

ผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านช่องแสงด้านข้าง
ที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ

นางสาวพรรณจิรา ทิศาวิภาต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-535-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECT OF DIFFUSE RADIATION
ON HEAT TRANSMISSION THROUGH REVOLVING SIDE-GLAZING

MISS PANJIRA TISAVIPAT

A Thesis submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic year 1998

ISBN 974-332-535-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านทางช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ

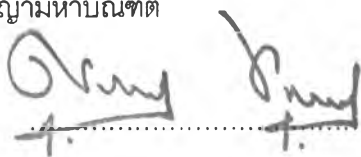
โดย นางสาวพรรณจิรา ทิศาภิภาต

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์


อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์สมสิทธิ์ นิตยะ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ สมสิทธิ์ นิตยะ)


.....กรรมการ
(อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

พรรณจิรา ทิศาภิชาติ : ผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ผ่านช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบ (THE EFFECT OF DIFFUSE RADIATION ON HEAT TRANSMISSION THROUGH REVOLVING SIDE-GLAZING) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ, อ.ที่ปรึกษาร่วม: รศ.สมสิทธิ์ นิตยะ. 160 หน้า. ISBN 974-332-535-2.

งานสถาปัตยกรรมในประเทศไทย ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากต่างประเทศโดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีจากสหรัฐอเมริกาและยุโรป ส่งผลให้องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมและวัสดุที่นำมาใช้ไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อน-ชื้น วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิภายในอาคาร ค้นหาแนวทางในการทำให้อุณหภูมิภายในอาคารเข้าใกล้เขตสภาวะน่าสบายเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารจริง ตัวแปรที่นำมาศึกษาคือ มวลสารภายใน ความจุความร้อนของมวลสารภายใน กระจุก และทิศทางที่ใช้เปิดช่องแสงด้านข้าง การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือจำลองอาคารไม่ปรับอากาศและอาคารปรับอากาศ

การลดอุณหภูมิภายในอาคารทำได้ 2 วิธีคือ การลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และการปรับปรุงอุณหภูมิภายในอาคาร วิธีแรก สามารถทำได้โดยพิจารณาทิศทางที่ใช้เปิดช่องแสงด้านข้างและค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจุก จากการวิจัยพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดลองที่เปิดช่องแสงด้านข้างทางทิศเหนือมีค่าต่ำกว่าทิศใต้แต่มีค่าใกล้เคียงกับช่องแสงด้านข้างที่หมุนหลบแดดคือ 33°C การทดสอบผลของค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจุกพบว่า ในสภาวะปรับอากาศ เมื่อพิจารณาระหว่างกระจุกชั้นเดียวและ 2 ชั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำเท่ากัน พบว่าอุณหภูมิมีวงจรรอบภายในสูงสุดของกระจุก 2 ชั้นต่ำกว่าชั้นเดียว 2°C สำหรับทิศใต้และ 3°C สำหรับทิศเหนือ ในสภาวะไม่ปรับอากาศ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดลองที่ติดตั้งกระจุก 2 ชั้นสูงกว่ากระจุกชั้นเดียว 4°C สำหรับทิศใต้และมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทิศเหนือ วิธีที่ 2 สามารถทำได้โดยพิจารณามวลสารภายใน ความจุความร้อนของมวลสารภายใน และความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของกระจุกในสภาวะไม่ปรับอากาศ พบว่าการใช้มวลสารมากลดอุณหภูมิสูงสุดได้มากกว่ามวลสารน้อย 6°C สำหรับทิศใต้และ 2°C สำหรับทิศเหนือเมื่อใช้กระจุกชั้นเดียว ความจุความร้อนของมวลสารจะมีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิภายในสูงสุดทางทิศใต้ได้ดีกว่าทิศเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คอนกรีตมวลเบาพบว่าคอนกรีตลดอุณหภูมิสูงสุดได้ถึง 3°C ส่วนอิฐมวลฉนวนมีอุณหภูมิภายในสูงสุดใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาคือ 38°C กระจุกชั้นเดียวมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกได้ดีกว่ากระจุก 2 ชั้นจึงทำให้อุณหภูมิภายในลดต่ำลงเร็วกว่า

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า การใช้มวลสารภายในสามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดได้ในสภาวะไม่ปรับอากาศ เพราะมวลสารช่วยกักเก็บความร้อนไว้ เลือกใช้มวลสารมีความจุความร้อนมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงและมีระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยภายในที่ติดตั้งกระจุก 2 ชนิดพบว่า กระจุก 2 ชั้นมีค่าสูงกว่ากระจุกชั้นเดียว ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในระหว่างช่องแสงทางทิศเหนือกับช่องแสงที่หมุนหลบแดดนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การลดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารที่ไม่ปรับอากาศสามารถทำได้โดยการใช้มวลสารภายในที่มีความจุความร้อนมากและกระจุกชั้นเดียวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ อาคารที่มีการปรับอากาศตลอดเวลาควรใช้กระจุกฉนวนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ เพื่อลดการแผ่รังสีความร้อนจากผิวกระจุกและกักเก็บความเย็นในอาคารได้ ส่วนอาคารที่ปรับอากาศไม่ตลอดเวลา ควรใช้มวลสารภายในน้อยมีความจุความร้อนน้อยและใช้กระจุกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ การออกแบบให้ช่องแสงไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง ด้วยการใช้อุปกรณ์บังแดดอัตโนมัติหรือมีแผงกันที่สามารถเลื่อนปิด-เปิดได้ ผลสรุปจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อให้ภายในอาคารเข้าใกล้เขตสภาวะน่าสบาย

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต **พรรณจิรา ทิศาภิชาติ**
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4074127425 BUILDING TECHNOLOGY

: MAJOR

KEY WORD: GLAZING / HEAT TRANSMISSION / INTERNAL THERMAL MASS / THERMAL HEAT CAPACITY

PANJIRA TISAVIPAT : THE EFFECT OF DIFFUSE RADIATION ON HEAT TRANSMISSION THROUGH REVOLVING SIDE-GLAZING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. SOMSIT NITAYA 160 pp. ISBN 974-332-535-2.

Thai architecture has been considerably influenced by foreign technology especially from the U.S. and Europe, which has led to the use of inappropriate materials in hot-humid climate. The objective of this research is to find variables, which will reduce internal temperature in buildings and explore techniques to reduce internal temperature closer to the comfort zone. This will serve as a guideline for architectural designing works. The variables studied in the research include internal thermal mass, heat capacity, glazing, and the orientation of side openings to the daylight. The experiments involved buildings with and without air-conditioning.

Two methods for reduction internal temperature in the building are both reducing heat gain and internal temperature modification. The first method covering two experiments of side glazing orientation and shading coefficient of glazing was investigated. Through simulated test cells, the research discovered that the mean internal temperature recorded 33°C of the North side glazing is lower than the South but almost equal to that with revolving side glazing. The test of shading coefficient between single and double-glazing based on same low shading coefficient was investigated. With air-conditioning building, it was found that the peak internal glazing surface temperature of double glazing was lower than single glazing 2°C and 3°C when directed towards the South and the North respectively. Without air-conditioning test cells, it was found that the mean internal temperature with double glazing installation was higher than the single glazing 4°C for directed towards the South but not significant different when compared to the North. The second method covering three experiments of the internal thermal mass, heat capacity of internal thermal mass and heat transmission of glazing. The test cells without air-conditioning indicated that high internal thermal mass reduced the peak temperature more efficiently than low internal thermal mass when single glazing was used by 6°C towards the South and 2°C for the North. The results of heat capacity test, concrete showed 3°C reduction in peak thermal temperature when compared to the lightweight concrete used. Brick and lightweight concrete revealed a parallel of peak internal temperature of 38°C. By this experiment also found that single glazing showed more capable of exterior heat transfer than double-glazing affected achievement of interior internal temperature reduction.

The experiment proved that the use of internal thermal mass could most effectively reduce internal temperature (no air-conditioning) by confining heat. When an internal thermal mass capable of retaining a high temperature is used, the temperature will fall resulting in a longer period when the internal temperature is lower than the external temperature. Double-glazing shows the higher mean internal temperature than the single one. There is no statistical difference between the internal temperature of the side exposed to daylight on the north and the revolving side glazing.

From the research results, it can be concluded that a reduction in the room air temperature in the building (no air-conditioning) can be achieved by using an internal thermal mass material capable of retaining high temperatures, and single glazing with low shading coefficient. Buildings, which use air-conditioning most of the time, should use insulated glazing with low shading coefficient to reduce heat radiation from the glass surface, and effectively insulate the cool temperature in the building. Buildings where air-conditioning is seldom used should employ an internal thermal mass material capable of retaining only low temperatures and glazing with low shading coefficient. The installation of an automatic shading device, sliding shades to avoid direct sunlight can create a temperature level inside a building near the comfort zone.

ภาควิชา..... สถาปัตยกรรมศาสตร์

สาขาวิชา..... เทคโนโลยีอาคาร

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรศ.ดร.สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา และข้อแนะนำตลอดช่วงเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ตั้งแต่เริ่มจนสำเร็จลุล่วง รวมทั้งศ.สมสิทธิ์ นิติยะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากรศ.เลอสม สถาปิตานนท์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ และอ.พรพรรณชลัท สุริโยธิน ที่ให้ความเอาใจใส่ ห่วงใย และถามไถ่ถึงความคืบหน้าของงานวิจัยชิ้นนี้เสมอมา ขอขอบคุณพีไลธิดา งามวิวัฒน์สว่าง สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ บางส่วนได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัย ของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้ความห่วงใย ส่งแรงกายและแรงใจมาถึงผู้วิจัยตลอดเวลา รวมทั้งสนับสนุนในด้านการศึกษาและเงินทุนเพื่อให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตารางประกอบ.....	ฅ
สารบัญรูปภาพประกอบ.....	ญ
สารบัญแผนภูมิประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ปัญหาและความเป็นมาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตในการวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานในการวิจัย.....	2
1.5 ระเบียบวิธีในการวิจัย.....	3
1.6 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์.....	10
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	12
2.3 อิทธิพลของทิศกับการถ่ายเทความร้อน.....	13
2.4 เปลือกอาคาร (Building Envelope) กับการถ่ายเทความร้อน.....	14
2.5 การห่อหุ้มหีบความร้อน.....	17
2.6 Sol – Air Temperature.....	17
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	19
3.1 การกำหนดปริมาณและชนิดของมวลสารภายใน ชนิดกระจก ที่ใช้ในการวิจัย.....	19
3.2 การกำหนดทิศทางของช่องแสงด้านข้าง ที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.3 การกำหนดอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ อ่านค่าอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล.....	22
3.4 กำหนดขั้นตอนในการทดสอบ.....	22
3.5 หลักเกณฑ์ที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบ.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4	
การวิเคราะห์ผลการทดสอบอิทธิพลของมวลสารภายใน ชนิดของกระจก และช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง โดยการหมุนหลบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.....	31
4.1 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิ.....	31
4.2 การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของมวลสารภายในต่อพฤติกรรม การถ่ายเทความร้อนของช่องแสงด้านข้างที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การบังแดด (SC) เท่ากัน.....	32
4.3 การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความจุความร้อนของมวลสารภายใน ที่มีปริมาณเท่ากัน แต่ความหนาแน่นต่างกัน ต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อน เข้าสู่อาคาร.....	45
4.4 การทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของชนิดกระจก ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การบังแดด (SC) เท่ากัน ต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.....	58
4.5 การทดสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ของช่องแสงด้านข้างที่ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรง โดยการหมุนหลบ กับช่องแสงด้านข้างที่หันไปทางทิศเหนือ.....	134
4.6 การทดสอบและวิเคราะห์พฤติกรรมถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ของช่องแสงด้านข้างที่มีมวลสารมากและความจุความร้อนมาก โดยใช้กระจก ชั้นเดียว ไม่ได้รับแสงแดดโดยตรงโดยการหมุนหลบกับช่องแสงด้านข้างที่หัน ไปทางทิศเหนือ.....	139
บทที่ 5	
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	144
5.1 บทสรุป.....	144
5.2 การนำไปประยุกต์ใช้.....	146
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	147
รายการอ้างอิง	149
ภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	151
ประวัติผู้วิจัย	160

สารบัญตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แต่ละระบบใช้ในแต่ละประเภทอาคาร	9
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิที่หัวเทอร์มิสเตอร์แต่ละตัวอ่านค่าได้ หลังจากใส่ค่าคงที่ ค่า Offset และค่า Slope ลงไปใน Software แล้ว.....	31
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าที่ได้จากการใช้วิธีทดสอบข้อมูลทางสถิติแบบการแจกแจงปกติ จากข้อมูลที่ได้จากช่องแสงด้านข้างทั้ง 2 ชนิด ที่ไม่มีมวลสารภายใน.....	137
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าที่ได้จากการใช้วิธีทดสอบข้อมูลทางสถิติแบบการแจกแจงปกติ จากข้อมูลที่ได้จากช่องแสงด้านข้างทั้ง 2 ชนิด ที่ไม่มีมวลสารภายใน.....	142

สารบัญรูปภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดแสง Diffuse Radiation.....	10
รูปที่ 2.2 แสดงช่วงความยาวคลื่น.....	12
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....	14
รูปที่ 3.4 แสดงปริมาณมวลสารภายในที่ใช้ทดสอบ.....	20
รูปที่ 3.5 แสดงชนิดของมวลสารที่ใช้เป็นตัวแทนในการทดสอบความจุความร้อนของมวลสาร.....	20
รูปที่ 3.6 แสดงชนิดกระจกที่ใช้ทดสอบ.....	21
รูปที่ 3.7 แสดงกล่องทดลองแบบที่ 1 ขนาด 0.90 X 0.90 X 0.90 ม.....	22
รูปที่ 3.8 แสดงกล่องทดลองแบบที่ 2 ขนาด 3.00 X 3.00 X 2.40 ม.....	22
รูปที่ 3.9 แสดงเครื่อง Data Logger ของ Sciematic Instrument System 200 Model 236 Hardware.....	22
รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บและบันทึกข้อมูล.....	22
รูปที่ 4.11 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 2 (ทศใต้).....	33
รูปที่ 4.12 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 3 (ทศเหนือ).....	33
รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 4 (ทศใต้).....	46
รูปที่ 4.14 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 5 (ทศเหนือ).....	46
รูปที่ 4.15 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 6 (ทศใต้).....	59
รูปที่ 4.16 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 7 (ทศเหนือ).....	59
รูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 8 (ทศใต้).....	61
รูปที่ 4.18 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 9 (ทศเหนือ).....	61

สารบัญรูปภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 10 (ทิศใต้)...	62
รูปที่ 4.20 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 11 (ทิศเหนือ)	62
รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 12.....	134
รูปที่ 4.22 แสดงตำแหน่งการวางกล่องทดลอง กระจกทดสอบ มวลสารภายในกล่องทดลอง และตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์มิสเตอร์ ของการทดสอบในขั้นตอนการวิจัยที่ 13.....	139

สารบัญแผนภูมิประกอบ

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีมวลสารภายใน ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทิศใต้.....	34
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้นซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีมวลสารภายใน ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทิศใต้.....	36
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีมวลสารภายใน ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทิศเหนือ.....	38
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้นซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีมวลสารภายใน ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทิศเหนือ.....	40
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของปริมาณมวลสารภายใน ที่แตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	42
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของมวลสารภายในที่มีปริมาณแตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	43
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของมวลสารภายในที่มีปริมาณแตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	44
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีชนิดมวลสารภายในต่างกัน ในปริมาณที่เท่ากัน ทิศใต้.....	47
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้นซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีชนิดมวลสารภายในต่างกัน ในปริมาณที่เท่ากัน ทิศใต้.....	49
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีชนิดมวลสารภายในต่างกัน ในปริมาณที่เท่ากัน ทิศเหนือ.....	51
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้นซึ่งมีค่า SC = 0.41 โดยแต่ละกล่องมีชนิดมวลสารภายในต่างกัน ในปริมาณที่เท่ากัน ทิศเหนือ.....	53

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของความจุความร้อนของมวลสารภายในที่แตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	55
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดมวลสารภายในที่แตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	56
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดมวลสารภายในที่แตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	56
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดมวลสารภายในที่แตกต่างกัน ระหว่างช่องแสงด้านข้างแต่ละประเภท.....	57
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ไม่มีมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้.....	63
แผนภูมิที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมวลสารภายในน้อย ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้.....	65
แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมวลสารภายในมาก ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้.....	67
แผนภูมิที่ 4.19 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ไม่มีมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศเหนือ.....	69
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมวลสารภายในน้อย ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศเหนือ.....	71
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีมวลสารภายในมาก ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศเหนือ.....	73
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดทางทิศใต้ (Temperature Swing) ที่เกิดจากอิทธิพลของชนิดกระจก ระหว่างปริมาณมวลสารที่แตกต่างกัน.....	75

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดทางทิศเหนือ (Temperature Swing) ที่เกิดจากอิทธิพลของชนิดกระจก ระหว่างปริมาณมวลสารที่แตกต่างกัน	76
แผนภูมิที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีอุณหภูมิมวลสารภายใน ไม่ติดตั้งกระจก ติดตั้งกระจกชั้นเดียว และติดตั้งกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้ เพื่อแสดงผลของการเกิด Green House Effect	77
แผนภูมิที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดกระจกที่แตกต่างกัน เมื่อมีค่า SC เท่ากัน ทิศใต้	78
แผนภูมิที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดกระจกที่แตกต่างกัน เมื่อมีค่า SC เท่ากัน ทิศเหนือ	79
แผนภูมิที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้า ทิศใต้	79
แผนภูมิที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้า ทิศเหนือ	80
แผนภูมิที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดกระจกที่แตกต่างกัน ทิศใต้	81
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดกระจกที่แตกต่างกัน ทิศเหนือ	81
แผนภูมิที่ 4.31 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีคอนกรีตเป็นมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้	83
แผนภูมิที่ 4.32 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้	85
แผนภูมิที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีอุณหภูมิมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศใต้	87
แผนภูมิที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีคอนกรีตเป็นมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศเหนือ	89

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.35 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีคอนกรีตมวลเบาเป็นมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศเหนือ.....	91
แผนภูมิที่ 4.36 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีอิฐมวลเบาเป็นมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ซึ่งมีค่า SC = 0.41 ทิศเหนือ.....	93
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ทางทิศใต้ (Temperature Swing) ที่เกิดจากอิทธิพลของชนิดกระจก ระหว่างมวลสารภายในแต่ละประเภท.....	95
แผนภูมิที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ทางทิศเหนือ (Temperature Swing) ที่เกิดจากอิทธิพลของชนิดกระจก ระหว่างมวลสารภายในแต่ละประเภท.....	96
แผนภูมิที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดกระจก ทางทิศใต้.....	96
แผนภูมิที่ 4.40 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก ซึ่งเกิดขึ้นจากอิทธิพลของชนิดกระจก ทางทิศเหนือ.....	97
แผนภูมิที่ 4.41 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ทางทิศใต้.....	97
แผนภูมิที่ 4.42 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ทางทิศเหนือ.....	98
แผนภูมิที่ 4.43 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ทางทิศใต้.....	98
แผนภูมิที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นระหว่างกระจกชั้นเดียวและกระจก 2 ชั้น ทางทิศเหนือ.....	99
แผนภูมิที่ 4.45 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกชั้นเดียวเมื่อมี SC = 0.41 ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศใต้.....	100
แผนภูมิที่ 4.46 แสดงอุณหภูมิผิวกระจก 2 ชั้นเมื่อมี SC = 0.41 ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศใต้.....	102
แผนภูมิที่ 4.47 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกชั้นเดียวเมื่อมี SC = 0.87 ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศใต้.....	104

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.48 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกชั้นเดียวเมื่อมี SC = 0.41 ปรับอากาศภายในอาคาร หมุนหลบแดด	106
แผนภูมิที่ 4.49 แสดงอุณหภูมิผิวกระจก 2 ชั้นเมื่อมี SC = 0.41 ปรับอากาศภายในอาคาร หมุนหลบแดด	108
แผนภูมิที่ 4.50 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกชั้นเดียวเมื่อมี SC = 0.87 ปรับอากาศภายในอาคาร หมุนหลบแดด	110
แผนภูมิที่ 4.51 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกชั้นเดียวเมื่อมี SC = 0.41 ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศเหนือ	112
แผนภูมิที่ 4.52 แสดงอุณหภูมิผิวกระจก 2 ชั้นเมื่อมี SC = 0.41 ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศเหนือ	114
แผนภูมิที่ 4.53 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกชั้นเดียวเมื่อมี SC = 0.87 ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศเหนือ	116
แผนภูมิที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ที่เกิดกับกระจก 3 ชนิด ทางทิศใต้	118
แผนภูมิที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ที่เกิดกับกระจก 3 ชนิด หมุนหลบแดด	119
แผนภูมิที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด (Temperature Swing) ที่เกิดกับกระจก 3 ชนิด ทางทิศเหนือ	119
แผนภูมิที่ 4.57 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกภายในของกระจก 3 ชนิด ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศใต้	120
แผนภูมิที่ 4.58 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกของกระจก 3 ชนิด ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศใต้	122
แผนภูมิที่ 4.59 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกภายในของกระจก 3 ชนิด ปรับอากาศภายในอาคาร หมุนหลบแดด	124
แผนภูมิที่ 4.60 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกของกระจก 3 ชนิด ปรับอากาศภายในอาคาร หมุนหลบแดด	126

สารบัญแผนภูมิประกอบ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.61 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกภายในของกระจก 3 ชนิด ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศเหนือ.....	128
แผนภูมิที่ 4.62 แสดงอุณหภูมิผิวกระจกภายนอกของกระจก 3 ชนิด ปรับอากาศภายในอาคาร ทางทิศเหนือ.....	131
แผนภูมิที่ 4.63 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระจก (Mean Temperature) ของกระจก 3 ชนิด ทางทิศใต้.....	132
แผนภูมิที่ 4.64 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระจก (Mean Temperature) ของกระจก 3 ชนิด หมุนหลบแดด.....	133
แผนภูมิที่ 4.65 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวกระจก (Mean Temperature) ของกระจก 3 ชนิด ทางทิศเหนือ.....	133
แผนภูมิที่ 4.66 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่ไม่มีมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวมีค่า SC = 0.41 มีตำแหน่งทิศของช่องแสงแตกต่างกัน	135
แผนภูมิที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของทิศที่เปิดช่องแสงด้านข้างที่แตกต่างกัน ไม่มีมวลสารภายใน.....	138
แผนภูมิที่ 4.68 แสดงอุณหภูมิภายในกล่องทดลองที่มีคอนกรีตเป็นมวลสารภายใน ที่ติดตั้งกระจกชั้นเดียวมีค่า SC = 0.41 มีตำแหน่งทิศของช่องแสงแตกต่างกัน....	140
แผนภูมิที่ 4.67 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศภายใน (Mean Temperature) ที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของทิศที่เปิดช่องแสงด้านข้างที่แตกต่างกัน มีคอนกรีตเป็นมวลสารภายใน.....	143