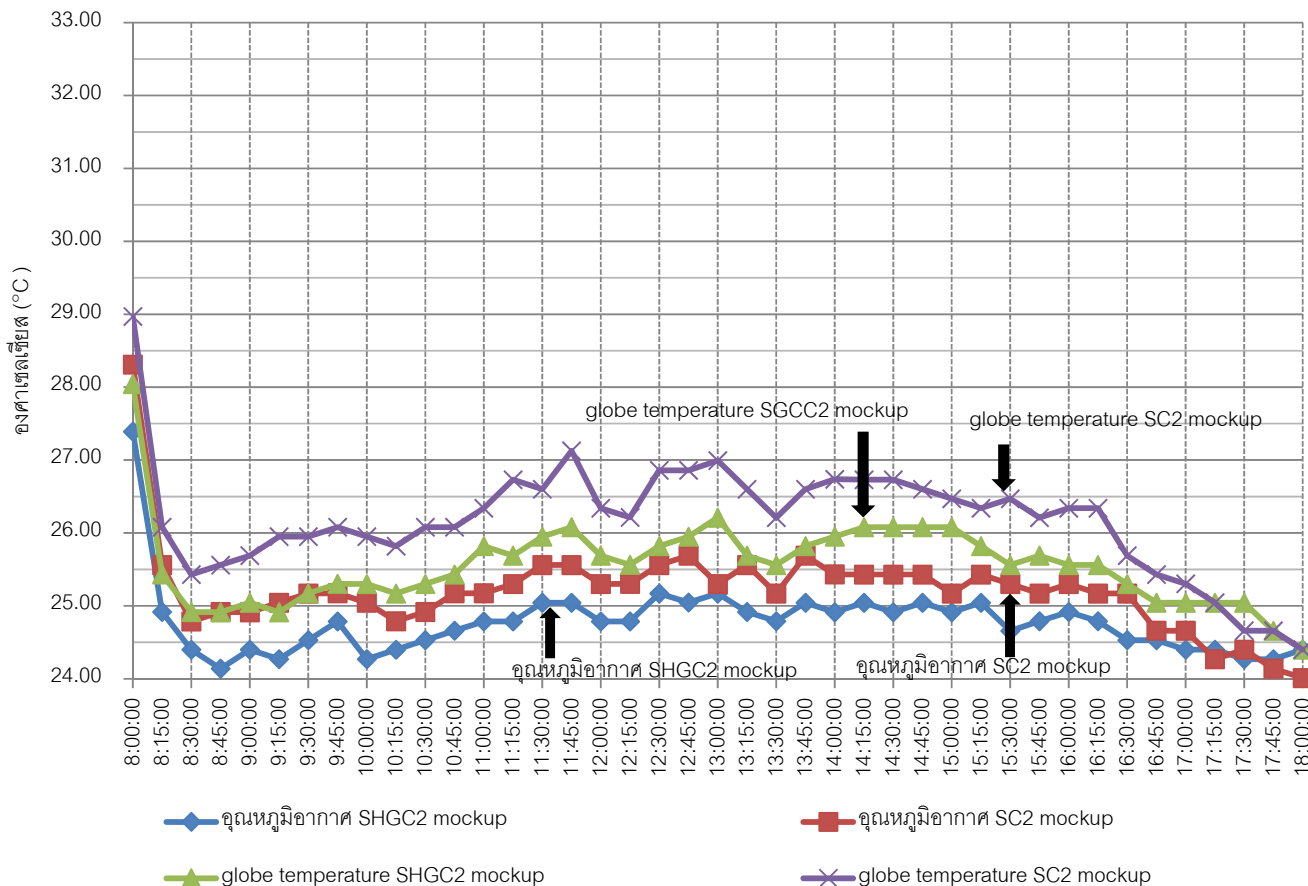
ห้องทดลองที่ 1 (SHGC₂ mockup) ที่ช่องเปิดมีการติดตั้งกระจก solar tag สีฟ้า
โพลีนิ หนา 6 mm. ค่า SHGC = 0.39 พร้อมบานกรอบอลูมิเนียม

ห้องทดลองที่ 2 (SC₂ mockup) ที่ช่องเปิดมีการติดตั้งกระจกโพลีนิ หนา 6 mm.
ค่า SHGC = 0.82 พร้อมบานกรอบอลูมิเนียม และอุปกรณ์บังแดด
ยื่นออกจากผนัง 90 cm. มีค่า SC = 0.4746 ซึ่งจะมีผลคูณของทั้ง
สองค่าได้เท่ากับ 0.3892



ภาพที่ 4.2 ห้องทดลองพลังงาน 1 (SHGC₂ mockup) และห้องทดลองพลังงาน 2 (SC₂ mockup)

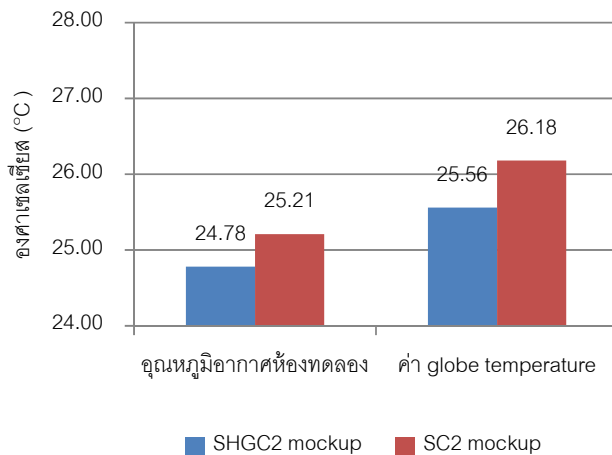
การวัดผลการทดลองจะเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วันเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยทำการทดลองในช่วงวันที่ 27-29 มีนาคม 2555 เวลา 8.00-18.00 น. ซึ่งสภาวะอากาศในช่วงเช้าอากาศค่อนข้างเย็น กลางวันฟ้าเปิดสลับมีเมฆมาก ช่วงบ่ายมีเมฆปกคลุมเป็นส่วนมาก



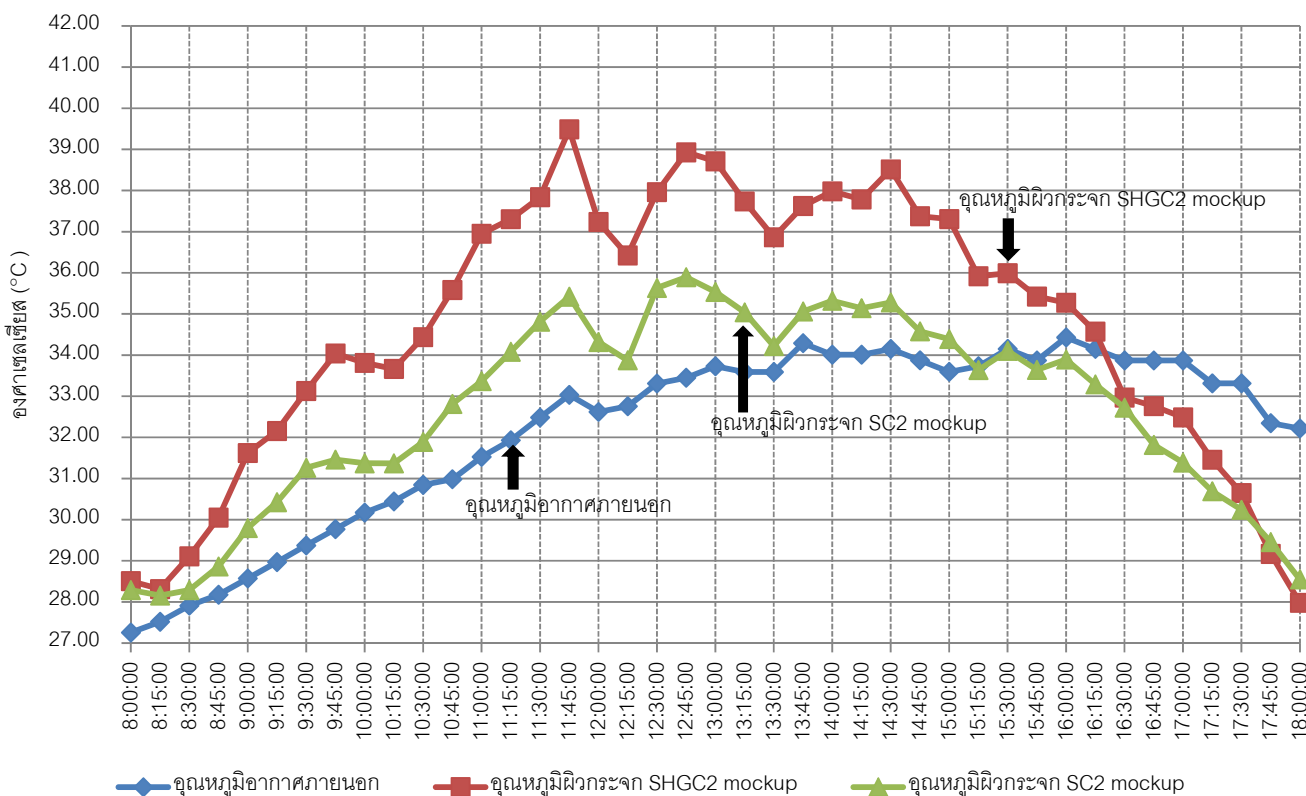
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง ($^{\circ}\text{C}$) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2

ค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง จากแผนภูมิ

ที่ 4.6 จะเห็นว่าอุณหภูมิห้องทดลอง SC_2 mockup จะมีค่าสูงกว่าห้อง SHGC_2 mockup ตลอดช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูล โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างอยู่ที่ 0.43°C ในขณะที่ค่า globe temperature ของห้องทดลอง SC_2 mockup ก็มีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SHGC_2 mockup ตลอดช่วงการเก็บข้อมูลเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 0.62°C ดังนั้นห้องทดลอง SHGC_2 mockup จะมีค่าสภาวะน่าสบายของมนุษย์ดีกว่า เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศภายในห้องและค่า globe temperature



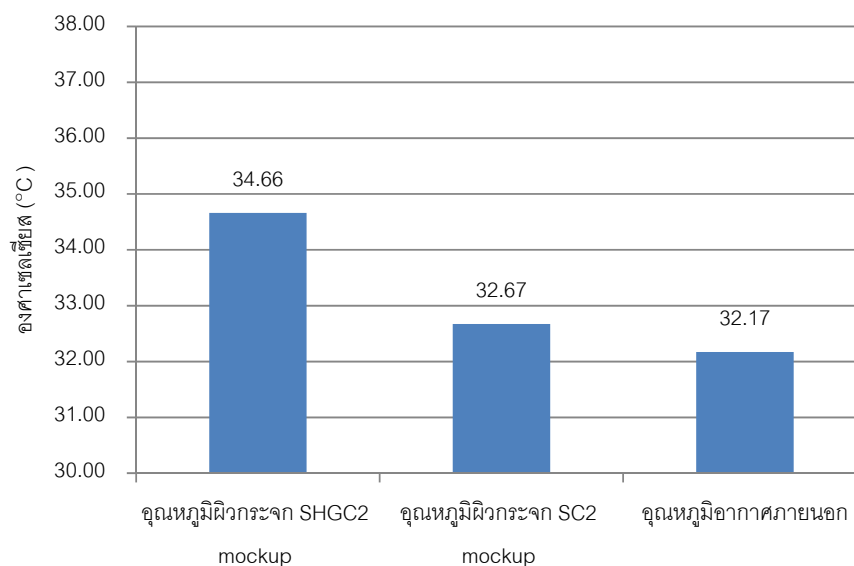
แผนภูมิที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C) กรณีศึกษาที่ 2



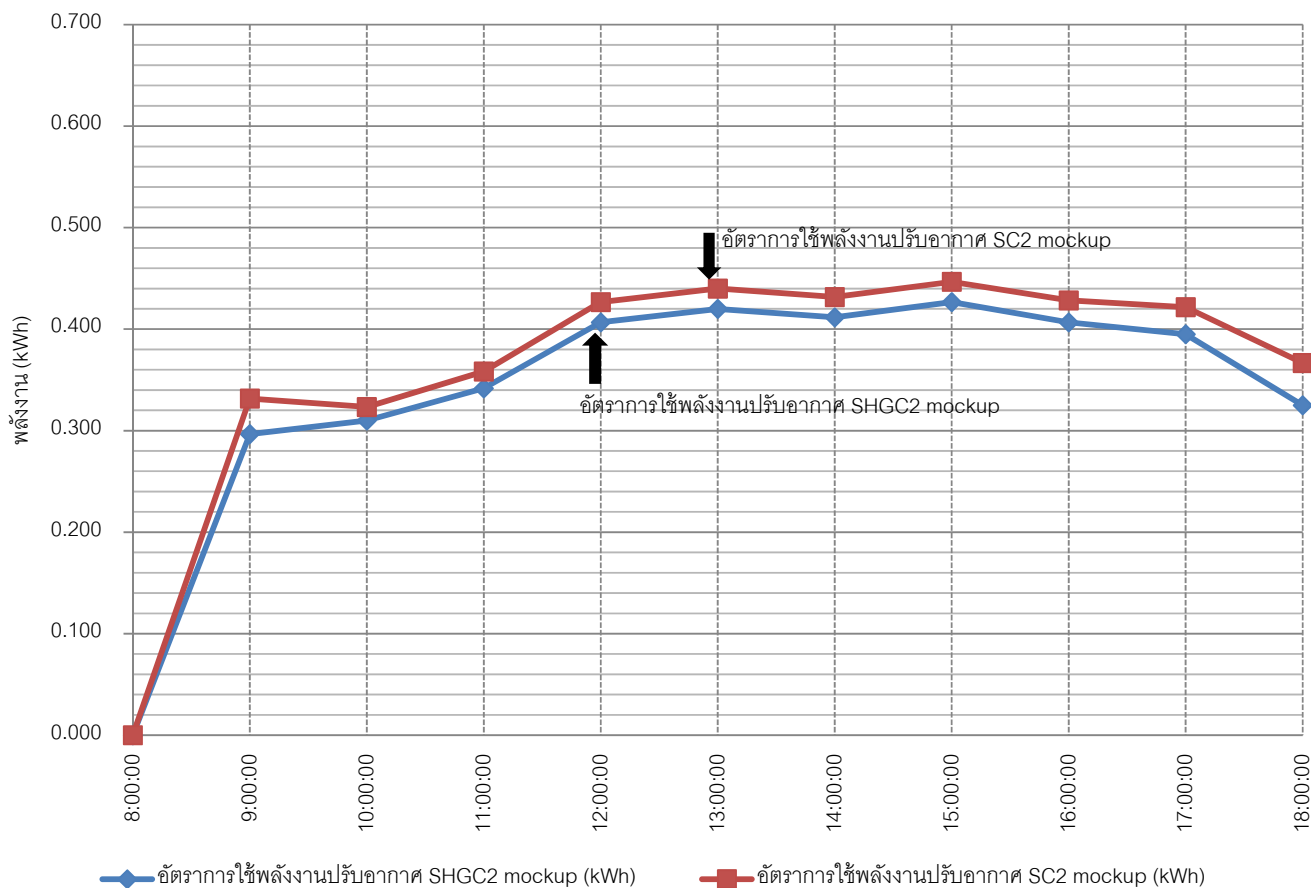
แผนภูมิที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิผิวกระจก (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2

อุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก จากแผนภูมิที่ 4.8 จะเห็นว่า อุณหภูมิผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC₂ mockup จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เริ่มการเก็บผลการทดลองเวลา 8.00 น. ไปจนถึงเวลาประมาณ 16.15 น. โดยจะมีค่าสูงกว่ามากที่สุดในช่วงเวลา 11.45 น. ในส่วนห้องทดลอง SC₂ mockup อุณหภูมิผิวกระจกจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยในช่วงเวลา 8.00 – 10.00 น. และจะมากขึ้นในช่วงเวลา 10.00 – 15.15 น. หลังจากนั้นอุณหภูมิผิวกระจกจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดลอง

อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC₂ mockup จะมีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SC₂ mockup โดยเฉลี่ยประมาณ 1.99 °C และสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกโดยเฉลี่ยประมาณ 2.49 °C ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 4.9



แผนภูมิที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอัตราการใช้พลังงาน(kWh) ในการปรับอากาศของการทดลองกรณีศึกษาที่ 2

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ จากแผนภูมิที่ 4.10 จะพบว่า

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SC₂ mockup จะมีค่าการใช้พลังงานที่มากกว่าห้องทดลอง SHGC₂ mockup ตลอดช่วงเวลาเก็บผลการทดลอง โดยผลรวมของการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SC₂ mockup มีค่า 3.975 kWh และห้องทดลอง SHGC₂ mockup มีค่าการใช้พลังงาน 3.740 kWh ซึ่งคิดผลต่างเป็น 6.1% ของการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

4.3 การทดลองกรณีศึกษาที่ 3 ค่า SHGC และค่า SC ต่ำ

การทดลองในช่วงกรณีศึกษาที่ 3 จะเป็นการทดลองที่มีตัวแปรคือค่า SHGC และ SC ต่ำ โดยจะทำการวัดค่าอุณหภูมิผิวกระจก อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลอง ค่าการแผ่รังสีความร้อน และอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยจะกำหนดให้

ห้องทดลองที่ 1 (SHGC₃ mockup) ที่ช่องเปิดมีการติดตั้งกระจก solar tag สีเหลือง

อูษา หนา 6 mm. ค่า SHGC = 0.24 พร้อมบานกรอบอลูมิเนียม

ห้องทดลองที่ 2 (SC₃ mockup) ที่ช่องเปิดมีการติดตั้งกระจกโพลติไล หนา 6 mm.

ค่า SHGC = 0.82 พร้อมบานกรอบอลูมิเนียม และอุปกรณ์บังแดด

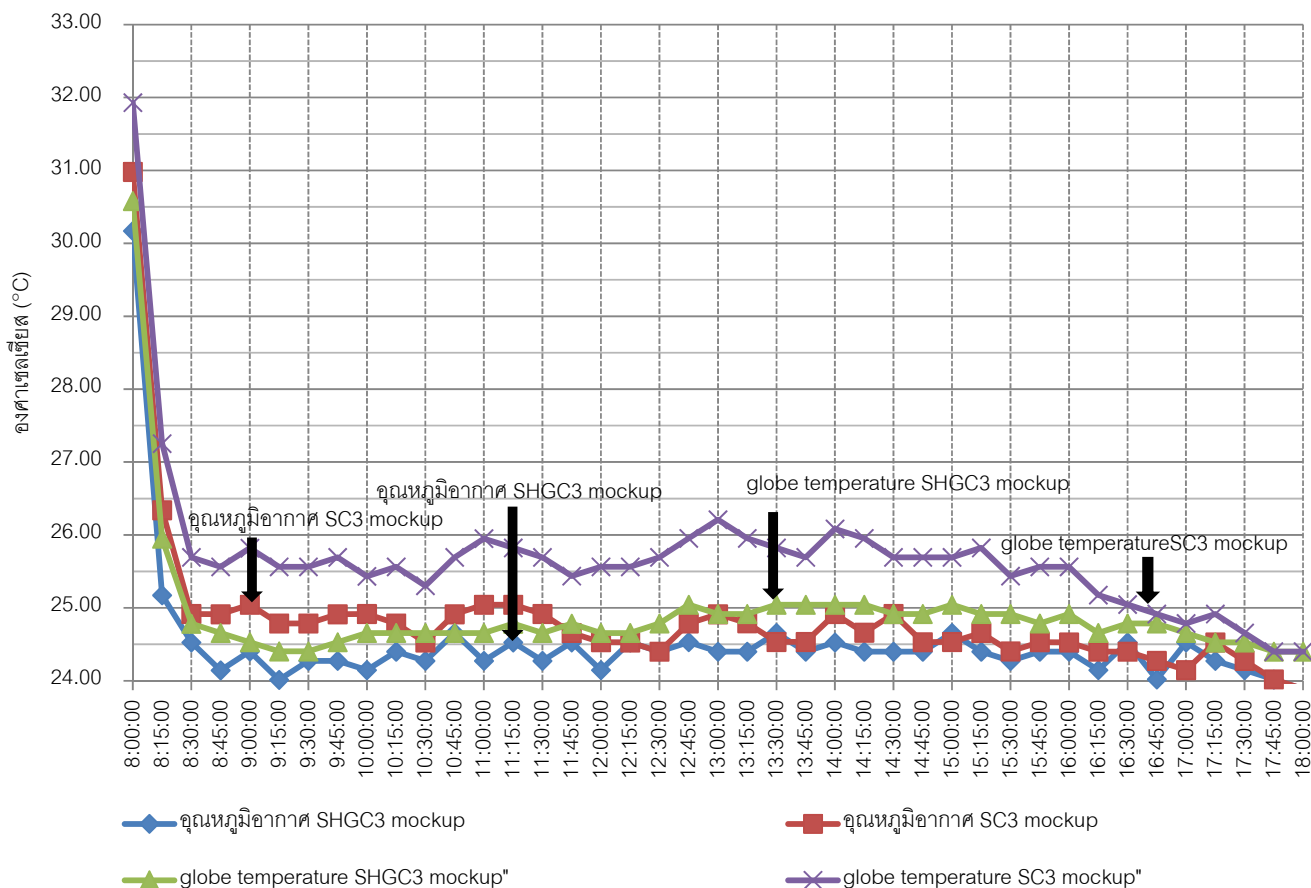
ยื่นออกจากผนัง 115 cm. ทั้ง 3 ด้าน มีค่า SC = 0.2949 ซึ่งจะมี

ผลคูณของทั้งสองค่าได้เท่ากับ 0.2418



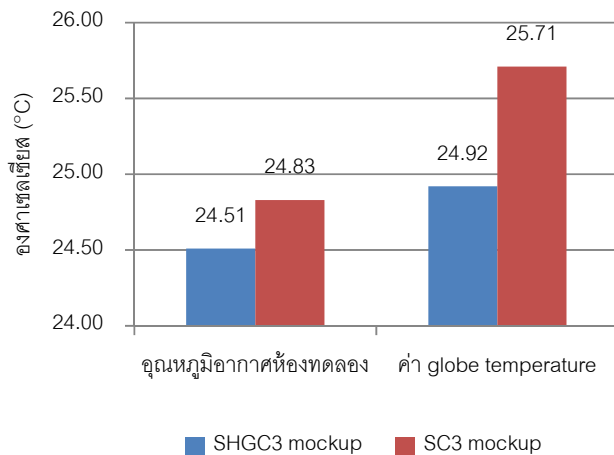
ภาพที่ 4.3 ห้องทดลองพลังงาน 1 (SHGC₃ mockup) และห้องทดลองพลังงาน 2 (SC₃ mockup)

การวัดผลการทดลองจะเก็บข้อมูลเป็นเวลา 3 วันเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยทำการทดลองในช่วงวันที่ 1-3 เมษายน 2555 เวลา 8.00-18.00 น. ซึ่งสภาวะอากาศร้อนจัดในช่วงเข้ามีเมฆมาก หลังจากนั้นห้องฟ้าเปิดตลอดทั้งวัน รังสีความร้อนตรงจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างมาก

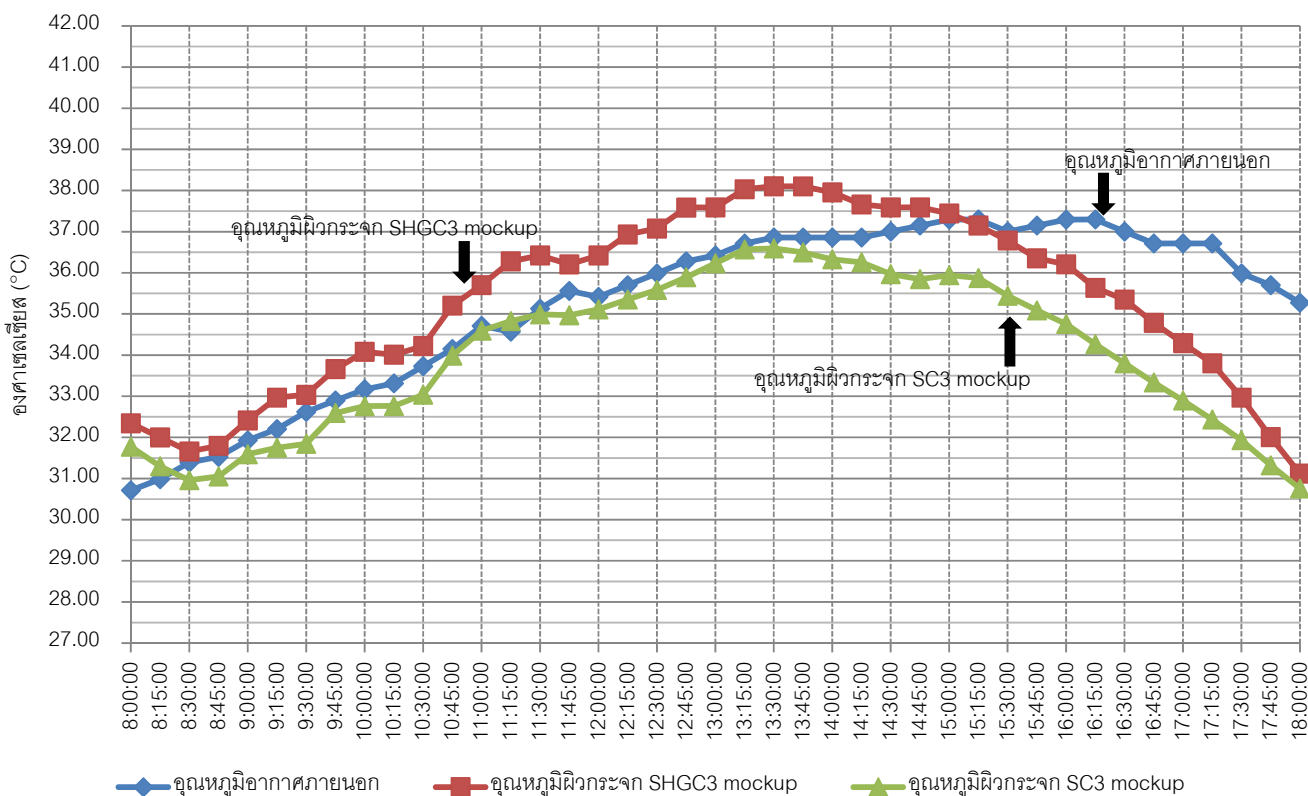


แผนภูมิที่ 4.11 แสดงค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 3

ค่า globe temperature และอุณหภูมิอากาศในห้องทดลอง จากแผนภูมิที่ 4.11 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง SC₃ mockup จะมีค่าสูงกว่าห้อง SHGC₃ mockup เล็กน้อยตลอดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล โดยจะมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างอยู่ที่ 0.32 °C ในขณะที่ค่า globe temperature ของห้องทดลอง SC₃ mockup ก็มีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SHGC₃ mockup ตลอดช่วงการเก็บข้อมูลเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 0.79 °C ดังนั้นห้องทดลอง SHGC₂ mockup จะมีค่าสถานะนำสบายของมนุษย์ดีกว่า เนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิห้องและค่า globe temperature



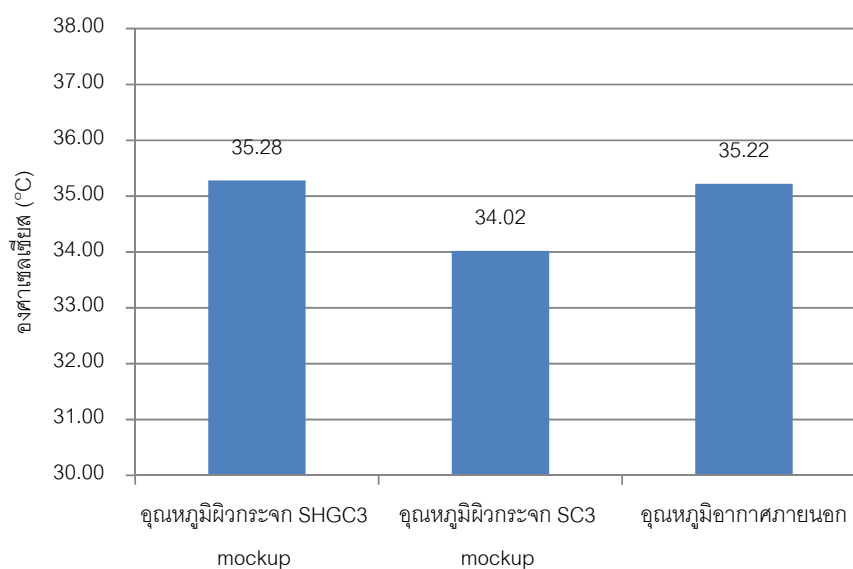
แผนภูมิที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย globe temperature และอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C) กรณีศึกษาที่ 3



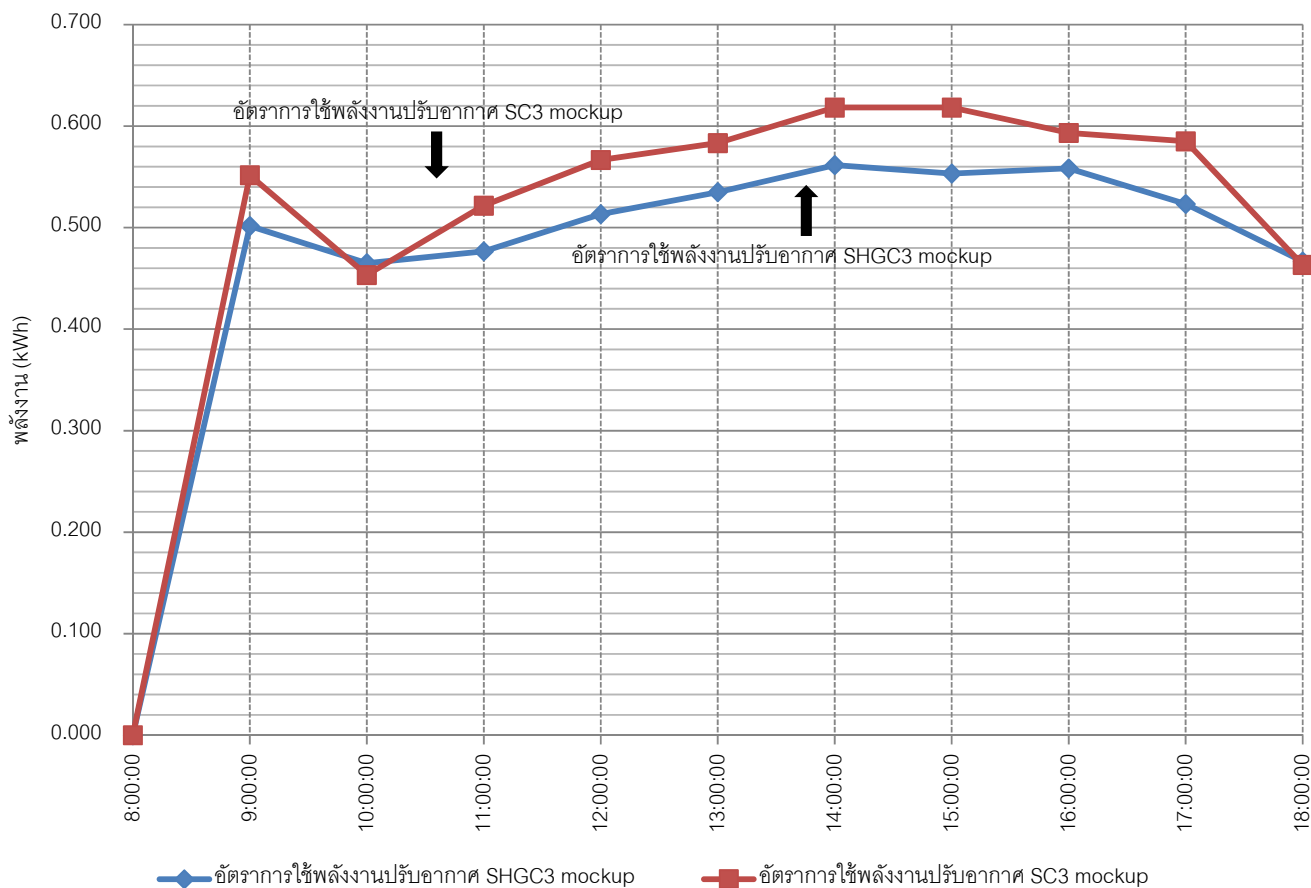
แผนภูมิที่ 4.13 ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระจก (°C) ของการทดลองกรณีศึกษาที่ 3

อุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิภายนอก จากแผนภูมิที่ 4.13 จะเห็นว่า อุณหภูมิผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC₃ mockup จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตั้งแต่เริ่มการเก็บผลการทดลองเวลา 8.00 น. ไปจนถึงเวลาประมาณ 15.00 น. โดยจะมีค่าสูงกว่ามากที่สุดในช่วงเวลา 13.30 น. ในส่วนห้องทดลอง SC₃ mockup อุณหภูมิผิวกระจกจะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อยในช่วงเวลา 8.00 – 13.30 น. และจะต่ำกว่ามากขึ้นในช่วงเวลา 13.30 – 18.00 น.

อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC₃ mockup จะมีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SC₃ mockup อยู่ค่อนข้างมาก โดยเฉลี่ยประมาณ 1.26 °C และสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยเฉลี่ยเล็กน้อยประมาณ 0.06 °C แต่อุณหภูมิผิวกระจกของห้องทดลอง SC₃ mockup จะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกที่ 1.20 °C ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่ 4.14



แผนภูมิที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวกระจกและอุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)
การทดลองกรณีศึกษาที่ 3



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอัตราการใช้พลังงาน(kWh) ในการปรับอากาศของการทดลองช่วงกรณีศึกษาที่ 3

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ จากแผนภูมิที่ 4.15 จะพบว่า

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SC₃ mockup จะมีค่าการใช้พลังงานที่มากกว่าห้องทดลอง SHGC₃ mockup เป็นส่วนมากของช่วงเวลาเก็บผลการทดลอง โดยผลรวมของการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SC₃ mockup มีค่า 5.555 kWh และห้องทดลอง SHGC₃ mockup มีค่าการใช้พลังงาน 5.155 kWh ซึ่งคิดผลต่างเป็น 7.5% ของการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

4.4 การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation)

การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะเป็นการจำลองสถานการณ์เพื่อตรวจสอบอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่มีอิทธิพลมากจากการหันช่องเปิดอาคารไปในทิศทางต่างๆ เพราะอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ได้รับอิทธิพลมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่มีลักษณะอ้อมได้จนทำให้เกิดลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกันออกไปทุกทิศทาง

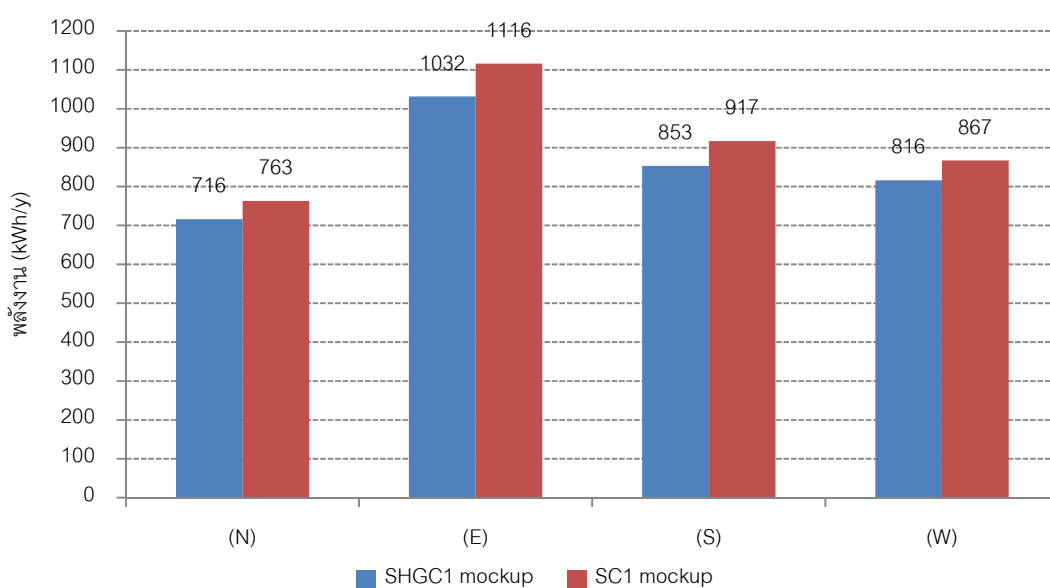
การทดลองนี้จะกำหนดช่องเปิดอาคารที่มีค่าอัตราส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) เท่ากับ 50 โดยจะกำหนดไว้เพียงด้านเดียวของอาคาร แล้วทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของการหันช่องเปิดอาคารที่ทำมุมกับการโคจรของดวงอาทิตย์ไว้ 4 ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยจะทำการใช้ค่าสัมประสิทธิ์เดียวกับการทดลองในห้องทดลองพลังงาน (mockup energy testing) คือจะจกกันความร้อนที่มีค่า SHGC เท่ากับ 0.54 0.39 0.24 และอุปกรณ์บังแดดที่มีผลคูณของค่า SC กับค่า SHGC ของกระจกใส (0.82) เท่ากับค่า SHGC กระจกของห้องทดลอง SHGC mockup (ภาพที่ 3.17-3.25) ในกรณีศึกษานี้ๆ โดยจำนวนกรณีศึกษาแสดงในตารางที่ 4.1

กรณีศึกษา	คุณสมบัติของช่องเปิด	การหันทิศทาง	จำนวนกรณีศึกษา
SHGC	$SHGC_1=0.54$	N, E, S, W	4
	$SHGC_2=0.39$	N, E, S, W	4
	$SHGC_3=0.24$	N, E, S, W	4
SC	$SC_1 \times 0.82=0.54$	N, E, S, W	4
	$SC_2 \times 0.82=0.39$	N, E, S, W	4
	$SC_3 \times 0.82=0.24$	N, E, S, W	4
รวม			24

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนกรณีศึกษาของการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.4.1 การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษาที่ 1

การทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ของกรณีศึกษาที่ 1 จะเป็นการกำหนดตัวแปรวัสดุประกอบช่องเปิดของห้องทดลอง 2 ห้องซึ่งมีค่า SHGC และ SC เท่ากับ 0.54 ซึ่งผลการทดลองจะมีผลการทดลองดังนี้



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิดทิศทางต่างๆ กรณีศึกษาที่ 1

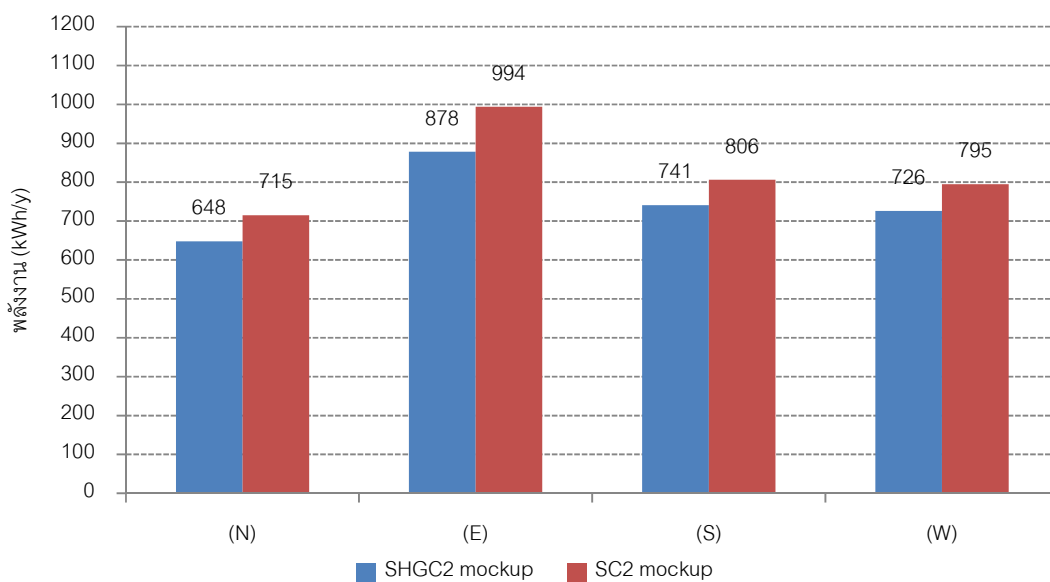
	SHGC1 mockup				SC1 mockup			
	(N)	(E)	(S)	(W)	(N)	(E)	(S)	(W)
ม.ค.	50	76	77	59	54	84	85	64
ก.พ.	55	84	75	66	59	92	81	70
มี.ค.	66	97	78	78	70	105	82	83
เม.ย.	66	95	70	78	70	101	76	83
พ.ค.	74	101	76	86	79	109	81	92
มิ.ย.	71	94	68	74	75	101	74	78
ก.ค.	65	86	63	69	68	93	69	72
ส.ค.	65	88	66	71	69	95	71	75
ก.ย.	55	78	62	60	58	84	64	63
ต.ค.	54	79	67	61	58	84	69	65
พ.ย.	51	81	75	60	55	88	81	64
ธ.ค.	44	73	76	54	48	80	84	58
รวม	716	1032	853	816	763	1116	917	867

ตารางที่ 4.2 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) การปรับอากาศเป็นรายเดือน กรณีศึกษาที่ 1

จากผลการทดลองจะพบว่าอัตราการใช้พลังงานของการหันช่องเปิดไปทางทิศตะวันออก มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากที่สุด ตามด้วยทิศใต้และทิศตะวันตกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และทิศเหนือมีอัตราการใช้พลังงานน้อยที่สุด โดยอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด (SC₁ mockup) จะมีอัตราการใช้พลังงานมากกว่าห้องทดลองที่ติดกระจกกันความร้อน (SHGC₁ mockup) 6.36% ที่ทิศเหนือ 7.82% ที่ทิศตะวันออก 7.23% ที่ทิศใต้ และ 6.06% ที่ทิศตะวันตก

4.4.2 การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษาที่ 2

การทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ของกรณีศึกษาที่ 2 จะเป็นการกำหนดตัวแปรวัสดุประกอบช่องเปิดของห้องทดลอง 2 ห้องซึ่งที่มีค่า SHGC และ SC เท่ากับ 0.39 ซึ่งผลการทดลองจะมีผลการทดลองดังนี้



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิดทิศทางการต่างๆ
กรณีศึกษาที่ 2

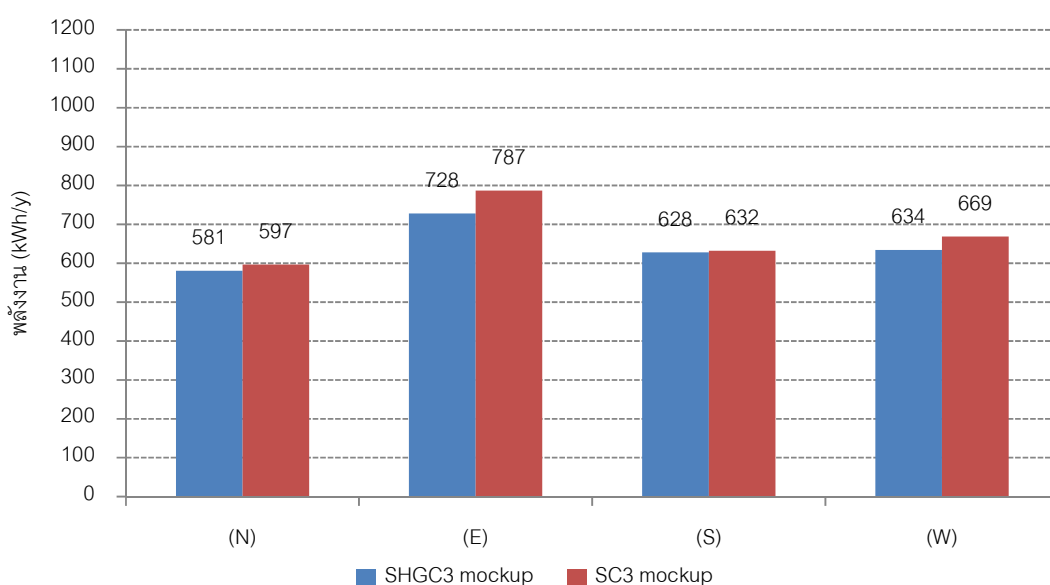
	SHGC2 mockup				SC2 mockup			
	(N)	(E)	(S)	(W)	(N)	(E)	(S)	(W)
ม.ค.	46	64	63	53	51	75	69	59
ก.พ.	50	72	63	59	56	82	67	64
มี.ค.	59	83	68	69	66	94	72	75
เม.ย.	59	81	63	69	66	90	70	74
พ.ค.	66	87	68	75	73	98	75	82
มิ.ย.	63	80	62	67	69	91	69	73
ก.ค.	58	74	58	61	63	82	64	67
ส.ค.	58	75	60	63	64	84	67	69
ก.ย.	50	66	54	54	54	75	59	59
ต.ค.	50	67	58	55	54	75	62	60
พ.ย.	48	68	62	54	53	77	65	60
ธ.ค.	41	61	62	47	46	71	67	53
รวม	648	878	741	726	715	994	806	795

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) การปรับอากาศเป็นรายเดือน กรณีศึกษาที่ 2

จากผลการทดลองจะพบว่าอัตราการใช้พลังงานของการหันช่องเปิดไปทางทิศตะวันออก มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากที่สุด ตามด้วยทิศใต้และทิศตะวันตกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และทิศเหนือมีอัตราการใช้พลังงานน้อยที่สุด โดยอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด (SC₂ mockup) จะมีอัตราการใช้พลังงานมากกว่าห้องทดลองที่ติดกระจกกันความร้อน (SHGC₂ mockup) 9.83% ที่ทิศเหนือ 12.39% ที่ทิศตะวันออก 8.40% ที่ทิศใต้ และ 9.07% ที่ทิศตะวันตก

4.4.3 การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษาที่ 3

การทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ของกรณีศึกษาที่ 3 จะเป็นการกำหนดตัวแปรวัสดุประกอบช่องเปิดของห้องทดลอง 2 ห้องซึ่งที่มีค่า SHGC และ SC เท่ากับ 0.24 ซึ่งผลการทดลองจะมีผลการทดลองดังนี้



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิดทิศทางต่างๆ กรณีศึกษาที่ 3

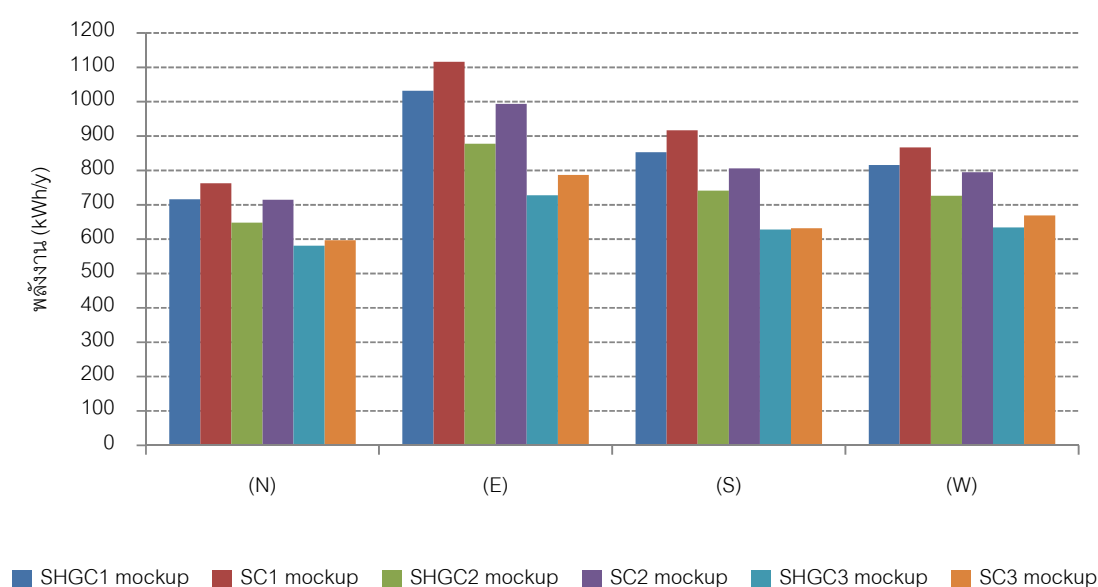
	SHGC3 mockup				SC3 mockup			
	(N)	(E)	(S)	(W)	(N)	(E)	(S)	(W)
ม.ค.	41	53	50	46	47	61	48	52
ก.พ.	46	59	52	51	50	69	50	58
มี.ค.	54	69	55	60	59	80	59	68
เม.ย.	53	67	57	59	58	79	57	69
พ.ค.	58	73	59	64	63	84	62	76
มิ.ย.	56	66	55	58	59	77	58	66
ก.ค.	51	61	51	54	54	69	53	61
ส.ค.	52	63	53	56	56	71	55	62
ก.ย.	45	56	47	48	49	63	49	54
ต.ค.	45	56	49	49	49	64	50	54
พ.ย.	43	56	51	48	48	64	47	53
ธ.ค.	37	49	49	41	42	57	44	47
	581	728	628	634	634	838	632	720

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh) การปรับอากาศเป็นรายเดือน กรณีศึกษาที่ 3

จากผลการทดลองจะพบว่าอัตราการใช้พลังงานของการหันช่องเปิดไปทางทิศตะวันออก มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศมากที่สุด ตามด้วยทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศเหนือในอัตราที่ใกล้เคียงกัน โดยอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด (SC₃ mockup) จะมีอัตราการใช้พลังงานมากกว่าห้องทดลองที่ติดกระจกกันความร้อน (SHGC₃ mockup) 2.72% ที่ทิศเหนือ 7.79% ที่ทิศตะวันออก 0.63% ที่ทิศใต้ และ 5.37% ที่ทิศตะวันตก

4.4.4 สรุปผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ของทั้ง 3 กรณีศึกษาจะทำให้เห็นภาพรวมของอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่ได้รับอิทธิพลของการหันช่องเปิดอาคาร ดังผลการทดลองจะเห็นได้จากแผนภูมิ



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิดทิศทางต่างๆ

จากผลการทดลองทั้ง 3 ช่วงกรณี จะพบว่าแนวโน้มการใช้พลังงานมีดังนี้

- เมื่ออุปกรณ์ประกอบช่องเปิดมีค่า SHGC, SC ลดลง จะทำให้อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศลดลงเสมอ โดยมีผลต่างของการใช้พลังงานดังนี้

- $SHGC_1 > SHGC_2 = 14.16 \%$

- $SHGC_2 > SHGC_3 = 13.23 \%$

- $SC_1 > SC_2 = 10.21 \%$

- $SC_2 > SC_3 = 17.31 \%$

2. อัตราการใช้พลังงานรวมในการปรับอากาศสำหรับการหันช่องเปิดทางทิศ ตะวันออกจะเป็นทิศที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด ตามมาด้วยทิศใต้และทิศ ตะวันตกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน ส่วนทิศเหนือจะเป็นทิศที่ใช้พลังงานในการปรับ อากาศน้อยที่สุดเสมอ
3. อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลองพลังงานที่ติดตั้งอุปกรณ์บัง แดด (SC mockup) จะมีอัตราการใช้พลังงานมากกว่าห้องทดลองที่ติดตั้งกระจก กันความร้อน (SHGC mockup) เสมอ โดยค่าความแตกต่างของการใช้พลังงาน ในการปรับอากาศทางทิศใต้จะมีค่าน้อยที่สุดและจะมากที่สุดที่ทิศตะวันออก ดัง จะเห็นได้จากตารางที่ 4.6

อัตราการใช้พลังงาน	N	E	S	W
SC ₁ >SHGC ₁	6.36%	7.82%	7.23%	6.06%
SC ₂ >SHGC ₂	9.83%	12.39%	8.40%	9.07%
SC ₃ >SHGC ₃	2.71%	7.79%	0.63%	5.37%

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความแตกต่างของใช้พลังงานในการปรับอากาศจากการหัน ทิศทางช่องเปิดอาคาร

4.4.5 ข้อสังเกตจากการทดลอง

จากการสังเกตแสงสว่างจากธรรมชาติที่ส่องผ่านช่องเปิดอาคารเข้ามาในห้องทดลองพบว่า ห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดจะสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้มากกว่าห้องทดลอง ที่ติดตั้งกระจกกันความร้อน เนื่องจากกระจกกันความร้อนมีสีเข้ม ค่าการส่องผ่านรังสีอาทิตย์ต่ำกว่า ในขณะที่ห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จะได้รับอิทธิพลจากรังสีอาทิตย์มากกว่า

ห้องทดลอง	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2	กรณีศึกษาที่ 3
SHGC mockup	220/2020 lux (DF=10.90%)	159/1910 lux (DF=4.83%)	32/1830 lux (DF=1.76%)
SC mockup	206/2220 lux (DF=9.28%)	167/2010 lux (DF=8.31%)	113/1771 lux (DF=6.38%)

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการส่องผ่านของแสงธรรมชาติเข้ามาในห้องทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

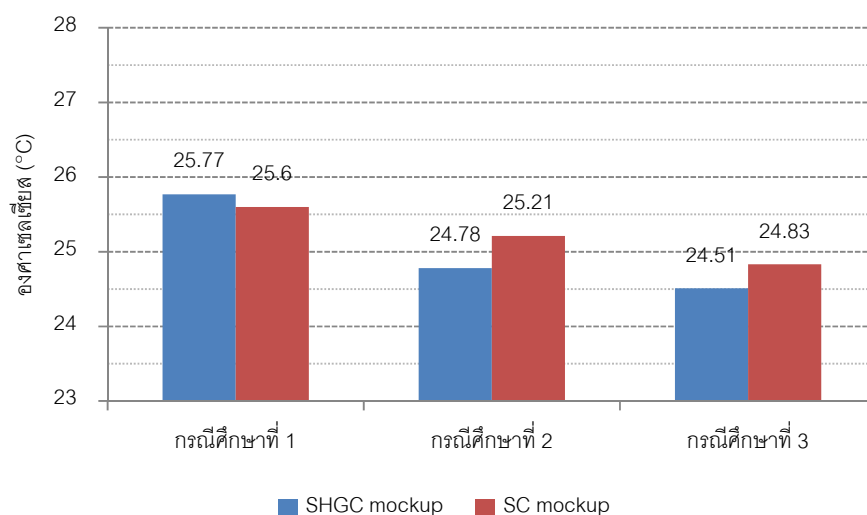
จากการศึกษาข้อมูล หลักการและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านทางส่วนที่เป็นผนังทึบและส่วนที่เป็นช่องเปิดอาคาร รวมถึงหลักการในการใช้พลังงานในการปรับอากาศในอาคาร เพื่อจะนำข้อมูลที่ได้ไปสู่การกำหนดการทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing) เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) ของกระจกกับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) ต่ออัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศในสภาพภูมิอากาศจริง ตลอดจนการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) เพื่อหาอิทธิพลของการหันทิศทางของช่องเปิดอาคารที่มีผลต่ออัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ จนสามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1. การวิเคราะห์ผลการทดลอง
2. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
3. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

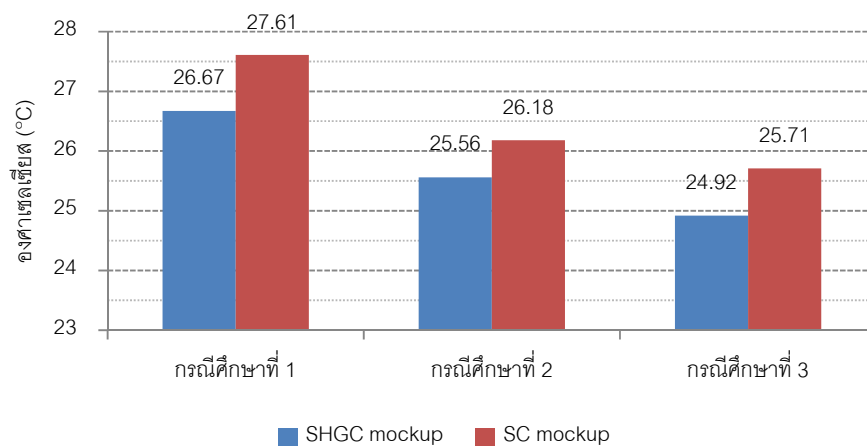
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1.1 วิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องเปิดเข้าสู่ห้องทดลองด้านพลังงาน

จากผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องเปิดเข้าสู่ห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์ประกอบช่องเปิดที่แตกต่างกันได้ผลบ่งชี้ว่า อุณหภูมิอากาศห้องทดลองพลังงานที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด (SC mockup) จะมีค่าต่ำกว่าห้องทดลองที่ติดตั้งกระจกกันความร้อน (SHGC mockup) เล็กน้อย (0.17°C) ในกรณีศึกษาที่ 1 แต่จะมีค่าสูงกว่าในกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 ($0.43, 0.32^{\circ}\text{C}$) เช่นเดียวกับค่าการแผ่รังสีความร้อน (MRT) ที่วัดได้จากเครื่องมือ globe thermometer ที่ห้องทดลอง SC mockup จะมีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SHGC mockup ทั้ง 3 กรณีศึกษา ($0.51, 0.62, 0.79^{\circ}\text{C}$) และจะมีแนวโน้มของค่าความแตกต่างสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งจะส่งผลให้ ห้องทดลอง SHGC mockup มีสภาวะความน่าสบายของมนุษย์ดีกว่าห้องทดลอง SC mockup ดังจะแสดงในแผนภูมิ 5.1 และ 5.2

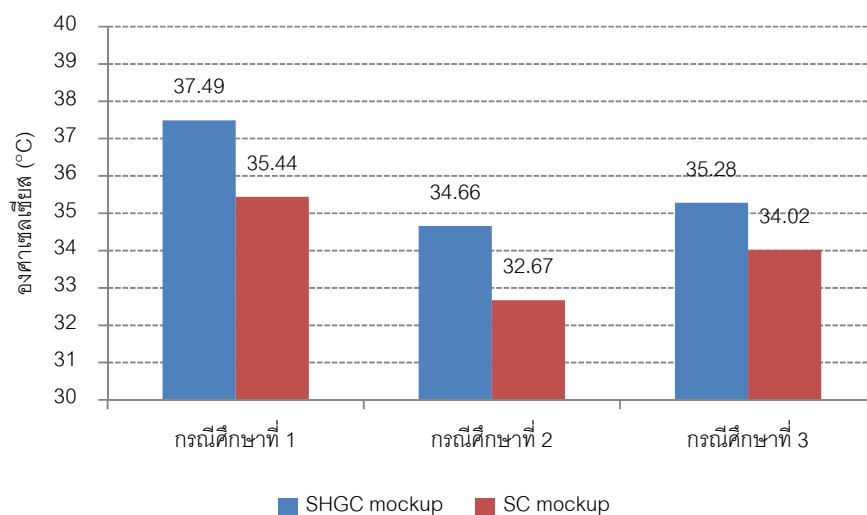


แผนภูมิที่ 5.1 แสดงค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) ภายในห้องทดลองของทั้ง 3 กรณีศึกษา



แผนภูมิที่ 5.2 แสดงค่า globe temperatureเฉลี่ย (°C) ในห้องทดลองของทั้ง 3 กรณีศึกษา

อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระจกก็เป็นพฤติกรรมที่ห้องทดลองทั้ง 2 ห้องทดลองแสดงออกมาแตกต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC mockup จะมีค่าสูงกว่าห้องทดลอง SC mockup ทั้ง 3 กรณีศึกษา (2.05 , 1.99 , 1.26 °C) อันเป็นผลมาจากสีของกระจกที่ห้องทดลอง SHGC mockup จะมีความเข้มกว่าห้องทดลอง SC mockup ประกอบกับห้องทดลอง SC mockup ได้มีเงาที่เกิดจากอุปกรณ์บังแดดบดบังรังสีตรง (direct beam) บางส่วนจากดวงอาทิตย์ จึงทำให้อุณหภูมิกระจกต่ำกว่า และเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกของห้องทดลอง SC mockup จะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก โดยจะมีอุณหภูมิสูงกว่าในช่วง 8.00 น. ไปจนถึงช่วงบ่าย (13.45 - 15.15 น.) ในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นอุณหภูมิกระจกจะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่ในกรณีศึกษาที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกจะต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกตลอดทั้งช่วงการทดลอง อันเป็นผลมาจากลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่บังรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ตรงข้ามกับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC mockup ที่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกทุกช่วงกรณีศึกษา (1.71 , 2.49 , 0.06 °C) โดยจะมีอุณหภูมิกระจกสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกในช่วงเช้าถึงบ่าย-เย็น (15.00 -16.30 น.) หลังจากนั้นก็มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

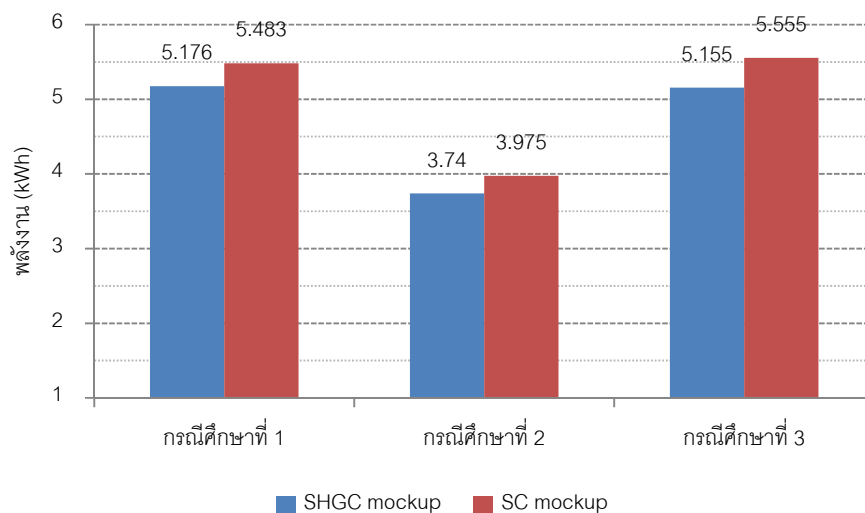


แผนภูมิที่ 5.3 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวกระจกของทั้ง 3 กรณีศึกษา

5.1.2 วิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

จากข้อมูลผลการทดลอง ได้บ่งชี้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) ของกระจกกับค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) มีอิทธิพลต่ออัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศในอัตราที่แตกต่างกัน โดยห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด (SC mockup) จะมีอัตราการใช้พลังงานมากกว่าห้องทดลองที่ติดตั้งกระจกกันความร้อน (SHGC mockup) ตลอดช่วงการเก็บผลการทดลอง (8.00-18.00 น.) ในทั้ง 3 กรณีศึกษา (SHGC และ SC = 0.54,0.39,0.24) โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของการใช้พลังงานอยู่ที่ 5.8% ในกรณีศึกษาที่ 1 , 6.1% ในกรณีศึกษาที่ 2 และ 7.5% ในกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งค่าความแตกต่างของอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อห้องทดลองด้านพลังงานมีการติดตั้งอุปกรณ์ประกอบช่องเปิดที่มีค่า SC และ SHGC ต่ำลง ดังจะเห็นได้จากแผนภูมิที่

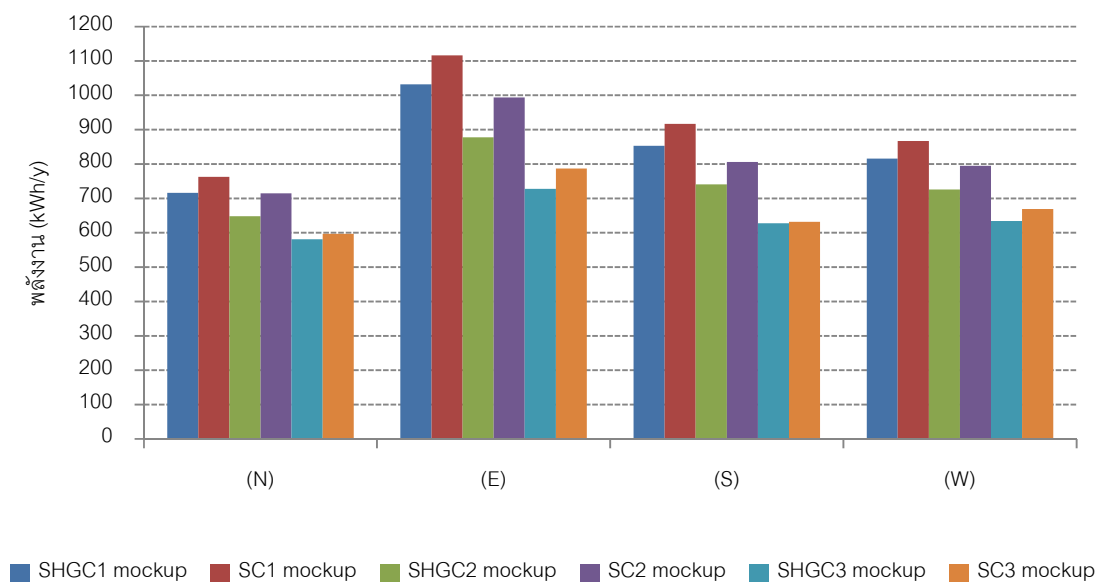
5.4



แผนภูมิที่ 5.4 แสดงอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ (kWh) ของทั้ง 3 กรณีศึกษา

5.1.3 วิเคราะห์อิทธิพลของการหันทิศทางช่องอาคารต่ออัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

จากข้อมูลผลการทดลองด้วยการจำลองสถานการณ์ (computer simulation) เพื่อหาอิทธิพลของการหันช่องเปิดอาคารต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศพบว่า การหันช่องเปิดทางทิศตะวันออกจะเป็นทิศที่ได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด ตามมาด้วยทิศใต้และทิศตะวันตก ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และทิศเหนือเป็นทิศที่ได้รับผลกระทบน้อยที่สุด โดยอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SHGC mockup จะใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยกว่าห้องทดลอง SC mockup ทุกการหันทิศทางช่องเปิดและทุกกรณีศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองด้วยห้องทดลองพลังงานในสภาพภูมิอากาศจริง และเมื่อค่า SHGC และ SC ลดลงอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศก็จะลดลงเสมอ



แผนภูมิที่ 5.5 แสดงอัตราการใช้พลังงาน (kWh/y) ในการปรับอากาศของการหันช่องเปิดทิศทางต่างๆ

อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของห้องทดลอง SHGC mockup จะมีค่าน้อยกว่าห้องทดลอง SC mockup ทุกกรณีศึกษา โดยจะมีค่าความแตกต่างมากที่สุดในกรณีศึกษาที่ 2 โดยในกรณีศึกษาที่ 1 จะมีค่าความแตกต่างรองลงมา และน้อยที่สุดที่กรณีศึกษาที่ 3 แสดงว่าเมื่อช่องเปิดอาคารมีการติดตั้งกระจกกันความร้อนที่มีค่า SHGC ในระดับกลาง (ประมาณ 0.40) จะทำให้ได้ประสิทธิผลในการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศดีที่สุดในเมื่อเทียบกับอุปกรณ์บังแดดที่มีค่า SC เท่ากัน

จากการออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่จะใช้เป็นตัวแปรของการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า การออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่มีค่า SC ต่ำ ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดก็จะเพิ่มขนาดขึ้นมากในอัตราส่วนแบบก้าวกระโดด เช่น อุปกรณ์บังแดดที่ติดเหนือขอบบนช่องเปิดให้ได้ค่า SC จำนวน 3 ค่าที่มีระยะห่างเท่ากัน คือ 0.65 , 0.47 และ 0.29 แต่ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดจะมีค่าเป็น 0.425 m. 0.90 m. และ 2.50 m. ซึ่งจะเห็นว่าระยะยื่นที่ 2 กับ 3 จะแตกต่างกันมาก และระยะ

เหล่านี้ก็จะเปลี่ยนแปลงตามทิศทางที่ช่องเปิดอาคารทำมุมกับดวงอาทิตย์ด้วย โดยทิศใต้จะเป็นทิศที่มีระยะยื่นน้อยที่สุด ตามมาด้วยทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศเหนือจะมีระยะยื่นมากที่สุด

5.2 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองจากการทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน (mockup energy testing) และการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) ได้พบว่าประสิทธิผลของการประหยัดพลังงานของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) ในกระจกกันความร้อนดีกว่าค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) ในทุกช่วงของค่าสัมประสิทธิ์ของการทดลอง โดยจะมีแนวโน้มความแตกต่างของประสิทธิผลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ กล่าวคือ ยังมีค่า SHGC และ SC ลดต่ำลง ค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานในการปรับอากาศจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับค่าสภาวะความน่าสบายของมนุษย์ ที่ห้องทดลองที่ติดตั้งกระจกกันความร้อนมีสภาวะความน่าสบายของมนุษย์ที่ดีกว่าห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด อันเป็นผลมาจากค่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองและค่า globe temperature ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่พื้นผิวกระจกของห้องทดลอง SHGC mockup จะสูงกว่าทั้ง 3 กรณีศึกษา

จากการสังเกตการทดลองในสภาพแวดล้อมจริงพบว่า ช่องเปิดของห้องทดลองทั้ง 2 ห้องในกรณีศึกษาที่ 1 มีปริมาณแสงสว่างจากธรรมชาติผ่านเข้ามาในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ($SHGC_1$ mockup = 9.28% , SC_1 mockup = 10.90%) แต่ในห้องทดลองที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด (SC mockup) จะมีแสงสว่างผ่านช่องเปิดอาคารเข้ามามากกว่าอย่างเห็นได้ชัด ($SHGC_2$ mockup = 4.83% , SC_2 mockup = 8.31% และ $SHGC_3$ mockup = 1.76% , SC_3 mockup = 6.38%) ซึ่งจะส่งผลให้การออกแบบอาคารที่ต้องการใช้แสงธรรมชาติเพื่อการประหยัดพลังงานในส่วนของการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างต้องคำนึงถึงในการออกแบบด้วย

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของอุปกรณ์ประกอบช่องเปิด กำหนดให้ (✓) = มากกว่า

	SHGC	SC
อัตราการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ	✓	
สภาวะความน่าสบาย	✓	
ความเย็นเฉลี่ยผิวกระจก		✓
การนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร		✓

ผลกระทบที่เกิดจากทิศทางของช่องเปิดอาคารก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศ โดยจะสรุปได้ดังนี้

- อัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศของช่องเปิดที่หันไปทางทิศตะวันออกจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือทิศใต้และทิศตะวันตกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน และการหันช่องเปิดทางทิศเหนือจะมีอัตราการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่ำที่สุด
- การหันช่องเปิดไปทางทิศตะวันออกจะมีค่าความแตกต่างในประสิทธิภาพของค่า SHGC ที่มากกว่าค่า SC สูงที่สุด และทิศใต้จะมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุด ดังนั้นทิศหากต้องการมุ่งเน้นการประหยัดพลังงานในการปรับอากาศ ควรใช้กระจกกันความร้อนเป็นอุปกรณ์ประกอบช่องเปิดทางทิศตะวันออก
- การทิศทางช่องเปิดอาคารมีอิทธิพลต่อการออกแบบอุปกรณ์บังแดด กล่าวคือ เมื่อทำการออกแบบอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่ติดอยู่เหนือช่องเปิด ให้ได้อุปกรณ์บังแดดที่มีค่า SC หนึ่ง การหันช่องเปิดไปทางทิศใต้จะทำให้ขนาดของอุปกรณ์บังแดดมีขนาดเล็กที่สุด ตามมาด้วยทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศเหนือจะเป็นทิศที่มีขนาดอุปกรณ์บังแดดใหญ่ที่สุด โดยขนาดของอุปกรณ์บังแดดที่ใช้ในการทดลองนี้ เมื่อมีการออกแบบเพื่อหาค่า SC ของทั้ง 3 กรณีศึกษาที่มีค่าความแตกต่างเท่ากัน ($0.54 > 0.39 > 0.24$) ขนาดของอุปกรณ์บังแดดจะเพิ่มขนาดขึ้นในอัตราส่วนแบบก้าวกระโดด ดังนั้นการออกแบบอุปกรณ์บังแดด ต้องคำนึงถึงทิศทางที่ช่องเปิดกระทำกับดวงอาทิตย์ได้

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบช่องเปิดอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ต่างกันเพียง 3 กรณีศึกษา และถูกจำกัดด้วยชนิดของกระจกสะท้อนความร้อน หน้า 6 mm. เพียงชนิดเดียว หากต้องการการทดลองที่สมบูรณ์ ควรทำการทดลองด้วยจำนวนช่วงกรณีศึกษา และชนิดกระจกที่หลากหลายมากกว่านี้

2. ขนาดของห้องทดลองในการทดลองนี้ สามารถทดสอบผลกระทบในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารในส่วนของ perimeter zone ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากสภาวะภายนอก แต่ถ้าหากเพิ่มขนาดความลึกของห้องทดลองได้เกินกว่า 4.5 m. จะมาสามารถวัดผลกระทบที่มีต่อ interior zone ของอาคารได้

3. การกำหนดประเภทการใช้งานของอาคารที่ทำการศึกษา อาจจะเปลี่ยนแปลงเพื่อหาผลกระทบที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากช่วงเวลาการใช้งานของอาคารประเภทสำนักงาน เช่น การหาผลกระทบของอาคารที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อตรวจสอบการใช้งานอุปกรณ์ประกอบช่องเปิดที่เหมาะสมที่สุด

4. ประสิทธิภาพของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain coefficient, SHGC) ของกระจกและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (shading coefficient, SC) จากการทดลองจะเห็นว่ามีประสิทธิภาพต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นการทำการทดลองอย่างละเอียดในสภาวะแวดล้อมจริงในประเทศไทย โดยการทดลองตลอดทั้งปีและการหันทิศทางของช่องเปิดเป็น 8 ทิศทาง จะสามารถที่จะหาค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องจนนำไปสู่การหาค่าคงที่ที่สามารถนำไปรวมกับสมการการหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร (OTTV) ที่ถูกต้องมากที่สุดได้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัญจน์ พิเชฐศิลป์. แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

จิตติมา กลั่นหอม. แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในอาคาร สำหรับช่องเปิด

อาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ธนิศ จินดาวงศ์. เอกสารประกอบการสอน การอนุรักษ์พลังงานในการออกแบบสถาปัตยกรรม.

กรุงเทพฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ประวิตร กิตติชาติธรณี. ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์กันแดดแบบผนัง 2 ชั้น :

กรณีศึกษาอาคารพักอาศัยในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

พัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน “เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่”. เอกสารตีพิมพ์เผยแพร่. กรุงเทพฯ : ม.ท.ป., 2551

วรุฒิ ศิริรัฐภูง. กรณีศึกษาแบบช่องเปิดสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา

โทบริหารธุรกิจ , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT). โครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม ,
2547.

สุนทร บุญญาธิการ . เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ :

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สรณียา หมั่นดี. อิทธิพลของวัสดุผนังและช่องเปิดต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารรูปทรงปิระมิด :

กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยมหาวชิราลงกรรรม วัดพระศรีรัตนมหาธาตุวชิราลงกรรรม จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต , ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรรรมมหาวิทยาลัย, 2549.

อริวัฒน์ อัครพิทยานนท์. ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคารจากการประยุกต์ใช้ผนังเฉียงใน

เขตร้อนชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะ

สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, 2553.

อรรถจักร์ เศรษฐบุตร. เอกสารประกอบการสอน “Building Heat Transfer OTTV / RTTV”. กรุงเทพฯ :

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรรรมมหาวิทยาลัย, 2553.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering. 2001 ASHRAE Handbook Fundamental S-I Edition. Atlanta, Georgia: 2001.

Button, D., and Pye, B. Glass in Building: Gukde to Mordern Architectural Glass Performance. Jordan Hill, Oxford: Butterworth Architecture, 1993.

Danish Cooperation for Environment and Development (DANCED) “การศึกษาทบทวนแนวทางการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานในภูมิอากาศแบบร้อน-ชื้นทั้งในและต่างประเทศ”. กรุงเทพฯ, 2552.

Fuller, M. Environmental control systems: heating, cooling, lighting. New York: McGraw-Hill, 1993.

Lechner, N. Heating. Cooling. Lighting. New York: John Wiley&Sons. 1991.

Olgay, V. Design with Climate. New Jersey: Princeton University Press. 1992.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. การทดสอบความน่าเชื่อถือของสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermocouple) ด้วย
วิธีการแช่ในน้ำร้อน

การทดสอบความน่าเชื่อถือด้วยวิธีนี้ จะเป็นการนำหัวของสาย thermocouple จุ่มลงไปใต้น้ำเดือด แล้วปล่อยให้หัวของสาย thermocouple อยู่นาน 1 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิของหัว thermocouple ทุกๆ 1 นาที เพื่อตรวจสอบการวัดค่าของหัวทั้งหมด 14 หัว

Time	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
17:15	89.3	-69.16	82.49	76.76	81.27	77.83	87.83	82.49	85.06	85.06	85.06	87.83	1.17	87.83
17:16	95.87	-69.16	95.87	94.11	95.87	94.11	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	95.87	1.17	95.87
17:17	92.44	-69.16	92.44	92.44	92.44	90.83	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	92.44	1.17	92.44
17:18	90.83	-69.16	90.83	89.3	90.83	89.3	89.3	89.3	89.3	90.83	89.3	90.83	1.17	90.83
17:19	87.83	-69.16	89.3	87.83	89.3	87.83	86.42	87.83	87.83	87.83	89.3	87.83	1.17	87.83
17:20	86.42	-69.16	86.42	86.42	87.83	86.42	82.49	86.42	86.42	86.42	87.83	86.42	1.17	86.42
17:21	85.06	-69.16	85.06	85.06	85.06	83.75	83.75	85.06	83.75	85.06	85.06	85.06	1.17	85.06
17:22	83.75	-69.16	83.75	82.49	83.75	82.49	82.49	82.49	82.49	82.49	83.75	83.75	1.17	83.75
17:23	82.49	-69.16	82.49	81.27	82.49	81.27	81.27	81.27	81.27	81.27	82.49	81.27	1.17	82.49
17:24	81.27	-69.16	80.09	80.09	80.09	78.94	80.09	80.09	80.09	80.09	80.09	80.09	1.17	81.27
17:25	78.94	-69.16	78.94	78.94	78.94	77.83	78.94	78.94	78.94	78.94	78.94	78.94	1.17	78.94
17:26	77.83	-69.16	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	77.83	1.17	77.83
17:27	76.76	-69.16	76.76	76.76	76.76	75.71	76.76	76.76	76.76	76.76	76.76	76.76	1.17	76.76
17:28	75.71	-69.16	75.71	75.71	75.71	74.69	75.71	75.71	75.71	75.71	75.71	75.71	1.17	75.71
17:29	74.69	-69.16	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	74.69	1.17	74.69
17:30	73.7	-69.16	73.7	73.7	73.7	72.74	73.7	73.7	73.7	72.74	73.7	72.74	0.73	73.7
17:31	72.74	-69.16	72.74	72.74	72.74	71.8	72.74	72.74	72.74	72.74	72.74	72.74	0.73	72.74
17:32	72.74	-69.16	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8	71.8	1.17	71.8

Time	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
17:33	70.88	-69.16	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	70.88	1.17	70.88
17:34	69.98	-69.16	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	69.98	1.17	69.98
17:35	69.98	-69.16	69.11	69.11	69.98	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	69.11	1.17	69.98
17:36	68.25	-69.16	68.25	67.42	68.25	67.42	68.25	68.25	68.25	68.25	68.25	67.42	1.17	68.25
17:37	68.25	-69.16	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	67.42	66.6	1.17	67.42
17:38	66.6	-69.16	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6	1.17	66.6
17:39	65.79	-69.16	65.79	65.79	66.6	65.01	65.79	65.79	65.79	65.79	66.6	65.79	0.73	66.6
17:40	65.79	-69.16	65.01	65.01	65.01	65.01	65.01	65.79	65.01	65.01	65.79	65.01	0.73	65.79
17:41	65.01	-69.16	65.01	64.24	65.01	64.24	64.24	65.01	65.01	64.24	65.01	64.24	0.73	65.01
17:42	64.24	-69.16	64.24	63.48	64.24	64.24	64.24	64.24	63.48	63.48	64.24	63.48	1.17	64.24
17:43	64.24	-69.16	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	63.48	0.73	64.24
17:44	63.48	-62.25	62.74	62.74	62.74	62.74	62.74	63.48	62.74	62.74	63.48	62.01	1.17	62.74
17:45	62.74	-47.72	62.74	62.01	62.74	62.01	62.01	62.74	62.01	62.01	62.74	62.01	0.73	62.01
17:46	62.01	-37.97	62.01	61.29	62.01	61.29	61.29	62.01	62.01	62.01	62.01	61.29	0.73	62.01
17:47	61.29	-69.16	61.29	61.29	61.29	60.59	60.59	61.29	61.29	60.59	61.29	60.59	0.73	61.29
17:48	61.29	-69.16	60.59	60.59	61.29	60.59	60.59	60.59	60.59	60.59	61.29	60.59	0.73	60.59
17:49	60.59	-39.58	60.59	59.9	60.59	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	59.9	0.73	59.9
17:50	59.9	-69.16	59.9	59.9	59.9	59.22	59.22	59.9	59.9	59.22	59.9	59.9	0.73	59.9
17:51	59.22	-69.16	59.22	59.22	59.22	58.55	59.22	59.22	59.22	59.22	59.22	58.55	0.73	59.22
17:52	59.22	-69.16	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	58.55	57.89	58.55	57.89	0.73	58.55
17:53	57.89	-69.16	58.55	57.89	58.55	57.24	57.89	57.89	58.55	57.89	58.55	57.89	0.73	58.55
17:54	57.89	-62.25	57.89	57.24	57.89	57.24	57.24	57.89	57.89	57.89	57.89	57.24	0.73	57.89
17:55	57.24	-69.16	57.24	56.6	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	57.24	56.6	0.73	57.24
17:56	57.24	-69.16	57.24	56.6	57.24	56.6	57.24	57.24	56.6	56.6	57.24	56.6	0.73	57.24
17:57	56.6	-69.16	56.6	55.97	56.6	55.97	56.6	56.6	56.6	56.6	56.6	55.97	0.73	56.6
17:58	55.97	-69.16	55.97	55.35	55.97	55.97	55.97	55.97	55.97	55.97	55.97	55.35	0.73	56.6
17:59	55.35	-69.16	55.35	55.35	55.35	55.35	55.35	55.97	55.35	55.35	55.97	55.35	0.73	55.35
18:00	55.35	-69.16	55.35	54.74	55.35	54.74	55.35	55.35	55.35	54.74	55.35	54.74	0.73	55.35
18:01	54.74	-69.16	54.74	54.74	55.35	54.74	54.74	54.74	54.74	54.74	54.74	54.13	0.73	54.74
18:02	54.74	-69.16	54.74	54.13	54.74	54.13	54.13	54.74	54.13	54.13	54.74	54.13	0.73	54.74
18:03	54.13	-69.16	54.13	53.53	54.13	53.53	53.53	54.13	54.13	53.53	54.13	53.53	0.73	54.13
18:04	54.13	-69.16	54.13	53.53	54.13	53.53	53.53	54.13	53.53	53.53	53.53	52.95	0.73	53.53
18:05	53.53	-69.16	53.53	52.95	53.53	52.95	52.95	53.53	53.53	52.95	53.53	52.95	0.73	53.53
18:06	53.53	-69.16	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.95	52.37	52.95	52.37	0.73	52.95
18:07	52.95	-69.16	52.37	52.37	52.95	52.37	52.37	52.95	52.37	52.37	52.95	52.37	0.73	52.37
18:08	52.37	-69.16	52.37	51.79	52.37	52.37	52.37	52.37	52.37	52.37	52.37	51.79	0.73	52.37
18:09	52.37	-69.16	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	51.79	52.37	51.79	0.73	52.37
18:10	51.79	-69.16	51.79	51.22	51.79	51.22	51.22	51.79	51.79	51.79	51.79	51.22	0.73	51.79

Time	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
18:11	51.79	-69.16	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.22	51.79	50.66	0.73	51.22
18:12	51.22	-69.16	50.66	50.66	51.22	50.66	50.66	51.22	51.22	50.66	51.22	50.66	0.73	50.66
18:13	50.66	-69.16	50.66	50.11	50.66	50.66	50.66	50.66	50.66	50.66	50.66	50.11	0.73	50.66
18:14	50.66	-69.16	50.66	50.11	50.66	50.11	50.11	50.66	50.11	50.66	50.66	50.11	0.73	50.66
18:15	50.11	-69.16	50.11	50.11	50.11	49.56	50.11	50.11	50.11	50.11	50.11	49.56	0.73	50.11
18:16	50.11	-69.16	49.56	49.56	50.11	49.56	49.56	50.11	49.56	49.56	50.11	49.56	0.73	50.11
18:17	49.56	-69.16	49.56	49.56	49.56	49.02	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.02	0.73	50.11
18:18	49.56	-69.16	49.02	49.02	49.56	49.02	49.02	49.56	49.02	49.02	49.56	49.02	0.73	49.56
18:19	49.56	-47.72	49.02	48.49	49.02	49.02	49.02	49.02	49.02	49.02	49.02	48.49	0.73	49.02
18:20	49.02	-69.16	49.02	48.49	49.02	48.49	48.49	49.02	48.49	48.49	49.02	48.49	0.73	49.02
18:21	48.49	-69.16	48.49	47.96	48.49	47.96	48.49	48.49	48.49	48.49	48.49	47.96	0.73	48.49
18:22	48.49	-69.16	47.96	47.96	48.49	47.96	48.49	48.49	47.96	47.96	48.49	47.96	0.73	48.49
18:23	47.96	-69.16	47.96	47.43	47.96	47.43	47.96	47.96	47.96	47.96	47.96	47.96	0.73	47.96
18:24	47.43	-69.16	47.96	47.43	47.96	47.43	47.43	47.96	47.43	47.96	47.96	47.43	0.73	47.96
18:25	47.43	-69.16	47.43	47.43	47.96	47.43	47.43	47.43	47.43	47.43	47.43	46.91	0.73	47.43
18:26	47.43	-69.16	47.43	46.91	47.43	46.91	47.43	47.43	46.91	46.91	47.43	46.91	0.73	47.43
18:27	47.43	-69.16	46.91	46.4	46.91	46.4	46.91	46.91	46.91	46.91	47.43	46.4	0.73	46.91
18:28	46.91	-69.16	46.91	46.4	46.91	46.4	46.4	46.91	46.91	46.91	46.91	46.4	0.73	46.91
18:29	46.91	-69.16	46.4	46.4	46.91	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	46.91	45.89	0.73	46.4
18:30	46.4	-69.16	46.4	45.89	46.4	46.4	46.4	46.4	46.4	45.89	46.4	45.89	0.73	46.4
18:31	46.4	-69.16	45.89	45.89	46.4	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89	46.4	45.89	0.73	46.4
18:32	45.89	-69.16	45.89	45.89	46.4	45.39	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89	45.89	0.73	45.89
18:33	45.89	-69.16	45.89	45.39	45.89	45.39	45.39	45.89	45.89	45.39	45.89	45.39	0.73	45.89
18:34	45.89	-69.16	45.89	45.39	45.89	45.39	45.39	45.39	45.39	45.39	45.89	44.89	0.73	45.89
18:35	45.39	-69.16	45.39	44.89	45.39	44.89	45.39	45.39	45.39	44.89	45.39	44.89	0.73	45.39
18:36	45.39	-69.16	45.39	44.89	45.39	44.89	44.89	45.39	44.89	44.89	45.39	44.89	0.73	45.39
18:37	45.39	-69.16	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.89	44.4	45.39	44.4	0.73	45.39
18:38	44.89	-69.16	44.89	44.4	44.89	44.4	44.4	44.89	44.89	44.4	44.89	44.4	0.73	44.89
18:39	44.89	-69.16	44.4	44.4	44.4	44.4	44.89	44.4	44.4	44.4	44.89	44.4	0.73	44.4
18:40	44.4	-69.16	44.4	43.91	44.4	43.91	44.4	44.4	44.4	44.4	44.4	43.91	0.73	44.4
18:41	44.4	-69.16	43.91	43.91	44.4	43.91	43.91	44.4	43.91	43.91	44.4	43.91	0.73	44.4
18:42	43.91	-69.16	43.91	43.91	44.4	43.42	43.91	43.91	43.91	43.91	44.4	43.42	0.73	44.4
18:43	43.91	-69.16	43.91	43.42	43.91	43.42	43.42	43.91	43.91	43.42	43.91	43.42	0.73	43.91
18:44	43.91	-69.16	43.91	43.42	43.91	43.42	43.42	43.91	43.42	43.42	43.91	43.42	0.73	43.91
18:45	43.42	-69.16	43.42	43.42	43.91	42.94	43.42	43.42	43.42	43.42	43.91	43.42	0.73	43.91
18:46	43.42	-69.16	43.42	42.94	43.42	42.94	42.94	43.42	43.42	43.42	43.42	42.94	0.73	43.42
18:47	43.42	-69.16	43.42	42.94	43.42	42.94	42.94	43.42	42.94	42.94	43.42	42.94	0.73	43.42
18:48	43.42	-69.16	42.94	42.94	43.42	42.94	42.94	42.94	42.94	42.94	42.94	42.46	0.29	42.94

Time	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
18:49	42.94	-69.16	42.94	42.46	42.94	42.46	42.46	42.94	42.94	42.46	42.94	42.46	0.73	42.94
18:50	42.94	-69.16	42.94	42.46	42.94	42.46	42.46	42.46	42.46	42.46	42.94	42.46	0.29	42.94
18:51	42.46	-69.16	42.46	42.46	42.94	41.99	42.46	42.46	42.46	42.46	42.46	41.99	0.29	42.46
18:52	42.46	-69.16	42.46	41.99	42.46	41.99	41.99	42.46	42.46	41.99	42.46	41.99	0.29	42.46
18:53	42.46	-69.16	42.46	41.99	42.46	41.99	41.99	42.46	41.99	41.99	42.46	41.99	0.29	42.46
18:54	42.46	-69.16	41.99	41.99	42.46	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99	41.99	41.52	0.29	42.46
18:55	41.99	-69.16	41.99	41.52	41.99	41.52	41.99	41.99	41.99	41.52	41.99	41.52	0.73	41.99
18:56	41.99	-69.16	41.52	41.52	41.99	41.52	41.52	41.99	41.52	41.52	41.99	41.52	0.29	41.99
18:57	41.52	-69.16	41.52	41.52	41.99	41.52	41.52	41.52	41.52	41.52	41.99	41.05	0.29	41.99
18:58	41.52	-69.16	41.52	41.05	41.52	41.05	41.05	41.52	41.52	41.05	41.52	41.05	0.29	41.52
18:59	41.52	-69.16	41.52	41.05	41.52	41.05	41.05	41.52	41.05	41.05	41.52	41.05	0.29	41.52
19:00	41.52	-69.16	41.05	41.05	41.52	40.59	41.05	41.05	41.05	41.05	41.52	41.05	0.29	41.52
19:01	41.05	-69.16	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	41.05	40.59	0.29	41.05
19:02	41.05	-69.16	41.05	40.59	41.05	40.59	40.59	41.05	41.05	41.05	41.05	40.59	0.29	41.05
19:03	41.05	-69.16	40.59	40.59	41.05	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	41.05	40.59	0.29	41.05
19:04	41.05	-69.16	40.59	40.13	40.59	40.13	40.59	40.59	40.59	40.59	40.59	40.13	0.73	41.05
19:05	40.59	-69.16	40.59	40.13	40.59	40.13	40.59	40.59	40.59	40.13	40.59	40.13	0.29	40.59
19:06	40.59	-69.16	40.59	40.13	40.59	40.13	40.13	40.59	40.13	40.13	40.59	40.13	0.73	40.59
19:07	40.59	-69.16	40.13	40.13	40.59	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	39.67	0.29	40.59
19:08	40.13	-69.16	40.13	40.13	40.59	39.67	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	39.67	0.29	40.59
19:09	40.13	-69.16	40.13	39.67	40.13	39.67	40.13	40.13	40.13	40.13	40.13	39.67	0.29	40.13
19:10	40.13	-69.16	40.13	39.67	40.13	39.67	39.67	40.13	39.67	39.67	40.13	39.67	0.29	40.13
19:11	40.13	-69.16	39.67	39.67	40.13	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	0.29	40.13
19:12	39.67	-69.16	39.67	39.67	39.67	39.22	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.22	0.29	40.13
19:13	39.67	-69.16	39.67	39.22	39.67	39.22	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	39.22	0.29	39.67
19:14	39.67	-69.16	39.22	39.22	39.67	39.22	39.22	39.67	39.22	39.22	39.67	39.22	0.29	39.67
19:15	39.67	-69.16	39.22	38.77	39.67	38.77	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	38.77	0.29	39.67
19:16	39.22	-69.16	39.22	38.77	39.67	38.77	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	38.77	0.29	39.67
19:17	39.22	-69.16	38.77	38.77	39.22	38.77	38.77	39.22	38.77	38.77	39.22	38.77	0.29	39.22
19:18	39.22	-69.16	39.22	38.77	39.22	38.77	38.77	38.77	39.22	38.77	39.22	38.77	0.29	39.22
19:19	39.22	-69.16	38.77	38.77	39.22	38.32	38.77	38.77	38.77	38.77	38.77	38.32	0.29	39.22
19:20	38.77	-69.16	38.77	38.32	38.77	38.32	38.77	38.77	38.77	38.77	38.77	38.32	0.29	38.77
19:21	38.77	-69.16	38.77	38.32	38.77	38.32	38.32	38.77	38.77	38.32	38.77	38.32	0.29	38.77
19:22	38.77	-69.16	38.32	38.32	38.77	38.32	38.32	38.32	38.32	38.32	38.77	38.32	0.29	38.77
19:23	38.32	-69.16	38.32	38.32	38.77	37.88	38.32	38.32	38.32	38.32	38.32	37.88	0.29	38.77
19:24	38.32	-69.16	38.32	37.88	38.32	37.88	38.32	38.32	38.32	38.32	38.32	37.88	0.29	38.32
19:25	38.32	-69.16	38.32	37.88	38.32	37.88	37.88	38.32	37.88	37.88	38.32	37.88	0.29	38.32
19:26	38.32	-69.16	38.32	37.88	38.32	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	38.32	37.88	0.29	38.32

Time	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
19:27	37.88	-69.16	37.88	37.88	38.32	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	0.29	38.32
19:28	37.88	-69.16	37.88	37.88	38.32	37.44	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	0.29	38.32
19:29	37.88	-62.25	37.88	37.88	37.88	37.44	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.44	0.29	37.88
19:30	37.88	-69.16	37.88	37.44	37.88	37.44	37.88	37.88	37.88	37.88	37.88	37.44	0.29	37.88
19:31	37.88	-69.16	37.88	37.44	37.88	37.44	37.44	37.44	37.88	37.44	37.88	37.44	0.29	37.88
19:32	37.88	-69.16	37.44	37.44	37.88	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	0.29	37.88
19:33	37.44	-36.46	37.44	37.44	37.88	37.00	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.00	0.29	37.88
19:34	37.44	-69.16	37.44	37.00	37.44	37.00	37.44	37.44	37.44	37.44	37.44	37.00	0.29	37.44
19:35	37.44	-69.16	37.44	37.00	37.44	37.00	37.44	37.44	37.44	37.00	37.44	37.00	0.29	37.44
19:36	37.44	-69.16	37.44	37.00	37.44	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	37.44	37.00	0.29	37.44
19:37	37.44	-69.16	37.00	37.00	37.44	36.57	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	36.57	0.29	37.44
19:38	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.44	36.57	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	36.57	0.29	37.44
19:39	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.00	36.57	37.00	37.00	37.00	37.00	37.00	36.57	0.29	37.00
19:40	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.00	36.57	37.00	37.00	37.00	36.57	37.00	36.57	0.29	37.00
19:41	37.00	-69.16	37.00	36.57	37.00	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	37.00	36.57	0.29	37.00
19:42	37.00	-69.16	36.57	36.13	37.00	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	37.00	36.57	0.29	37.00
19:43	36.57	-69.16	36.57	36.13	37.00	36.13	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.13	0.29	37.00
19:44	36.57	-69.16	36.57	36.13	36.57	36.13	36.57	36.57	36.57	36.57	36.57	36.13	0.29	36.57
19:45	36.57	-69.16	36.57	36.13	36.57	36.13	36.57	36.57	36.57	36.13	36.57	36.13	0.29	36.57
19:46	36.57	-69.16	36.13	36.13	36.57	36.13	36.13	36.57	36.13	36.13	36.57	36.13	0.29	36.57
19:47	36.57	-69.16	36.13	36.13	36.57	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	36.57	36.13	0.29	36.57
19:48	36.13	-69.16	36.13	36.13	36.57	35.7	36.13	36.13	36.13	36.13	36.13	35.7	0.29	36.57
19:49	36.13	-69.16	36.13	35.7	36.13	35.7	36.13	36.13	35.7	36.13	36.13	35.7	0.29	36.57
19:50	36.13	-69.16	36.13	35.7	36.13	35.27	35.7	35.7	36.13	35.7	36.13	35.7	0.29	36.13
19:51	36.13	-69.16	35.7	35.7	36.13	35.27	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	35.27	0.29	36.13
19:52	35.7	-69.16	35.7	35.27	35.7	35.27	35.27	35.7	35.7	35.7	35.7	35.27	0.29	36.13
19:53	35.7	-69.16	35.27	35.27	35.7	35.27	35.7	35.27	35.27	35.7	35.7	35.27	0.29	35.7
19:54	35.27	-69.16	35.27	35.27	35.7	34.85	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	34.85	0.29	35.7
19:55	35.27	-69.16	35.27	35.27	35.27	34.85	35.27	35.27	35.27	35.27	35.27	34.85	0.29	35.7
19:56	35.27	-69.16	35.27	34.85	35.27	34.85	34.85	35.27	35.27	35.27	35.27	34.85	0.29	35.27
19:57	35.27	-69.16	35.27	34.85	35.27	34.85	34.85	34.85	34.85	34.85	35.27	34.85	0.29	35.27
19:58	34.85	-69.16	34.85	34.85	35.27	34.43	34.85	34.85	34.85	34.85	34.85	34.43	0.29	35.27
19:59	34.85	-69.16	34.85	34.43	34.85	34.43	34.85	34.85	34.85	34.85	34.85	34.43	0.29	35.27
20:00	34.85	-69.16	34.85	34.43	34.85	34.43	34.43	34.85	34.85	34.43	34.85	34.43	0.29	34.85
20:01	34.43	-69.16	34.43	34.43	34.85	34.01	34.43	34.43	34.43	34.43	34.85	34.01	0.29	34.85
20:02	34.43	-69.16	34.43	34.01	34.85	34.01	34.43	34.43	34.43	34.43	34.43	34.01	0.29	34.85
20:03	34.43	-69.16	34.43	34.01	34.85	34.01	34.01	34.43	34.43	34.43	34.43	34.01	0.29	34.43
20:04	34.43	-69.16	34.43	34.01	34.43	33.59	34.01	34.01	34.43	34.01	34.43	33.59	0.29	34.43

Time	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-13	T-14
20:05	34.01	-69.16	34.01	34.01	34.43	33.59	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	33.59	0.29	34.43
20:06	34.01	-69.16	34.01	33.59	34.43	33.59	34.01	34.01	34.01	34.01	34.01	33.59	0.29	34.01
20:07	34.01	-69.16	34.01	33.59	34.01	33.59	33.59	34.01	34.01	34.01	34.01	33.59	0.29	34.01
20:08	34.01	-69.16	33.59	33.59	34.01	33.17	33.59	33.59	33.59	33.59	34.01	33.59	0.29	34.01
20:09	33.59	-69.16	33.59	33.17	34.01	33.17	33.59	33.59	33.59	33.59	33.59	33.17	0.29	34.01
20:10	33.59	-69.16	33.59	33.17	34.01	33.17	33.59	33.17	33.59	33.59	33.59	33.17	0.29	34.01
20:11	33.59	-69.16	33.59	33.17	33.59	33.17	33.59	33.17	33.59	33.17	33.59	33.17	0.29	33.59
20:12	33.59	-69.16	33.17	32.76	33.59	33.17	33.17	33.17	33.17	33.17	33.59	33.17	0.29	33.59
20:13	33.17	-69.16	33.17	32.76	33.59	32.76	33.17	33.17	33.17	33.17	33.17	32.76	0.29	33.17
20:14	33.17	-69.16	33.17	32.76	33.17	32.76	33.17	32.76	33.17	33.17	33.17	32.76	0.29	33.17
20:15	33.17	-69.16	33.17	32.76	33.17	32.34	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	0.29	33.17
20:16	32.76	-69.16	32.76	32.34	33.17	32.34	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	0.29	33.17
20:17	32.76	-69.16	32.76	32.34	33.17	31.93	32.76	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	-0.16	33.17
20:18	32.76	-69.16	32.76	32.34	32.76	32.34	32.34	32.76	32.76	32.76	32.76	32.34	-0.16	32.76
20:19	32.76	-69.16	32.34	31.93	32.76	31.93	32.34	32.34	32.34	32.34	32.34	31.93	0.29	32.76
20:20	32.34	-69.16	32.34	31.93	32.76	31.93	32.34	32.34	32.34	32.34	32.34	31.93	-0.16	32.76
20:21	27.52	29.9	27.52	29.1	29.1	29.9	29.1	28.7	29.9	28.31	27.91	29.1	-0.16	27.12
20:22	28.31	-69.16	25.95	27.12	26.34	28.31	28.31	27.52	27.91	27.52	27.12	27.91	1.17	26.34

2. การทดสอบความน่าเชื่อถือของสายวัดอุณหภูมิอัตโนมัติ (thermocouple) และ เครื่องเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิอัตโนมัติ (data logger) ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลใน สภาวะแบบปิด

การทดสอบในสภาวะแบบปิดจะทำการติดตั้งหัว thermocouple ทั้ง 14 หัวไว้ในห้องที่ไม่มี
การเคลื่อนไหวใดๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยจะทดสอบ 2 รอบเพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของหัว
ทั้งหมด

ตารางแสดงค่าการทดสอบครั้งที่ 1 (thermocouple)

Time	T-1	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-14
22:00	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.70
22:15	28.31	28.31	27.91	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31
22:30	28.31	27.91	27.91	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31
22:45	28.31	27.91	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	27.91	27.91	28.31
23:00	28.31	27.91	27.91	28.31	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	28.31
23:15	27.91	27.91	27.52	28.31	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	28.31
23:30	27.91	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91
23:45	27.91	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91
0:00	27.91	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
0:15	27.91	27.52	27.52	27.91	27.91	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
0:30	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
0:45	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.91
1:00	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.91
1:15	27.52	27.52	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.91
1:30	27.52	27.52	27.12	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52
1:45	27.52	27.52	27.12	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:00	27.52	27.52	27.12	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:15	27.52	27.12	27.12	27.52	27.52	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:30	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
2:45	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.52
3:00	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.52
3:15	27.12	27.12	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.52
3:30	27.12	27.12	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.73	27.52
3:45	27.12	26.73	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12
4:00	27.12	26.73	26.73	27.12	27.12	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12

Time	T-1	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-14
4:15	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12	26.73	27.12
4:30	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	27.12
4:45	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
5:00	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
5:15	26.73	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
5:30	26.73	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73
5:45	26.73	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
6:00	26.73	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
6:15	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
6:30	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.73
6:45	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:00	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:15	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:30	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
7:45	26.34	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
8:00	26.73	26.34	26.34	26.73	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.73
8:15	26.73	26.34	26.34	26.73	26.73	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73	26.34	26.73
8:30	26.73	26.73	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
8:45	27.12	26.73	26.73	27.12	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	27.12
9:00	27.12	27.12	26.73	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	26.73	27.12
9:15	27.52	27.12	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52	27.12	27.52
9:30	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.91
9:45	27.91	27.52	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91	27.52	27.91
10:00	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91	27.91
10:15	28.31	28.31	27.91	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31	27.91	28.31
10:30	28.70	28.31	28.31	28.70	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.70
10:45	29.10	28.70	28.70	29.10	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.31	28.70

Time	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Data 6	Data 7
7:00	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
7:15	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
7:30	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
7:45	26.34	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
8:00	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
8:15	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73	26.73
8:30	26.73	27.12	26.73	26.73	27.12	27.12	26.73
8:45	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12	27.12
9:00	27.12	27.52	27.12	27.12	27.12	27.52	27.12
9:15	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52	27.52
9:30	27.52	27.91	27.52	27.52	27.52	27.91	27.91
9:45	27.91	27.91	27.52	27.91	27.91	27.91	27.91
10:00	27.91	28.31	27.91	27.91	27.91	28.31	28.31
10:15	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31
10:30	28.31	28.70	28.31	28.70	28.70	28.70	28.70
10:45	28.70	29.10	28.70	28.70	28.70	28.70	29.10

ตารางแสดงค่าการทดสอบครั้งที่ 2 (thermocouple)

Time	T-1	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10	T-11	T-12	T-14
20:00	30.71	30.31	30.31	30.71	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.71
20:15	30.31	30.31	29.90	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31
20:30	30.31	29.90	29.90	30.31	30.31	30.31	29.90	30.31	29.90	30.31	29.90	30.31
20:45	30.31	29.90	29.90	30.31	29.90	29.90	29.90	30.31	29.90	29.90	29.90	30.31
21:00	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	30.31
21:15	29.90	29.90	29.50	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.50	29.90
21:30	29.90	29.50	29.50	29.90	29.50	29.90	29.50	29.90	29.50	29.90	29.50	29.90
21:45	29.90	29.50	29.50	29.90	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.90
22:00	29.90	29.50	29.50	29.90	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.90
22:15	29.50	29.50	29.10	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.10	29.50
22:30	29.50	29.10	29.10	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.10	29.50	29.10	29.50
22:45	29.50	29.10	29.10	29.50	29.10	29.50	29.10	29.50	29.10	29.50	29.10	29.50
23:00	29.50	29.10	29.10	29.50	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.50
23:15	29.50	29.10	29.10	29.50	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.50
23:30	29.10	29.10	28.70	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	28.70	29.10
23:45	29.10	29.10	28.70	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	28.70	29.10

ตารางแสดงค่าการทดสอบครั้งที่ 2 (data logger)

Date Time	Data 1	Data 2	Data 3	Data 4	Data 5	Data 6	Data 7
20:00	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31
20:15	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31
20:30	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31
20:45	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31	30.31
21:00	29.90	30.31	29.90	29.90	29.90	30.31	29.90
21:15	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	30.31	29.90
21:30	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90
21:45	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90
22:00	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90
22:15	29.50	29.90	29.50	29.90	29.50	29.90	29.50
22:30	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.90	29.50
22:45	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50
23:00	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50
23:15	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50
23:30	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50	29.50
23:45	29.10	29.50	29.50	29.50	29.10	29.50	29.10
0:00	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.50	29.10
0:15	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10
0:30	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10
0:45	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10
1:00	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10	29.10
1:15	28.70	29.10	28.70	28.70	28.70	29.10	28.70
1:30	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70
1:45	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70
2:00	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70
2:15	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70	28.70
2:30	28.31	28.70	28.70	28.70	28.31	28.70	28.70
2:45	28.31	28.70	28.31	28.31	28.31	28.70	28.31
3:00	28.31	28.70	28.31	28.31	28.31	28.70	28.31
3:15	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31
3:30	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31
3:45	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31
4:00	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31
4:15	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31	28.31
4:30	28.31	28.31	28.31	28.31	27.91	28.31	27.91
4:45	27.91	28.31	27.91	27.91	27.91	28.31	27.91

3. การตรวจสอบอัตราการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในสภาพห้องทดลองจริง

การทดสอบหาอัตราการใช้พลังงานในห้องทดลองก็เพื่อจะได้ทราบถึงค่าความคลาดเคลื่อนของการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 เครื่อง โดยจะทำการอ่านค่ามิเตอร์ไฟฟ้าทุกๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 27 ชั่วโมง

เวลา	ห้องทดลองพลังงาน 1		ห้องทดลองพลังงาน 2	
	พลังงานที่ใช้ไป (kWh)	พลังงานที่ใช้ไปในแต่ละช่วงเวลา (kWh)	พลังงานที่ใช้ไป (kWh)	พลังงานที่ใช้ไปในแต่ละช่วงเวลา (kWh)
13:00	0.000	0.000	0.000	0.000
14:00	0.213	0.213	0.213	0.213
15:00	0.495	0.282	0.495	0.282
16:00	0.640	0.145	0.657	0.162
17:00	0.785	0.145	0.825	0.168
18:00	0.910	0.125	0.950	0.125
19:00	1.015	0.105	1.085	0.135
20:00	1.080	0.065	1.135	0.050
21:00	1.135	0.055	1.175	0.040
22:00	1.167	0.032	1.215	0.040
23:00	1.200	0.033	1.268	0.053
0:00	1.238	0.038	1.305	0.037
1:00	1.280	0.042	1.339	0.034
2:00	1.325	0.045	1.370	0.031
3:00	1.373	0.048	1.405	0.035
4:00	1.410	0.037	1.438	0.033
5:00	1.455	0.045	1.470	0.032
6:00	1.495	0.040	1.515	0.045
7:00	1.510	0.015	1.550	0.035
8:00	1.534	0.024	1.578	0.028
9:00	1.545	0.011	1.605	0.027
10:00	1.640	0.095	1.665	0.060
11:00	1.755	0.115	1.790	0.125
12:00	1.903	0.148	1.925	0.135
13:00	2.108	0.205	2.155	0.230
14:00	2.400	0.292	2.423	0.268
15:00	2.700	0.300	2.720	0.297
16:00	3.005	0.305	3.038	0.318

ภาคผนวก ข

1. ผลการทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน กรณีศึกษาที่ 1

1.1 ตารางค่าอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง , globe temperature , อุณหภูมิอากาศภายนอก

กรณีศึกษาที่ 1	อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)		Globe temperature (°C)		อุณหภูมิอากาศ ภายนอก(°C)
	SHGC mock up	SC mock up	SHGC mock up	SC mock up	
Time					
8:00	31.39	31.93	32.34	33.03	31.39
8:15	26.34	26.34	27.12	27.91	31.79
8:30	25.69	25.69	26.34	26.99	32.07
8:45	25.56	25.56	26.08	26.73	32.20
9:00	25.43	25.56	26.08	26.60	32.62
9:15	25.56	25.43	26.21	26.73	32.90
9:30	25.30	25.43	26.21	26.86	33.03
9:45	25.56	25.43	26.21	26.86	33.59
10:00	25.56	25.30	26.34	26.86	34.15
10:15	25.56	25.43	26.34	26.99	34.01
10:30	25.56	25.56	26.34	27.12	34.29
10:45	25.56	25.43	26.34	27.12	34.57
11:00	25.69	25.30	26.34	26.99	34.85
11:15	25.56	25.43	26.34	27.25	34.99
11:30	25.69	25.69	26.60	27.39	35.42
11:45	25.56	25.69	26.60	27.25	35.85
12:00	25.69	25.43	26.60	27.39	35.84
12:15	25.69	25.82	26.73	27.52	36.28
12:30	25.69	25.56	26.99	27.52	36.57
12:45	25.95	25.69	26.99	27.65	36.57
13:00	26.08	25.56	27.12	27.52	36.86
13:15	26.08	25.56	27.12	27.78	37.15
13:30	25.82	25.69	26.99	27.39	37.00
13:45	25.82	25.56	26.99	27.78	37.30
14:00	25.69	25.56	26.86	27.12	37.15
14:15	25.69	25.43	26.86	27.39	37.29
14:30	25.82	25.69	26.86	27.39	37.73
14:45	25.82	25.43	26.99	27.39	37.44
15:00	25.56	25.56	26.86	27.39	37.73

กรณีศึกษาที่ 1	อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)		Globe temperature (°C)		อุณหภูมิอากาศ ภายนอก(°C)
	SHGC mock up	SC mock up	SHGC mock up	SC mock up	
Time					
15:15	25.69	25.43	26.73	27.25	37.73
15:30	25.56	25.30	26.73	26.99	37.73
15:45	25.69	25.43	26.47	26.99	37.73
16:00	25.69	25.43	26.60	26.99	37.59
16:15	25.82	25.43	26.47	26.86	37.73
16:30	25.56	25.17	26.47	26.73	37.59
16:45	25.43	25.17	26.47	26.47	37.59
17:00	25.30	25.17	26.08	26.47	37.44
17:15	25.43	25.17	26.08	26.08	37.15
17:30	25.17	24.92	25.69	25.95	36.86
17:45	25.17	24.66	25.56	25.69	36.71
18:00	24.92	24.66	25.56	25.30	36.42
ค่าเฉลี่ย	25.77	25.60	26.65	27.16	35.78

1.2 ตารางค่าอุณหภูมิผิวกระจก

กรณีศึกษาที่ 1	อุณหภูมิผิวกระจก(°C)									
	SHGC mock up			SC mock up						
Time	T-7	T-8	AVG	T-3	T-4	T-9	T-10	T-11	T-12	AVG
8:00	34.57	34.57	34.57	33.17	32.90	33.87	32.76	33.59	32.76	33.18
8:15	33.73	33.03	33.38	31.94	32.07	32.48	31.93	32.00	32.20	32.10
8:30	33.59	32.90	33.24	31.93	32.07	32.76	31.79	31.93	31.93	32.07
8:45	34.01	33.17	33.59	32.21	32.20	32.90	31.79	31.93	31.93	32.16
9:00	34.29	33.73	34.01	32.62	32.62	33.59	32.34	32.76	32.62	32.76
9:15	34.99	34.15	34.57	32.90	33.31	34.15	32.90	33.03	33.03	33.22
9:30	35.27	34.85	35.06	33.45	33.73	34.29	33.31	33.45	33.59	33.64
9:45	36.13	35.27	35.70	33.73	34.15	34.85	33.87	33.59	34.01	34.03
10:00	36.71	35.84	36.28	34.01	34.71	35.13	34.57	34.29	34.57	34.55
10:15	37.15	36.42	36.78	34.43	35.41	35.41	34.99	35.13	35.27	35.11
10:30	37.29	36.71	37.00	34.57	35.41	35.84	35.27	35.13	35.41	35.27
10:45	37.88	37.44	37.66	35.14	36.13	36.13	35.70	35.70	35.99	35.80
11:00	38.03	37.59	37.81	35.28	36.28	36.42	36.13	35.13	36.13	35.90
11:15	38.47	38.03	38.25	35.44	36.71	36.57	36.57	35.42	36.42	36.19
11:30	38.92	38.32	38.62	35.72	37.00	37.00	36.86	35.84	37.15	36.60
11:45	39.22	38.62	38.92	36.15	37.30	37.15	37.15	35.84	37.15	36.79
12:00	39.52	38.92	39.22	35.87	37.59	37.44	37.44	35.99	37.73	37.01
12:15	39.98	39.37	39.68	36.31	38.03	37.88	37.88	36.57	38.03	37.45
12:30	40.60	40.14	40.37	36.89	38.48	38.03	38.33	36.28	38.17	37.70

กรณีศึกษาที่ 1	อุณหภูมิผิวกระจก(°C)									
	SHGC mock up			SC mock up						
Time	T-7	T-8	AVG	T-3	T-4	T-9	T-10	T-11	T-12	AVG
12:45	40.90	40.44	40.67	36.89	38.77	38.33	38.48	36.71	38.47	37.94
13:00	41.53	40.91	41.22	37.18	38.93	38.33	38.62	36.57	38.03	37.94
13:15	41.37	40.76	41.07	36.90	38.77	38.33	38.62	36.42	38.17	37.87
13:30	40.90	40.29	40.60	37.03	38.47	38.18	38.33	36.42	38.03	37.74
13:45	40.75	40.29	40.52	36.60	38.62	38.18	38.47	36.71	38.47	37.84
14:00	40.28	39.67	39.98	36.01	37.88	37.29	37.73	35.84	37.88	37.11
14:15	39.83	39.22	39.52	35.71	37.73	36.86	37.30	35.99	37.59	36.86
14:30	40.44	39.82	40.13	35.74	38.03	37.59	37.88	37.15	38.03	37.40
14:45	40.44	39.98	40.21	36.30	38.17	37.59	37.73	37.59	38.17	37.59
15:00	40.29	39.83	40.06	36.03	38.17	37.59	37.88	36.86	38.17	37.45
15:15	39.52	39.22	39.37	35.86	37.73	37.15	37.29	37.15	37.73	37.15
15:30	39.22	38.62	38.92	35.30	37.29	36.57	36.86	37.01	37.59	36.77
15:45	38.92	38.18	38.55	35.15	36.86	36.28	36.71	35.56	37.15	36.28
16:00	38.33	37.88	38.11	35.01	36.57	35.99	36.28	35.42	36.71	36.00
16:15	38.33	37.59	37.96	34.59	36.28	35.70	35.99	34.85	36.28	35.62
16:30	37.89	37.30	37.60	34.17	35.85	35.28	35.56	34.57	36.14	35.26
16:45	37.01	36.71	36.86	33.88	35.28	34.71	34.99	33.87	35.42	34.69
17:00	36.42	35.71	36.07	33.33	34.43	34.15	34.29	33.31	34.85	34.06
17:15	35.56	34.86	35.21	32.64	33.87	33.31	33.59	32.76	34.01	33.36
17:30	34.71	33.87	34.29	32.22	33.31	32.76	33.03	32.00	33.17	32.75
17:45	33.59	32.90	33.25	31.40	32.62	32.21	32.35	31.66	32.76	32.17
18:00	32.76	31.94	32.35	31.12	31.80	31.52	31.52	31.25	31.93	31.53
ค่าเฉลี่ย			37.49							35.44

1.3 ตารางค่าอัตราการใช้พลังงาน

Time	กรณีศึกษาที่ 1							
	SHGC1 mockup				SC1 mockup			
	DAY 1	DAY 2	DAY 3	AVG	DAY 1	DAY 2	DAY 3	AVG
8:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9:00:00	0.515	0.500	0.490	0.502	0.550	0.510	0.500	0.520
10:00:00	0.485	0.445	0.450	0.460	0.495	0.465	0.500	0.487
11:00:00	0.490	0.470	0.480	0.480	0.515	0.515	0.510	0.513
12:00:00	0.545	0.540	0.505	0.530	0.570	0.575	0.560	0.568
13:00:00	0.510	0.555	0.555	0.540	0.565	0.605	0.570	0.580
14:00:00	0.565	0.575	0.560	0.567	0.605	0.600	0.590	0.598
15:00:00	0.565	0.565	0.540	0.557	0.615	0.595	0.590	0.600
16:00:00	0.540	0.520	0.550	0.537	0.565	0.560	0.595	0.573
17:00:00	0.540	0.512	0.530	0.527	0.560	0.550	0.575	0.562
18:00:00	0.455	0.475	0.500	0.477	0.480	0.480	0.485	0.482
ค่าเฉลี่ย				5.176				5.483

2. ผลการทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน กรณีศึกษาที่ 2

2.1 ตารางค่าอุณหภูมิอากาศห้องทดลอง , globe temperature , อุณหภูมิอากาศภายนอก

กรณีศึกษาที่ 2	อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)		Globe temperature (°C)		อุณหภูมิอากาศภายนอก(°C)
	SHGC mock up	SC mock up	SHGC mock up	SC mock up	
Time					
8:00	27.39	28.31	28.04	28.97	27.26
8:15	24.92	25.56	25.43	26.08	27.52
8:30	24.40	24.79	24.92	25.43	27.91
8:45	24.14	24.92	24.91	25.56	28.18
9:00	24.40	24.91	25.04	25.69	28.57
9:15	24.27	25.04	24.91	25.95	28.97
9:30	24.53	25.17	25.17	25.95	29.37
9:45	24.79	25.17	25.30	26.08	29.77
10:00	24.27	25.04	25.30	25.95	30.17
10:15	24.40	24.79	25.17	25.82	30.44
10:30	24.53	24.92	25.30	26.08	30.85
10:45	24.66	25.17	25.43	26.08	30.98
11:00	24.79	25.17	25.82	26.34	31.53
11:15	24.79	25.30	25.69	26.73	31.93
11:30	25.04	25.56	25.95	26.60	32.48
11:45	25.04	25.56	26.08	27.13	33.03
12:00	24.79	25.30	25.69	26.34	32.62
12:15	24.79	25.30	25.56	26.21	32.76
12:30	25.17	25.56	25.82	26.86	33.31
12:45	25.05	25.69	25.95	26.86	33.45
13:00	25.17	25.30	26.21	26.99	33.73
13:15	24.92	25.56	25.69	26.60	33.59
13:30	24.79	25.17	25.56	26.21	33.59
13:45	25.04	25.69	25.82	26.60	34.29
14:00	24.91	25.43	25.95	26.74	34.01
14:15	25.04	25.43	26.08	26.73	34.01
14:30	24.91	25.43	26.08	26.73	34.15
14:45	25.04	25.43	26.08	26.60	33.87
15:00	24.91	25.17	26.08	26.47	33.59

กรณีศึกษาที่ 2	อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)		Globe temperature (°C)		อุณหภูมิอากาศ ภายนอก(°C)
	SHGC mock up	SC mock up	SHGC mock up	SC mock up	
Time					
15:15	25.04	25.43	25.82	26.34	33.73
15:30	24.66	25.30	25.56	26.47	34.15
15:45	24.79	25.17	25.69	26.21	33.87
16:00	24.92	25.30	25.56	26.34	34.43
16:15	24.79	25.17	25.56	26.34	34.15
16:30	24.53	25.17	25.30	25.69	33.87
16:45	24.53	24.66	25.04	25.43	33.87
17:00	24.40	24.66	25.04	25.30	33.87
17:15	24.40	24.27	25.04	25.04	33.31
17:30	24.27	24.40	25.04	24.66	33.31
17:45	24.27	24.14	24.66	24.66	32.35
18:00	24.40	24.01	24.40	24.40	32.22
ค่าเฉลี่ย	24.78	25.21	25.56	26.18	32.17

2.2 ตารางค่าอุณหภูมิผิวกระจก

กรณีศึกษาที่ 2	อุณหภูมิผิวกระจก(°C)									
	SHGC mock up			SC mock up						
Time	T-7	T-8	AVG	T-3	T-4	T-9	T-10	T-11	T-12	AVG
8:00	28.31	28.71	28.51	29.25	27.91	28.44	28.05	28.18	27.91	28.29
8:15	28.58	28.05	28.31	29.25	27.91	28.44	27.65	28.18	27.52	28.16
8:30	29.38	28.84	29.11	29.65	27.91	28.83	27.65	28.31	27.39	28.29
8:45	30.46	29.64	30.05	30.18	28.71	29.37	28.17	28.97	27.78	28.86
9:00	32.25	30.99	31.62	31.27	29.50	30.31	29.23	29.77	28.70	29.80
9:15	32.37	31.95	32.16	31.81	30.18	30.85	29.77	30.58	29.37	30.43
9:30	33.34	32.92	33.13	32.92	30.85	31.80	30.58	31.25	30.17	31.26
9:45	34.32	33.76	34.04	32.76	31.39	31.93	30.71	31.52	30.44	31.46
10:00	34.02	33.60	33.81	32.76	31.25	31.80	30.71	31.39	30.31	31.37
10:15	33.87	33.46	33.67	32.21	31.25	31.94	30.71	31.67	30.44	31.37
10:30	34.86	34.01	34.44	32.89	31.80	32.34	31.25	32.08	30.98	31.89
10:45	36.02	35.15	35.58	33.59	32.76	33.18	32.21	33.33	31.80	32.81
11:00	37.61	36.29	36.95	34.02	33.18	33.73	33.04	33.46	32.77	33.37
11:15	37.75	36.86	37.30	34.71	33.87	34.57	33.59	34.29	33.45	34.08
11:30	38.36	37.32	37.84	35.28	34.57	35.00	34.29	35.72	34.01	34.81
11:45	40.03	38.95	39.49	36.14	35.56	35.70	34.99	35.27	34.85	35.42
12:00	37.61	36.86	37.24	34.58	34.44	34.43	34.01	34.44	34.01	34.32
12:15	36.94	35.91	36.42	34.18	33.89	33.89	33.48	34.32	33.48	33.87
12:30	38.34	37.59	37.96	35.56	35.56	35.70	35.42	36.00	35.56	35.63

กรณีศึกษาที่ 2	อุณหภูมิผิวกระจก(°C)									
	SHGC mock up			SC mock up						
Time	T-7	T-8	AVG	T-3	T-4	T-9	T-10	T-11	T-12	AVG
12:45	39.39	38.47	38.93	35.99	35.84	35.99	35.70	36.14	35.70	35.89
13:00	39.09	38.33	38.71	35.42	35.70	35.56	35.41	35.56	35.56	35.54
13:15	38.03	37.44	37.74	34.99	34.99	34.99	34.85	35.42	35.00	35.04
13:30	37.15	36.58	36.86	34.43	34.43	34.29	33.87	34.15	34.15	34.22
13:45	37.90	37.34	37.62	35.30	35.30	35.01	34.73	35.30	34.73	35.06
14:00	38.26	37.70	37.98	35.47	35.60	35.17	35.04	35.47	35.17	35.32
14:15	38.06	37.50	37.78	35.44	35.59	35.16	35.02	34.89	34.75	35.14
14:30	38.80	38.23	38.51	35.44	35.88	35.30	35.16	35.02	34.89	35.28
14:45	37.59	37.16	37.38	34.86	35.14	34.43	34.58	34.29	34.16	34.58
15:00	37.59	37.02	37.31	34.57	35.01	34.43	34.16	34.16	34.02	34.39
15:15	36.13	35.70	35.92	33.73	34.15	33.59	33.59	33.59	33.17	33.64
15:30	36.28	35.70	35.99	34.15	34.71	34.15	33.73	34.15	33.73	34.10
15:45	35.71	35.13	35.42	33.73	34.29	33.46	33.46	33.73	33.18	33.64
16:00	35.56	34.99	35.27	34.01	34.15	33.73	33.87	34.15	33.45	33.89
16:15	34.85	34.29	34.57	33.45	33.45	33.45	33.04	33.59	32.76	33.29
16:30	33.18	32.76	32.97	32.48	32.48	32.21	31.79	35.59	31.79	32.72
16:45	33.03	32.49	32.76	31.93	32.07	32.07	31.66	31.79	31.39	31.82
17:00	32.76	32.22	32.49	31.80	31.52	31.52	31.12	31.52	30.85	31.39
17:15	31.66	31.25	31.46	30.71	30.85	30.85	30.44	30.85	30.44	30.69
17:30	30.85	30.45	30.65	30.31	30.31	30.44	29.91	30.44	30.04	30.24
17:45	29.37	28.97	29.17	29.50	29.50	29.63	29.10	29.77	29.23	29.46
18:00	28.18	27.78	27.98	28.57	28.57	28.70	28.17	29.10	28.17	28.55
ค่าเฉลี่ย			34.66							32.67

2.3 ตารางค่าอัตราการใช้พลังงาน

Time	กรณีศึกษาที่ 2							
	SHGC1 mockup				SC1 mockup			
	DAY 1	DAY 2	DAY 3	AVG	DAY 1	DAY 2	DAY 3	AVG
8:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9:00:00	0.330	0.315	0.245	0.297	0.350	0.335	0.310	0.332
10:00:00	0.345	0.315	0.270	0.310	0.360	0.315	0.295	0.323
11:00:00	0.365	0.315	0.345	0.342	0.385	0.330	0.360	0.358
12:00:00	0.450	0.395	0.375	0.407	0.470	0.415	0.395	0.427
13:00:00	0.440	0.400	0.420	0.420	0.480	0.405	0.435	0.440
14:00:00	0.410	0.405	0.420	0.412	0.460	0.410	0.425	0.432
15:00:00	0.405	0.430	0.445	0.427	0.455	0.425	0.460	0.447
16:00:00	0.420	0.400	0.400	0.407	0.445	0.400	0.440	0.428
17:00:00	0.405	0.370	0.410	0.395	0.445	0.390	0.430	0.422
18:00:00	0.325	0.320	0.330	0.325	0.360	0.345	0.395	0.367
ค่าเฉลี่ย				3.740				3.975

3. ผลการทดลองด้วยห้องทดลองด้านพลังงาน กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3	อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)		Globe temperature (°C)		อุณหภูมิอากาศ ภายนอก(°C)
	SHGC mock up	SC mock up	SHGC mock up	SC mock up	
Time					
8:00	30.17	30.98	30.58	31.93	30.71
8:15	25.17	26.34	25.95	27.25	30.98
8:30	24.53	24.92	24.78	25.69	31.39
8:45	24.14	24.91	24.66	25.56	31.53
9:00	24.40	25.04	24.53	25.82	31.93
9:15	24.01	24.79	24.40	25.56	32.20
9:30	24.27	24.79	24.40	25.56	32.62
9:45	24.27	24.91	24.53	25.69	32.90
10:00	24.15	24.92	24.66	25.43	33.17
10:15	24.40	24.79	24.66	25.56	33.31
10:30	24.27	24.53	24.66	25.30	33.73
10:45	24.66	24.91	24.66	25.69	34.15
11:00	24.27	25.04	24.66	25.95	34.71
11:15	24.53	25.04	24.78	25.82	34.57
11:30	24.27	24.92	24.66	25.69	35.13
11:45	24.53	24.66	24.78	25.44	35.56
12:00	24.15	24.53	24.66	25.56	35.42
12:15	24.53	24.53	24.66	25.56	35.70
12:30	24.40	24.40	24.79	25.69	35.99
12:45	24.53	24.79	25.04	25.95	36.28
13:00	24.40	24.91	24.92	26.21	36.42
13:15	24.40	24.79	24.92	25.95	36.71
13:30	24.66	24.53	25.04	25.82	36.86
13:45	24.40	24.53	25.04	25.69	36.86
14:00	24.53	24.92	25.04	26.08	36.86
14:15	24.40	24.66	25.04	25.95	36.86
14:30	24.40	24.92	24.92	25.69	37.00
14:45	24.40	24.53	24.92	25.69	37.15
15:00	24.66	24.53	25.04	25.69	37.29

กรณีศึกษาที่ 3	อุณหภูมิอากาศห้องทดลอง (°C)		Globe temperature (°C)		อุณหภูมิอากาศ ภายนอก(°C)
	SHGC mock up	SC mock up	SHGC mock up	SC mock up	
Time					
15:15	24.40	24.66	24.92	25.82	37.30
15:30	24.27	24.40	24.92	25.44	37.00
15:45	24.40	24.53	24.79	25.56	37.15
16:00	24.40	24.53	24.92	25.56	37.29
16:15	24.15	24.40	24.66	25.18	37.30
16:30	24.53	24.40	24.79	25.05	37.00
16:45	24.02	24.27	24.79	24.92	36.71
17:00	24.53	24.15	24.66	24.79	36.71
17:15	24.27	24.53	24.53	24.92	36.71
17:30	24.15	24.27	24.53	24.66	35.99
17:45	24.02	24.02	24.40	24.40	35.70
18:00	23.89	23.89	24.40	24.40	35.27
ค่าเฉลี่ย	24.51	24.83	24.92	25.71	35.22

กรณีศึกษาที่ 3	อุณหภูมิผิวกระจก(°C)									
	SHGC mock up			SC mock up						
	T-7	T-8	AVG	T-3	T-4	T-9	T-10	T-11	T-12	AVG
Time										
8:00	32.34	32.34	32.34	32.07	31.39	32.07	31.52	32.20	31.39	31.77
8:15	31.93	32.07	32.00	31.52	31.12	31.52	31.12	31.52	30.98	31.30
8:30	31.66	31.66	31.66	30.98	30.71	31.25	30.58	31.52	30.71	30.96
8:45	31.66	31.93	31.80	31.25	30.71	31.25	30.85	31.39	30.85	31.05
9:00	32.34	32.48	32.41	31.79	31.39	31.93	31.25	31.93	31.25	31.59
9:15	32.90	33.04	32.97	31.93	31.66	32.07	31.39	32.07	31.39	31.75
9:30	33.04	33.03	33.04	32.08	31.66	32.08	31.66	32.08	31.52	31.85
9:45	33.59	33.73	33.66	32.62	32.34	32.89	32.34	32.89	32.48	32.60
10:00	34.01	34.15	34.08	32.76	32.62	32.76	32.62	33.18	32.62	32.76
10:15	33.87	34.15	34.01	32.77	32.76	32.90	32.62	33.05	32.48	32.76
10:30	34.15	34.29	34.22	33.04	32.76	33.32	32.89	33.18	33.04	33.04
10:45	35.13	35.28	35.20	34.01	33.73	34.29	33.73	34.15	34.01	33.99
11:00	35.56	35.85	35.70	34.57	34.43	34.71	34.57	34.85	34.43	34.59
11:15	36.13	36.42	36.28	34.85	34.71	34.99	34.71	34.99	34.71	34.83
11:30	36.28	36.57	36.42	34.99	34.71	35.13	34.99	35.13	34.99	34.99
11:45	36.13	36.28	36.21	34.85	34.71	35.13	34.85	35.28	34.99	34.97
12:00	36.28	36.57	36.42	34.71	34.99	35.28	35.13	35.28	35.28	35.11
12:15	36.71	37.15	36.93	35.14	35.28	35.42	35.28	35.42	35.57	35.35
12:30	36.86	37.29	37.08	35.27	35.56	35.70	35.56	35.71	35.71	35.58

กรณีศึกษาที่ 3	อุณหภูมิผิวกระจก(°C)									
	SHGC mock up			SC mock up						
Time	T-7	T-8	AVG	T-3	T-4	T-9	T-10	T-11	T-12	AVG
12:45	37.44	37.73	37.59	35.70	35.70	35.99	35.99	35.99	35.99	35.89
13:00	37.44	37.73	37.59	35.99	36.14	36.28	36.28	36.42	36.28	36.23
13:15	37.88	38.18	38.03	36.28	36.28	36.86	36.42	37.00	36.57	36.57
13:30	38.03	38.18	38.10	36.42	36.29	36.86	36.42	37.00	36.57	36.59
13:45	38.03	38.18	38.10	36.28	36.14	36.71	36.42	37.00	36.42	36.50
14:00	37.88	38.03	37.96	36.14	36.14	36.57	36.28	36.42	36.43	36.33
14:15	37.59	37.73	37.66	35.99	36.00	36.42	36.28	36.57	36.28	36.26
14:30	37.59	37.59	37.59	35.84	35.85	36.13	35.85	36.13	35.99	35.97
14:45	37.59	37.59	37.59	35.42	35.85	35.84	35.99	35.84	36.13	35.85
15:00	37.44	37.44	37.44	35.70	36.00	36.13	35.85	35.84	36.13	35.94
15:15	37.15	37.15	37.15	35.42	35.85	35.99	36.00	35.84	36.14	35.87
15:30	36.86	36.71	36.79	34.99	35.28	35.70	35.42	35.56	35.71	35.44
15:45	36.43	36.28	36.35	34.71	34.99	35.27	35.13	35.13	35.28	35.09
16:00	36.13	36.28	36.21	34.29	34.71	34.85	34.71	34.99	34.99	34.76
16:15	35.56	35.71	35.64	33.87	34.15	34.57	34.29	34.29	34.43	34.27
16:30	35.42	35.28	35.35	33.45	33.73	34.01	33.73	33.87	34.01	33.80
16:45	34.72	34.85	34.79	32.90	33.31	33.59	33.18	33.45	33.59	33.34
17:00	34.29	34.29	34.29	32.62	32.76	33.04	32.90	32.90	33.18	32.90
17:15	33.87	33.73	33.80	32.21	32.34	32.62	32.34	32.62	32.48	32.44
17:30	33.18	32.76	32.97	31.39	31.94	32.07	31.93	32.07	32.21	31.93
17:45	32.22	31.80	32.01	30.98	31.12	31.52	31.25	31.66	31.39	31.32
18:00	31.40	30.85	31.12	30.17	30.71	30.98	30.71	30.98	30.98	30.76
ค่าเฉลี่ย			35.28							34.02

3.3 ตารางค่าอัตราการใช้พลังงาน

Time	กรณีศึกษาที่ 3							
	SHGC1 mockup				SC1 mockup			
	DAY 1	DAY 2	DAY 3	AVG	DAY 1	DAY 2	DAY 3	AVG
8:00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9:00:00	0.665	0.400	0.440	0.502	0.665	0.525	0.465	0.552
10:00:00	0.550	0.410	0.435	0.465	0.550	0.355	0.455	0.453
11:00:00	0.565	0.440	0.425	0.477	0.625	0.470	0.470	0.522
12:00:00	0.595	0.475	0.470	0.513	0.660	0.530	0.510	0.567
13:00:00	0.620	0.475	0.510	0.535	0.660	0.530	0.560	0.583
14:00:00	0.645	0.525	0.515	0.562	0.760	0.545	0.550	0.618
15:00:00	0.640	0.500	0.520	0.553	0.760	0.525	0.570	0.618
16:00:00	0.665	0.510	0.500	0.558	0.725	0.535	0.520	0.593
17:00:00	0.635	0.465	0.470	0.523	0.695	0.500	0.560	0.585
18:00:00	0.505	0.445	0.450	0.467	0.540	0.440	0.410	0.463
ค่าเฉลี่ย				5.155				5.555

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิรเดช เทพพิพิธ เกิดวันที่ 26 กันยายน 2526 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี
การศึกษา 2549 จากนั้นได้เข้ารับตำแหน่งสถาปนิกที่ บริษัท บุญถาวรเซรามิค จำกัด เป็นเวลา 3 ปี
ก่อนเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะ
สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย
จากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตครั้งที่ 1
ปีงบประมาณ 2555 ของบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย