ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา
สมบูรณ์ ติรสิทธิ์

การลดความร้อนผ่านระบบหลังคา และการหาค่า U และ CLTD สำหรับหลังคาในกรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

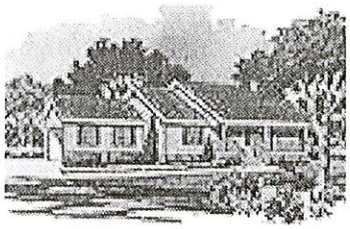
บทความนี้กล่าวถึงผลลัพธ์บางประการจากงานวิจัยเรื่องการพัฒนาคอมพิวเตอร์โปรแกรมเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาโดยวิธีสมดุลความร้อน ระบบหลังคาที่ทำการศึกษามี 2 รูปทรงคือ ทรงหน้าจั่วและทรงปั้นหยา การศึกษาในแต่ละรูปทรงจะทำการแยกออกอีกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีฝ้า และไม่มีฝ้าเพดาน ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาที่นำมาพิจารณามีดังนี้ ความหนาของฉนวนกันความร้อน การติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ การระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา มุมเอียงของหลังคา และวัสดุที่นำมามุงหลังคา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านระบบหลังคาที่มีฝ้าเพดานเข้ามายังห้องที่ปรับอากาศจะน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีฝ้าเพดานประมาณ 40 % การระบายอากาศจากภายนอกผ่านช่องใต้หลังคา 10 ถึง 30 ACH ส่งผลให้ปริมาณความร้อนลดลงประมาณ 30 ถึง 40% เมื่อเทียบกับกรณีไม่บุฉนวน ความหนาของฉนวนที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 นิ้ว ความหนาที่เกินกว่า 3 นิ้ว จะไม่ช่วยลดความร้อนลงอีกมากนัก การติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์จะลดปริมาณความร้อนลงประมาณ 30 ถึง 40% และประการสุดท้ายจากการศึกษาพบว่าผลของมุมเอียง และวัสดุที่นำมามุงหลังคาไม่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคามากนัก

บทนำ

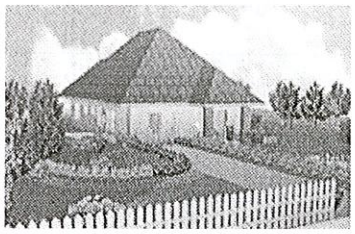
ในการคำนวณภาระความร้อนที่ผ่านเข้ามายังห้องภายในอาคาร โดยเฉพาะบ้านเรือนโดยทั่ว ๆ ไป ผู้ออกแบบมักมีความจำเป็นต้องคำนวณหาขนาดของภาระความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาทางหลังคา ปัญหาที่มักประสบอยู่เสมอ ๆ สำหรับผู้ออกแบบ คือ ขาดข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนดังกล่าว บทความนี้จะกล่าวถึงการหาค่า U หรือสัมประสิทธ์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของระบบหลังคาที่แนะนำให้ใช้สำหรับอาคารบ้านเรือนส่วนมากที่มักพบเห็นกันอยู่ในกรุงเทพมหานคร และนอกจากนั้นแล้วก็จะกล่าวถึงค่า CLTD ของระบบหลังคาดังกล่าวข้างต้นด้วย

รายละเอียดระบบหลังคา

ระบบหลังคาที่จะกล่าวถึงในบทความฉบับนี้จะมีอยู่ 2 รูปทรง คือ รูปทรงหน้าจั่ว และรูปทรงปั้นหยา ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยที่แต่ละรูปทรงจะกล่าวถึงทั้งแบบที่มีฝ้าเพดานและแบบที่ไม่มีฝ้าเพดาน แบบของหลังคาที่ไม่มีฝ้าเพดานนั้นเรานิยม เรียกกันว่า หลังคาแบบคะธีดอ



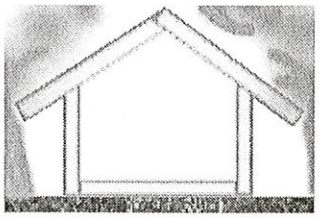
ก. หลังคารูปทรงหน้าจั่ว



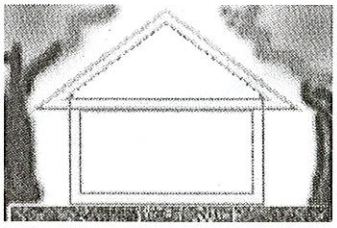
ข. หลังคารูปทรงปั้นหยา

รูปที่ 1 : แสดงรูปทรงหลังคา

รูปที่ 2 ก. และ ข. แสดงภาพตัดขวางของหลังคารูปทรงหน้าจั่วแบบคะธีดอและแบบมีฝ้าเพดานตามลำดับ



ก. หลังคาแบบคะธีดอ



ข. หลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา

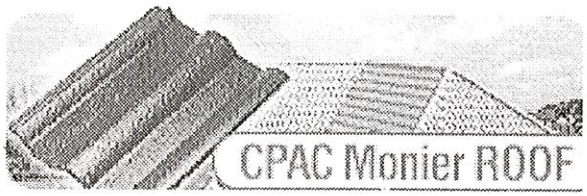
รูปที่ 2: แสดงรูปตัดขวางของหลังคา

วัสดุมุงหลังคาที่เลือกนำมาพิจารณามี 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 3 คือ

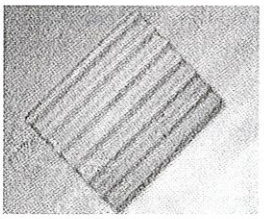
ก. กระเบื้องคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3 ก.

ข. กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน ดังแสดงในรูปที่ 3 ข.

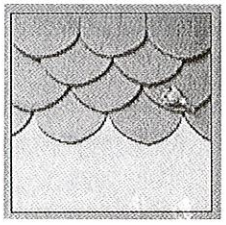
ค. กระเบื้องเซรามิค ดังแสดงในรูปที่ 3 ค.



ก. กระเบื้องคอนกรีต



ข. กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน



ค. กระเบื้องเซรามิค

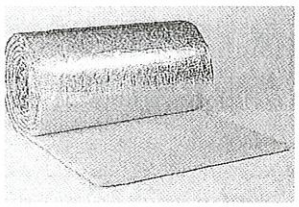
รูปที่ 3 : แสดงวัสดุมุงหลังคาชนิดต่าง ๆ

ส่วนฉนวนที่เลือกนำมาพิจารณามี 3 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 4 คือ

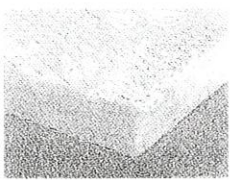
ก. ฉนวนใยแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 4 ก.

ข. ฉนวนใยหิน ดังแสดงในรูปที่ 4 ข.

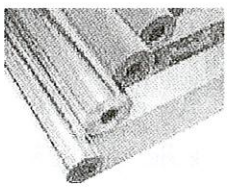
ค. แผ่นสะท้อนความร้อน (อลูมิเนียมฟอยล์) ดังแสดงในรูป 4 ค.



ก. ฉนวนใยแก้ว



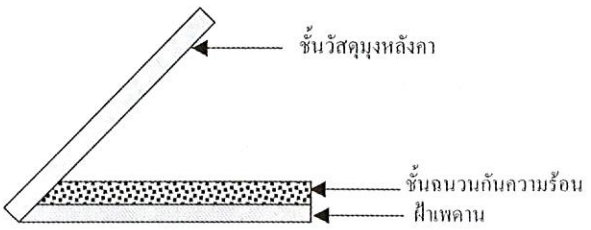
ข. ฉนวนใยหิน



ค. แผ่นสะท้อนความร้อน (อลูมิเนียมฟอยล์)

รูปที่ 4: แสดงฉนวนประเภทต่าง ๆ

ลักษณะการประยุกต์วัสดุมุงหลังคาแบบต่าง ๆ เข้ากับระบบหลังคาทั้งสองแบบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงภาพรวมขององค์ประกอบโดยทั่ว ๆ ไปของระบบหลังคาแสดงอยู่ในรูปที่ 5



รูปที่ 5: ภาพรวมขององค์ประกอบโดยทั่ว ๆ ไปของระบบหลังคา

ค่า U และ CLTD ของระบบหลังคา

ค่า U ของระบบหลังคาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$U = 1/R_{รวม} \quad (1)$$

โดยที่

$$R_{รวม} = 1/h_i + \sum R_{ย่อย} + 1/h_o \quad (2)$$

และ $$R_{ย่อย} = \sum x / k \quad (3)$$

โดยที่

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.K$) ของระบบหลังคา

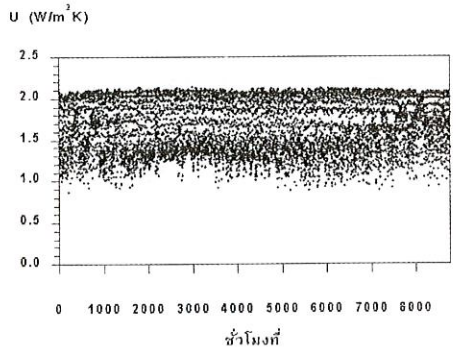
h_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างอากาศกับผิวฝ้าเพดาน ในห้องที่ปรับอากาศ (W/m2.K)

h_o คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างอากาศกับผิวด้านนอก วัสดุมุงหลังคา (W/m2.K)

$\sum x$ คือ ความหนาของวัสดุในแต่ละชั้น (เมตร)

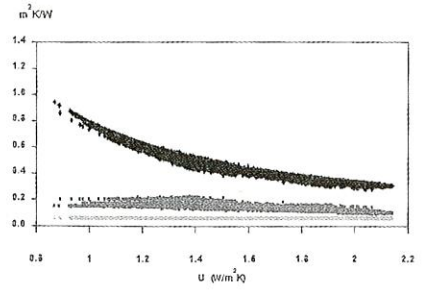
k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของวัสดุ (W/m.K) ในแต่ละชั้น

ความยุ่งยากในการคำนวณหาค่า U นั้น ส่วนมากจะอยู่ที่ความยุ่งยากในการคำนวณหาค่า hi และ ho และปัญหาการมีช่องอากาศภายในฝ้าเพดาน วิศวกรและช่างเทคนิคส่วนมากมักจะมีความเข้าใจว่า ค่า U ค่า hi และ ho นั้นเป็นค่าคงที่ ในความเป็นจริงแล้วหาเป็นเช่นนั้นไม่ ค่าทั้ง 3 มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น ค่า ho ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาของผิวหลังคาด้านนอกจะแปรเปลี่ยนไป ตลอดเวลาตามอุณหภูมิผิวของหลังคา และความเร็วลม ณ เวลาใด ๆ ตัวอย่างของการเปลี่ยนแปลงนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 6 และ 7 ข้อมูลจากรูปที่ 6 และ 7 ได้มาจากการทำแบบจำลองของระบบหลังคาโดยการพัฒนาคอมพิวเตอร์โปรแกรมขึ้นมาเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาโดยวิธีสมดุลความร้อน (Heat Balance Method) รายละเอียดเพิ่มเติมผู้อ่านอาจศึกษาได้จาก



รูปที่ 6 : ค่า U รายชั่วโมงทั้งปีสำหรับหลังคาแบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดฉนวน

เอกสารอ้างอิง (1) โดยปกติค่า h_i และ h_o มักจะมีการเปลี่ยนแปลงมาก ค่า hi อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วง 0.8 ถึง 3.3 $W/m^2.K$ และค่า h_o อาจมีค่าเปลี่ยนแปลงได้อยู่ในช่วง 6.0-12.0 $W/m^2.K$



รูปที่ 7: อิทธิพลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อค่า U ของหลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา ไม่ติดตั้งฉนวน

ตารางที่ 3 เป็นค่า U ที่แนะนำให้ใช้สำหรับระบบหลังคาที่มีองค์ประกอบแบบต่าง ๆ ค่าความคลาดเคลื่อนอาจมีอยู่บ้างแต่คาดว่าน่าจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการคำนวณทางวิศวกรรมสำหรับบ้านเรือน และที่อยู่อาศัยโดยทั่ว ๆ ไปในเขตกรุงเทพมหานคร

ค่า CLTD นั้นสามารถหาได้โดยทางอ้อมจาก สมการการนำความร้อนผ่านระบบหลังคา (2) คือ

$$Q = U.A.CLTD \quad (4)$$

หรือ $$CLTD = Q/UA \quad (5)$$

โดยที่

Q คือ ความร้อนที่ไหลผ่านระบบหลังคา

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

A คือ พื้นที่หลังคา

CLTD คือ ค่า Cooling Load Temperature Different ตามคำจำกัดความใน (2)

ตารางที่ 3 ค่า U ของระบบหลังคาแบบต่าง ๆ

Roof No.	แบบของระบบหลังคา	ความหนาฉนวน (นิ้ว)	ค่า U (W/m2.K)
1	หลังคาหน้าจั่วแบบคะธีดอ	ไม่ติดฉนวน	1.655
2		1	0.831
3		2	0.565
4	หลังคาปั้นหยาแบบคะธีดอ	ไม่ติดฉนวน	1.820
5		1	0.876
6		2	0.587
7	หลังคาหน้าจั่วแบบมีช่องใต้หลังคา	ไม่ติดฉนวน	1.206
8		1	0.693
9		2	0.492
10	หลังคาปั้นหยาแบบมีช่องใต้หลังคา	ไม่ติดฉนวน	1.236
11		1	0.703
12		2	0.497

หมายเหตุ : ชนิดของวัสดุมุงหลังคาไม่มีผลต่อค่า U มากนัก

ผลจากการศึกษา โดยการใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น หาค่าการถ่ายเทความร้อน Q เป็นรายชั่วโมงตลอดปีออกมาจะทำให้สามารถหาค่า CLTD ได้จากสมการที่ 5 ค่า CLTD ที่คำนวณได้สำหรับระบบหลังคาที่กล่าวถึงแสดงอยู่ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า CLTD ที่คำนวณได้สำหรับระบบหลังคาในกรุงเทพมหานคร (องศาเซลเซียส)

Roof	U	Solar Time (hr)																							
No	(W/m2.K)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1.655	1	-1	-1	-1	-2	-2	3	11	20	29	36	42	45	43	39	33	26	17	10	7	5	4	3	2
2	0.831	6	5	5	4	3	3	4	8	13	20	26	31	34	36	35	33	30	24	18	14	11	9	8	7
3	0.565	10	9	8	8	7	7	8	13	19	26	32	36	38	39	39	38	36	31	26	21	17	15	13	11
4	1.820	3	2	2	1	1	0	5	13	22	30	37	41	44	45	40	33	25	17	10	7	5	5	4	4
5	0.876	5	4	4	3	2	2	2	6	11	18	25	30	32	33	33	31	28	23	17	13	10	8	7	6
6	0.587	9	8	7	7	7	6	8	12	18	24	29	34	36	37	37	36	33	29	24	20	16	14	12	10
7	1.206	1	0	-1	-1	-1	-2	2	9	19	29	37	43	48	49	45	38	30	19	11	6	4	3	2	2
8	0.693	1	1	0	0	0	0	2	7	14	23	31	38	41	42	40	35	28	20	13	8	4	3	2	1
9	0.492	2	2	1	1	0	0	2	6	13	20	27	33	37	39	39	37	32	26	19	13	9	6	4	3
10	1.236	0	0	0	0	-1	-1	0	7	18	29	38	44	47	47	43	36	26	15	8	4	2	1	1	0
11	0.703	1	0	0	0	0	0	1	7	16	26	34	40	44	44	42	37	30	20	13	7	4	3	2	1
12	0.497	2	2	1	1	1	1	2	7	14	21	29	35	38	39	38	35	29	22	15	9	6	4	3	3

✸ ค่าในตารางได้จากการใช้ข้อมูลอากาศปี ค.ศ. 1991 สำหรับกรุงเทพมหานคร ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี 1.7 m/s

การลดความร้อนผ่านระบบหลังคา

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาพบว่า

✸ หลังคาแบบที่มีฝ้าเพดานจะช่วยลดความร้อนลงได้ประมาณ 40% เมื่อเทียบกับหลังคาแบบไม่มีฝ้าเพดาน

✸ การระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคา10 ถึง 30 ACH จะช่วยลดความร้อนลงไปได้อีก 15 ถึง 25%

✸ การบุฉนวนจะช่วยลดความร้อนลงไปได้อีก 30 ถึง 40% และโดยทั่วไปควรบุฉนวนกันความร้อนหนาประมาณ 2-3 นิ้วก็เพียงพอ จากการศึกษาพบว่าการบุฉนวนหนาเกินกว่า 3 นิ้ว ไม่ได้ช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทลงไปอีกมากนัก ฉนวนใยแก้ว 24 K หนา 2-3 นิ้ว หุ้มด้วยถุงอลูมิเนียมฟอยล์ มีความเหมาะสมกับการใช้งานเป็นอย่างมาก

✸ การติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ จะลดปริมาณความร้อนถ่ายเทลงไป 20 ถึง 40% สำหรับหลังคาที่ไม่ติดฉนวนกันความร้อน

สรุป

ความสามารถโดยรวมของแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์กับฉนวน และการระบายอากาศภายในช่องใต้หลังคาจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนลงไปได้มากอย่างไม่น่าเชื่อ และหากผู้ใช้ทุกฝ่ายมีความเข้าใจในวิธีการป้องกันความร้อนที่ส่งผ่านระบบหลังคาเป็นอย่างดีแล้ว ผู้เขียนเชื่อว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการเสริมสร้างสภาวะสบายเชิงความร้อน และช่วยลดการใช้พลังงานลงได้อีกเป็นอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

(1) สมบูรณ์ ติรสิทธิ์ "การศึกษาเชิงวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคา" วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

(2) ASHRAE GRP 158., "Cooling and Heating Load Calculation Manual" American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.