บทที่ 2

ทฤษฎี แนวคิดและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยในบทนี้จะรวบรวมทฤษฎี แนวคิดและงานเขียนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยอธิบายถึงสาเหตุและผลกระทบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยภาพรวมของหลักการและทฤษฎีที่ใช้จะประกอบด้วย

1. ลักษณะความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน
3. หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
4. การนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม

2.1 ลักษณะความร้อนที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์

รังสีความร้อนที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานมีอยู่หลายลักษณะ ตามชนิดของต้นกำเนิด และลักษณะของการถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งประเภทของการแผ่รังสีได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541)

1. รังสีคลื่นสั้นที่แผ่ลงมาโดยตรง (Direct radiation) คือ รังสีที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงสู่พื้นโลก หรือผิววัตถุโดยตรง โดยไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางและพลังงาน

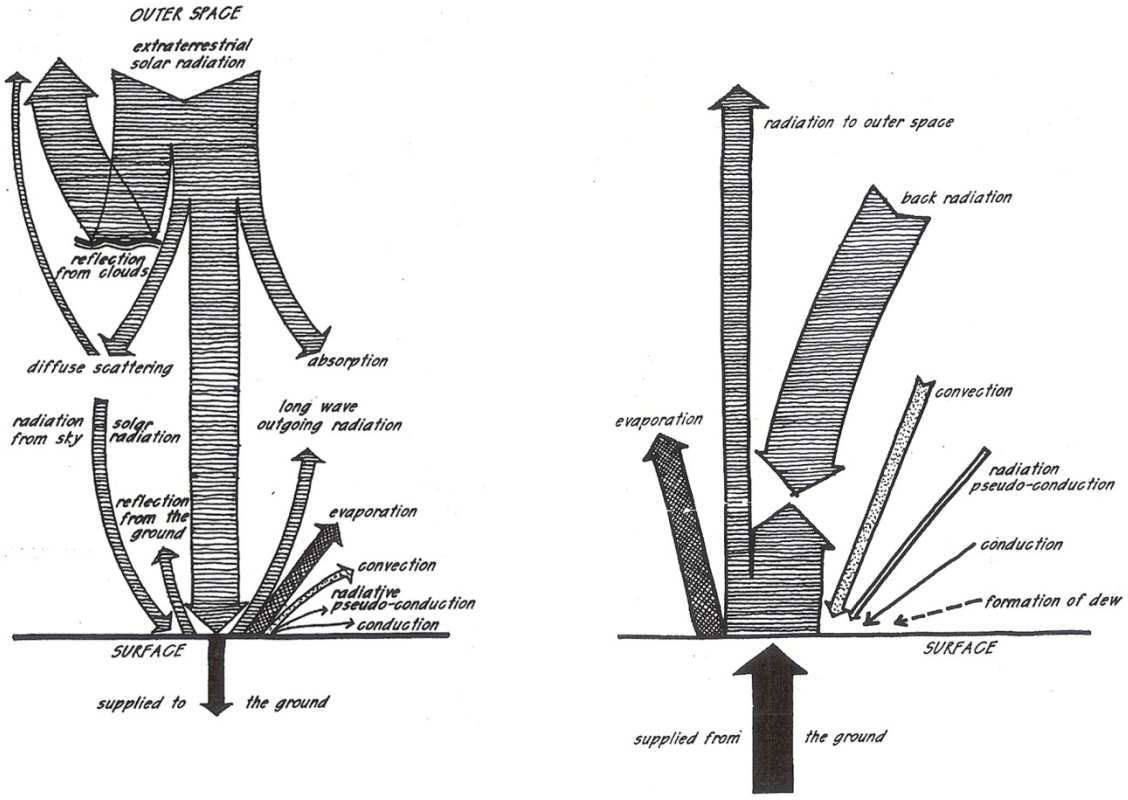
2. รังสีคลื่นสั้นที่แผ่กระจายเนื่องจากผ่านชั้นบรรยากาศ (Diffuse radiation) คือ รังสีที่เกิดจากดวงอาทิตย์ ที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศตกกระทบกับเมฆ ไอน้ำ ฝุ่นละอองและโมเลกุลของอากาศ ทำให้เกิดการกระจัดกระจายของรังสี ถ้ารังสีมีระยะทางการเดินทางมาก ก็จะเกิดรังสีประเภทนี้มาก ในทางกลับกันถ้ารังสีดวงอาทิตย์มีระยะการเดินทางน้อย ก็จะเกิดรังสีประเภทนี้น้อยเช่นกัน

3. รังสีคลื่นสั้นที่สะท้อนจากสภาพแวดล้อมและบริเวณใกล้เคียง รังสีประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว (Reflectivity) สีของวัสดุ ลักษณะพื้นผิวและทิศทางของสภาพแวดล้อมข้างเคียง สิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อปริมาณของแสงและความร้อนที่จะสะท้อนไปยังตัวอาคารทั้งสิ้น

4. รังสีคลื่นยาวที่สะท้อนกลับออกมาจากพื้นและวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศโดยรอบ พื้นดินและวัสดุที่อยู่ใกล้เคียงอาคาร รวมทั้งวัสดุที่ใช้เป็นผนัง หรือโครงสร้างปิดของตัว

5. รังสีคลื่นยาวที่เกิดจากการสูญเสียความร้อนของวัตถุให้แก่ท้องฟ้าในตอนกลางคืน (night sky radiation) ในเวลากลางคืนวัตถุจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ทำให้เกิดการคายความร้อนของวัตถุ และจะหยุดคายความร้อนก็ต่อเมื่อทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน

ภาพที่ 2.1
การแผ่รังสีความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน



Typical daytime solar radiation exchange, summer

Typical nighttime radiation exchange, summer

ที่มา: Moore, 1950.

จากรังสีทั้ง 5 ประเภทที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถแบ่งรังสีดวงอาทิตย์ตามลักษณะความยาวคลื่นได้เป็น 2 ประเภท (ภาพที่ 2.2) ได้แก่

1. รังสีคลื่นสั้น (Short wave) คือ รังสีความร้อนที่มีอยู่ในแสงสว่าง เช่น แสงจากดวงอาทิตย์ รังสีชนิดนี้มีคุณสมบัติ คือ เป็นรังสีที่สามารถมองเห็นได้เฉพาะบางช่วงความยาวคลื่น (Wave length) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 380 - 780 นาโนเมตร มีอุณหภูมิสูง สามารถทะลุผ่านกระจกได้เป็นอย่างดี รวมทั้งสามารถเกิดการสะท้อนได้ดีสำหรับวัสดุที่มีผิวมันและสีอ่อน วัตถุสีดำสามารถดูดซับรังสีประเภทนี้ได้ดี รังสีคลื่นสั้นสามารถแบ่งได้อีก 3 ประเภท คือ

1) รังสีอัลตร้าไวโอเล็ต (Ultra Violet) หรือรังสียูวี (UV) รังสียูวีสามารถแยกย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ รังสีอัลตร้าไวโอเล็ตชนิดเอ ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 320 - 380 นาโนเมตร สามารถทำให้ผิวหมองคล้ำและเหี่ยวย่นได้ อีกประเภทหนึ่ง คือ รังสีอัลตร้าไวโอเล็ตชนิดบี ที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 290 - 320 นาโนเมตร สามารถทำให้ผิวหนังเกิดการไหม้และเป็นมะเร็งผิวหนังได้

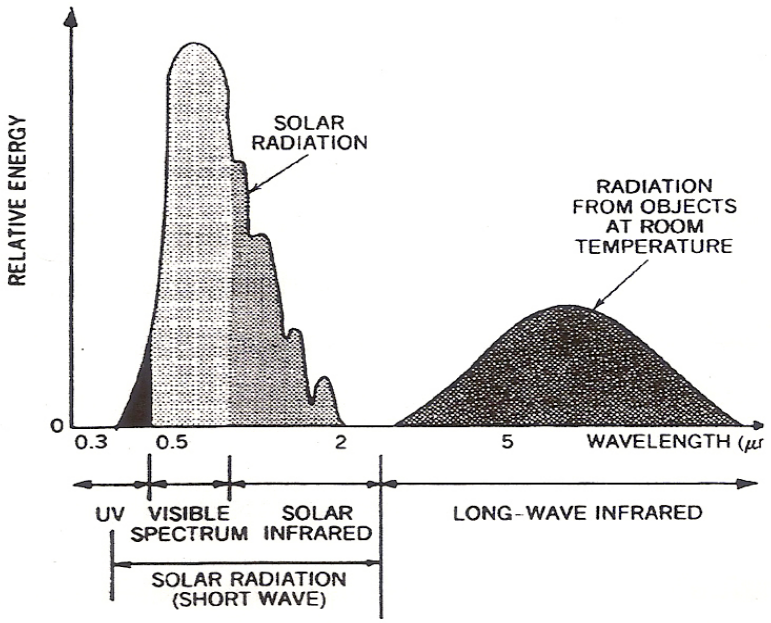
2) รังสีแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็น (Visible light) เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 380 - 780 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่ทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้ ช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันสามารถแยกแยะได้จากสีที่ตามองเห็น คือ สีแดง ส้ม เหลือง เขียว น้ำเงินสีม่วง

3) รังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Short wave infrared) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 780 - 3000 นาโนเมตร และมีคุณสมบัติเฉพาะตัว คือ ไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีอินฟราเรดที่มีความถี่สูงก็จะมีพลังงานสูงตามไปด้วย

2. รังสีคลื่นยาว (Long wave) คือ รังสีที่เกิดจากรังสีคลื่นสั้นที่เคลื่อนที่ไปตกกระทบกับวัตถุทึบแสง หรือโปร่งแสงแล้วเกิดการสะท้อน หักเห หรือส่งผ่านวัตถุนั้นไป ทำให้รังสีคลื่นสั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นรังสีคลื่นยาว โดยมีความยาวคลื่นประมาณ 3000 นาโนเมตรขึ้นไป ส่งผลให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังบริเวณรอบข้างที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า รังสีคลื่นยาวนี้มีคุณสมบัติในการสะท้อนได้ดีกับวัสดุผิวมัน ไม่สามารถมองเห็นด้วยตา และมีการถ่ายเทความร้อนแบบนำความร้อน (Conduction)

ภาพที่ 2.2

ความยาวคลื่นในช่วงต่าง ๆ ที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์



ที่มา: Lechner, 1991.

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน

2.2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การถ่ายเทความร้อนสามารถแบบออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนของสสารที่มีสภาพเป็นของแข็ง โดยมีการส่งผ่านความร้อนระหว่างโมเลกุลที่สัมผัสกัน การนำความร้อนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างโมเลกุล โดยโมเลกุลที่มีความร้อนสูง จะเกิดการสั่นสะเทือนและถ่ายเทพลังงานไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า นอกจากนั้นการนำความร้อนยังขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ของวัสดุนั้น ๆ อีกด้วย กล่าวคือ ถ้าวัสดุนั้นมีค่า U-value มาก การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารก็จะมากด้วย ในทางกลับกันถ้าวัสดุมีค่า U-value น้อย การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารก็จะน้อยตามไปด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = U.A.(T_i - T_o) \qquad \text{สมการที่ 1}$$

$$Q = U.A.CLTD \qquad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ Q = พลังงานความร้อน (Btu./h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value), (Btu./h.ft^2.$^\circ$F)

A = พื้นที่ที่มีการถ่ายเทความร้อน (m^2.)

T_i = อุณหภูมิที่สูงกว่า ($^\circ$F)

T_o = อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ($^\circ$F)

$CLTD$ = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference), ($^\circ$F)

โดยจะเลือกใช้ค่า ΔT ที่เป็นค่า $T_i - T_o$ ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในกับภายนอกอาคารคงที่ (steady state condition) แต่ถ้าต้องการให้ได้ค่าพลังงานที่ใกล้เคียงความจริงมากยิ่งขึ้น จะต้องเปลี่ยนค่า ΔT จาก $T_i - T_o$ ให้เป็น CLTD เนื่องจากค่า CLTD เป็นการปรับค่าให้เข้ากับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมโดยรอบมากที่สุด เช่น วัน เดือน เวลา ตำแหน่งละติจูด มวลสาร สี การสะท้อนแสง ฯลฯ

2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนของสสารที่มีสถานภาพเป็นของไหล ได้แก่ ของเหลวและก๊าซ เมื่อของไหลถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น สภาพของโมเลกุลจะมีความหนาแน่นน้อยลง น้ำหนักเบาลง ทำให้โมเลกุลลอยตัวสูงขึ้นไปแทนที่ของไหลที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ความหนาแน่นมากกว่า และมีน้ำหนักมากกว่า ทำให้เกิดการไหลวนของความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Q = h.A.(T_a - T_s) \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ h = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของฟิล์มอากาศบริเวณที่มีอากาศไหลผ่าน

A = พื้นที่ผิววัสดุที่ของไหลผ่าน

T_a = ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ($^\circ$F)

T_s = อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ ($^\circ$F)

3. การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนมีลักษณะเดียวกับการนำความร้อน กล่าวคือ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนพื้นผิววัสดุหนึ่ง จะเกิดการดูดซับพลังงานและเปลี่ยนแปลงพลังงานเป็นความร้อน ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุสูงขึ้น

วัตถุโดยทั่วไปมีคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีดังนี้

1) ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน (Absorptivity) คือ คุณสมบัติการกักเก็บความร้อนไว้ในตัววัตถุ

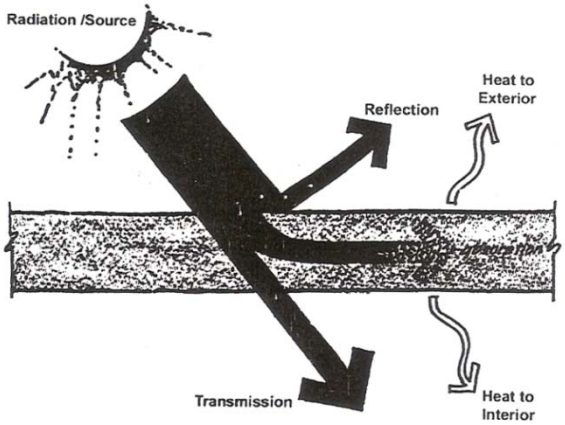
2) ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน (Reflectivity) คือ คุณสมบัติในการสะท้อนรังสีความร้อนของผิววัตถุเมื่อมีรังสีความร้อนมาตกกระทบ

3) ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) คือ คุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนที่ถูกกักเก็บเอาไว้ในตัววัตถุออกมาจากตัววัตถุ (Re-radiation)

4) ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน (Transmissivity) คือ คุณสมบัติของวัสดุที่ยอมให้รังสีความร้อนมีการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง

ภาพที่ 2.3

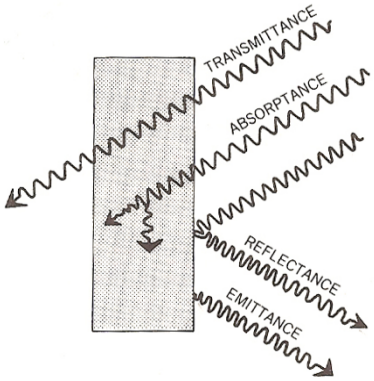
พฤติกรรมของรังสีจากดวงอาทิตย์สู่ตัวกลาง



ที่มา: Moore, 1993.

ภาพที่ 2.4

พฤติกรรมของรังสีความร้อนเมื่อตกกระทบวัตถุ



ที่มา: Lechner, 1991.

เมื่อวัตถุมีการแผ่รังสีออกมา ทำให้อุณหภูมิของวัตถุลดต่ำลง หากแต่ว่าถ้าได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของวัตถุอื่นที่อยู่รอบข้าง ที่มีค่าการแผ่รังสีที่มากกว่า ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุและผนังกระจกสามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \S.\varepsilon.A.T^4 \qquad \text{สมการที่ 4}$$

$$Q = A.SC.RAD \qquad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ $\S$ = ค่าคงที่ของสเตแฟน และโบลซ์แมน (Stefan-Bohzmann Constant) มีค่าเท่ากับ 0.1717×10^{8} Btu/h.ft^2

ε = ค่าการคายรังสีความร้อน

A = พื้นที่ผิววัตถุ

T = อุณหภูมิผิววัตถุ

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก

RAD = ปริมาณพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบบนผิวกระจก

2.2.2 **สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน**

1. ค่าความเข้มการส่องสว่าง (I) ปริมาณรังสีตกกระทบบนพื้นผิววัตถุ ส่งผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปภายในอาคาร และส่งผลต่อความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I_\alpha = I_0 \cos\alpha \qquad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ I_α = ค่าความเข้มการส่องสว่างที่มุมตกกระทบใด ๆ (W/m^2)

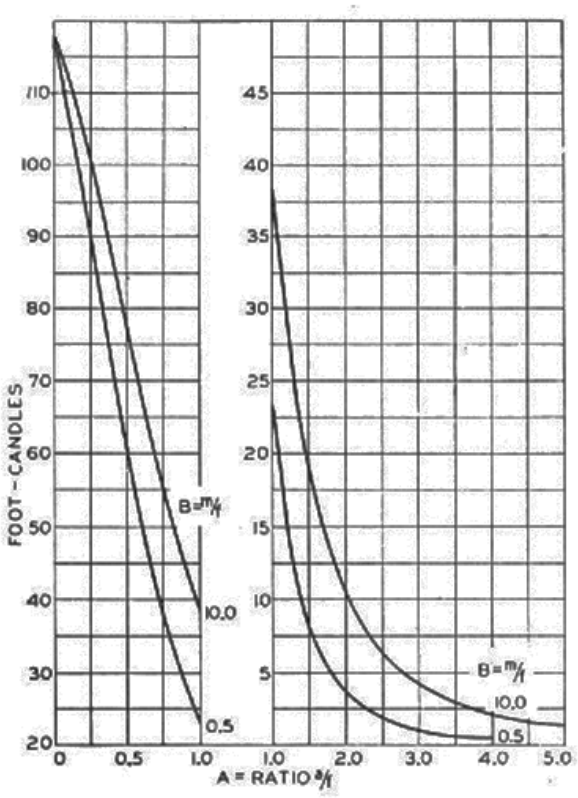
I_0 = ค่าความเข้มการส่องสว่างตั้งฉากกับพื้นผิว (W/m^2)

$\cos\alpha$ = มุมของรังสีตกกระทบที่ทำกับแนวตั้งฉากกับพื้นผิววัตถุ

จากสมการข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มการส่องสว่างแปรผันตรงกับค่า $\cos\alpha$ กล่าวคือ หากค่า $\cos\alpha$ มาก ความเข้มการส่องสว่างก็จะมีค่ามาก ในทางกลับกันถ้าหากค่า

ภาพที่ 2.5

เปรียบเทียบค่าความเข้มการส่องสว่างของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบบนกระจกต่างชนิดกัน

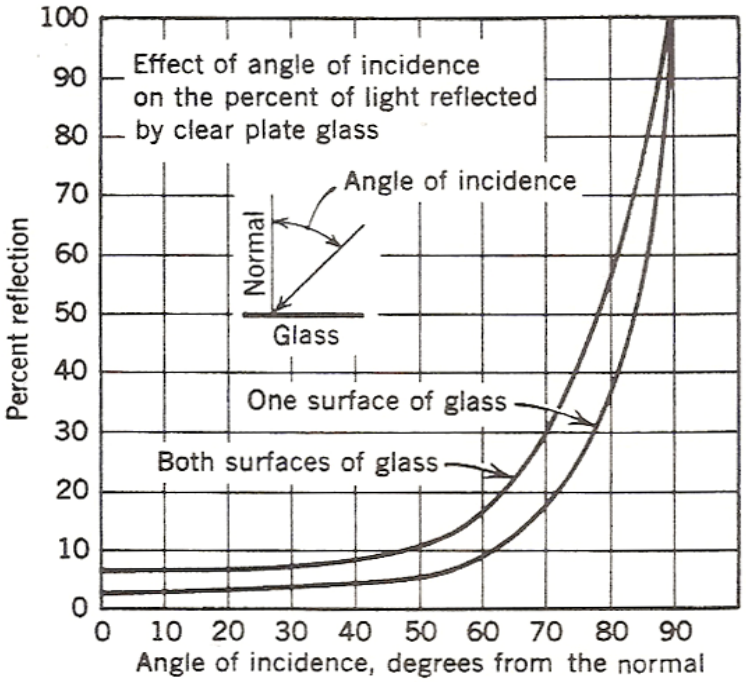


ที่มา: Cabeza & Almodovar, 2003.

จากภาพที่ 2.5 แสดงถึงความเข้มการส่องสว่างของรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบบนพื้นผิวกระจกในองศาที่แตกต่างกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกระจกสองชนิด สรุปได้ว่ามุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลต่อค่าความเข้มการส่องสว่าง กล่าวคือ ถ้าองศาการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์มีค่ามาก ค่าความเข้มการส่องสว่างก็จะมีค่าน้อย ถ้าองศาการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์มีค่าน้อย ค่าความเข้มการส่องสว่างก็จะมีค่ามาก อาจกล่าวได้ว่าความเข้มการส่องสว่างของรังสีดวงอาทิตย์มีค่าแปรผกผันกับมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์

2. การสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์ (Reflectivity) เป็นการเปลี่ยนแปลงทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อมีการตกกระทบบนพื้นผิววัสดุ ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของตัวกลางทั้งสองชนิด ทำให้รังสีเกิดการสะท้อนกลับไปยังฝั่งของตัวกลางชนิดแรก โดยมีกฎของการสะท้อน คือ มุมตกกระทบจะมีค่าเท่ากับมุมที่สะท้อนออก ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6
เปรียบเทียบค่าการสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อตกกระทบบนกระจกหนึ่งชั้นและกระจกสองชั้น



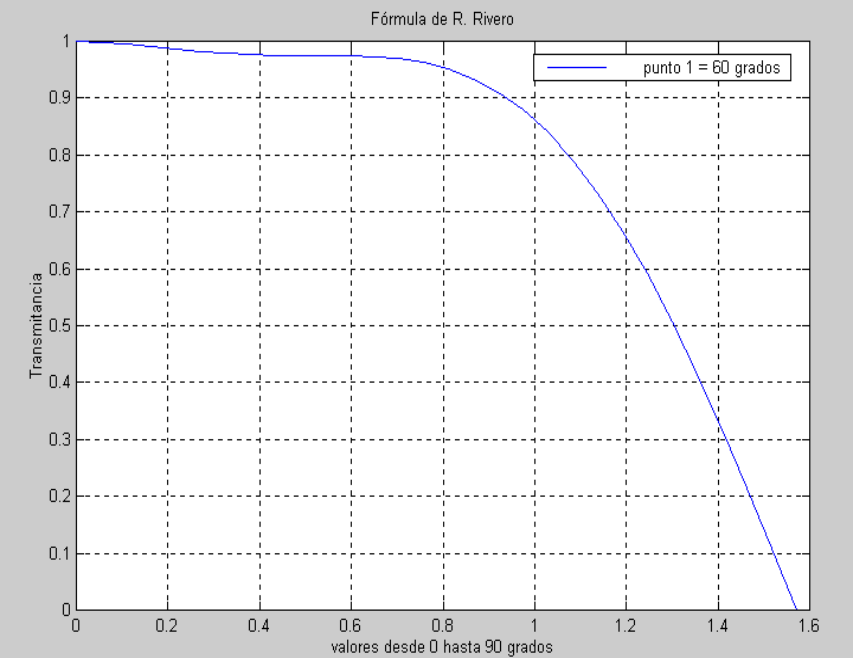
ที่มา: Stein & Reynolds, 2000.

จากภาพที่ 2.6 แสดงถึงค่าการสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบบนพื้นผิวกระจกในองศาที่แตกต่างกันออกไปสรุปได้ว่า รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าการสะท้อนมากก็ต่อเมื่อมีมุมตกกระทบมาก ในทางกลับกัน รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าการสะท้อนน้อยก็ต่อเมื่อ มีมุมตกกระทบน้อย และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการสะท้อนของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อตกระทบบนกระจกหนึ่งชั้นและ

3. การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ (Transmissivity) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางมากระทบกับวัตถุโปร่งแสง จะมีรังสีส่วนหนึ่งเกิดการส่งผ่านแสงและความร้อนไปยังอีกฝั่งหนึ่ง โดยมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัตถุ คุณสมบัติของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุรวมไปถึงมุมตกกระทบของวัตถุ เป็นต้น

ภาพที่ 2.7

ค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจก



ที่มา: Cabeza & Almodovar, 2003.

จากภาพที่ 2.7 แสดงค่าการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ ที่ผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคาร สรุปได้ว่า รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าการส่งผ่านมาก ก็ต่อเมื่อมีมุมตกกระทบน้อย ในทางกลับกัน รังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าการส่งผ่านน้อย ก็ต่อเมื่อมีมุมตกกระทบมาก ฉะนั้นค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ จึงแปรผกผันกับมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์

4. การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง/หลังคา (OTTV/RTTV) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดเกณฑ์การพิจารณาการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยใช้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (หลังคา) เป็นมาตรฐานในการออกแบบ เช่น สถาปนิกต้องออกแบบให้ผนังอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมไม่เกิน 50 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับอาคารสำนักงาน (กระทรวงพลังงาน, 2550) เป็นต้น โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$OTTV = (U_w)(1\text{-}WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad \text{สมการที่ 7}$$

เมื่อ OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W/m^2.^\circ C$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง ($W/m^2.^\circ C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

SHGC = สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งการคำนวณให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

ESR = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (W/m^2)

จากสมการ จะเห็นได้ว่ามีอิทธิพลหลายอย่างที่ส่งผลกระทบต่อค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (หลังคา) ของอาคาร ซึ่งอาจแบ่งประเภทของการถ่ายเทความร้อนได้เป็น 2 ประเภท คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุทึบแสง และการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุโปร่งแสง (กระจก) โดยมีค่าสัดส่วนช่องเปิดของผนังทึบแสงเป็นตัวแปรสำคัญ นอกจากนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากลักษณะทางกายภาพขององค์ประกอบอาคาร และลักษณะการวางตัวของอาคารนั้น ๆ โดยค่าดังกล่าวจะถูกกำหนดโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ซึ่งค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (หลังคา) จะมีค่าแปรผันตรงกับค่าการใช้พลังงานภายในอาคาร กล่าวคือ ถ้าต้องการให้พลังงานที่ใช้ภายในอาคารมีค่าน้อย ก็ต้องพยายามออกแบบให้ผนังอาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมน้อยด้วยเช่นกัน

2.3 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

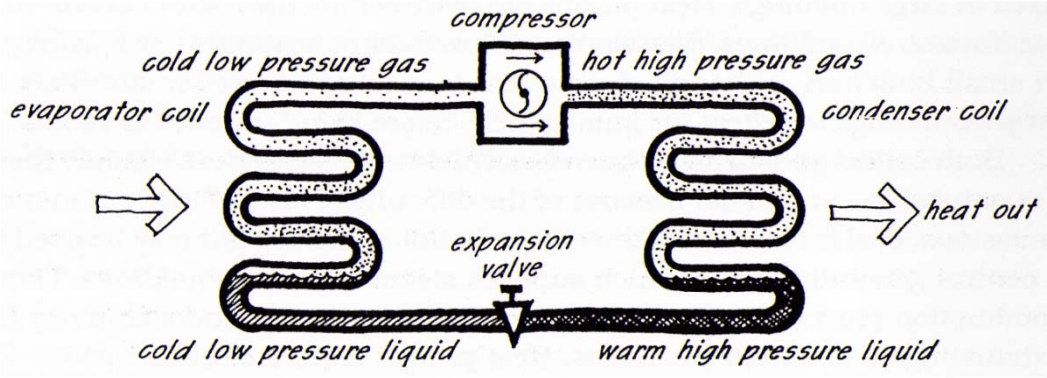
การทำความเย็นของระบบปรับอากาศมีจุดประสงค์ คือ ต้องการปรับอุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียนของอากาศ รวมถึงความสะอาดของอากาศที่อยู่ภายในห้องให้มีคุณภาพ ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดภาวะน่าสบาย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร การทำงานของระบบปรับอากาศส่วนมากจะใช้พลังงานที่มาจากไฟฟ้าเป็นหลัก การศึกษาหลักการและทฤษฎีในหัวข้อนี้จึงแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ลักษณะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ
2. การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพและค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

2.3.1 ลักษณะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศอาจแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 ประเภท คือ ระบบการทำความเย็นแบบกดดันไอ หรืออัดไอ (Vapor Compression Refrigeration Unit) และระบบการทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Refrigeration Unit) ระบบที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ ระบบทำความเย็นแบบกดดันไอ ซึ่งใช้หลักการอัดไอสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิและความดันสูงโดยเครื่องคอมเพรสเซอร์ แล้วจึงระบายความร้อนออกเพื่อให้เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว สารทำความเย็นจะถูกลดความดันและอุณหภูมิทำให้เปลี่ยนสถานะอีกครั้ง จากนั้นจึงทำการจ่ายลมผ่านเครื่องทำระเหย (Evaporator) ที่มีสารทำความเย็นอยู่ภายในจะได้ลมเย็นที่ใช้

ภาพที่ 2.8
ระบบการทำงานของเครื่องทำความเย็น



ที่มา: Moore, 1993.

1. คอมเพรสเซอร์ (Compressor) หรือเครื่องอัดไอ ทำหน้าที่ดูดสารทำความเย็นในสภาพที่เป็นไอ ซึ่งสารทำความเย็นดังกล่าวจะดูดความร้อนในขณะที่ระเหยจากอีวาพอเรเตอร์ จากนั้นจะถูกอัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไอของสารทำความเย็นอยู่ในสภาพความร้อนยิ่งยวดพร้อมที่จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ไอของสารจะถูกส่งผ่านไปยังคอนเดนเซอร์เพื่อให้ผ่านกระบวนการการถ่ายเทความร้อนและควบแน่นเป็นของเหลว

2. คอนเดนเซอร์ (Condenser) หรือคอล์ยร้อน ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการลดปริมาณไอของสารทำความเย็นลง แล้วทำให้ไอของสารเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว เป็นการถ่ายเทความร้อนออกจากระบบ แต่สารทำความเย็นยังคงมีอุณหภูมิและความชื้นสูง จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น หรืออุปกรณ์ลดความดันต่อไป

3. อุปกรณ์ควบคุมสารทำความเย็น (Expansion Valve) หรืออุปกรณ์ลดความดัน ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นให้มีความเหมาะสม และทำการลดความดันเพื่อให้สารทำความเย็นระเหยกลายเป็นไอได้ในอุณหภูมิต่ำ ก่อนจะถูกส่งต่อไปยังอีวาพอเรเตอร์

4. อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) หรือคอล์ยเย็น ทำหน้าที่ดูดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้อง ขณะที่สารทำความเย็นภายในระบบจะระเหยเปลี่ยนสถานะเป็นไอ และดูดความร้อนผ่านผิว

2.3.2 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพและค่าพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

1. ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ (Energy Efficiency Ratio: EER) คือ ค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำได้จริง (Output) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องการใช้ในการทำความเย็น (Input) เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER สูง แสดงว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่ดี นั้นคือมีการใช้พลังงานน้อยนั้นเอง โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

EER = ภาระการทำความเย็น (Btu/hr) / กำลังไฟฟ้า (W) สมการที่ 8

หรือ EER = 3.412 (COP) สมการที่ 9

2. ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Coefficient of Performance: COP) คือ ค่าที่ใช้วัดความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ กับพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ในการทำความเย็น โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

COP = ภาระการทำความเย็น (Btu/hr) / พลังงานไฟฟ้า (Btu/hr) สมการที่ 10

3. ค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling load) คือ ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเกิดจากผลคูณของอัตราการไหลของอากาศกับผลต่างของเอนทัลปี (Enthalpy) ที่ช่องจ่ายลมและช่องนำลมกลับ โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$Q = 4.5\,(CFM)(h_2-h_1)$$ สมการที่ 11

เมื่อ CFM = อัตราการไหลของอากาศ (ft^3/min)

h_1 = เอนทัลปีของสภาวะอุณหภูมิ และความชื้นด้านช่องจ่ายลม

h_2 = เอนทัลปีของสภาวะอุณหภูมิ และความชื้นด้านช่องนำลมกลับ

4. อัตราการไหลของอากาศ (Cubic feet per minute) คือ ปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านหัวจ่ายลมเย็น มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

CFM = ความเร็วลมที่หัวจ่ายลม (ft/min) x ขนาดพื้นที่ของช่องลม (ft^2) สมการที่ 12

5. ค่ากำลังไฟฟ้า (Power) คือ อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งหน่วยเวลา เกิดจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้กับความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$P = I V$$ สมการที่ 13

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า (W)

I = กระแสไฟฟ้า (A)

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

6. ค่าพลังงานไฟฟ้า เกิดจากผลคูณระหว่างกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า กับระยะเวลาที่ใช้งาน หน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่นิยมใช้ คือ กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ หน่วย หรือ ยูนิต โดยมีสมการในการคำนวณดังนี้

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = กำลังไฟฟ้า (kW) x เวลา (hr) สมการที่ 14

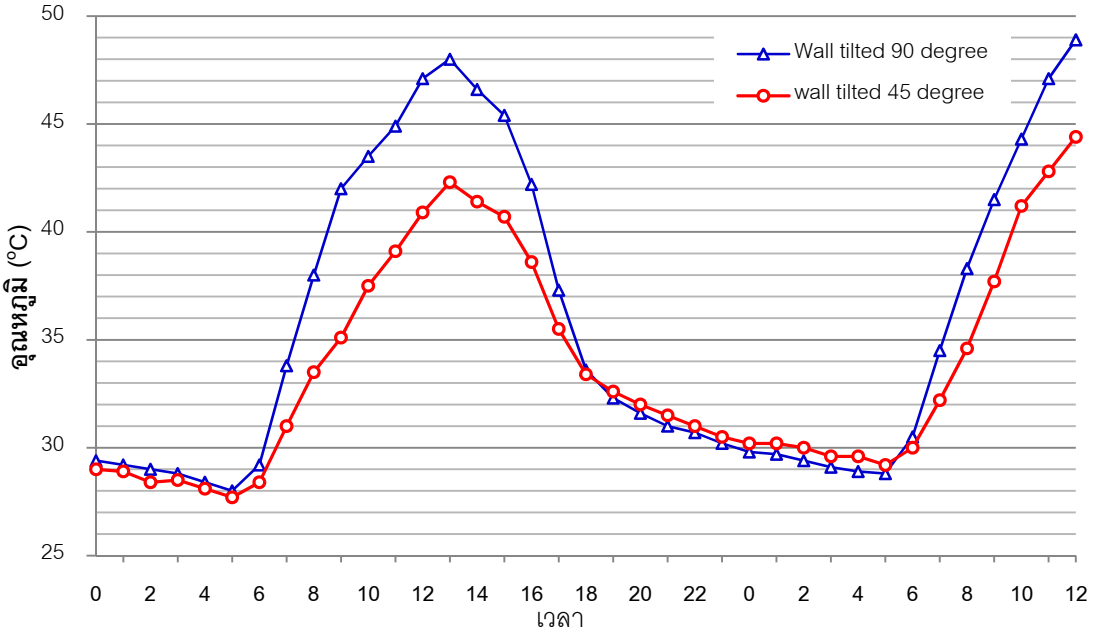
2.4 การนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม

จากการศึกษาทฤษฎี ทำให้เกิดการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในการนำความรู้ดังกล่าว มาประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรมที่คำนึงถึงหลักการถ่ายเทความร้อน และการรับเอาความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม เข้ามาภายในตัวอาคารให้น้อยที่สุด เนื่องจากความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์เป็นตัวแปรสำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อค่าการใช้พลังงานภายในอาคาร ทั้งนี้เพื่อต้องการให้อาคารมีลักษณะการใช้พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศให้มีค่าน้อยลง จึงจำเป็นต้องใช้หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ มาช่วยในการออกแบบอาคาร การปรับเปลี่ยนเปลือกอาคารให้มีลักษณะของการหลบรังสีดวงอาทิตย์ เป็นอีกแนวทางที่สามารถลดความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ได้ ซึ่งมีงานวิจัยเบื้องต้นที่ทำการทดลองเปรียบเทียบอาคาร 2 ประเภท คือ อาคารที่มีผนังตั้งฉากเป็นองค์ประกอบและอาคารที่มีผนังเอียงออกเป็นองค์ประกอบ โดยงานวิจัยดังกล่าว ได้ทำการศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจกเอียงโดยเปรียบเทียบกับผนังกระจกตั้งฉากในทิศใต้และทิศเหนือ โดยพิจารณาควบคู่ไปกับคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุพื้นด้านหน้าของผนังกระจก ทำการทดลองโดยการสร้างกล่องทดลองผนังตั้งฉากที่มีขนาดภายใน กว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.80 เมตร และสูง 0.50 เมตร หนึ่งกล่อง และสร้างกล่องทดลองผนังเอียง 45 องศา (135 องศาจากมุมภายในอาคาร) ที่มีขนาดภายใน กว้าง 0.60 เมตร ยาว 0.96 เมตร และสูง 0.50 เมตร อีกหนึ่งกล่อง ติดตั้งกล่องทดลองให้หันด้านผนังกระจกไปทางทิศใต้ จากนั้นทำการทดลองเพื่อตรวจวัดค่าอุณหภูมิภายในที่เกิดขึ้นจริง แล้วนำค่าอุณหภูมิที่วัดได้มาเปรียบเทียบกันทั้ง 2 กรณี พบว่าห้องทดลองผนังกระจกเอียงมีค่าอุณหภูมิภายในต่ำกว่าห้องทดลองผนังกระจกตั้งฉาก (ดังภาพที่ 2.9) นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังทำการศึกษาการใช้สีภายในอาคารเพื่อปรับความส่องสว่างที่เกิดขึ้นภายในเนื่องจากการใช้ผนังกระจกเอียง ทำการทดลองโดยการจำลองสภาพในโปรแกรม 3dsMax ผลปรากฏว่า อาคารผนังกระจกเอียงช่วยลดแสงสว่างเข้าสู่อาคารที่มากเกินไป ควรใช้สีภายในอาคารเป็นโทนสีเข้มเพื่อลดค่าการสะท้อนแสง และปรับค่าความส่องสว่างในพื้นที่ใช้สอยที่ใกล้ผนังกระจกให้มีค่าน้อยลง โดยส่วนที่ถัดจากผนังกระจกเข้าไปมาก ๆ ควรใช้สีภายในอาคารเป็นโทนสีอ่อน เพื่อเพิ่มค่าการสะท้อนแสงและปรับค่าความส่องสว่างในพื้นที่ใช้สอยให้มีค่ามากขึ้น

ภาพที่ 2.9

เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในระหว่างกล่องทดลองผนังตั้งฉาก

และผนังเอียง 45 องศา ทางด้านทิศใต้



ที่มา: กิรณา ธรรมสุข, 2551.

จากภาพที่ 2.9 แสดงค่าการตรวจวัดอุณหภูมิจากกล่องทดลอง 2 กล่องระหว่างกล่องทดลองที่มีผนังตั้งฉากกับผนังเอียงทำมุม 45 องศา พบว่าอุณหภูมิภายในเฉลี่ยของกล่องทดลองที่มีผนังเอียงเป็นองค์ประกอบ มีค่าน้อยกว่าผนังตั้งฉากอยู่ 2.28 องศาเซลเซียส

นอกจากงานวิจัยที่ได้ทำการพิสูจน์ทฤษฎีการหลบรังสีดวงอาทิตย์เพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคารแล้วนั้น ยังมีงานสถาปัตยกรรมที่ได้รับการออกแบบโดยใช้หลักการดังกล่าว มาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างจริง ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และเป็นการป้องกันรังสีดวงอาทิตย์ ให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในอาคารได้น้อยลง ตัวอย่างเช่น อาคารศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ถนนแจ้งวัฒนะ (ภาพที่ 2.10) ที่ได้มีการออกแบบผนังอาคารให้มีลักษณะเอียงออกเพื่อหลบรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน โดยมีองศาการเอียงเท่ากับ 23 องศากับแนวตั้งฉาก (113 องศา จากมุมภายในอาคาร) และผนังจะเริ่มมีการเอียงตั้งแต่ชั้นที่ 3 เป็นต้นไป การออกแบบดังกล่าว นอกจากจะช่วย

ภาพที่ 2.10

อาคารศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ถนนแจ้งวัฒนะ

ที่มา: บริษัท ธนารักษ์พัฒนาสินทรัพย์ จำกัด, 2552.