บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการที่จะปรับปรุงหลังคาให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้นั้น ก่อนที่จะทำการออกแบบจึงควรที่จะศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านทางหลังคาเสียก่อน เพื่อที่จะสามารถออกแบบปรับปรุงได้ถูกต้องและสอดคล้องกับปัญหาเหล่านั้น และแนวทางในการปรับปรุงหลังคาในเรื่องของการระบายอากาศดังนี้

อิทธิพลจากดวงอาทิตย์

เมื่อดูจากลักษณะทางกายภาพของอาคารต่างๆโดยทั่วไปแล้วจะพบว่าหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนตรงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังโลกนั้นจะผ่านชั้นบรรยากาศของโลก รังสีบางส่วนจะถูกสะท้อนก้อนเมฆออกไป บางส่วนก็จะถูกดูดซับโดยชั้นบรรยากาศ บางส่วนก็จะแพร่กระจายไปยังชั้นบรรยากาศ และเหลือเพียงบางส่วนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก จะประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ (ASHRAE, 1989)

1. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้
2. รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) เกิดจากรังสีคลื่นสั้นที่ตกลงมากระทบวัตถุและจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งจะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกออกไปได้

พลังงานบางส่วนจะถูกดูดซับ บางส่วนจะถูกสะท้อน ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะเคลื่อนที่ออกไปโดยการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน(Radiation) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ที่เข้ามาภายในอาคารจะเกิดได้จาก (ธนิต จินดาวณิค, 2540)

รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง(Direct Radiation) เป็นรังสีที่ส่องเข้ามายังบรรยากาศโลกมีค่า 434.29 Btu/h.ft^2 ซึ่งเป็นค่าที่นำมาใช้กันโดยทั่วไปและจากการที่การโคจรของโลกเป็นวงรีจะมีปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ค่ามากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม เมื่อโลกมีการโคจรใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าการแผ่รังสีจะเท่ากับ 449.60 Btu/h.ft^2 และน้อยที่สุดในวันที่ 6 กรกฎาคม เมื่อโลกมีการโคจรห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ค่าการแผ่รังสีจะเท่ากับ 419.9 Btu/h.ft^2 (ASHRAE, 1989)

รังสีกระจาย(Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนของแสงกับเมฆ ฝุ่นละออง หรือไอน้ำในอากาศ การกระจายที่เกิดขึ้นจะไม่สม่ำเสมอ แต่จะมีความเข้มสูงในบริเวณรอบดวงอาทิตย์ ปริมาณของรังสีจะมีค่า 10 – 90 % ของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร

รังสีสะท้อน(Rflected Radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสะท้อนมาจากพื้นดิน หรือ อาคารข้างเคียง จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่า Reflectivity ของผิว สี พื้นผิว ของวัสดุที่อยู่รอบๆ อาคาร

ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารนั้นจะหาได้จากสูตรการคำนวณ 2 สูตร คือ (ASHRAE, 1989)

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = U * A * CLTD$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Btu/h.ft^2)

A = พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านวัสดุของผนัง (ft^2)

ΔT = ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน ($^{\circ}$F)

$CLTD$ = ค่าความแตกต่างภาระการทำความเย็นเทียบเท่า (Cooling Load Temperature Difference ($^{\circ}$F))

ความแตกต่างในการที่จะเลือกใช้สูตรแต่ละสูตรนั้น จะขึ้นอยู่กับ

1. ค่า ΔT จะใช้ในกรณีที่ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งจะทำให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกมีค่าคงที่ (Steady State Condition)
2. ค่า CLTD จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลจากแสงแดดเข้ามาเกี่ยวข้อง แสงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคารมากที่สุด เมื่อหลังคาโดนแดดก็จะร้อนขึ้นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงแดดทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเปลี่ยนไป การปรับเปลี่ยนค่า CLTD เป็นการปรับให้เข้ากับอิทธิพลภายนอก เพราะในความเป็นจริงแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารจะไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา โดยจะใช้องค์ประกอบ เช่น วัน เดือน เวลา อิทธิพลของแสงแดด อิทธิพลของมวลสารผนัง การถ่ายเทความร้อนจากผิวภายนอก การหน่วงเวลา สภาพแวดล้อม โดยเป็นการปรับเปลี่ยนค่าให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นจะใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน (ΔT) ไม่ได้ เนื่องจากค่าที่ได้จะต่างจากความเป็นจริงมากและได้มีผู้

ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรที่เกิดจากแสงอาทิตย์และองค์ประกอบอื่นๆที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยสร้างเป็นสมการขึ้นดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$\text{Sol-air Temperature } (T_e) = T_{out} + \alpha I / h_o - \varepsilon \delta R / h_o$$

โดยที่

T_e = Sol-air Temperature ($^{\circ}$F)

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก ($^{\circ}$F)

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) (Btu/h.ft^2) มีค่าประมาณ 240 Btu/h.ft^2

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection (Btu/h.ft^2. $^{\circ}$F) มีค่าประมาณ 3.0 Btu/h.ft^2. $^{\circ}$F

δR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/h.ft^2)

ε =สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the Surface)

ASHRAE (1989) ได้ความหมายของ Sol-air Temperature ไว้ว่า

> *" Sol-air Temperature is the temperature of the outdoor air that, in absence of all radiation changes, gives the same rate of heat entry into the surfaces as would the combination of incident solar radiation, radiant energy with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air. "*

จากข้อความข้างต้นสามารถให้คำจำกัดความของ Sol-air Temperature ได้คือ อุณหภูมิประมาณของอากาศที่ติดอยู่กับผิวของวัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์จริง จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า สภาพแวดล้อมรอบข้างและจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก

ในพื้นที่ผิวในแนวราบ (Horizontal Surface) ที่ได้รับการแผ่รังสีรังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation) จากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียวค่า δR จะอยู่ที่ประมาณ 20 Btu/h.ft^2 (ASHRAE, 1989)

พื้นที่ผิวในแนวตั้ง (Vertical Surface) จะได้รับการแผ่รังสีคลื่นยาวจากพื้น อาคารที่อยู่รอบๆ ข้างได้พอๆกับจากท้องฟ้า ค่า δR ที่แน่นอนไม่สามารถที่จะกำหนดได้ เมื่อปริมาณของรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นพื้นผิวของวัตถุที่อยู่บนโลกก็จะร้อนขึ้นตามไปด้วยและจะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศด้วยเหตุนี้รังสีคลื่อนยาวบางส่วนจะแผ่กลับไปยังท้องฟ้าที่มีค่าการการแผ่รังสีต่ำกว่า ดังนั้นจึงสมมติให้ใช้ค่า $\delta R = 0$ ในการคำนวณสำหรับผนังที่อยู่ในแนวตั้ง (ASHRAE, 1989)

Time	Air Temp, °F	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
		α/h_o = 0.15							
0100	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0200	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0300	75	75	75	75	75	75	75	75	75
0400	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0500	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0600	74	82	95	97	86	75	75	75	75
0700	75	82	103	109	97	78	78	78	78
0800	77	82	103	114	105	83	81	81	81
0900	80	85	101	114	110	92	85	85	85
1000	83	89	96	110	112	100	89	89	89
1100	87	93	94	104	111	108	96	93	93
1200	90	96	96	97	107	112	107	97	96
1300	93	99	99	99	102	114	117	110	100
1400	94	100	100	100	100	111	123	121	107
1500	95	100	100	100	100	107	125	129	116
1600	94	99	98	98	98	100	122	131	120
1700	93	100	96	96	96	96	115	127	121
1800	91	99	92	92	92	92	103	114	112
1900	87	87	87	87	87	87	87	87	87
2000	85	85	85	85	85	85	85	85	85
2100	83	83	83	83	83	83	83	83	83
2200	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2300	79	79	79	79	79	79	79	79	79
2400	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Avg.	83	86	89	91	90	89	90	91	89
		α/h_o = 0.30							
0100	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0200	76	76	76	76	76	76	76	76	76
0300	75	75	75	75	75	75	75	75	75
0400	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0500	74	74	74	74	74	74	74	74	74
0600	74	90	117	121	99	77	77	77	77
0700	75	90	131	144	120	82	82	82	82
0800	77	87	130	151	134	89	86	86	86
0900	80	91	122	148	141	105	91	91	91
1000	83	95	109	137	141	118	96	95	95
1100	87	100	101	122	136	129	105	100	100
1200	90	103	103	104	125	134	125	104	103
1300	93	106	106	106	111	135	142	128	107
1400	94	106	106	106	107	129	152	148	120
1500	95	106	106	106	106	120	156	163	137
1600	94	104	103	103	103	106	151	168	147
1700	93	108	100	100	100	100	138	162	149
1800	91	107	94	94	94	94	116	138	134
1900	87	87	87	87	87	87	87	87	87
2000	85	85	85	85	85	85	85	85	85
2100	83	83	83	83	83	83	83	83	83
2200	81	81	81	81	81	81	81	81	81
2300	79	79	79	79	79	79	79	79	79
2400	77	77	77	77	77	77	77	77	77
Avg.	83	89	95	100	99	95	99	100	95

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าอุณหภูมิ Sol-air Temperature

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.26.4.

จากตารางที่ 2.1 ได้ให้ค่าอุณหภูมิ Sol-air Temperature ที่แตกต่างกันสำหรับตัวแปร α / h_o ไว้ 2 ค่า คือ เมื่อ α / h_o มีค่า 0.15 สำหรับผิวของวัตถุสีอ่อน และค่า α / h_o = 0.30 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเมื่อผิวของวัตถุมีสีเข้ม (ASHRAE, 1989)

Solar Time

เนื่องจากความเร็วในการโคจรของโลกจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี จึงทำให้ Apparent Solar Time ซึ่งถูกกำหนดโดยแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปจาก Mean Time ซึ่งเทียบกับเวลาจากนาฬิกาซึ่งเกิดไปด้วยอัตราคงที่ การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่า Equation of Time

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะถูกกำหนดโดย Local Solar Time หาได้จากการนำ Equation of Time มาบวกกับ Local Civil Time

วิธีการเปลี่ยนจาก Apparent Solar Time เป็น Local Standard Time (ASHRAE, 1989)

$$AST = LST - ET - 4(LON - LSM)$$

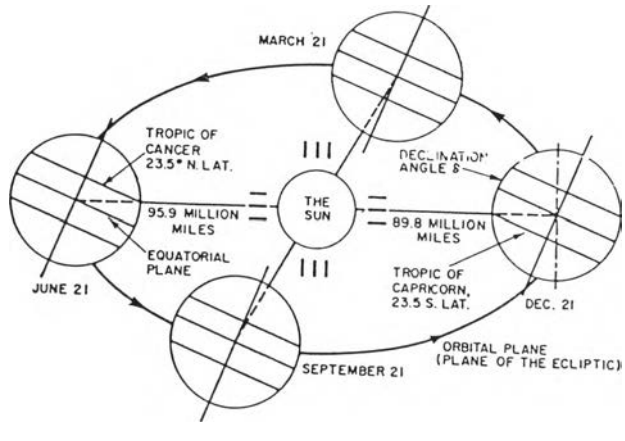
ET = Equation of Time (minutes of time)

LST = Local Standard Time

LON = Longitude of site ($^{\circ}$ of arc)

LSM = Local Standard Time Meridian ($^{\circ}$ of arc)

4 = minutes of time required for 1.0 $^{\circ}$ rotation of earth



[a] Time of orbit = 365.242 days.

รูปที่ 2.1 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.27.3.

อิทธิพลของมวลสาร

นอกจากอิทธิพลจากภายนอกแล้วที่จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนแล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้ด้วย โดยที่คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนมีดังนี้

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมการถ่ายเท (Thermal Conductivity : K)

หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮท์ มีหน่วยเป็น $Btu/h.ft^2.^oF$

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Conductance : C)

หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมงที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่ความหนามาตรฐานในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮท์ มีหน่วยเป็น $Btu/h.ft^2.^oF$ แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$C = K / dX$$

เมื่อ X คือ ความหนาของวัสดุ (ม.)

C คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม

ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance / R - Value)

เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ เป็นส่วนกลับของค่า Conductivity หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับความร้อน ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่งๆ ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่าง 1 ^oF มีหน่วยเป็น $^oF .ft^2.h/Btu$

แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$R = 1 / C = dX / K$$

เมื่อ R คือ ค่าการต้านทานความร้อน ยิ่งมีค่ามากเท่าไรก็ยิ่งดีเท่านั้น

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Coefficient of Heat Transmission / U - Value)

เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุโดยปกติการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากอาคารอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิมักจะใช้ค่า U - Value เป็นหลัก โดยที่

$U = 1 / \Sigma R$ มีหน่วยเป็น $Btu/h.ft^2.^oF$

ΣR คือ ผลของของ ค่า R - Value ของเปลือกหุ้มอาคาร

ความจุความร้อน (Thermal Heat Capacity)

วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้าลง จากผลการวิจัยพบว่าวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนต่างกันแต่มีความเข้มของสีและลักษณะพื้นผิวเหมือนกัน วัสดุที่มีมวลสารมากกว่าจะมีการเลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวนอกช้ากว่าและค่าแตกต่าง

ระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและอุณหภูมิผิวต่ำสุดจะมีค่าน้อยกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยความร้อนที่สะสมในวัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีไม่มากเท่ากับในวัสดุที่มีมวลสารมาก ดังนั้นเมื่อไม่มีอิทธิพลจากดวงอาทิตย์แล้วความร้อนที่สะสมอยู่ภายในวัสดุนั้นจะเริ่มคายความร้อนออกสู่ภายนอก วัสดุที่มีมวลสารมากจะมีอุณหภูมิผิวที่สูงที่สุด (วันเอก กิจสมใจ, 2539)

การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ ที่สำคัญ คือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ก่อนที่จะถ่ายเทไปเข้าไปในอาคารต่อไป

ค่าการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยตรงโดยการพาความร้อน (Surface Air - Conductance)

การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่าน และลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของในส่วนนี้จะมีค่าน้อยมากในกรณีที่วัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่วัสดุนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น

ค่าการดูดกลืนและการกระจายพลังงานความร้อนของวัสดุ (Surface Absorption and Surface Emission)

โดยปกติแล้วหากวัสดุมีสีธรรมดาหรือสีของวัสดุตามธรรมชาติ ค่า Surface Emission จะค่อนข้างสูง ประมาณ 0.8 - 0.9 นอกจากวัสดุนั้นจะเป็นสีชนิดพิเศษ (Selective Coating) อาจมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่ก็มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิวของวัสดุเย็นกว่าปกติ สำหรับค่าการดูดกลืนความร้อนส่วนใหญ่มักจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ ถ้ามีสีเข้มมาก ก็จะดูดกลืนความร้อนสูง

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ

การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมีด้วยกันอยู่ 3 ลักษณะ คือ (ธนิต จินดาวณิค, 2540)

1. การนำความร้อน (Conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน แม้ว่าโมเลกุลจะอยู่ในสสารเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่สัมผัสดันโดยตรง
2. การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของก๊าซ หรือ ของเหลวที่มีอุณหภูมิ หรือ ความหนาแน่นแตกต่างกัน ของเหลวจะเป็นตัวพาความร้อนให้เคลื่อนที่
3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือ การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) จากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใสหรือสูญญากาศไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง สสารทุกชนิดสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาได้มากน้อยต่างกันโดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะของผิววัสดุ

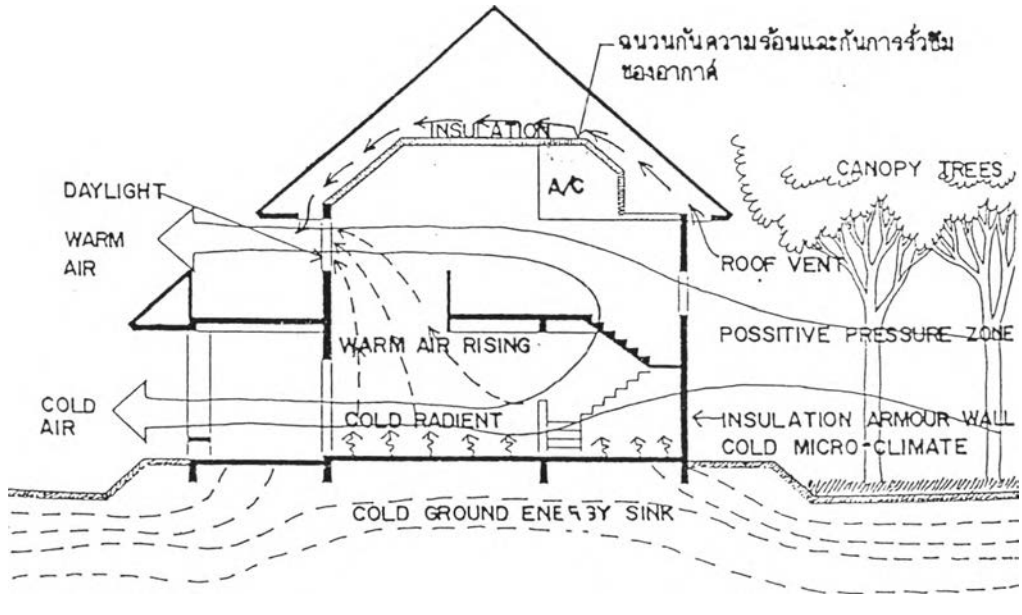
หลังคาเป็นพื้นผิวอาคารที่รับแสงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลา แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะถูกดูดซึมโดยหลังคาและส่งผ่านพลังงานความร้อนลงมาสู่ด้านล่างโดยการแผ่รังสีความร้อนจากหลังคาเท่านั้นเนื่องจากมีช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุมุงหลังคา จึงไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ และเนื่องจากอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นข้างบนทำให้ไม่มีการถ่ายเทความร้อนโดยการพาด้วยเช่นกัน ถ้าทำการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนในช่องอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานก็จะช่วยป้องกันการแผ่รังสีได้ การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนในช่องหลังคาสามารถติดตั้งได้ 3 แห่ง คือ (ธนิต จินดาวณิค, 2540)

1. บนโครงหลังคาหรือใต้วัสดุมุงหลังคา
2. ใต้โครงหลังคา
3. ด้านบนของฝ้าเพดาน

ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีความร้อนหลังจากทำการติดตั้งไม่นานจะให้ผลเหมือนกัน แต่เมื่อใช้งานไปนานๆ วิธีการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนที่โครงหลังคาหรือฝ้าเพดานโดยหันด้านมันหรือด้านที่เป็นฟอยล์หันขึ้นด้านบน ประสิทธิภาพในการป้องกันรังสีความร้อนจะลดลงไปเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากฝุ่นละอองจะไปสะสมอยู่บนผิวของฟอยล์ จึงทำให้ฟอยล์ทำหน้าที่ดูดซึมรังสีความร้อนแทนที่จะทำหน้าที่สะท้อนรังสีความร้อน ในการติดตั้งวัสดุป้องกันรังสีความร้อนควรติดตั้งโดยหันด้านที่เป็นฟอยล์ลงสู่ด้านที่เป็นช่องอากาศ ฟอยล์จะไม่แผ่รังสีความร้อนที่ได้รับจากหลังคาไปสู่ฝ้าเพดานหรือฉนวนบนฝ้าเพดานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและฝุ่นก็ไม่สามารถสะสมบนผิวของฟอยล์ได้

การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนที่ใต้โครงหลังคาหรือจันทันสามารถใช้ฟอยล์ชนิด 2 หน้าได้ ทำให้เกิดการแบ่งช่องว่างที่สามารถออกแบบให้ระบายลมขึ้นระหว่างวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนกับหลังคาที่ร้อน และช่องใต้หลังคา ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของช่องใต้หลังคาใกล้เคียงกับอุณหภูมิของห้องที่อยู่ใต้ฝ้าเพดาน การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนด้านบนของโครงหลังคาหรือใต้วัสดุมุงอาจจะกระทำได้สะดวกกว่า ก่อนวางวัสดุมุงหลังคาควรติดตั้งให้แผ่นฟอยล์ห้อยต่ำลงมาประมาณ 1.5 - 2 นิ้วจากด้านบนของโครงหลังคาเพื่อทำให้เกิดช่องอากาศระหว่างวัสดุมุงและฟอยล์ และจากการวิจัยพบว่าการใช้แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ติดตั้งในส่วนของใต้กระเบื้องหลังคาจะช่วยลดอุณหภูมิใต้ผิวกระเบื้องได้ประมาณ 7 - 8 องศาเซลเซียส และการติดตั้งแผ่นฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดชนิดที่มีอลูมินั่มฟอยด์เหนือฝ้าเพดานวางในแนวระนาบจะช่วยลดอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานได้ถึง 4 องศาเซลเซียส แต่เมื่อระยะเวลานานขึ้นจะมีฝุ่นมาเกาะบริเวณผิวหน้าของฟอยล์ทำให้ลดคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนของฟอยล์ลงทำให้สามารถลดอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานได้เพียง 1 องศาเซลเซียสเท่านั้น (โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, 2540)

ระบบของการติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนไม่จำเป็นต้องป้องกันไม่ให้มีอากาศไหลเวียน เนื่องจากรังสีความร้อนเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านที่ว่าง ไม่ใช่เดินทางผ่านอากาศ การติดตั้งวัสดุป้องกันการแผ่รังสีความร้อนมีจุดประสงค์เพื่อป้องกันรังสีความร้อน ไม่ใช่ป้องกันการพาความร้อน ดังนั้นรูรั่วตามแผ่นฟอยล์จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของฟอยล์ลดลง และการที่มีการระบายอากาศใต้หลังคาจะช่วยให้ระบบ สามารถป้องกันรังสีความร้อนได้ดีขึ้น (ธนิต จินดาวณิค, 2540)



รูปที่ 2.2 แสดงการติดตั้งฉนวนและการระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคา

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ. "บ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน." วารสารARCH&IDEA 39 (พฤศจิกายน 2539): p.19.

อุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคา (Attic Temperature)

ช่องอากาศใต้หลังคา (Attic) คือ พื้นที่ที่มีระยะห่างประมาณ 1 ฟุตหรือมากกว่านั้น พื้นที่นี้จะอยู่ระหว่างเพดานกับหลังคา การคำนวณหาอุณหภูมิอากาศในช่องอากาศใต้หลังคาสามารถหาได้จากสมการ (ASHRAE, 1989)

$$t_a = \frac{A_c U_c t_c + t_o(\rho C_p A_c Q_c + A_r U_r + A_w U_w + A_g U_g)}{A_c(U_c + \rho C_p Q_c) + A_r U_r + A_w U_w + A_g + U_g}$$

โดยที่

ρC_p = ความหนาแน่นของอากาศคูณด้วยค่า specific heat = 0.018 Btu/ft^3.°F

t_a = อุณหภูมิช่องอากาศ (°F)

t_c = อุณหภูมิอากาศภายใน ในตำแหน่งบนสุดของเพดาน (°F)

t_o = อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)

A_c = พื้นที่ของเพดาน (ft^2)

A_r = พื้นที่ของหลังคา (ft^2)

A_w = พื้นที่สุทธิของผนังในแนวตั้งในช่องอากาศ (ft^2)

A_g = พื้นที่ส่วนที่เป็นกระจกในช่องอากาศ (ft^2)

U_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเพดาน (Btu/h. ft^2.°F)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Btu/h. ft^2.°F)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังในแนวตั้ง (Btu/h. ft^2.°F)

U_g = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกระจก (Btu/h. ft^2.°F)

Q_c = อัตราการไหลของอากาศเข้ามาภายในช่องอากาศต่อพื้นที่ของเพดาน (cfm/ft^2)

ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในหลังคา

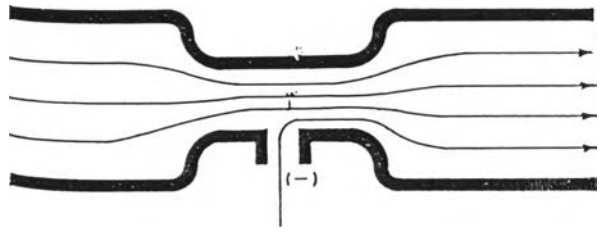
จากกฎข้อที่ 2 ของการเคลื่อนที่ของความร้อน (Thermodynamics) ความร้อนจะไม่สามารถเคลื่อนที่จากจุดที่เย็นกว่าไปสู่จุดที่ร้อนกว่าได้กว่าเองโดยธรรมชาติ โดยปราศจากแรงกระทำจากภายนอก ฉะนั้นเมื่ออุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารมีค่าต่างกันมากยิ่งขึ้นไม่ว่าจะเป็นส่วนหลังคา ผนัง หรือพื้นของอาคารก็จะทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้าไปสู่ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและถ้าเกิดในอาคารนั้นมีการปรับอากาศก็จะยิ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนมากยิ่งขึ้นด้วย

เมื่อหลังคาเป็นส่วนที่ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุดก็ย่อมจะเกิดความร้อนมากขึ้นเช่นกันทั้งอิทธิพลจากแสงอาทิตย์โดยตรง อิทธิพลจาก Sol-air Temperature อิทธิพลจากมวลสารเป็นต้น อิทธิพลเหล่านี้ส่งผลทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิช่องอากาศใต้หลังคาเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในช่องอากาศใต้หลังคา เมื่ออุณหภูมิอากาศภายในช่องใต้หลังคาสูงขึ้นก็จะถ่ายเทไปสู่แผ่นฝ้าเพดานและจากฝ้าเพดานก็จะถ่ายเทเข้าไปสู่พื้นที่ใช้สอยภายในอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าด้วยเหตุนี้จึงทำให้ภายในห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย ถ้าในส่วนของฝ้าเพดานไม่มีฉนวนป้องกันความร้อนติดตั้งอยู่ก็จะทำให้ร้อนมากขึ้นไปอีก

จากสมการ $Q = U * A * \Delta T$ จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าถ้ายิ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นเท่าไรความร้อนก็จะถ่ายเทได้มากขึ้นเท่านั้น การทำเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นที่ใต้หลังคากับภายในพื้นที่ใช้สอยของอาคารให้น้อยที่สุด จะเป็นการลดการถ่ายเทความร้อนได้มากที่สุด นับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจเรื่องหนึ่ง

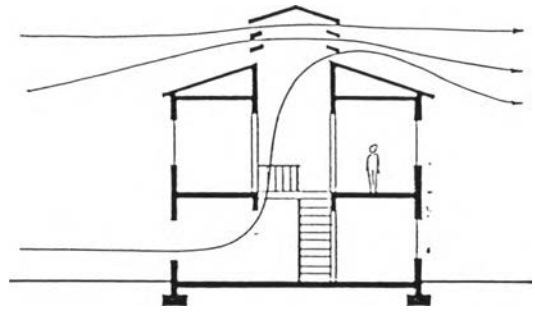
Bernoulli Effect

เป็นวิธีการเพิ่มอัตราความเร็วของของไหลโดยที่ความกดอากาศลดลง ปรากฏการณ์นี้สามารถนำมาใช้ได้ผลอย่างดียิ่งในอาคารหรือหลังคา โดยใช้การออกแบบให้มีรูปร่างของ Venturi Tube หรือมีความสูงเพียงครึ่งเดียวก็ได้ ความเร็วของลมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงจากพื้นดินเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความกดอากาศที่สันหลังคาจะน้อยกว่าบริเวณหน้าต่างที่อยู่ใกล้กับพื้นดิน ด้วยเหตุนี้ถึงแม้ว่าจะไม่ได้ใช้รูปทรงของ Venturi Tube แต่ Bernoulli Effect ก็สามารถระบายอากาศไปตามช่องเปิดของหลังคาได้



รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการของ Venturi Tube

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991.), p.185.



รูปที่ 2.4 แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991.), p.186.

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural Ventilation)

การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเป็นการนำอากาศให้เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราที่ช้า โดยที่การเคลื่อนที่จะเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดอากาศหรือการเคลื่อนไหวของลม การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาตินี้ได้รวมเอาวิธี Cross Ventilation และ Stack Effect เข้าไปด้วยทั้ง 2 วิธี

การระบายอากาศในลักษณะนี้จะมีข้อจำกัดค่อนข้างมากและไม่สามารถที่จะควบคุมประสิทธิภาพได้แน่นอน เช่น ช่องเปิดต่างๆอาจจะต้องเปิดทิ้งไว้ตลอดเวลาถ้าปิดช่องเปิดเหล่านั้นแล้วประสิทธิภาพก็จะลดลง หรืออาจจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศภายนอกว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้หรือไม่ ในช่วงเวลาใดบ้าง การระบายอากาศไม่ใช่เป็นการลดความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี แต่จะเป็นการลดอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของวัสดุ ซึ่งจะช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การระบายอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาก็ใช้แนวคิดนี้ คือ จะสามารถช่วยทำให้อุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคาลดลงและจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

PART A. NONREFLECTIVE SURFACES

	No Ventilation[b]		Natural Ventilation				Power Ventilation[c]			
	Ventilation Rate, cfm/ft²									
	0		0.1[d]		0.5		1.0		1.5	
Sol-Air[f] Temp., °F	Ceiling Resistance, R^e, °F·ft²·h/Btu									
	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
120	1.9	1.9	2.8	3.4	6.3	9.3	9.6	16	11	20
140	1.9	1.9	2.8	3.5	6.5	10	9.8	17	12	21
160	1.9	1.9	2.8	3.6	6.7	11	10	18	13	22
120	1.9	1.9	2.5	2.8	4.6	6.7	6.1	10	6.9	13
140	1.9	1.9	2.6	3.1	5.2	7.9	7.6	12	8.6	15
160	1.9	1.9	2.7	3.4	5.8	9.0	8.5	14	10	17
120	1.9	1.9	2.2	2.3	3.3	4.4	4.0	6.0	4.1	6.9
140	1.9	1.9	2.4	2.7	4.2	6.1	5.8	8.7	6.5	10
160	1.9	1.9	2.6	3.2	5.0	7.6	7.2	11	8.3	13
PART B. REFLECTIVE SURFACES[g]										
120	6.5	6.5	8.1	8.8	13	17	17	25	19	30
140	6.5	6.5	8.2	9.0	14	18	18	26	20	31
160	6.5	6.5	8.3	9.2	15	18	19	27	21	32
120	6.5	6.5	7.5	8.0	10	13	12	17	13	19
140	6.5	6.5	7.7	8.3	12	15	14	20	16	22
160	6.5	6.5	7.9	8.6	13	16	16	22	18	25
120	6.5	6.5	7.0	7.4	8.0	10	8.5	12	8.8	12
140	6.5	6.5	7.3	7.8	10	12	11	15	12	16
160	6.5	6.5	7.6	8.2	11	14	13	18	15	20

ตารางที่ 2.2 แสดง Effective Thermal Resistance of Ventilated Attic (Summer Condition)

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.22.11.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การระบายอากาศโดยอาศัยความแตกต่างของความกดอากาศ (Cross Ventilation)

เป็นการนำเอาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในอาคาร ผ่านเข้ามาให้ได้มากที่สุดโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ผู้ที่ใช้สอยในอาคารเกิดความรู้สึกสบาย การระบายอากาศในลักษณะนี้จะเน้นความสำคัญที่ขนาดของช่องเปิด และตำแหน่งการเปิดเพื่อที่จะบังคับลมให้เข้ามามากที่สุด

ปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เนื่องจาก Wind Forced (ASHRAE, 1989)

$$Q = C_4 C_v A v$$

Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

C_4 = Unit Conversion Factor = 88.0

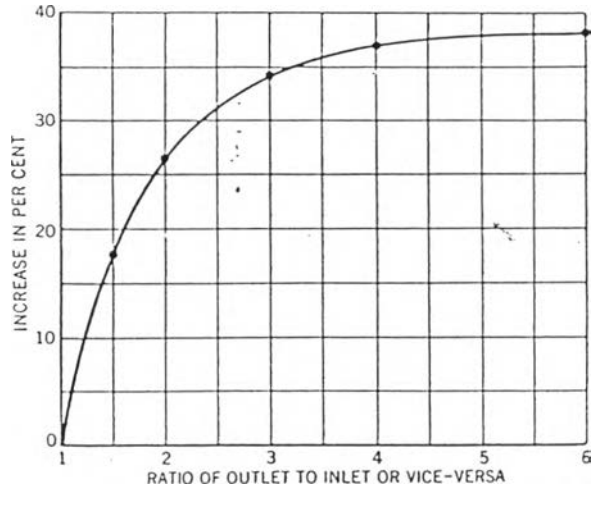
C_v = Effectiveness of Openings ที่ปรับสำหรับทิศทางลม

0.5 - 0.6 สำหรับลมที่พัดตั้งฉาก

0.25 - 0.35 สำหรับลมที่พัดทะแยง

A = พื้นที่ช่องเปิดหน้าต่าง (ft^2)

V = ความเร็วลม (mph)



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดของช่องเปิดในอัตราส่วนต่างๆ

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.23.8.

จากแผนภูมิข้างต้นนำมาเปรียบเทียบเป็นตารางได้ดังนี้

Ratio of Outlet to Inlet		Increase in Percent
1 : 1	1 : 1	0
1 : 1.5	1.5 : 1	17.5
1 : 2	2 : 1	26
1 : 2.5	2.5 : 1	31
1 : 3	3 : 1	34
1 : 3.5	3.5 : 1	36
1 : 4	4 : 1	37
1 : 6	6 : 1	38

ตารางที่ 2.3 แสดงการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขนาดของช่องเปิดในอัตราส่วนต่างๆ
ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 58.

ช่องทางลมเข้าควรจะหันไปทางด้านที่มีลมประจำพัดผ่าน มิฉะนั้นแล้วปริมาณลมที่ได้จะน้อยกว่าการคำนวณ (ASHRAE, 1989) ช่องทางลมเข้าควรอยู่ในตำแหน่งตรงข้ามของช่องทางลมออกในส่วนที่เป็นด้านอับลม, ด้านบนของหลังคา , พื้นที่ที่เป็น Low Pressure เป็นต้น

จากการศึกษาเรื่องของพื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกพบว่า (Givoni, B., 1969)

1. พื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกที่เท่ากันจะทำให้เกิดปริมาณการไหลของอากาศมากที่สุด
2. พื้นที่ทางลมเข้าที่น้อยกว่าทางลมออกจะทำให้เกิดกระแสลมที่แรงมากขึ้นแต่ไม่เหมาะในการใช้บนหลังคา แต่ในการระบายอากาศในอาคารสามารถใช้ได้ในบางพื้นที่
3. พื้นที่ทางลมเข้าที่มากกว่าทางลมออกจะเกิดกระแสลมน้อยและเบาที่สุดแต่จะมีความสม่ำเสมอของปริมาณลมตลอดเวลา (ASHRAE, 1989)

ในการที่จะทำให้เกิดการระบายอากาศใต้หลังคาที่ดีนั้นควรจะใช้พื้นที่ทางลมเข้าและทางลมออกที่เท่ากัน

การพาความร้อน (Convection)

เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศโดยที่การเคลื่อนที่สามารถเกิดขึ้นได้เองเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือการเกิดขึ้นโดยใช้เครื่องจักรกลอัตราในการพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับ (Koenigsberger, 1973)

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิ
2. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศ
3. ความร้อนจำเพาะและความหนาแน่นของอากาศ

Forced Convection

เป็นการเกิดการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของความกดอากาศ หรือเกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอก เช่นจากพัดลมหรือปั๊มพ์ โดยที่การเกิดจะไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงหรือการลอยตัวของอากาศและสามารถเกิดขึ้นได้ทุกทิศทุกทาง

การทำความเย็นโดยการพาความร้อน (Convection Cooling)

เป็นวิธีการทำความเย็นให้กับอาคารโดยการดึงเอาอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่อากาศภายในอาคารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ส่วนใหญ่มักจะใช้ในอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศ เนื่องจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาภายในอาคารที่มีการปรับอากาศจะต้องระวังเรื่องความชื้นเป็นอย่างมากเพราะอากาศภายนอกมีความชื้นมากกว่าอากาศภายในอาคารที่ปรับอากาศแล้ว อาจจะเป็นการทำให้เพิ่มภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศให้มากขึ้นไปอีก

อัตราการเคลื่อนย้ายความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังนี้ (ASHRAE, 1989)

$$q_s = 60\, Q\, \rho\, C_p\, \Delta T$$

q_s = ปริมาณความร้อนที่อากาศสามารถพาไปได้ (Btu/h)

Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

60 = จำนวนนาทีใน 1 ชั่วโมง

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (lb_m / ft^3) มีค่าเท่าประมาณ 0.075 lb_m / ft^3

C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (Btu/lb^0F) มีค่าประมาณ 0.24 Btu/lb^0F

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก (^0F)

จากการวิจัยโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิหลังคาภายในหลังคาระบบปิดและหลังคาที่มีระบบการระบายอากาศของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่าค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาทางหลังคาระบบระบายอากาศลดลงประมาณ 8 % เมื่อเทียบกับหลังคาระบบปิด แต่เมื่อเปรียบเทียบ

อุณหภูมิอากาศภายในห้องแล้วพบว่าในหลังคาที่มีระบบระบายอากาศจะมีอุณหภูมิอากาศภายในห้องเฉลี่ยสูงกว่าในห้องที่ใช้หลังคาระบบปิด แต่การทดลองทั้งสองไม่ได้ทำการทดลองในวันและเวลาเดียวกันจึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลได้ จึงสรุปว่าหลังคาระบบระบายอากาศไม่มีผลต่อการลดอุณหภูมิภายในอาคารในช่วงเวลากลางวันเท่าใดนัก เนื่องจากผลกระทบจากอากาศภายนอก เนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงทำให้อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ใต้หลังคาแปรผันตามอุณหภูมิอากาศภายนอก (โชติวิทย์ พงษ์เสริมผล, 2540)

จากการวิจัยพบว่าในช่วงเวลากลางวันหลังคาที่มีการการระบายอากาศบริเวณชายคาโดยการเปิดโล่งจะทำให้อุณหภูมิใต้ช่องหลังคาต่ำที่สุด ส่วนการใช้ไม้ระแนงตีตามยาว ตีตามขวาง การเจาะบานเกล็ดที่หน้าจั่ว และการปิดทึบจะให้ผลที่แย่ลงตามลำดับ โดยที่ในช่วงเวลา 12.00 - 17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่า Wind Speed สูง จะทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในพื้นที่ใต้หลังคามีค่าใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอก ในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิในช่องอากาศจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอกทั้งนี้เนื่องมาจากการที่มีความเร็วลมไม่เพียงพอในการที่จะระบายอากาศร้อนออกไปและเป็นผลที่เกิดจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุมุงหลังคาที่ถ่ายเทลงสู่พื้นที่ใต้หลังคา การระบายอากาศที่ดีนอกจากจะช่วยในการลดอุณหภูมิในช่องอากาศใต้หลังคาแล้วยังส่งผลในเรื่องของการลดอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิกึ่งกลางภายในกล่องทดลองอีกด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาที่ไม่มีการระบายอากาศแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิกึ่งกลางภายในกล่องทดลองจะมีมากกว่า (จญาดา บุณยเกียรติ, 2539)

และเมื่อสังเกตจากสมการ $Q = U * A * \Delta T$ แล้วจะพบว่าการที่เกิดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้นเท่าไรก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นเท่านั้น ฉะนั้นการใช้วิธีการระบายอากาศเพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิใต้ผิวฝ้าเพดานและอุณหภูมิกึ่งกลางภายในกล่องทดลองต่างกันน้อยที่สุดนั้นก็จะเป็นวิธีการลดการถ่ายเทความร้อนเข้ามายังอาคารที่ดีวิธีหนึ่ง

Stack Effect

ในเรื่องเกี่ยวกับความแตกต่างของความสูงของช่องเปิดจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการระบายอากาศโดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิหรือระบายอากาศด้วยปล่อง (Stack Effect) ที่มักใช้ในอาคารหรือหลังคา เป็นการระบายอากาศจากอาคารโดยการพาความร้อนจากธรรมชาติ การระบายอากาศในลักษณะนี้เกิดจากความหนาแน่นของอากาศที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (เกิดเนื่องจากอุณหภูมิโดยที่อุณหภูมิต่ำความหนาแน่นของอากาศจะมากและเมื่ออุณหภูมิสูงความหนาแน่นของอากาศจะลดลง) อากาศที่ร้อนที่เบาก็จะลอยขึ้นอากาศเย็นทางด้านล่างที่หนักกว่าก็จะเข้ามาแทนที่ องค์ประกอบที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศที่มากขึ้นจะขึ้นอยู่กับ

1. ความแตกต่างของอุณหภูมิยิ่งมากเท่าไรจะทำให้เกิดการลอยตัวมากขึ้น
2. ความสูงระหว่างทางลมเข้าและทางลมออกในแนวตั้ง
3. พื้นที่หน้าตัดของทางลมเข้าและทางลมออก

ข้อดีของ Stack Effect ที่มีมากกว่า Bernoulli Effect คือ จะไม่ขึ้นอยู่กับลม แต่ก็มีข้อเสียคือจะมีแรงกระทำน้อยและจะไม่สามารถระบายอากาศออกไปได้อย่างรวดเร็วนัก อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะนำวิธีการต่างๆ มาผสมผสานกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นการวางตำแหน่งให้แสงอาทิตย์ส่องมากขึ้นในบริเวณทางออกของช่องอากาศเพื่อช่วยให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิมากขึ้น ข้อควรระวังที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการระบายอากาศลดลงคือ การเปลี่ยนของทิศทางลมที่ย้อนกลับเข้ามาในช่องลมจะทำให้อากาศร้อนไหลกลับเข้ามาในอาคาร ปริมาณกระแสลมที่เกิดขึ้นภายในอาคารเนื่องจาก Stack Effect สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้ (Bradshaw, V.,1993)

$$Q = 9.4\, A \sqrt{H\, \Delta T}$$

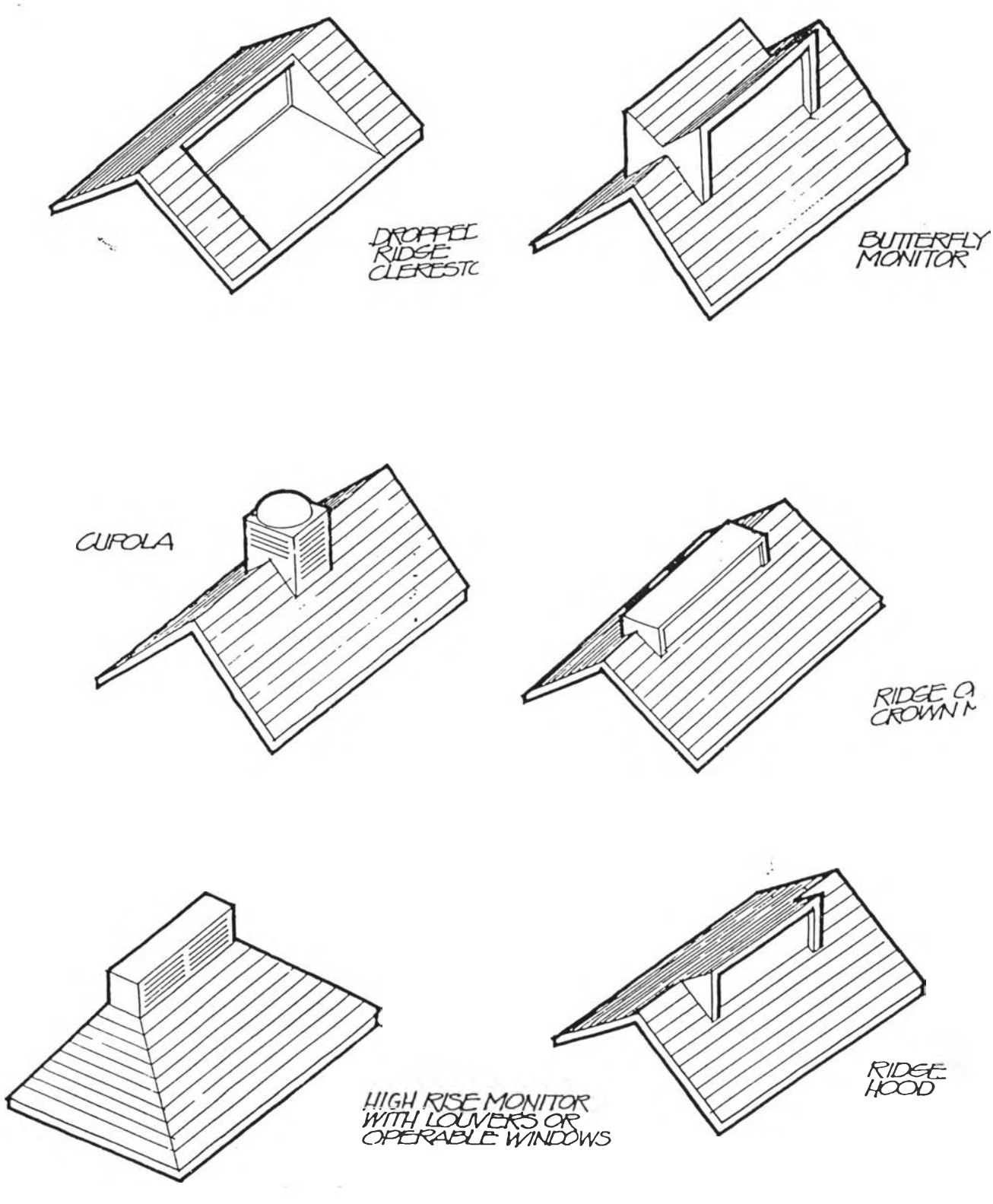
Q = อัตราการไหลของอากาศ (cfm)

9.4 = ค่าคงที่

A = พื้นที่หน้าตัดปล่อง เลือกเอาทางด้านที่มีพื้นที่น้อยกว่ามาคำนวณ (ft^2)

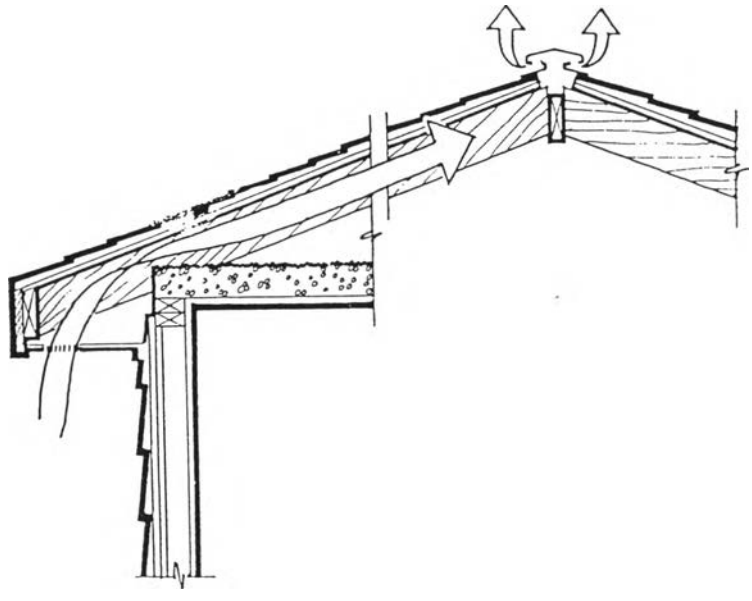
h = ความสูงระหว่างช่องทางเข้าและทางออก (ft)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิของอากาศภายในและภายนอก (^0F)



รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการเปิดช่องอากาศด้านบนเพื่อให้เกิดการระบายอากาศ

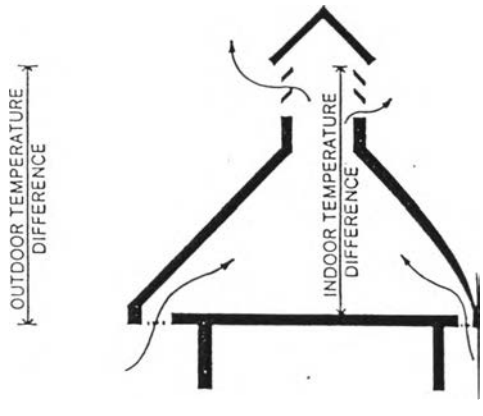
ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 200,202.



รูปที่ 2.6 แสดงการเจาะช่องเปิดใต้ชายคาและด้านบนหลังคา

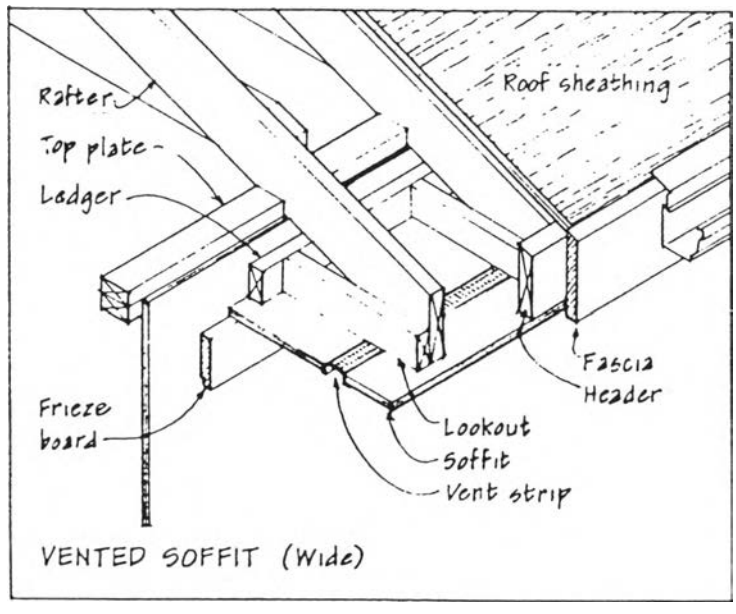
ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 114.

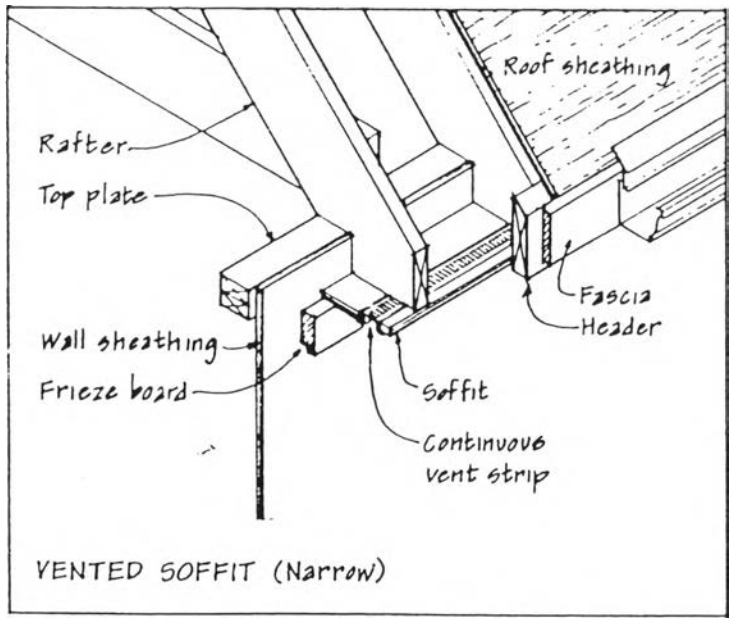
จากรูปที่ ในการเปิดช่องเปิดบริเวณใต้ชายคาเพื่อการระบายอากาศนั้นควรเว้นให้มีระยะห่างออกมาจากผนังกำแพงเพื่อลดการไหลย้อนกลับขึ้นไปของน้ำฝนอันเนื่องมาจากมีแรงลมมาปะทะ (Watson, 1983)



รูปที่ 2. 7 แสดงการนำ Bernoulli Effect มาใช้กับอาคาร

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991.), p.186.





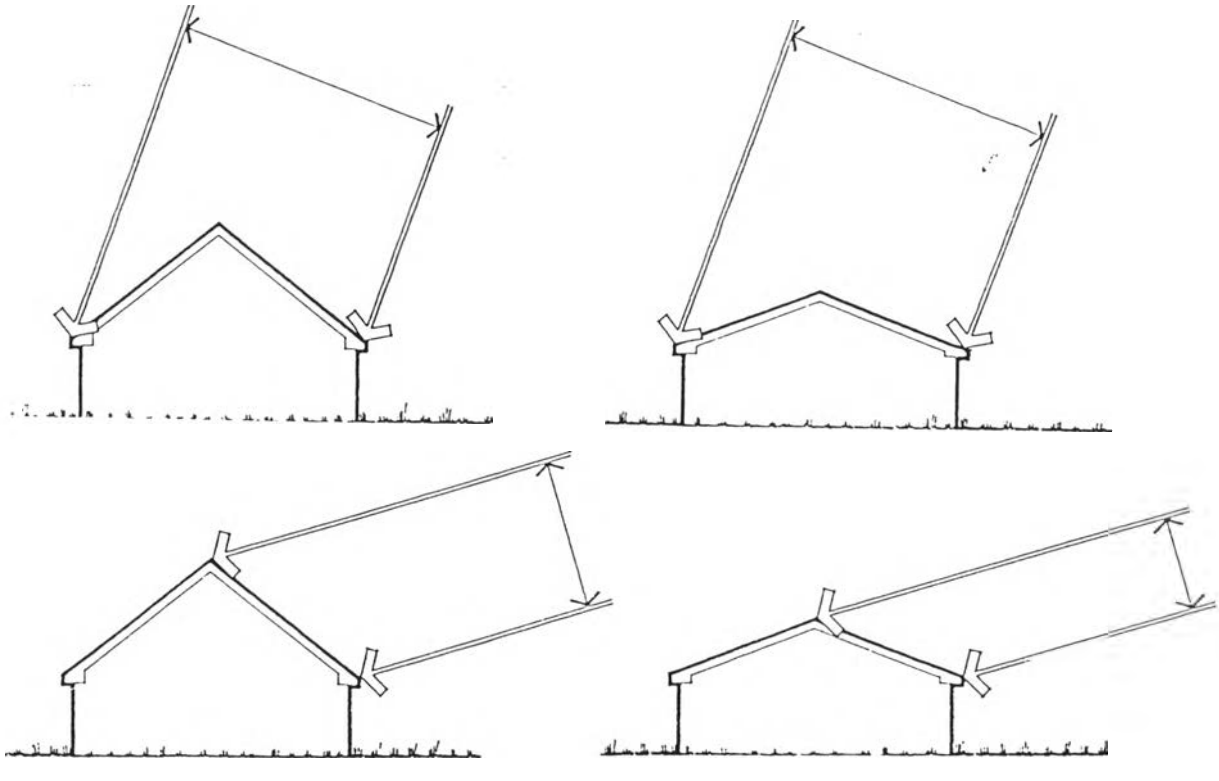
รูปที่ 2.8 แสดงการติดตั้งช่องเปิดระบายอากาศที่ระยะห่างจากผนังแตกต่างกัน

ที่มา : Ching, D.K. Building Construction Illustrated. 2 nd Edition. (New York : Van Nostrand Reinhold , 1991.) p.6.9.

มุมเอียงและรูปทรงของหลังคา

จากการวิจัยโดยทดสอบมุมเอียงของหลังคากับผลของการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้แบ่งมุมของหลังคาที่ทดลองคือ หลังคาราบ เอียง 30 องศา เอียง 45 องศา และเอียง 60 องศาโดยใช้ฝ้าเพดานแนวราบ ผลการทดลองปรากฏว่าหลังคาเอียง 60 องศามีอุณหภูมิภายในกล่องทดลอง อุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานต่ำที่สุดทั้งหมด ทั้งในด้านทิศเหนือและทิศใต้ รองลงมาคือหลังคาเอียง 45 องศา เอียง 30 องศาและหลังคาราบ ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนฝ้าเพดานเป็นแนวเอียงก็ยังให้ผลเช่นเดิม (จุไรพร ตุมพสุวรรณ, 2540) จากผลของการวิจัยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับบ้านไทยในสมัยก่อนแล้วจะเห็นว่าหลังคาของบ้านไทยในสมัยก่อนนั้นมีความลาดชันมากซึ่งนอกจากจะให้ผลในเรื่องของการป้องกันการรั่วของฝนแล้วยังช่วยในเรื่องของการระบายอากาศและการป้องกันความร้อนได้อย่างดีอีกด้วย แต่ในปัจจุบันหลังคาของบ้านส่วนใหญ่จะมีความลาดชันน้อยหรือเป็นหลังคาราบเสียเป็นส่วนใหญ่ทำให้อุณหภูมิภายในบ้านสูงมากขึ้นเลยสภาวะน่าสบาย

อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาพบว่าหลังคาที่มีความลาดชัน 26 องศาเป็นระดับความลาดชันที่ทำให้ลมไหลเลื่อนได้ดีที่สุด (จญาดา บุญยเกียรติ, 2537)



รูปที่ 2.9 แสดงถึงว่าในช่วงกลางวันรูปทรงของหลังคามีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อการได้รับอิทธิพลจากแสงอาทิตย์

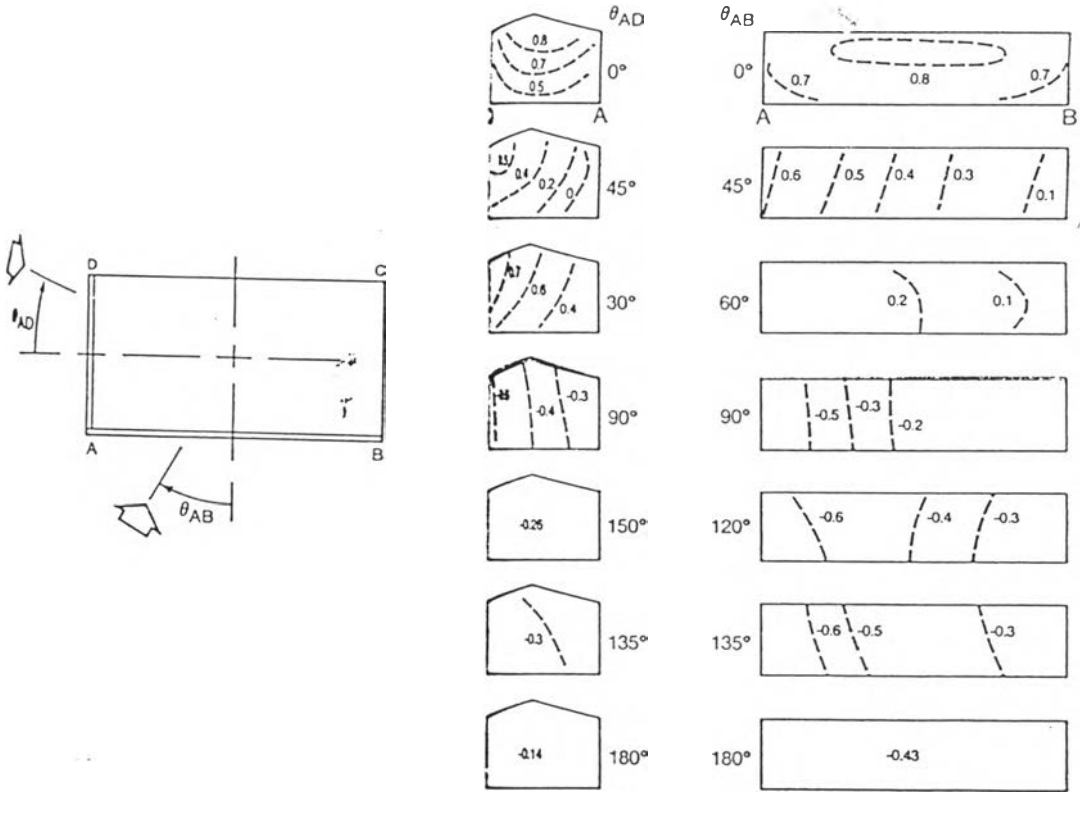
ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 109.

แรงกดอากาศที่กระทำต่อหลังคา (Roof Pressure)

เมื่ออากาศตกกระทบเข้ากับผนังของอาคารก็จะเกิดแรงกดขึ้นและจะทำให้เกิดพื้นที่ Positive Pressure ขึ้น ในขณะเดียวกันอากาศก็ถูกดูดไปยังด้านข้างที่ใต้ลมและทึบทำให้เกิดพื้นที่ Negative Pressure นอกจากนั้นการเบี่ยงเบนของทิศทางลมก็จะทำให้เกิด Negative Pressure ได้เช่นกันและความกดอากาศจะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ

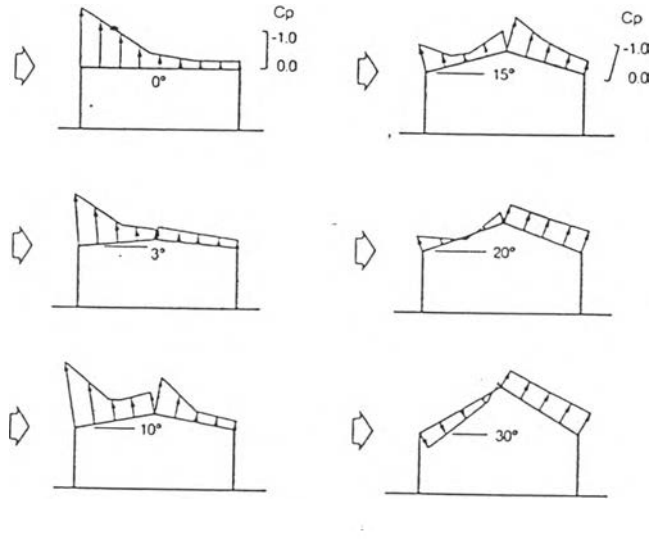
แรงกดอากาศที่กระทำลงบนหลังคาขนาดเล็กของอาคารจะขึ้นอยู่กับความลาดชันของหลังคาเป็นหลัก ในหลังคาที่มีมุมเอียงต่ำมากๆ จะเกิดแรงดูด (Negative Pressure) ในส่วนของหลังคาทั้งหมด เมื่อหลังคามีมุมเอียงมากขึ้นจะเกิดแรงอัดอากาศทางด้านบวก (Positive Pressure) บริเวณส่วนของหลังคาด้านหน้าที่ถูกลมปะทะและเกิดแรงดูดทางด้านหลังของหลังคา

เมื่อมีลมที่พัดเฉียงทำมุม 45 องศากับหลังคาพัดมาปะทะที่มุมของหลังคาที่มีความลาดชันต่ำก็จะช่วยเพิ่มพื้นที่ของแรงดูดอากาศให้เพิ่มขึ้น



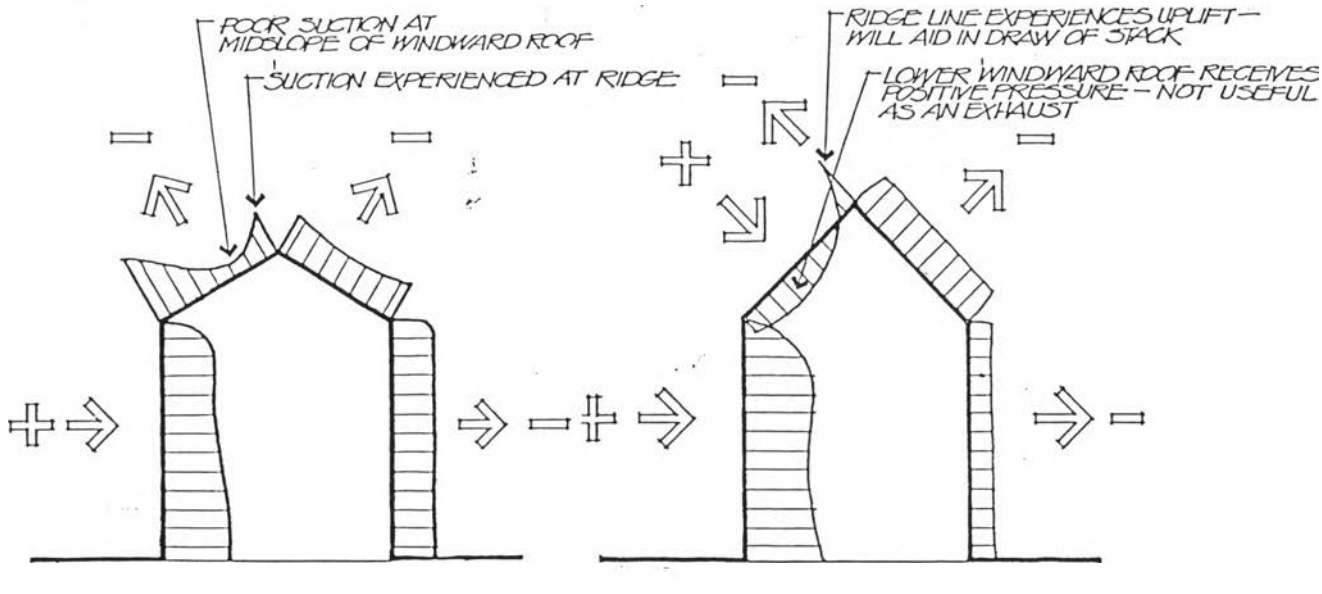
รูปที่ 2.10 แสดง Mean Pressure Coefficient เมื่อมีลมปะทะที่มุมแตกต่างกัน

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.14.5.



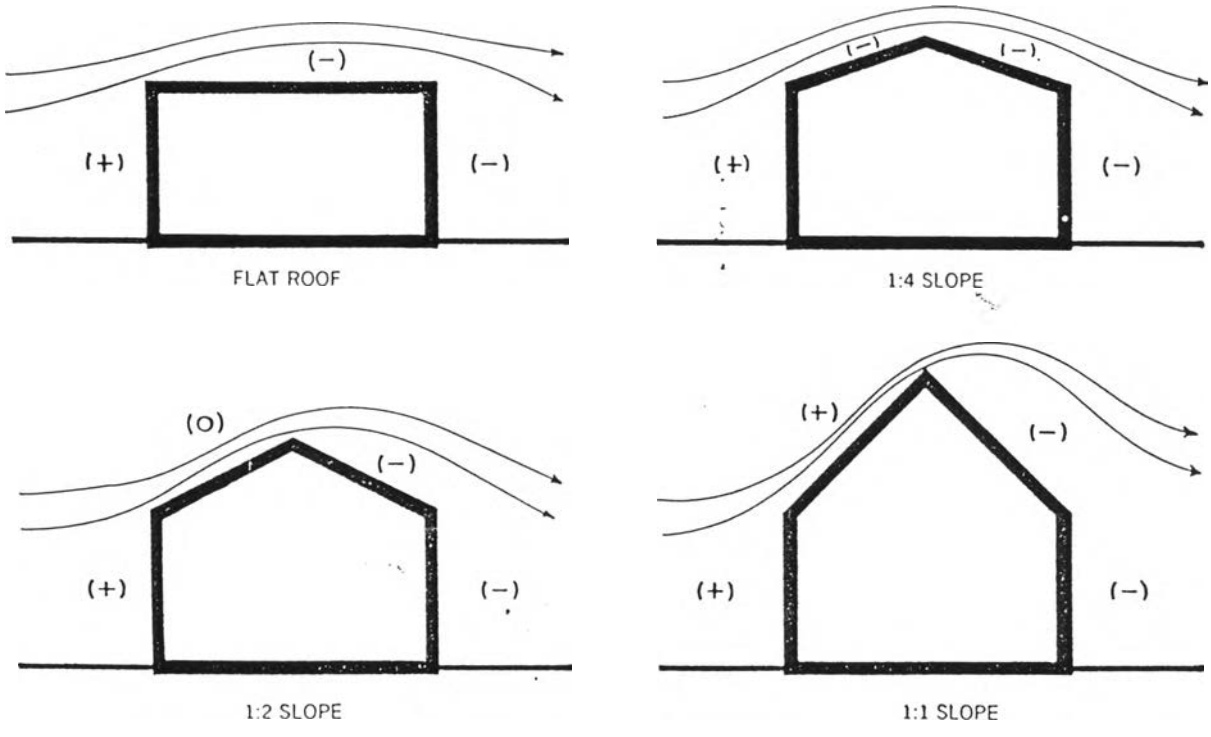
รูปที่ 2.11 **แสดง** Pressure Coefficient **ในมุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน**

ที่มา : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineerings. 1989 ASHRAE Handbook Fundamentals. I-P Edition. (Atlanta Georgia, 1989.) , p.14.6.



รูปที่ 2.12 **แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศในมุมเอียงหลังคาที่แตกต่างกัน**

ที่มา : Watson, D. Climatic Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices. (New York : McGraw-Hill Book, 1983) , p. 200,202.

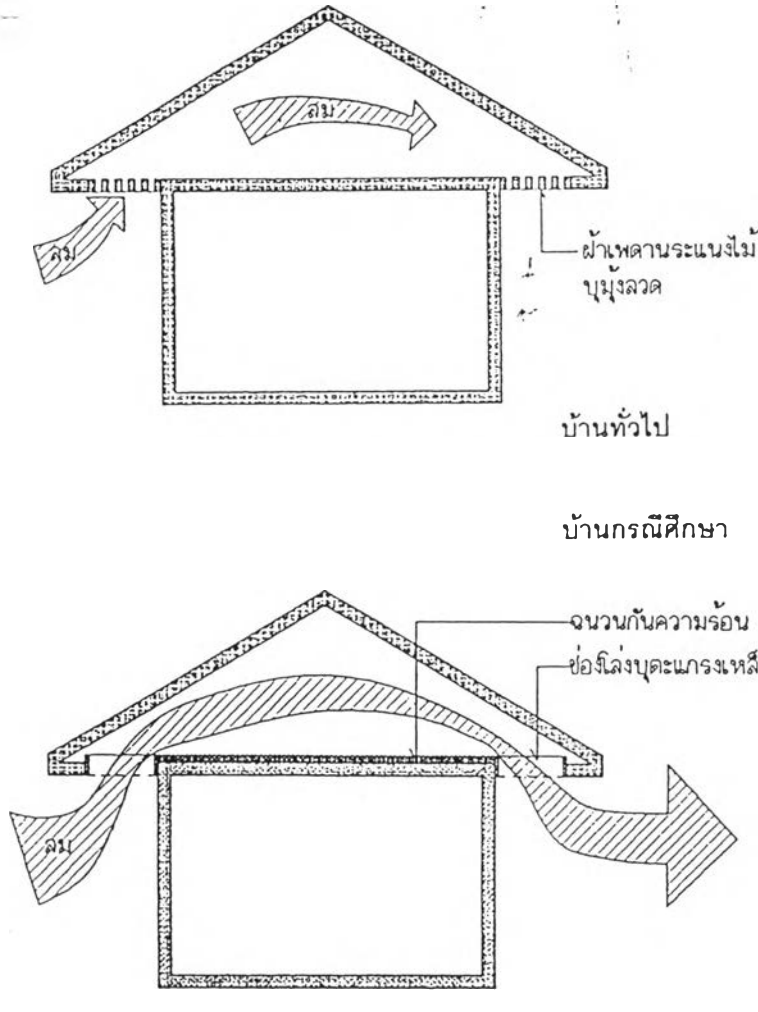


รูปที่ 2.13 **แสดงพื้นที่ของแรงกดอากาศที่เป็นบวก** (Positive Pressure) **และพื้นที่ส่วนที่เป็นแรงดูด** (Negative Pressure) **ในหลังคาที่มีมุมเอียงต่างกัน**

ที่มา : Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects. (New York : John Wiley & Sons, 1991.), p.185.

การบุมุ้งลวดกันแมลงที่ชายคา

บ้านโดยทั่วไปแล้วมักจะใช้การบุมุ้งลวดกันแมลงที่บริเวณชายคา ซึ่งเมื่อระยะเวลานานขึ้นก็จะเกิดการสะสมของฝุ่นละอองทำให้การระบายอากาศไม่สามารถทำได้เต็มที่ ในการออกแบบหลังคาบ้านแบบใหม่จะใช้ระบบการระบายอากาศพิเศษอีลักษณะหนึ่งคือที่ปีกชายคาของบ้านจะเจาะเป็นช่องโล่งบุตระแกรงเหล็กฉีก จะทำให้การไหลเวียนของลมใต้หลังคาของบ้านจากปีกหนึ่งไปยังอีกปีกหนึ่งได้อย่างสะดวกทำให้อากาศร้อนใต้หลังคาได้รับการถ่ายเทออกไป (สุนทร บุญญาธิการ, 2539)การบุมุ้งลวดกันแมลงน้ำจะทำให้ปริมาณการไหลของอากาศลดลงถึง 50 % ทำให้ต้องใช้ช่องอากาศที่ใหญ่มากขึ้นเพื่อให้ลมเข้ามาในประมาณเท่าเดิม (Lechner, 1991)



รูปที่ 2.14 **แสดงการไหลของอากาศผ่านมุ้งลวดและผ่านตระแกรงเหล็กฉีก**

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ. "บ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน." วารสารARCH&IDEA 39 (พฤศจิกายน 2539): 16-21.