บทที่ 6

แนวทางการลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

บทนำ

ความร้อนที่ผ่านหลังคาหรือกำแพงด้านใดด้านหนึ่งของอาคารสามารถหาได้จากสมการที่ (2.44) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ

$$q = U_w \times A_w \times TD_{eq} + U_f \times A_f \times \Delta T + A_f \times SC \times SF$$

เมื่อพิจารณาถึงการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร จากสมการจะเห็นได้ว่า แนวทางการลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร สามารถกระทำได้ดังนี้

1. ลดค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงา (Shading Coefficients,SC)

2. ใช้ฉนวนกันความร้อนบุกำแพงและหลังคาเพื่อลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

ดังนั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงา, SC, และคำนวณหาสัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลของอุปกรณ์บังแดดภายนอก (Effective Shading Coefficient of External Shading Device) โดยพิจารณาอุปกรณ์บังแดดภายนอกแบบต่าง ๆ ที่ใช้ทั่วไป

สัมประสิทธิ์ร่มเงา (Shading Coefficients, SC)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ว่า สัมประสิทธิ์ร่มเงา, SC, หมาย

ถึงอัตราส่วนของความร้อนเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านช่องกระจกแบบ-ใด ๆ ซึ่งมีอุปกรณ์บังแดดต่อความร้อนเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกใสหนา 3 mm. ที่ไม่มีร่มเงา ดังที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (2.36) โดยทั่วไป, ค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงาของช่องกระจกแบบใด ๆ , SC, สามารถหาได้จากผลคูณของสัมประสิทธิ์ร่มเงาของกระจกเอง และสัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลของอุปกรณ์บังแดดภายนอก

$$SC = SC_1 \times SC_2 \qquad ....(6.1)$$

เมื่อ

SC = สัมประสิทธิ์ร่มเงาของช่องกระจกแบบใด ๆ (shading Coefficient of the fenestration system)

SC_1 = สัมประสิทธิ์ร่มเงาของกระจก (shading coefficient of glass)

SC_2 = สัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลของอุปกรณ์บังแดดภายนอก (effective shading coefficient of external shading device)

สัมประสิทธิ์ร่มเงาของกระจก, SC_1 ,ของกระจกต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.1 สำหรับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลของ-อุปกรณ์บังแดดภายนอก, SC_2 , จะได้กล่าวถึงต่อไป

<u>มุมเกิดเงา (Shadow Angle)</u>

ในการหาเงาที่เกิดจากอุปกรณ์บังแดดภายนอก สามารถคำนวณหาได้

ตารางที่ 6.1 สัมประสิทธิ์ร่มเงาของกระจกต่าง ๆ (SC_i)*

GLASS TYPE	THICKNESS (MM.)	WEIGHT (KG/M^2)	WIND PRESSURE RESISTANCE STRENGTH (ALLOWABLE LOAD) (KG)	VISIBLE RAY		SOLAR ENERGY			RELATIVE HEAT GAIN		U VALUE				SHADING COEFFICIENT
											WINTER		SUMMER		
				REFLECTANCE	TRANSMITTANCE	REFLECTANCE	ABSORPTION	TRANSMITTANCE	K CAL/M^2 HR	BTU/FT^2 HR	K CAL/M^2 HR °C	BTU/FT^2 HR °F	K CAL/M^2 HR °C	BTU/FT^2 HR °F	
CLEAR FLOAT	2	5	90	7	91	8	4	88	594	219	5.88	1.16	5.02	1.03	1.02
	3	7	180	7	90	8	6	86	585	216	5.84	1.15	5.02	1.03	1.00
	4	10	260	7	89	8	8	84	576	212	5.59	1.14	5.01	1.03	0.99
	5	12	380	7	89	7	11	82	588	209	5.54	1.13	5.01	1.03	0.97
	6	15	440	7	88	7	13	80	559	206	5.50	1.13	5.01	1.03	0.96
	8	20	800	7	87	7	17	76	540	199	5.41	1.11	4.99	1.02	0.92
	10	25	1000	7	85	7	20	73	525	194	5.32	1.09	4.95	1.01	0.90
	12	30	1200	7	84	7	23	70	511	188	5.24	1.07	4.92	1.01	0.87
DARK COOLGRAY FLOAT	5	12	380	4	20	5	51	44	404	149	5.54	1.13	5.41	1.10	0.67
	6	15	440	4	15	5	56	39	382	141	5.50	1.13	5.41	1.10	0.63
COOLGRAY FLOAT	5	12	380	5	45	5	46	49	426	157	5.54	1.13	5.37	1.10	0.71
	6	15	440	5	39	5	52	43	399	147	5.50	1.13	5.38	1.10	0.66
	8	20	800	4	29	4	62	34	360	133	5.41	1.11	5.39	1.10	0.59
	10	25	1000	4	22	4	69	27	328	121	5.32	1.09	5.35	1.10	0.53
	12	30	1200	4	16	4	75	21	300	111	5.24	1.07	5.32	1.09	0.48

* ข้อมูลจากบริษัท กระจกไทย-อาซาฮี จำกัด

จากมุมเกิดเงาแนวตั้ง (Vertical Shadow Angle, VSA) และมุมเกิดเงาแนวนอน (Horizontal Shadow Angle, HSA) ค่า VSA ใช้สำหรับหาเงาที่เกิดเนื่องจากอุปกรณ์บังแดดภายนอกแบบทางนอน ค่า HSA ใช้สำหรับหาเงาที่เกิดเนื่องจากอุปกรณ์บังแดดภายนอกแบบทางตั้ง รูปที่ 6.1 แสดงถึงมุม VSA และ HSA มุม VSA และ HSA นี้ จะสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta\sin\omega}{\sin\theta_z} \qquad \ldots.(6.2)$$

$$\gamma_{ws} = \gamma_s - \gamma \qquad \ldots.(6.3)$$

$$\alpha_a = 90 - \theta_z \qquad \ldots.(6.4)$$

$$\tan(VSA) = \tan(\alpha_a)\sec\gamma_{ws} \qquad \ldots.(6.5)$$

$$HSA = \gamma_{ws} \qquad \ldots.(6.6)$$

เมื่อ

θ_z = zenith angle

δ = declination

ω = hour angle

γ = surface azimuth angle

γ_s = solar azimuth angle

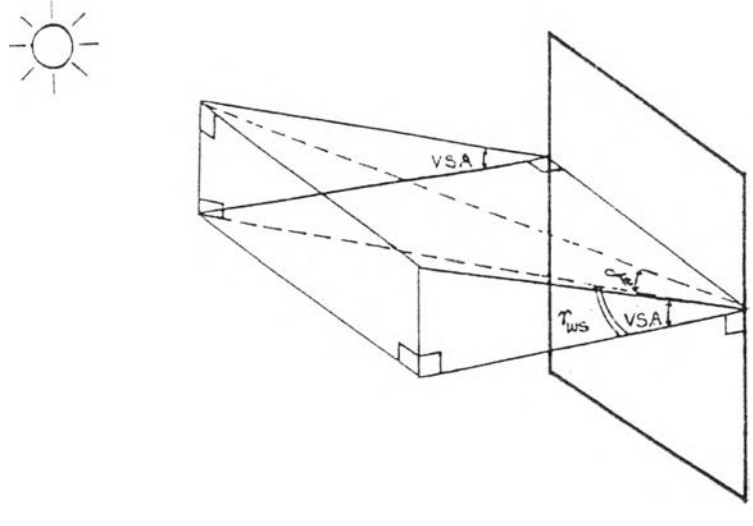
γ_{ws} = wall-solar azimuth angle

α_a = solar altitude angle

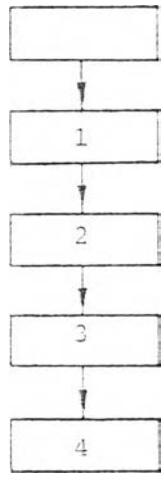
VSA = vertical shadow angle

HSA = horizontal shadow angle

รูปที่ 6.2 แสดงขั้นตอนการคำนวณหาค่า VSA และ HSA ที่เวลาใด ๆ ของระนาบที่ตั้งฉากกับพื้นซึ่งหันไปในทิศทางใด ๆ ผลการคำนวณหาค่า VSA และ HSA ที่เวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 7.00 น. ถึง 18.00 น. ตลอดปี สำหรับระนาบที่หันไปใน 8 ทิศทางได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.



รูปที่ 6.1 แสดงมุม VSA และมุม HSA



Input : Date, Time, Orientation

1. Calculate hour angle, declination, zenith angle
2. Calculate solar azimuth angle
3. Calculate wall solar azimuth angle, altitude angle
4. Calculate VSA, HSA

รูปที่ 6.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการคำนวณหา VSA และ HSA

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลของอุปกรณ์บังแดดภายนอก, SC_2

เมื่อช่องกระจกเกิดเงาเป็นบางส่วนเนื่องจากอุปกรณ์บังแดดภายนอก อาจสมมุติได้ว่าส่วนที่ถูกแสงแดดนั้นได้รับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม, H_{total} และส่วนที่ไม่ถูกแสงแดดนั้นได้รับแต่เพียงพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย, H_d ความร้อนที่ได้รับเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลาใด ๆ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$q_{sf} = A_{fe} \times H_{total} + A_{fs} \times H_d$$

$$= A_{fe} \times H_b + (A_{fe} + A_{fs}) \times H_d$$

เมื่อ

q_{sf} = ความร้อนที่ช่องกระจกได้รับเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์

A_{fe} = พื้นที่ช่องกระจกที่ถูกแสงแดด

A_{fs} = พื้นที่ช่องกระจกที่ไม่ถูกแสงแดด

H_{total} = พลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมที่ผ่านทะลุกระจกใสหนา 3 mm.

H_b = พลังงานแสงอาทิตย์แบบตรงที่ผ่านทะลุกระจกใสหนา 3 mm.

H_d = พลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจายที่ผ่านทะลุกระจกใสหนา 3 mm.

เนื่องจาก $A_f = A_{fe} + A_{fs}$ ดังนั้น

$$q_{sf} = A_{fe} x H_b + A_f x H_d \quad ....(6.7)$$

สำหรับกระจกใสหนา 3 mm., ความร้อนที่ได้รับเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $A_f x H_{total}$ จากคำนิยาม, ค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงารายชั่วโมง (Hourly Shading Coefficient, SC) ของช่องกระจกที่มีอุปกรณ์บังแดด สามารถแสดงได้ดังนี้

$$SC = \frac{A_{fe} x H_b + A_f x H_d}{A_f x H_{total}}$$

$$= \frac{G \times H_b + H_d}{H_{total}} \quad ....(6.8)$$

เมื่อ $G = A_{fe}/A_f$

= อัตราส่วนพื้นที่ช่องกระจกที่ถูกแสงแดดต่อพื้นที่ช่องกระจก

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงาของอุปกรณ์บังแดดตั้งแต่ 7.00 น. ถึง 18.00 น. ตลอดทั้งปี สามารถคำนวณได้จากผลรวมของความร้อนที่ช่องกระจกได้รับเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีอุปกรณ์บังแดดหารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวม, H_{total}, ที่ผ่านทะลุกระจกใสหนา 3 mm. ที่ไม่มีร่มเงา ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Effective SC} = \frac{\sum_{m=1}^{m=12} \sum_{h=7}^{h=18} (G \times H_b + H_d)}{\sum_{m=1}^{m=12} \sum_{h=7}^{h=18} (H_{total})} \quad ....(6.9)$$

เมื่อ h = ชั่วโมง ตั้งแต่ 7,8,9,.....,18

m = เดือน ตั้งแต่ 1,2,3,.....,12

ค่า H_b ,H_d และ H_{total} ที่เวลาใด ๆ สำหรับระนาบที่หันไปในทิศทางต่าง ๆ สามารถดูได้จากภาคผนวก ก.

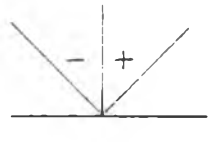
<u>การคำนวณหาค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องกระจกที่ถูกแสงแดดต่อพื้นที่ช่องกระจก,G</u>

อัตราส่วนพื้นที่ช่องกระจกที่ถูกแสงแดดต่อพื้นที่ช่องกระจก,G, ที่เวลาใด ๆ ในทิศทางที่กำหนด สามารถคำนวณได้โดยใช้ตำแหน่งดวงอาทิตย์ จากค่า VSA และ HSA ที่คำนวณหามาได้นั้น จะสามารถคำนวณหาค่า G ได้โดยวิธีการทางตรีโกณมิติ ในการหาค่า G จะกำหนดเครื่องหมายของมุมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

VSA มีค่าเป็น + เสมอ

HSA มีค่าเป็น + เมื่ออยู่ทางด้านขวาของระนาบเมื่อเทียบกับทิศทางของระนาบ

มีค่าเป็น - เมื่ออยู่ทางด้านซ้ายของระนาบเมื่อเทียบกับทิศทางของระนาบ

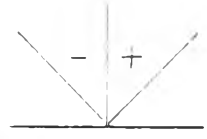


ϕ_1 คือมุมเอียงของอุปกรณ์บังแดดแบบทางนอนที่ทำกับแนวระดับมีค่าเป็น + เสมอ

ϕ_2 คือมุมเอียงของอุปกรณ์บังแดดแบบทางตั้งที่ทำกับแนวตั้งฉากกับระนาบ

มีค่าเป็น + เมื่ออยู่ทางด้านขวาของระนาบเมื่อเทียบกับทิศทางของระนาบ

มีค่าเป็น - เมื่ออยู่ทางด้านซ้ายของระนาบเมื่อเทียบกับทิศทางของระนาบ



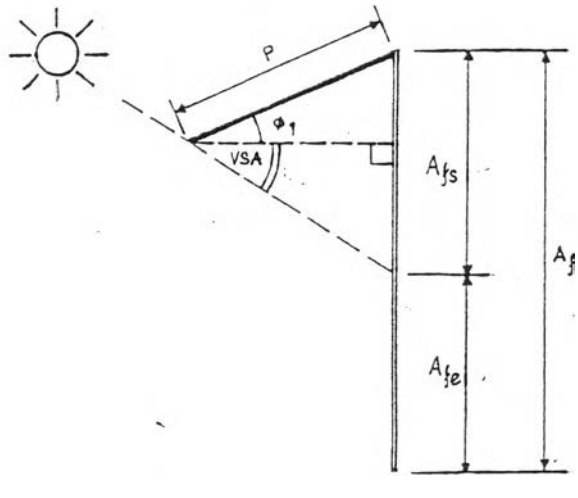
สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ จะกล่าวถึงการหาค่า G เพื่อนำไปหาค่า SC_2 ของอุปกรณ์บังแดดภายนอกที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป ได้แก่

1. อุปกรณ์บังแดดแบบทางนอน (Horizontal Overhangs)

2. อุปกรณ์บังแดดแบบทางตั้ง (Vertical Fins)

3. อุปกรณ์บังแดดแบบผสม (Combination Fins)

1. อุปกรณ์บังแดดแบบทางนอนแบบต่อเนื่อง



$$A_{fs} = P\cos\phi_1 \tan(VSA) + P\sin\phi_1$$

$$= P(\cos\phi_1 \tan(VSA) + \sin\phi_1)$$

$$A_{fe} = A_f - A_{fs}$$

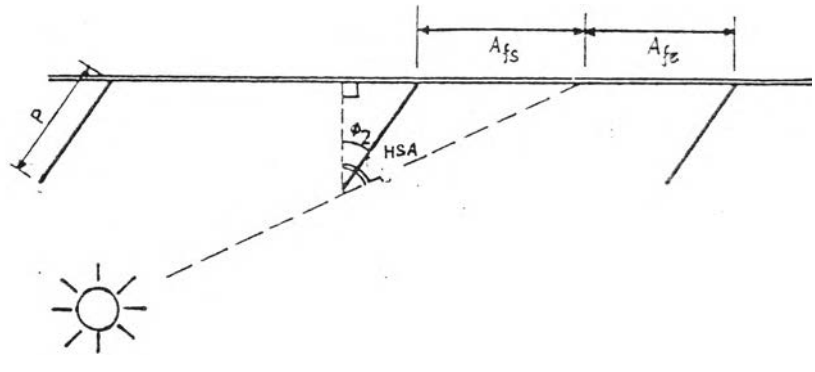
$$\frac{A_{fe}}{A_f} = 1 - \frac{P}{A_f}(\cos\phi_1 \tan(VSA) + \sin\phi_1)$$

หรือ $$G_1 = 1 - R_1(\cos\phi_1 \tan(VSA) + \sin\phi_1) \quad ....(6.10)$$

เมื่อ $G_1 = A_{fe}/A_f$ และ $R_1 = P/A_f$ สำหรับอุปกรณ์บังแดดแบบทางนอน

<u>หมายเหตุ</u> $G_1 \geq 0$

2. อุปกรณ์บังแดดแบบทางตั้งแบบต่อเนื่อง



$$A_{fs} = \left|P\cos\phi_2 \tan(HSA) - P\sin\phi_2\right|$$

$$= P\left|\cos\phi_2 \tan(HSA) - \sin\phi_2\right|$$

$$A_{fe} = A_f - A_{fs}$$

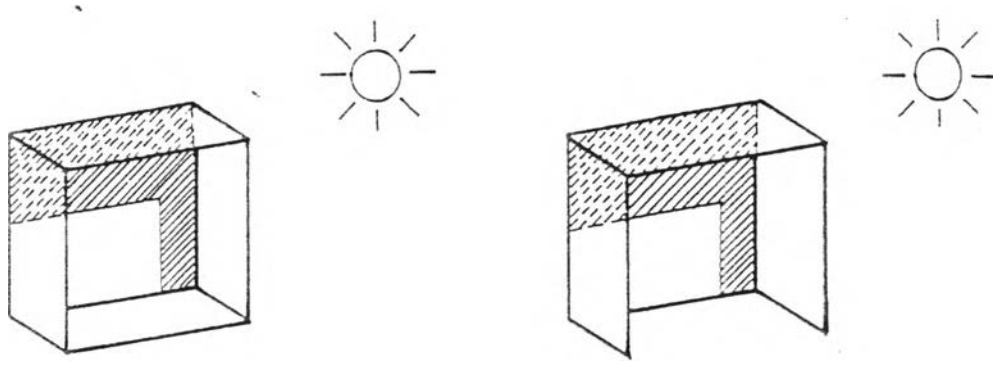
$$\frac{A_{fe}}{A_f} = 1 - \frac{P}{A_f}\left|\cos\phi_2 \tan(HSA) - \sin\phi_2\right|$$

หรือ $$G_2 = 1 - R_2\left|\cos\phi_2 \tan(HSA) - \sin\phi_2\right| \quad ....(6.11)$$

เมื่อ $G_2 = A_{fe}/A_f$ และ $R_2 = P/A_f$ สำหรับอุปกรณ์บังแดดแบบทางตั้ง

หมายเหตุ $G_2 \geq 0$

3. อุปกรณ์บังแดดแบบผสมโดยที่ส่วนทางนอนลาดลง



$$G_1 = 1 - R_1 (\cos\emptyset_1 \tan(VSA) + \sin\emptyset_1)$$

$$G_2 = 1 - R_2 |\tan(HSA)|$$

เนื่องจาก G_1 และ G_2 ต่างก็ไม่ขึ้นต่อกันและกัน ดังนั้นผลของทั้ง 2 ส่วนนี้ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$G_3 = G_1 \times G_2 \qquad ....(6.12)$$

หมายเหตุ $G_3 \geq 0$

จากการคำนวณค่า G นี้ สามารถนำไปคำนวณหาค่า SC_2 ของอุปกรณ์บังแดดแบบต่าง ๆ ได้ ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลของอุปกรณ์บังแดดแบบและขนาดต่าง ๆ ในทิศทางต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ. และโปรแกรมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ร่มเงาประสิทธิผลได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

การใช้ฉนวนกันความร้อนบกำแพงและหลังคาเพื่อลดความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคาร

ในการศึกษาฉนวนก้นความร้อน จะพิจารณาฉนวนที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป 4 ประเภท ได้แก่

1. Polyurethane Foam

2. Polystyrene Foam

3. Fiberglass

4. Rockwool

ตารางที่ 6.2 แสดงคุณสมบัติของฉนวนประเภทต่าง ๆ ในการศึกษาถึงฉนวนกันความร้อนนี้ จะศึกษาโดยพิจารณาเปรียบเทียบ การลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ

การเปรียบเทียบการใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ กับกำแพง

การพิจารณาเปรียบเทียบการลดความร้อน เนื่องจากการใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ จะพิจารณาเปรียบเทียบกับความร้อนที่ผ่านกำแพงคอนกรีตบล็อคหนาประมาณ 10 cm.ใน 8 ทิศทาง ซึ่งจะพิจารณาการใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ ดังนี้

Polyurethane Foam ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ชื่อ "INSUCRETE" มีลักษณะเป็นแผ่น Polyurethane Foam หนา 2.5 cm. ซึ่งมีโครงลวดไว้สำหรับยึดเกาะและฉาบปูน เมื่อฉาบปูนหนา 2.5 cm. ทั้งสองด้านแล้วสามารถนำมาใช้งานแทนกำแพงคอนกรีตบล็อคได้

ตารางที่ 6.2 ประเภทและจุดเด่นของวัสดุฉนวน*

ประเภท	จุดเด่น	คุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง		
		การดูดน้ำและความชื้น	ก๊าซ ควัน กลิ่น	คุณสมบัติที่ได้เป็นประกอบกับวัสดุอื่น
ใยหิน (Rock Wool)	เป็นฉนวนความร้อนจำพวกเส้นใย อนินทรีย์ที่ไม่ติดไฟ มีคุณสมบัติดูดกลืนเสียงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ย่อมน้ำมจึงใช้งานได้ง่าย	น้อย	ไม่เกิดก๊าซพิษ ไม่มีกลิ่น	มีคุณสมบัติกันเสียง ทนน้ำ, ทนไฟ
ใยแก้ว (Glass Wool)	เป็นฉนวนความร้อนจำพวกเส้นใยอนินทรีย์ มีคุณสมบัติดูดกลืน เสียงและทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเป็นเยี่ยม ย่อมน้ำมจึงใช้งานได้ง่าย นอกจากนี้แล้ว มีการกลับคืนตัวจากการอัดได้ดี จึงสามารถอัดบรรจุได้	ดูดน้ำได้แต่ก็ไม่มีปรากฏการณ์คาปิลลารี่ มีอัตราการดูดความชื้นน้อยคือ ต่ำกว่า 1.5%	ถูกกำหนดว่าเป็นสารไม่ติดไฟ ไม่มีก๊าซกลิ่นและควัน	คุณสมบัติกันเสียง, ทนน้ำ และทนไฟ
Polystyrine Foam	เป็นฉนวนความร้อนจำพวกโฟมมีอัตราการนำความร้อนต่ำ มีการดูดความชื้น, และดูดน้ำต่ำ	เกือบไม่มี	ในกรณีที่ใช้งานตามปกติจะไม่เกิดแต่เมื่อไหม้ไฟจะเกิดขึ้นได้	มีคุณสมบัติกันเสียงและกันไฟ
ยูรีเทนโฟมชนิดแข็ง	เป็นฉนวนความร้อนจำพวกโฟม มีอัตราการนำความร้อนต่ำมาก มีการดูดความชื้นและดูดน้ำต่ำ มีความแข็งแกร่งใช้งานได้สะดวก	เกือบไม่มี	ในกรณีที่ใช้งานตามปกติจะไม่เกิดแต่เมื่อไหม้ไฟจะเกิดขึ้นได้	มีคุณสมบัติกันเสียง, ทนไฟ

* ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 9

Polystyrene Foam ในการพิจารณาเปรียบเทียบจะใช้ Polystyrene Foam ที่มีความหนาแน่น 16 kg/m³ เนื่องจากที่ความหนาแน่นนี้ วัสดุสามารถคงรูปอยู่ได้ โดยจะพิจารณาที่ความหนา 2.5 cm. และ 5 cm. ตามลำดับ วิธีการใช้ สามารถบุติดกับกำแพงได้โดยอัดเข้าไปในช่องว่างของโครงคร่าว จากนั้นปิดทับด้วยยิบซั่มบอร์ดเป็นการตกแต่งภายใน

Fiberglass ในการบุกำแพง จะเลือกใช้ Fiberglass ที่มีความหนาแน่น 48 kg/m³ เพื่อวัสดุสามารถคงรูปอยู่ได้ โดยจะพิจารณาที่ความหนา 2.5 cm. และ 5 cm.ตามลำดับวิธีการใช้เช่นเดียวกับ Polystyrene Foam

Rockwool ในการบุกำแพง จะเลือกใช้ Rockwool ที่มีความหนาแน่น 80 kg/m³ เนื่องจากเป็น Rockwool ที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดที่ได้นำเข้าจากต่างประเทศ ในการพิจารณา จะพิจารณาที่ความหนา 2.5 cm. และ 5 cm. ตามลำดับ วิธีการใช้ก็เช่นเดียวกับ Polystyrene Foam

ดังนั้น ในการพิจารณาเปรียบเทียบฉนวนต่าง ๆ ที่ใช้กับกำแพง จะพิจารณาเปรียบเทียบดังนี้

1. Insucrete

2. กำแพงคอนกรีตบล็อคบุด้วย Polystyrene Foam หนา 2.5 cm. และ 5 cm. ตามลำดับ

3. กำแพงคอนกรีตบล็อคบุด้วย Fiberglass หนา 2.5 cm. และ 5 cm. ตามลำดับ

4. กำแพงคอนกรีตบล็อคบุด้วย Rockwool หนา 2.5 cm. และ 5 cm. ตามลำดับ

ตารางที่ 6.3 แสดงค่า U ของ Insucrete และกำแพงคอนกรีตบล็อคที่บุด้วยฉนวนชนิดต่าง ๆ ราคาวัสดุและการติดตั้งเมื่อเปรียบเทียบกับราคากำแพงคอนกรีตบล็อค

ตารางที่ 6.3 แสดงค่า U ของ Insucrete และ กำแพงคอนกรีตบล็อคที่บุด้วยฉนวนชนิดต่าง ๆ ราคาวัสดุและการติดตั้งเมื่อเปรียบเทียบกับราคากำแพงคอนกรีตบล็อค

กำแพง	U W/m^2-C	ราคาวัสดุ +ราคาติดตั้ง (บาท/m^2)	ราคาที่เพิ่มขึ้น (บาท/m^2)
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm.	2.72	190	0
Insucrete	0.74	299	109
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. บุด้วย Polystyrene Foam หนา 2.5 cm.	0.91	310	120
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. บุด้วย Polystyrene Foam หนา 5 cm.	0.56	345	155
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. บุด้วย Fiberglass หนา 2.5 cm.	0.84	417	227
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. บุด้วย Fiberglass หนา 5 cm.	0.51	559	369
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. บุด้วย Rockwool หนา 2.5 cm.	0.84	438	248
กำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. บุด้วย Rockwool หนา 5 cm.	0.51	601	411

โดยวิธีทรานเพอร์ฟังชั่น (Transfer Function) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่า TD_{eq} สำหรับกำแพงบุฉนวนต่าง ๆ สามารถคำนวณหาได้ และได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.4 ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านกำแพงบุฉนวนต่าง ๆ ใน 8 ทิศทาง

การพิจารณาเปรียบเทียบฉนวนที่ใช้บุกำแพงต่าง ๆ จะพิจารณาจากความร้อนที่ลดได้โดยเปรียบเทียบกับความร้อนที่ผ่านกำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. ซึ่งจะนำมาใช้ในการหา Simple Payback ต่อไป Simple Payback คือ อัตราส่วนต้นทุนที่เพิ่มขึ้นต่อเงินที่ประหยัดได้เนื่องจากความร้อนที่ลดลง โดยพิจารณาก้นตลอดปี สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Payback in years} = \frac{\text{Incremental initial cost}}{\text{Yearly savings in energy cost}} \quad ....(6.13)$$

ตารางที่ 6.6 แสดงความร้อนที่ลดได้ตลอดปีเมื่อใช้ฉนวนต่าง ๆ เทียบกับกำแพงคอนกรีตบล็อคหนา 10 cm. มีหน่วยเป็น kW-hrs/m² ถ้าสมมุติให้เครื่องปรับอากาศขนาด 1 kW ต้องการไฟฟ้า 1 kW และค่าไฟฟ้า 2.00 บาท/หน่วย จากสมการที่ (6.13) ก็จะสามารถคำนวณหา Payback ได้ดังแสดงในตารางที่ 6.7 ฉนวนใดที่คำนวณได้ค่า Payback ต่ำกว่าจะดีกว่าฉนวนที่คำนวณได้ค่า Payback สูงกว่า นั่นคือ ด้วยเงินที่ประหยัดได้เนื่องจากการลดความร้อนเท่ากัน การใช้ฉนวนที่ลงทุนน้อยจะดีกว่าการใช้ฉนวนที่ลงทุนมาก

จากผลการคำนวณ Payback ในตารางที่ 6.7 จะพบว่า Insucrete จะให้ค่า Payback ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฉนวนอื่น ๆ ถัดมาได้แก่ Polystyrene Foam และ Fiberglass สำหรับ Rockwool จะให้ค่า Payback สูงสุด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความหนาของฉนวนที่ใช้ จากฉนวน 3 ชนิด คือ Polystyrene Foam, Fiberglass และ Rockwool ปรากฏว่าการใช้ฉนวนหนา 2.5 cm.(หนา 1") จะให้ค่า Payback ต่ำกว่า

การใช้ฉนวนหนา 5 cm.(หนา 2 ") เมื่อเทียบกับฉนวนชนิดเดียวกัน เมื่อพิจารณาถึงทิศทางของกำแพงที่บุฉนวน จะพบว่า การใช้ฉนวนบุกำแพงทิศ W จะให้ค่า Payback ต่ำที่สุด ถัดมาได้แก่ทิศ E, SE, S, SW ซึ่งจะให้ค่า Payback เท่ากัน ถัดมาได้แก่ทิศ NW และ NE ตามลำดับ ส่วนทิศ N จะให้ค่า Payback สูงสุด

<u>การเปรียบเทียบการใช้ฉนวนประเภทต่าง ๆ กับหลังคา</u>

อาคารส่วนใหญ่โดยทั่วไปแล้ว หลังคาจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหนาประมาณ 10 cm. ดังนั้นการเปรียบเทียบการใช้ฉนวนต่าง ๆ กับหลังคา จะเปรียบเทียบจากความร้อนที่ผ่านหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนาประมาณ 10 cm โดยทั่วไป ฉนวนที่ใช้กับหลังคาคอนกรีตโดยตรงมักไม่ค่อยมี ที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ การใช้ Polyurethane Foam ฉีดพ่น แต่การฉีด Polyurethane Foam ในทางปฏิบัติแล้ว ความหนาของ Polyurethane Foam ที่ฉีดไม่ค่อยสม่ำเสมอ และจะฉีดไม่ค่อยหนามาก ดังนั้น ในการพิจารณา Polyurethane Foam จะพิจารณาการใช้ Insucrete แทน การใช้ฉนวนกันความร้อนแบบชนิดสะท้อนแสงก็มีใช้กันอยู่ในทางปฏิบัติ แต่ในการวิจัยนี้จะไม่พิจารณาถึง เนื่องจากที่กล่าวมาแล้วว่าฉนวนที่ใช้กับหลังคาโดยตรงมีน้อย ดังนั้นจะพิจารณาวัสดุอื่นที่สามารถใช้กับหลังคาและลดความร้อนได้ ในที่นี้จะพิจารณาแผ่น Cellocrete และสตรามิตบอร์ด ซึ่งนำมาใช้แทนไม้แบบเทคอนกรีตทำหลังคา ดังนั้น การเปรียบเทียบจะพิจารณาวัสดุ 3 ประเภท คือ

1. Insucrete ซึ่งเป็นแผ่น Polyurethane Foam หนา 2.5 cm. วิธีใช้จะวางไว้เหนือคอนกรีตและเทปูนทรายทับ

2. Cellocrete เป็นเส้นใยไม้ผสมกับซีเมนต์ 2 หน้า และมีแผ่น Polystyrene Foam เป็นไส้กลาง ความหนาของแผ่นที่นำมาใช้แทนไม้แบบประมาณ 2.7 cm.

3. สตรามิตบอร์ด เป็นแผ่นฟางอัด หนา 4.5 cm.

วิธีการเปรียบเทียบจะทำในลักษณะเดียวกับกำแพง ค่าต่าง ๆ และผลการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 6.8 จากผลการคำนวณ Simple Payback จะเห็นได้ว่า หลังคาที่ใช้ Insucrete จะให้ค่า Payback ต่ำที่สุด ถัดมาเป็น Cellocrete และสูงที่สุด คือ สตรามิตบอร์ด

จากการพิจารณาเปรียบเทียบฉนวนต่าง ๆ ที่ใช้กับกำแพงและหลังคาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า การใช้ฉนวนกับกำแพงหรือหลังคาของอาคารเป็นปัจจัยหนึ่งที่สถาปนิกและวิศวกรออกแบบอาคารควรจะพิจารณาถึง เนื่องจากการใช้ฉนวนกับกำแพงหรือหลังคาของอาคารสามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ ทำให้สามารถเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงได้ เครื่องปรับอากาศทำงานน้อยลง ทำให้ประหยัดค่ากระแสไฟฟ้ามากขึ้น ระยะเวลาในการคืนทุนก็เร็วเมื่อพิจารณาถึงต้นทุนที่เพิ่มในการติดตั้งฉนวน ดังนั้น การพิจารณาเปรียบเทียบฉนวนต่าง ๆ ที่ใช้กับกำแพงและหลังคาของอาคารในการวิจัยนี้ จะเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อให้สถาปนิกและวิศวกรออกแบบอาคาร ได้พิจารณาเพื่อประหยัดพลังงานในอาคารต่อไป

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าเฉลี่ยตลอดปีของอุณหภูมิแตกต่างเทียบเท่าของกำแพงบุฉนวนต่าง ๆ

AVERAGE EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENCE (7.00-18.00 throughout the year)

medium colored , Indoor Air Temperature = 25 °C

Construction	U	Equivalent Temperature Difference (°C)								
	W/m² - °C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block	2.72	9	10	10	10	10	10	9	8	9
Insucrete	0.74	9	10	10	10	10	9	8	8	9
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. polystyrene foam	0.91	9	10	10	10	10	10	9	8	9
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. polystyrene foam	0.56	7	8	8	8	8	7	6	6	7
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. fiberglass	0.84	9	10	10	10	10	10	9	8	9

ตารางที่ 6.4 (ต่อ) แสดงค่าเฉลี่ยตลอดปีของอุณหภูมิแตกต่างเทียบเท่าของกำแพงบุฉนวนต่าง ๆ

AVERAGE EQUIVALENT TEMPERATURE DIFFERENCE (7.00-18.00 throughout the year)

medium colored , Indoor Air Temperature = 25 °C

Construction	U	Equivalent Temperature Difference (°C)								
	W/m² - °C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. fiberglass	0.51	7	8	8	8	8	7	6	6	7
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. rockwool	0.84	9	10	10	10	10	10	9	8	9
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. rockwool	0.51	7	8	8	8	8	7	6	6	7

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านกำแพงบุฉนวนต่าง ๆ

AVERAGE HEAT GAIN THROUGH WALL

medium colored , Indoor Air Temperature = 25 °C

Construction	U	AVERAGE HEAT GAIN THROUGH WALL (W/m^2)							
	$W/m^2-°C$	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block	2.72	24.48	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	24.48	21.76	25.84
Insucrete	0.74	6.66	7.4	7.4	7.4	7.4	6.66	5.92	5.92	6.845
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. polystyrene foam	0.91	8.19	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	8.19	7.28	8.645
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. polystyrene foam	0.56	3.92	4.48	4.48	4.48	4.48	3.92	3.36	3.36	4.06
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. fiberglass	0.84	7.56	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	7.56	6.72	7.98

ตารางที่ 6.5 (ต่อ) แสดงค่าความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านกำแพงบุฉนวนต่าง ๆ

AVERAGE HEAT GAIN THROUGH WALL

medium colored , Indoor Air Temperature = 25°C

Construction	U	AVERAGE HEAT GAIN THROUGH WALL (W/m^2)							
	$W/m^2-°C$	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. fiberglass	0.51	3.57	4.08	4.08	4.08	4.08	3.57	3.06	3.06	3.698
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. rockwool	0.84	7.56	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	7.56	6.72	7.98
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. rockwool	0.51	3.57	4.08	4.08	4.08	4.08	3.57	3.06	3.06	3.698

ตารางที่ 6.6 แสดงค่าความร้อนที่ลดได้ตลอดปี

ANNUAL ENERGY SAVING

Construction	U	ANNUAL ENERGY SAVING (kW-hrs/m²)								
	W/m²-°C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block	2.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insucrete	0.74	56.45	62.73	62.73	62.73	62.73	65.07	58.80	50.18	60.18
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. polystyrene foam	0.91	51.61	57.34	57.34	57.34	57.34	57.34	51.61	45.87	54.47
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. polystyrene foam	0.56	65.13	71.98	71.98	71.98	71.98	73.75	66.91	58.29	69.00
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. fiberglass	0.84	53.60	59.56	59.56	59.56	59.56	59.56	53.60	47.65	56.58

ตารางที่ 6.6 (ต่อ) แสดงค่าความร้อนที่ลดได้ตลอดปี

ANNUAL ENERGY SAVING

Construction	U	ANNUAL ENERGY SAVING (kW-hrs/m²)								
	W/m²-°C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. fiberglass	0.51	66.24	73.24	73.24	73.24	73.24	74.86	67.86	59.24	70.15
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. rockwool	0.84	53.60	59.56	59.56	59.56	59.56	59.56	53.60	47.65	56.58
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. rockwool	0.51	66.24	73.24	73.24	73.24	73.24	74.86	67.86	59.24	70.15

ตารางที่ 6.7 แสดงค่า SIMPLE PAYBACK

SIMPLE PAYBACK IN YEARS

Construction	U	SIMPLE PAYBACK IN YEARS							
	W/m^2-C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block	2.72	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Insucrete	0.74	.9654	.8689	.8689	.8689	.8689	.8376	.9269	1.086	.9057
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. polystyrene foam	0.91	1.163	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.163	1.308	1.101
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. polystyrene foam	0.56	1.190	1.077	1.077	1.077	1.077	1.051	1.158	1.330	1.123
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. fiberglass	0.84	2.117	1.906	1.906	1.906	1.906	1.906	2.117	2.382	2.006

ตารางที่ 6.7 (ต่อ) แสดงค่า SIMPLE PAYBACK

SIMPLE PAYBACK IN YEARS

Construction	U	SIMPLE PAYBACK IN YEARS							
	W/m² - C	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	AVG
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. fiberglass	0.51	2.785	2.519	2.519	2.519	2.519	2.465	2.719	3.114	2.630
10 cm. h.w. concrete block with 2.5 cm. rockwool	0.84	2.313	2.082	2.082	2.082	2.082	2.082	2.313	2.602	2.192
10 cm. h.w. concrete block with 5 cm. rockwool	0.51	3.102	2.806	2.806	2.806	2.806	2.745	3.028	3.469	2.930

ตารางที่ 6.8 แสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบหลังคาคอนกรีตบุฉนวนประเภทต่าง ๆ

Roof Construction	U W/m^2-C	TD_{eq} °C	AVG. HEAT GAIN W/m^2	ANNUAL ENERGY SAVING $kW-hrs/m^2$	INCRE-MENTAL COST $Baht/m^2$	SIMPLE PAYBACK IN YEARS
10 cm. h.w. concrete	3.24	7	22.68	-	-	-
10 cm. h.w. concrete with insucrete	0.7	6	4.2	58.54	139	1.1871
10 cm. h.w. concrete with 2.7 cm. cellocrete	1.12	6	6.72	50.56	138	1.3647
10 cm. h.w. concrete with 4.5 cm. stramit board	1.2	6	7.2	49.04	160	1.6313