

# พื้นฐานการคำนวณภาระความร้อนด้วยวิธี RTS

ตุลย์ มณีวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 02-2186640, E-mail: tul.m@chula.ac.th



## 1. บทนำ

Radiant Time Series (RTS) Method เป็น Simplified Method ที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่าภาระความร้อน (Cooling Load) ที่ถูก Derived มาจากวิธี Heat Balance ในปัจจุบัน ASHRAE ได้นำเอาวิธี RTS มาใช้แทนวิธี Non-heat-balance ทั้งหมดแล้ว รวมถึงวิธี CLTD/CLF ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยด้วย

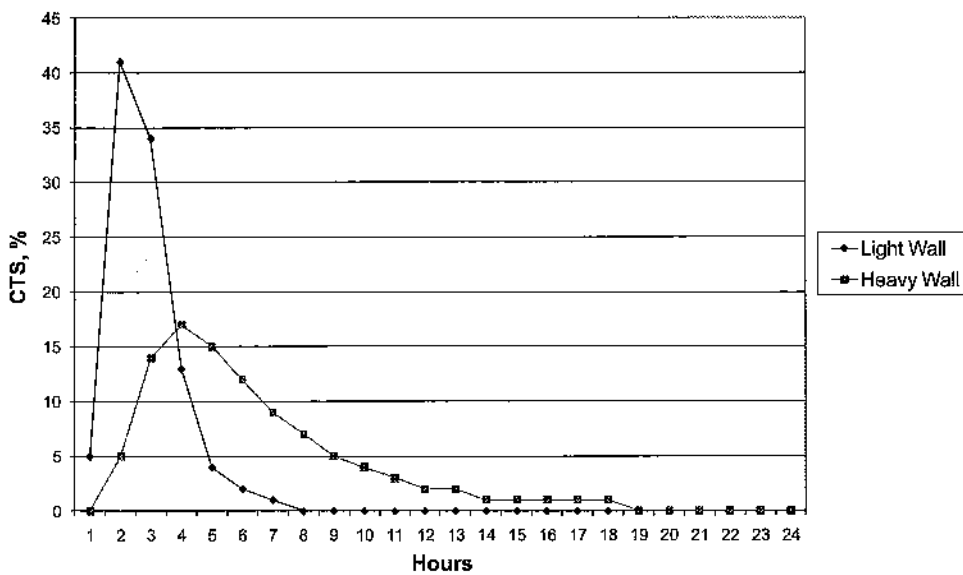
Assumptions และ Principles ที่สำคัญที่สุดของวิธี RTS คือการกำหนดให้ข้อมูลอากาศและข้อมูลอื่น ๆ สำหรับ Design Day ถูกนำมาไปใช้ซ้ำ เหมือน ๆ กันทุกวัน เพื่อสร้างสถานการณ์ที่เราเรียกกันว่า Steady Periodic Conditions ที่มีคาบของเวลาซ้ำเท่ากับ 24 ชั่วโมง ทำให้ค่าภาระความร้อนในแต่ละชั่วโมงของทุก ๆ วัน มีค่าเท่ากัน

Assumption ดังกล่าวเป็นพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของวิธี RTS ในการ Derived ชุดข้อมูลต่าง ๆ ออกมาจากวิธี Heat Balance

จุดเด่นที่สำคัญประการแรกของวิธี RTS คือการดึงเอา Time-delay Effect สองตัวซึ่งโดยปกติฝังรวมอยู่ในกระบวนการ Heat Transfer Process ออกมาให้สามารถเห็นได้อย่างกระจ่างชัด Time-delay Effect สองตัวที่กล่าวถึงนี้คือ

- ก) Time-delay Effect ที่เกิดในช่วงที่ความร้อนถูกส่งผ่านผนังของอาคาร (จากผิวนอก → สู่มิวน) โดยปกติผนังที่หนา ๆ และมีมวลมาก จะชลอการส่งผ่านความร้อนในลักษณะนี้ได้ดี อาทิเช่น กำแพง โปสเตอร์ เป็นต้น วิธี RTS ใช้ค่า Wall Conduction Time Series (CTS) เป็นชุดของตัวเลขที่สะท้อนถึง Time-delay Effect ดังกล่าวสำหรับผนังแต่ละชนิด ตารางที่ 1 ถึง 3 เป็นค่า Wall และ Roof CTS ที่ ASHRAE ได้ Derived เอาไว้ ส่วนรูปที่ 1 เป็นกราฟเปรียบเทียบที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายของค่า Wall CTS ของผนังที่หนาและหนักกับ Wall CTS ของผนังที่บางและเบา
- ข) Time-delay Effect ที่เกิดจากการเปลี่ยน Radiation Heat Gain ให้เป็น Cooling Load (Radiant Cooling Load) การหน่วงเวลาในส่วนนี้เกิดขึ้นเมื่อความร้อนในรูปของ Radiative Heat Gain อาทิเช่น แสงอาทิตย์ เมื่อส่องผ่านกระจกหน้าต่างเข้ามาแล้ว เมื่อตกกระทบพื้น ก็จะทำให้พื้นนั้นร้อนขึ้น เมื่อพื้นร้อนขึ้นแล้วจึงจะส่งผ่านความร้อนไปยังอากาศที่ไหลผ่านพื้น (Convection) เมื่ออากาศที่ร้อนขึ้นดังกล่าวไหลไปยัง Cooling Coil ของเครื่องปรับอากาศ ความร้อนในอากาศดังกล่าวจึงจะกลายเป็น Cooling Load ของเครื่องปรับอากาศในที่สุด วิธี RTS ใช้ค่า Nonsolar RTS และ Solar RTS เป็นตัวสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของ Time-delay Effect ตัวที่สองนี้ ตารางที่ 4 และ 5 เป็นค่า Representative Nonsolar RTS และ Solar RTS ที่ ASHRAE ได้ Derived เอาไว้ รูปที่ 2 เป็นกราฟ

เปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ Room Construction ที่มีต่อค่าของ Solar และ Nonsolar RTS ดังกล่าว

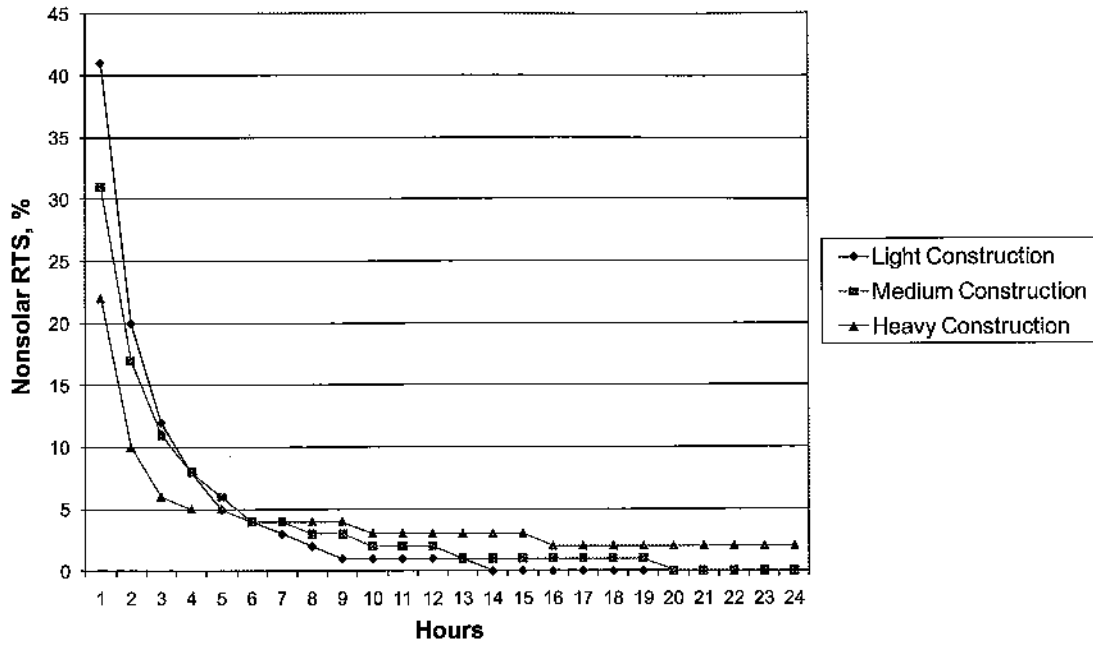


รูปที่ 1: CTS ของผนังบางกับผนังหนา

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างค่า Solar และ Nonsolar RTS คือ ค่า Solar RTS มีไว้ใช้เฉพาะกับแสงที่มีลักษณะเป็น Direct Beam อาทิเช่น Heat Gain ที่เกิดขึ้นจากการที่มีแดดส่องผ่านกระจกหน้าต่างเข้ามาภายในห้อง ค่า Nonsolar RTS มีไว้ใช้ในกรณีทั่วไปที่ Radiative Heat Gain มีลักษณะ Uniform กล่าวคือ แผ่กระจายไปโดยรอบอย่างทั่วถึง และไม่รุนแรงมากนัก อาทิเช่น Heat Gain จาก Diffuse Solar Radiation ที่ผ่านเข้ามาทางหน้าต่าง และ Internal Heat Gain อื่น ๆ ที่เกิดขึ้นภายในห้องทั้งหมด อาทิเช่น Heat Gain จากไฟฟ้าแสงสว่าง คน หรือ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในห้อง เป็นต้น

จุดเด่นที่สำคัญประการที่สองของวิธี RTS คือการ Split ค่า Sensible Heat Gain ออกเป็นสองส่วน คือ ส่วน Convective และส่วน Radiative ส่วน Convective จะเป็นส่วนที่กลายไปเป็น Cooling Load เลยทันทีที่มี Heat Gain เกิดขึ้นภายในห้อง ส่วน Radiative จะเป็นส่วนที่ไม่กลายไปเป็น Cooling Load เลยในทันที แต่จะมี Time-delay Effect เกิดขึ้น Time-delay Effect ในส่วนนี้จะมีค่าเป็นอย่างไร ก็ขึ้นอยู่กับว่าค่าของ Nonsolar และ Solar RTS ของห้องนี้มีลักษณะอย่างไร ตารางที่ 6 เป็นค่า Convective และ Radiative Split ที่ ASHRAE ได้ Derived เอาไว้ให้สำหรับ Heat Gain แต่ละประเภท

เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจละเอียดยิ่งขึ้น ในหัวข้อต่อไป ผู้เขียนจะได้พยายามอธิบายถึงรายละเอียดของการคำนวณภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนโดยละเอียด พร้อมยกตัวอย่างเพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีการคำนวณในแต่ละขั้นตอน โดยในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงหลักการคำนวณภาระความร้อนที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าแสงสว่างก่อน เพื่อให้ผู้อ่านได้มีโอกาสศึกษาและคุ้นเคยกับวิธีการประยุกต์ใช้ค่า Nonsolar RTS ในการแปลง Radiative Heat Gain ให้กลายเป็น Cooling Load (Radiant Cooling Load) การ Operation นี้ต้องใช้ต่อ ๆ ไปในทุกส่วนของวิธี RTS ดังนั้นขอให้ผู้อ่านศึกษาวิธีการแปลงนี้ ในหัวข้อที่ 2 อย่างรอบคอบ

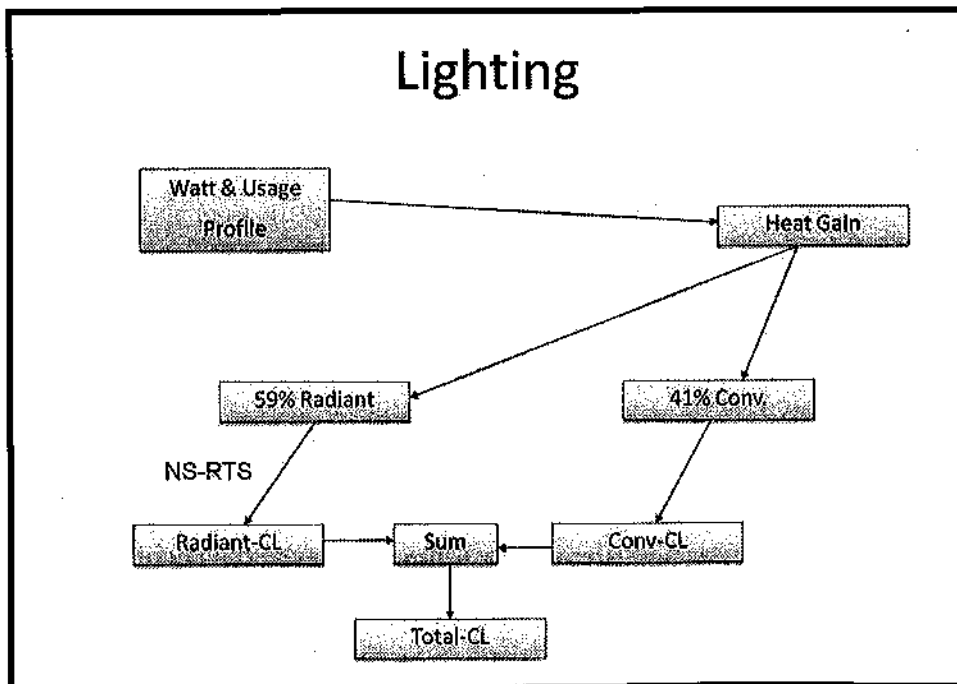


รูปที่ 2: Nonsolar RTS ของ Room Construction แบบต่าง ๆ

2. การคำนวณภาระความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่างด้วยวิธี RTS

ตารางที่ 7 เป็นรายการคำนวณค่า Cooling Load ที่เกิดขึ้นในห้องตลอด 24 ชม.เนื่องจากไฟฟ้าแสงสว่างที่มีค่า Heat Gain เท่ากับ 440.7 Watt เปิดใช้งานตั้งแต่ชั่วโมงที่ 7 จนถึงชั่วโมงที่ 18 รวมเป็นเวลาที่เปิดใช้งานทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง

รูปที่ 3 เป็น Schematic Diagram แสดงภาพรวมของการคำนวณหาภาระความร้อนทั้งหมดเนื่องจาก Lighting Load



รูปที่ 3: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่าง

ตารางที่ 1: Wall Conduction Time Series (CTS)

Wall Number	CURTAIN WALLS			STUD WALLS				EIFS			BRICK WALLS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U-Factor, W/(m <sup>2</sup> .K)	0.428	0.429	0.428	0.419	0.417	0.406	0.413	0.668	0.305	0.524	0.571	0.377	0.283	0.581	0.348	0.628	0.702	0.514	0.581	0.389
Total R	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.4	1.5	3.3	1.9	1.7	2.7	3.5	1.7	2.9	1.6	1.4	1.9	1.7	2.6
Mass, kg/m <sup>2</sup>	31.0	20.9	80.0	25.5	84.6	25.6	66.7	36.6	38.3	130.9	214.1	214.7	215.8	290.6	304.0	371.7	391.5	469.3	892.2	665.1
Thermal Capacity, kJ/(m <sup>2</sup> .K)	30.7	20.4	67.5	24.5	73.6	32.7	61.3	36.7	38.8	120.6	177.8	177.8	177.8	239.1	253.5	320.9	312.7	388.4	784.9	580.5
Hour	Wall Conduction Time Series(CTS)																			
0	18	25	8	19	6	7	5	11	2	1	0	0	0	1	2	2	1	3	4	3
1	58	57	45	59	42	42	41	50	25	2	5	4	1	1	2	2	1	3	4	3
2	20	15	32	18	33	33	34	26	31	6	14	13	7	2	2	2	3	3	4	3
3	4	3	11	3	13	13	13	9	20	9	17	17	12	5	3	4	6	3	4	4
4	0	0	3	1	4	4	4	3	11	9	15	15	13	8	5	5	7	3	4	4
5	0	0	1	0	1	1	2	1	5	9	12	12	13	9	6	6	8	4	4	4
6	0	0	0	0	1	0	1	0	3	8	9	9	11	9	7	6	8	4	4	5
7	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	7	7	9	9	7	7	8	5	4	5
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	5	5	7	8	7	7	8	5	4	5
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	4	6	7	7	6	7	5	4	5
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	3	5	7	6	6	6	5	4	5
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2	4	6	6	6	6	5	5	5
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	3	5	5	5	5	5	5	5
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	2	2	4	5	5	4	5	5	5
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2	2	4	5	5	4	5	5	5
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	3	4	4	3	5	4	4
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1	3	4	4	3	5	4	4
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	2	3	4	3	4	4	4
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	3	3	2	4	4	4
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	2	3	3	2	4	4	4
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	3	2	4	4	4
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	1	4	4	4
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	2	1	4	4	3
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	4	3
Total Percentage	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Layer ID from outside to inside	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01
	F09	F08	F10	F08	F10	F11	F07	F06	F06	F06	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01	M01
	F04	F04	F04	G03	G03	G02	G03	I01	I01	I01	F04	F04	F04	F04	F04	F04	F04	F04	F04	F04
	I02	I02	I02	I04	I04	I04	I04	G03	G03	G03	I01	G03	I01	I01	M03	I01	I01	I01	I01	M15
	F04	F04	F04	G01	G01	G04	G01	F04	I04	M03	G03	I04	G03	M03	I04	M05	M01	M13	M16	I04
	G01	G01	G01	F02	F02	F02	F02	F02	G01	G01	F04	G01	I04	F02	G01	F02	F02	F04	F04	G01
	F02	F02	F02	0	0	0	0	F02	F02	G01	G01	F02	G01	0	F02	F02	0	G01	G01	F02
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F02	F02	0	F02	0	0	0	0	F02	F02	0
Wall Number Descriptions																				
1. Spandrel glass, insulation board, gyp board											11. Brick, insulation board, sheathing, gyp board									
2. Metal wall panel, insulation board, gyp board											12. Brick, sheathing, batt insulation, gyp board									
3. 25 mm stone, insulation board, gyp board											13. Brick, insulation board, sheathing, batt insulation, gyp board									
4. Metal wall panel, sheathing, batt insulation, gyp board											14. Brick, insulation board, 200 mm LW CMU									
5. 25 mm stone, sheathing, batt insulation, gyp board											15. Brick, 200 mm LW CMU, batt insulation, gyp board									
6. Wood siding, sheathing, batt insulation, 13 mm wood											16. Brick, insulation board, 200 mm HW CMU, gyp board									
7. 25 mm stucco, sheathing, batt insulation, gyp board											17. Brick, insulation board, brick									
8. EIFS finish, insulation board, sheathing, gyp board											18. Brick, insulation board, 200 mm LW concrete, gyp board									
9. EIFS finish, insulation board, sheathing, batt insulation, gyp board											19. Brick, insulation board, 300 mm HW concrete, gyp board									
10. EIFS finish, insulation board, sheathing, 200 mm LW CMU, gyp board											20. Brick, 200 mm HW concrete, batt insulation, gyp board									

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005

Heat Gain จาก Lighting ดังกล่าวถูก Split ออกเป็นสอง Component คือ 41% เป็น Convective และ 59% เป็น Radiative ตามข้อกำหนดในตารางที่ 6 (Fluorescent light, recessed, vented to return air)

Convective 41% นี้จะถูกนำไปคิดเป็น Cooling Load ณ เวลาที่ Heat Gain นี้เกิดขึ้นเลยแต่ไม่ใช่สำหรับ Radiative Component

Radiative Component จะต้องถูกนำเอาไป "Operate" ด้วยค่าของ Nonsolar RTS จาก ตารางที่ 4 ก่อน จึงจะกลายเป็น Cooling Load ดังแสดงในตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 7 (Radiant Cooling Load)

ตารางที่ 2: Wall Conduction Time Series (CTS)

Wall Number =	CONCRETE BLOCK WALL						PRECAST AND CAST-IN-PLACE CONCRETE WALLS									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
U-Factor, W/(m <sup>2</sup> .K)	0.383	0.335	0.414	1.056	0.834	0.689	0.673	0.418	0.434	0.65	0.387	0.467	0.434	0.266	3.122	
Total R	2.6	3	2.4	0.9	1.2	1.5	1.5	2.4	2.3	1.5	2.6	2.1	2.3	3.8	0.3	
Mass, kg/m <sup>2</sup>	108.8	108.8	224.3	94.3	107.1	168.9	143.9	144.6	262.5	291.8	274.7	488.1	469.9	698.9	683.2	
Thermal Capacity, kJ/(m <sup>2</sup> .K)	98.1	98.1	204.4	83.8	96.1	151.3	124.7	124.7	220.8	247.3	233	441.5	425.2	631.6	615.2	
Hour	Wall Conduction Time Series(CTS)															
0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	2	1	3	1	2	1	
1	4	1	2	11	3	1	10	8	1	2	2	3	2	2	2	
2	13	5	8	21	12	2	20	18	3	3	3	4	5	3	4	
3	16	9	12	20	16	5	18	18	6	5	6	5	8	3	7	
4	14	11	12	15	15	7	14	14	8	6	7	6	9	5	8	
5	11	10	11	10	12	9	10	11	9	6	8	6	9	5	8	
6	9	9	9	7	10	9	7	8	9	6	8	6	8	6	8	
7	7	8	8	5	8	8	5	6	9	6	7	5	7	6	8	
8	6	7	7	3	6	8	4	4	8	6	7	5	6	6	7	
9	4	6	6	2	4	7	3	3	7	6	6	5	6	6	6	
10	3	5	5	2	3	6	2	2	7	5	6	5	5	6	6	
11	3	4	4	1	3	6	2	2	6	5	5	5	5	5	5	
12	2	4	3	1	2	5	1	2	5	5	5	4	4	5	4	
13	2	3	2	1	2	4	1	1	4	5	4	4	4	5	4	
14	2	3	2	0	1	4	1	1	4	4	4	4	3	4	4	
15	1	3	2	0	1	3	1	1	3	4	3	4	3	4	3	
16	1	2	1	0	1	3	0	1	2	4	3	4	3	4	3	
17	1	2	1	0	1	2	0	0	2	3	3	4	2	4	3	
18	1	2	1	0	0	2	0	0	1	3	2	4	2	4	2	
19	0	1	1	0	0	2	0	0	1	3	2	3	2	3	2	
20	0	1	1	0	0	2	0	0	1	3	2	3	2	3	2	
21	0	1	1	0	0	2	0	0	1	3	2	3	2	3	1	
22	0	1	1	0	0	1	0	0	1	3	2	3	1	3	1	
23	0	1	0	0	0	1	0	0	1	2	2	2	1	3	1	
Total Percentage	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Layer ID from outside to inside	F01 M03 I04 G01 F02 —	F01 M08 I04 G01 F02 —	F01 F07 M05 I04 G01 F02	F01 M08 F02 — — —	F01 M08 F04 G01 F02 —	F01 M09 F04 G01 F02 —	F01 M11 I01 F04 G01 F02 F02	F01 M11 I04 G01 F02 —	F01 M11 I02 M11 G01 F02 —	F01 F06 I01 M13 G01 G01 F02	F01 M13 I04 M15 G01 F02 —	F01 F06 I02 M15 G01 G01 F02	F01 M15 I04 G01 F02 —	F01 M16 I05 G01 F02 —	F01 M16 I05 G01 F02 —	
Wall Number Descriptions																
21. 200 mm LW CMU, batt insulation, gyp board						29. 100 mm LW concrete, board insulation, 100 mm LW concrete										
22. 200 mm LW CMU with fill insulation, batt insulation, gyp board						30. EIFS finish, insulation board, 200 mm LW concrete, gyp board										
23. 25 mm stucco, 200 mm HW CMU, batt insulation, gyp board						31. 200 mm LW concrete, batt insulation, gyp board										
24. 200 mm LW CMU with fill insulation						32. EIFS finish, insulation board, 200 mm HW concrete, gyp board										
25. 200 mm LW CMU with fill insulation, gyp board						33. 200 mm HW concrete, batt insulation, gyp board										
26. 300 mm LW CMU with fill insulation, gyp board						34. 300 mm HW concrete, batt insulation, gyp board										
27. 100 mm LW concrete, board insulation, gyp board						35. 300 mm HW concrete										
28. 100 mm LW concrete, batt insulation, gyp board																

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005

ตารางที่ 3: Roof Conduction Time Series (CTS)

Roof Number	SLOPED FRAME ROOFS						WOOD DECK		METAL DECK ROOFS					CONCRETE ROOFS					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
U-Factor, W/(m <sup>2</sup> .K)	0.249	0.227	0.255	0.235	0.239	0.231	0.393	0.329	0.452	0.370	0.323	0.206	0.297	0.304	0.296	0.288	0.315	0.313	0.239
Total R	4.0	4.4	3.9	4.2	4.2	4.3	2.5	3.0	2.2	2.7	3.1	4.9	3.4	3.3	3.4	3.5	3.2	3.2	4.2
Mass, kg/m <sup>2</sup>	26.7	21.0	14.0	34.7	55.5	34.9	48.9	55.9	23.9	30.9	25.0	27.2	57.6	149.2	214.3	279.3	360.7	474.5	362.3
Thermal Capacity, kJ/(m <sup>2</sup> .K)	26.6	16.4	12.3	47.0	73.5	47.0	75.6	79.7	28.6	32.7	28.6	32.7	57.2	134.9	190.1	245.2	333.2	437.4	331.1
Hour	Roof Conduction Time Series(CTS)																		
0	6	10	27	1	1	1	0	1	18	4	8	1	0	1	2	2	2	3	1
1	45	57	62	17	17	12	7	3	61	41	53	23	10	2	2	2	2	3	2
2	33	27	10	31	34	25	18	8	18	35	30	38	22	8	3	3	5	3	6
3	11	5	1	24	25	22	18	10	3	14	7	22	20	11	6	4	6	5	8
4	3	1	0	14	13	15	15	10	0	4	2	10	14	11	7	5	7	6	8
5	1	0	0	7	6	10	11	9	0	1	0	4	10	10	8	6	7	6	8
6	1	0	0	4	3	6	8	8	0	1	0	2	7	9	8	6	6	6	7
7	0	0	0	2	1	4	6	7	0	0	0	0	5	7	7	6	6	6	7
8	0	0	0	0	0	2	5	6	0	0	0	0	4	6	7	6	6	6	6
9	0	0	0	0	0	1	3	5	0	0	0	0	3	5	6	6	5	5	5
10	0	0	0	0	0	1	3	5	0	0	0	0	2	5	5	6	5	5	5
11	0	0	0	0	0	1	2	4	0	0	0	0	1	4	5	5	5	5	5
12	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1	3	5	5	4	5	4
13	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	1	3	4	5	4	4	4
14	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	3	4	4	4	4	3
15	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	3	4	4	4	3
16	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3	4	3	4	3
17	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3	4	3	4	3
18	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	3	3	3	3	2
19	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	2
20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	2
21	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	2
22	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	3	2	2	2
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2
Layer ID from outside to inside	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01	F01
	F08	F08	F08	F12	F14	F15	F13	F13	F13	F13	F13	F13	M17	F13	F13	F13	F13	F13	F13
	G03	G03	G03	G05	G05	G05	G03	G03	G03	G03	G03	G03	F13	G03	G03	G03	G03	G03	M14
	F05	F05	F05	F05	F05	F05	I02	I02	I02	I02	I03	I02	G03	I03	I03	I03	I03	I03	F05
	I05	I05	I05	I05	I05	I05	G06	G06	F08	F08	F08	I03	I03	M11	M12	M13	M14	M15	I05
	G01	F05	F03	F05	F05	F05	F03	F05	F05	F03	F08	F08	F08	F03	F03	F03	F03	F03	F16
	F03	F16	—	G01	G01	G01	—	F16	—	F16	—	—	F03	—	—	—	—	—	F03
	—	F03	—	F03	F03	F03	—	F03	—	F03	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Roof Number Descriptions																			
1. Metal roof, batt insulation, gyp board										11. Membrane, sheathing, insulation board, metal deck									
2. Metal roof, batt insulation, suspended acoustical ceiling										12. Membrane, sheathing, plus insulation boards, metal deck									
3. Metal roof, batt insulation										13. 50 mm concrete roof ballast, membrane, sheathing, insulation board, metal deck									
4. Asphalt shingles, wood sheathing, batt insulation, gyp board										14. Membrane, sheathing, insulation board, 100 mm LW concrete									
5. Slate or tile, wood sheathing, batt insulation, gyp board										15. Membrane, sheathing, insulation board, 150 mm LW concrete									
6. Wood shingles, wood sheathing, batt insulation, gyp board										16. Membrane, sheathing, insulation board, 200 mm LW concrete									
7. Membrane, sheathing, insulation board, wood deck										17. Membrane, sheathing, insulation board, 150 mm HW concrete									
8. Membrane, sheathing, insulation board, wood deck, suspended acoustical ceiling										18. Membrane, sheathing, insulation board, 200 mm HW concrete									
9. Membrane, sheathing, insulation board, metal deck										19. Membrane, 150 mm HW concrete, batt insulation, suspended acoustical ceiling									
10. Membrane, sheathing, insulation board, metal deck, suspended acoustical ceiling																			

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005

การ “Operate” ดังกล่าวซับซ้อนเล็กน้อย กล่าวคือ ต้องนำเอาอิทธิพลของ Radiative Part (260 Watt) ที่ถูกแปลงไปเป็น Cooling Load แล้วในแต่ละรายชั่วโมงมารวมกัน

ตารางที่ 8 แสดงรายละเอียดของขั้นตอนในการ “Operate” ดังกล่าวข้างต้น คอลัมน์ที่ 4 แสดงถึง Effect ของ Radiant Heat Gain 260 Watt ที่กระจายตัวออกเป็น Cooling Load ในชั่วโมงนั้นและในอีก 23 ชั่วโมงถัดไป (นับตั้งแต่ชั่วโมงที่ 7 ของวันที่ 1) ค่าใน คอลัมน์ที่ 4 ได้มาจากการเอา 260 Watt ไปคูณกันกับค่า Nonsolar RTS ของ Zone Type 8 (สมมุติว่าห้องของเราเป็น Zone Type นี้) ดังต่อไปนี้

จำนวนชั่วโมงหลังจากชั่วโมง ที่ 7 ของวันที่ 1	Cooling Load ของ Heat Gain 260 Watt ที่ เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงหลังจากชั่วโมงที่ 7 ของวันที่ 1
0	$260 \times 0.49 = 127.4 \text{ Watt}$
1	$260 \times 0.17 = 44.2 \text{ Watt}$
2	$260 \times 0.09 = 23.4 \text{ Watt}$
3	$260 \times 0.05 = 13.0 \text{ Watt}$
4	$260 \times 0.03 = 7.8 \text{ Watt}$
5	$260 \times 0.02 = 5.2 \text{ Watt}$
6	$260 \times 0.02 = 5.2 \text{ Watt}$
7	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
8	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
9	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
10	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
11	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
12	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
13	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
14	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
15	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
16	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
17	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
18	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
19	$260 \times 0.01 = 2.6 \text{ Watt}$
20	$260 \times 0.00 = 0.0 \text{ Watt}$
21	$260 \times 0.00 = 0.0 \text{ Watt}$
22	$260 \times 0.00 = 0.0 \text{ Watt}$
23	$260 \times 0.00 = 0.0 \text{ Watt}$

Radiant Heat Gain ของชั่วโมงที่ 8 ถึงชั่วโมงที่ 17 ก็จะถูกสมมุติว่า มีพฤติกรรมแบบเดียวกัน เพียงแต่เริ่มต้นที่ชั่วโมงต่างกัน คอลัมน์ที่ 16 ในตารางที่ 8 เป็น Summation จาก Effect ทั้งหมดซึ่งก็คือ Cooling Load จาก Radiant Heat Gain ของ Lighting Load นั้นเอง

เนื่องจากการ Operation ดังกล่าวใช้บ่อยมากในตอนถัด ๆ ไป ผู้เขียนจึงขออนุญาตกำหนดสัญลักษณ์พิเศษไว้ดังนี้คือ

ถ้า  $q_r$  = Radiant Cooling Load

NS-RTS = Nonsolar RTS Value

และ  $q_g$  = Heat Gain ในส่วนที่เป็น Radiant Part เนื่องจากไฟแสงสว่าง ดังนั้น

$$q_r = \{q_g\} * \{NS-RTS\} \quad (1)$$

โดยเครื่องหมาย { } \* { } จะหมายถึงการ Operation ในลักษณะของการ Sum Effect ดังแสดงในตารางที่ 8

หลังจากที่ได้ค่า Radiant Cooling Load เนื่องจาก Lighting แล้ว (คอลัมน์ที่ 7 ตารางที่ 7) ก็ให้นำเอาค่าดังกล่าวไปบวกกับ Convective Heat Gain จาก Lighting (คอลัมน์ที่ 4 ตารางที่ 7) เพื่อสรุปรวมเป็นผลลัพธ์ของ Lighting Cooling Load (คอลัมน์ที่ 8 ตารางที่ 7) ต่อไป

รูปที่ 4 เป็นการ Plot เปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นถึง Time-delay Effect ของ Nonsolar RTS ที่มีต่อ Cooling Load จากกราฟจะสังเกตเห็นการดุดคลื่นในระยะชั่วโมงแรก ๆ และการคายความร้อนออกมาภายหลัง ถึงแม้ว่าดวงไฟจะดับไปแล้วก็ตาม

ตารางที่ 4: Nonsolar RTS Values

% Glass	Light						Medium						Heavy						Interior Zones					
	With Carpet			No Carpet			With Carpet			No Carpet			With Carpet			No Carpet			Light		Medium		Heavy	
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	With Carpet	No Carpet	With Carpet	No Carpet	With Carpet	No Carpet
Zone Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Hour	Radiant Time Factor, %																							
0	47	50	53	41	43	46	46	49	52	31	33	35	34	38	42	22	25	28	46	40	46	31	33	21
1	19	18	17	20	19	19	18	17	16	17	16	15	9	9	9	10	9	9	19	20	18	17	9	9
2	11	10	9	12	11	11	10	9	8	11	10	10	6	6	5	6	6	6	11	12	10	11	6	6
3	6	6	5	8	7	7	6	5	5	8	7	7	4	4	4	5	5	5	6	8	6	8	5	5
4	4	4	3	5	5	5	4	3	3	6	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5	3	6	4	5
5	3	3	2	4	3	3	2	2	2	4	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	2	4	4	4
6	2	2	2	3	3	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3	4	4	4	2	3	2	4	3	4
7	2	1	1	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	4	2	2	1	3	3	4
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	2	3	3	3	4	3	3	1	1	1	3	3	4
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3	1	1	1	2	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	3	3	3	1	1	1	2	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	3
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	2	3
13	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	2	1	1	1	1	2	3
14	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	1	0	1	1	2	3
15	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0	0	1	1	2	3
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0	0	1	1	2	3
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	0	0	1	1	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	0	0	1	1	2	2
19	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	2	1	2	2	2	0	0	1	0	2	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	2	2	2	0	0	0	0	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1	1	2	2	2	0	0	0	0	2	2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0	1	2
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	1	0	0	0	0	1	2
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005



ตารางที่ 5: Solar RTS Values

% Glass	Light						Medium						Heavy					
	With Carpet			No Carpet			With Carpet			No Carpet			With Carpet			No Carpet		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%	10%	50%	90%
Zone Type	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Hour	Radiant Time Factor, %																	
0	53	55	56	44	45	46	52	54	55	28	29	29	47	49	51	26	27	28
1	17	17	17	19	20	20	16	16	15	15	15	15	11	12	12	12	13	13
2	9	9	9	11	11	11	8	8	8	10	10	10	6	6	6	7	7	7
3	5	5	5	7	7	7	5	4	4	7	7	7	4	4	3	5	5	5
4	3	3	3	5	5	5	3	3	3	6	6	6	3	3	3	4	4	4
5	2	2	2	3	3	3	2	2	2	5	5	5	2	2	2	4	4	4
6	2	2	2	3	2	2	2	1	1	4	4	4	2	2	2	3	3	3
7	1	1	1	2	2	2	1	1	1	4	3	3	2	2	2	3	3	3
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	3	3	3
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	3	3	2
12	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
13	1	1	0	1	0	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2
14	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
15	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
16	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
17	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
18	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	1
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

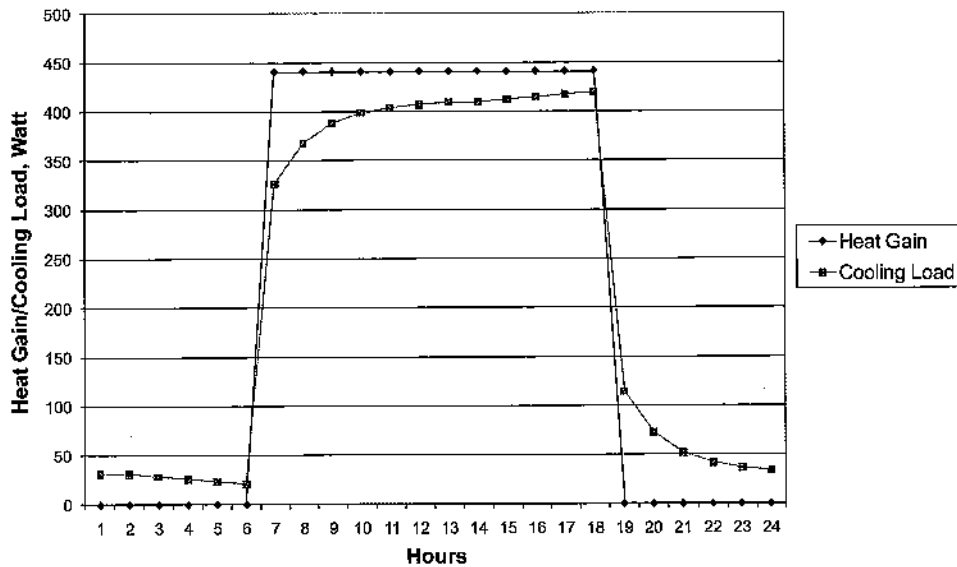
ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005

ตารางที่ 6: Convective and Radiant Percentages of Total Sensible Heat Gain

Heat Gain Source	Radiant Heat, %	Convective Heat, %
Transmitted solar, no inside shade	100	0
Window solar, with inside shade	63	37
Absorbed (by fenestration) solar	63	37
Fluorescent lights, suspended, unvented	67	33
recessed, vented to return air	59	41
recessed, vented to return air and supply air	19	81
Incandescent lights	80	20
People	See Table 14	
Conduction, exterior walls	63	37
exterior roofs	84	16
Infiltration and ventilation	0	100
Machinery and appliances	20 to 80	80 to 20

Sources: Pedersen et al. (1998), Hosni et al. (1999).

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005



รูปที่ 4: Time-delay Effect ของ Cooling Load จากไฟฟ้าแสงสว่าง

เพื่อเป็นการสาธิตรายการคำนวณในตารางที่ 7 ให้ชัดเจน รายละเอียดการคำนวณ และที่มาของข้อมูลในเวลา 15.00 น. มีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 2 Usage Profile

Usage Profile = 100% (เป็นค่าที่กำหนดให้)

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 3 Total Heat Gain

Total Heat Gain = 440.7 Watt (เป็นค่าที่กำหนดให้)

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 4 Convective Heat Gain (Convective Split)

Convective Heat Gain (41%) =  $0.41 \times 440.7 = 180.7$  Watt  
= Convective Cooling Load

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 5 Radiant Heat Gain (Radiant Split)

Radiant Heat Gain (59%) =  $0.59 \times 440.7 = 260.0$  Watt

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 6 Nonsolar RTS Values for Zone Type 8

Nonsolar RTS Values for Zone Type 8 (Medium Construction, With Carpet, 50% Glass)  
(ตารางที่ 4 คอลัมน์ที่ 9)

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 7 Radiant Cooling Load

Radiant Cooling Load = {Radiant Heat Gain} \* {Nonsolar RTS for Zone Type 8}  
= 231.4 Watt at 15:00 Hr

ตารางที่ 7 คอลัมน์ที่ 8 Total Cooling Load from Lighting

Total Cooling Load = Radiant Cooling Load + Convective Cooling Load  
= Radiant Cooling Load + Convective Heat Gain  
=  $231.4 + 180.7$  Watt  
= 412.1 Watt at 15:00 Hr

ตารางที่ 7: Cooling Load Component of Lighting

Hour	Usage Profile %	Heat Gain, Watt			Nonsolar RTS Zone Type 8 %	Radiant Cooling Load Watt	Total Cooling Load Watt
		Total 100%	Convective 41%	Radiant 59%			
1	0	0	0	0	49	31.2	31.2
2	0	0	0	0	17	31.2	31.2
3	0	0	0	0	9	28.6	28.6
4	0	0	0	0	5	26	26
5	0	0	0	0	3	23.4	23.4
6	0	0	0	0	2	20.8	20.8
7	100	440.7	180.7	260	2	145.6	326.3
8	100	440.7	180.7	260	1	187.2	367.9
9	100	440.7	180.7	260	1	208	388.7
10	100	440.7	180.7	260	1	218.4	399.1
11	100	440.7	180.7	260	1	223.6	404.3
12	100	440.7	180.7	260	1	226.2	406.9
13	100	440.7	180.7	260	1	228.8	409.5
14	100	440.7	180.7	260	1	228.8	409.5
15	100	440.7	180.7	260	1	231.4	412.1
16	100	440.7	180.7	260	1	234	414.7
17	100	440.7	180.7	260	1	236.6	417.3
18	100	440.7	180.7	260	1	239.2	419.9
19	0	0	0	0	1	114.4	114.4
20	0	0	0	0	1	72.8	72.8
21	0	0	0	0	0	52	52
22	0	0	0	0	0	41.6	41.6
23	0	0	0	0	0	36.4	36.4
24	0	0	0	0	0	33.8	33.8
Column Number							
1	2	3	4	5	6	7	8

3. การคำนวณภาระความร้อนจากผนังด้วยวิธี RTS

การคำนวณภาระความร้อนผ่านผนังจะยุ่งยากกว่าการคำนวณสำหรับ Lighting มาก Schematic Diagram แสดงภาพรวมของการคำนวณดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่ 5

การคำนวณเริ่มจากการหาค่า Sol-air Temperature ( $t_o$ ) จากสมการ

$$t_e = t_o + \alpha E_t / h_o - \varepsilon \Delta R / h_o \tag{2}$$

โดยที่

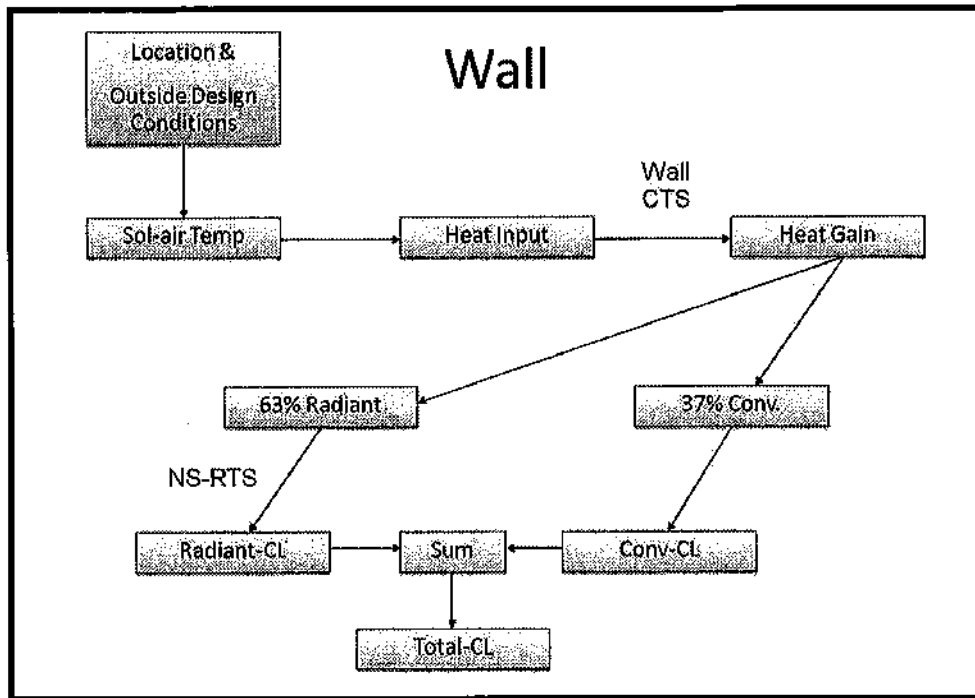
$t_e$  = Outdoor air temperature, °C

$\alpha$  = Absorptance of surface for solar radiation

$E_t$  = Total Solar radiation incident on surface, W/ (m<sup>2</sup>·K)

ตารางที่ 8: รายละเอียดวิธีการคำนวณ Radiant Cooling Load

		Column Number													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Day	Hour	Radiant Heat Gain 59% (Watt)	Effect from HR = 7 (Watt)	Effect from HR = 8 (Watt)	Effect from HR = 9 (Watt)	Effect from HR = 10 (Watt)	Effect from HR = 11 (Watt)	Effect from HR = 12 (Watt)	Effect from HR = 13 (Watt)	Effect from HR = 14 (Watt)	Effect from HR = 15 (Watt)	Effect from HR = 16 (Watt)	Effect from HR = 17 (Watt)	Effect from HR = 18 (Watt)	Radiant Cooling Load (Watt)
1	1	0													
1	2	0													
1	3	0													
1	4	0													
1	5	0													
1	6	0													
1	7	260	127.4												
1	8	260	44.2	127.4											
1	9	260	23.4	44.2	127.4										
1	10	260	13.0	23.4	44.2	127.4									
1	11	260	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4								
1	12	260	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4							
1	13	260	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4						
1	14	260	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4					
1	15	260	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4				
1	16	260	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4			
1	17	260	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4		
1	18	260	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	239.2
1	19	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	114.4
1	20	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	72.8
1	21	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	52.0
1	22	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	41.6
1	23	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	36.4
1	24	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	33.8
2	1	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	31.2
2	2	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	31.2
2	3	0	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	28.6
2	4	0	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	26.0
2	5	0	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	23.4
2	6	0	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	20.8
2	7	260	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	145.6
2	8	260	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	187.2
2	9	260	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	208.0
2	10	260	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	218.4
2	11	260	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	223.6
2	12	260	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	226.2
2	13	260	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	228.8
2	14	260	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	228.8
2	15	260	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	231.4
2	16	260	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	234.0
2	17	260	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	236.6
2	18	260	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	239.2
2	19	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	114.4
2	20	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	72.8
2	21	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	52.0
2	22	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	41.6
2	23	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	36.4
2	24	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	33.8
3	1	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	31.2
3	2	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	31.2
3	3	0	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	28.6
3	4	0	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	26.0
3	5	0	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	23.4
3	6	0	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	20.8
3	7	260	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	145.6
3	8	260	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	187.2
3	9	260	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	208.0
3	10	260	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	2.6	218.4
3	11	260	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	2.6	223.6
3	12	260	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	2.6	226.2
3	13	260	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	2.6	228.8
3	14	260	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	-	228.8
3	15	260	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	-	231.4
3	16	260	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	-	234.0
3	17	260	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	-	236.6
3	18	260	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	127.4	239.2
3	19	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	44.2	114.4
3	20	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	23.4	72.8
3	21	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	13.0	52.0
3	22	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	7.8	41.6
3	23	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	5.2	36.4
3	24	0	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	5.2	33.8



รูปที่ 5: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากผนัง

- $h_o$  = Coefficient of heat transfer by long-wave radiation and convection at outer surface,  $W/(m^2 \cdot K)$
- $\epsilon$  = Hemispherical emittance of surface
- $\Delta R$  = Difference between long-wave radiation incident on surface from sky and surrounding and radiation emitted by blackbody at outdoor air temperature,  $W/m^2$

สำหรับ Horizontal Surface ค่า  $\Delta R$  จะอยู่ที่ประมาณ  $63 W/m^2$  ถ้าค่า  $\epsilon = 1$  และ  $h_o = 17 W/(m^2 \cdot K)$  ค่า Long-wave Correction Term ( $\epsilon \Delta R/h_o$ ) จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 4 K (Bliss 1961)

สำหรับ Vertical Surface โดยทั่วไปค่า ( $\epsilon \Delta R$ ) มักจะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในกรณีทั่ว ๆ ไป เรามักจะกำหนดให้ค่า  $\epsilon \Delta R = 0$  สำหรับ Vertical Surface

ค่า  $\alpha/h_o$  จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.052 ในกรณีที่พื้นผิวมีสีทึบ ค่า  $\alpha/h_o$  อาจมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.026 ได้ สำหรับผิวพื้นที่มีสีอ่อน อย่างไรก็ตาม อย่งไรก็ตามค่า  $\alpha/h_o$  ที่แนะนำให้ใช้ คือ 0.052 เนื่องจากผนังที่มีสีอ่อนมักจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพไปเมื่อเวลาผ่านไป

ค่า Sol-air temperature นี้ ถ้าแปลอย่างง่าย ๆ คือค่าสมมุติของอุณหภูมิภายนอกของผนังที่ไม่โดนแดดส่อง แต่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังภายนอกเข้าสู่กำแพงในอัตราเดียวกันกับเมื่อผนังถูกแดดส่อง แต่มีอุณหภูมิภายนอกตามปกติ ดังนั้นถ้า  $q_i$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนจากผิวผนังด้านนอกเข้าสู่กำแพงและเข้าสู่ห้องปรับอากาศตามลำดับ เราเรียก  $q_i$  นี้ว่า Heat Input ของผนัง และสามารถคำนวณหาค่าของ  $q_i$  ได้จาก

$$q_i = U \times A \times (t_e - t_{in}) \tag{3}$$

- โดยที่  $U$  = Overall heat transfer coefficient for the surface,  $W/(m^2 \cdot K)$
- $A$  = Surface area,  $m^2$
- $t_{rc}$  = Presumed constant room air temperature,  $^{\circ}C$

การคำนวณหาค่า  $q_i$  ที่เวลาใด ๆ นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย ๆ เนื่องจากการคำนวณหาค่า  $t_c$  นั้น จะต้องทำการคำนวณหา Solar Angles และ Total Solar Irradiance ( $E_t$ ) ก่อน รายละเอียดของสูตรต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณทั้งหมดสรุปอยู่ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9: Solar Equations

<p><b>Solar Angles</b> All angles are in degrees. The solar azimuth <math>\phi</math> and the surface azimuth <math>\psi</math> are measured in degrees from south; angles to the east of south are negative, and angles to the west of south are positive. Calculate solar altitude, azimuth, and surface incident angles as follows: Apparent solar time AST, in decimal hours: <math>AST = LST + ET/60 + (LSM - LON)/15</math> Hour angle <math>H</math>, degrees: <math>H = 15(\text{hours of time from local solar noon}) = 15(AST - 12)</math> Solar altitude <math>\beta</math>: <math>\sin \beta = \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta</math> Solar azimuth <math>\phi</math>: <math>\cos \phi = (\sin \beta \sin L - \sin \delta) / (\cos \beta \cos L)</math> Surface-solar azimuth <math>\gamma</math>: <math>\gamma = \phi - \psi</math> Incident angle <math>\theta</math>: <math>\cos \theta = \cos \beta \cos \gamma \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma</math> <i>where</i> <math>ET</math> = equation of time, decimal minutes <math>L</math> = latitude <math>LON</math> = local longitude, decimal degrees of arc <math>LSM</math> = local standard time meridian, decimal degrees of arc = <math>60^{\circ}</math> for Atlantic Standard Time = <math>75^{\circ}</math> for Eastern Standard Time = <math>90^{\circ}</math> for Central Standard Time = <math>105^{\circ}</math> for Mountain Standard Time = <math>120^{\circ}</math> for Pacific Standard Time = <math>135^{\circ}</math> for Alaska Standard Time = <math>150^{\circ}</math> for Hawaii-Aleutian Standard Time <math>LST</math> = local standard time, decimal hours <math>\delta</math> = solar declination, <math>^{\circ}</math> <math>\psi</math> = surface azimuth, <math>^{\circ}</math> <math>\Sigma</math> = surface tilt from horizontal, horizontal = <math>0^{\circ}</math> Values of <math>ET</math> and <math>\delta</math> are given in Table 7 of Chapter 31 for the 21st day of each month.</p>	<p><b>Direct, Diffuse, and Total Solar Irradiance</b> Direct normal irradiance <math>E_{DN}</math> If <math>\beta &gt; 0</math> <math>E_{DN} = \left[ \frac{A}{\exp(B/\sin \beta)} \right] CN</math> Otherwise, <math>E_{DN} = 0</math> Surface direct irradiance <math>E_D</math> If <math>\cos \theta &gt; 0</math> <math>E_D = E_{DN} \cos \theta</math> Otherwise, <math>E_D = 0</math> Ratio <math>Y</math> of sky diffuse on vertical surface to sky diffuse on horizontal surface If <math>\cos \theta &gt; -0.2</math> <math>Y = 0.55 + 0.437 \cos \theta + 0.313 \cos^2 \theta</math> Otherwise, <math>Y = 0.45</math> Diffuse irradiance <math>E_d</math> Vertical surfaces <math>E_d = CYE_{DN}</math> Surfaces other than vertical <math>E_d = CE_{DN}(1 + \cos \Sigma)/2</math> Ground-reflected irradiance <math>E_r = E_{DN}(C + \sin \beta)\rho_g(1 - \cos \Sigma)/2</math> Total surface irradiance <math>E_t = E_D + E_d + E_r</math> <i>where</i> <math>A</math> = apparent solar constant <math>B</math> = atmospheric extinction coefficient <math>C</math> = sky diffuse factor <math>CN</math> = clearness number multiplier for clear/dry or hazy/humid locations. See Figure 5 in Chapter 33 of the 2003 ASHRAE Handbook—HVAC Applications for <math>CN</math> values. <math>E_d</math> = diffuse sky irradiance <math>E_r</math> = diffuse ground-reflected irradiance <math>\rho_g</math> = ground reflectivity Values of <math>A</math>, <math>B</math>, and <math>C</math> are given in Table 7 of Chapter 31 for the 21st day of each month. Values of ground reflectivity <math>\rho_g</math> are given in Table 10 of Chapter 31.</p>
--	---

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005

Heat Input  $q_i$  ดังกล่าว จะถ่ายเทเข้าไปยังห้องที่ปรับอากาศกลายเป็น Heat Gain ของห้อง Heat Gain ดังกล่าวมิได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันกับ Heat Input แต่มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้น การหาค่า Room Heat Gain ดังกล่าวจะต้องนำเอาค่า Wall CTS ดังแสดงค่าอยู่ในตารางที่ 1 มาทำการ "Operate" กับ Heat Input ( $q_i$ ) ตามวิธีการที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อที่ผ่านมา หากเราจะเขียนเป็นสูตรง่าย ๆ อย่างที่ได้ตกลงกันไว้ เราก็อาจเขียนได้เป็นว่า

$$Heat\ Gain = \{q_i\} * \{Wall\ CTS\} \tag{4}$$

ค่าของ Heat Gain ในแต่ละรายชั่วโมงนี้ 37% จะถูกกำหนดให้เป็น Convective Heat Gain (ตามตารางที่ 6) ซึ่งจะกลายเป็น Cooling Load ในทันที ในขณะที่ 63% จะถูกกำหนดให้เป็น Radiant Heat Gain ซึ่งจะต้องถูกแปลงให้กลายเป็น Radiant Cooling Load เสียก่อน จึงจะสามารถนำเอาไปรวมกับ Convective Cooling Load เกิดเป็น Total Cooling Load ของผนังได้ ค่าของ Radiant Cooling Load นี้เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{Radiant Cooling Load} = \{63\% \text{ Heat Gain}\} * \{\text{Nonsolar-RTS}\} \quad (5)$$

อย่าลืมว่าสาเหตุที่เราใช้ค่า Nonsolar RTS มาเป็นตัวกระจายภาระช่วงเวลาสำหรับความร้อนในกรณีนี้ก็คือ เพราะลักษณะการกระจายตัวจะเป็นแบบค่อนข้าง Uniform และแผ่กระจายทั่ว ๆ ไปเป็นวงกว้าง

เพื่อเป็นการสาธิตตัวอย่างการคำนวณ เราจะสมมุติว่าเรามีความประสงค์ที่จะคำนวณหาภาระความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านตะวันตกของอาคารแห่งหนึ่งเป็นเวลา 15.00 น. ของวันที่ 21 เมษายน (Design Day) โดยผนังดังกล่าวเป็นผนัง EIFS มีค่า CTS อยู่ใน Group ของ Wall Number 4 ในตารางที่ 1 ผนังดังกล่าวมีพื้นที่ = 16 ตรม.

กำหนดให้ห้องดังกล่าวตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร (Latitude = 13.73, Longitude = 100.57E) ค่า Clearness Number (CN) กำหนดให้เป็น 1.0 และค่า Ground Reflectivity  $\rho_g = 0.2$

ค่า Cooling Design Dry Bulb Temperature ที่ 0.4% Design Condition อยู่ที่ 35.7 °C และค่า Monthly Mean Daily Temperature Range ของเดือนเมษายนอยู่ที่ 7.1 °C ห้องที่ปรับอากาศมีอุณหภูมิภายในอยู่ที่ 24 °C

รายการคำนวณค่า Sol-air Temperature, Heat Input, Heat Gain, Radiant Cooling Load และ Total Cooling Load ของผนังดังกล่าวแสดงอยู่ใน ตารางที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

รายละเอียดแสดงการคำนวณที่เวลา Local Standard Time (LST) = 15.00 น. มีดังต่อไปนี้คือ ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 2 Apparent Solar Time

$$\begin{aligned} AST &= LST + ET/60 + (LSM-LON)/15 \\ &= 15 + (1.1/60) + (-105 - (-100.57))/15 \\ &= 14.72 \end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 3 Hour Angle

$$\begin{aligned} H &= 15 (AST-12) \\ &= 15 (14.72-12) \\ &= 40.8^\circ \end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 4 Solar Altitude

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \cos L \cos \delta \cos H + \sin L \sin \delta \\ &= \cos (13.73) \cos (11.6) \cos (40.8) + \sin (13.73) \sin (11.6) \\ &= 0.7676 \\ \beta &= \sin^{-1}(0.7676) = 50.1^\circ \end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 5 Solar Azimuth

$$\begin{aligned}\cos \phi &= (\sin \beta \sin L - \sin \delta) / (\cos \beta \cos L) \\ &= [(\sin (50.1) \sin (14.723) - \sin (11.6))] / [\cos (50.1) \cos (14.723)] \\ &= -0.0303468\end{aligned}$$

$$\phi = \cos^{-1}(-0.0303468) = 91.7^\circ$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 6 Direct Normal Irradiance

$$\begin{aligned}E_{DN} &= [A / \exp(B / \sin \beta)] CN \\ &= \{1130 / \exp[0.164 / \sin (50.1)]\} \times (1.0)\end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 7 Surface Incident Angle

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \cos \beta \cos \gamma \sin \Sigma + \sin \beta \cos \Sigma \\ &= \cos (50.1) \cos (1.74) \sin (90) + \sin (50.1) \cos (90) \\ &= 0.64066\end{aligned}$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.64066) = 50.2^\circ$$

โดยที่  $\gamma$  = Surface Solar Azimuth

$$\begin{aligned}&= \phi - \psi \\ &= 91.74 - 90 \\ &= 1.74^\circ\end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 8 Surface Direct Irradiance

$$\begin{aligned}E_D &= E_{DN} \cos \theta \\ &= (912.6155) \cos (50.2) \\ &= 584.6733 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 9 Ground Reflected Irradiance

$$\begin{aligned}E_r &= E_{DN} (C + \sin \beta) \rho_g (1 - \cos \Sigma) / 2 \\ &= (912.6155) [0.12 + \sin (50.1)] (0.2) [1 - \cos (90)] / 2 \\ &= 81 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 10 Ratio Y

$$\begin{aligned}Y &= 0.55 + 0.437 \cos \theta + 0.313 \cos^2 \theta \\ &= 0.55 + 0.437 \cos (50.2) + 0.313 \cos^2 (50.2) \\ &= 0.9584351\end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 11 Diffuse Irradiance (Vertical Surfaces)

$$\begin{aligned}E_d &= CYE_{DN} \\ &= (0.12)(0.9584351)(912.6155) \\ &= 104.9619 \text{ W/m}^2\end{aligned}$$



ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 12 Total Surface Diffuse Irradiance

$$\begin{aligned} E_t &= E_d + E_r \\ &= 104.9619 + 81.00201 \\ &= 185.964 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

ตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 13 Total Surface Irradiance

$$\begin{aligned} E_t &= E_D + E_d + E_r \\ &= 584.6733 + 104.9619 + 81.00201 \\ &= 770.6372 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 3 Outside Air Temperature

$$\begin{aligned} t_o &= (\text{Design DB}) - f \times (\text{Design Daily Range}) \\ &= 36.7 - 0.0 \times 7.1 \\ &= 36.7 \text{ }^\circ\text{C at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ค่า f (Fraction of Daily Temperature Range) หาได้จากตารางที่ 2 บทที่ 28 Climatic Design

Information ใน ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamental ปี 2005

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 4 Sol-air Temperature

$$\begin{aligned} t_e &= t_o + \alpha E_t / h_o - \varepsilon \Delta R / h_o \\ &= 36.7 + (0.052) (770) - 0 \\ &= 76.77315 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 6 Heat Input

$$\begin{aligned} q_i &= U \times A \times (t_e - t_{rc}) \\ q_i &= 0.668 \times 16.0 \times (76.77315 - 24.0) \\ &= 564.0394 \text{ Watt} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 7 Wall CTS for Wall Number = 8

Wall CTS for Wall Number = 8 (Wall Type = EIFS)  
(ตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 9)

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 8 Wall Heat Gain

$$\begin{aligned} \text{Wall Heat Gain} &= \{ q_i \} * \{ \text{Wall CTS for Wall Number} = 8 \} \\ &= 403.3 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 9 Wall Convective Heat Gain

$$\begin{aligned} \text{Convective Heat Gain (37\%)} &= 0.37 \times 403.3 \\ &= 149.2 \text{ Watt at 15:00 Hr} \\ &= \text{Convective Cooling Load} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 10 Wall Radiative Heat Gain

$$\begin{aligned} \text{Radiant Heat Gain (63\%)} &= 0.63 \times 403.3 \\ &= 254.1 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 11 Nonsolar RTS for Zone Type 4

Nonsolar RTS Values for Zone Type 4 (Light Construction, No Carpet, 10% Glass)  
(ตารางที่ 4 คอลัมน์ที่ 5)

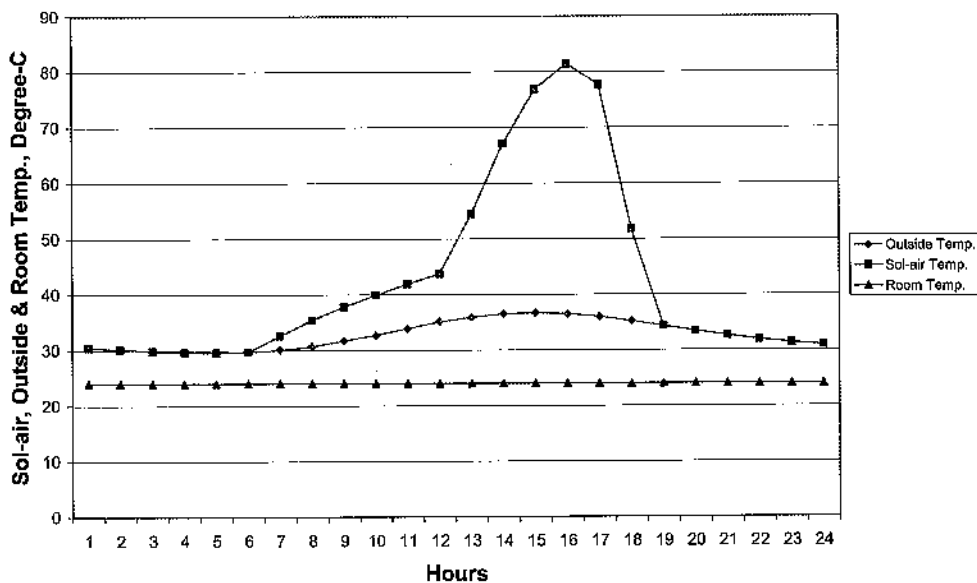
ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 12 Radiant Cooling Load

$$\begin{aligned} \text{Radiant Cooling Load} &= \{\text{Radiant Heat Gain}\} * \{\text{Nonsolar RTS for Zone Type 4}\} \\ &= 179.6 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 11 คอลัมน์ที่ 13 Total Cooling Load

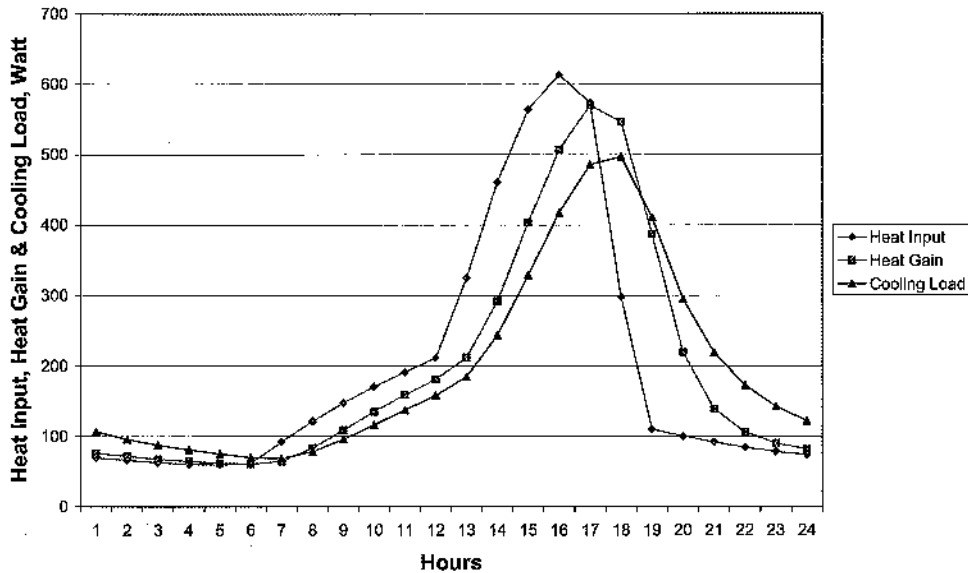
$$\begin{aligned} \text{Total Cooling Load} &= \text{Convective Cooling Load} + \text{Radiant Cooling Load} \\ &= 149.2 + 179.6 \\ &= 328.8 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ในรูปที่ 6 ค่าของ  $t_o$ ,  $t_e$  และ  $t_{rc}$  ใน Column ที่ 3, 4 และ 5 ใน ตารางที่ 11 ถูกนำมา Plot เปรียบเทียบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ  $t_o$  และ  $t_e$  ที่มีต่อ Heat Input ในกรณีต่าง ๆ ความแตกต่างระหว่าง  $t_e$  กับ  $t_{rc}$  จะเป็นตัวขับเคลื่อนความร้อน เพื่อให้เกิดการถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ผนังตามสมการที่ 3 ส่วนความแตกต่างระหว่าง  $t_o$  กับ  $t_{rc}$  จะเป็นตัวขับเคลื่อนการนำความร้อนให้ถ่ายเทผ่านกระจกหน้าต่าง (Window Conduction) ตามรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไปในหัวข้อที่ 5



รูปที่ 6: Sol-air temperature ของผนังด้านตะวันตก

รูปที่ 7 เป็นการ Plot เปรียบเทียบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการกระจายของ Heat Input, Heat Gain และ Cooling Load ของผนังในตัวอย่าง ข้อมูลที่ใช้มาจาก Column ที่ 6, 8 และ 13 ในตารางที่ 11 จากรูป Time-delay Effect เนื่องจาก Wall CTS และ Nonsolar RTS จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 7: Time-delay Effect จาก Wall CTS และ Nonsolar RTS Values ที่มีต่อ Heat Input ของผนังด้านตะวันตก

4. การคำนวณภาระความร้อนจากหลังคาด้วยวิธี RTS

ภาระความร้อนจากหลังคา มีวิธีการแตกต่างจากผนังอยู่ไม่มากนัก รูปที่ 8 เป็น Schematic Diagram แสดงภาพรวมของขั้นตอนการคำนวณ ความแตกต่างที่สำคัญจะอยู่ที่

- ก) การคำนวณค่า Sol-air temperature,  $t_e$  การคำนวณจะต้องทำสำหรับ Horizontal Surface แทนที่จะเป็น Vertical Surface
- ข) ต้องใช้ค่า Roof CTS ในตารางที่ 3 แทนค่า Wall CTS
- ค) การ Split Heat Gain จะเปลี่ยนจาก 63%-37% เป็น 84%-16% แทน ดังแสดงใน Schematic Diagram

5. การคำนวณภาระความร้อนจากหน้าต่างด้วยวิธี RTS

การคำนวณภาระความร้อนจากหน้าต่าง แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

- ก) Window Solar และ
- ข) Window Conduction

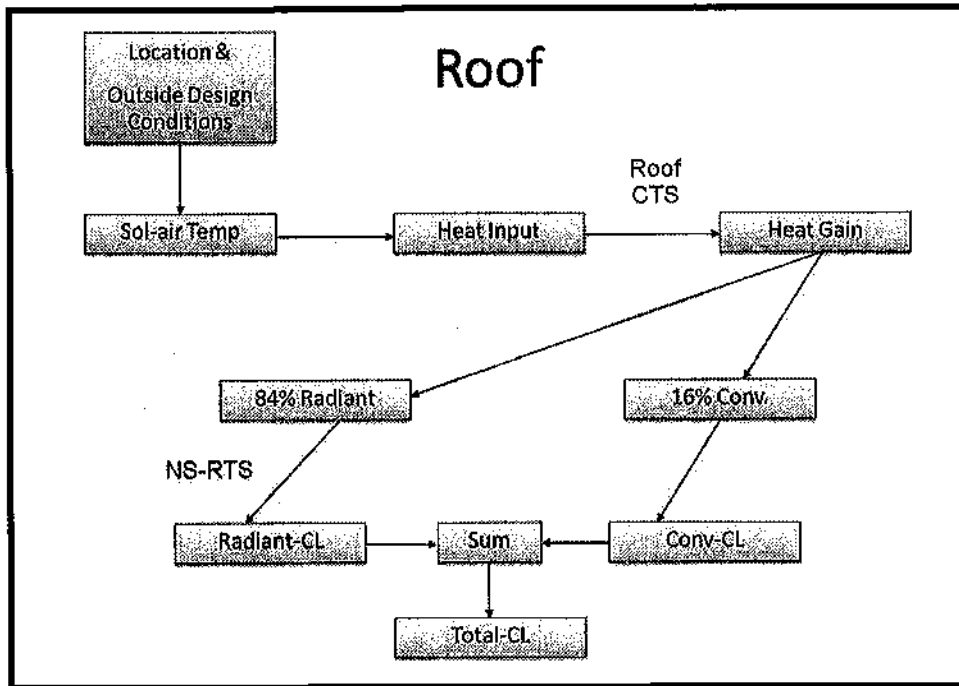
Schematic Diagram แสดงภาพรวมของขั้นตอนการคำนวณ ในแต่ละส่วนแสดงอยู่ในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 10: Wall Component of Solar Irradiance

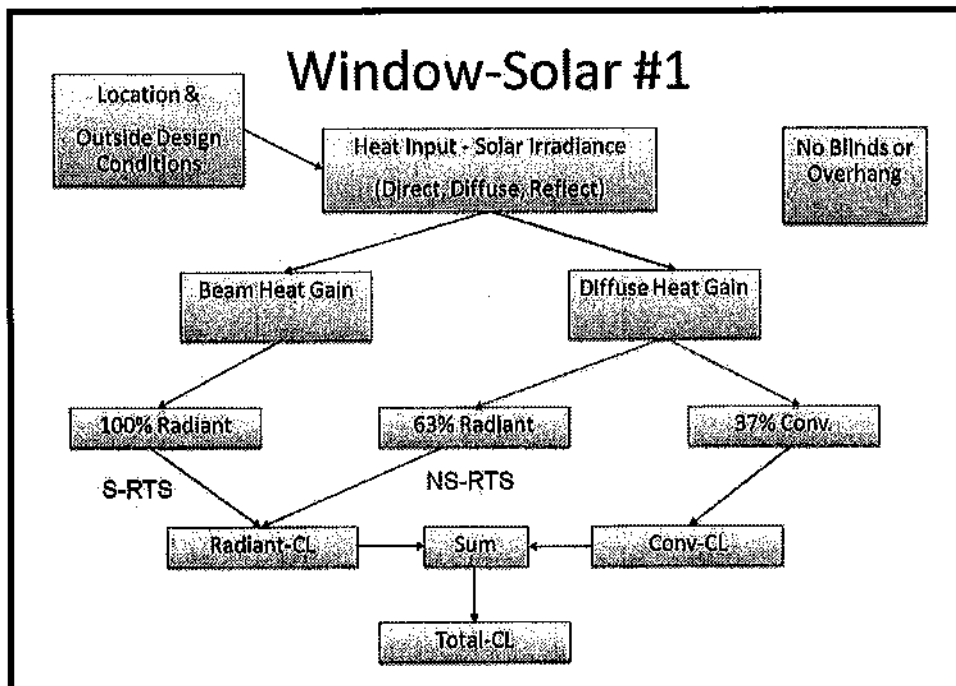
Local Standard Time LST Hour	Solar Angles				Direct Solar			Diffuse Solar				Total Surface Irradiance $E_t$ W/m <sup>2</sup>
	Apparent Solar Time AST	Hour Angle H	Solar Altitude $\beta$	Solar Azimuth $\phi$	Direct Normal $E_{DN}$ W/m <sup>2</sup>	Surface Incident Angle $\theta$ Degree	Surface Direct $E_D$ W/m <sup>2</sup>	Ground Reflected $E_r$ W/m <sup>2</sup>	Ratio Y	Sky Diffuse $E_d$ W/m <sup>2</sup>	Surface Diffuse $E_d+E_r$ W/m <sup>2</sup>	
	Hour	Degree	Degree	Degree		Degree	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	
1	0.72	-169.2	-62.5	-156.5	0	100.6	0	0	0.48	0	0	0
2	1.72	-154.2	-54	-133.5	0	115.3	0	0	0.45	0	0	0
3	2.72	-139.2	-42.2	-120.1	0	129.8	0	0	0.45	0	0	0
4	3.72	-124.2	-29.1	-111.9	0	144.2	0	0	0.45	0	0	0
5	4.72	-109.2	-15.3	-106.4	0	157.7	0	0	0.45	0	0	0
6	5.72	-94.2	-1.2	-102.3	0	167.7	0	0	0.45	0	0	0
7	6.72	-79.2	13.1	-99.0	548.3	164.2	0	19.0	0.45	29.6	48.6	48.6
8	7.72	-64.2	27.6	-96.1	792.7	151.8	0	46.2	0.45	42.8	89	89.0
9	8.72	-49.2	42.1	-93.3	884.7	137.8	0	69.9	0.45	47.8	117.7	117.7
10	9.72	-34.2	56.6	-90.3	928.5	123.4	0	88.7	0.45	50.1	138.8	138.8
11	10.72	-19.2	71.2	-85.7	950.3	108.7	0	101.4	0.45	51.3	152.7	152.7
12	11.72	-4.2	85.4	-62.7	958.6	94.1	0	107.1	0.52	59.9	166.9	166.9
13	12.72	10.8	79.2	79.8	956.3	79.4	176.2	105.4	0.64	73.6	179.0	355.2
14	13.72	25.8	64.7	88.1	942.5	64.7	402.5	96.5	0.79	89.8	186.3	588.8
15	14.72	40.8	50.1	91.7	912.6	50.2	584.7	81	0.96	105	186	770.6
16	15.72	55.8	35.6	94.6	852.5	35.8	691.1	59.8	1.11	113.5	173.4	864.4
17	16.72	70.8	21.1	97.3	716.5	22.3	663	34.4	1.22	105.1	139.5	802.5
18	17.72	85.8	6.7	100.4	277.1	12.3	270.7	6.6	1.28	42.4	49	319.7
19	18.72	100.8	-7.5	104.0	0	15.8	0	0	1.26	0	0	0
20	19.72	115.8	-21.5	108.6	0	28.2	0	0	1.18	0	0	0
21	20.72	130.8	-35.1	115.1	0	42.2	0	0	1.05	0	0	0
22	21.72	145.8	-47.7	125.2	0	56.6	0	0	0.89	0	0	0
23	22.72	160.8	-58.3	142.2	0	71.3	0	0	0.72	0	0	0
24	23.72	175.8	-64.3	170.6	0	85.9	0	0	0.58	0	0	0
Column Number												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

ตารางที่ 11: Wall Component of Cooling Load

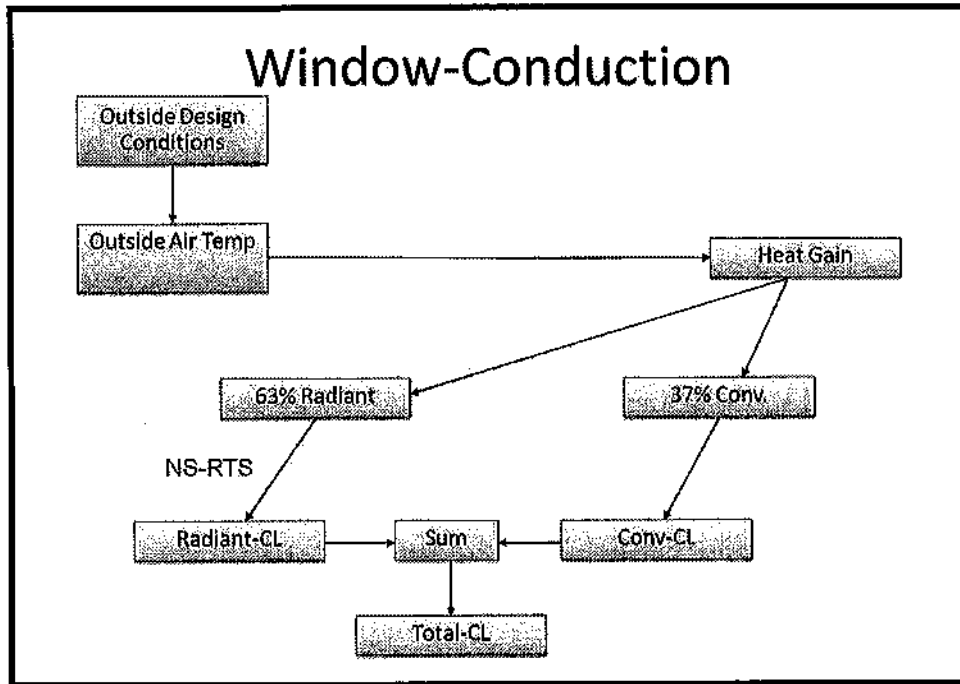
Local Standard Time LST Hour	Total Surface Irradiance $E_t$ W/m <sup>2</sup>	Outside Temp. $t_o$ °C	Sol-air Temp. $t_c$ °C	Inside Temp. $t_{rc}$ °C	Heat Input $q_i$ Watt	Wall CTS Wall No.8 %	Heat Gain			Nonsolar RTS Zone Type 4 %	Radiant Cooling Load Watt	Total Cooling Load Watt
							Total 100%	Convective 37%	Radiant 63%			
							Watt	Watt	Watt			
1	0	30.5	30.5	24	69.7	11	76	28.1	47.9	41	78.6	106.7
2	0	30.2	30.2	24	65.9	50	71.7	26.5	45.2	20	69.2	95.8
3	0	29.9	29.9	24	62.9	26	67.8	25.1	42.7	12	62.5	87.6
4	0	29.7	29.7	24	60.6	9	64.5	23.9	40.6	8	57.1	81
5	0	29.6	29.6	24	59.9	3	62	22.9	39.1	5	52.1	75
6	0	29.7	29.7	24	61.4	1	60.8	22.5	38.3	4	47.5	69.9
7	48.6	30.1	32.6	24	92.2	0	64.4	23.8	40.6	3	44.6	68.4
8	89	30.7	35.4	24	121.4	0	83.2	30.8	52.4	2	47.4	78.2
9	117.7	31.7	37.8	24	147.3	0	108.8	40.3	68.6	1	55.4	95.6
10	138.8	32.7	39.9	24	170.4	0	134.7	49.8	84.9	1	66.3	116.1
11	152.7	33.9	41.9	24	191	0	158.8	58.8	100	1	78.4	137.2
12	166.9	35.1	43.7	24	211.1	0	180.8	66.9	113.9	1	90.8	157.7
13	355.2	35.9	54.4	24	324.8	0	211.9	78.4	133.5	1	106	184.4
14	588.8	36.5	67.1	24	460.7	0	291.7	107.9	183.8	0	135.2	243.1
15	770.6	36.7	76.8	24	564	0	403.3	149.2	254.1	0	179.6	328.8
16	864.4	36.5	81.4	24	613.9	0	506.8	187.5	319.3	0	230.2	417.7
17	802.5	36	77.7	24	574.2	0	570.1	210.9	359.1	0	274.6	485.5
18	319.7	35.2	51.8	24	297.5	0	547.2	202.5	344.8	0	294.6	497.1
19	0	34.3	34.3	24	109.9	0	386.9	143.1	243.7	0	267.3	410.5
20	0	33.4	33.4	24	100.1	0	219.1	81	138	0	213.9	295
21	0	32.6	32.6	24	91.7	0	138.8	51.4	87.5	0	167.3	218.7
22	0	31.9	31.9	24	84.1	0	105.7	39.1	66.6	0	133.3	172.4
23	0	31.3	31.3	24	78.1	0	89.8	33.2	56.6	0	109	142.3
24	0	30.9	30.9	24	73.5	0	81.4	30.1	51.3	0	91.5	121.6
Column Number												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13



รูปที่ 8: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากหลังคา



รูปที่ 9: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากหน้าต่าง (กรณีที่ 1)



รูปที่ 10: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากหน้าต่าง (Conduction)

การคำนวณในส่วนของ Window Solar จะเริ่มจากการหาค่า Solar Irradiance เช่นเดียวกันกับในกรณีของผนังภายนอกทุกประการ ความแตกต่างจะอยู่ที่ตรงการแปลง Solar Irradiance นี้ไปเป็น Heat Gain ในกรณีของ Window Solar การแปลงดังกล่าว ทำโดยการนำเอาค่า Solar Irradiance นี้ไปคูณกับค่า Direct SHGC และ Hemispherical SHGC ก็จะทำให้เราได้มาซึ่งค่า Direct Solar Heat Gain และ Diffuse Solar Heat Gain ตามลำดับ ค่า SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) นี้เป็นคุณสมบัติของกระจกแต่ละชนิดว่าจะยอมให้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านเข้าไปยังภายในห้องได้ เป็นที่เปอร์เซ็นต์ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ที่ตกกระทบบานหน้าต่าง กระจกชั้นเดียวทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันอยู่มากในประเทศไทยจะมีค่า SHGC อยู่ที่ราวประมาณ 0.6 ถึง 0.9 แล้วแต่ความหนาและสีของกระจก ข้อมูลเกี่ยวกับค่าของ SHGC ที่ละเอียดพอสำหรับการใช้งานในเบื้องต้น ผู้อ่านสามารถหาได้ใน ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamentals

หลังจากที่เราได้ค่า Direct (หรือ Beam) และ Diffuse Heat Gain แล้ว เราก็จะต้องทำการแปลง Heat Gain ทั้งสองส่วนไปเป็น Room Cooling Load ต่อไป

ในวิธี RTS นั้น ค่า Beam Heat Gain จะถือว่าเป็น Radiant Component 100 % และให้แปลงไปเป็น Cooling Load โดยนำไป "Operate" กับค่า Solar RTS ส่วนค่า Diffuse Heat Gain นั้นให้ Split ออกเป็น 63 % Radiant และ 37 % Convective ก่อน จากนั้นจึงแปลงส่วน 63 % Radiant นี้ไปเป็นค่า Cooling Load ด้วยค่า Nonsolar RTS

การคำนวณในส่วน Window Conduction (ตาม Schematic ในรูปที่ 10) เริ่มจากการคำนวณหา Window Conduction Heat Gain จากสูตร

$$q_c = UA (t_o - t_{rc}) \tag{6}$$

โดยที่  $q_c$  = Window conduction heat gain, Watt

$U$  = Overall heat transfer coefficient of window,  $W/(m^2 \cdot K)$

$A$  = Window area,  $m^2$

$t_o$  = Outside air temperature,  $^{\circ}C$

$t_{rc}$  = Room air temperature,  $^{\circ}C$

Heat Gain ดังกล่าว จะต้องถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ 63% Radiant และ 37 % Convective ส่วนที่เป็น Convective จะกลายเป็น Cooling Load เลยทันที ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งคือ 63 % Radiant จะเกิด Time-delay และกลายเป็น Cooling Load ในเวลาต่อ ๆ มา

การหา Radiant Cooling Load จาก Heat Gain Component ส่วนนี้ก็ได้โดยการ "Operate" ค่า Heat Gain ในส่วนนี้เข้ากับ Nonsolar RTS ดังแสดงใน Schematic Diagram ค่า Radiant Cooling Load ส่วนหลังนี้เมื่อนำไปรวมกับ Convective Cooling Load ก็จะได้มาซึ่ง Total Cooling Load เนื่องจาก Conduction ผ่านกระจก

ตารางที่ 12 และ 13 เป็นรายการคำนวณค่าการความร้อนผ่านหน้าต่างบานหนึ่ง ซึ่งมีขนาด  $1.3 \times 2.1$  เมตร กระจกเป็น Uncoated Single Glazing หนา 3.2 mm. และตั้งอยู่บนผนังด้านทิศตะวันตก รายละเอียดการคำนวณที่เวลา 15.00 น. (LST) ของ Design Day มีดังต่อไปนี้คือ

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 2 Surface Incident Angle

$$\theta = 50.2^{\circ}$$

(จากรายการคำนวณของผนังภายนอกใน Section ก่อน)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 3 Surface Direct

$$E_D = 584.7 \text{ Watt/m}^2$$

(จากรายการคำนวณของผนังภายนอกใน Section ก่อน)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 4 Direct SHGC

$$SHGC_D = 0.659$$

ได้มาโดยการ Interpolate ค่า SHGC ที่มุม  $\theta = 50.2^{\circ}$  ของกระจก Uncoated Single Glazing ID = 1g ใน ตารางที่ 13 บทที่ 31 Fenestration ใน ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamental ปี 2005

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 5 Direct(Beam) Solar Heat Gain

$$\begin{aligned} q_b &= E_D \times SHGC_D \times A \\ &= 584.7 \times 0.659 \times 1.3 \times 2.1 \\ &= 1051.9 \text{ Watt} \end{aligned}$$

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 6 Ground Reflected

$$E_r = 81 \text{ Watt/m}^2$$

(จากรายการคำนวณของผนังภายนอกใน Section ก่อน)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 7 Ratio Y

$$Y = 0.96$$

(จากรายการคำนวณของผนังภายนอกใน Section ก่อน)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 8 Sky Diffuse

$$E_d = 105.0 \text{ Watt/m}^2$$

(จากรายการคำนวณของผนังภายนอกใน Section ก่อน)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 9 Surface Diffuse

$$\begin{aligned} E_d + E_r &= 105 + 81 \\ &= 186 \text{ Watt/m}^2 \end{aligned}$$

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 10 Hemis. SHGC

$$SHGC_d = 0.63$$

ข้อมูลมาจาก ตารางเดียวกันกับค่าของ Direct SHGC

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 11 Diffuse Solar Heat Gain

$$\begin{aligned} q_d &= (E_d + E_r) \times SHGC_d \times A \\ &= 186 \times 0.63 \times 1.3 \times 2.1 \\ &= 211.1 \text{ Watt} \end{aligned}$$

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 12 Outside Air Temperature

$$t_o = 36.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

(จากรายการคำนวณของผนังภายนอกใน Section ก่อน)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 13 Conduction Heat Gain Through Glass

$$\begin{aligned} q_c &= UA (t_o - t_{rc}) \\ &= 4.42 \times 1.3 \times 2.1 \times (36.7 - 24) \\ &= 175.1 \text{ Watt} \end{aligned}$$

ค่า U ของกระจกดังกล่าวมาจาก ตารางที่ 4 ในบทที่ 31 Fenestration ใน ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamental ปี 2005 บรรทัดแรก Single Glazing, 3.2 mm glass, Wood/Vinyl Frame (Operable)

ตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 14 Total Window Heat Gain

$$\begin{aligned} q_g &= q_b + q_d + q_c \\ &= 694.7 + 211.1 + 175.1 \\ &= 1080.8 \text{ Watt} \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 2 Beam Heat Gain

มาจากตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 5

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 3 Radiant Heat Gain

Heat Gain จาก Direct Solar Radiation เป็น Radiant Heat Gain 100%  
(Convective Heat Gain จาก Direct Solar = 0%)

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 4 Radiant Cooling Load จาก Direct Solar

Solar RTS for Zone Type 4 (Light Construction, No Carpet, 10% Glass)  
(ตารางที่ 5 คอลัมน์ที่ 5)



ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 5 Radiant Cooling Load จาก Direct Solar

$$\begin{aligned} q_{r1} &= \{Radiant Heat Gain\} * \{Solar RTS for Zone Type 4\} \\ &= 397.8 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 6 Direct Solar Cooling Load

$$\text{Direct Solar Cooling Load} = \text{Radiant Cooling Load}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 7 Diffuse Heat Gain

มาจากตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 11

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 8 Conduction Heat Gain

มาจากตารางที่ 12 คอลัมน์ที่ 13

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 9 Total Heat Gain จาก Diffuse Solar และ Conduction ผ่านกระจก

$$\begin{aligned} q_w &= q_d + q_c \\ &= 211.1 + 175.1 \\ &= 386.2 \text{ Watt} \end{aligned}$$

สาเหตุที่มีการจับเอา  $q_d$  และ  $q_c$  มารวมกันก่อนก็เนื่องมาจากว่าผลรวมดังกล่าวจะต้องถูกนำไป Split เป็น 37 % Convective และ 63 % Radiant ดังแสดงใน คอลัมน์ที่ 10 แล 11 ของ ตารางที่ 13 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 10 Convective Heat Gain from Diffuse Solar and Conduction Through Glass

$$\begin{aligned} q_{c2} &= 0.37 \times 386.2 \\ &= 142.9 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 11 Radiant Heat Gain from Diffuse Solar and Conduction Through Glass

$$\begin{aligned} q_{r2} &= 0.63 \times 386.2 \\ &= 243.3 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 12 Nonsolar RTS for Zone Type 4

Nonsolar RTS for Zone Type 4 (Light Construction, No Carpet, 10% Glass)

(ตารางที่ 5 คอลัมน์ที่ 5)

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 13 Radiant Cooling Load จาก 63 % ของ Diffuse Solar และ Conduction ผ่านกระจก

$$\begin{aligned} q_r &= \{63\% \text{ ของ Total Diffuse}\} * \{Nonsolar RTS for Zone Type 4\} \\ &= 362.6 \text{ Watt at 15.00 น.} \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 14 Diffuse & Conduction Cooling Load

Diffuse & Conduction Cooling Load = Diffuse & Conduction Heat Gain + Diffuse & Conduction

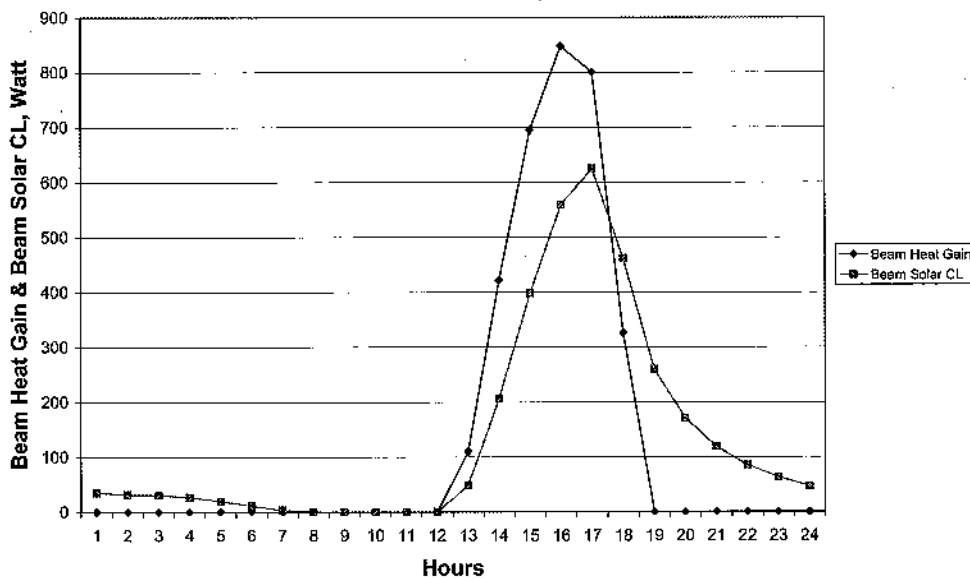
Radiant Cooling Load

$$\begin{aligned} &= 142.9 + 219.6 \\ &= 362.6 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 13 คอลัมน์ที่ 15 Total Window Cooling Load

$$\begin{aligned} \text{Total Window Cooling Load} &= \text{Direct Solar Cooling Load} + \text{Diffuse \& Conduction Cooling Load} \\ &= 397.8 + 362.6 \\ &= 760.4 \text{ Watt at 15:00 Hr} \end{aligned}$$

รูปที่ 11 เป็นการ Plot เปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ Solar RTS Values ที่มีต่อ Beam Solar Cooling Load ค่าของ Beam Heat Gain และ Beam Solar Cooling Load ในรูปที่ได้มาจาก Column ที่ 2 และ 6 ในตารางที่ 13

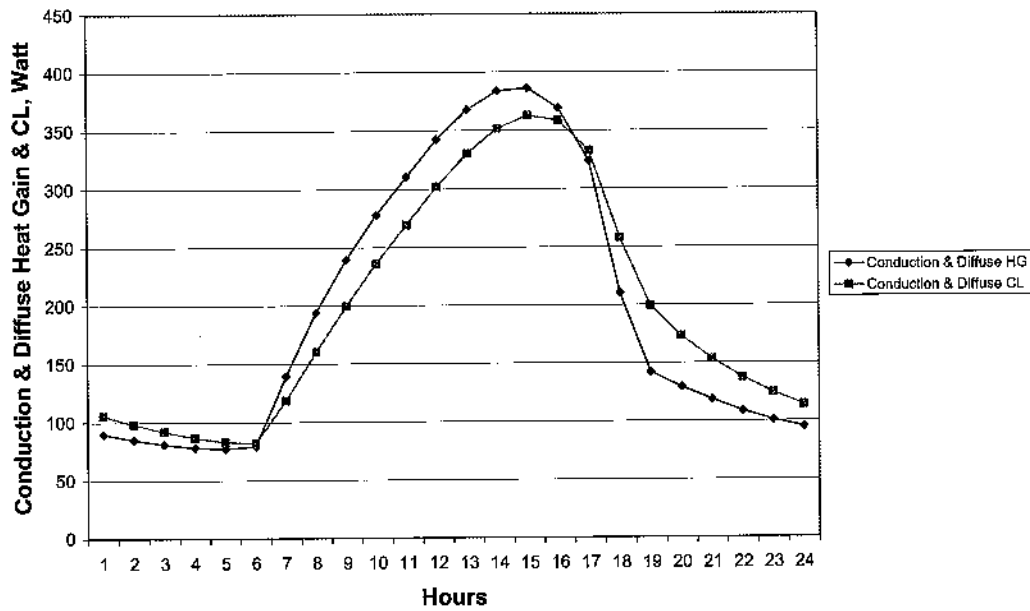


รูปที่ 11: Time-delay Effect จาก Solar RTS Values ที่มีต่อ Beam Heat Gain ผ่านกระจกหน้าต่างด้านตะวันตก

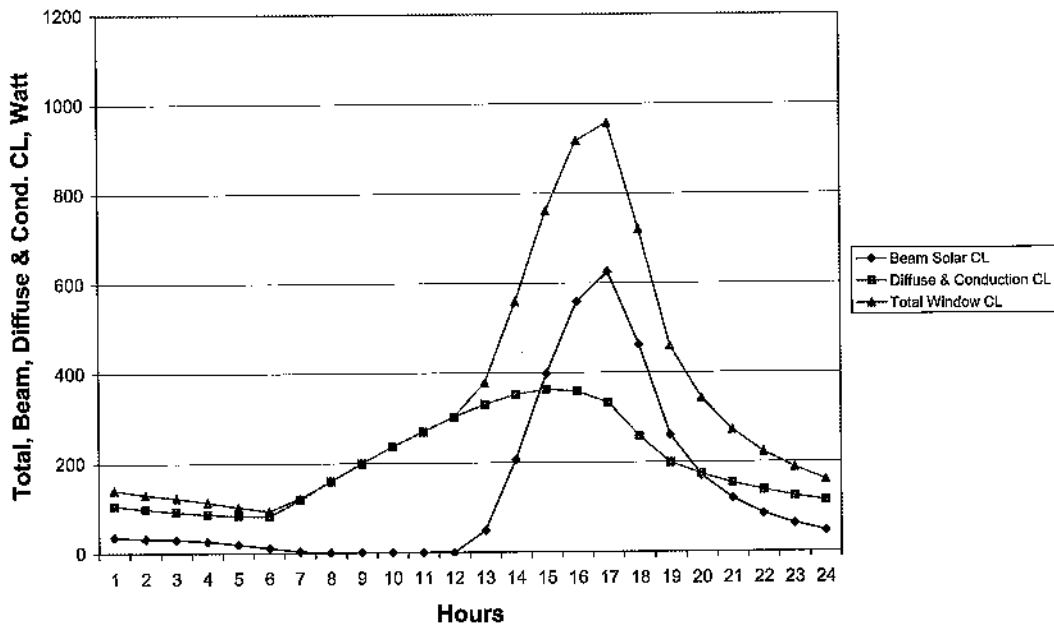
รูปที่ 12 เป็นการ Plot เปรียบเทียบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของ Nonsolar RTS Values ที่มีต่อ Conduction และ Diffuse Heat Gain ผ่านกระจกหน้าต่างในตัวอย่าง ค่าดังกล่าวได้มาจาก Column ที่ 9 และ 14 ในตารางที่ 13

รูปที่ 13 เป็นการ Plot เพื่อแสดงให้เห็นองค์ประกอบของ Total Cooling Load ของบานหน้าต่างในตัวอย่าง ค่าของ Diffuse & Conduction Cooling Load และ Total Window Cooling Load ได้มาจาก Column ที่ 14 และ 15 ในตารางที่ 13 ตามลำดับ

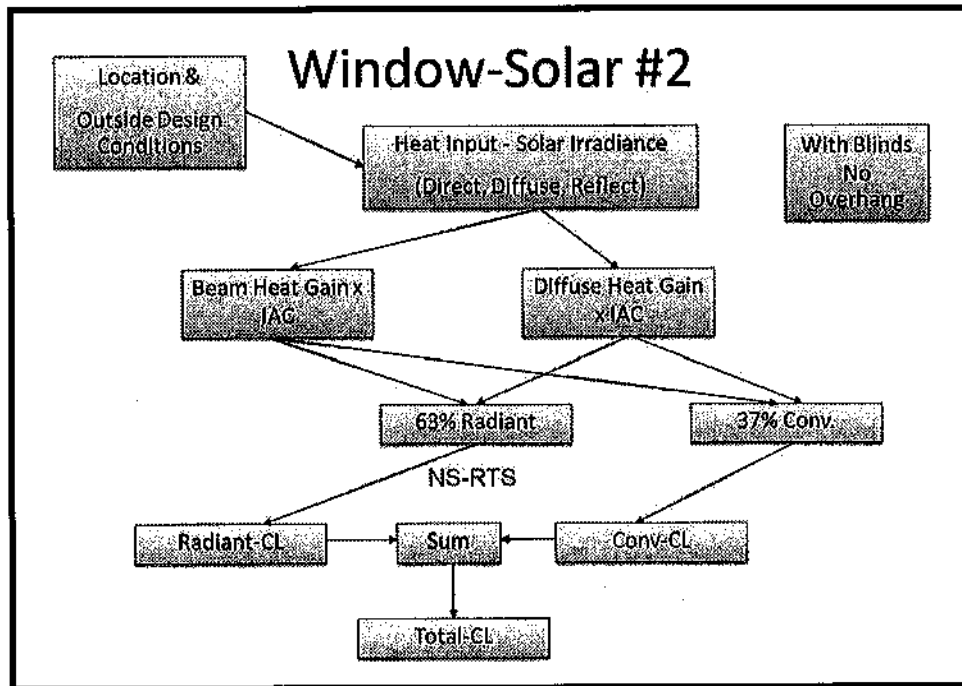
ในกรณีที่มี Blinds (มู่ลี่แบบเกล็ดภายในหรือภายนอก) ทั้ง Beam Heat Gain และ Diffuse Heat Gain จะต้องถูกคูณด้วย IAC (Internal Attenuation Coefficient) ก่อนตาม Schematic Diagram ในรูปที่ 14 ค่าของ IAC สำหรับ Blinds ชนิดต่าง ๆ ผู้อ่านสามารถหาได้จาก ASHRAE Handbook ฉบับ Fundamental ในขั้นตอนต่อไป Component ของ Heat Gain ทั้งสองนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 63 % Radiant และ 37 % Convective เช่นเดียวกันกับในกรณีก่อน ๆ ส่วนที่เป็น Radiant Component ก็จะต้องถูก Operate ด้วย Nonsolar RTS เสียก่อน เพื่อแปลงเป็น Radiant Cooling Load ซึ่งเมื่อนำไปรวมกับ Convective Part แล้ว ก็จะนำมาซึ่ง Total Window Solar Cooling Load ต่อไป ส่วนของ Conduction ผ่านกระจกก็สามารถหาได้เหมือนกันกับกรณีที่ไม่มี Blinds



รูปที่ 12: Time-delay Effect จาก NonSolar RTS Values ที่มีต่อ Conduction และ Diffuse Heat Gain ผ่านกระจกหน้าต่างด้านตะวันตก



รูปที่ 13: องค์ประกอบของ Total Cooling Load ของกระจกหน้าต่างที่ติดตั้งอยู่บนผนังด้านตะวันตก



รูปที่ 14: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากหน้าต่าง (กรณีที่ 2)

ในกรณีที่ไม่มีทั้ง Blinds และมีอุปกรณ์บังแดดอยู่ภายนอกอาคารด้วย อาทิเช่น Overhang หรือ Fin การคำนวณในภาพรวมจะเป็นไปตาม Schematic Diagram ในรูปที่ 15 การคำนวณหา Shading Fraction และ EAC (External Attenuation Coefficient) จะยังไม่บอกกล่าวถึงในส่วนพื้นฐานนี้

6. การคำนวณภาระความร้อนจากพื้น เพดาน และผนังภายในด้วยวิธี RTS

Schematic Diagram แสดงภาพรวมของการคำนวณ แสดงอยู่ในรูปที่ 16 Heat Input สามารถหาได้จาก สูตร

$$q_i = UA (t_b - t_{rc}) \tag{7}$$

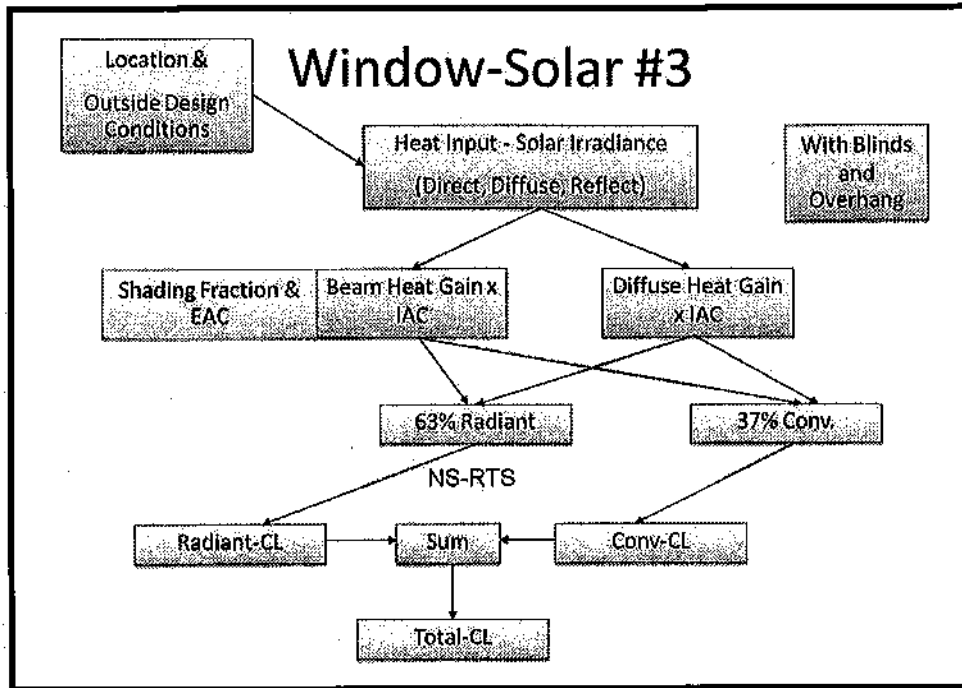
โดยที่  $U$  = Overall heat transfer coefficient of floor/ceiling/partition, W/ (m<sup>2</sup>·K)

$A$  = Area of floor/ceiling/partition, m<sup>2</sup>

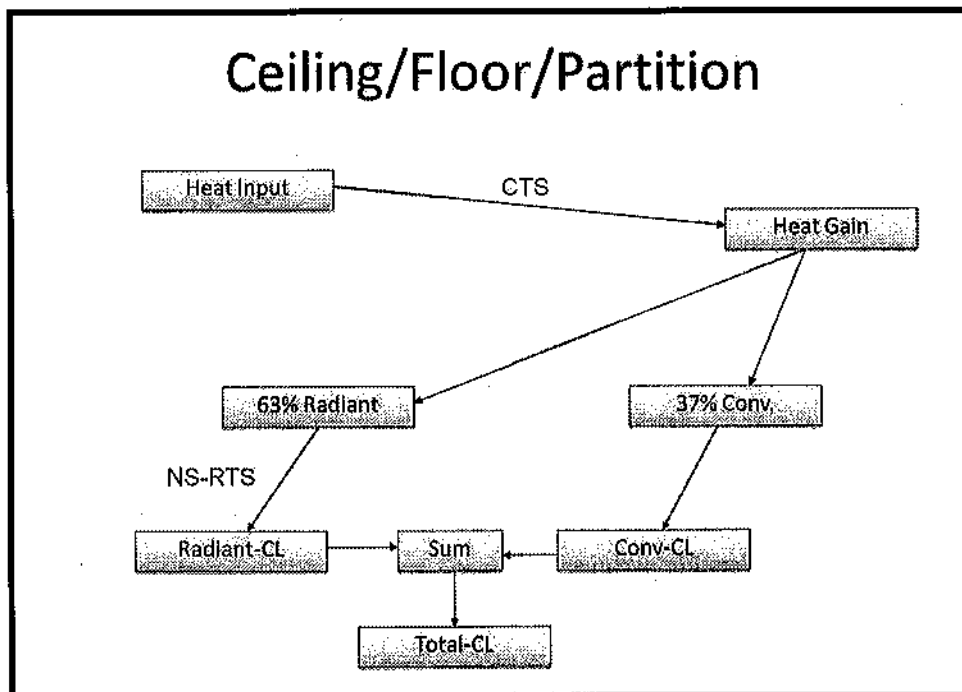
$t_b$  = Adjacent space temperature, °C

$t_{rc}$  = Room temperature, °C

ในกรณีที่  $t_b$  มีการแกว่งตัว Heat Input,  $q_i$  ต้องถูกแปลงไปเป็น Heat Gain ก่อนด้วย CTS แต่ถ้า  $t_b$  มีค่าคงที่ Room Heat Gain จะคงที่ และมีค่าเท่ากับค่าของ Heat Input ขั้นตอนที่เหลือก็จะคล้ายคลึงกันกับในกรณี Heat Gain ผ่านผนังภายนอก ในกรณีที่  $t_b$  มีค่าคงที่ และห้องข้างเคียงไม่ได้ปรับอากาศ ส่วนมากเรานิยมสมมุติให้  $t_b$  มีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ 3°K



รูปที่ 15: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากหน้าต่าง (กรณีที่ 3)



รูปที่ 16: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากเพดาน พื้น และผนังภายใน

ตารางที่ 12: Window Component of Heat Gain (No Blinds or Overhang)

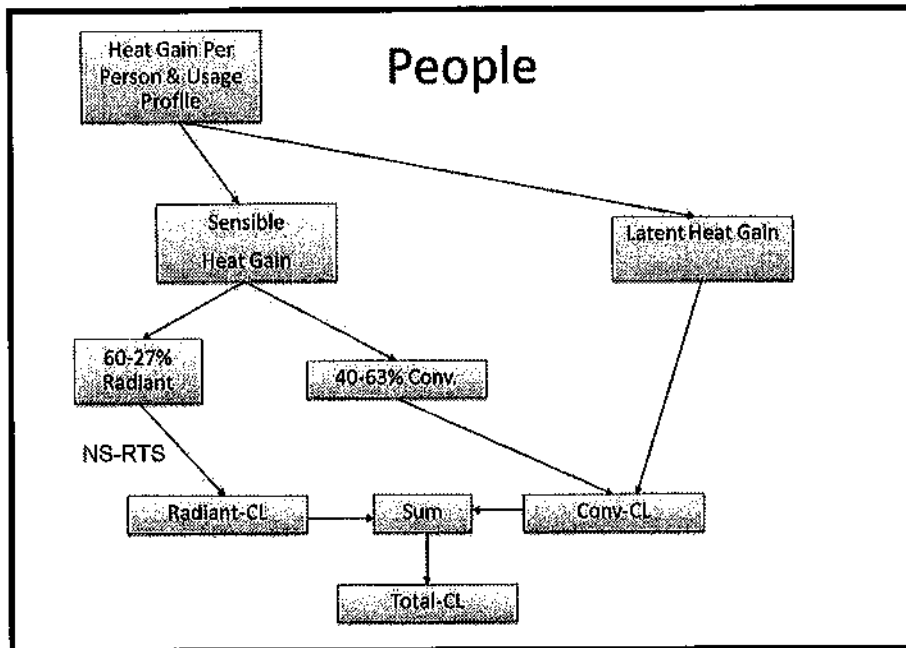
Local Standard Time LST Hour	Direct Solar				Diffuse Solar						Conduction		Total Window Heat Gain Watt
	Surface Incident Angle $\theta$ Degree	Surface Direct $E_D$ W/m <sup>2</sup>	Direct SHGC	Direct Solar Heat Gain Watt	Ground Reflected $E_r$ W/m <sup>2</sup>	Ratio $Y$	Sky Diffuse $E_d$ W/m <sup>2</sup>	Surface Diffuse $E_d+E_r$ W/m <sup>2</sup>	Hemis. SHGC	Diffuse Solar Heat Gain Watt	Outside Temp. $t_o$ °C	Conduction Heat Gain Watt	
1	100.6	0	0	0	0	0.48	0	0	0.63	0	30.5	89.9	89.9
2	115.3	0	0	0	0	0.45	0	0	0.63	0	30.2	85	85
3	129.8	0	0	0	0	0.45	0	0	0.63	0	29.9	81.1	81.1
4	144.2	0	0	0	0	0.45	0	0	0.63	0	29.7	78.2	78.2
5	157.7	0	0	0	0	0.45	0	0	0.63	0	29.6	77.2	77.2
6	167.7	0	0	0	0	0.45	0	0	0.63	0	29.7	79.2	79.2
7	164.2	0	0	0	19	0.45	29.6	48.6	0.63	55.2	30.1	84.1	139.2
8	151.8	0	0	0	46.2	0.45	42.8	89	0.63	101	30.7	92.9	193.9
9	137.8	0	0	0	69.9	0.45	47.8	117.7	0.63	133.6	31.7	105.6	239.2
10	123.4	0	0	0	88.7	0.45	50.1	138.8	0.63	157.6	32.7	120.3	277.9
11	108.7	0	0	0	101.4	0.45	51.3	152.7	0.63	173.3	33.9	136.9	310.2
12	94.1	0	0	0	107.1	0.52	59.9	166.9	0.63	189.5	35.1	152.6	342.1
13	79.4	176.2	0.346	110	105.4	0.64	73.6	179	0.63	203.2	35.9	164.3	477.5
14	64.7	402.5	0.581	421.5	96.5	0.79	89.8	186.3	0.63	211.5	36.5	172.2	805.1
15	50.2	584.7	0.659	694.7	81	0.96	105	186	0.63	211.1	36.7	175.1	1080.8
16	35.8	691.1	0.681	847.5	59.8	1.11	113.5	173.4	0.63	196.8	36.5	172.2	1216.4
17	22.3	663	0.67	800.3	34.4	1.22	105.1	139.5	0.63	158.3	36	165.3	1123.9
18	12.3	270.7	0.668	325.8	6.6	1.28	42.4	49	0.63	55.6	35.2	154.5	535.9
19	15.8	0	0	0	0	1.26	0	0	0.63	0	34.3	141.8	141.8
20	28.2	0	0	0	0	1.18	0	0	0.63	0	33.4	129.1	129.1
21	42.2	0	0	0	0	1.05	0	0	0.63	0	32.6	118.3	118.3
22	56.6	0	0	0	0	0.89	0	0	0.63	0	31.9	108.5	108.5
23	71.3	0	0	0	0	0.72	0	0	0.63	0	31.3	100.7	100.7
24	85.9	0	0	0	0	0.58	0	0	0.63	0	30.9	94.8	94.8
Column Number													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

ตารางที่ 13: Window Component of Cooling Load (No Blinds or Overhang)

Local Standard Time LST Hour	Direct Solar					Diffuse Solar and Conduction Through Glass							Total Window Cooling Load Watt	
	Beam Heat Gain Watt	Radiant 100% Watt	Solar RTS Zone Type 4 %	Radiant Cooling Load Watt	Direct Solar Cooling Load Watt	Diffuse Heat Gain Watt	Conduction Heat Gain Watt	Heat Gain			Nonsolar RTS Zone Type 4 %	Radiant Cooling Load Watt		Diff. & Conduc. Cooling Load Watt
								Total 100% Watt	Convective 37% Watt	Radiant 63% Watt				
1	0	0	44	35.3	35.3	0	89.9	89.9	33.3	56.7	41	72.1	105.4	140.6
2	0	0	19	32	32	0	85	85	31.5	53.6	20	66.7	98.2	130.2
3	0	0	11	30.9	30.9	0	81.1	81.1	30	51.1	12	62	92	122.9
4	0	0	7	26.7	26.7	0	78.2	78.2	28.9	49.3	8	57.8	86.8	113.4
5	0	0	5	19.7	19.7	0	77.2	77.2	28.6	48.6	5	54.5	83.1	102.8
6	0	0	3	11.3	11.3	0	79.2	79.2	29.3	49.9	4	52.6	81.9	93.2
7	0	0	3	3.3	3.3	55.2	84.1	139.2	51.5	87.7	3	67.1	118.6	121.9
8	0	0	2	0	0	101	92.9	193.9	71.7	122.1	2	88.2	160	160
9	0	0	1	0	0	133.6	105.6	239.2	88.5	150.7	1	111	199.4	199.4
10	0	0	1	0	0	157.6	120.3	277.9	102.8	175.1	1	133.5	236.3	236.3
11	0	0	1	0	0	173.3	136.9	310.2	114.8	195.4	1	154.7	269.4	269.4
12	0	0	1	0	0	189.5	152.6	342.1	126.6	215.5	1	175.3	301.9	301.9
13	110	110	1	48.4	48.4	203.2	164.3	367.5	136	231.5	1	194.1	330.1	378.5
14	421.5	421.5	1	206.3	206.3	211.5	172.2	383.6	141.9	241.7	0	209.6	351.6	557.9
15	694.7	694.7	0	397.8	397.8	211.1	175.1	386.2	142.9	243.3	0	219.7	362.6	760.4
16	847.5	847.5	0	558.9	558.9	196.8	172.2	369	136.5	232.5	0	221.9	358.4	917.4
17	800.3	800.3	0	624.6	624.6	158.3	165.3	323.6	119.7	203.9	0	212.8	332.5	957.1
18	325.8	325.8	0	461.6	461.6	55.6	154.5	210.1	77.7	132.4	0	180	257.7	719.4
19	0	0	0	259.9	259.9	0	141.8	141.8	52.5	89.3	0	146.6	199	459
20	0	0	0	169.9	169.9	0	129.1	129.1	47.8	81.3	0	125.2	173	342.9
21	0	0	0	118.6	118.6	0	118.3	118.3	43.8	74.5	0	109.4	153.2	271.8
22	0	0	0	84.9	84.9	0	108.5	108.5	40.2	68.4	0	97.1	137.2	222.1
23	0	0	0	63	63	0	100.7	100.7	37.3	63.4	0	86.9	124.2	187.2
24	0	0	0	46.5	46.5	0	94.8	94.8	35.1	59.7	0	78.7	113.8	160.3
Column Number														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

7. การคำนวณภาระความร้อนจากผู้อยู่อาศัยด้วยวิธี RTS

ความร้อนจากตัวคนเป็น Heat Gain ที่เกิดขึ้นภายในห้องปรับอากาศเลยโดยตรง มิได้ถ่ายเทมาจากภายนอก Latent Heat จะแปลงเป็น Cooling Load ได้เลยทันที แต่ Sensible Heat จะไม่ใช่ Sensible Heat จะต้องถูกแบ่งออกเป็น Convective และ Radiative ก่อน ส่วนที่เป็น Radiative จะต้องถูก Operate ด้วย Nonsolar RTS ตาม Schematic Diagram ในรูปที่ 17 เสียก่อน (เพื่อแปลงเป็น Radiant Cooling Load) แล้วจึงนำไปรวมเข้าด้วยกันกับ Convective Cooling Load จึงจะได้ค่า Total Cooling Load จากผู้อยู่อาศัย



รูปที่ 17: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากคน

ตารางที่ 14 เป็นค่า Heat Gain จากผู้อยู่อาศัยจะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าสัดส่วนของ Sensible Heat ที่จะกลายเป็น Radiant Component นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับค่าของความเร็วลมด้วย (ลมมาก Convective Component สูง)

8. การคำนวณภาระความร้อนจากอุปกรณ์ด้วยวิธี RTS

ค่า Heat Gain จาก Equipments จะมีความหลากหลายมาก ส่วนที่เป็น Latent Heat จะแปลงไปเป็น Space Cooling Load เลยในทันที Sensible Heat Gain จะต้องถูกแตกออกเป็น Radiant และ Convective Part เหมือนเช่นเคย แต่ในกรณีของ Equipment นั้น สัดส่วนของ Radiant จะเป็นเท่าใด หรือ Convective จะเป็นเท่าใด จะกลายเป็นอีกปัญหาหนึ่ง เนื่องจากตารางข้อมูลเก่า ๆ ที่มีมาในอดีต จะไม่มีข้อมูลที่แยกสัดส่วนดังกล่าวเอาไว้ บ่อยครั้งผู้คำนวณจะต้องใช้วิจารณญาณ ประมาณค่าที่เหมาะสมเอง

ในกรณีทั่ว ๆ ไปสำหรับ Office Equipment ที่มีพัดลมระบายความร้อน Hosni et al.(1999) แนะนำค่า Radiative/Convective Split ไว้ที่ 10%/90% สำหรับอุปกรณ์ที่มีพัดลมระบายความร้อนและสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่มีพัดลมระบายความร้อนไว้ที่ 30%/70% ในกรณีของอุปกรณ์ในการปรุงอาหาร Rudoy และ Duran (1975) แนะนำ Radiative /Convective Split ไว้ที่ 60%/40% แต่ถ้าอุปกรณ์นั้นมี Exhaust Hood อย่างดี ความร้อนที่คายออกมายัง Space จะมีแต่เพียง Radiative Component เท่านั้น สิ่งที้นอกเหนือไปจากนี้สำหรับเรื่องของ

Equipment Load นั้น ผู้คำนวณควรศึกษาข้อมูลการใช้เครื่องจักรให้ถี่ ค่า Actual Cooling Load จริง ๆ อาจมีค่าเพียงประมาณ 20-30% ของ Name Plate Load ก็ได้ Schematic Diagram แสดงภาพรวมสำหรับการคำนวณภาระความร้อนจาก Equipments แสดงอยู่ในรูปที่ 18

ตารางที่ 14: Representative Rates at Which Heat and Moisture are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat	Latent Heat	% Sensible Heat that is Radiant <sup>c</sup>	
		Adult	Adjusted, M/F <sup>a</sup>			W	W
		Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant <sup>f</sup>	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling <sup>d</sup>	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:

1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, the total heat remains the same, but the sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and the latent heat values increased accordingly.
2. Also refer to Table 4, Chapter 8, for additional rates of metabolic heat generation.
3. All values are rounded to nearest 5 W.
- <sup>a</sup>Adjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, with the postulate that the gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and that the gain from a child is 75% of that for an adult male.
- <sup>b</sup>Values approximated from data in Table 6, Chapter 8, where V is air velocity with limits shown in that table.
- <sup>c</sup>Adjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).
- <sup>d</sup>Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

ที่มา : ASHRAE Handbook, Fundamental Volume, SI, 2005

9. การคำนวณภาระความร้อนจากอากาศภายนอกด้วยวิธี RTS

ภาระความร้อนในส่วนนี้ไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนเหมือนของผนัง และหน้าต่าง Heat Gain ทั้งหมดสามารถหาได้จากสูตรตามปกติทั่วไปคือ

$$q_s = 1.23 Q \Delta t \tag{8}$$

และ  $q_l = 3010 Q \Delta W \tag{9}$

โดยที่  $q_s$  = Sensible heat gain, Watt

$q_l$  = Latent heat gain, Watt

$Q$  = Outside air flow rate, L/s

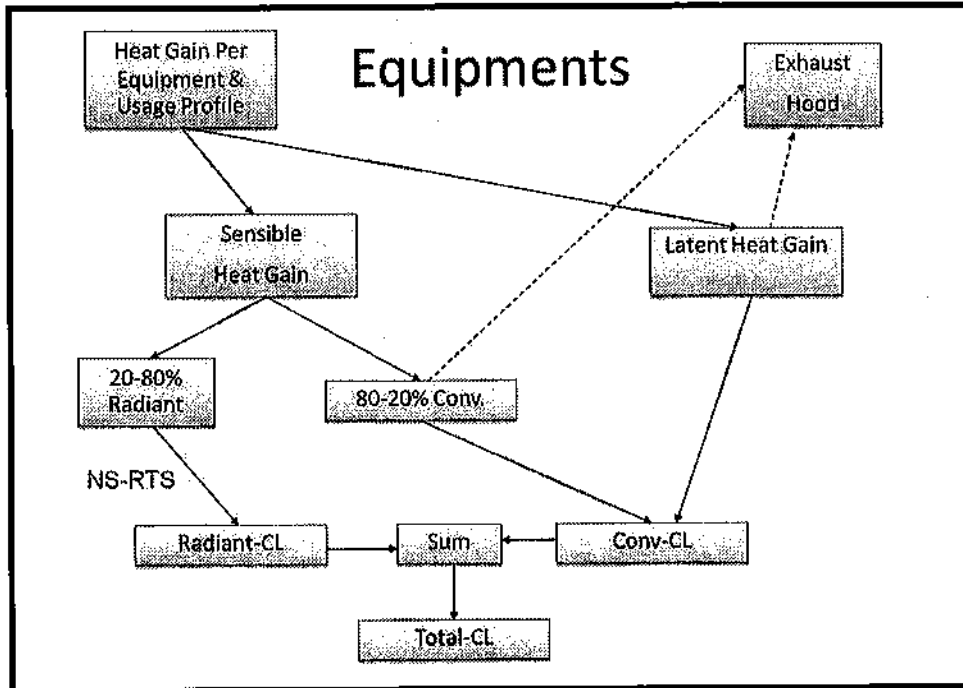
$\Delta t$  = Different between inside and outside temperature, K

$\Delta W$  = Different between inside and outside umidity ratio

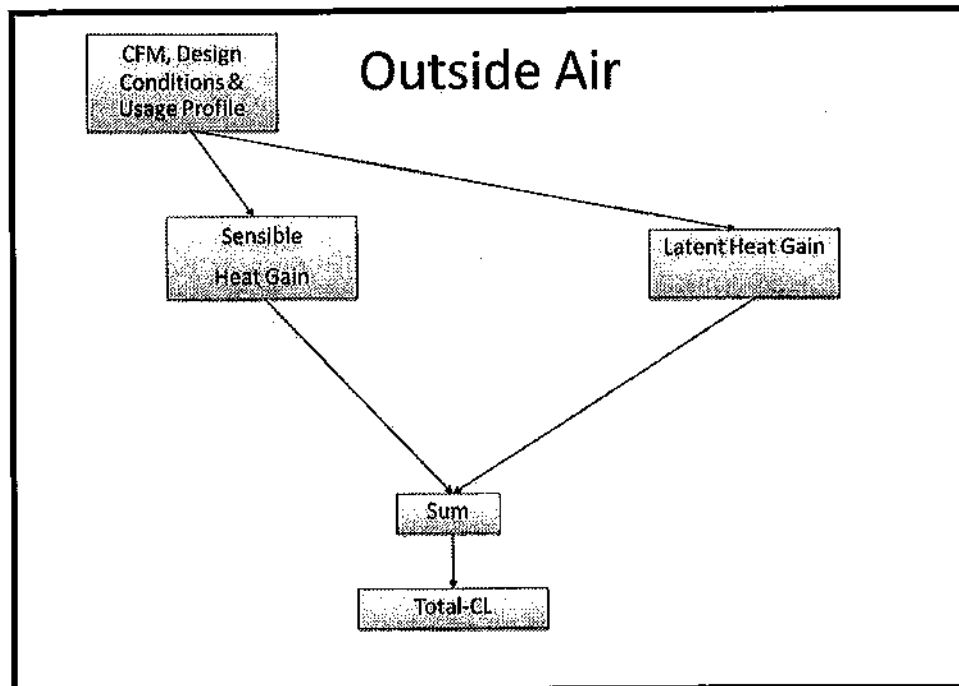


โดยที่ Heat Gain ทั้งสองส่วนนั้นจะกลายเป็น Space Cooling Load เลยในทันที (ไม่มี Time-delay Effect)

Schematic Diagram แสดงภาพรวมของการคำนวณดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่ 19



รูปที่ 18: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากอุปกรณ์



รูปที่ 19: Schematic Diagram แสดงขั้นตอนการคำนวณภาระความร้อนจากอากาศภายนอก

## 10. สรุป

Radiant Time Series Method เป็นวิธีการใหม่ที่ ASHRAE กำหนดให้ใช้แทน Simplified Method อื่น ๆ ทั้งหมด วิธีการนี้เริ่มใช้อย่างเป็นทางการในสหรัฐอเมริกาในราวปี ค.ศ.2005 (ราว 5 ปีก่อน) และคาดว่าจะค่อย ๆ ได้รับความนิยมนำมาใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบัน วิธี RTS นี้เป็น Non-heat-balance Method อันเดียวที่เหลืออยู่ และจะเป็นวิธีการเดียวที่จะทำให้วิศวกร หรือผู้ใช้งาน สามารถเข้าใจและเห็นภาพกลไก การถ่ายเทความร้อน ในแต่ละ Component ได้อย่างชัดเจน (ชัดเจนกว่าวิธี CLTD/CLF เป็นอย่างมาก) และมีความเหมาะสมต่อไปที่จะใช้ฝึกหัด การคำนวณภาระความร้อน

วิธี CLTD/CLF ที่ใช้กันอยู่มาเป็นเวลานาน (ประมาณ 30 ปีแล้ว) ก็ยังคงสามารถใช้ได้อยู่ แต่ก็คงค่อย ๆ หายไป เนื่องจากข้อมูลใหม่ ๆ ที่ออกมาสนับสนุนการคำนวณภาระความร้อนต่อไป คงออกไปในทางของวิธี RTS ทั้งหมด ในอนาคตวิธีการคำนวณภาระความร้อนจะเหลืออยู่เพียง 2 วิธีเท่านั้นคือ

- ก) Heat Balance Method
- ข) Radiant Time Series Method

ผู้เริ่มฝึกหัดการคำนวณทุกคน คงหนีไม่พ้นที่จะต้องเรียนรู้วิธี RTS หลังจากที่มีความชำนาญแล้ว จึงค่อยใช้ทั้งสองวิธีควบคู่กันไป

วิธี RTS นี้ไม่สามารถทำการคำนวณด้วยมือได้ เนื่องจากค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และจะกินเวลามาก การคำนวณจริง ๆ โดยทั่วไป อย่างน้อยควรทำใน Spread Sheet Program ในอนาคตผู้เขียนคาดว่าน่าจะมี Computer Program ที่ใช้คำนวณภาระความร้อนด้วยวิธี RTS นี้ออกมาให้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ในขณะนี้หากท่านผู้อ่านท่านใดมีความประสงค์จะทดลองทำการคำนวณภาระความร้อนด้วยวิธีนี้ก็สามารที่จะ Download โปรแกรม ที่ใช้สำหรับการเรียนการสอน และวิจัยในเรื่องนี้ ของผู้เขียนได้จาก [www.pioneer.chula.ac.th/~mtul/](http://www.pioneer.chula.ac.th/~mtul/)

## 11. เอกสารอ้างอิง

ASHRAE Handbook, Fundamentals. 2005. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Bliss, R.J.V. 1961. Atmospheric radiation near the surface of the ground. Solar Energy 5(3):103.

Hosni, M.H., B.W. Jones, and H. Xu. 1999. Experimental results for heat gain and radiant/convective split from equipment in buildings. ASHRAE Transactions 105(2):527-539.

Pedersen, C.O., D.E. Fisher, J.D. Spitler, and R.J. Liesen. 1998. Cooling and heating load calculation principles. ASHRAE.

Rudoy, W., and F. Duran. 1975. Development of an Improved Cooling Load Calculation Method. ASHRAE Transactions 81(2): 19-69.