

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยปล่องแสงอาทิตย์นี้จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะการระบายอากาศในตึกแถวในประเทศไทย และความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำให้เกิดลมภายในอาคาร เพื่อที่จะตอบคำถามวิจัยได้นั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. การระบายอากาศธรรมชาติภายในอาคาร
2. ความร้อนที่เกิดในปล่องแสงอาทิตย์
3. เทคนิคอื่นที่ใช้เกี่ยวกับการระบายอากาศด้วยแสงอาทิตย์
4. งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง
5. การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศ
6. ตัวอย่างอาคารที่ใช้ระบบปล่องแสงอาทิตย์ระบายอากาศ

2.1 การระบายอากาศธรรมชาติภายในอาคาร

การระบายอากาศภายในอาคาร มี 3 รูปแบบ คือ

2.1.1 การระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด (Cross Ventilation)

การระบายอากาศแบบพัดผ่านตลอด คือ การถ่ายเทอากาศจากที่หนึ่งสู่อีกที่หนึ่งโดยอาศัยการเจาะช่องเปิด 2 ช่อง ขึ้นไปเพื่อให้เกิดแรงดันอากาศที่แตกต่างกันแล้วเกิดการถ่ายเทอากาศภายในอาคารขึ้น ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไปในอาคารประเภทที่ใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถนำมาใช้กับภูมิอากาศในเขตตัวเมืองที่มีปริมาณมลภาวะมาก และมักใช้กับอาคารที่มีลักษณะเหมาะกับการระบายอากาศในแนวราบเท่านั้น

2.1.2 การระบายอากาศรูปแบบปล่องระบายอากาศ (Stack Effect)

การระบายอากาศรูปแบบปล่องระบายอากาศเป็นเทคนิคที่ใช้การประพัตตัวของอากาศร้อนที่ลอยขึ้นที่สูง (buoyancy) แล้วอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่ ซึ่งจะมีตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในอาคารนั้น คือ ความสูงปล่องลม พื้นที่หน้าตัดปล่องลม อุณหภูมิอากาศภายนอกภายในอาคาร และระดับความเร็วลม เป็นต้น วิธีนี้สามารถปรับใช้ได้กับอาคารที่มีลักษณะแนวตั้งมากขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถนำมาใช้กับเขตเมืองได้เท่าที่ควร

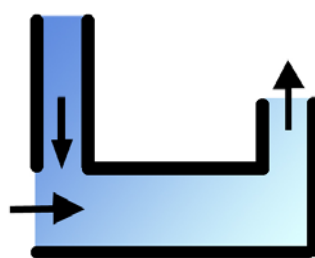
2.1.3 การระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ (Downdraught Ventilation)

การระบายอากาศแบบดาวน์ดราฟต์ คือ การเคลื่อนที่ของอากาศจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความกดดันทางอากาศ มักใช้กับอาคารแนวตั้ง เพราะต้องการใช้ความสูงของปล่องเพื่อเพิ่มความกดอากาศให้เกิดการระบายอากาศที่ดีขึ้น เป็นวิธีที่ค่อนข้างเหมาะสมกับภูมิอากาศในตัวเมืองมากกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากเป็นการรับเอาอากาศจากด้านบนที่มีบริสุทธิ์กว่าด้านล่างลงมาใช้ภายในอาคาร

จากการศึกษา และวิเคราะห์ผลของ Chenvidyakarn and Woods (2004) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการเกิดการระบายอากาศในพื้นที่เปิดโล่ง ซึ่งการระบายอากาศนั้นจะไหลผ่านปล่องระบายอากาศ 2 ปล่องด้านบนหลังคา และเจาะช่องเปิดที่บริเวณประตูทางเข้าชั้นล่างสุดของอาคารจะเกิดการระบายอากาศที่แตกต่างกัน 3 กรณี

ภาพที่ 2.1

กรณีที่ 3 ของการทดลองการระบายอากาศในโรงเอเตเรียมของ Chenvidyakarn and Woods



Regime C

ที่มา: Chenvidyakarn and Woods, 2004.

จากการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการระบายอากาศที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี ซึ่งเกิดจากพื้นที่ช่องเปิดด้านล่างที่เป็นสัดส่วนกันกับพื้นที่หน้าตัดของปล่องสูงมีค่าแตกต่างกัน โดยต้องนำมาเทียบเคียงกับความสูงจากจุดอ้างอิงถึงฐานปล่องทั้งสอง และความสูงปล่องทั้งสอง โดยมีสมการเชื่อมโยงที่แตกต่างกันทั้ง 3 กรณี และจากการศึกษาสมการและกรณีทดลองที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้สามารถปรับดัดแปลงสมการกรณีที่ 3 มาเพื่อศึกษาและทำความเข้าใจสมการด้านการเคลื่อนที่อากาศแนวตั้งได้ ดังภาพที่ 2.1

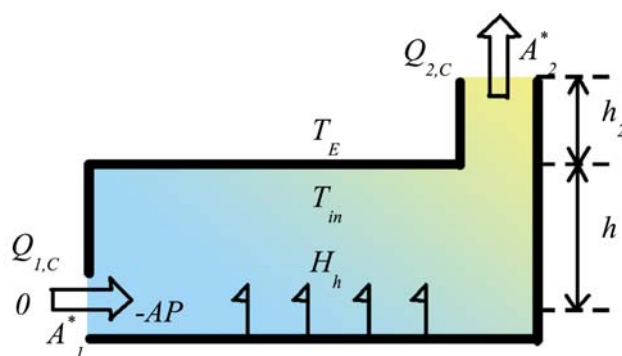
หลักการของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ 3 เป็นการดัดแปลงที่เกิดจากการไหลของอากาศเข้าสู่อาคาร และออกสู่ภายนอกอาคาร ซึ่งจะให้เกิดการสูญเสียแรงดันในขณะที่อากาศไหลผ่านช่องเปิด ซึ่งแรงดันที่สูญเสียไปจะเท่ากับแรงดันที่ขับเคลื่อนภายในอาคารทั้งหมด โดยความดันอากาศที่เข้าสู่อาคารด้านล่างจะเกิดแรงจากพลังงานจลน์ที่เคลื่อนผ่านช่องเปิดในแนวราบ ทำให้เกิดสมการ ดังนี้

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (\text{สมการที่ 2.1})$$

โดยที่	P_1	= แรงดันอากาศที่ช่องเปิดด้านล่างอาคาร (kg/ms^2)
	ρ	= ความหนาแน่น (kg/m^3)
	Q	= อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)
	A	= ผลคูณของพื้นที่ช่องเปิดกับสัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิด (m^2)

ภาพที่ 2.2

กรณีที่ 3 ของการทดลอง Chenvidyakarn and Woods (2004) ดัดแปลง



ที่มา: Chenvidyakarn and Woods, 2004 (ดัดแปลง)

และความดันที่เสียไปทั้งหมดจะเกิดแรงจากพลังงานศักย์ภายในอาคาร โดยจะเกิดสมการดังนี้

$$P_{total} = (\rho_{IN} - \rho_E)g(h_1 + h_2) \quad (\text{สมการที่ 2.2})$$

โดยที่	P_{total}	= แรงดันอากาศทั้งหมดในอาคาร (kg/ms^2)
	ρ_{IN}	= ความหนาแน่นของอากาศภายในอาคาร (kg/m^3)
	ρ_E	= ความหนาแน่นของอากาศภายนอกอาคาร (kg/m^3)
	g	= แรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
	h_1	= ระยะระหว่างช่องเปิดด้านล่างและฐานปล่องระบายอากาศ (m.)
	h_2	= ความสูงปล่องระบายอากาศ (m.)

เมื่อความดันที่สูญเสียไปทั้งหมดมีค่าเท่ากับความดันภายในอาคารจึงทำให้ความดัน ณ ช่องเปิดลมเข้ารวมกับความดัน ณ ช่องเปิดลมออก มีค่าเท่ากับความดันที่เกิดจากพลังงานศักย์ภายในอาคาร ดังสมการ

$$P_1 + P_2 = \int_0^Z P_{total} dz \quad (\text{สมการ 2.3})$$

$$\frac{1}{2} \rho Q^2 \left(\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) = \frac{\Delta \rho}{\rho} g(h_1 + h_2) \quad (\text{สมการ 2.4})$$

$$Q = A^* \cdot \sqrt{g \frac{\Delta \rho (h_1 + h_2)}{\rho}} \quad (\text{สมการ 2.5})$$

$$A^* = \frac{\sqrt{2} a_1 c_1 a_2 c_2}{\sqrt{(a_1 c_1)^2 + (a_2 c_2)^2}} \quad (\text{สมการ 2.6})$$

โดยที่	a_1	= พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดด้านล่างปล่อง (m^2)
	a_2	= พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดด้านบนปล่อง (m^2)
	c_1	= สัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิดด้านล่างปล่อง
	c_2	= สัมประสิทธิ์ความฝืดของช่องเปิดด้านบนปล่อง

การเกิดการหมุนเวียนของอากาศดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น (buoyancy effect) และออกทางช่องเปิดด้านบน ซึ่งเกิดความสัมพันธ์กับความหนาแน่น และ อัตราการขยายตัวของอุณหภูมิ ดังนี้

$$g' = g \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_E} \right) = g \cdot \infty \cdot \Delta T \quad (\text{สมการ 2.7})$$

$$H_V = \rho \cdot C_p \cdot Q \cdot \Delta T \quad (\text{สมการ 2.8})$$

$$Q = [A^*]^{\frac{2}{3}} \cdot \left[\frac{g \cdot \infty}{\rho \cdot C_p} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot [H_V]^{\frac{1}{3}} \cdot (h_1 + h_2)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{สมการ 2.9})$$

$$\Delta T = \frac{H_V}{\rho \cdot C_p \cdot Q} \quad (\text{สมการ 2.10})$$

โดยที่	g'	= อากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้น
	∞	= ค่าคงที่อัตราการขยายตัวของอุณหภูมิ (1/K)
	ΔT	= ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน
	C_p	= ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kgK)
	H_V	= ความร้อนที่ทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศ (W)

หมายเหตุ สมการดังกล่าวจะเกิดเมื่อ $\frac{a_1 c_1}{a_2 c_2} \leq \sqrt{\frac{h_2}{h}}$

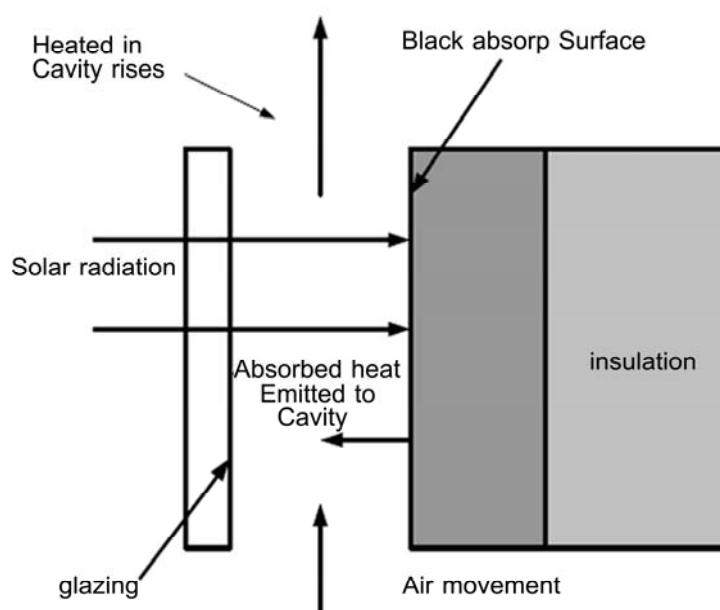
ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการที่ 2.9 และ 2.10 ในการ คำนวณหาค่า อัตราความเร็วลมและอุณหภูมิภายในอาคาร โดยจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความผิด ของช่องเปิดไว้ในภาคผนวก ซึ่งจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและสรุปผลต่อไป

2.2 ความร้อนที่เกิดในปล่องแสงอาทิตย์

ความร้อนที่เกิดในปล่องแสงอาทิตย์นั้นเป็นความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์และ ความร้อนที่ผ่านวัสดุบริเวณปล่องแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเป็นตัวกระตุ้นอุณหภูมิของอากาศบริเวณ ปล่องให้มีความร้อนสูงขึ้นจนเกิดการลอยตัวของอากาศ และดึงให้อากาศภายในปล่องทดลอง

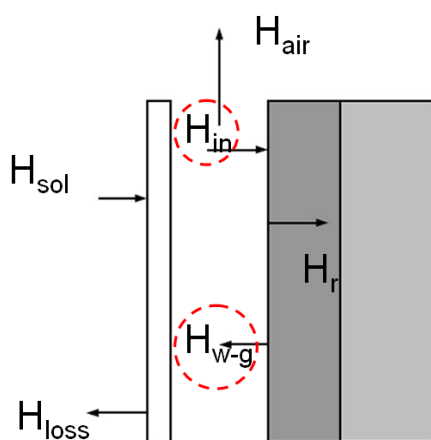
ลอยตัวขึ้นไปด้วย โดยอากาศในกล่องทดลองจะมีความเร็วลมมากขึ้นเมื่อมีความร้อนมากขึ้น อธิบายได้จากภาพจำลอง ดังนี้

ภาพที่ 2.3
จำลองบริเวณปล่องรับแสงอาทิตย์



ที่มา: Harris and Helwig, 2007, p.137 (ดัดแปลง)

ภาพที่ 2.4
จำลองความร้อนที่เกิดขึ้นในปล่องแสงอาทิตย์



ที่มา: Harris and Helwig, 2007, p.137 (ดัดแปลง)

จากภาพที่ 2.4 ทำให้ทราบลักษณะการเกิดความร้อนในปล่อง ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งความร้อนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการลอยตัวของอากาศ และความร้อนที่สูญเสียไปจากการพัดพาของอากาศที่ผิวด้านนอกของกระจก ดังสรุปค่าได้ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1
สรุปความร้อนที่เกิดขึ้นในปล่องแสงอาทิตย์

ตัวกลาง	Glass	Air	Wall(Metal)
Conduction	H_g	H_{air}	H_w
Radiation	H_{in}	-	-
Convection	$H_{loss(out)}$	$H_{loss(in)}$	H_r
Emission	-	-	H_{w-g}
	$\tau + \alpha + \gamma = 1$	-	$\alpha + \gamma = 1$

หมายเหตุ* ความร้อนที่ใช้กระตุ้นการลอยตัวของอากาศ ความร้อนสูญเสีย

ความร้อนที่มีผลต่อสมการน้อยมากหรือไม่เลย

จากตารางที่ 2.1 จะแบ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในปล่องแสงอาทิตย์ได้เป็น 2 รูปแบบหลัก คือ ความร้อนที่มีผลเป็นตัวกระตุ้นการลอยตัวของอากาศ และความร้อนที่สูญเสียไปจะมีค่าผลรวมดังสมการต่อไปนี้

$$H_{air} = mc_p (T_{m,o} - T_{m,i}) \quad (\text{สมการ 2.11})$$

$$H_{loss(out)} = A_g U_g (T_g - T_{out}) \quad (\text{สมการ 2.12})$$

$$H_{loss(in)} = -H_g + H_{w-g} \quad (\text{สมการ 2.13})$$

$$H_r = A_w U_w (T_g - T_r) \quad (\text{สมการ 2.14})$$

$$H_g = A_g h (T_g - T_{air}) \quad (\text{สมการ 2.15})$$

$$H_w = A_w h (T_w - T_{air}) \quad (\text{สมการ 2.16})$$

$$H_{in} = \tau \cdot H_{sol}$$

$$H_{w-g} = \frac{\sigma(T_w^4 - T_g^4)}{\frac{1 - \epsilon_w}{\epsilon_w A_w} + \frac{1}{A_w F_{w-g}} + \frac{1 - \epsilon_g}{\epsilon_g A_g}} \quad (\text{สมการ 2.17})$$

$$H_{inf} = \rho \cdot C_p \cdot Q_{inf} \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (\text{สมการ 2.18})$$

$$H_V = H_{in} + H_{w-g} - H_r - H_g + \eta H_g - H_{inf} \quad (\text{สมการ 2.19})$$

โดยที่	H_{air}	= ความร้อนอากาศ (Watt)
	H_g	= ความร้อนจากกระจก (Watt)
	H_w	= ความร้อนจากผนังภายใน (Watt)
	H_{in}	= ความร้อนเข้ามาในปล่อง (Watt)
	H_{w-g}	= ความร้อนสูญเสียของระบบ (Watt)
	H_{sol}	= ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Watt)
	H_r	= ความร้อนที่วัสดุรับแสงอาทิตย์ (โลหะ) (Watt)
	H_V	= ความร้อนที่ทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศ (Watt)
	H_{inf}	= ความร้อนที่สูญเสียไปกับการรั่วซึม (Watt)
	$H_{loss(out)}$	= ความร้อนสูญเสียภายนอกปล่อง (Watt)
	$H_{loss(in)}$	= ความร้อนสูญเสียภายในปล่อง (Watt)
	A_g	= พื้นที่กระจก (m^2)
	A_w	= พื้นที่ผนัง (m^2)
	U_g	= ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก ($Watt/m^2K$)
	U_w	= ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง ($Watt/m^2K$)
	$T_{m,o}$	= อุณหภูมิมวลอากาศออก (K)
	$T_{m,I}$	= อุณหภูมิมวลอากาศเข้า (K)
	T_g	= อุณหภูมิกระจก (K)
	T_{out}	= อุณหภูมิอากาศภายนอก (K)
	T_{air}	= อุณหภูมิอากาศในปล่อง (K)
	T_w	= อุณหภูมิผนัง (K)
	T_r	= อุณหภูมิผิววัสดุรับแสงอาทิตย์ (โลหะ) (K)
	ϵ_w	= ค่าการแผ่รังสีความร้อนของผนัง
	ϵ_g	= ค่าการแผ่รังสีความร้อนของกระจก
	τ	= ค่าการส่องผ่านของรังสีความร้อน
	F_{w-g}	= the collector efficiency factor

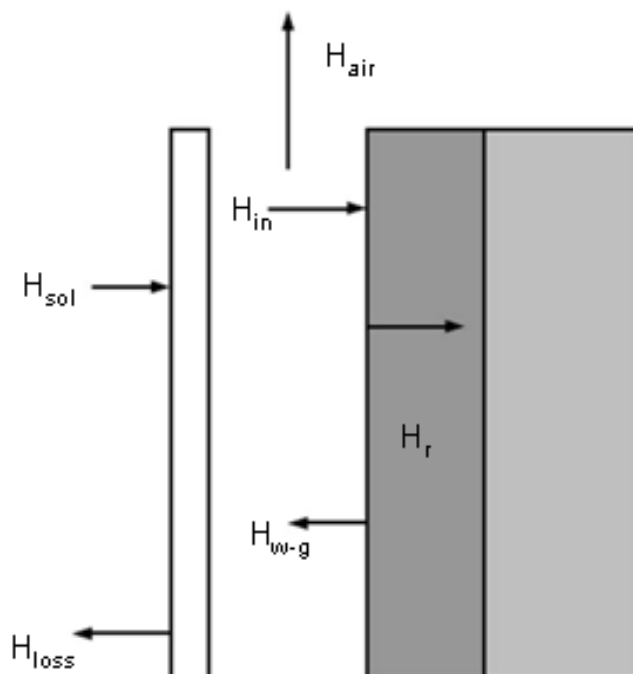
σ = ค่าคงที่ของ Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

γ = ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนของกระจก

สมการที่ 2.19 เป็นสมการค่าความร้อนที่ทำให้เกิดการลอยตัวของอากาศโดยคิดจากปล่องแสงอาทิตย์ที่ใช้กระจกชั้นเดียวทำการศึกษาในเบื้องต้น และจะทำการศึกษาปล่องแสงอาทิตย์ที่ใช้วัสดุอื่น ๆ อีก 3 ชนิด ได้แก่ กระจกสะท้อนความร้อน (วางกลับด้าน) กระจกสองชั้น บล็อกแก้ว ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ ประกอบกับสมการความร้อนที่ใช้แตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิด โดยใช้ในการคำนวณค่าความร้อนในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลความเร็วลมทั้ง 4 วัสดุ และศึกษาถึงผลกระทบทางด้านความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารด้วย โดยจะใช้สมการดังกล่าวคำนวณผลความร้อน แล้วนำค่าที่ได้ไปใส่ในสมการความเร็วลมเพื่อหาค่าความเร็วลมที่ต้องการ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกับค่าในการทดลองต่อไป

ภาพที่ 2.5

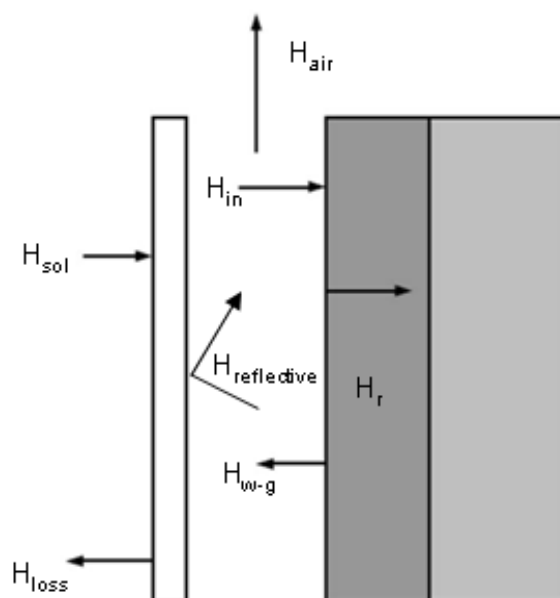
ความร้อนเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระจกชั้นเดียว



ที่มา: Harris and Helwig, 2007, p.137 (ดัดแปลง)

ภาพที่ 2.6

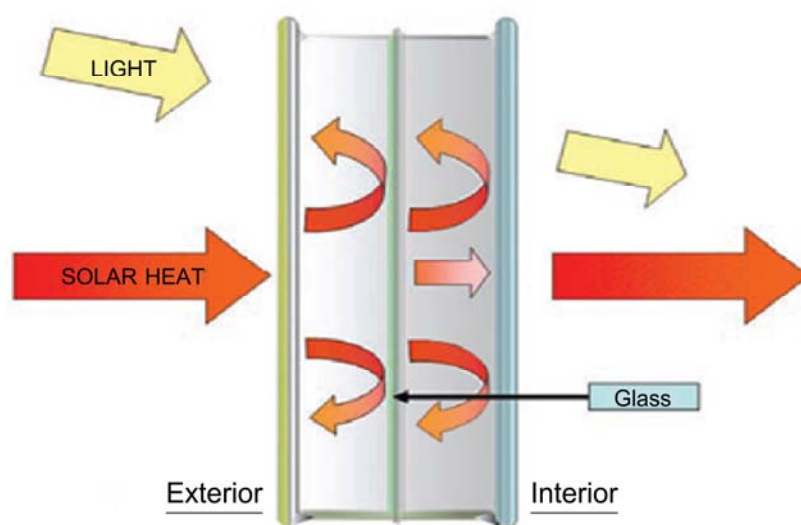
ความร้อนเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระจกสะท้อนความร้อนแบบกลับด้าน



ที่มา: Harris and Helwig, 2007, p.137 (ดัดแปลง)

ภาพที่ 2.7

ความร้อนเกิดขึ้นเมื่อผ่านบล็อกแก้ว



ที่มา: PITTSBURGH CORNING GLASS BLOCK, 2550.