

การประมาณราคาก่อสร้าง (Bill Of Quantity) ประมาณราคาโดย : ผู้วิจัย วันที่ 10/02/2006
 โครงการ : บ้านพักอาศัย 2 ชั้น (คอนกรีตเสริมเหล็ก) โครงสร้าง : โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
 เจ้าของ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา/หน่วย (บาท)		ราคารวม ต่อหน่วย	ราคารวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง		
1	หมวดงานเตรียมการ น้ำไฟชั่วคราว บ้านพักคนงาน เบ็ดเตล็ด					20,000
	รวมหมวดงานเตรียมการ					20,000
2	หมวดงานโครงสร้าง งาน คสล. งานโครงสร้างเหล็ก (หลังคา)					352,743 71,668
	รวมหมวดงานโครงสร้าง					424,411
3	หมวดงานหลังคา แปเหล็กชุบสังกะสีซีแพคพร้อมอุปกรณ์เจาะยึด กระเบื้องมุงหลังคาซีแพค สีเทาผิวเรียบ โครงหลังคาชั้นล่าง กั้นสาด โครงเหล็กชุบสังกะสี เชิงชายไม้แดง 1"x8" + 1"x6" ปิดนก ซีแพค ตะเภารางสแตนเลสซีแพค ครอบข้าง ครอบสันโค้ง ครอบหางมน ครอบโค้งผนัง พร้อมอุปกรณ์ ครอบปิดชาย แผ่นสะท้อนความร้อนซีแพค	250 ท่อน 280 ตรม. 25 ม. 120 ม. 120 ม. 10 ม. 64 ตัว 220 ตัว 5 ตัว 98 ตัว 14 ตัว 280 ตรม.	140 140 - 450 40 400 25 39 39 25 31 65	60 60 - 50 - - - - - - - 20	200.00 200.00 700.00 500.00 40.00 400.00 25.00 39.00 39.00 25.00 31.00 85.00	50,000 56,000 17,500 60,000 4,800 4,000 1,600 8,580 195 2,450 434 23,800
	รวมหมวดงานหลังคา					229,359
4	หมวดงานตกแต่งพื้น - พ1 หินแกรนิต 60x60 ซม. - พ2 ปาร์เก้ไม้มะค่า 2"x12" (3A) - พ3 กระเบื้องเซรามิค - พ4 ทราวล้างเบอร์ 4 สีสรรชาติ - พ5 คอนกรีตขัดหยาบ	49 ตรม. 91 ตรม. 50 ตรม. 11 ตรม. 52 ตรม.	745 750 350 150 100	200 200 150 120 120	945.00 950.00 500.00 270.00 220.00	46,305 86,450 25,000 2,970 11,440
	รวมหมวดงานตกแต่งพื้น					172,165

การประมาณราคาค่าก่อสร้าง (Bill Of Quantity)

ประมาณราคาโดย : ผู้วิจัย

วันที่ 10/02/2006

โครงการ : บ้านพักอาศัย 2 ชั้น (คอนกรีตเสริมเหล็ก)

โครงสร้าง : โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

เจ้าของ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา/หน่วย (บาท)		ราคารวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
5	หมวดงานตกแต่งผนัง				
- ผ3 กระเบื้องเซรามิค	78 ตรม.	350	120	470.00	36,660
- ผ4 ทราบดีล้าง	65 ม.	150	120	270.00	17,550
- ผ5 กัลดาบฉีก	65 ก้อน	80	20	100.00	6,500
- ผ6 ฝาน้ำเซอร่า	10 ตรม.	188	100	288.00	2,851
- ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูน (รวมเสาเอ็น ทับหลัง)	384 ตรม.	350	180	530.00	203,520
	รวมงานตกแต่งผนัง				267,081
6	หมวดงานฉนวนกันความร้อน (ผนังและหลังคา)				
- ฝ้าเพดาน: โฟมบอร์ดหนา 2" อลูมิเนียมฟอยด์ 1 ด้าน	106 ตรม.	162	20	182.00	19,292
	รวมงานฉนวนกันความร้อน				19,292
7	หมวดงานออกแบบตงฝ้าเพดาน				
- ผ1 ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. ชนิดธรรมดา โครงเหล็ก	177 ตรม.	200	100	300.00	53,130
- ฝ้าสังกะสี	56 ตรม.	220	100	320.00	17,952
- ผ2 ยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม. ชนิดกั้นชั้น โครงเหล็ก	136 ตรม.	350	100	450.00	61,200
- ฝ้า3 ฝ้าเพดานไม้แฉง 1/2" x 3" โครงไม้เนื้อแข็ง 1.5"x 3"					
- 3" เว้นร่องรูตาข่ายกันแมลง					
	รวมงานออกแบบตงฝ้าเพดาน				132,282
8	หมวดงานประตุนั้นหน้าต่าง				
- น1	8 ชุด	2,800	300	3,100.00	24,800
- น2	7 ชุด	5,000	300	5,300.00	37,100
- น3	3 ชุด	5,000	300	5,300.00	15,900
- น4	3 ชุด	2,800	300	3,100.00	9,300
- น5	5 ชุด	2,800	300	3,100.00	15,500
- น6	1 ชุด	7,500	300	7,800.00	7,800
- น7	1 ชุด	5,000	300	5,300.00	5,300
- น8	1 ชุด	10,000	500	10,500.00	10,500
- น9	1 ชุด	8,000	500	8,500.00	8,500
- ป1	6 ชุด	6,000	500	6,500.00	39,000
- ป1'	3 ชุด	6,500	500	7,000.00	21,000
- ป2	2 ชุด	12,000	1,000	13,000.00	26,000
- ป3	1 ชุด	9,000	1,000	10,000.00	10,000
- ป4	1 ชุด	6,000	500	6,500.00	6,500

การประมาณราคาค่าก่อสร้าง (Bill Of Quantity)

ประมาณราคาโดย : ผู้วิจัย
 วันที่ 10/02/2006

โครงการ : บ้านพักอาศัย 2 ชั้น (คอนกรีตเสริมเหล็ก)
 โครงสร้าง : โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

เจ้าของ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา/หน่วย (บาท)		ราคารวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง	
11	หมวดงานทาสี (ICI หรือเทียบเท่า)				
	- สีพลาสติกอคริลิกทาภายนอก	210 ตร.ม.	-	-	60.00
	- สีรองพื้นปูนใหม่	560 ตร.ม.	-	-	50.00
	- สีพลาสติกาภายใน	360 ตร.ม.	-	-	40.00
	- สีนํานําทาไม้	90 ตร.ม.	-	-	70.00
	- สีทากันสนิมเหล็กโครงหลังคาดีสาด	1 งาน	-	-	2,500.00
	- งานขัดและทาสียูรีเทนย้อมพื้นไม้ (4 เทีย)	91 ตร.ม.	-	-	250.00
	รวมงานทาสี				86,150
12	หมวดงานบัวพื้น-บัวฝ้าเพดาน				
	- บัวพื้นไม้เนื้อแข็ง 1/2" x 4"	104 ม.	150	100	250.00
	- บัวฝ้าเพดานไม้เนื้อแข็ง 1/2"x 2"	120 ม.	100	120	220.00
	รวมงานบัวพื้น-บัวฝ้าเพดาน				52,400
13	หมวดงานระบบไฟฟ้า (สายไฟ/เดินท่อ PVC มาตรฐาน มอก. ฝังในผนัง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใช้ National Wide Series ขาว)	เจ้าของจัดหา			
	- ขดเคเบิลไฟฟ้า 30 A (3 เฟส)	30 ม.	100	-	100.00
	- สายเมนไฟฟ้าเข้าตู้ LDP (35 Sq.mm.) ฝั่งท่อ	1 งาน	-	10,000	10,000.00
	- อุปกรณ์อื่นๆ เช่น วายเวย์ ฯลฯ และค่าแรง	1 ชุด	12,000	2,000	14,000.00
	- ตู้ LDP พร้อม Circuit Breaker 24 ช่อง	29 ชุด	200	550	750.00
	- ปลั๊กคู่	1 ชุด	450	550	1,000.00
	- กระดิ่ง	1 ชุด	450	550	1,000.00
	- โคมไฟดาวนไลท์	41 ชุด	350	550	900.00
	- โคมไฟฟลูออเรสเซนท์ขาตั้ง	5 ชุด	170	550	720.00
	- โคมไฟรีเฟลค	13 ชุด	850	550	1,400.00
	- โคมไฟกิ่ง	1 ชุด	450	550	1,000.00
	- โคมไฟช้อ	3 ชุด	-	550	550.00
	- ไฟก๊วยนอก	5 ชุด	650	800	1,450.00
	- เครื่องทำน้ำอุ่น (เดินเฉพาะสายไฟ THW 6 sq.mm.)	3 ชุด	-	800	800.00
	- เมน AVC (เดินเฉพาะสายไฟ THW 6 sq.mm.)	5 ชุด	650	850	1,500.00
	- เต้ารับโทรทัศน์ 4C	7 ชุด	200	550	750.00
	- เต้ารับโทรทัศน์ (สาย UBC)	7 ชุด	-	800	800.00
	รวมงานระบบไฟฟ้า				139,100

การประมาณราคาก่อสร้าง (Bill Of Quantity) ประมาณราคาโดย : ผู้วิจัย วันที่ 10/02/2006

โครงการ : บ้านพักอาศัย 2 ชั้น (คอนกรีตเสริมเหล็ก) โครงสร้าง : โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

เจ้าของ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา/หน่วย (บาท)		ราคารวม ต่อหน่วย	ราคารวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง		
14	หมวดงานระบบสุขาภิบาล					
	งานท่อน้ำ					
	- CW R.3/4" PVC 13.5					
	- CW R.1/2" PVC 13.6					
	- HW R.1/2" COPPER					
	- S - R.4" PVC 8.5					
	- W - R.3" PVC 8.5					
	- W - R.2" PVC 8.5	1				35,000
	- V - R. 2" PVC 8.5					
	อุปกรณ์ / ข้อต่อ ข้องอ					
	- / FCO.					
	- CO.					
	- SCREEN CAP					
	งานระบบระบายน้ำอาคาร					
	- ท่อซีเมนต์ใยหิน 8"	40	m.	-	-	400.00
	- บ่อพักระบบระบายน้ำย่อย	8	ชุด	-	-	1,000.00
	- บ่อบำบัดสำเร็จรูป 2-3 คน	1	ชุด	10,000	1,500	11,500.00
	- บ่อบำบัดสำเร็จรูป 3-4 คน	1	ชุด	8,000	1,500	9,500.00
	- ถังตกไขมัน COTTO- CDGT50	1	ชุด	3,500	300	3,800.00
	- มิเตอร์น้ำประปา 3/4"	1	ชุด	600	300	900.00
	- ถังเก็บน้ำดแทนเลส 1500 ลิตร	1	ชุด	7,500	1,500	9,000.00
	- ปั๊มน้ำอัตโนมัติ Mischubishi WP 255	1	ชุด	6,500	1,500	8,000.00
	(รวมลูกดอยและต่อท่อแบบ BYPASS)					
	รวมงานระบบสุขาภิบาล					101,700
ระบบรายการงานอื่นๆ ที่ไม่มีในเงื่อนไข รายการประกอบแบบและแบบแต่ไม่มีรายการปรากฏอยู่ใน BOQ นี้						
ราคานี้ไม่รวม						
ช่างล้างงาน เสาแเก้ง เพื่อรีโมเตอร์งานขอมอเตอร์ไฟ						

การประมาณราคาค่าก่อสร้าง (Bill Of Quantity) ประมาณราคาโดย : ผู้วิจัย วันที่ 10/02/2006
 โครงการ : บ้านพักอาศัย 2 ชั้น โครงสร้าง : โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
 เจ้าของ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา/หน่วย (บาท)		ราคารวม (บาท)	
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง		
	โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก					
1	งานฐานราก/เสาตอม่อ				144,180	
2	งานพื้นชั้นล่าง				111,804	
3	งานโครงสร้างผนังชั้นล่าง				-	
4	งานโครงสร้างพื้นชั้นบน				96,759	
5	งานโครงสร้างผนังชั้นบน				-	
6	งานโครงสร้างหลังคา				71,668	
	รวมค่าวัสดุ+ค่าแรง				424,411	
	ค่าดำเนินการ+กำไร+ภาษี				101,859	
	รวมทั้งสิ้น	24%			526,270	
1	งานฐานราก/เสาตอม่อ					
1.1	ฐานราก					
-	คอนกรีตโครงสร้าง	1.63 ลบ.ม.	1,800	300	2,100	3,423
-	เหล็กเสริมคอนกรีต d = 12 มม.	193 กก.	18	4	22	4,157
-	ไม้แบบ	12.7 ตร.ม.	150	80	230	2,921
-	คอนกรีตหยาบ	0.3 ลบ.ม.	1,600	300	1,900	570
-	ทรายหยาบ	0.6 ลบ.ม.	400	60	460	276
-	เสาเข็มคอนกรีต I- 0.22x0.22x16.00 ม.	27 ต้น	2,400	1,200	3,600	97,200
-	งานชุดดิน	4 ลบ.ม.	-	100	100	400
1.2	เสาตอม่อ					
-	คอนกรีตโครงสร้าง	0.31 ลบ.ม.	1,800	300	2,100	651
-	เหล็กเสริมคอนกรีต d = 6 มม.	30 กก.	20	4	24	720
-	เหล็กเสริมคอนกรีต d = 16 มม	87 กก.	18	4	22	1,874
-	ไม้แบบ	5.3 ตร.ม.	150	80	230	1,219
1.3	เสาคอนกรีต					
-	คอนกรีตโครงสร้าง	5.34 ลบ.ม.	1,800	300	2,100	11,206
-	เหล็กเสริมคอนกรีต d = 6 มม.	7.34 กก.	20	4	24	176
-	เหล็กเสริมคอนกรีต d = 16 มม	843.09 กก.	18	4	22	18,160
-	ไม้แบบ	5.336 ตร.ม.	150	80	230	1,227
	รวม					144,180

การประมาณราคาตัวก่อสร้าง (Bill Of Quantity) ประมาณราคาโดย : ผู้วิจัย วันที่ 10/02/2006
 โครงการ : บ้านพักอาศัย 2 ชั้น โครงสร้าง : โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

เจ้าของ ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ที่พัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทย

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา/หน่วย (บาท)		ราคารวม ต่อหน่วย	ราคารวม (บาท)
			ค่าวัสดุ	ค่าแรง		
2	งานพื้นชั้นล่าง					
	- พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	101 ตรม.	220	30	250	25,250
	- คอนกรีตโครงสร้าง	13.85 ลบ.ม.	1,800	300	2,100	29,085
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 6 มม.	490 กก.	20	4	24	11,760
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 9 มม.	180 กก.	19	4	23	4,140
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 12 มม.	212 กก.	18	4	22	4,664
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 16 มม.	215 กก.	17	4	21	4,597
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 20 มม.	217 กก.	17	4	21	4,639
	- ไม้แบบ	120.3 ตรม.	150	80	230	27,669
	รวม					111,804
3	งานโครงสร้างผนังชั้นล่าง					
	รวม					
4	งานโครงสร้างพื้นชั้นบน					
	- พื้นคอนกรีตสำเร็จรูป	108.9 ตรม.	220	30	250	27,225
	- คอนกรีตโครงสร้าง	5.75 ลบ.ม.	1,800	300	2,100	12,065
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 6 มม.	490 กก.	20	4	24	11,760
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 9 มม.	180 กก.	19	4	23	4,140
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 12 มม.	212 กก.	18	4	22	4,664
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 16 มม.	215 กก.	17	4	21	4,597
	- เหล็กเสริมคอนกรีต d = 20 มม.	217 กก.	17	4	21	4,639
	- ไม้แบบ	120.3 ตรม.	150	80	230	27,669
	รวม					96,759
5	งานโครงสร้างผนังชั้นบน					
	รวม					
6	งานโครงสร้างหลังคา					
	รวม					
6.1	ฝ้าฉอดรถ					
	- โครงเหล็กชุบสังกะสี C - 92x45x0.8	66 ม.	56	23	79	5,214
6.2	อาคารหลัก					
	- โครงเหล็กชุบสังกะสี C - 200x50x1.0	9 ม.	105	43	148	1,332
	- โครงเหล็กชุบสังกะสี C - 125x45x0.8	343 ม.	62	25	87	29,841
	- โครงเหล็กชุบสังกะสี U - 125x45x0.7	233 ม.	46	19	65	15,145
	- โครงเหล็กชุบสังกะสี L - 75x35x0.7	364 ม.	24	10	34	12,376
	- แผ่นเหล็กชุบสังกะสี #18	194 แผ่น	-	-	40	7,760
	รวม					71,668

ภาคผนวก ข
ผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

ตารางที่ 1 รายละเอียดของผนังภายนอก พื้น ฝ้าเพดาน และหลังคา ของบ้านที่ทำการศึกษา

รหัส	บ้านโครงสร้าง	ผนัง	หลังคา	ฝ้าเพดาน	พื้น
W_01	ไม้	ไม้แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_02	ไม้	ไม้แบบที่ 2	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_03	ไม้	ไม้แบบที่ 3	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_04	ไม้	ไม้แบบที่ 4	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_05	ไม้	ไม้แบบที่ 5	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_06	ไม้	ไม้แบบที่ 6	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_07	ไม้	ไม้แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 2	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_08	ไม้	ไม้แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 3	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_09	ไม้	ไม้แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 4	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1
W_10	ไม้	ไม้แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 2	ไม้แบบที่ 1
W_11	ไม้	ไม้แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 1	แบบที่ 1	ไม้แบบที่ 2
W_12	ไม้	ไม้แบบที่ 2	ไม้แบบที่ 2	แบบที่ 2	ไม้แบบที่ 1
S_01	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_02	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 2	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_03	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 3	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_04	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 4	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_05	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 5	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_06	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 6	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_07	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 2	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_08	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 3	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_09	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 4	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1
S_10	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 2	เหล็กแบบที่ 1
S_11	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	เหล็กแบบที่ 2
S_12	เหล็ก	เหล็กแบบที่ 3	เหล็กแบบที่ 2	แบบที่ 2	เหล็กแบบที่ 1
C_01	ก.ส.ล.	ก่ออิฐฉาบปูน	เหล็กแบบที่ 1	แบบที่ 1	ก.ส.ล.
C_02	ก.ส.ล.	ก่ออิฐฉาบปูน	เหล็กแบบที่ 2	แบบที่ 2	ก.ส.ล.

หมายเหตุ: รหัส W_01, S_01, และ C_01 คือ บ้านโครงสร้างไม้ต้นแบบ บ้านโครงสร้างเหล็กต้นแบบ และบ้านโครงสร้างคอนกรีตต้นแบบ ก่อนที่จะทำการปรับเปลี่ยนวัสดุ

รหัส W_12 และ S_12 คือ บ้านโครงสร้างไม้ และบ้านโครงสร้างเหล็ก ที่ใช้ผนัง หลังคา ฝ้าเพดาน และ พื้น ตามที่ออกแบบในงานวิจัยของจริญพัฒน์และคณะ (2547), C_02 คือ บ้านโครงสร้างคอนกรีตผนังก่ออิฐ ที่ใช้ฝ้าเพดาน และ หลังคา เหมือน S_12

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างไม้ (ปรับอากาศตามปกติ)

เดือน	C_01	W_01	W_02	W_03	W_04	W_05	W_06	W_07	W_08	W_09	W_10	W_11	W_12	C_02
	คอนกรีต 1	ไม้ ถับนุ่น	ไม้ หนัอง 2	ไม้ หนัอง 3	ไม้ หนัอง 4	ไม้ หนัอง 5	ไม้ หนัอง 6	ไม้ หลังคา 2	ไม้ หลังคา 3	ไม้ หลังคา 4	ไม้ ฝ้า 2	ไม้ พื้น 2	ไม้ รับน้ำ	คอนกรีต 2
มกราคม	1,121	1,033	1,062	1,064	1,067	1,078	1,069	1,070	1,081	1,074	1,050	1,012	1,100	1,136
กุมภาพันธ์	1,110	1,000	1,034	1,036	1,040	1,053	1,043	1,037	1,049	1,041	1,016	979	1,067	1,119
มีนาคม	1,460	1,290	1,326	1,332	1,334	1,355	1,338	1,326	1,344	1,331	1,300	1,261	1,349	1,457
เมษายน	1,555	1,371	1,391	1,400	1,397	1,423	1,402	1,401	1,417	1,404	1,375	1,342	1,399	1,545
พฤษภาคม	1,485	1,319	1,342	1,351	1,349	1,373	1,353	1,350	1,365	1,362	1,326	1,292	1,356	1,478
มิถุนายน	1,437	1,286	1,310	1,316	1,316	1,338	1,320	1,313	1,328	1,315	1,292	1,280	1,323	1,433
กรกฎาคม	1,368	1,232	1,258	1,264	1,265	1,284	1,269	1,262	1,276	1,264	1,238	1,207	1,277	1,365
สิงหาคม	1,219	1,108	1,141	1,145	1,148	1,163	1,152	1,146	1,157	1,149	1,126	1,102	1,067	1,229
กันยายน	1,197	1,087	1,123	1,126	1,130	1,145	1,134	1,123	1,136	1,126	1,102	1,086	1,176	1,202
ตุลาคม	1,232	1,114	1,150	1,153	1,157	1,171	1,162	1,155	1,166	1,158	1,134	1,093	1,188	1,242
พฤศจิกายน	1,147	1,035	1,070	1,073	1,077	1,090	1,081	1,075	1,086	1,079	1,056	1,014	1,112	1,162
ธันวาคม	1,001	938	966	967	971	979	973	971	981	975	953	919	1,006	1,017
รวม	15,332	13,814	14,172	14,227	14,255	14,452	14,296	14,230	14,384	14,269	13,967	13,533	14,506	15,384

ตารางที่ 3 ค่าไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างไม้ (ปรับอากาศตามปกติ)

เดือน	C_01	W_01	W_02	W_03	W_04	W_05	W_06	W_07	W_08	W_09	W_10	W_11	W_12	C_02
	คอนกรีต 1	ไม้ ถับนุ่น	ไม้ หนัอง 2	ไม้ หนัอง 3	ไม้ หนัอง 4	ไม้ หนัอง 5	ไม้ หนัอง 6	ไม้ หลังคา 2	ไม้ หลังคา 3	ไม้ หลังคา 4	ไม้ ฝ้า 2	ไม้ พื้น 2	ไม้ รับน้ำ	คอนกรีต 2
มกราคม	4,055	3,724	3,832	3,840	3,851	3,884	3,856	3,863	3,906	3,879	3,786	3,643	3,978	4,110
กุมภาพันธ์	4,016	3,598	3,725	3,735	3,750	3,799	3,762	3,738	3,781	3,753	3,659	3,516	3,851	4,050
มีนาคม	5,343	4,699	4,833	4,857	4,865	4,943	4,890	4,841	4,902	4,853	4,735	4,588	4,921	5,333
เมษายน	5,702	5,006	5,080	5,116	5,105	5,202	5,122	5,119	5,180	5,129	5,021	4,895	5,112	5,665
พฤษภาคม	5,436	4,807	4,894	4,927	4,922	5,012	4,938	4,924	4,981	4,934	4,833	4,706	4,949	5,410
มิถุนายน	5,257	4,692	4,772	4,798	4,798	4,878	4,812	4,786	4,840	4,793	4,704	4,585	4,823	5,239
กรกฎาคม	4,993	4,476	4,577	4,600	4,604	4,677	4,619	4,591	4,643	4,600	4,502	4,384	4,648	4,981
สิงหาคม	4,430	4,005	4,132	4,146	4,160	4,215	4,175	4,149	4,194	4,162	4,076	3,925	4,286	4,465
กันยายน	4,345	3,926	4,062	4,076	4,092	4,146	4,107	4,063	4,112	4,075	3,986	3,849	4,179	4,363
ตุลาคม	4,476	4,030	4,165	4,177	4,194	4,247	4,210	4,184	4,227	4,198	4,105	3,950	4,309	4,514
พฤศจิกายน	4,157	3,730	3,864	3,873	3,891	3,939	3,903	3,881	3,922	3,896	3,805	3,649	4,020	4,214
ธันวาคม	3,599	3,364	3,470	3,473	3,489	3,519	3,494	3,488	3,523	3,501	3,417	3,291	3,620	3,663
รวม	55,809	50,047	51,406	51,617	51,721	52,470	51,879	51,627	52,211	51,774	50,628	48,982	52,676	56,006

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างเหล็ก (ปรับอากาศตามปกติ)

เดือน	C_01	S_01	S_02	S_03	S_04	S_05	S_06	S_07	S_08	S_09	S_10	S_11	S_12	C_02
	คอนกรีต 1	เหล็ก คันทัน	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 4	เหล็ก คันทัน 5	เหล็ก คันทัน 6	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 4	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 2	คอนกรีต 2
มกราคม	1,121	1,018	1,041	1,047	1,053	1,063	1,059	1,050	1,062	1,065	1,035	1,002	1,094	1,135
กุมภาพันธ์	1,110	982	1,009	1,015	1,023	1,034	1,030	1,014	1,025	1,029	999	967	1,051	1,119
มีนาคม	1,460	1,266	1,294	1,303	1,317	1,329	1,321	1,300	1,316	1,317	1,279	1,245	1,332	1,457
เมษายน	1,555	1,350	1,364	1,372	1,375	1,398	1,386	1,378	1,392	1,392	1,356	1,328	1,389	1,545
พฤษภาคม	1,485	1,298	1,315	1,324	1,327	1,348	1,338	1,327	1,340	1,341	1,307	1,278	1,344	1,478
มิถุนายน	1,437	1,265	1,283	1,291	1,295	1,314	1,306	1,293	1,304	1,304	1,274	1,247	1,310	1,433
กรกฎาคม	1,368	1,212	1,233	1,240	1,246	1,262	1,255	1,241	1,253	1,254	1,221	1,194	1,263	1,365
สิงหาคม	1,219	1,088	1,115	1,122	1,129	1,142	1,138	1,122	1,131	1,137	1,109	1,073	1,160	1,229
กันยายน	1,197	1,067	1,096	1,103	1,111	1,123	1,120	1,100	1,110	1,115	1,085	1,053	1,136	1,202
ตุลาคม	1,232	1,094	1,123	1,129	1,137	1,150	1,147	1,131	1,140	1,146	1,117	1,079	1,169	1,242
พฤศจิกายน	1,147	1,016	1,044	1,051	1,059	1,070	1,067	1,051	1,060	1,066	1,037	1,001	1,092	1,162
ธันวาคม	1,001	927	948	953	959	967	964	955	964	967	941	912	989	1,017
รวม	15,332	13,583	13,867	13,949	14,025	14,201	14,132	13,962	14,096	14,133	13,760	13,379	14,319	15,384

ตารางที่ 5 ค่าไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างเหล็ก (ปรับอากาศตามปกติ)

เดือน	C_01	S_01	S_02	S_03	S_04	S_05	S_06	S_07	S_08	S_09	S_10	S_11	S_12	C_02
	คอนกรีต 1	เหล็ก คันทัน	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 4	เหล็ก คันทัน 5	เหล็ก คันทัน 6	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 4	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 2	คอนกรีต 2
มกราคม	4,055	3,667	3,754	3,774	3,798	3,836	3,821	3,785	3,831	3,843	3,732	3,605	3,915	4,110
กุมภาพันธ์	4,016	3,529	3,632	3,655	3,683	3,727	3,713	3,652	3,694	3,708	3,595	3,470	3,792	4,050
มีนาคม	5,343	4,607	4,715	4,746	4,775	4,845	4,817	4,736	4,798	4,800	4,654	4,527	4,858	5,333
เมษายน	5,702	4,925	4,979	5,010	5,021	5,106	5,063	5,033	5,086	5,083	4,947	4,842	5,072	5,665
พฤษภาคม	5,436	4,726	4,794	4,825	4,839	4,917	4,880	4,837	4,886	4,890	4,761	4,651	4,903	5,410
มิถุนายน	5,257	4,603	4,673	4,701	4,718	4,787	4,757	4,707	4,750	4,752	4,637	4,534	4,773	5,239
กรกฎาคม	4,993	4,401	4,482	4,508	4,529	4,592	4,564	4,512	4,556	4,560	4,436	4,333	4,595	4,981
สิงหาคม	4,430	3,930	4,034	4,059	4,088	4,137	4,121	4,060	4,093	4,117	4,009	3,876	4,204	4,465
กันยายน	4,345	3,851	3,960	3,986	4,017	4,066	4,052	3,977	4,013	4,033	3,919	3,789	4,113	4,363
ตุลาคม	4,476	3,954	4,062	4,088	4,119	4,167	4,154	4,095	4,128	4,152	4,039	3,896	4,240	4,514
พฤศจิกายน	4,157	3,660	3,766	3,789	3,820	3,864	3,852	3,791	3,824	3,848	3,739	3,602	3,948	4,214
ธันวาคม	3,599	3,319	3,401	3,418	3,443	3,472	3,462	3,425	3,460	3,472	3,374	3,262	3,554	3,683
รวม	55,809	49,171	50,251	50,560	50,850	51,516	51,256	50,611	51,117	51,258	49,842	48,397	51,966	56,006

ตารางที่ 6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างไม้ (ปรับอากาศ 24 ชั่วโมง)

เดือน	C_01	W_01	W_02	W_03	W_04	W_05	W_06	W_07	W_08	W_09	W_10	W_11	W_12	C_02
	คอนกรีต 1	ไม้ คับบน	ไม้ หลัง 2	ไม้ หลัง 3	ไม้ หลัง 4	ไม้ หลัง 5	ไม้ หลัง 6	ไม้ หลังคา 2	ไม้ หลังคา 3	ไม้ หลังคา 4	ไม้ ฝ้า 2	ไม้ พื้น 2	ไม้ รั้ว 2	คอนกรีต 2
มกราคม	1,750	1,701	1,623	1,634	1,615	1,628	1,613	1,641	1,659	1,632	1,611	1,673	1,528	1,691
กุมภาพันธ์	1,791	1,697	1,620	1,634	1,614	1,631	1,614	1,633	1,653	1,622	1,603	1,665	1,512	1,716
มีนาคม	2,484	2,317	2,185	2,209	2,174	2,206	2,174	2,200	2,229	2,181	2,162	2,270	1,991	2,345
เมษายน	2,667	2,463	2,299	2,331	2,286	2,328	2,286	2,335	2,366	2,317	2,300	2,413	2,085	2,515
พฤษภาคม	2,527	2,348	2,201	2,230	2,190	2,228	2,190	2,233	2,263	2,216	2,200	2,302	2,006	2,389
มิถุนายน	2,439	2,270	2,137	2,163	2,126	2,161	2,126	2,166	2,193	2,151	2,135	2,227	1,968	2,313
กรกฎาคม	2,244	2,103	1,990	2,013	1,982	2,011	1,982	2,017	2,042	2,004	1,985	2,063	1,840	2,137
สิงหาคม	1,991	1,888	1,799	1,817	1,792	1,815	1,793	1,824	1,845	1,814	1,794	1,853	1,685	1,909
กันยายน	1,967	1,870	1,784	1,801	1,777	1,799	1,778	1,799	1,822	1,787	1,769	1,837	1,659	1,877
ตุลาคม	1,990	1,881	1,803	1,818	1,797	1,818	1,798	1,825	1,846	1,815	1,794	1,846	1,698	1,914
พฤศจิกายน	1,858	1,766	1,688	1,701	1,681	1,699	1,681	1,707	1,727	1,697	1,675	1,734	1,585	1,790
ธันวาคม	1,525	1,513	1,450	1,457	1,443	1,450	1,440	1,461	1,476	1,452	1,432	1,489	1,371	1,477
รวม	25,230	23,817	22,580	22,808	22,479	22,774	22,474	22,841	23,121	22,688	22,460	23,371	20,917	24,073

ตารางที่ 7 ค่าไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างไม้ (ปรับอากาศ 24 ชั่วโมง)

เดือน	C_01	W_01	W_02	W_03	W_04	W_05	W_06	W_07	W_08	W_09	W_10	W_11	W_12	C_02
	คอนกรีต 1	ไม้ คับบน	ไม้ หลัง 2	ไม้ หลัง 3	ไม้ หลัง 4	ไม้ หลัง 5	ไม้ หลัง 6	ไม้ หลังคา 2	ไม้ หลังคา 3	ไม้ หลังคา 4	ไม้ ฝ้า 2	ไม้ พื้น 2	ไม้ รั้ว 2	คอนกรีต 2
มกราคม	6,444	6,257	5,961	6,002	5,931	5,980	5,924	6,031	6,097	5,994	5,916	6,150	5,604	6,221
กุมภาพันธ์	6,598	6,243	5,951	6,001	5,927	5,992	5,926	5,999	6,073	5,958	5,884	6,121	5,539	6,312
มีนาคม	9,226	8,593	8,094	8,186	8,054	8,174	8,052	8,149	8,261	8,090	8,005	8,416	7,356	8,702
เมษายน	9,921	9,147	8,528	8,648	8,479	8,636	8,478	8,663	8,781	8,596	8,532	8,957	7,714	9,345
พฤษภาคม	9,392	8,711	8,155	8,265	8,112	8,256	8,112	8,275	8,388	8,213	8,150	8,537	7,415	8,867
มิถุนายน	9,058	8,418	7,911	8,010	7,871	8,002	7,871	8,020	8,125	7,965	7,904	8,252	7,231	8,581
กรกฎาคม	8,317	7,782	7,355	7,440	7,323	7,433	7,323	7,455	7,552	7,406	7,335	7,630	6,785	7,913
สิงหาคม	7,356	6,966	6,629	6,696	6,604	6,690	6,604	6,723	6,805	6,684	6,611	6,834	6,195	7,048
กันยายน	7,265	6,898	6,571	6,636	6,547	6,631	6,548	6,629	6,715	6,584	6,514	6,772	6,098	6,924
ตุลาคม	7,352	6,941	6,643	6,703	6,622	6,700	6,624	6,728	6,807	6,689	6,610	6,809	6,244	7,065
พฤศจิกายน	6,853	6,505	6,207	6,259	6,182	6,249	6,180	6,281	6,355	6,240	6,159	6,394	5,818	6,593
ธันวาคม	5,588	5,543	5,305	5,332	5,277	5,306	5,258	5,347	5,405	5,311	5,237	5,452	5,006	5,406
รวม	93,369	88,004	83,311	84,177	82,929	84,049	82,910	84,301	85,365	83,721	82,858	86,312	77,003	88,978

ตารางที่ 8 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างเหล็ก (รับอากาศ 24 ชั่วโมง)

เดือน	C_01	S_01	S_02	S_03	S_04	S_05	S_06	S_07	S_08	S_09	S_10	S_11	S_12	C_02
	คอนกรีต คันทัน 1	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 4	เหล็ก คันทัน 5	เหล็ก คันทัน 6	เหล็ก หลังคา 2	เหล็ก หลังคา 3	เหล็ก หลังคา 4	เหล็ก ฝ้า 1 2	เหล็ก ฝ้า 2	เหล็ก ฝ้า 2	เหล็ก ฝ้า 3	คอนกรีต คันทัน 2
มกราคม	1,750	1,720	1,648	1,647	1,629	1,640	1,626	1,682	1,718	1,653	1,628	1,689	1,558	1,691
กุมภาพันธ์	1,791	1,712	1,642	1,642	1,624	1,638	1,624	1,670	1,707	1,642	1,616	1,679	1,543	1,716
มีนาคม	2,484	2,337	2,218	2,220	2,188	2,217	2,189	2,258	2,312	2,213	2,182	2,290	2,045	2,345
เมษายน	2,667	2,485	2,339	2,342	2,302	2,339	2,303	2,396	2,450	2,353	2,324	2,434	2,149	2,515
พฤษภาคม	2,927	2,368	2,237	2,240	2,203	2,237	2,205	2,289	2,340	2,249	2,221	2,322	2,065	2,389
มิถุนายน	2,439	2,289	2,170	2,172	2,139	2,169	2,140	2,216	2,264	2,181	2,154	2,245	2,011	2,313
กรกฎาคม	2,244	2,119	2,018	2,020	1,993	2,018	1,994	2,062	2,105	2,030	2,002	2,079	1,886	2,137
สิงหาคม	1,991	1,902	1,822	1,823	1,802	1,822	1,803	1,861	1,898	1,835	1,808	1,867	1,721	1,909
กันยายน	1,967	1,884	1,806	1,808	1,787	1,806	1,788	1,838	1,877	1,810	1,783	1,851	1,697	1,877
ตุลาคม	1,990	1,883	1,822	1,824	1,805	1,823	1,806	1,860	1,896	1,835	1,806	1,858	1,731	1,914
พฤศจิกายน	1,858	1,781	1,709	1,710	1,691	1,707	1,691	1,745	1,781	1,717	1,688	1,748	1,617	1,790
ธันวาคม	1,525	1,531	1,473	1,471	1,457	1,464	1,453	1,489	1,532	1,472	1,448	1,504	1,395	1,477
รวม	25,230	24,021	22,905	22,917	22,619	22,880	22,621	23,376	23,880	22,990	22,659	23,564	21,418	24,073

ตารางที่ 9 ค่าไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต และบ้านโครงสร้างเหล็ก (รับอากาศ 24 ชั่วโมง)

เดือน	C_01	S_01	S_02	S_03	S_04	S_05	S_06	S_07	S_08	S_09	S_10	S_11	S_12	C_02
	คอนกรีต คันทัน 1	เหล็ก คันทัน 2	เหล็ก คันทัน 3	เหล็ก คันทัน 4	เหล็ก คันทัน 5	เหล็ก คันทัน 6	เหล็ก หลังคา 2	เหล็ก หลังคา 3	เหล็ก หลังคา 4	เหล็ก ฝ้า 1 2	เหล็ก ฝ้า 2	เหล็ก ฝ้า 2	เหล็ก ฝ้า 3	คอนกรีต คันทัน 2
มกราคม	6,444	6,329	6,057	6,061	5,983	6,027	5,972	6,184	6,320	6,076	5,978	6,212	5,715	6,221
กุมภาพันธ์	6,598	6,298	6,031	6,032	5,964	6,022	5,963	6,141	6,279	6,035	5,935	6,173	5,657	6,312
มีนาคม	9,226	8,671	8,221	8,226	8,106	8,214	8,109	8,372	8,574	8,201	8,083	8,491	7,561	8,702
เมษายน	9,921	9,233	8,680	8,689	8,537	8,676	8,542	8,895	9,099	8,731	8,620	9,040	7,957	9,345
พฤษภาคม	9,392	8,789	8,291	8,301	8,164	8,291	8,170	8,487	8,682	8,337	8,229	8,612	7,638	8,867
มิถุนายน	9,058	8,487	8,035	8,043	7,919	8,034	7,924	8,212	8,393	8,078	7,977	8,320	7,435	8,581
กรกฎาคม	8,317	7,843	7,461	7,469	7,364	7,462	7,369	7,625	7,791	7,505	7,398	7,690	6,959	7,913
สิงหาคม	7,356	7,020	6,715	6,722	6,639	6,715	6,643	6,863	7,005	6,767	6,664	6,886	6,334	7,048
กันยายน	7,265	6,952	6,655	6,662	6,582	6,655	6,586	6,777	6,926	6,670	6,565	6,825	6,240	6,924
ตุลาคม	7,352	6,986	6,717	6,723	6,651	6,720	6,656	6,860	6,998	6,765	6,655	6,853	6,373	7,065
พฤศจิกายน	6,853	6,560	6,289	6,290	6,220	6,279	6,219	6,423	6,561	6,317	6,209	6,436	5,937	6,593
ธันวาคม	5,586	5,612	5,393	5,394	5,330	5,356	5,315	5,492	5,616	5,387	5,297	5,510	5,096	5,406
รวม	93,369	88,779	84,545	84,591	83,459	84,451	83,468	86,331	88,244	84,869	83,612	87,047	78,904	88,978

ภาคผนวก ค

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อน

1. **EZframe** Version 2 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนัง โครงสร้างไม้หรือเหล็ก ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบ Zone Method และ Isothermal Planes Method ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น ขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะลักษณะ โครงสร้างแบบรูปตัว C) ฉนวนกันความร้อนอยู่ในช่องโครงสร้าง และวัสดุปิดโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะลักษณะ เลือกได้จากรายการวัสดุที่มีอยู่ในโปรแกรม หรือใส่ค่าโดยตรง วัสดุปิดโครงสร้างภายนอกระบุได้มากที่สุด 5 layer ส่วนภายในระบุได้มากที่สุด 3 layer โปรแกรมจะคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของ ผนังและแสดงผลที่ต่างค่า R-value และ U-value โปรแกรมนี้จัดทำโดย California Energy Commission ประเทศสหรัฐอเมริกา โปรแกรมมีราคาประมาณ 14 USD ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ http://www.energy.ca.gov/efficiency/computer_prog_list.html

Window #2: Frame & Cavity Information

Envelope type (Wall, Floor, Roof or Ceiling)	Wall
Frame depth (inches)	4
Frame width (inches)	24
Web thickness (inches)	0.598
Percent knock-out in web	11
Cavity insulation R-value	
R-value of insulation tape on interior flange	
Thickness of insulation tape on exterior flange	
Thickness of insulation tape on exterior flange	

S1 Up/Down/Enter Prt Help

Window #3: Frame Type & Layers Description

Project Name : HOUSE
Envelope Name : STEEL-WALL-1

Frame Type (Metal or Wood)		
Interior layer #1 (adjacent to frame) #1	1/2" Gypsum board	
Interior layer #2 (adjacent to layer #2)		
Interior layer #3 (adjacent to layer #3)		
Exterior layer #1 (adjacent to frame) #1	1" Exp Polureth	
Exterior layer #2 (adjacent to layer #2)	1/2" Plywood	
Exterior layer #3 (adjacent to layer #3)	Wood Shingle	
Exterior layer #4 (adjacent to layer #4)		
Exterior layer #5 (adjacent to layer #5)		

S1 Up/Down/Enter Prt Help

Results

Results for S1 :

Total R-value (h.ft².F/Btu) = 13.88

Total U-value (Btu/h.ft².F) = 0.072

Note: These results include inside & outside air films.

รูปที่ 1 โปรแกรม EZFRAME

2. **Modified Zone Method Calculator** เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างเหล็ก โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Modified Zone Method ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น ขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะลักษณะโครงสร้างแบบรูปตัว C) จำนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงสร้าง และวัสดุปิดโครงสร้าง (ผนังภายนอกระบุได้มากที่สุด 3 layer ส่วนผนังภายในระบุได้มากที่สุด 2 layer) โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า ความกว้างของโซนบริเวณโครงสร้าง ค่าความต้านทานความร้อนที่ติดตรงบริเวณโครงสร้าง ระหว่างโครงสร้าง (Center of Cavity R-value) และ ค่าความต้านทานความร้อนของทั้งสองส่วน (Clear Wall R-value) โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Oak Ridge National Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถใช้ได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต

<http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/calculators/modzone/>

ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

3 MODIFIED ZONE METHOD CALCULATOR - ILLUSION

File Edit View Favorites Tools Help

Back Search Favorites Go Links

Address: <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/calculators/modzone/index.html>

Modified Zone Method Calculator - Input Form

Property	Dimension (in)	Material	Notes
Interior Finish	Layer 1 $d_{i1} = 0.25$ Layer 2 $d_{i2} = 0.0$	Gypsum Board None	Layer 1 is the visible layer on the interior surface of the wall. If only one layer is present set material to "none" and thickness to "0.0" for layer 2.
Stud	Flange $L = 1.5$ Depth $d_c = 3.5$ Thickness $t = 14.63$ Spacing $s = 16.0$	Steel	Stud thickness (t) is given as sheet-metal gage number rather than inches. A larger number is a thinner material.
Cavity Insulation	d_c	Fiberglass	Cavity thickness is same as stud depth.
Exterior Finish	Layer 3 $d_{e3} = 0.0$ Layer 2 $d_{e2} = 0.0$ Layer 1 $d_{e1} = 0.5$	None None Plywood	Layer 1 is the visible layer on the exterior surface of the wall. If only two layers are present set material to "none" and thickness to "0.0" for layer 3. If only one layer is present set material to "none" and thickness to "0.0" for layers 2 and 3.

Reset Form Do calculation

Internet

รูปที่ 2 โปรแกรม Modified Zone Method Calculator ที่สามารถใช้งานได้ทางอินเทอร์เน็ต

Modified Zone Method Calculator

Summary of Wall Properties Used in Calculation

Property	Dimension (in)	Material Resistivity (h-ft ² -F/Btu-in)
Interior Finish	Layer 1	$d_{i1} = 0.25$
	Layer 2	$d_{i2} = 0$
Stud	Flange	$L = 1.5$
	Depth	$d_c = 3.5$
	Thickness	$t = 0.0747$
	Spacing	$s = 16.0$
Cavity	Insulation	$d_c = 3.5$
Exterior Finish	Layer 3	$d_{e3} = 0$
	Layer 2	$d_{e2} = 0$
	Layer 1	$d_{e1} = 0.5$

Average resistivity of first 1 inch of exterior sheathing = 1.25 h-ft²-F/Btu-in

Ratio of sheathing resistivity to cavity resistivity = 0.36

Modified zone factor = -0.5

Width of stud influence zone = 1.25 in.

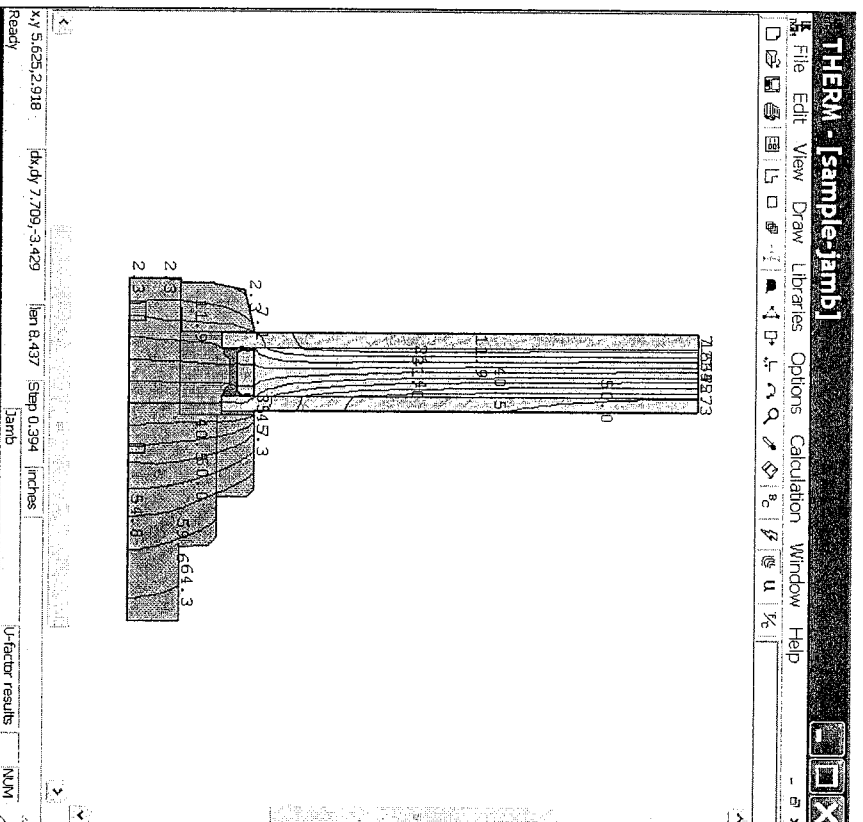
$R_{cav} = 12.93 \text{ h-ft}^2\text{-F/Btu}$

$R_w = 1.02 \text{ h-ft}^2\text{-F/Btu}$

$R_{tot} = 6.75 \text{ h-ft}^2\text{-F/Btu}$

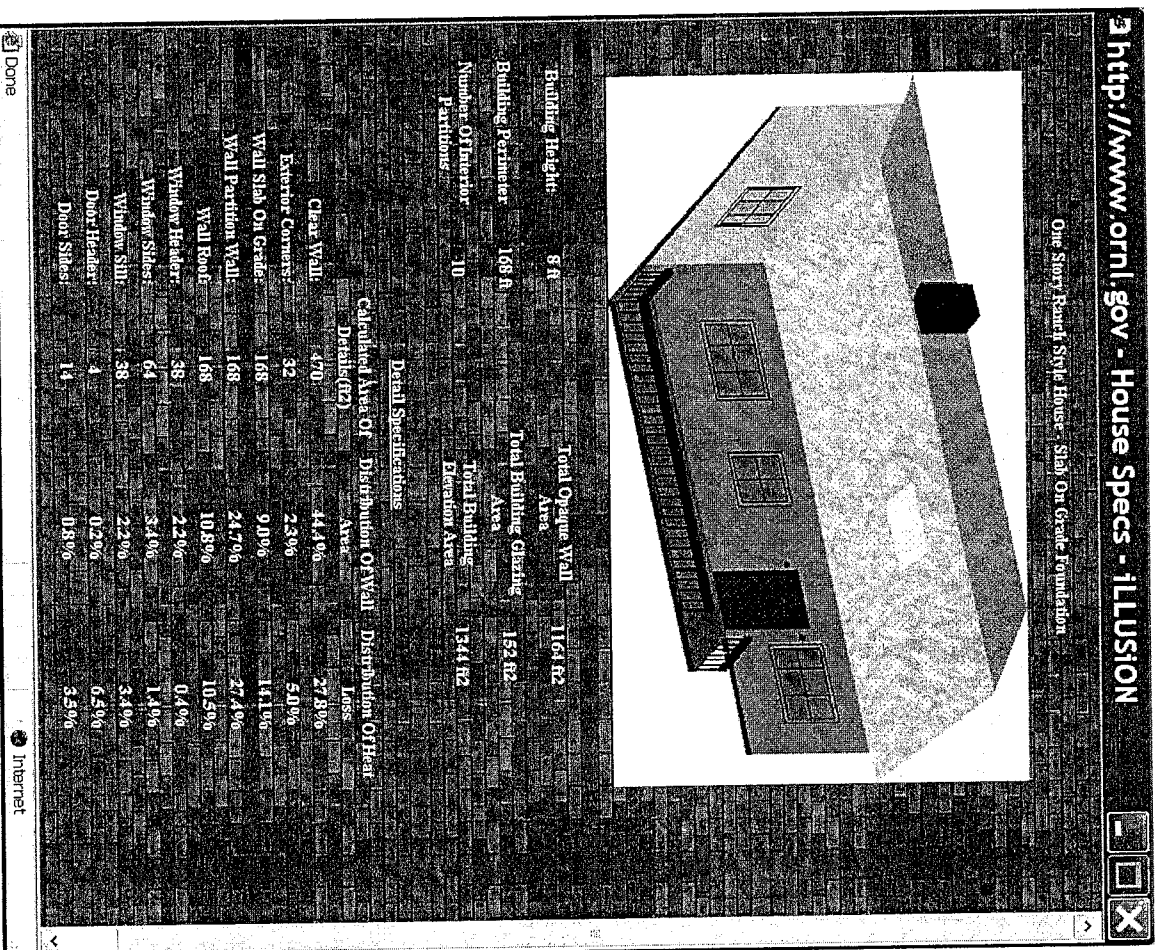
รูปที่ 3 ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม Modified Zone Method Calculator

3. **Therm 5.2** เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบ 2 มิติ (Two Dimensional Heat Transfer) โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Finite Element Method สามารถนำไปใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนขององค์ประกอบของอาคาร เช่น ผนัง หลังคา หน้าต่าง ประตู และฐานราก ที่คำนึงถึงผลที่เกิดขึ้นจากสะพานความร้อน (Thermal Bridge) กรณีที่นำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างนั้น ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนังโดยการเขียนรูปของโครงสร้าง วาดที่อยู่ระหว่างโครงสร้าง และวัสดุปิดผิวโครงสร้าง สามารถใส่จำลองโครงสร้างในรูปลักษณะต่างๆ ได้ และไม่จำกัดจำนวนชั้นของวัสดุปิดโครงสร้าง โปรแกรมมีข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ให้เลือกใช้ ผู้ใช้โปรแกรมสามารถสร้างวัสดุชั้นใหม่ได้ตามความต้องการ และสามารถตั้งค่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกที่ต้องการจำลองได้ โปรแกรมสามารถแสดงผลการคำนวณที่ได้ในหลายลักษณะ เช่น เส้นแสดงทิศทางและปริมาณการไหลของความร้อน (Flux Vector) เส้นระดับอุณหภูมิ (Isotherms) และค่า U-factor ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังได้ โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดได้ที่ฟรีจากอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>



รูปที่ 4 โปรแกรม THERM 5.2

4. **Whole Wall R-value Calculator** เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานของผนังโดยรวม (Whole Wall R-value) โดยพื้นฐานข้อมูลที่ได้อาจการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3-D Heat Transfer ซึ่งคำนวณจากแบบบ้านพักอาศัยชั้นเดียว (รูปที่ 5) ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น โครงสร้าง ไม้หรือเหล็ก ขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะโครงสร้างรูปตัว C) ประเภทของฉนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงสร้าง วัสดุปิดโครงสร้าง (ระบุได้เพียงชนิดเดียวในแต่ละด้าน) โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน และแสดงผลที่ได้ทางจอคอมพิวเตอร์ โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Oak Ridge National Labs (ORNL) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถใช้ได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/AWT/InteractiveCalculators/Online/index.htm>



รูปที่ 5 ลักษณะบ้านที่ใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณค่า Whole Wall R-value

Online R-value Calculator - ILLUSION

File Edit View Favorites Tools Help

Back Search Favorites

Address <http://www.ornl.gov/scd/roofs+walls/AWT/InteractiveCalculators/Online/RvalCalcB.htm> Go Links

Whole Wall R-value Calculator

Wall Technology Type: **Wood Frame** ▼

Structural Material Type: **2x4 24in o.c.** ▼

Cavity Insulation Type: **Fiberglass Insulation** ▼

Thickestst Of Foam Sheathing: **No Foam** ▼

Exterior Finish Type: **Wood Finish** ▼

Get R-values Reset

Click Here For Detailed Building Information

Your System R-values

Clear Wall:	12.03	Window Header:	6.8
Exterior Corners:	7.1	Window Sides:	6.5
Wall Slab On Grade:	6.07	Window Sill:	6.6
Wall Partition Wall:	10.63	Door Header:	6.29
Wall Roof:	9.76	Door Sides:	5.94

R-value Information

Clear Wall R-value	12.03
Whole Wall R-value	9.73
Percentage Difference	19.1%

Done Internet

รูปที่ 5 ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม Whole Wall R-value Calculator

ภาคผนวก ง

ผลงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

1. บทความในวารสารหน้าฉั่ว
2. บทความงานประชุมวิชาการ ENETT 2006
3. บทความงานประชุมวิชาการ SIMBUILD 2006

สารบัญ

JOURNAL OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE SILEP JERAN UNIVERSITY
VOL. 21 ACADEMIC YEAR 2004-2005
บรรณาธิการ: อ.ดร.สุวิมล งามเมือง อ.ดร.สุวิมล งามเมือง
ฉบับที่ 21 ประจำภาคการศึกษา 2547-2548

สารบัญ

คำนำ	I
บทบรรณาธิการ	V
ออมภูมิ – สถาปัตยกรรม’47: จากเวทีวิชาการสู่เวทีชาวบ้าน	1
รองศาสตราจารย์ สิทธิพร ภิมยรัตน์, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
ระบบนิเวศกับการวางผังหมู่บ้านพื้นถิ่นของไทเขินเชียงตุง	17
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ อรศิริ ปาณินท์, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
ศูนย์กลางชุมชนกับวัฒนธรรมความยั่งยืน: กรณีศึกษาชุมชนไทไตลอง	25
ประเทศศาสตราจารย์ประชาชนเงิน	
อาจารย์สิงหนาท แสงสีพนาท, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
เชิงช่างไทย: ผลสัมฤทธิ์ของการลงมือ สอบ ชะโงก	33
รองศาสตราจารย์ วีระ อินทนนท์, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
การประเมินผลกระทบทางสายตาของอาคารสูงต่อภูมิทัศน์ชุมชนเมือง:	45
กรณีศึกษาผลกระทบจากโครงการโรงแรมเซ็นทรัลเวสต์	
อาจารย์กิตติกา กิตติประसार และ อาจารย์วิลาสินี สุขสว่าง, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
การพัฒนาสภาพแวดล้อมชุมชนเพื่อการท่องเที่ยวโดยใช้ความชื่นชอบของนักท่องเที่ยว	59
กับทัศนคติและความต้องการของผู้ประกอบการในบานัวลาย จังหวัดเชียงใหม่	
อาจารย์กรุณา รักชวิน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	
แนวความคิดในการอนุรักษ์โบราณสถานจากศตวรรษที่ 18 ถึงสิ้นสุดวรรษที่ 20:	71
จากอารมณ์และความศรัทธาสู่ความเป็นมรดกร่วมกันของมนุษยชาติ	
รองศาสตราจารย์ สมชาติ จึงศิริอารักษ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
วัดพุ: มรดกโลกทางภูมิทัศน์วัฒนธรรมแห่งเมืองจำปาสัก	83
เกรียงไกร เกิดศิริ, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
ปัญหาของการใช้ผนัง EIFS ที่เกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกา	95
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธดา พุฒิปาเญน, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
สถานการณ์ของการใช้ผนังอะลูมิเนียมคอมโพสิตในประเทศไทย	103
รองศาสตราจารย์ จริญญาพัฒน์ ภูวนันท์, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
การก่อสร้างโดยใช้แบบหล่อคอนกรีตเสริมเหล็กพร้อมเหล็กเสริม	111
รองศาสตราจารย์ มาลินี ศรีสุวรรณ, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
วิธีการหาความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างไม้และเหล็ก	121
อาจารย์ ดร. ปรีชาภา มหัทธนาทวี และ รองศาสตราจารย์ จริญญาพัฒน์ ภูวนันท์, มหาวิทยาลัยศิลปากร	
สถานะน้ำเสีย: พื้นฐานและแบบจำลองสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น	133
อาจารย์ทรรณัท ทักชนนท์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	
An Energy Conscious Architectural Design: The Solar Responsive Envelope and Form Finding Approach	147
Ekkachai Mahaek, Ph.D., Chiang Mai University	
รายชื่อคณะกรรมการพิจารณากลั่นกรองบทความ	163

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อน ของผนังโครงสร้างไม้และเหล็ก

Methods for Determining Thermal Resistance Values of Wood Frame Walls and Steel Frame Walls

อาจารย์ ดร. ปรีชญ์ญา มหัทธโนทวี และ
รองศาสตราจารย์ จริญญาพัฒน์ ภูวนันท์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของระบบผนังที่ประกอบด้วยโครงสร้างไม้และโครงสร้างเหล็ก และวิธีการที่นำมาใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของระบบผนังดังกล่าว ผลการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าวิธีที่นำมาใช้นั้น มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่หาได้แตกต่างกันไป การทราบข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีเป็นประโยชน์ ในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของระบบผนังดังกล่าวให้เหมาะสม

คำสำคัญ : ค่าความต้านทานความร้อน ผนังโครงสร้างไม้ ผนังโครงสร้างเหล็ก

Abstract

This article looks at the heat transfer behaviors of wood and steel frame walls and methods used for determining the thermal resistance values of these walls. Several research studies reveal that using different methods results in different thermal resistance values of the walls. Understanding the strengths and the limitations of each method will help in choosing an appropriate method for determining the thermal resistance values of both the wood and steel frame walls.

Keywords: Thermal resistance value, Wood frame wall, Steel frame wall

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งจากการศึกษาวิจัยเรื่องเรื่อง "ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็ก (Steel framing) และบ้านโครงสร้างไม้ (Wood framing) ที่ได้พัฒนาขึ้นในประเทศไทย" โดยได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

ไม่ประมาณ 0.120, เหล็ก 47.6 W/m²·K) นอกจากนั้น บริเวณรอยต่อของผนังโครงสร้างกับส่วนอื่นๆ เช่น บริเวณมุมผนัง อาจก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในลักษณะสามมิติ (Three-Dimensional Heat Transfer) ได้

การจำแนกประเภทค่าความต้านทานความร้อนของผนัง

ค่าความต้านทานความร้อน (R-value) ของผนังสามารถ จำแนกได้ตามบริเวณพื้นที่ของผนังที่ถูกลำบากพิจารณา ในการศึกษาค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ประเภท หลักคือ (Christie and Kosny, 1996: 57)

1. **Center-of-Cavity R-value** คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ติดตั้งช่องระหว่างโครงถั่ว ซึ่งโดยทั่วไปเป็นบริเวณที่มีฉนวนกันความร้อนอยู่มากที่สุด
2. **Clear wall R-value** คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ติดเฉพาะบริเวณที่มีฉนวนกันความร้อนและโครงถั่วหลักของผนัง แต่ไม่รวมผนังบริเวณรอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร
3. **Whole wall R-value** คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม ซึ่งคิดรวมทั้งส่วนผนังที่และผนังบริเวณ รอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร อันได้แก่ ผนัง/ผนัง (มุมผนัง), ผนัง/หลังคา, ผนัง/พื้น, ผนัง/ประตู, และผนัง/หน้าต่าง

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่ไม่และโครงถั่วเหล็ก

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ประกอบด้วย โครงถั่วที่ไม่และโครงถั่วเหล็ก มีวิธีการหลักอยู่ด้วยกัน 6 วิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีการหลักการ ความง่ายต่อผลของผล ที่มีต่อค่าความต้านทานความร้อนที่หาได้แตกต่างกันไป โดย 4 วิธีแรก เป็นวิธีการคำนวณที่สามารถทำได้โดยไม่จำเป็น ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังเช่นวิธีที่ 5 ส่วนวิธีที่ 6 เป็นการหาค่าความต้านทานความร้อนโดยการทดสอบจากผนังจริง วิธีดังกล่าวสามารถนำมาใช้หาค่าความต้านทานความร้อน ของผนังโครงถั่วที่ไม่และโครงถั่วเหล็ก ยกเว้นวิธีที่ 3 และ 4 (Zone Method และ Modified Zone Method) เป็นวิธีที่ใช้กับผนังโครงถั่วเหล็กเท่านั้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

1. **Parallel Path Method** การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ จะคิดเสมือนว่าความร้อนที่ผ่านตัวผนังนั้นเป็นในลักษณะหนึ่งมิติ (one-dimensional heat transfer) โดยความร้อนจะผ่านผนังส่วนที่มีโครงถั่ว และส่วนที่ไม่มีโครงถั่วไว้ในลักษณะที่ขนานกันไป โดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทางไปยังบริเวณที่การส่งผ่านความร้อน ทำได้

สะดวกกว่า (บริเวณที่มีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนจะไม่เป็นเช่นนั้น ดังนั้นจึงทำให้ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คำนวณได้โดยวิธีนี้มีค่าสูงกว่า ความเป็นจริง (Carpenter, 2001: 1) ค่าที่ได้จากการ คำนวณวิธีนี้จะเป็นค่าความต้านทานความร้อนที่มีค่าสูงสุด (maximum R-value) (Tuluc, Lahit and Zaidi, 1997: 551)

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ ทำให้ได้ผลการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละส่วน คือ ผนังส่วนที่ไม่มีโครงถั่ว และผนังส่วนที่มีโครงถั่ว หลังจากนั้นก็หาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งสองส่วน ซึ่งทำได้โดยแปลงค่าความต้านทานความร้อนของผนัง แต่ละส่วนที่ได้ดังกล่าวให้เป็นค่าการส่งผ่านความร้อน (U=1/R) และหาค่าการส่งผ่านความร้อนเฉลี่ยของผนัง ทั้งสองส่วนโดยให้นำค่าเหล่านั้นมาคูณด้วยพื้นที่ (area-weight) ของส่วนที่เป็นโครงถั่วและส่วนที่ไม่เป็นโครงถั่ว จากนั้นจึงแปลงค่าที่ได้ให้เป็นค่าความต้านทานความร้อน (R=1/U) ขั้นตอนดังกล่าวมา แสดงด้วยสมการที่ 1 (รูปที่ 2)

$$R = \frac{1}{\frac{F_j}{R_j} + \frac{F_{wf}}{R_{wf}} + \dots \dots \dots [1]}$$

R = ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง [m²·KW]
F_j = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่เป็นโครงถั่วต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
F_{wf} = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่ไม่ใช่โครงถั่วต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]

R_j = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังบริเวณที่มีโครงถั่ว [m²·KW]
R_{wf} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังบริเวณที่ไม่มีโครงถั่ว [m²·KW]

2. **Isothermal Planes Method** การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้จะคิดเสมือนว่าในส่วนของผนังชั้น (layer) ที่ประกอบด้วยโครงถั่วและวัสดุอื่น (เช่น ฉนวน) จะมีการถ่ายเทความร้อนทางด้านข้างระหว่างกัน และมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่เท่ากันตลอด ซึ่งเท่ากับ ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่อยู่ในชั้นนี้ (California Energy Commission, 1994: 5) ค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยวิธีนี้ จะเป็นค่าความต้านทาน ความร้อนที่มีค่าต่ำสุด (minimum R-value) (Tuluc, Lahit and Zaidi, 1997: 551)

การหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยการส่งผ่านความร้อน ในส่วนของชั้นที่มีโครง

3. Zone Method

วิธีนี้จะใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างเหล็กเท่านั้นวิธีการนี้จะคล้ายคลึงกับ Parallel Path Method โดยแบ่งผนังออกเป็นสองโซน คือ โซนที่ไม่มีโครงสร้าง (cavity zone) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสะพานความร้อน (thermal bridge) และโซนที่มีโครงสร้าง (framing zone) ซึ่งเป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากสะพานความร้อน โดยถือว่าความต้านทานของผนังทั้งสองโซน ในลักษณะคู่ขนานกันไป (parallel) การกำหนดความกว้างของโซนที่ไม่มีโครงสร้างนั้นถือว่าทิศทางการนำ ความร้อนที่เกิดขึ้นในโซนที่มีสองทิศทางคือ ทิศทางที่ตั้งฉากกับผิววัสดุและทิศทางที่ขนานกับผิวของวัสดุ โดยมีอัตราการส่งผ่านความร้อนที่เท่ากันทั้งสองทิศทาง

ดังนั้นการกำหนดขอบเขตของโซนที่ไม่มีโครงสร้างจึงได้มาจากการลากเส้นตรงทำมุม 45 องศา กับพื้นผิวของโครงสร้างบริเวณ flange อย่างไรก็ตามการกำหนดเช่นนี้ค่อนข้างถูกต้องถ้าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) ของวัสดุแต่ละชั้น (layer) ที่นำมาประกอบเป็นผนังนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าแต่ละชั้นที่นำมาประกอบเป็นผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่แตกต่างกันมาก เช่น เป็นแผ่นโลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนสูงและแผ่นฉนวนกันความร้อน (insulative sheathing) ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนต่ำ การใช้ผนัง 45 องศา เพื่อกำหนดขอบเขตของโซนจะได้ผลซึ่งไม่ถูกต้องมากนัก (California Energy Commission, 1994: 6) วิธีการนี้จะใช้ได้เฉพาะกับ ผนังโครงสร้างเหล็ก ที่ไม่ได้ด้วยวัสดุที่ทำจากโลหะ (Tuluca, Lahiri and Zaidi, 1997: 552)

การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้ขั้นแรก จะต้องหาขนาดความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงสร้าง ซึ่งเท่ากับความกว้างของโครงสร้างบวกกับ

สองเท่าของความหนาแน่น ของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ติดออกไปจากโครงสร้าง (สมการที่ 3, ภาพที่ 3) เมื่อทราบขอบเขตของแต่ละโซนแล้ว จึงคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังในแต่ละโซน จากนั้นจึงหาค่าความต้านทานรวมรวมของทั้งสองโซน

$$W = L + 2d \quad \dots\dots\dots[3]$$

W = ความกว้างของโซนบริเวณที่ไม่มีโครงสร้าง [m]

L = ความกว้างของโครงสร้าง (stud flange size) [m]

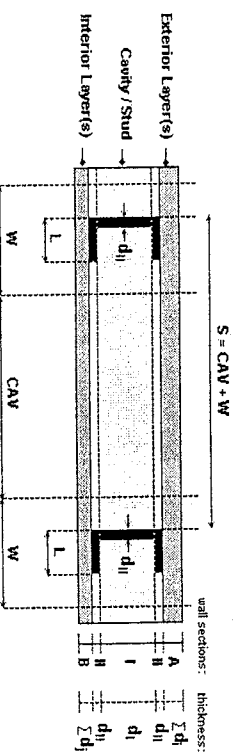
d = ระยะความหนาแน่นของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ติดออกไป

จากผิวของโครงสร้าง [m]

(ในกรณีที่ความหนาแน่นของวัสดุแต่ละด้านที่อยู่ติดออกไปจากโครงสร้างไม่เท่ากันให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า)

4. Modified Zone Method วิธีนี้จะใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างเหล็กเท่านั้น การคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้จะคล้ายกับแบบ Zone Method ยกเว้นวิธีการหาความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงสร้างจะแตกต่างกันสำหรับ Zone Method นั้น ความกว้างของโซน (W) จะขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของโครงสร้าง (stud flange size) และ ความหนาแน่นของวัสดุส่วนที่อยู่ติดออกไปจากตัวโครงสร้างเท่านั้น แต่สำหรับ Modified Zone Method ความกว้างของโซนนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังกล่าวแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ (Kosny and Christian, 1995: 785)

- อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อน (Thermal Resistivities) ของวัสดุที่นำมาปิดโครงสร้างและค่าสัมประสิทธิ์ การต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อน
- ขนาดความลึกของโครงสร้าง



เปรียบเทียบขนาดความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงสร้าง

Parallel Path Method:

ASHRAE Zone Method:

Modified Zone Method:

$$W = L$$

$$W = L + 2 \sum d_i$$

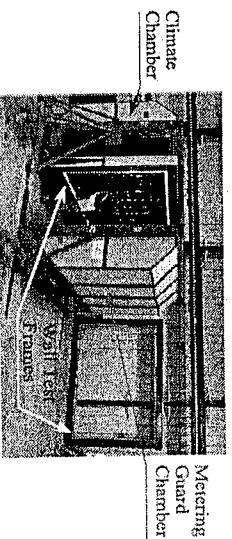
$$W = L + 2 \sum d_i$$

$$\text{if } d_i > d_j$$

ภาพที่ 3 เปรียบเทียบวิธีการหาความกว้างของโซนบริเวณที่มี โครงสร้างของทั้งสามวิธี

ที่มา: จัดแปลจาก (Kosny and Christian, 1995: 782)

ความถูกต้องมากที่สุด (ASHRAE, 2001: 25.1) แต่การหาค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีนี้อาจไม่สะดวกในทางปฏิบัติ และในด้านค่าใช้จ่ายในการทดสอบ



รูปที่ 4 Guarded Hot Box ที่ Oak Ridge National Laboratory, USA ที่มา: http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed_papers/whole_bldg/pdf_files/heating7-2.pdf

เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนที่หาได้ของแต่ละวิธี

ในการศึกษาเปรียบเทียบว่าวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละวิธีมีความถูกต้องมากน้อยอย่างไร โดยทั่วไป จะเปรียบเทียบกับวิธีการที่ถือว่ามีค่าความถูกต้องสูงกว่า โดยถือว่าค่าที่ได้จากการทดสอบจากผนังจริงโดยใช้ Guarded Hot Box และทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 236 มีความถูกต้องที่สูง ซึ่งจะนำผลที่ได้จากวิธีการนี้มาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมคำนวณแบบ 2-D และ 3-D Heat Transfer หรือ วิธีการคำนวณด้วยมือ (Parallel Path, Isothermal Planes, Zone, Modified Zone) ในการนี้ที่ไม่มีผลจากการทดสอบจริงมาใช้ในการเปรียบเทียบ ก็จะเปรียบเทียบวิธีการคำนวณด้วยมือกับโปรแกรม

คำนวณแบบ 2-D หรือ 3-D Heat Transfer แทนผลการศึกษาเปรียบเทียบดังนี้ (ตารางที่ 1)

1. Kosny และ Christian (1995: 780-781)

เปรียบเทียบผล ที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยใช้โปรแกรมคำนวณแบบ 3-D Heat Transfer กับผลที่ได้จากการทดสอบกับผนังจริง พบว่าในส่วนของผนังโครงสร้างไม้ มีค่าความแตกต่างไม่เกิน $\pm 2\%$ ส่วนผนังโครงสร้างเหล็กมีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ย 4.74%

2. Carpenter (2001: 2) เปรียบเทียบผลที่ได้

จากการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยใช้วิธี 2-D Heat Transfer Path กับโปรแกรมคำนวณที่ใช้วิธี 2-D Heat Transfer พบว่า ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างไม้ที่คำนวณโดยวิธี Parallel Path จะมีค่าที่สูงกว่าการใช้โปรแกรมคำนวณโดยเฉลี่ยประมาณ 2.2% ส่วนผนังโครงสร้างเหล็กนั้นจะมีค่าสูงกว่าโดยเฉลี่ย 70%

3. Kosny และ Desjarlais (1994: 8) เปรียบเทียบ

ผลที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนโดยใช้วิธี Isothermal Planes Method กับโปรแกรมคำนวณที่ใช้วิธี 2-D Heat Transfer พบว่าค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างไม้ ที่คำนวณโดยวิธี Isothermal Plane Method จะมีค่าที่ต่ำกว่า การใช้โปรแกรมคำนวณประมาณ 2.83%

4. Tuluca, Lahiri, และ Zaidi (1997: 553)

เปรียบเทียบค่า ความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างเหล็ก ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Parallel Path Method, Isothermal Method, Zone Method, และ Modified Zone Method กับโปรแกรมคำนวณที่ใช้วิธี 2-D Heat Transfer พบว่าวิธีการคำนวณที่มีผลใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรมคำนวณมากที่สุดคือ Modified Zone Method โดยมีค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างที่ได้จากการหาค่าความต้านทานความร้อนของแต่ละวิธี

ชนิดของผนัง	ค่าความแตกต่างที่ได้อีกจากการหาค่าความต้านทานความร้อน (%)						อ้างอิง
	Parallel	Iso-thermal	Zone	Modified Zone	2 or 3-D Heat Transfer	TEST	
ผนังโครงสร้างไม้	2.2				●		Carpenter, 2001
		2.83			●		Kosny & Desjarlais, 1994
					2	●	Kosny & Christian, 1995
ผนังโครงสร้างเหล็ก	70				●		Carpenter, 2001
	33	42	46	6	●		Tuluca, Lahiri, Zaidi, 1997
				2	●		Kosny & Christian, 1995
			13.5	6.5		●	Kosny & Christian, 1995
						4.74	●

หมายเหตุ: ● คือวิธีการหลัก (A) ที่นำมาใช้เป็นตัวแทนเปรียบเทียบกับการอื่น ๆ (B) ที่มีค่าตัวเลขระบุไว้ ซึ่งคำนวณหาค่าความแตกต่างได้จากสูตร $(R_A - R_B / R_A) \times 100\%$ กรณีที่มีจำนวนผนังที่ทำการศึกษามากกว่า 1 แบบ จะใช้ค่าเฉลี่ย

ที่สูงกว่าผนังที่ 2 (11.8 : 10.8) แต่ผนังที่ 4 กลับมีค่า Whole wall R-value ที่ต่ำกว่าผนังที่ 2 (9.5 : 9.9) เป็นต้น นอกจากนี้ ผนังอาคารสองชนิดที่มีลักษณะ Clear wall แบบเดียวกัน และมีค่า Clear wall R-value ที่เท่ากัน อาจมีค่า Whole wall R-value ที่แตกต่างกันได้ ถ้าผนังดังกล่าว มีสัดส่วน ของช่องเปิด (ประตู หน้าต่าง) และลักษณะ ของรอยต่อ บริเวณต่างๆ เช่น ผนังกับพื้น ผนังกับผนัง ผนังกับหน้าต่างหรือประตูที่ต่างกัน (Kosny, 2004: 4)

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) นั้นค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากต้อง คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของผนังหลายๆ ส่วน มาประกอบกัน อีกทั้งจำเป็นต้องใช้โปรแกรมการคำนวณ ประเภท 2D หรือ 3D Heat Transfer ซึ่งต้องใช้จำเป็นต้อง มีพื้นฐานความรู้ที่เพียงพอ ได้มีการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ ในการคำนวณ Whole wall R-value ที่สะดวกขึ้น แต่โปรแกรมดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในเรื่องของลักษณะอาคาร ที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการคำนวณ ซึ่งเป็นเพียงอาคาร ชั้นเดียว อีกทั้งวัสดุที่ใช้และลักษณะของรอยต่อที่ไม่มีในโลก ยังมีไม่มากนัก จึงอาจไม่ตรงกับลักษณะอาคารที่ผู้ใช้ โปรแกรมต้องการศึกษา (ดูรายละเอียดโปรแกรมเพิ่มเติม ที่ภาคผนวก)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละประเภท

	ชนิดของผนัง	Cavity Wall R-value hฟ้ F/Btu	Clear Wall R-value hฟ้ F/Btu	Whole Wall R-value hฟ้ F/Btu
1	2x4 wood stud wall 16-in. (40 cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	13.6	10.6	9.6
2	2x4 wood stud wall 24-in. (60 cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	13.6	10.8	9.9
3	3-½-in. (8.9-cm.) Metal stud wall, 16-in. (40-cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) ½-in. (1.3 cm.) wood siding ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	14.6	7.4	6.1
4	3-½-in. (8.9-cm.) Metal stud wall, 16-in. (40-cm.) o.c. R-11 batts ½-in. (1.3 cm.) plywood (exterior) 1-in. (2.5 cm.) EPS sheathing ½-in. (1.3 cm.) wood siding ½-in. (1.3 cm.) gypsum board (interior)	18.6	11.8	9.5

บทสรุป

การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครง กรว้างนี้มีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นแต่วิธีการที่สามารถคำนวณ ได้ด้วยมือ เช่น Parallel Path Method, Isothermal Method, Zone Method, Modified Zone Method หรือวิธี การคำนวณที่ซับซ้อนขึ้น เช่น 2-D หรือ 3-D Heat Trans-fer ซึ่งจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ และวิธีการทดสอบจากผนังจริงโดยใช้ Guarded Hot Box ซึ่งเป็นวิธีที่ยากและมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นแต่ถือว่ามีความ ถูกต้องสูง

วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังนี้ นั้น มีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่หาได้ ที่แตกต่างกันไป เมื่อนำไปใช้ในการคำนวณผนังโครงกรว้าง ไม้หรือผนังโครงกรว้างเหล็ก จากการเปรียบเทียบค่าความ ต้านทานความร้อนที่คำนวณได้ของแต่ละวิธีพบว่า สำหรับ ผนังโครงกรว้างไม้ ผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Parallel Path หรือ Isothermal Planes Method จะมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนักกับการใช้โปรแกรมคำนวณแบบ 2-D Heat Transfer แต่สำหรับผนังโครงกรว้างเหล็กค่าที่ได้จากวิธีทั้ง สองจะแตกต่างกันค่อนข้างมาก วิธีดังกล่าวจึงไม่เหมาะที่จะ

เอกสารอ้างอิง

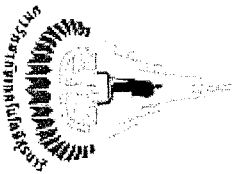
- ASHRAE, 2001. ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, Atlanta.
- ASTM. 1993. Standard Test Method for Steady-state Thermal Performance of Building Assemblies by Means of Guarded Hot Box, C236-89.
- California Energy Commission. 1994. EZFRAME 2.0 User's Manual.
- Carpenter, S. C. 2001. "Advances in Modeling Thermal Bridges in Building Envelopes" [Online]. Accessed 23 September, 2004, Available from <http://www.esim.ca/2001/documents/proceedings/Session7-1.pdf>
- Childs, K. W. 1988. "Analysis of Seven Thermal Bridges Identified in a Commercial Building." ASHRAE Transactions. 94: 1776-1792.
- Christian, J. E. and Kosny, J. 1996. "Thermal Performance and Wall Ratings." ASHRAE Journal. March: 56-65.
- Kosny, J., 2004. "A New Whole Wall-R-value Calculator: An Integral Part of the Interactive Internet-based Building Envelope Materials Database for Whole-building Energy Simulation Programs" [Online]. Accessed 11 October 2004, Available from <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/NewRValue.pdf>
- Kosny, J. and Christian, J. E. 1995. "Reducing the Uncertainties Associated with Using the ASHRAE Zone Method for R-value Calculations of Metal Frame Walls." ASHRAE Transactions. 102(2): 779-788.
- Kosny, J. and Desjarlais, A. O. 1994. Impacts of Architectural Details on the Whole Wall Thermal Performance in Residential Buildings [Online]. Accessed 1 July, 2004, Available from http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed_papers/wall_pap/content.html
- Tuluca, A. N., Lahiri, D. and Zaidi, J. H. 1997. "Calculation Methods and Insulation Techniques for Steel Stud Walls in Low-rise Multifamily Housing." ASHRAE Transactions. 103(1): 550-562.

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อน

1. **EZframe** Version 2 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างไม้หรือเหล็ก ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบ Zone Method และ Isothermal Planes Method ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง ขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะลักษณะโครงสร้างแบบรูปตัว C) จนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงสร้าง และวัสดุปิดโครงสร้าง ซึ่งสามารถเลือกได้จากรายการวัสดุที่มีอยู่ในโปรแกรมหรือใส่ค่าโดยตรงวัสดุปิดโครงสร้าง ภายนอกจะไม่ได้มากที่สุด 5 layer ส่วนภายในระบุได้มากที่สุด 3 layer โปรแกรมจะคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของผนังและแสดงผลที่ได้ทั้งค่า R-value และ U-value โปรแกรมนี้จัดทำโดย California Energy Commission ในสหรัฐอเมริกา โปรแกรมมีราคาประมาณ 14 USD ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ http://www.energy.ca.gov/efficiency/computer_prog_list.html

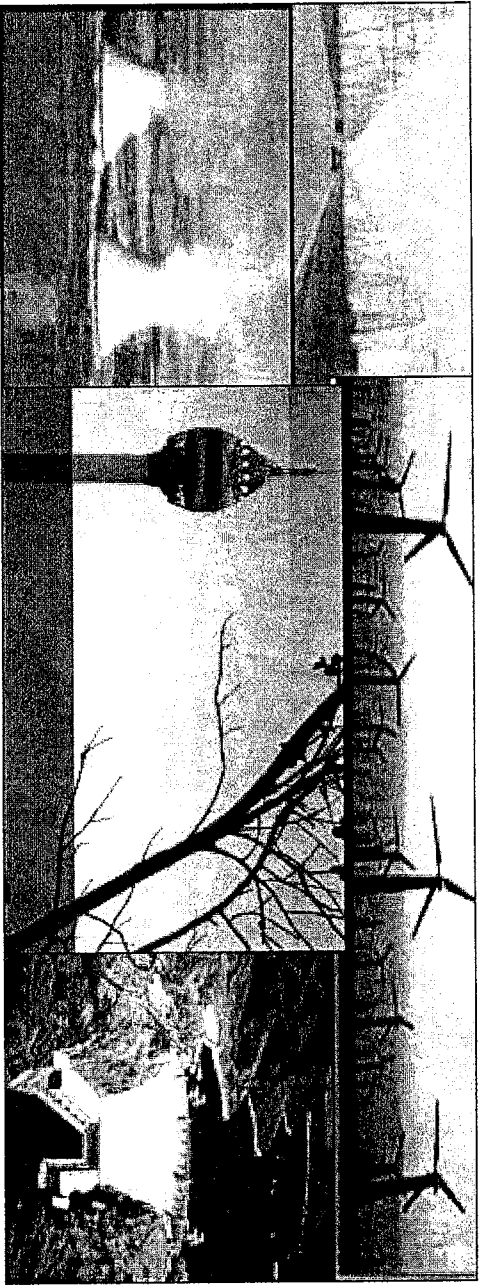
2. **Modified Zone Method Calculator** เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนัง โครงสร้างเหล็ก โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Modified Zone Method ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น ขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะลักษณะโครงสร้างแบบรูปตัว C) จนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงสร้าง และวัสดุปิดโครงสร้าง (ผนังภายนอกจะไม่ได้มากที่สุด 3 layer ส่วนผนังภายในระบุได้มากที่สุด 2 layer) โดยโปรแกรม จะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังและแสดงผลที่ได้ทางจอคอมพิวเตอร์ ค่าที่แสดงได้แก่ ความกว้างของโหนดบริเวณโครงสร้าง ค่าความต้านทานความร้อนที่ติดตรงบริเวณโครงสร้าง ระหว่างโครงสร้าง (Center of Cavity R-value) และค่ารวม (Clear Wall R-value) โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Oak Ridge National Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถใช้ได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/calculators/modzone>



2006
E-NETT

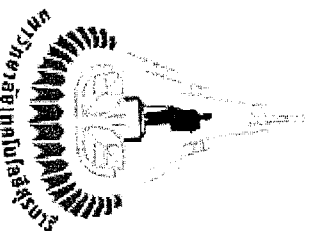
กำหนดการ

การประชุมเชิงวิชาการ
เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2

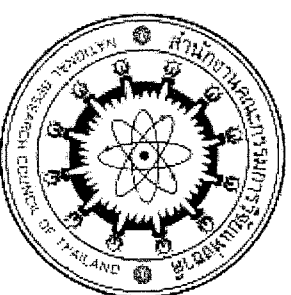


ณ อาคารสุรสิมมาคาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
ระหว่างวันที่ ๒๗ - ๒๘ กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๔๙

20th
MEC
National Model and Materials Technology Centre



STIM
INSTITIA



LEONICS



ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ ที่พัฒนาขึ้นในประเทศไทย

The Energy Performance of the Cold-Formed Steel-Frame and Wood-Frame Houses Developed for Thailand

ปรีชญา มหัทธนะทวี จริญญาพัฒน์ ภูวนันท์ และ ดร.ณิ มงคลสวัสดิ์

ภาควิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200 โทร 0-2226-2400 โทรสาร 0-2226-2400 E-mail: prechaya@hotmail.com

Prechaya Mahattanatawe, Charunpat Puvnant, and Darunee Mongkolsawat

Department of Architectural Technology, Faculty of Architecture, Silpakorn University

Pra Nakorn District, Bangkok 10200 Thailand Tel: 0-2226-2400 Fax: 0-2226-2400 E-mail: prechaya@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็ก (Steel Framing) และบ้านโครงสร้างไม้ (Wood Framing) เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านทั่วไปที่ใช้โครงสร้างเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก และศึกษาถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ โดยพิจารณาจากค่าก่อสร้างของบ้านและค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus จ้างลองการใช้พลังงานของอาคาร จากการศึกษาพบว่าบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าบ้านทั่วไป แต่ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับราค่าก่อสร้างที่เพิ่มสูงขึ้นจากการค่าก่อสร้างบ้านทั่วไป จึงทำให้มีระยะเวลาในการคืนทุนที่นาน

Abstract

The objectives of this research are to compare an energy performance of a steel-frame house and a wood-frame house with a conventional concrete-frame house and to evaluate an economical value of the houses based on their construction costs and electrical costs. The EnergyPlus software was utilized to simulate the energy consumption of the houses. The results show that the wood-frame house and steel-frame house consume less energy than the concrete-frame house. However, the payback periods of both wood-frame and steel-frame houses are quite long due to the small amount of electrical cost savings compared to their high additional construction costs.

* Corresponding author

1. บทนำ

"Framing construction" เป็นการทำก่อสร้างระบบผนังรับน้ำหนักของต่างประเทศที่ประกอบขึ้นจาก โครงสร้างไม้ (Wood framing) หรือโครงสร้างเหล็ก (Cold-formed steel framing) กับแผ่นวัสดุปิดอยู่ด้านหน้า โครงสร้างเป็นส่วนสำคัญ ระบบผนัง พื้น และหลังคา มีน้ำหนักเบา มีช่องอากาศระหว่างโครงสร้าง และสามารถติดตั้งฉนวนกันความร้อนในระบบผนัง พื้น และหลังคาได้โดยสะดวกและประหยัด ระบบดังกล่าวได้มีการนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยมากกว่า 10 ปีแล้ว แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายนัก โดยบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ในประเทศยังนิยมใช้ระบบเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก และผนังก่ออิฐฉาบปูน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาความคิดเห็นของผู้เข้าชมบ้านโครงสร้างเหล็กที่จัดขึ้นในงานสถาปนิก '46 [7] พบว่ามีผู้ให้ความสนใจและให้รายละเอียดในระบบโครงสร้างดังกล่าวเพิ่มขึ้น การศึกษาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาระบบการก่อสร้างที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยต่อไปจึงมีความจำเป็น โดยวัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้มีดังนี้

1) เพื่อศึกษาว่าบ้านโครงสร้างเหล็ก (Cold-formed steel frame) และบ้านโครงสร้างไม้ (Wood frame) จะสามารถประหยัดพลังงานหรือค่าไฟฟ้าได้มากน้อยเพียงใด เมื่อเปรียบเทียบกับบ้านโครงสร้างคอนกรีตโดยทั่วไปที่มีแบบแปลนเหมือนกัน และฉนวนกันความร้อนหรือไม่

2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้กับราคาค่าก่อสร้างของบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ดังกล่าว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุก่อสร้างที่สำคัญ เช่น แผ่นวัสดุบุผนัง และฉนวนกันความร้อน

3.3 การคำนวณหาต้นทุนไฟฟ้าที่ใช้ของบ้าน

จากผลการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร จะทราบค่าภาระการทำความเย็น (Cooling Load) และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในส่วนของภาระการทำความเย็นนั้น จะต้องแปลงเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อน โดยกำหนดให้ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้เท่ากับ 2.5

การคำนวณค่าไฟฟ้า ใช้วิธีการคำนวณตามเกณฑ์ของการไฟฟ้า นครหลวง ใช้อัตราค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ารวมประกอบด้วยค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าฐานคงที่ ค่าไฟฟ้าผันแปร (56.53 สตางค์ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ใช้) ค่าบริการ และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

3.4 การประมาณราคาตัวก่อสร้าง

การประมาณราคาตัวก่อสร้างบ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ปริมาณวัสดุตามที่ได้ระบุไว้ในโครงการวิจัย [6] เป็นหลัก ได้ทำการทบทวนแก้ไขราคาวัสดุและค่าแรงให้สอดคล้องกับช่วงเวลาที่ทำการวิจัย และปรับแก้ไปในส่วนที่แตกต่างไปจากเดิม เช่น การปรับเปลี่ยนวัสดุผนัง พื้น ฝ้าเพดาน นอกจากนั้นได้ทำการประมาณราคาตัวก่อสร้างในส่วนของบ้านโครงสร้างเสาคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐ ที่มีลักษณะอาคารคล้ายคลึงกับบ้านโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างไม้เพิ่มเติม เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบในการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของบ้านทั้งสามประเภท

3.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็ก จะพิจารณาจากราคาตัวก่อสร้างและค่าไฟฟ้าเป็นหลัก โดยดัชนีที่ใช้ในการประเมินความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการศึกษานี้ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน โดยถือว่าระยะเวลาดังกล่าวไม่เกิน 7 ปี นั้น มีความเหมาะสมในแง่ของการลงทุน

4. ผลการศึกษา

4.1 บ้านโครงสร้างไม้ และบ้านโครงสร้างเหล็กต้นแบบ

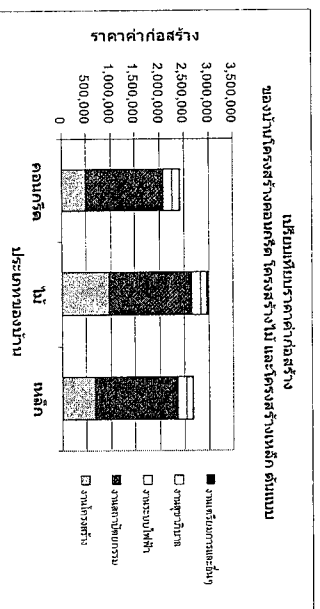
ในกรณีบ้านต้นแบบ (Base Case) บ้านโครงสร้างคอนกรีตมีราคาค่าก่อสร้าง 2,499,904 บาท (10,235 บาทต่อตรม.) บ้านโครงสร้างไม้ 2,982,621 บาท (12,211 บาทต่อตรม.) และบ้านโครงสร้างเหล็ก 2,679,269 (10,969 บาทต่อตรม.) บ้านโครงสร้างไม้มีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต 482,717 บาท (19.3%) ส่วนบ้านโครงสร้างเหล็กมีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต 179,365 บาท (7.2%) (รูปที่ 2)

จากผลการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้า (ปรับอากาศ ไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า) ของบ้านทั้งสามประเภท พบว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีตมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี 15,332 กิโลวัตต์ชั่วโมง บ้านโครงสร้างไม้ 13,814 กิโลวัตต์ชั่วโมง และบ้านโครงสร้างเหล็ก 13,583 กิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับบ้านโครงสร้างไม้จะใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีต่ำกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต 1,519 กิโลวัตต์

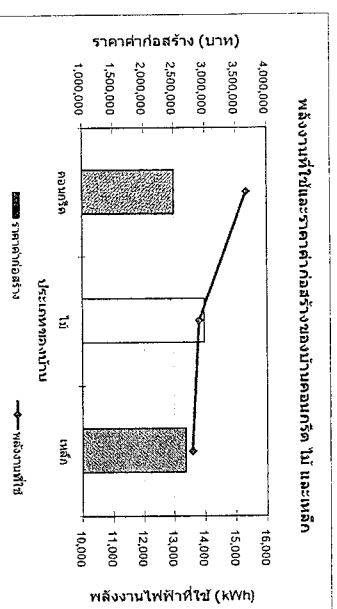
ชั่วโมง (9.9%) ส่วนบ้านโครงสร้างเหล็กจะใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีต่ำกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต 1,749 กิโลวัตต์ชั่วโมง (11.4%) (รูปที่ 3)

บ้านโครงสร้างคอนกรีตจะเสียค่าไฟฟ้าต่อปี 55,809 บาท บ้านโครงสร้างไม้ 50,047 บาท และบ้านโครงสร้างเหล็ก 49,171 บาท สำหรับบ้านโครงสร้างไม้จะเสียค่าไฟฟ้าต่อปีต่ำกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต 5,762 บาท (10.3%) ส่วนบ้านโครงสร้างเหล็กจะเสียค่าไฟฟ้าต่อปีต่ำกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต 6,638 บาท (11.9%)

เนื่องจากจากราคาตัวก่อสร้างของบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็กสูงกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีตมาก เมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในแต่ละปี ดังนั้นจึงมีระยะเวลาดังกล่าวคืนทุนค่อนข้างนาน โดยบ้านโครงสร้างเหล็กจะมีระยะเวลาในการคืนทุนที่สูงกว่าบ้านโครงสร้างไม้ (บ้านโครงสร้างไม้ 84 ปี และ บ้านโครงสร้างเหล็ก 27 ปี)



รูปที่ 2 ค่าก่อสร้างบ้านโครงสร้างคอนกรีต ไม้ และ เหล็ก



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าก่อสร้างและการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านโครงสร้างคอนกรีต ไม้ และเหล็ก

4.2 การปรับเปลี่ยนวัสดุผนังของบ้านโครงสร้างไม้ และบ้านโครงสร้างเหล็กต้นแบบ

จากบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็กต้นแบบ ใช้ผนังหลังคา ฝ้าเพดาน และพื้น ตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 1) ทำการปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้สำหรับผนังภายนอกเพิ่มเติมอีก 5 แบบ รูปที่ 6 แสดงผนังภายนอกที่ทำการศึกษาก่อนบ้านโครงสร้างไม้ สำหรับบ้านโครงสร้างเหล็ก จะปรับเปลี่ยนผนังภายนอก เช่นเดียวกับบ้านโครงสร้างไม้ แต่ใช้โครงสร้างเหล็กแทนโครงสร้างไม้ โดยผนังที่มีค่าความต้านทานความร้อนน้อยที่สุดคือผนังแบบที่ 1 และมากที่สุดคือผนังแบบที่ 6

ตารางที่ 1 วัสดุที่ใช้ในบ้านโครงสร้างคอนกรีต ไม้ และเหล็ก

โครงสร้างคอนกรีต	โครงสร้างไม้	โครงสร้างเหล็ก
ผนัง	ผนังก่ออิฐฉาบปูน หน้า 10 ซม.	โครงสร้างว่าไม้ขนาด 2"x4" @ 0.6 ม.
ภายนอก	ภายนอกบุแผ่นไม้อัดซีเมนต์ หน้า 12 มม.	ภายนอกบุแผ่นไม้อัดซีเมนต์ หน้า 12 มม.
ผนัง	ผนังก่ออิฐฉาบปูน หน้า 10 ซม.	ผนังโครงสร้างไม้ขนาด 2"x4"
ภายใน	บุอิฐฉาบบอร์ด 12 มม. ทั้งสองด้าน	บุอิฐฉาบบอร์ด 12 มม. ทั้งสองด้าน
ฝ้าชั้นล่าง	พื้นค.ส.ล. หน้า 10 ซม. บุแกรนิต	พื้นค.ส.ล. หน้า 10 ซม. บุแกรนิต
ฝ้าชั้นสอง	พื้นค.ส.ล. หน้า 10 ซม.	ดงเหล็กขนาด 200x45x1 มม. @ 0.6 ม.
	บุไม้ปาร์เก้ หน้า 1/2 นิ้ว	บุด้วยแผ่นไม้อัดซีเมนต์ หน้า 24 มม.
	ด้ามบนบุไม้ปาร์เก้ หน้า 1/2 นิ้ว	ด้ามบนบุไม้ปาร์เก้ หน้า 1/2 นิ้ว
ฝ้าพาดาน	อิฐฉาบบอร์ด หน้า 9 มม.	อิฐฉาบบอร์ด หน้า 9 มม.
หลังคา	โครงสร้างหลังคาเหล็ก บุกระเบื้องคอนกรีต	โครงสร้างหลังคาเหล็ก บุกระเบื้องคอนกรีต
หน้าต่าง	กระจกใส หน้า 6 มม.	กระจกใส หน้า 6 มม.

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และการสนับสนุนด้านเทคนิคจาก Dr. Michael J. Witte, Dr. Jan Kosny และ Robin Mitchell ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

อนึ่ง ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Crawley, D.B., Lawrie, L. K., Pedersen, C. O., Winkelman, F. C., Witte, M. J., Strand, R. K., Liesen, R. J., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Henninger, R. H., Glazer, J., Fisher, D. E., Shirey, D. B., Griffith, B. T., Ellis, P. G., and Gu, L. "ENERGYPLUS: AN UPDATE" Proceedings of SimBuild 2004, IBPSA-USA National Conference, Boulder, CO, USA, 4-6 August, 2004.
- [2] Doebber, I. R. "Investigation of Concrete Wall Systems for Reducing Heating and Cooling Requirements in Single Family Residences." Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [3] Enemodal Engineering Limited, Oak Ridge National Labs, and Polish Academy of Sciences. "Modeling Two- and Three-Dimensional Heat Transfer Through Composite Wall and Roof Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs (1145-TRP), Part I: Final Report." Report prepared for ASHRAE, Atlanta, GA, 2001.
- [4] Finlayson, E., Mitchell, R., Arastech, D., Huizenga, C., and Curcija, D. "THERM 2.0: Program Description A PC Program for Analyzing the Two-Dimensional Heat Transfer Through Building Products" Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California, 1998.
- [5] Kosny, J., and Kossecka. E. "Multi-Dimensional Heat Transfer through Complex Building Envelope Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs." Energy and Buildings 34: 445-454, 2002.
- [6] จริฎพัฒน์ ภูวนันท์, กมล ภูวนันท์, และ สุภัฏฐา พงษ์ธรรมรักษ์. "การศึกษาเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กเบา กับโครงสร้างไม้ขนาดเล็ก." รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2545.
- [7] จริฎพัฒน์ ภูวนันท์, ปรีชญา มหัทธนะทวี, ตรีณี มงคลสวัสดิ์, และ สุพิชชา โตวิวิชญ์. "การประเมินผลบ้านโครงสร้างเหล็กที่สร้างขึ้นในงานสถาปนิก '46 เมืองทองธานี." รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอสถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2546.

second national conference of IBPSA-USA

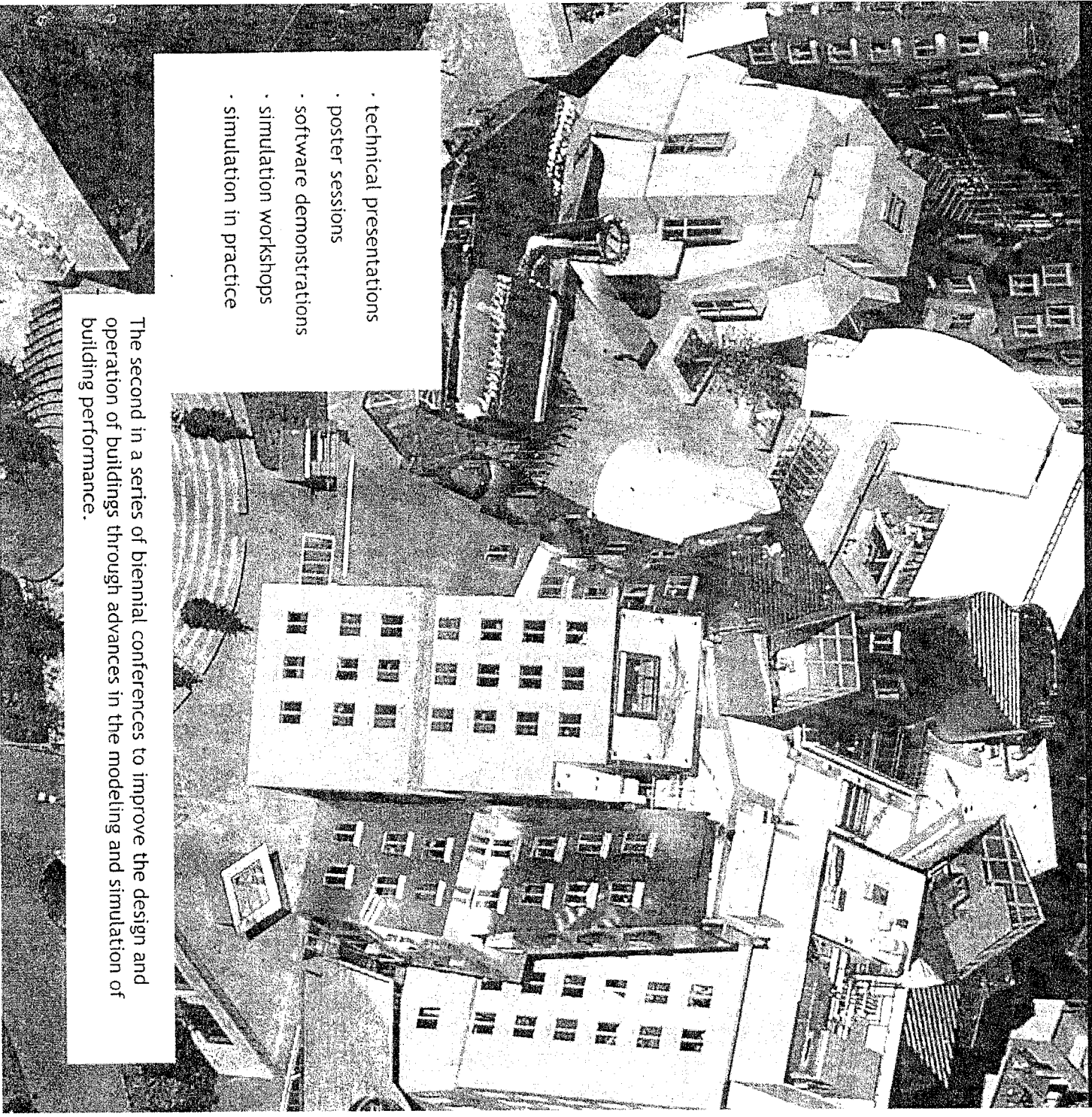
SimBuild 2006

building sustainability and performance through simulation

AUGUST 2-4, 2006 - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS USA

- technical presentations
- poster sessions
- software demonstrations
- simulation workshops
- simulation in practice

The second in a series of biennial conferences to improve the design and operation of buildings through advances in the modeling and simulation of building performance.



THE ENERGY PERFORMANCE OF THE COLD-FORMED STEEL-FRAME AND WOOD-FRAME HOUSES DEVELOPED FOR THAILAND

Prechaya Mahattanatawe¹, Charupat Puvanan¹, and Darunee Mongkolsawat¹

¹Faculty of Architecture, Silpakorn University, Bangkok, Thailand

prechaya@hotmail.com, puvanant@su.ac.th, mdarunee@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents the energy consumption of a two-storey detached house in Thailand constructed by three different systems: concrete-frame house, steel-frame house, and wood-frame house. The EnergyPlus software was used to simulate the energy performance of the houses. Different methods for simulating framing construction were compared in order to choose the appropriate one. The energy consumption of the houses was then investigated based on the selected method. The construction cost and electricity cost of different types of houses were analyzed to determine the economical system.

INTRODUCTION

In Thailand, most houses are constructed by concrete frame (reinforced concrete columns and beams) with brick walls. Wood-frame and cold-formed steel-frame construction have been applied for the house construction in Thailand for more than 10 years. Although the wood-frame and lightweight steel-frame house construction are widely used in other countries such as the United States and Canada, they are sparsely used for house construction in Thailand. However, recent research has shown that the steel-frame house construction has become more acceptable than in the past. The results of the questionnaires regarding the attitudes of the visitors toward the demonstrated steel-frame house constructed at the annual Architect Expo '03 show that 68% of the subjects are interested in buying this type of house if the price is within $\pm 15\%$ of the price of a conventional concrete-frame house (Puvanan et al. 2003).

Previous research has shown that thermal bridges caused by wood or steel framing affect thermal performance of assemblies. The methods for evaluating the thermal resistance of the wood-frame and steel-frame assemblies have been studied in several research (Kosny and Christian, 1995; Trethowen, 1995; Tulaca et al. 1997). The energy performance of the steel-frame and wood-frame houses have been investigated and compared with other construction systems (SIP, ICF, etc.) either by constructing real houses at the same location and measuring energy consumptions (NAHB, 1999;

NAHB, 2002) or by using simulation tools (NAHB, 1999; Gajda, 2001; Purdy and Beausoleil-Morrison, 2001; Doeber, 2004; Kosny, 2004).

Several methods have been utilized to model wood-frame and steel-frame houses in the energy simulation programs. These include a simplified method which disregards the effect of studs (model only a center of cavity wall) and more advanced methods which take the effect of the thermal bridges caused by wood or steel frames into account. The research seeks to explore the differences of the results calculated by each method. The results would help to decide which method should be utilized when the level of accuracy or the effort is taken into considerations

Although there are many researches on energy performance of wood-frame and steel-frame houses, those researches were conducted in different weather conditions and with different construction materials from those used in Thailand. The energy performance of the wood-frame and steel-frame houses need to be further investigated in order to develop these construction systems to suit appropriately the house constructions in Thailand.

This paper consists of two main parts. The first part is to compare the results of the different methods applied for modeling the wood-frame and steel-frame houses in EnergyPlus. The second part is to compare the construction cost and energy cost of the concrete-frame, wood-frame, and steel-frame houses in order to determine which house is the most worthwhile to construct.

HOUSE DESCRIPTION

The house for this study is a two-storey detached house (Figure 1) designed in the research of Puvanan et al. (2004). The total space of the interior and exterior is 196 m² and 48 m² respectively. The first floor is composed of a living room, bedroom, dining room, kitchen, pantry, bathroom, and stairs. The second floor has three bedrooms, multipurpose room, and two bathrooms. The front of the house faces the south. It was assumed that the house will be constructed in the suburb area of Bangkok. Details of the building components (exterior walls, interior walls, floors, ceilings, and roofs) of the concrete-

ECONOMICAL EVALUATION

The objectives of the study are to compare the energy performance of the steel-frame house and the wood-frame house with the conventional concrete-frame house, and to evaluate the economical value of the houses based on their construction costs and electricity costs.

The energy consumption for the cooling, lighting, and electrical equipment of the concrete-frame, a wood-frame, and a steel-frame house were simulated by the EnergyPlus. The building components of all three construction types are shown in Table 1. The details of the exterior walls for each construction type are shown in Figure 8.

The construction costs of the three types of the houses were estimated based on the construction drawings and construction specifications. The total cost of the house includes the cost of architecture, structure, lighting, sanitary, construction operation, and tax.

The electricity cost was calculated based on the method used by the Metropolitan Electricity Authority. The total electricity cost includes the service charge, fuel adjustment charge (Ft), and tax. The coefficient of performance (COP) of the air conditioner was assumed to be 2.5. The economical indices are payback period (PB), net present value (NPV), and internal rate of return (IRR). The escalation rate of the electricity is 3% per year and the discount rate is 5%. The payback period which is over seven years will not be considered economical.

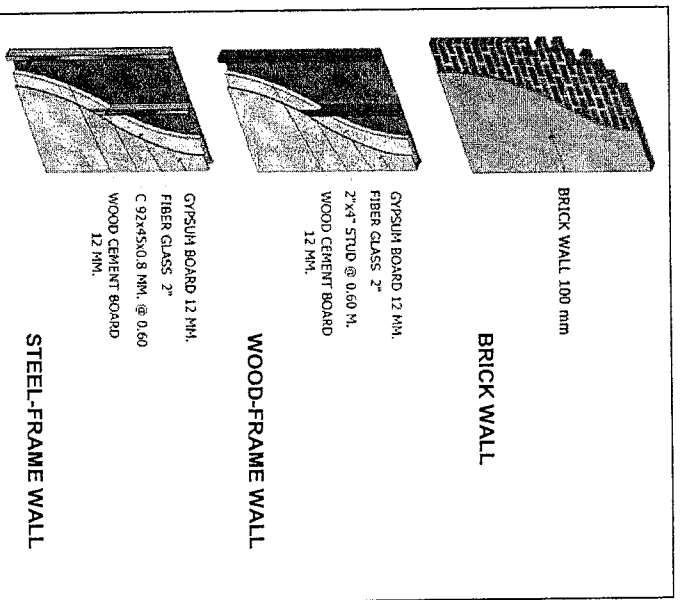


Figure 8. Exterior walls of concrete-frame, wood-frame, and steel-frame houses

DISCUSSION AND RESULTS ANALYSIS

[2]

The construction costs of the concrete-frame house, wood-frame house, and steel-frame house are 66,226, 81,227, and 73,244 USD respectively. The costs of the wood-frame house and steel-frame house are 23% and 11% higher than the cost of the concrete-frame house respectively. An annual energy consumption of the wood-frame house and steel-frame house are 7.0% and 8.8% lower than that of the concrete-frame house respectively. The wood-frame and steel-frame house can save 107 and 134 USD per year on the electricity costs respectively (Table 4, Figure 9).

Table 4. Construction cost, electricity use, electricity cost, and payback period of concrete-frame, wood-frame, and steel-frame houses

METHOD	CON - CRETE	WOOD FRAME	STEEL FRAME
1. Construction cost (USD*)	66,226	81,227	73,244
2. Electricity Use (kWh / year)	15,305	14,237	13,961
3. Electricity cost (USD/ year)	1,466	1,359	1,332
4. Elec. Savings (USD/ year)	-	107	134
5. Payback period (years)	-	141	52

* based on currency exchange (1 USD = 38 THB)

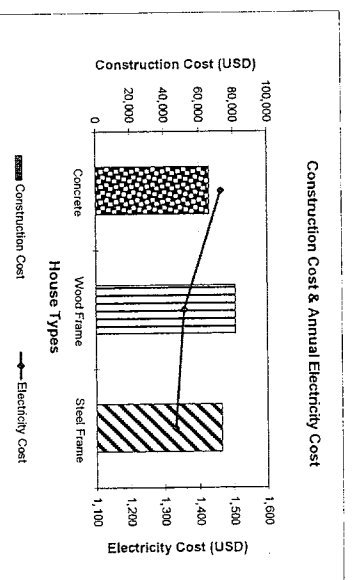


Figure 9. Construction cost and electricity cost of three types of houses

The payback periods of the wood-frame and steel-frame houses are longer than 30 years due to the high construction cost and small electricity cost savings compared with the concrete-frame house. Since the payback periods are much longer than the preferred payback period, other economical indices, NPV and IRR, are not considered. Based on the construction cost and electricity cost, the steel-frame house is more economical than the wood-frame house. However, the

Table 1. Details of the houses' components

BUILDING COMPONENT	CONCRETE	WOOD FRAME	STEEL FRAME
1. Exterior walls	brick wall 100 mm	wood cement board 12 mm wood stud 50x100 mm @ 600 mm. fiber glass 50 mm in stud cavity	wood cement board 12 mm steel stud 92x45x0.08 mm @ 600 mm fiber glass 50 mm in stud cavity
2. Interior walls	brick wall 100 mm	gypsum board 12 mm gypsum board 12 mm wood stud 50x100 mm @ 600 mm gypsum board 12 mm	gypsum board 12 mm. gypsum board 12 mm steel stud 92x45x0.08 mm @ 600 mm gypsum board 12 mm
3. Ground floor	concrete 100 mm granite 12.7 mm	concrete 100 mm granite 12.7 mm	concrete 100 mm granite 12.7 mm
4. Second floor	concrete 100 mm wood floor 12.7 mm	wood joist 50x200 mm @ 600 mm wood cement board 24 mm wood floor 12.7 mm	steel joist 200x45x1mm @ 600 mm wood cement board 24 mm wood floor 12.7 mm
5. Ceilings (below roof)	50 mm fiberglass insulation covered with aluminum foil gypsum board 9 mm	50 mm fiberglass insulation covered with aluminum foil gypsum board 9 mm	50 mm fiberglass insulation covered with aluminum foil gypsum board 9 mm
6. Roof	gypsum board 9 mm concrete cement tile	concrete cement tile	concrete cement tile
7. Windows	clear glass 6 mm	clear glass 6 mm	clear glass 6 mm

The “equivalent wall” method takes all factors affecting the thermal performance (thermal resistance, thermal mass, and thermal structure) into account. Therefore, it was used as the main method to be compared with the other four methods. Table 2 shows the thermal properties of all assemblies derived from the other four methods compared with the equivalent wall method.

Table 2. Thermal properties of assembly modeled with four methods compared with those of equivalent wall method

METHOD	R-VALUE	THERMAL MASS
1. Without Stud	X	X
2. Only R-value	✓	X
3. W/WO Stud	X	✓
4. Combine	✓	✓
5. Equivalent Wall	-	-

- ✓ value is equal to equivalent wall
- X value is not equal to equivalent wall

For all surfaces modeled by all methods, the surface properties (roughness, thermal absorptance, solar absorptance and visible absorptance) values for the exterior and interior layers are the same. The thermal resistance of the air cavities were drawn from the results calculated by THERM. The reason for not using the R-value of the air from other sources is to

exclude the effect of the material property difference (R-value of air) on the cooling loads and temperatures calculated by each method.

The building components (exterior walls, interior walls, second floor, and ceilings under roof) were modeled differently according to the mentioned methods. The ground floor (concrete slab), and roof were modeled by simple multilayer constructions. Although, research has shown that the interface details have an impact on the thermal performance (Kosny and Desjarlais, 1994; Christian and Kosny, 1996; Kosny et al. 1998), for this study only clear walls were modeled. The envelope interface details (wall corners, wall/roof, wall/floor, wall/door, and wall/window) are not modeled.

DISCUSSION AND RESULTS ANALYSIS

11

Table 3 and Figure 5 show the differences in the cooling loads calculated from the five methods. The cooling load of the house based on the combined-property method is close to that of the “equivalent wall” method with an average difference of 0.39 %, followed by the W/WO stud method (1.13%), and the without stud method (1.55 %). The second method (only-R-value) gives the greatest different results, about 19 %, from the equivalent wall method.

Figure 6 and 7 show the differences in temperatures calculated based on five different methods. The temperature data is the temperature of the bedroom zone (cooling setpoint 25 °C from 9 pm - 7 am) in

frame, wood-frame, and steel-frame houses are shown in Table 1.

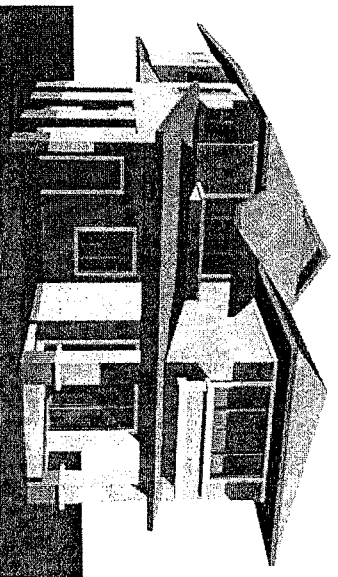


Figure 1. Case study house

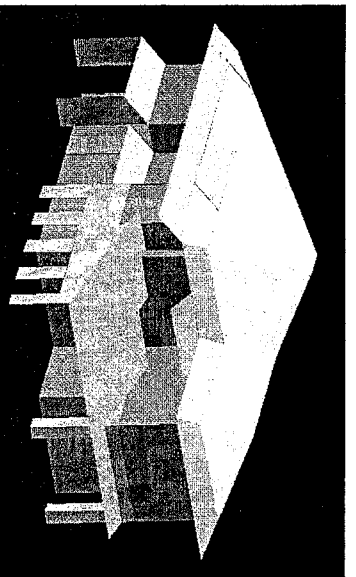


Figure 2. Case study house modeled in EnergyPlus

SIMULATION INPUT

The house modeled in EnergyPlus has 18 thermal zones. The first floor has eight thermal zones, the second floor has nine thermal zones, and the roof has one zone. The house has five occupants. The lighting for each zone was based on the lighting design shown in the construction drawings (average 4.5 W/m^2). Electrical equipments are based on appliances presented in a typical house. The infiltration rates of three houses are 0.5 ACH which is the same rate for every zone.

Only six zones (living, multipurpose, and four bedrooms) have air conditioners due to the hot weather almost all year round in Bangkok. The schedules of turning the air conditioners on for each zone were: bedroom, 9 pm – 6 am on weekdays and 9 pm – 7 am on weekends; living room, 1 pm – 9 pm everyday; multipurpose room, 7 pm – 10 pm on weekdays and 1 pm – 11 pm on weekends. The conditioning components were modeled by using the “Purchased Air” components provided in the EnergyPlus. The purchased air is the simplest piece of the zone equipment that can supply heating or cooling air according to the specified conditions (temperature, air humidity ratio) to meet the zone heating or cooling

load (DOE, 2005). For this study, the purchased air components were modeled without any limit on cooling supply air flow rate. The temperature set points were 25°C . The weather data of Bangkok was used for the simulation (THA_Bangkok_IWEC.epw). The house modeled in EnergyPlus is shown in Figure 2.

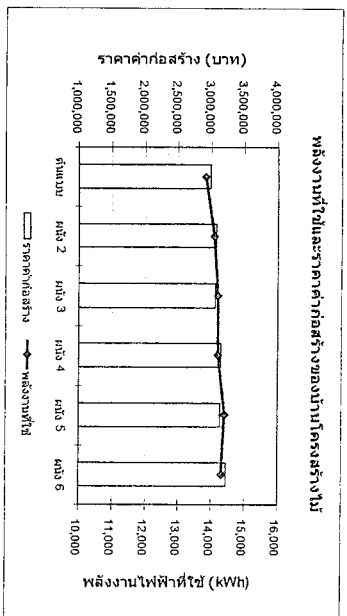
METHODS USED FOR MODELING WOOD- AND STEEL-FRAME HOUSES

The main objective of the method comparison is to find out the differences in the results (cooling loads and temperatures) calculated by each method when compared with the one that most accurately represents the frame assembly. The results will help to decide the appropriate method to be used for the study. The five methods (Figure 3) for modeling the wood-frame and steel-frame houses in order to compare their results are:

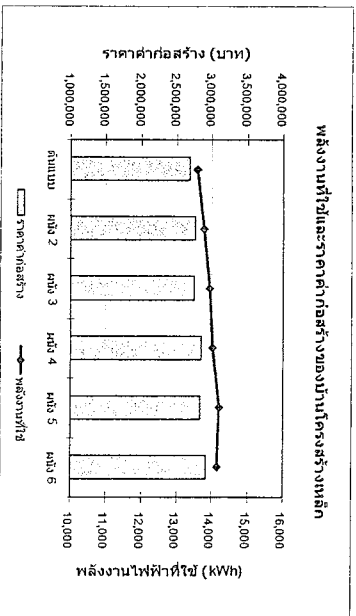
1. **Without stud:** Only the part of the wall without stud (center of cavity wall) was modeled. This method was used in the comparison because it is the simplest way to model when the effect of studs is not taken into account.

2. **Only wall R-value:** For this method, the effect of the wood or steel frames on the thermal resistance of a wall is taken into account but the effect of the thermal mass is disregarded. The wall R-value was calculated by THERM 5.2, a two-dimensional conduction heat transfer analysis software based on the finite element method (Finlayson et al. 1998). The wall construction input in the EnergyPlus has one or two material layers (Material:R). Two layers are needed if the surface properties (roughness, thermal absorptance, solar absorptance, visible absorptance) of the interior and exterior surfaces are different. The EnergyPlus simulates the material-R as steady state heat conduction (DOE, 2005).

3. **With and without studs:** For the wall, two surfaces were modeled. The first part represents the part of the wall without stud and was modeled as a base surface (Surface:HeatTransfer) in the EnergyPlus. The second part represents the part of the wall having stud and was modeled as a subsurface (Surface:HeatTransfer:Sub), whose surface type is “Door.” The advantage of modeling this part of the wall as a subsurface instead of a base surface is that when a stud size is changed (such as from wood stud to steel stud) only the subsurface geometries are needed to be adjusted.



รูปที่ 4 พลังงานที่ใช้และค่าก่อสร้างบ้านโครงสร้างไม้ เมื่อใช้ผนังที่ต่างกัน

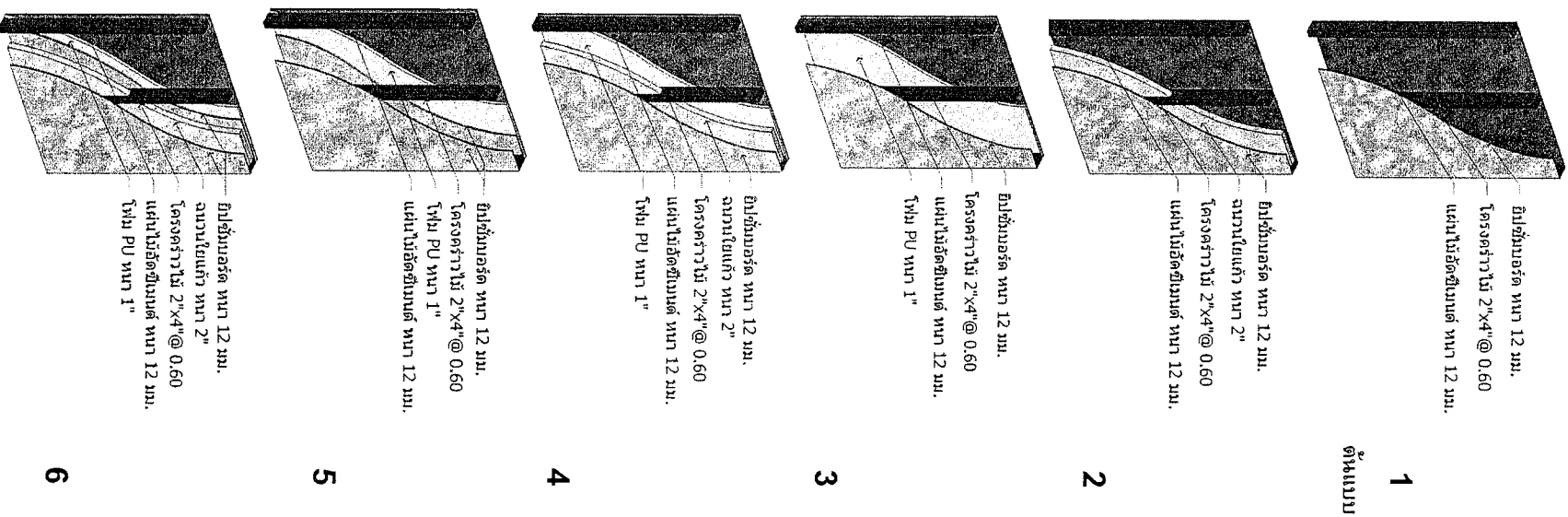


รูปที่ 5 พลังงานที่ใช้และค่าก่อสร้างบ้านโครงสร้างเหล็ก เมื่อใช้ผนังที่ต่างกัน

ผลการศึกษาพบว่า สำหรับการใช้เครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ในช่วงเวลากลางวันนั้น การเพิ่มวัสดุที่เป็นฉนวนของผนังภายนอก เช่น การบุฉนวนใยแก้วระหว่างโครงถ้ง หรือฉนวนโฟมโพลียูรีเทน ปิดด้านนอกของโครงถ้ง ตลอดจนการเพิ่มวัสดุปิดผิว เช่น อีปซีมบอร์ด ถัดจากโครงถ้ง ทำให้ค่าก่อสร้างของบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็กสูงขึ้นจากบ้านต้นแบบ แต่ไม่ช่วยให้ช่วยให้อุณหภูมิภายในของบ้านลดลงจากบ้านต้นแบบ (รูปที่ 4, 5) ดังนั้นการการใช้พลังงานของบ้านลดลงจากบ้านต้นแบบ (รูปที่ 4, 5) ดังนั้นการปรับเปลี่ยนผนังภายนอกดังกล่าวจึงไม่คุ้มค่าในการลงทุน

5. สรุป

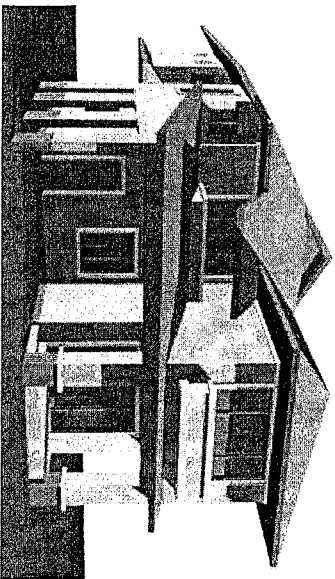
ในการศึกษาที่ใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลากลางวันเป็นส่วนใหญ่ นั้น บ้านโครงสร้างเหล็กและบ้านโครงสร้างไม้ต้นแบบ จะมีปริมาณการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าบ้านโครงสร้างคอนกรีต (9.9% และ 11.4%) โดยบ้านโครงสร้างเหล็กจะประหยัดพลังงานได้มากกว่าบ้านโครงสร้างไม้เล็กน้อย เนื่องจากบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็ก มีค่าก่อสร้างที่สูงกว่าบ้านทั่วไปมาก เมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ จึงมีระยะเวลาที่ทุนคืนนานกว่า 25 ปี สำหรับบ้านโครงสร้างไม้และเหล็ก การปรับเปลี่ยนวัสดุผนังให้มีความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น ไม่ได้ช่วยในเรื่องของการประหยัดไฟฟ้า หนึ่งผลที่ได้จากการศึกษาขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่อื่นที่กำหนดในการจำลองการใช้พลังงาน เช่น ช่วงเวลาที่ใช้เครื่องปรับอากาศ กรณีที่ตัวแปรเหล่านี้แตกต่างกันไป อาจส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของบ้าน ตลอดจนวัสดุผนังที่มีความเหมาะสมที่จะช่วยประหยัดพลังงานของบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็ก



รูปที่ 6 ผนังโครงถ้งไม้ที่ทำการศึกษา

2. ลักษณะของบ้านที่ทำการศึกษา

บ้านที่ทำการศึกษาก็คือบ้านที่ไม่ได้ออกแบบสำหรับโครงการวิจัย "การศึกษาเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็กกับกับโครงสร้างเม็ชขนาดเล็ก" [6] เป็นบ้านเดี่ยวสองชั้น (รูปที่ 1) มีพื้นที่ใช้สอยทั้งหมดยกและวางยใน รวม 244.6 ตารางเมตร ชั้นล่างของอาคารประกอบด้วย ห้องรับแขก ห้องนอน ห้องทานอาหาร ห้องครัว เตรียมอาหาร บันได และห้องน้ำ ส่วนชั้นบนประกอบด้วย ห้องพักผ่อน ห้องนอน 3 ห้อง และ ห้องน้ำ 2 ห้อง ด้านหน้าของอาคารหันไปทางด้านทิศใต้ อาคารดังกล่าวกำหนดให้อยู่อยู่ี่ฐานเมืองของกรุงเทพฯ



รูปที่ 1 ทิศนิยมภาพของบ้านที่ทำการศึกษา

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

การศึกษาคครั้งนี้ใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิธีการคำนวณแบบ Heat Balance [1]

เนื่องจากโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานโดยทั่วไป เช่น DOE 2, BLAST และ EnergyPlus จะคำนวณการถ่ายเทความร้อนขององค์ประกอบอาคาร ในลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ (One Dimensional Heat Transfer) แต่เนื่องจากองค์ประกอบอาคารที่ประกอบด้วยโครงสร้างเม็ชหรือเหล็ก เช่น ผนังที่มีโครงสร้างนั้น จะมีลักษณะการถ่ายเทความร้อนในลักษณะสองหรือสามมิติ ที่ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง และพฤติกรรมในการถ่ายเทความร้อนของผนังเปลี่ยนแปลงไป จึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่จะจำลององค์ประกอบของอาคารที่สามารถครอบคลุมถึงผลดังกล่าว เพื่อจะนำข้อมูลคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ขององค์ประกอบอาคารที่ได้ ไปใช้ในการจำลองการใช้พลังงานของอาคารในโปรแกรม EnergyPlus ต่อไป

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี "Equivalent Wall" ซึ่งหมายถึง ผนังที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น ที่มีค่าความต้านทานความร้อนของผนัง และค่าความจุความร้อนของผนัง เท่ากับผนังจริง และพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน ที่คล้ายคลึงกับผนังจริง [3]

วิธี Equivalent Wall นี้ได้มีการนำไปใช้ในการหาคุณสมบัติของผนังอาคาร เช่น ผนังโครงสร้างไม้ ผนัง PCC (Precast Concrete Panel) และ ผนัง ICF (Insulation Concrete Form) [2, 5] และ

สามารถใช้วิธี "Equivalent Wall" นี้ ในการหาคุณสมบัติขององค์ประกอบอาคารอื่นๆ ได้ เช่น พื้น และ หลังคา

วิธีการหาค่าคุณสมบัติวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็น "Equivalent Wall" สำหรับงานวิจัยนี้ โดยอ้างอิงจาก [3] มีรายละเอียดดังนี้คือ

1. จำลองผนังอาคารโดยใช้โปรแกรมคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบสองมิติ Therm 5.2 ซึ่งใช้หลักการคำนวณแบบ Finite Element Method [4] เพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่มีโครงสร้างและหาค่าอุณหภูมิของแต่ละหน่วยย่อยของผนัง

2. หาค่าความจุความร้อน (Thermal Capacity) ของผนัง

3. หาค่า Thermal Structure Factors ของผนัง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายตัวของค่าความต้านทานความร้อนของผนัง และค่าความจุความร้อนของผนัง ตลอดจนความหนาของผนังนั้นๆ ประกอบด้วยสามค่าคือ Φ_{ii} , Φ_{ie} , และ Φ_{ee} งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมใน Excel เพื่อใช้ในการคำนวณค่าดังกล่าว

4. หาคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชั้นของ "Equivalent Wall" เมื่อทราบค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง (ข้อ 1) ค่าความจุความร้อนรวมของผนัง (ข้อ 2) และ ค่า Thermal Structure Factors (ข้อ 3) ทั้งสามค่าแล้ว จึงใช้โปรแกรม "equi_wall" ที่มีส่วนพ้องกับรายงาน [3] ในการหาคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชั้นของ "Equivalent Wall"

5. เมื่อทราบคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบขึ้นเป็น "Equivalent Wall" แล้ว อันได้แก่ ความหนา ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าความจุความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่น จึงนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการจำลององค์ประกอบของอาคารในโปรแกรม EnergyPlus เพื่อหาปริมาณพลังงานที่ใช้ของอาคารต่อไป

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร

รายละเอียดองค์ประกอบอาคารของบ้านต้นแบบ (Base Case) แสดงไว้ในตารางที่ 1 สำหรับบ้านต้นแบบนั้น จะเริ่มจากบ้านโครงสร้างไม้และบ้านโครงสร้างเหล็ก ที่ยังไม่มีความหนาความร้อน ในส่วนของผนังภายนอก ฝ้าเพดาน และ หลังคา เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกันกรณีที่ปรับเปลี่ยนวัสดุเพิ่มเติมต่อไป

บ้านที่ศึกษากำหนดให้มีผู้อยู่อาศัยทั้งหมด 5 คน แบ่งออกเป็น 18 โซน ประกอบด้วย ชั้นล่าง 8 โซน ชั้นบน 9 โซน และโซนหลังคา 1 โซน ปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างของแต่ละโซนนั้นคำนวณจากแบบก่อสร้างของงานระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยยืมค่าเฉลี่ยของทุกโซนประมาณ 4.5 W/m² อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าของแต่ละโซนมีตามแบบบ้านทั่วไป ค่าการรั่วซึมของอากาศ (Infiltration Rate) ของทุกโซนกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.5 ACH และใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพฯ

โซนที่ปรับอากาศทั้งหมด 6 โซน ได้แก่ โซนห้องนั่งเล่น ห้องนอนปรับอากาศ และห้องนอน 4 ห้อง โซนห้องนอนเปิดเครื่องปรับอากาศตั้งแต่เวลา 21:00-6:00 น. ในวันธรรมดา และ 21:00-7:00 น. ในวันหยุด โซนห้องนั่งเล่น เปิดเครื่องปรับอากาศตั้งแต่ 13:00-21:00 น. ทุกวัน และห้องนอนปรับอากาศที่เปิดเครื่องปรับอากาศตั้งแต่เวลา 19:00-22:00 น. ในวันธรรมดา และ 13:00-23:00 น. ในวันหยุด ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25 °C

3. Therm 5.2 เป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างในลักษณะการจำลองการส่งผ่านความร้อนแบบ 2 มิติ (Two Dimensional Heat Transfer) โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ Finite Element Method ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนังโดยการเขียนรูปของโครงสร้างและวัสดุได้ผิว และเลือกประเภทของวัสดุที่ใช้ ซึ่งสามารถสร้างวัสดุใหม่ขึ้นเองได้ตามความต้องการ สามารถใช้จำลองโครงสร้างในรูปแบบลักษณะต่างๆ ได้ และไม่จำกัดจำนวนชั้นของวัสดุปิดโครงสร้าง โปรแกรมแสดงผลการคำนวณที่ได้ในหลายลักษณะ เช่น แสดงแสดงทิศทางการไหลของความร้อน ระดับอุณหภูมิ และค่า U-factor ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังได้ โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดได้จากอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>

4. Whole Wall R-value Calculator เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าความต้านทานของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) โดยพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 3-D Heat Transfer ซึ่งคำนวณจากแบบบ้านพักอาศัยชั้นเดียว ผู้ใช้โปรแกรมสามารถใส่ข้อมูลของผนัง เช่น โครงสร้างไม้หรือเหล็ก ขนาดและระยะห่างของโครงสร้าง (ระบุได้เฉพาะโครงสร้างรูปตัว C) ประเภทของฉนวนกันความร้อนที่อยู่ในช่องโครงสร้าง วัสดุปิดโครงสร้าง (ระบุได้เพียงชนิดเดียวในแต่ละด้าน) โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนและแสดงผลที่ได้ทางจอคอมพิวเตอร์ โปรแกรมนี้พัฒนาขึ้นที่ Oak Ridge National Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นโปรแกรมฟรีที่สามารถใช้ได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/AWT/InteractiveCalculators/Online/index.htm>

นำมาใช้ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโครงสร้างเหล็ก ในขณะที่ใช้ Modified Zone Method จะให้ผลใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรมคำนวณหรือการทดสอบจากผนังจริงมากกว่าวิธีอื่น โดยวิธี 2-D Heat Transfer เองนั้นก็มีค่าความแตกต่างกับผลที่ได้จากการทดสอบจากผนังจริงประมาณ 2-5% ในขณะที่การทดสอบกับผนังจริงโดยใช้ Guarded Hot Box นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงประมาณ 8%

การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังนอกจากจะต้องคำนึงถึงวิธีการที่ใช้ในการหาค่าแล้ว ยังต้องคำนึงถึงส่วนของผนังที่นำมาพิจารณาหาค่าความต้านทานความร้อน ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คำนวณมาจากผนังโดยรวม (Whole wall R-value) โดยทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่าการคิดเฉพาะผนังบางส่วน เช่น Center of Cavity R-value หรือ Clear Wall R-value การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม แม้ว่าจะมีข้อดีในแง่ที่ได้ค่าความต้านทาน ความร้อนของผนังที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในแง่ของวิธีการคำนวณที่ละเอียดและค่อนข้างยาก ดังนั้นการเลือกใช้วิธีใดในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของผนังจึงตรงกว่าหรือไม่หรือเหล็ก จึงควรต้องพิจารณาร่วมกันไปทั้งในเรื่องของระดับความถูกต้องแม่นยำที่จำเป็นสำหรับงานนั้นๆ ประกอบกับความยากง่ายในการหาค่าดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

- สำหรับงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ซึ่งให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัย ที่ผู้เขียนได้นำผลการศึกษาบางส่วนมานำเสนอในบทความนี้
- อาจารย์ดร.ณิ มงคลสวัสดิ์ ผู้ร่วมวิจัยในโครงการนี้

เฉลี่ยของความแตกต่างเท่ากับ 6% ในขณะที่วิธีการอื่น ๆ มีค่าความแตกต่างที่สูงกว่าตั้งแต่อ Parallel Path Method (33%), Isothermal Method (42%), และ Zone Method (46%)

5. Kosny และ Christian (1995: 787-788) เปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่คำนวณโดยวิธี Zone Method และ Modified Zone Method กับค่าความต้านทาน ความร้อนของผนังที่ได้จากการทดสอบผนังจริง ซึ่งเป็นผนังโครงคร่าวโลหะที่มีจำนวนบรระหว่างโครงคร่าว จำนวน 15 ตัวอย่าง พบว่า Zone Method มีค่าความแตกต่างโดยเฉลี่ย 13.55% ส่วน Modified Zone Method มีค่าความแตกต่าง โดยเฉลี่ย 6.5% นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับค่าความต้านทาน ความร้อนของผนังซึ่งคำนวณด้วยวิธี Modified Zone Method กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้วิธีการคำนวณแบบ Finite Difference โดยศึกษาจากผนังโครงคร่าวเหล็ก จำนวน 200 ชนิด พบว่ามีความแตกต่างอยู่ประมาณ $\pm 2\%$

จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นชี้ให้เห็นว่าสำหรับผนังโครงคร่าวไม้ วิธีการคำนวณโดยใช้วิธี Parallel Path หรือ Isothermal Planes Methods จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธีการคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (2-D or 3-D Heat Transfer) แต่วิธีทั้งสองเมื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า R ของผนังโครงคร่าวเหล็ก ค่าที่ได้จะมีความแตกต่างค่อนข้างสูง สำหรับผนังโครงคร่าวเหล็ก วิธี Modified Zone Method จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือจากการทดสอบจากผนังจริงมากกว่าวิธีอื่นๆ โดยที่การคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดสอบจากผนังจริงทั้งในส่วน of ผนังโครงคร่าวไม้และโครงคร่าวเหล็ก

ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole Wall R-Value)

การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยทั่วไปจะพิจารณาในส่วนของผนังและโครงคร่าวหลัก (Clear-Wall) แต่ไม่ได้พิจารณาถึงผนังบริเวณรอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคาร ในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) ซึ่งคิดรวมผนังบริเวณรอยต่อต่างๆ ด้วยนั้น วิธีที่ใช้ในการคำนวณจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่สามารถคำนวณการส่งผ่านความร้อนบริเวณรอยต่อที่เป็นลักษณะ 3 มิติ (Three Dimensional Heat Transfer) ได้ โดยใช้วิธีการคำนวณ เช่น 3-D Finite Different โปรแกรมที่ใช้มักจะมีการทดสอบผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงให้มีค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการวัดจริงก่อนที่จะนำมาใช้ การหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม (Whole wall R-value) นั้น ทำได้

โดยการใช้โปรแกรมคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของผนังแต่ละส่วน อันได้แก่ Clear Wall และ ผนังบริเวณรอยต่อกับส่วนอื่นๆ ของอาคารจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยตามสัดส่วนของพื้นที่ในแต่ละส่วนที่มีผลต่อสภาพการนำความร้อนที่แตกต่างกัน ดังสมการที่ [6] (Kosny and Desjarais, 1994: 5)

$$R_{ws} = \left[\frac{A_{cw}}{R_{cw}} + \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{R_i} \right]^{-1} \dots\dots[6]$$

R_{ws} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังโดยรวม [$m^2 \cdot K/W$]
 A_{cw} = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของผนังส่วนที่เป็น clear wall ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]

A_i = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของผนังส่วนที่เป็นรอยต่อแบบที่ i ต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]

R_{cw} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังส่วนที่เป็น clear wall [$m^2 \cdot K/W$]

R_i = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังส่วนที่มีรอยต่อแบบที่ i [$m^2 \cdot K/W$]

จากผลการศึกษาของ Christian และ Kosny (1996: 60-62) พบว่าส่วนของผนังที่นำมาพิจารณาในการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังนั้นมีผลต่อค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่หาได้แตกต่างกัน สำหรับผนังโครงคร่าวไม้ ที่ทำการศึกษาทั้งหมด 3 ชนิด ค่า Whole wall R-value จะมีค่าที่ต่ำกว่า Clear wall R-value 9.1 ถึง 16.3 % ส่วนผนังโครงคร่าวเหล็กที่ทำการศึกษาทั้งหมด 7 ชนิด พบว่า ค่า Whole Wall R-value จะมีค่าที่ต่ำกว่า Clear wall R-value 17.4 ถึง 26.5 % ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการวัดประสิทธิภาพของผนังโดยพิจารณาจากค่า Whole wall R-value แทน เนื่องจากเป็นค่าความต้านทานความร้อนโดยรวมที่พิจารณาถึงส่วนต่างๆ ของผนังที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง

การพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนโดยดูจากค่า Center-of-Cavity R-value หรือ Clear wall R-value อาจทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนของผนัง แต่ละประเภทคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ จากตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบผนังโครงคร่าวไม้ (ผนังที่ 1) และผนังโครงคร่าวเหล็ก (ผนังที่ 3) จะเห็นว่าผนังที่ 3 มีค่า Cavity wall R-value ที่สูงกว่าผนังที่ 1 (14.6 : 13.6) แต่เมื่อพิจารณา ผนังโดยรวมแล้ว ผนังที่ 3 กลับมีค่า Whole wall R-value ที่ต่ำกว่าผนังที่ 1 (6.1 : 9.6) หรือ การเปรียบเทียบผนังโครงคร่าวไม้ (ผนังที่ 2) และผนังโครงคร่าวเหล็ก (ผนังที่ 4) ผนังที่ 4 จะมีค่า Clear wall R-value

โดยความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงสร้าง สามารถคำนวณได้ดังนี้ (รูปที่ 3)

$$W = L + Z_f d \quad \dots\dots\dots[4]$$

W = ความกว้างของโซนบริเวณที่มีโครงสร้าง [m]

L = ความกว้างของโครงสร้าง (stud flange size) [m]

d = ระยะความหนาแน่นของวัสดุทั้งหมดที่อยู่ถัดออกไปจากผิวของโครงสร้าง [m] (ในกรณีที่ความหนาแน่นของวัสดุแต่ละชั้นที่อยู่ติดออกไปจากโครงสร้างไม่เท่ากัน ให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า)

Z_f = zone factor ซึ่งทราบค่าได้จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Z_f กับ ค่าความต้านทานของโครงสร้าง (web) และ ค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของสมบัติการต้านทานความร้อน (Thermal Resistivities) ของวัสดุที่นำมาปิดโครงสร้างและค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของผนังกันความร้อนที่อยู่ระหว่างโครงสร้างกราฟดังกล่าวแสดงไว้ใน (Kosny and Christian, 1995. : 786; ASHRAE, 2001: 25.12)

การคำนวณด้วยวิธีนี้จะขึ้นตอนที่จะมากขึ้นจากวิธีทั้งสามที่ได้กล่าวมา จึงได้มีการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการคำนวณโดยใช้ Modified Zone Method ให้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก

5. โปรแกรมคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบสองหรือสามมิติ (Two or Three dimensional Heat Transfer)

เนื่องจากผนังที่ประกอบด้วยโครงสร้างจะมีการส่งผ่านความร้อนในลักษณะ 2 หรือ 3 มิติ การหาค่าความต้านทานความร้อน ในลักษณะนี้โดยละเอียดและแม่นยำขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณวิธีการที่ใช้ในโปรแกรมเหล่านี้ได้แก่ Finite Different Method หรือ Finite Element Method ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้การคำนวณด้วยวิธีนี้ได้แก่ HEATING 7.2 และ Therm 5.2 (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมที่ภาคผนวก) การหาค่าความต้านทานความร้อน ของผนังด้วยวิธีการนี้ ถึงแม้จะให้ผลที่ถูกต้องกว่าวิธีทั้ง 4 ที่ได้กล่าวมา แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในแง่ที่ผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ในระดับหนึ่ง เพื่อที่จะสามารถใส่ข้อมูลและวิเคราะห์ผลที่ได้ จากโปรแกรมได้ถูกต้อง

6. การทดสอบหาค่าความต้านทานความร้อนจากตัวอย่างผนังจริง โดยใช้ “Guarded Hot Box” ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติทางความร้อน ในสภาวะ

คงตัว (steady state) ขององค์ประกอบอาคารที่นำมาทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุที่มากกว่าหนึ่งอย่าง (nonhomogeneous specimens) เช่น ผนังทดสอบที่ประกอบด้วยแผ่นอิฐฉนวน และโครงสร้าง โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C236 (Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Guarded Hot Box) (ASTM, 1993: 1) ผนังที่ต้องการทดสอบหาค่าความต้านทานความร้อน จะถูกนำมาติดตั้งตรงกลางระหว่างส่วนที่เรียกว่า Climate Box และ Metering Box โดยภายใน Climate Box จะควบคุมให้มีอุณหภูมิตามสภาวะภายนอกอาคารที่ต้องการทดสอบ ในส่วนของ Metering Box จะควบคุมให้มีอุณหภูมิตามสภาวะภายในอาคารที่ต้องการทดสอบ โดย Metering box จะติดตั้งอยู่ภายใน Guard Box อีกชั้นหนึ่ง (รูปที่ 4) ซึ่งจะต้องมีการควบคุมไม่ให้มีการถ่ายเทความร้อนระหว่างส่วนของ Metering Box ไปยัง Guard Box หรือมิฉะนั้นที่สุด Metering Box จะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะครอบคลุมส่วนของผนังที่สามารถใช้ เป็นตัวแทนของผนังชนิดนั้นๆ ได้ เมื่อระบบอยู่ในสภาวะ คงตัว (steady state) คืออยู่ในสภาวะที่ระดับอุณหภูมิระหว่าง ผิวผนังทั้งสองด้านที่ความร้อนไหลผ่านคงที่ จึงทำการวัดค่าต่างๆที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความต้านทาน ความร้อนของผนัง เช่น อุณหภูมิที่ผิวของผนังทั้งสองด้าน อุณหภูมิของอากาศภายใน Climate Box และ Metering Box และ พลังงานที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิและความเร็วลม ในส่วนของ Metering Box โดยค่าความต้านทานความร้อนของผนังจะคำนวณได้จาก

$$R = \frac{A(t_1 - t_2)}{Q} \quad \dots\dots\dots[5]$$

R = ค่าความต้านทานความร้อนของผนัง (ไม่รวมส่วนของฟิล์มอากาศ) [m²·KW⁻¹]
A = พื้นที่ของผนังที่ทำการวัดค่า [m²]
 t_1 = อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังด้านที่มีอุณหภูมิสูง [K]
 t_2 = อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ [K]
Q = อัตราการไหลของความร้อนทั้งหมด ซึ่งให้กับส่วนของ Metering Box [W]

จากผลการศึกษาเพื่อหาค่าความเที่ยงตรงของวิธีการนี้ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากหลาย ๆ หน่วยงาน ซึ่งทำการทดสอบกับวัสดุที่ได้มาจากการผลิตเดียวกัน พบว่าค่าความต้านทานความร้อนที่หาได้จากแต่ละแห่งจะมีความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันอยู่ภายในช่วงประมาณ 7.8% ณ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 24 °C (ASTM, 1993: 8) วิธีการนี้ถือว่าเป็นวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนัง ที่มีความ

กล่าวและวัสดุอื่น โดยคิดเฉลี่ยตามสัดส่วนของพื้นที่ในส่วนที่เป็นโครงสร้างและส่วนที่ไม่เป็นโครงสร้าง จากนั้นจึงแปลงค่าดังกล่าวให้เป็นค่าความต้านทานความร้อน โดยค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังทั้งหมดยังจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานความร้อนของชั้นที่ไม่มีโครงสร้างนี้ บวกกับค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุปิดผิวทั้งสองด้านของโครงสร้าง (สมการที่ 2, ภาพที่ 2)

$$R = R_A + R_{jmf} + R_B \quad \dots\dots[2]$$

$$R_{jmf} = \frac{1}{\frac{F_j}{R_j} + \frac{F_{mf}}{R_{mf}}}$$

โดยที่

R = ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_A = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุปิดโครงสร้างที่อยู่ทางด้านนอก [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_{tm} = ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่ไม่มีโครงสร้างและวัสดุอื่น [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_B = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุปิดโครงสร้างที่อยู่ทางด้านใน [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 F_j = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่เป็นโครงสร้างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
 F_{mf} = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ส่วนที่ไม่มีโครงสร้างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด [-]
 R_j = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุโครงสร้าง [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]
 R_{mf} = ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุอื่นที่อยู่ชั้นเดียวกับโครงสร้าง [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]



F_i = อัตราส่วนพื้นที่ส่วนที่ไม่มีโครงสร้างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด
 F_{mf} = อัตราส่วนพื้นที่ส่วนที่มีโครงสร้างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด
 k = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)
 d = ความหนาของวัสดุ (m)
 R = ค่าความต้านทานความร้อน ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

PARALLEL PATH METHOD	ISOTHERMAL PLANES METHOD
1. หาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในแต่ละส่วน ($R_A, R_{frame}, R_{ins}, R_B$) $R_i = \frac{d_i}{k_i}$ 2. หาค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังส่วนที่ไม่มีโครงสร้าง (R_{NF}) และ ส่วนที่มีโครงสร้าง (R_F) $R_{NF} = R_A + R_{ins} + R_B$ $R_F = R_A + R_{frame} + R_B$ 3. หาค่าการต้านทานความร้อนของผนังทั้งหมด $R = \frac{1}{\frac{F_j}{R_j} + \frac{F_{NF}}{R_{NF}}}$	1. หาค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุในแต่ละส่วน ($R_A, R_{frame}, R_{ins}, R_B$) $R_i = \frac{d_i}{k_i}$ 2. หาค่าความต้านทานความร้อนของผนังชั้นที่ประกอบด้วยโครงสร้างและวัสดุอื่น (R_{jmf}) $R_{jmf} = \frac{1}{\frac{F_j}{R_j} + \frac{F_{mf}}{R_{mf}}}$ 3. หาค่าการต้านทานความร้อนของผนังทั้งหมด $R = R_A + R_{jmf} + R_B$

ภาพที่ 2 วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังแบบ Parallel Path Method และ Isothermal Planes Method

บทนำ

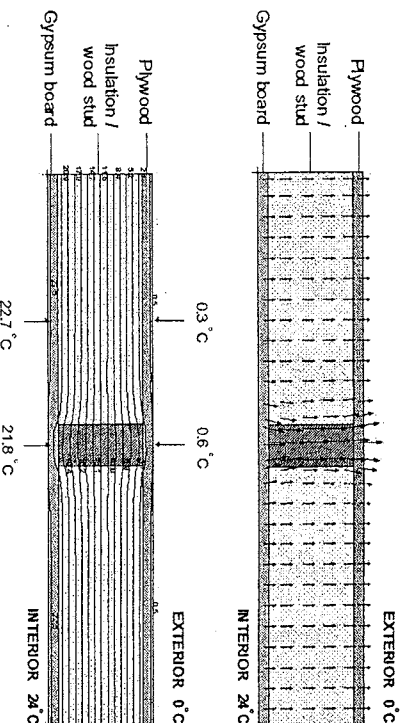
การก่อสร้างอาคารด้วยระบบโครงสร้างไม้ (wood framing) หรือโครงสร้างเหล็ก (steel framing) เป็นที่นิยมแพร่หลายกันมานานในต่างประเทศ โดยระบบโครงสร้างนี้มีข้อดี ในแง่ที่ก่อสร้างได้รวดเร็ว มีน้ำหนักเบา ช่วยลดโครงสร้าง ของฐานราก แต่เนื่องจากในส่วนหนึ่งของผนัง หรือ โครงหลังคา จะประกอบด้วยโครงสร้างที่ทำด้วยวัสดุไม้ หรือ เหล็ก ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ที่สูงกว่าวัสดุส่วนอื่น ทำให้บริเวณ โครงสร้าง มีอัตราการส่งผ่านความร้อนสูงกว่าบริเวณ โดยรอบ เป็นผลให้ความต้านทานความร้อนโดยรวม ของผนังลดลง อันมีผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศของอาคารที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งบริเวณโครงสร้างจะมี อุณหภูมิพื้นผิวที่ต่างจากบริเวณโดยรอบ ซึ่งถ้าพื้นผิวมี อุณหภูมิที่ต่ำอาจก่อให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำใน อาคารหรือเกิดการสะสมของฝุ่นได้ง่าย การทราบค่า ความต้านทาน ความร้อนของผนังอาคารจึงเป็นสิ่ง จำเป็นในการพิจารณาเลือก ใช้วัสดุประกอบของผนังระบบนี้ ให้มีค่าความต้านทานความร้อนในระดับที่เหมาะสมและ ให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดควบคุม ตามกฎหมายที่มีใน บางประเทศ

เนื่องจากผนังที่ประกอบด้วยโครงสร้างเหล็กหรือไม้ จะมีส่วนของโครงคร่าวแทรกอยู่ในชั้นเดียวกับวัสดุฉนวน กันความร้อน(หรือช่องอากาศ) ซึ่งทำให้ลักษณะการถ่ายเท ความร้อนมีความแตกต่างไปจากระบบผนังอาคารทั่วไป ที่ในแต่ละชั้น (layer) มีเพียงวัสดุแบบเดียว ได้มีการศึกษา พัฒนาวิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนังระบบนี้ อยู่หลายวิธี การทราบถึงหลักการ วิธีการคำนวณ ความถูกต้อง ข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธี จะช่วยในการ ตัดสินใจเลือกใช้วิธีการหาค่าความต้านทานความร้อนของผนัง

ที่เหมาะสม ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนของผนังนี้ เป็นข้อมูลที่สำคัญส่วนหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการคำนวณค่า การใช้พลังงานโดยรวมของอาคารการใช้ค่าที่เหมาะสม จะช่วยให้ผลการคำนวณการใช้พลังงานของอาคารมีความ ถูกต้องยิ่งขึ้น

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังที่ ประกอบด้วย โครงคร่าว

ผนังที่ประกอบด้วยโครงคร่าวนั้น การถ่ายเทความร้อน ที่ผ่านผนังในบริเวณที่อยู่ห่างออกไปจากโครงคร่าวจะเป็นแบบ หนึ่งมิติ (One-dimensional heat transfer) คือลักษณะที่ ความร้อนไหลในทิศทางเดียวจากภายในสู่ภายนอก (กรณีที่ อุณหภูมิในผนังสูงกว่าข้างนอก) ส่วนบริเวณที่ใกล้กับ โครงคร่าวการถ่ายเทความร้อนจะเป็นแบบสองมิติ (Two-dimensional Heat Transfer) คือ นอกเหนือจากมีการถ่ายเท ความร้อนระหว่างภายในและภายนอกในลักษณะ หนึ่งมิติที่กล่าวแล้ว ยังมีการถ่ายเทความร้อนระหว่าง โครงคร่าวกับวัสดุปิดผิวโครงคร่าวและโครงคร่าวกับฉนวน ที่อยู่ระหว่างช่องโครงคร่าวเกิดขึ้นด้วย (Childs, 1988: 1777) (ภาพที่ 1) ในกรณีที่อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าภายนอก อาคาร อุณหภูมิที่ผิวของผนังบริเวณโครงคร่าวทางด้าน ที่อยู่ภายในอาคารจะต่ำกว่าผนังบริเวณรอบๆ การไหล ของความร้อนจึงมีทิศทางจากผนังโดยรอบไปสู่โครงคร่าว ในขณะที่ภายนอกอาคารอุณหภูมิบริเวณโครงคร่าวจะสูงกว่า ผนังโดยรอบการไหลของความร้อนจึงมีทิศทางจากบริเวณ โครงคร่าวไปยังผนังโดยรอบอัตราการส่งผ่านความร้อน ทางด้านข้างจะสูงขึ้นถ้าความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของโครงคร่าว และวัสดุที่อยู่ติดกับโครงคร่าวนี้อยู่ที่ สูงขึ้น เช่น ผนัง โครงคร่าวเหล็กจะมีการส่งผ่านความร้อนทางด้านข้างที่สูงกว่า ผนังโครงคร่าวไม้ (ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของวัสดุ



ภาพที่ 1 (บน) แสดงทิศทางการไหลของความร้อนของผนังโครงคร่าวไม้ โดยใช้โปรแกรม Therm 5.2

(ล่าง) แสดงเส้นระดับอุณหภูมิ (isotherm) และอุณหภูมิของผิวผนังด้านนอกและด้านใน ณ ตำแหน่งที่มีโครงคร่าว และบริเวณที่อยู่ถัดไป

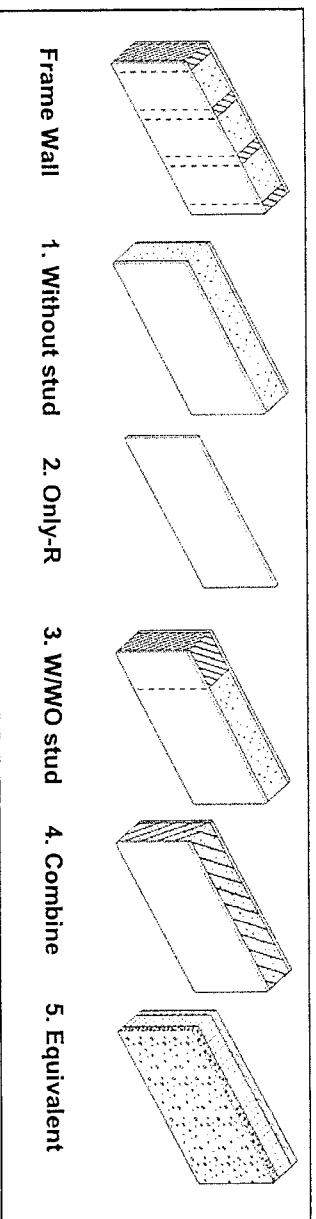


Figure 3. Five methods for modeling a frame wall

The total area of the subsurface was calculated according to the stud size and spacing. If the wall has windows or doors, the parts of the missing studs are also subtracted from calculation. The steel stud was modeled in a rectangular shape with the same width as the stud flange and the same height as stud web. We used the density value of the steel and adjusted the specific heat value so that the thermal mass was equal to the real stud shape.

The thermal resistance of the steel stud was calculated by dividing the steel stud into several parallel layers perpendicular to the heat flow direction (Figure 4). The thermal resistance of each layer was calculated and added up to obtain the total thermal resistance. All subsurfaces are located on the left side of all base surfaces. Placing the subsurfaces on different positions of the base surfaces affects the cooling load but the effect is very small. This method does not require the result (R-value) from the two-dimensional heat transfer program. It does not take the effect of the thermal bridge caused by the studs into account. In addition, the number of the surfaces input doubled, therefore, it took longer for the data input and simulation.

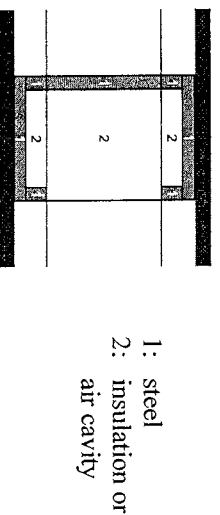


Figure 4. Dividing steel stud section for R-value calculation

4. Combine thermal properties: This method is adapted from (Purdy and Beausoleil-Morrison, 2001). THERM is utilized to calculate the R-value of the frame wall. The material properties of the layer which has stud and insulation was adjusted by changing its thermal conductivity so that the total thermal resistance of the wall construction is equal to the thermal resistance calculated by THERM. The thermal

properties (density, specific heat) of this layer was also adjusted to combine the thermal mass of the studs and the insulation. For this method, the effects of studs on the thermal resistance and the thermal mass of the wall were taken into accounted. However, the wall with the combined thermal properties might not have the same thermal performance as the real one.

5. Equivalent Wall: This method has been cited in several literatures (Carpenter, 2001; Emernodal et al., 2001; Kosny and Kossecka, 2002). The equivalent wall has “a simple one-dimensional multi-layer structure and the same thermal properties as the actual wall (total resistance and thermal capacitance). Its dynamic thermal behavior is identical to the actual wall.” (Emernodal et al., 2001:3). A process to generate “equivalent wall” is rather complicated compared to the aforementioned methods. However, once the “equivalent wall” thermal properties are derived, modeling in the EnergyPlus is easier than the third method which requires the data input of two surfaces for each wall. The “equivalent wall” method has been utilized to represent several wall construction systems such as wood-frame wall, precast concrete panel, and insulating concrete form (Kosny and Kossecka, 2002; Doeber, 2004).

THERM was used to calculate data needed for calculating thermophysical properties of the “equivalent wall.” The data calculated by THERM are the thermal resistance of an assembly, and dimensionless temperature for the problem of steady-state heat transfer (exterior temperature = 1 and interior temperature = 0). A spreadsheet program was developed to integrate all the dimensionless temperature, density, and specific heat of each wall element according to the formulas for deriving “thermal structure factors” written in the report (Emernodal et al., 2001). An “equivalent wall generator”, a computer program included as a part of the report, was then utilized to calculate the thermophysical properties for each layer of the “equivalent wall” so that the total thermal capacitance, thermal resistance, and thermal structure factors of the “equivalent wall” are identical to those which were input in the program.

summer, April 15. For the without stud, W/WO stud, and combined-property methods, the temperature differences (ΔT) range from 0.010 to 0.668 °C. The only-R method gives the greatest temperature differences, with the maximum of 7.3 °C for the wood-frame house and 6.4 °C for the steel-frame house.

Table 3. Percentage difference of the cooling loads simulated by EnergyPlus based on different methods

METHOD	WOOD FRAME (%)	STEEL FRAME (%)	AVE-RAGE (%)
1. Without Stud	-1.99	1.11	1.55
2. Only R-value	-20.21	-18.37	19.29
3. W/WO stud	-0.85	1.41	1.13
4. Combine	0.34	0.44	0.39
5. Equivalent	-	-	-

Percentage difference = ((cooling load calculated by other method - cooling load calculated by equivalent wall method) / cooling load calculated by equivalent wall method) x 100.

Average = (|% difference of wood frame| + |% difference of steel frame|) / 2

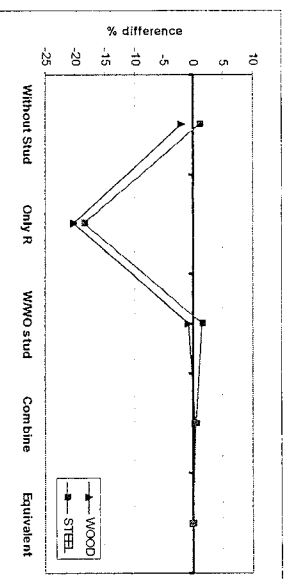


Figure 5. Percentage difference of cooling load calculated based on five different methods

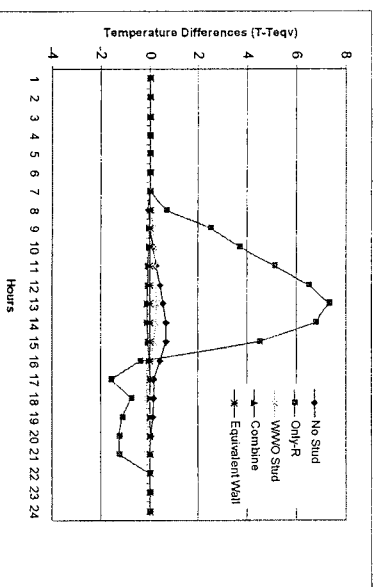


Figure 6. Temperatures' difference calculated by five methods (wood-frame house)

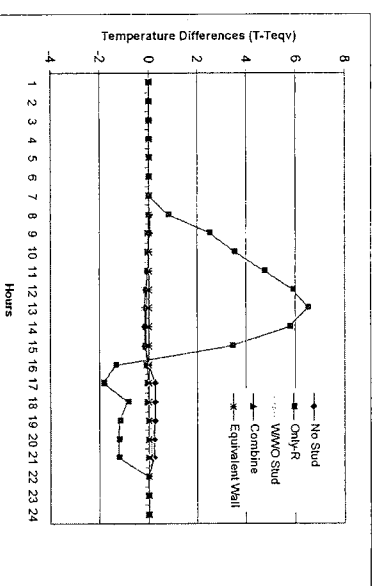


Figure 7. Temperatures' difference calculated by five methods (steel-frame house)

*Temperature difference = temperature of other method - temperature of equivalent wall method

According to the results, in case that the programs for deriving “equivalent wall” properties are not available, the combined-property method seems to be the first choice to be used to model the energy performance of the wood-frame and steel-frame house. Since it would take longer to understand the “equivalent wall” method and to develop the program to integrate the thermal properties of the assemblies. The third method (W/WO stud) seems to be the second best choice because the results are still close to those of the equivalent wall and it does not require the R-value calculated from the two-dimensional heat transfer program as in the combined-property method. However, longer time is needed for the data input and simulation which might not be suitable for a large number of simulation run for the sensitivity analysis which is a part of our further studies.

For the first method (without stud), although the differences of the results are less than 2%, it can not be used for our further studies because it cannot differentiate the energy consumption of the wood-frame and steel-frame houses. The last method, only R-value, should not be used since the figures exceed the acceptable range.

For further study on the energy performance of the wood-frame and steel-frame houses, the method that we decided to use is the “equivalent walls.” There are two main reasons. First, the programs for deriving the equivalent wall are already available and developed; therefore, the time spent on deriving the thermal properties of the frame wall, with the combined-property method and the equivalent wall is slightly different (about fifteen minutes more for the equivalent wall method). Second, theoretically, the equivalent wall should provide more accurate results, thus, it would be the preferred choice.

economical value of the steel-frame house is not attractive enough to replace the conventional concrete-frame house.

The reason why the steel-frame house in this study can save more energy than the wood-frame house can be explained as follows. The exterior walls of the wood-frame house have higher R-value than that of the steel-frame house. During daytime, the inside face temperature of the exterior walls of the wood-frame house is lower than that of the steel-frame house. However, during night-time when air conditioners are used, (zone air temperature is 25 °C), the inside face temperature of the exterior walls of the wood-frame house are higher than that of the steel-frame house (Figure 10). This higher inside face temperature of the wood-frame walls results in higher cooling loads, compared to that of the steel-frame house.

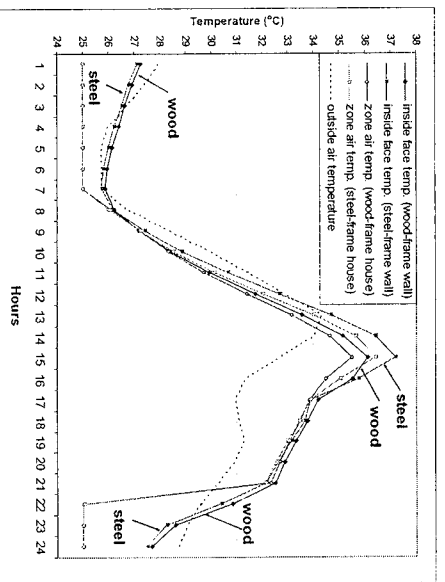


Figure 10. Inside surface temperature of the wood-frame and steel-frame walls and air temperature of the bedroom zone of both types of the houses

To further investigate whether the exterior walls with higher R-value increase the energy consumption of the wood-frame and steel-frame houses, three types of exterior walls were then simulated. The first one was the original exterior walls (Figure 9), the second one had no insulation in stud cavity, and the third one had additional 1-inch PU foam sheathing. Figure 11 shows that the wood-frame and the steel-frame house whose exterior walls have higher R-value consume more energy than the house whose exterior walls have lower R-value. In addition, by using the second wall types (no cavity insulation), the cost of the houses and the electricity cost are reduced, therefore, the payback period of the houses are shorter than that of the original one but it is still longer than 30 years.

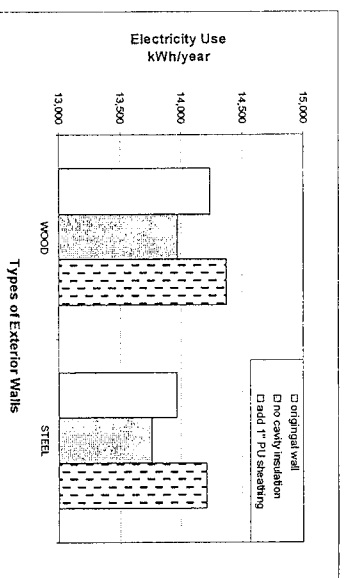


Figure 11. Energy consumption of wood-frame and steel-frame house with different exterior walls

CONCLUSIONS

We have compared the cooling loads calculated by different methods for the wood-frame and steel-frame houses in EnergyPlus. The results show that the difference of the cooling load of the three methods (without stud, w/wo stud, and combined-property methods) is less than 2% compared with the equivalent wall method. The results of this study are based on the Bangkok weather data, therefore, with different weather data and house types, it needs further study. The wood-frame house and the steel-frame house consume less energy than the concrete-frame house. The annual energy saving of wood-frame and steel-wood frame houses are rather small (wood 7.0% and steel 8.8%) compared to the additional costs (wood 23%, steel 11%) of the concrete-frame house. The payback periods are longer than 30 years for both house types. The energy consumption of only clear walls of the wood-frame and steel-frame house presented in this paper was modeled. The energy performance concerning the whole walls (including interface details) needs to be further explored. In addition, more factors for evaluating the economical values of the wood-frame and steel-frame house, such as construction times, needed to be explored.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is supported by Thailand Research Fund (TRF) and Commission on Higher Education (CHE). The TRF and CHE are not obligated to agree with the authors' views expressed in this paper.

The authors would like to thank Dr. Michael J. Witte, Dr. Jan Kosny, Robin Mitchell, and Dr. Pantuda Puttipairoj for their valuable guidance on the research.

REFERENCES

- Carpenter, S. 2001. "Advances in Modeling Thermal Bridges in Building Envelopes." [http://www.esim.ca/2001/English/proceedings.htm].

- Christian, J. E., and Kosny, J. 1996. "Thermal Performance and Wall Ratings." ASHRAE Journal: 56-65.
- DOE. 2005. "Input Output Reference: The Encyclopedia Reference to EnergyPlus Input and Output." The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, U.S. Department of Energy.
- Doebber, I. R. 2004. "Investigation of Concrete Wall Systems for Reducing Heating and Cooling Requirements in Single Family Residences." Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Enernodal Engineering Limited, Oak Ridge National Labs, and Polish Academy of Sciences. 2001. "Modeling Two- and Three-Dimensional Heat Transfer Through Composite Wall and Roof Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs (1145-TRP), Part I: Final Report." Report prepared for ASHRAE, Atlanta, GA
- Finlayson, E., Mitchell, R., Arastech, D., Huizenga, C., and Curcija, D. 1998. "THERM 2.0: Program Description A PC Program for Analyzing the Two-Dimensional Heat Transfer Through Building Products" Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California.
- Gajda, J. 2001. "Energy Use of Single-Family Houses with Various Exterior Walls." R&D Serial No. 2518, Portland Cement Association. [<http://www.concretethinker.com/Content/Upload/296.pdf>].
- Kosny, J. 2004. A New Whole Wall R-value Calculator: An Integral Part of the Interactive Internet-Based Building Envelope Materials Database for Whole-Building Energy Simulation Programs. [<http://www.oml.gov/sci/roofs+walls/NewRValue.pdf>]
- Kosny, J. and Christian, J. E. 1995. "Reducing the Uncertainties Associated with Using the ASHRAE Zone Method for R-value Calculations of Metal Frame Walls." ASHRAE Transactions, 102(2): 779-788.
- Kosny, J. and Desjarlais, A. O. 1994. "Impacts of Architectural Details on the Whole Wall Thermal Performance in Residential Buildings." Oak Ridge National Laboratory.
- Kosny, J., and Kossecka, E. 2002. "Multi-Dimensional Heat Transfer through Complex Building Envelope Assemblies in Hourly Energy Simulation Programs." Energy and Buildings 34: 445-454.
- Kosny, J., Desjarlais, A. O., and Christian, J. E. 1998. "Steel-Framed Buildings: Impact of Wall Detail Configurations on the Whole Wall Thermal Performance." ASHRAE Transaction:Symposia 104(2): 1263-1271.
- NAHB. 1999. "Insulating Concrete Forms: Comparative Thermal Performance." Report prepared for U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research, Washington, DC.
- NAHB. 2002. "Steel vs. Wood Long-Term Thermal Performance Comparison: Valparaiso Demonstration Homes." Report prepared for U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research, Washington, DC.
- Purdy, J., and Beausoleil-Morrison, I. 2001. "The Significant Factors in Modeling Residential Buildings." Proc. Building Simulation '01, International Building Performance Simulation Association. Rio de Janeiro, Brazil. pp. 207-214.
- Puvanant, C., Mahattanatawe, P., Mongkolsawat, D., and Tovivitch, S. 2003. "The Evaluation of A Cold-formed Steel Frame House Demonstrated in Architects '03 at Muang Thong Thani." Final Report prepared for The Iron and Steel Institute of Thailand.
- Puvanant, C., Puvanant, K., and Pongtummarak, S. 2004. "Comparative Study of Lightweight Steel-Frame and Wood-Frame House." Final Research Report prepared for Silpakorn University Research and Development Institute.
- Trethowen, H.A. 1995. "Validating the Isothermal Planes Method for R-value Predictions." ASHRAE Transactions 101 (2): 755-765.
- Tuluca, A. N., Lahiri, D. and Zaidi, J. H. 1997. "Calculation Methods and Insulation Techniques for Steel Stud Walls in Low-Rise Multi Family Housing." ASHRAE Transactions, 103(1): 550-562.