บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

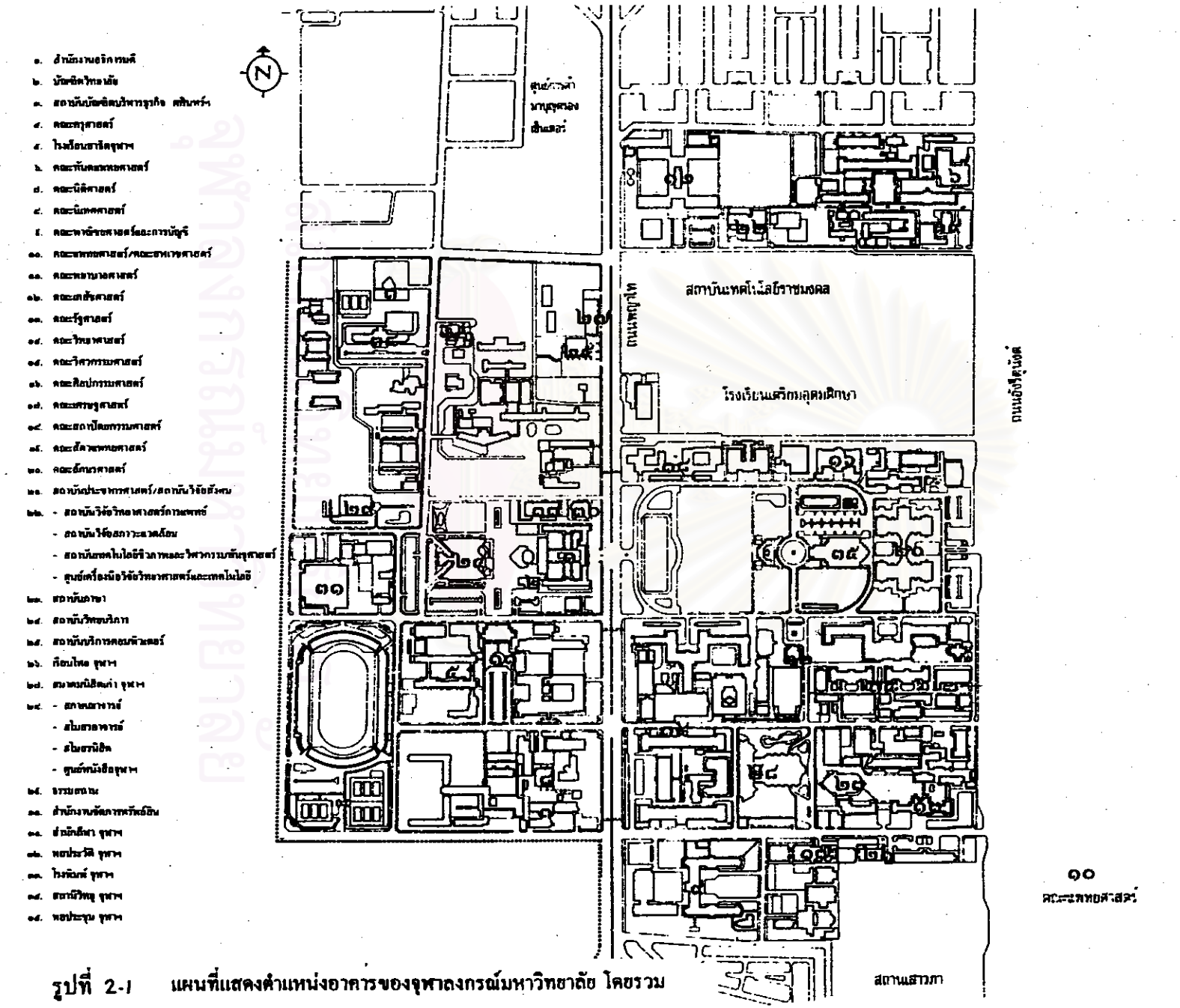
2.1 การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้า ภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในสถานการณ์ปัจจุบัน ความเจริญเติบโตของประเทศได้ก้าวไปอย่างรวดเร็ว ทั้งภาคอุตสาหกรรมและการพาณิชย์ ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมากมาย ตามความเจริญเติบโตที่สำคัญในที่นี้จะกล่าวถึงคือ สถาบันการศึกษา โดยเฉพาะเจาะจงสถาบันระดับอุดมศึกษาที่ใกล้ตัว คือ **จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย** ซึ่งเป็นสถาบันเก่าแก่ขนาดใหญ่แห่งหนึ่งของภาครัฐ ที่มีจำนวนพื้นที่ใช้สอยขนาดใหญ่ และมีลักษณะประเภทของการใช้งานที่หลากหลาย ดังนั้นเพื่อให้ทันกับความต้องการขยายตัวตามเศรษฐกิจ และความเจริญก้าวหน้าของประเทศ จึงทำให้สถาบันการศึกษามีการพัฒนาปรับปรุงอาคารเดิมและก่อสร้างอาคารใหม่ รวมไปถึงสื่ออุปกรณ์เทคโนโลยีการเรียนการสอน เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพความเจริญเติบโต ทางด้านเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี

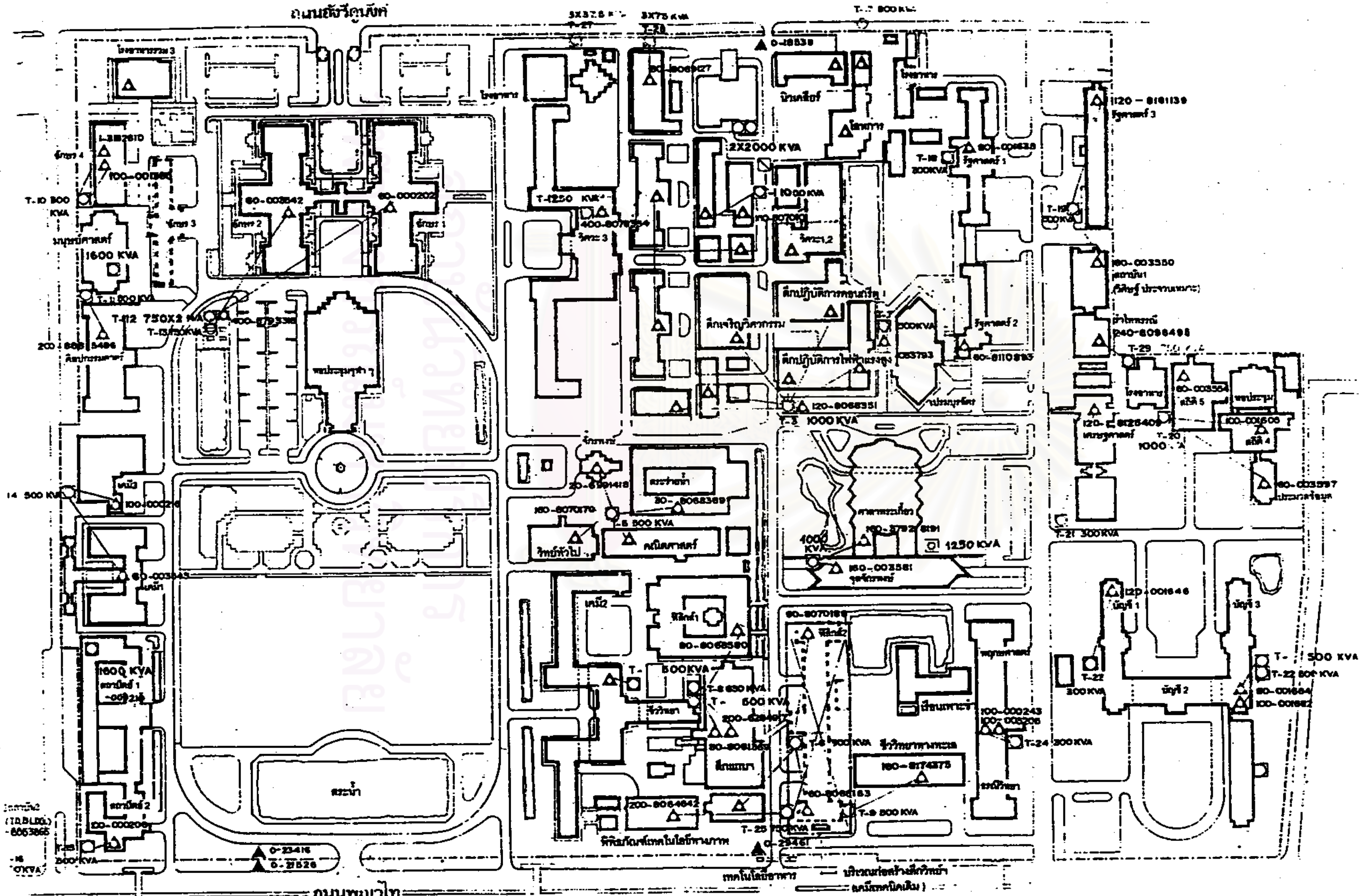
2.1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นสถาบันศึกษาของรัฐขนาดใหญ่แห่งหนึ่งของประเทศ ซึ่งมีกิจกรรมด้านการเรียน การสอน การวิจัย และอย่างอื่นอีกจำนวนมาก ซึ่งดำเนินกิจกรรมเพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายต้องอาศัย โครงสร้างของพื้นฐาน สาธารณูปโภคต่างๆ สิ่งที่สำคัญคือ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มในปัจจุบัน ทำให้มีการเพิ่มเติมของวิชาการเรียนการสอน และอัตราการขยายตัวของอาคารเรียนภายในมหาวิทยาลัยเกิดขึ้นมาใหม่อย่างมาก ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานด้านสาธารณูปโภคต่างๆเพิ่มขึ้นจากเดิม สิ่งสำคัญที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในอัตราที่สูงขึ้น จากตาราง 2-1 จะเห็นว่าในปีล่าสุด คือพ.ศ. 2538 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูงถึง 30,978,861 KWH เสียค่าไฟฟ้าเป็นจำนวนเงินสูงถึง 58,092,826.08 บาท ซึ่งนับว่าเป็นตัวเลขที่สูงที่เดียว เมื่อพิจารณานับตั้งแต่ปี 2537-2538 มีอัตราค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 31.28% และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น 6.35 %

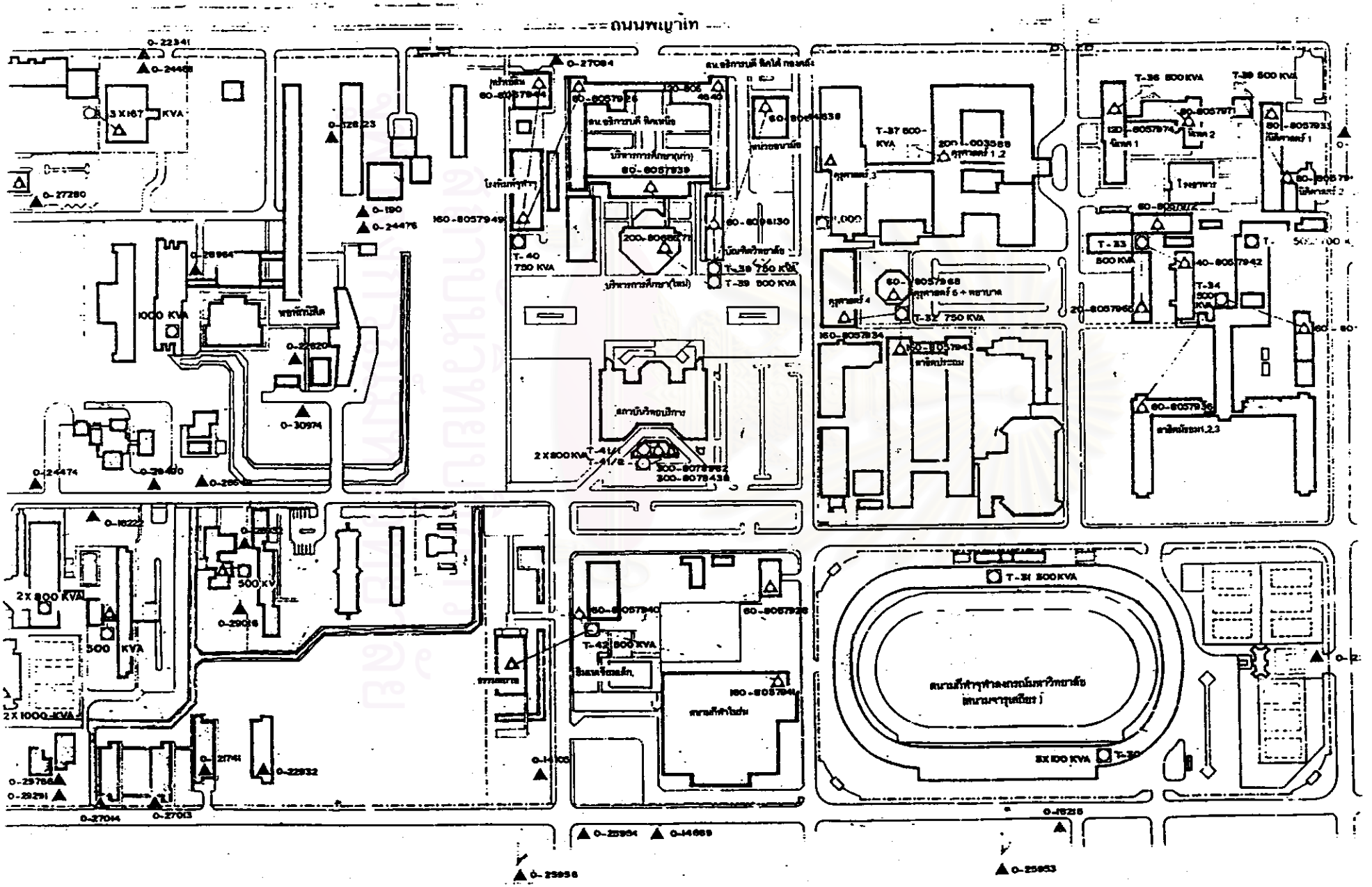
1.ข้อมูลจาก ทุณอดิศักดิ์ ดรปัญญา ฝ่ายซ่อมบำรุง กองอาคารและสถานที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สิงหาคม 39



รูปที่ 2-1 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยรวม



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารต่างๆภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งหอประชุมจุฬาฯ



รูปที่ 2-3 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารต่างๆภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งสำนักงานอธิการบดี

ตารางที่ 2-1 แสดงจำนวนหน่วยของยูนิต (KWH.) และค่าไฟฟ้าในแต่ละปี ภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เดือน/ปี	จำนวนยูนิต	จำนวนเงิน	เดือน/ปี	จำนวนยูนิต	จำนวนเงิน	เดือน/ปี	จำนวนยูนิต	จำนวนเงิน	เดือน/ปี	จำนวนยูนิต	จำนวนเงิน
ม.ค.36	-	-	ม.ค.37	2,242,279	3,759,502.75	ม.ค.38	2,182,645	3,631,770.47	ม.ค.39	2,330,668	4,806,966.00
ก.พ.36	-	-	ก.พ.37	2,143,758	3,616,412.50	ก.พ.38	2,372,326	3,824,123.26	ก.พ.39	2,085,281	4,134,431.00
มี.ค.36	-	-	มี.ค.37	2,421,173	3,988,933.50	มี.ค.38	1,945,666	4,957,984.50	มี.ค.39	2,227,664	4,402,739.00
เม.ย.36	1,363,312	2,979,249.75	เม.ย.37	1,941,673	3,058,204.90	เม.ย.38	2,327,979	3,908,263.50	เม.ย.39	-	-
พ.ค.36	1,870,107	3,162,673.75	พ.ค.37	1,589,914	3,271,642.50	พ.ค.38	2,816,172	4,733,713.50	พ.ค.39	-	-
มิ.ย.36	2,100,027	3,490,068.00	มิ.ย.37	2,516,727	4,227,442.80	มิ.ย.38	3,015,558	6,080,156.25	มิ.ย.39	-	-
ก.ค.36	2,449,667	3,973,867.95	ก.ค.37	2,718,577	4,166,359.80	ก.ค.38	2,890,483	5,358,649.26	ก.ค.39	-	-
ส.ค.36	2,179,072	3,570,502.50	ส.ค.37	2,355,084	3,821,956.90	ส.ค.38	2,868,537	5,344,710.59	ส.ค.39	-	-
ก.ย.36	1,597,675	3,692,577.75	ก.ย.37	2,517,930	3,231,979.90	ก.ย.38	2,940,159	5,472,663.00	ก.ย.39	-	-
ต.ค.36	1,924,848	3,186,597.26	ต.ค.37	3,280,593	2,922,338.00	ต.ค.38	2,556,465	4,719,936.50	ต.ค.39	-	-
พ.ย.36	2,084,074	3,409,917.50	พ.ย.37	2,639,422	4,145,015.30	พ.ย.38	2,801,518	5,138,723.25	พ.ย.39	-	-
ธ.ค.36	1,874,038	2,898,807.75	ธ.ค.37	2,759,551	4,040,450.30	ธ.ค.38	2,261,353	4,922,132.00	ธ.ค.39	-	-
รวม	17,442,820	30,364,262.21	รวม	29,126,681	44,250,239.15	รวม	30,978,801	58,092,826.08	รวม	6,643,613	13,344,136.00

หมายเหตุ : -ที่มา ฝ่ายซ่อมบำรุง กองอาคารและสถานที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ของอาคารในส่วนที่รับผิดชอบของส่วนกลาง ยังไม่รวมในส่วน หอพักอาจารย์ ,นิสิต และสถานที่หมายเลข 3,6,10,12,19,22,25,26,27และ30 ในรูปภาพ 2.1 (แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยรวม)

จะเห็นว่าหากเราไม่ช่วยกันหาทางแก้ไข ปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แนวโน้มในการใช้พลังงานก็จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนอาจจะถึงสถานการณ์ที่จำเป็นต้องสั่งพลังงานเข้ามาในประเทศ หรือต้องทำลาย พื้นที่ป่าไม้อีกสร้างเขื่อน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่งผลให้ความสมดุลย์ของสภาพแวดล้อมเสียไปในที่สุด

2.1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา

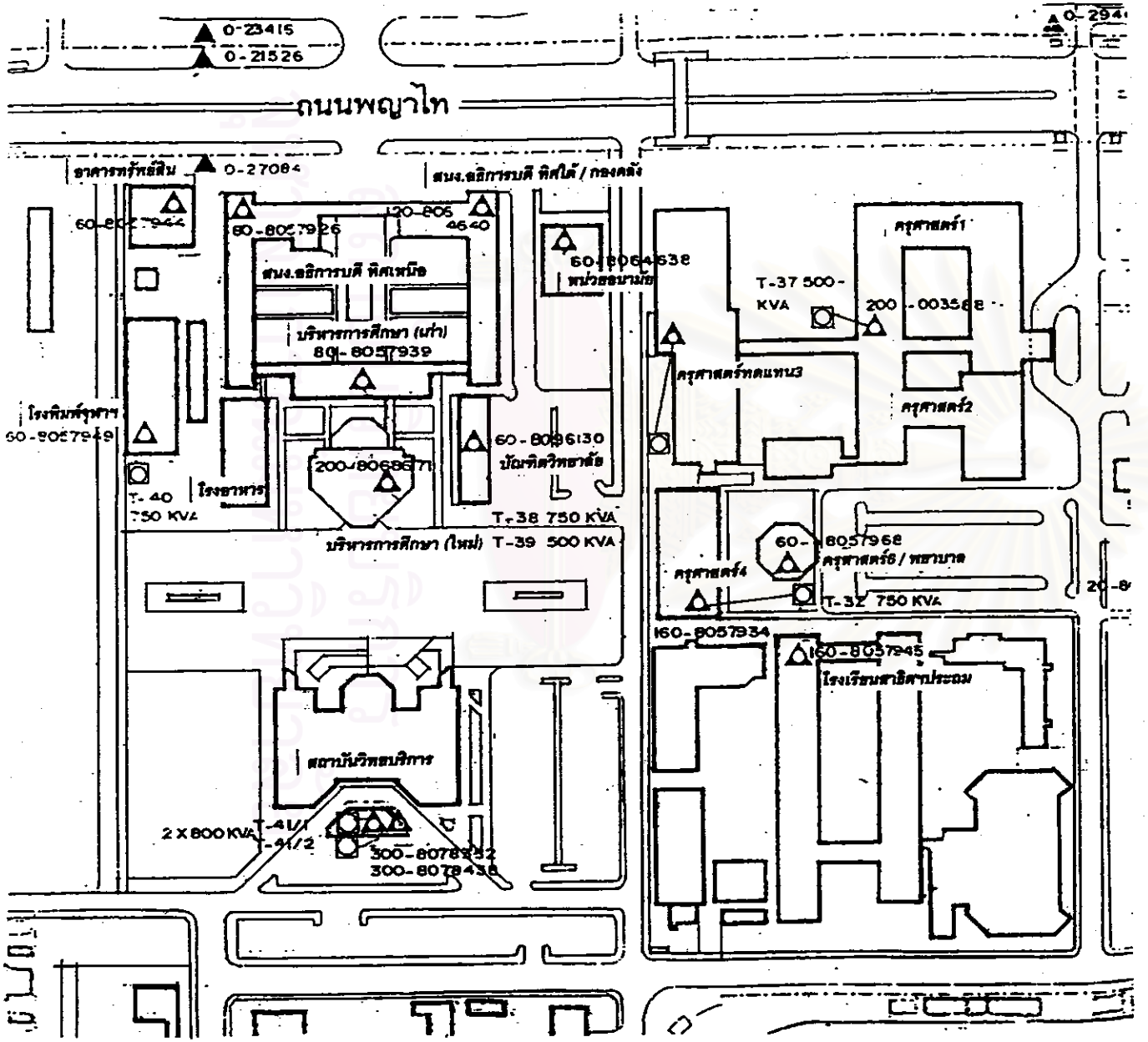
เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการใช้พลังงานของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอย่างถูกต้อง ที่จะทำให้ทราบและเข้าใจถึงปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างแท้จริงก็คือ การศึกษาการบริโภคพลังงานในส่วนต่าง ๆ ของแต่ละอาคาร เพื่อที่จะได้ทราบถึงสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้น ตัวอย่าง อาคารสำนักงานมีการใช้เครื่องปรับอากาศในขนาดที่พอเหมาะกับขนาดสองห้องเช่นไร และเปิด-ปิด ทุกครั้งที่จำเป็น แต่การบริโภคพลังงานยังอยู่ในเกณฑ์ที่สูง เนื่องจากมีปริมาณความร้อนที่เข้ามา (Heat Gain) ผ่านเปลือกหุ้มอาคาร (Envelope) ในปริมาณที่สูง ทำให้สิ้นเปลืองภาระการทำความเย็น (Cooling Load) การแก้ไขควรที่จะมุ่งประเด็นไปที่การปรับปรุงเปลือกหุ้มอาคารให้แก่อาคาร การปรับปรุงระบบปรับอากาศ ตลอดจนปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารนั้น ๆ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีการศึกษาปริมาณการบริโภคพลังงานภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในประเภทต่างๆของกลุ่มอาคารที่ศึกษา อันได้แก่ กลุ่มอาคารสำนักงานอธิการบดี อาคารวิทยบริการ คณะครุศาสตร์ โรงเรียนสาธิตประถม เนื่องจากกลุ่มนี้มีความหลากหลายของประเภทอาคาร ประกอบด้วยอาคารเรียน อาคารสำนักงาน และอาคารอเนกประสงค์

กลุ่มอาคารที่ศึกษา (ดูรูปภาพ 2.2 ประกอบ) จะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ

กลุ่มหนึ่ง ได้แก่
1. อาคารจามจุรี 1 (สำนักงานอธิการบดีทิศเหนือเดิม)
2. อาคารจามจุรี 2 (สำนักงานอธิการบดีทิศใต้/กองคลัง)
3. อาคารจามจุรี 3 (บริหารการศึกษา (เก่า)เดิม)
4. อาคารจามจุรี 4 (บริหารการศึกษา (ใหม่)เดิม)
5. อาคารโรงพิมพ์จุฬา
6. อาคารทรัพย์สิน
7. หน่วยอนามัย
8. บัญชิตวิทยาลัย

กลุ่มสอง ได้แก่
9. สถาบันวิทยบริการ



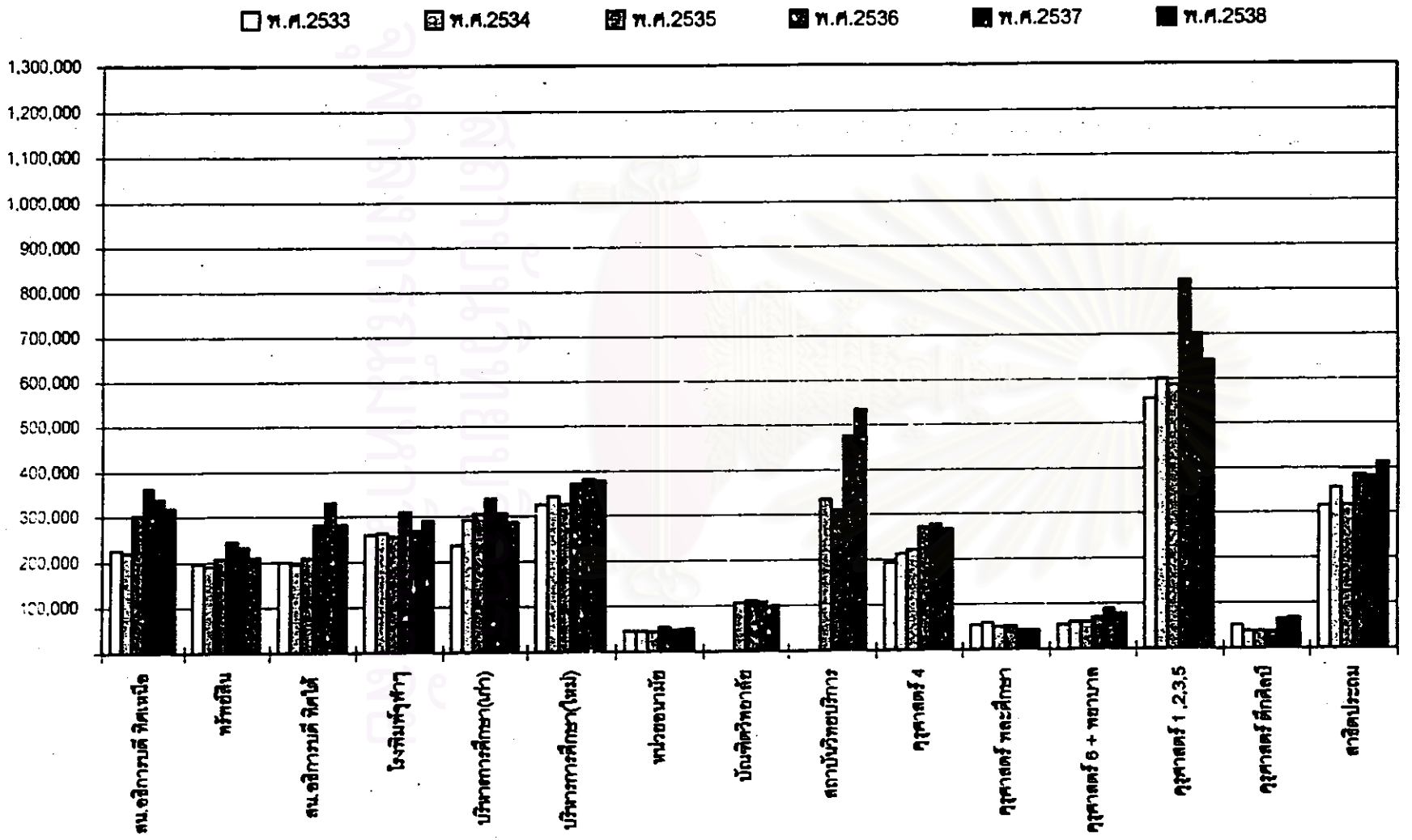
รูปที่ 2-4 แผนที่แสดงตำแหน่งอาคารของกลุ่มอาคารที่ศึกษา

ตารางที่ 2-2 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา (KWH./ปี)

กลุ่มอาคารที่ศึกษา	ค่าการใช้พลังงาน (KWH/ปี)					
	พ.ศ.2533	พ.ศ.2534	พ.ศ.2535	พ.ศ.2536	พ.ศ.2537	พ.ศ.2538
สน.อธิการบดี ทิศเหนือ	226,080	219,680	302,960	363,360	339,440	319,520
ทรัพย์สิน	196,646	190,560	206,700	244,560	231,180	209,220
สน.อธิการบดี ทิศใต้	200,280	195,540	208,320	280,020	330,840	281,760
โรงพิมพ์จุฬาฯ	258,400	261,600	255,160	309,930	267,360	289,620
บริหารการศึกษา(เก่า)	234,960	291,120	305,040	339,280	306,080	286,960
บริหารการศึกษา(ใหม่)	324,600	344,000	326,400	371,200	382,200	379,200
หน่วยอนามัย	45,540	46,020	45,000	53,580	48,360	50,820
บัณฑิตวิทยาลัย	N/A	N/A	105,960	111,480	106,780	100,560
สถาบันวิทยบริการ	N/A	N/A	334,800	309,500	474,300	535,200
คุรุศาสตร์ 4	193,140	212,160	220,800	271,320	277,160	266,720
คุรุศาสตร์ 1 ,2,3,5	555,200	599,200	586,600	820,400	701,400	641,400
คุรุศาสตร์ 6 + พยาบาล	53,340	61,320	61,260	70,440	88,380	78,600
สาธิตประถม	314,200	355,480	317,300	384,160	381,440	412,160
รวม	2,602,586	2,776,680	3,276,300	3,929,230	3,936,920	3,851,740

หมายเหตุ : ที่มา ฝ่ายซ่อมบำรุง กองอาคารและสถานที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-5 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา (KWH./ปี)



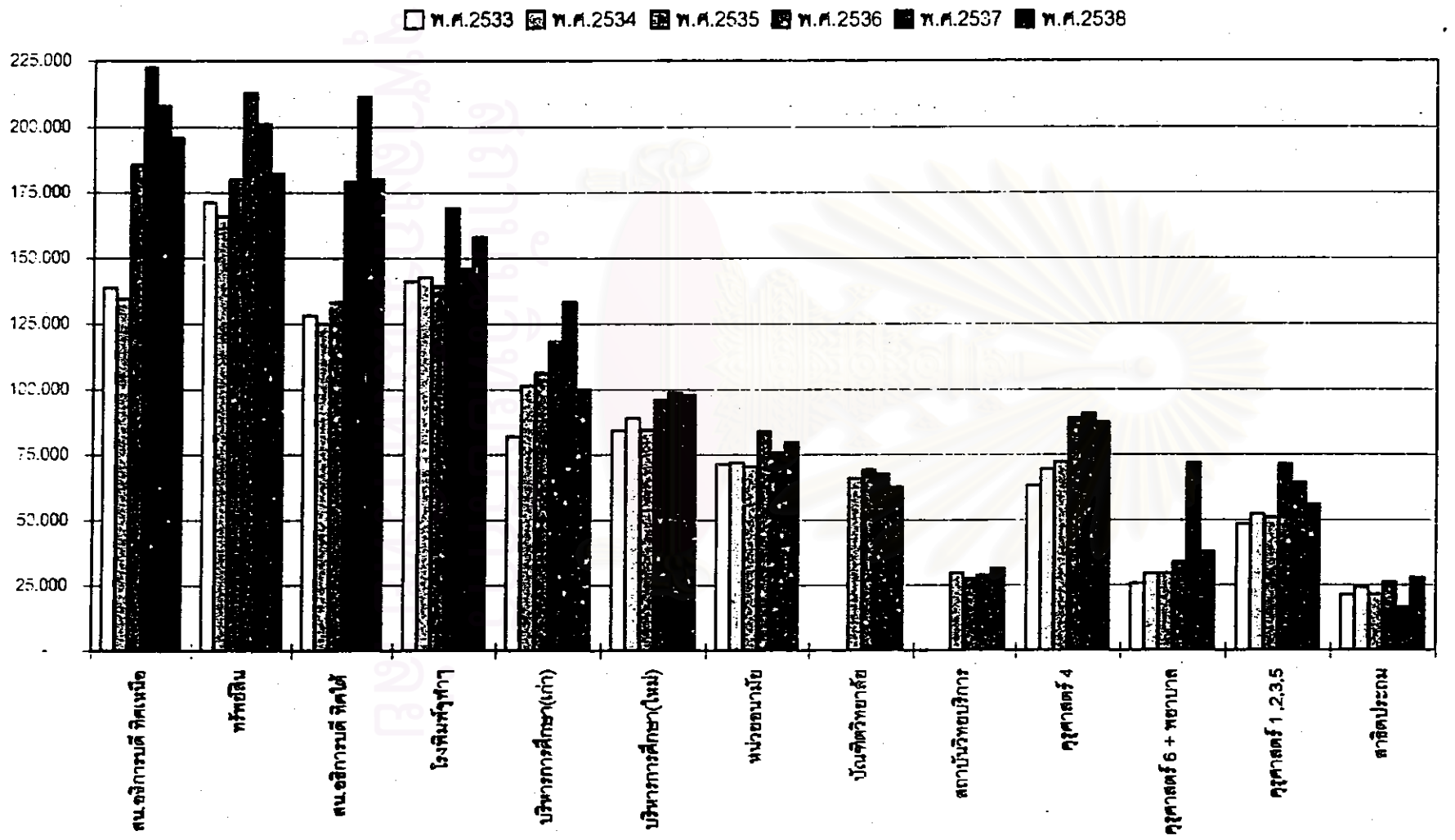
ตารางที่ 2-3 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ของกลุ่มอาคารที่ศึกษา (KWH./ตร.ม./ปี)

กลุ่มอาคารที่ศึกษา	อัตราการใช้พลังงาน (KWH/ตร.ม./ปี)						ค่าไฟฟ้า
	พ.ศ.2533	พ.ศ.2534	พ.ศ.2535	พ.ศ.2536	พ.ศ.2537	พ.ศ.2538	บ/ตร.ม/ปี
สน.อธิการบดี ทิศเหนือ	138.529	134.608	185.637	222.647	207.990	195.784	381.78
ทรัพย์สิน	171.145	165.849	179.896	212.846	201.201	182.089	355.07
สน.อธิการบดี ทิศใต้	128.056	125.026	133.197	179.041	211.535	180.153	351.30
โรงพิมพ์จุฬาฯ	140.971	142.717	139.203	169.083	145.659	158.003	308.11
บริหารการศึกษา(เก่า)	81.839	101.400	106.249	118.175	133.252	99.951	194.90
บริหารการศึกษา(ใหม่)	83.884	88.843	84.298	95.868	98.709	97.934	190.97
หน่วยอนามัย	71.379	72.132	70.533	83.981	75.799	79.655	155.33
บัณฑิตวิทยาลัย	#VALUE!	#VALUE!	66.019	69.458	67.776	62.654	122.18

กลุ่มอาคารที่ศึกษา -	อัตราการใช้พลังงาน (KWH/ตร.ม./ปี)						ค่าไฟฟ้า
	พ.ศ.2533	พ.ศ.2534	พ.ศ.2535	พ.ศ.2536	พ.ศ.2537	พ.ศ.2538	บ/ตร.ม/ปี
สถาบันวิทยบริการ	#VALUE!	#VALUE!	29.702	27.457	28.854	31.482	61.39
กลุ่มอาคารที่ศึกษา	อัตราการใช้พลังงาน (KWH/ตร.ม./ปี)						ค่าไฟฟ้า
	พ.ศ.2533	พ.ศ.2534	พ.ศ.2535	พ.ศ.2536	พ.ศ.2537	พ.ศ.2538	บ/ตร.ม/ปี
คุรุศาสตร์ 4	83.221	89.447	72.275	88.812	90.723	87.306	170.25
คุรุศาสตร์ 1 ,2,3,5	48.312	52.141	51.044	71.389	64.390	55.813	108.83
คุรุศาสตร์ 6 + พยาบาล	25.743	29.595	29.566	33.996	71.795	37.934	73.97
สาธิตประถม	21.283	24.079	21.493	26.022	16.550	27.918	54.44

หมายเหตุ : ที่มา ฝ่ายซ่อมบำรุง กองอาคารและสถานที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-6 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ของกลุ่มอาคารที่ศึกษา (KWH./ตร.ม./ปี)



กลุ่มสาม ได้แก่ 10. ครุศาสตร์ 1,2,3,5

11. ครุศาสตร์ ทดแทน 3

12. ครุศาสตร์ 4

13. ครุศาสตร์ 6 (พยาบาล)

14. โรงเรียนสาธิตประถม (ประถม1,2,3,อนุบาล&โรงอาหาร)

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา จากการเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้พลังงานงานไฟฟ้าในปี พศ. 2533-2538 จากมิเตอร์ไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา ดังตารางที่2-2/ รูปที่ 2-5 จะเห็นว่าปริมาณการใช้พลังงานของอาคารคณะครุศาสตร์ 1,2,3,5 มีการใช้พลังงานเฉลี่ยในรอบปีสูงสุด รองลงมาได้แก่ สถาบันวิทยบริการ เนื่องจากมีพื้นที่การใช้งานสูงแต่เมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่แล้ว ดังตารางที่ 2-3/ รูปที่ 2-6 อาคารจามจุรี 1 มีสัดส่วนการใช้พลังงานต่อพื้นที่มากที่สุด เนื่องจากเป็นอาคารสำนักงานที่มีการใช้งานอย่างสม่ำเสมอตลอดปี รองลงมาได้แก่ อาคารทรัพย์สิน และอาคารจามจุรี 2

จากข้อมูลดังกล่าว และเพื่อเป็นการทำความเข้าใจถึงปัญหาอย่างแท้จริง จึงเลือกอาคารจามจุรี 1 เป็นกรณีศึกษาว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ภายในอาคารถูกใช้ไปในส่วนใดบ้าง ดังจะกล่าวต่อไป

การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารจามจุรี 1

การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร จะพอแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยสังเขป คือ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบครุภัณฑ์รวมกับอุปกรณ์อื่น ๆ จากการตรวจสอบแบบงานระบบของอาคาร และสภาพการใช้งานจริงของอาคาร ทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับ พลังงานที่ใช้ไปในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศของอาคาร ดังนี้

<u>ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง</u>

- ชั้นล่าง	จำนวนหลอด Fluorescent 40 watt	= 122	หลอด
	จำนวนหลอด Fluorescent 20 watt	= 26	หลอด
	จำนวนหลอด Incandescent 60 watt	= 20	หลอด
	รวมกำลังไฟฟ้าแสงสว่างชั้นล่าง	= 6,632	watt
- ชั้นบน	จำนวนหลอด Fluorescent 40 watt	= 256	หลอด
	จำนวนหลอด Fluorescent 20 watt	= 13	หลอด
	จำนวนหลอด Incandescent 60 watt	= 15	หลอด
	รวมกำลังไฟฟ้าแสงสว่างชั้นบน	= 11,400	watt
	(กรณีนี้ยังถือว่าใช้หลอดธรรมดาอยู่)		

∴ กำลังไฟฟ้าแสงสว่างทั้งหมด = 18,032 watt

= 18 KW

พิจารณาการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างใน 1 ปี พอสังเขป

(คิดจาก 8 ชั่วโมง / วัน 22 วัน / เดือน และ 12 เดือน /ปี)

ดังนั้น อาคารใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง = 18*8*12*22

= 38,016 KWH/ปี

ในกรณีที่เริ่มใช้หลอดผอม(เริ่มปี 2537) การใช้พลังงานในส่วนนี้ลดลง 10%

= 34,214 KWH/ปี

ระบบปรับอากาศ (ประเภท Split Type)

- ชั้นล่าง มีพื้นที่ใช้สอยส่วนปรับอากาศ = 344 ตรม.

กำลังเครื่องปรับอากาศที่ใช้ 12 ตัว = 323,400 Btu.

- ชั้นบน มีพื้นที่ใช้สอยส่วนปรับอากาศ = 536 ตรม.

กำลังเครื่องปรับอากาศที่ใช้ 22 ตัว = 581,100 Btu.

∴ พื้นที่ใช้สอยส่วนปรับอากาศทั้งหมด = 880 ตรม.

คิดเป็น พื้นที่ส่วนปรับอากาศ = 1,632 ตรม.

และ กำลังเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทั้งหมด = 704,500 Btu.

(12,000 Btu. = 1 ตัน) = 75.4 ตัน

∴ อาคารนี้ใช้กำลังของเครื่องปรับอากาศ = 880/75.4 ตร.ม./ตัน

= 11.67 ตร.ม./ตัน

พิจารณาพลังงานที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศ ระบบ Split Type

∴ อาคารจะใช้พลังงานในส่วนระบบปรับอากาศ = 1.4*75.4

= 105.6 KW.

พิจารณาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศใน 1 ปี

(คิดจาก 8 ชั่วโมง/วัน,22วัน/เดือน=12 เดือน/ปี และ Efficiency=0.8)

ดังนั้น อาคารใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ = 105.6*8*22*0.8

= 178,422 KWH/ปี

จากตาราง 2-2 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มอาคารที่ศึกษา (KWH/ปี) นำมาพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้า ภายในอาคารเปรียบเทียบ ในช่วงปี พศ.2536-2538 ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารจามจุรี 1 ในปี พศ. 2536-2538

ปี	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (KWS)	สัดส่วนการใช้พลังงานประเภทต่าง ๆ					
		ระบบปรับอากาศ		ระบบแสงสว่าง		ครุภัณฑ์และอื่น ๆ	
		KWH	%	KWH	%	KWH	%
2536	363,360	178,422	49.1	38,016	10.5	146,922	40.4
2537	339,440	178,422	52.6	34,214	10.1	126,804	37.3
2538	319,520	178,422	55.8	34,214	10.7	106,884	33.5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพอสรุปโดยสังเขปว่า การใช้พลังงานภายในอาคารส่วนใหญ่จะสิ้นเปลืองไปกับระบบปรับอากาศ เกินครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด แนวทางปรับปรุงอาคาร เพื่อการประหยัดพลังงาน นอกจากจะใช้พลังงานเท่าที่จำเป็น การเลือกใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ดีมีประสิทธิภาพ การลดพลังงานในส่วนการกระทำความเย็น (Cooling Load) ให้แก่อาคาร พอจะว่าได้ดังนี้

- การป้องกันความร้อนผ่านเปลือกหุ้มอาคาร (Building Envelope) ประกอบด้วยส่วนหลักคือ ผนังและหลังคา
- การปรับปรุงระบบปรับอากาศ
- การควบคุมการรั่วไหล ของความร้อนผ่านอาคาร เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 ประเภทหลังคาอาคาร

การปรับปรุงหลังคาเพื่อลดภาระการทำความเย็นในอาคาร วิธีการหนึ่ง ก็คือการป้องกันความร้อนผ่านเปลือกหุ้มอาคาร ในงานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นการศึกษาถึงการปรับปรุงหลังคาของอาคาร หลังคามีส่วนสำคัญที่จะได้รับพลังงานความร้อนโดยตรงสู่บริเวณห้องใต้หลังคา ในกรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนี้ จึงสมควรที่จะทราบถึงประเภทของหลังคาต่างๆ ที่มีอยู่ในมหาวิทยาลัยเป็นพื้นฐานให้เข้าใจเสียก่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นมหาวิทยาลัยที่เก่าแก่ที่สุดแห่งหนึ่งในประเทศไทย ซึ่งในปี พ.ศ.2540 เป็นปีครบรอบ 80 ปีแห่งการสถาปนาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังนั้นหลังคาที่ใช้สำหรับอาคารจึงมีลักษณะแตกต่างกันไปตั้งแต่สมัยแรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน หลังคาที่ใช้กันอยู่พอที่จะสรุปประเภทโดยสังเขปได้ดังนี้ (รูปที่ 2-7,2-8และรูปที่ 2-9/1-22)

1. หลังคากระเบื้องลอนคู่,ลอนโค้ง ส่วนมากใช้กับอาคารสมัยแรกๆที่มีความสูงไม่เกิน 3-4ชั้น ได้แก่ กลุ่มอาคารสำนักงานอธิการบดี (จามจุรี 1-2และ3เดิม), อาคารทรัพย์สิน, อาคารโรงพิมพ์, อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, อาคารคณะศิลปศาสตร์, อาคารเคมี1, อาคารคณะครุศาสตร์, อาคารโรงเรียนสาธิตฯจุฬา, อาคารพิพิธภัณฑ์เทคโนโลยีทางภาพ เป็นต้น

2. หลังคากระเบื้องซีเมนต์ มีการใช้โดยทั่วไปทั้งอาคารเก่าและอาคารใหม่ ได้แก่ อาคารเรียนคณะวิศวะกรรมศาสตร์, อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 10ชั้น, อาคารคณะครุศาสตร์, อาคารศาลาพระเกี้ยว เป็นต้น

3. หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นหลังคาที่ใช้กันทั่วไปสำหรับอาคารสูง ได้ก่ อาคารบรมราชกุมารี, อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ (บริเวณ 3 ชั้น), อาคารสถาบันวิทยบริการ, อาคารจามจุรี 4, อาคารจุลจักรพงศ์, อาคารคณะบัญชี, อาคารคณะเศรษฐศาสตร์, อาคารสถาบัน3, อาคารหอพักนิสิตชาย-หญิง เป็นต้น

4. หลังคาแผ่นโลหะ เป็นหลังคาที่นำมาใช้สำหรับอาคารที่ใช้พื้นที่กว้างๆและการปรับปรุงหลังคาอาคารใหม่ ได้แก่ อาคารสนามกีฬาในร่ม, อาคารอักษรศาสตร์ 4, อาคารจามจุรี 3 ที่ปรับปรุงใหม่ เป็นต้น

5. หลังคากระเบื้องดินเผา ส่วนใหญ่ใช้กับอาคารสมัยแรกเช่นกัน มักใช้กับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ได้แก่ อาคารหอประชุมจุฬาฯ, อาคารอักษรศาสตร์ 1และ2, อาคารคณะวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีหลังคาประเภทอื่นอีก ได้แก่ หลังคา Skylight ซึ่งมักจะใช้กันในบางส่วนของอาคาร เช่น บริเวณCourt ภายในคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ เป็นต้น รวมทั้งรายละเอียดของหลังคาประเภทเดียวกันก็ยังแตกต่างกันออกไปอีก เช่น วัสดุปูหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กของ

อาคารสถาบันวิทยบริการปูด้วยกระเบื้องดินเผา วัสดุปูหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารบรมราชกุมารี ชั้น 7 บุด้วยกรวดล้าง ในขณะเดียวกันที่วัสดุปูหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารบรมราชกุมารี ชั้น 15 และอาคารคณะครุศาสตร์ปูด้วย Waterproof Membrian อีกชั้นหนึ่ง ส่วนการใช้สีของหลังคาก็ยังแตกต่างออกไปอีกด้วย

จะเห็นว่าประเภทหลังคาสำหรับอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ใช้กันมีหลายประเภท เพื่อให้สะดวกในการทำวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนทางหลังคา สำหรับหลังคา 4 ประเภทหลักดังนี้

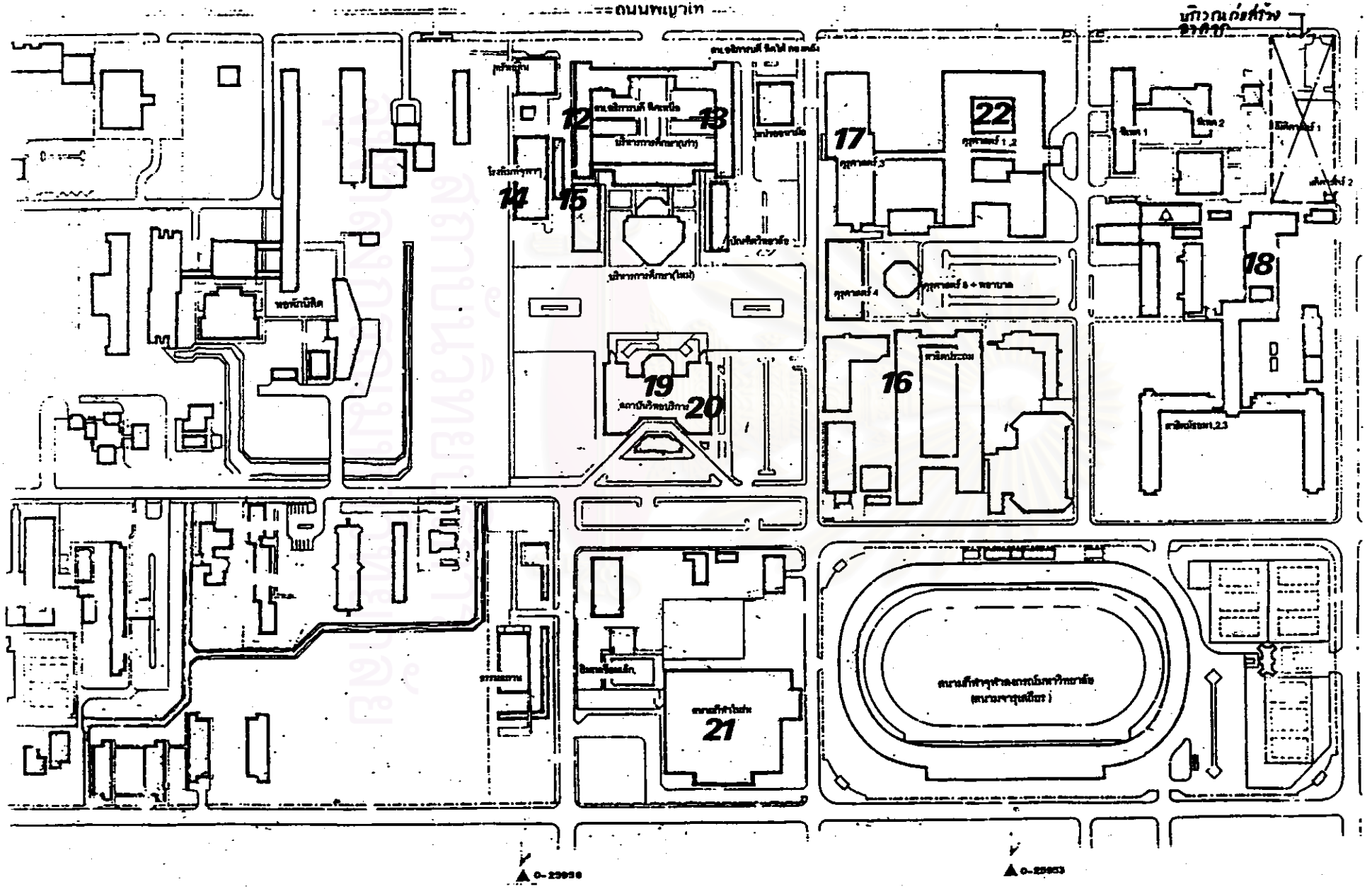
1. หลังคากระเบื้องลอนคู่
2. หลังคากระเบื้องซีเมนต์
3. หลังคาแผ่นโลหะ
4. หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของหลังคาทั้ง 4 ประเภท จึงขอแสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของหลังคาแต่ละประเภทจากการคำนวณ (พิจารณาข้อมูลในบทที่ 2.2และ2.3ประกอบ) โดยกำหนดขอบเขตในการเปรียบเทียบดังนี้

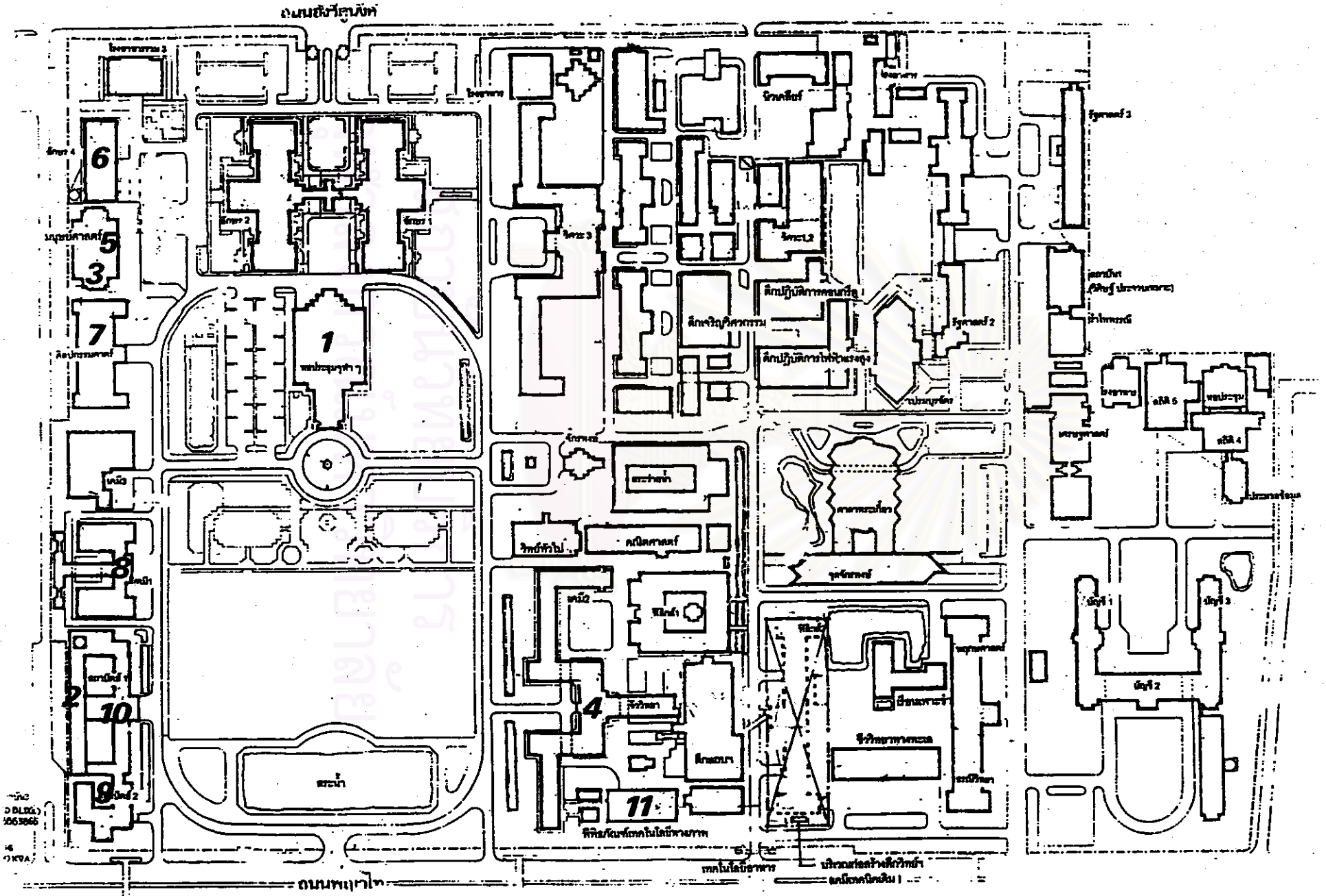
-ฝ้าเพดานวางแนวระนาบ วัสดุเป็นแผ่นยิบซั่มบอร์ดชนิดธรรมดาหนา 9 มม.

-ความลาดชันของหลังคา เท่ากับ 10,15และ30 องศา (ตามประเภทของหลังคาที่ศึกษาจริง) ยกเว้นหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก วางในแนวระนาบเหมือนพื้นดาดฟ้า ดังแสดงในรูปภาพในบทที่ 3 ประกอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



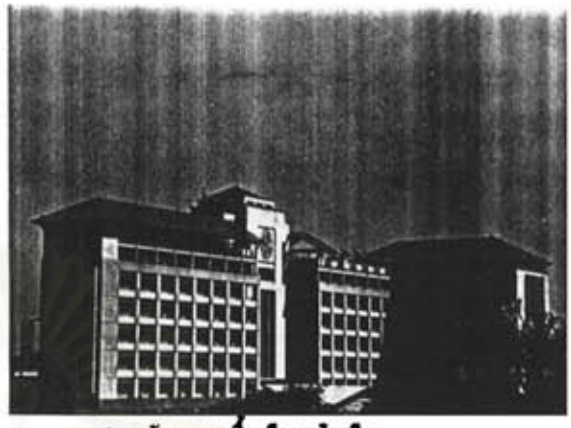
รูปที่ 2-7 แผนที่แสดงประเภทหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝั่งหอประชุมจุฬาฯ



รูปที่ 2-8 แผนที่แสดงประเภทหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายสำนักงานอธิการบดี

รูปที่ 2-9 (1) แสดงสภาพหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทั่วไป

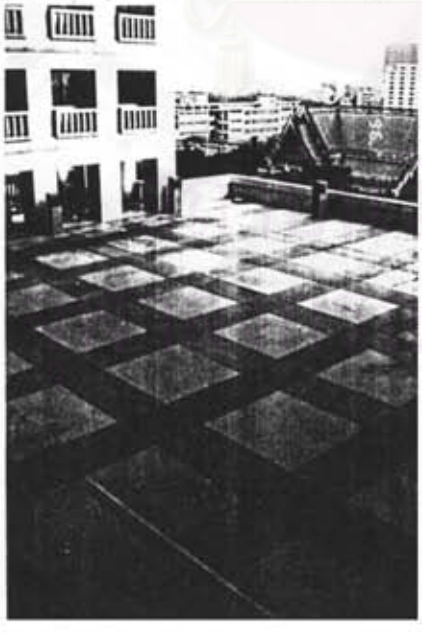
(1) หลังคากระเบื้องดินเผา อาคารหอประชุมจุฬาฯ



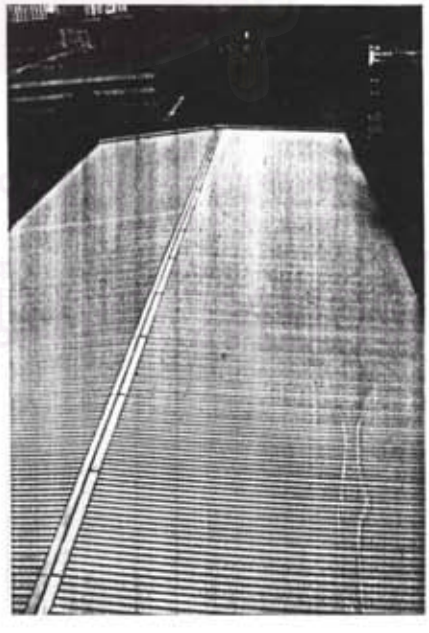
(2) หลังคากระเบื้องซีเมนต์ไมเนีย
อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(3) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก อาคารบรมราชกุมารีฯ

(4) หลังคากระเบื้องดินเผา อาคารคณะวิทยาศาสตร์

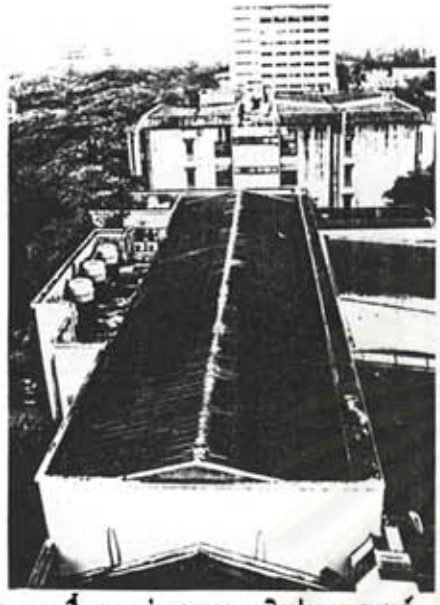


(5) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ปูด้วยกรวดล้าง
อาคารบรมราชกุมารีฯ



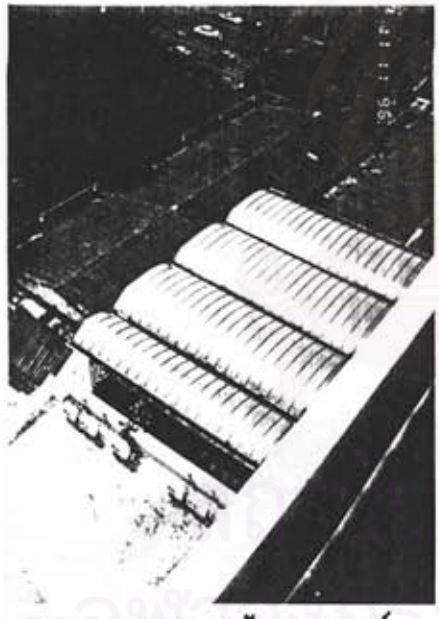
(6) หลังคาแผ่นโลหะผสม อาคารอักษรศาสตร์ 4

รูปที่ 2-9 (2) แสดงสภาพหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทั่วไป

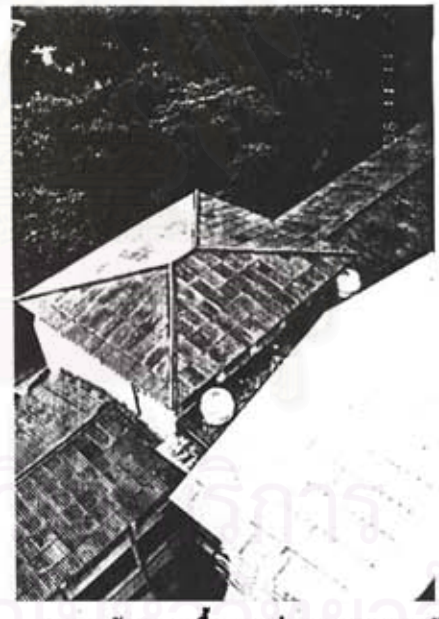


(7) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารคณะศิลปกรรมศาสตร์

(8) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารเคมี 1



(9) หลังคา Skylight อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์



(10) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

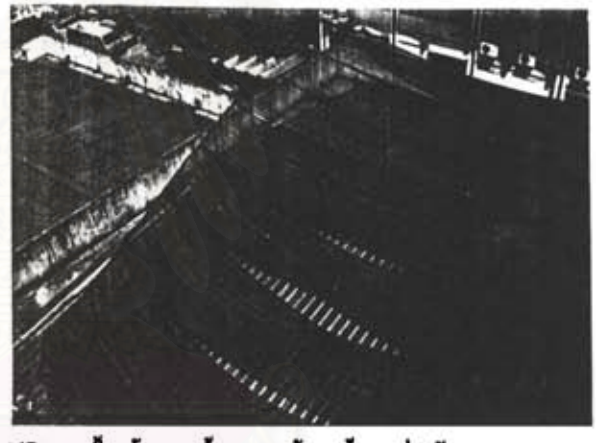
(11) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารพิพิธภัณฑ์เทคโนโลยีทางภาพฯ

รูปที่ 2-9 (3) แสดงสภาพหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทั่วไป

(12) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารจามจุรี 1 และอาคารทรัพย์สิน

(13) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารจามจุรี 2

(14) หลังคากระเบื้องลอนโค้ง อาคารโรงพิมพ์



(15) การป้องกันความร้อนทางหลังคา ด้วยตาข่ายกันแดด อาคารโรงอาหาร สำนักงานอธิการบดี

(16) สภาพทั่วไปของหลังคา กลุ่มอาคารโรงเรียนสาธิตฯประถม

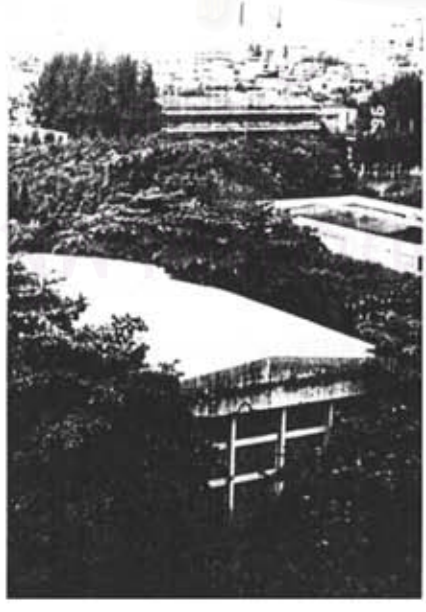
รูปที่ 2-9 (4) แสดงสภาพหลังคาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทั่วไป

(17) หลังคากระเบื้องลอนคู่และคอนกรีตเสริมเหล็ก
อาคารคณะครุศาสตร์ (หลังใหม่)

(18) หลังคากระเบื้องลอนคู่ อาคารโรงเรียนสาธิตฯมัธยม

(19) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก อาคารวิทยบริการ

(20) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ปูด้วยกระเบื้องดินเผา
อาคารวิทยบริการ



(21) หลังคาแผ่นโลหะ ทาสี Ceramic Coating
อาคารสามัคคีสารโมร่ม

(22) หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย และกระเบื้องลอนคู่
อาคารคณะครุศาสตร์

2.2 อิทธิพลของตัวแปรต่อการถ่ายเทความร้อนทางหลังคาความร้อนทางหลังคา

หลังคาจะได้รับความร้อน จากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ โดยการแผ่รังสีความร้อนซึ่งประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) หมายถึง รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์ จะสามารถทะลุผ่านกระจกใสได้ และถูกดูดซึมได้ดีโดยวัสดุสีดำ และรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) เกิดจากรังสีคลื่นสั้นที่ส่งผ่านวัสดุจะคายรังสีคลื่นยาวออกมาในรูปแบบของพลังงานความร้อน จะไม่สามารถทะลุผ่านกระจกใสได้ สะท้อนได้ดีกับวัสดุผิวเรียบมันและเงา เมื่อหลังคาหรือส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร อยู่ในที่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น จากกฎข้อ 2 Thermodynamics "ความร้อนไม่สามารถผ่านจากที่เย็นไปสู่ที่ร้อนได้ โดยปราศจากแรงกระทำจากภายนอก" ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนสำหรับอาคารในประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศสูงเกือบตลอดปี จึงเป็นการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถผ่านเปลือกหุ้มอาคารได้ 3 วิธี คือ การนำความร้อน(conduction) การพาความร้อน(convection) และการแผ่รังสีความร้อน(Radiaton)

<u>การนำความร้อน</u> คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน แม้ว่าโมเลกุลจะอยู่ในสสารเดียวกันหรือสสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง

<u>การพาความร้อน</u> คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจาก การเคลื่อนไหวของก๊าซหรือของเหลวที่มีอุณหภูมิหรือความหนาแน่นแตกต่างกัน ของเหลวจะเป็นตัวพาความร้อนให้เคลื่อนที่

<u>การแผ่รังสีความร้อน</u> คือ การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) จากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใส หรือสูญญากาศไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง สสารทุกชนิดสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมามากน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของวัตถุและลักษณะของผิววัสดุ

2.2.1 อิทธิพลของมวลสาร

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ นอกจากอิทธิพลจากภายนอกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุด้วย คุณสมบัติที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมการถ่ายเท (K)

(Thermal Conductivity)

หมายถึง อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮ หน่วยเป็นBTU-in/Hr.Sq.ft.F (หน่วยSI-W/Sq.m.K) (ภาคผนวก ก)

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (C)

(Thermal Conductance)

หมายถึง อัตราส่วนการถ่ายเทของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่ความหนามาตรฐานในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 องศาฟาเรนไฮ หน่วยเป็น BTU/Hr.Sq.ft. F (หน่วย SI-W/Sq.m.K) (ภาคผนวก ก)

ค่าการต้านทานความร้อน

(Thermal Resistance/R-Value)

เพื่อแสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ เป็นส่วนกลับของค่า Conductivity หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับงานความร้อน 1 ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่งๆในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่าง 1°F หน่วยเป็น Hr.Sq.ft.F/BTU (หน่วย SI-Sq.m.K/W)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

(Coefficient of Heat Transmission / U-Value)

โดยปกติการคำนวณหาปริมาณความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากการแตกต่างของอุณหภูมิมักจะใช้ U-Value เป็นหลัก

$$U = \frac{1}{\sum R} \text{ หน่วย BTU/Hr.ft}^2 \text{ F}$$

โดย $\sum R$ คือผลรวม R-Value ของเปลือกหุ้มอาคาร นอกจากคุณสมบัติอื่นอีกที่มี ผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารที่เกิดขึ้นจริง ๆ ได้แก่

ความจุความร้อน

(Thermal Heat Capacity)

วัสดุที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกันความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนไหลผ่านในอัตราที่ช้าลง

การหน่วงเวลาหรือการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

(Time lag)

วัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า และวัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนาแน่นมากกว่าก็มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่าที่มีความหนาน้อย

ค่าการถ่ายเทความร้อนจากฟิล์มอากาศที่ผิววัสดุ

(Surface Air Conductance)

ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิววัสดุและลักษณะพื้นผิว

2.2.2. <u>อิทธิพลจากแสงแดด</u>

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เมื่อหลังคาถูกแสงแดดจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นเป็นรังสีคลื่นยาว ก็จะมีพลังงานความร้อนขึ้นที่ผิวหลังคา เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารต่อไป

คุณสมบัติการแผ่รังสีของพื้นผิว

(Surface Radiation)

รังสีความร้อนเป็นรังสีในรูปคลื่นยาวและมีพลังงานต่ำ รังสีเมื่อตกกระทบวัสดุใน ๆ จะสะท้อน ส่งผ่านและดูดซึมไว้ในวัสดุนั้น วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสี และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉาก

2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิงสเปคตรัมทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น

3. อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของ อโลหะจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

4.ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของความขรุขระ ที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งจะเป็นผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น นั้นคือการคายรังสีมีค่าสูงขึ้น

5. การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยทำให้ค่าการแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น

ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลต่อสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซึมรังสี วัสดุต่าง ๆ จะมีค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันออกไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซึมรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่าการแผ่รังสี(Emittance) ค่าการแผ่รังสีจะบ่งบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่คายรังสีและของวัสดุที่ดูดซึมรังสี แนวความคิดที่จะอธิบายความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของวัสดุ คือ ค่าการคายรังสี (Emissivity) ค่าการดูดซึมรังสี (Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสีแสดงออกมาได้ดังนี้

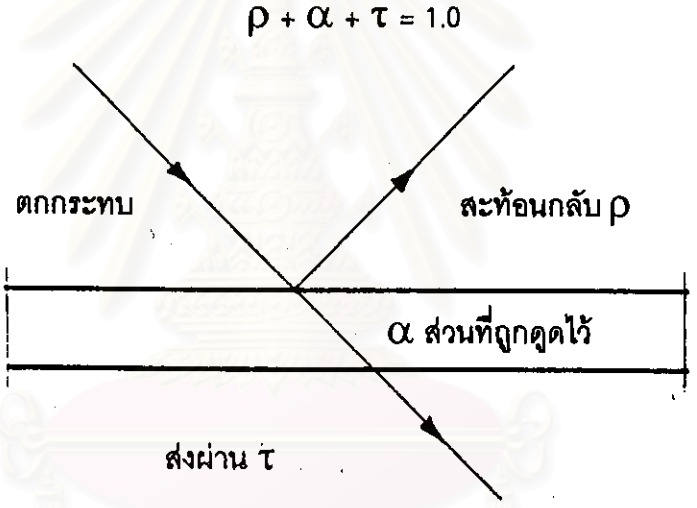
$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

ρ = การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

α = การดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว

τ = การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ

ค่าสะท้อนรังสี ค่าการดูดซึมรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ และสำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่งๆ ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสีและการส่งผ่านรังสีจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา สำหรับวัสดุทึบตัน (Qpaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของค่าการดูดซึมรังสีและค่าการสะท้อนรังสี จะเท่ากับ (รูปภาพ 2.1) พลังงานรังสีเมื่อถูกดูดซึมโดยวัสดุจะเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน ความร้อนนี้อาจจะถูกนำไปหรือแผ่รังสีออกมาในรูปรังสีคลื่นยาวจากวัสดุนั้น



รูปที่ 2-10 แสดงการสะท้อนรังสี,การดูดซึมรังสี,การส่งผ่านรังสี,การคายรังสีในวัสดุทึบตันและในวัสดุโปร่งแสงหรือโปร่งใส

ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน (Qpaque) วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูง จะมีค่าการดูดซึมรังสีต่ำ

ค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส (Transparent) และ วัสดุโปร่งแสง (Translucent) ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุประเภทนี้ จึงต้องควรระวังถึงความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคาร

ค่าการดูดซึมรังสี (Absorbtivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการดูดกลืน พลังงานของผิววัสดุ วัสดุที่มีสีเข้ม จะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่า วัสดุที่มีสีอ่อนกว่า

ค่าการคายรังสี (Emissivity) เป็นตัวแสดงความสามารถของวัสดุในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของผิววัสดุโลหะผิวเงามัน จะมีค่าการคายรังสีต่ำกว่าวัสดุผิวหยาบ วัสดุส่วนใหญ่มีค่าการคายรังสีสูงด้วย แผ่นอลูมิเนียม จะแผ่ความร้อนออกมาได้น้อยกว่าผิววัตถุสีขาว และมีความสามารถในการสะท้อนสูง แต่ในกรณีที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นหลังคาที่ต้องรับความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นเวลานาน ๆ ก็จะทำให้มีผลใกล้เคียงกับหลังคาสีขาวชนิดอื่น เนื่องจากภายในเนื้ออลูมิเนียมนั่นสามารถเก็บความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุสีขาวหลายเท่า ดังนั้น การใช้แผ่นอลูมิเนียมบางๆ เป็นตัวสกัดกั้นความร้อนนั้นจะได้ผลดี เพราะมีมวลน้อยจึงทำหน้าที่ในการสะท้อนความร้อนออกไปได้ดี

Material	*Reflectance (In percent)*	*Material*	*Reflectance (In percent)*
Bluestone, sandstone	18	Asphalt (free from dirt)	7
Brick		Earth (moist cultivated)	7
light buff	48	Granolite pavement	17
dark buff	40	Grass (dark green)	6
dark red glazed	30	Gravel	13
Cement	27	Macadam	18
Concrete	55	Slate (dark clay)	8
Granite	40	Snow	
Marble (white)	45	new	74
Paint (white)		old	64
new	75	Vegetation (mean)	25
old	55		

Source: IES RP-23-1989; reprinted with permission.

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings ,8th Edition,1992

รูปที่ 2-11 แสดงคุณสมบัติในการดูดซึมและคายรังสีจากดวงอาทิตย์ และ Far-Infrared ของวัสดุทึบตันต่างๆที่ใช้ในอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านช่องอากาศ

เมื่อพื้นผิวของวัสดุอยู่ระหว่างช่องอากาศ การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นโดย Convection และ Radiation โดยมีผลกระทบจาก Orientation ของช่องอากาศ ทิศทางการถ่ายเทความร้อน (Direction of Heat Flow) ระยะห่างของอากาศ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและคุณสมบัติของพื้นผิว เมื่อพื้นผิวของวัสดุทึบตันสัมผัสอากาศ และมีการเคลื่อนไหวของอากาศตามผิววัสดุ (Air Film) มีน้อย ความเป็นฉนวนของชั้นอากาศที่นิ่งตามพื้นผิวทางแนวดิ่งมีค่า R เท่ากับค่า R ของไม้อัดหนาครึ่งนิ้ว แต่เมื่อชั้นอากาศนี้ถูกทำลาย ค่า R จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ความเร็วลม

i 17104312

15 ไมล์ต่อชั่วโมง (6.7 เมตรต่อวินาที) เหลือเพียง 1/4 ของค่า R ของชั้นอากาศที่นิ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านวัสดุ(Conductance - c หรือ hi)และค่าความต้านทาน (R) ของอากาศเป็นการแสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทรังสีความร้อนของอากาศ ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3.ฉนวนความร้อน

ในการใช้ฉนวนกับความร้อนเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร ควรจะทำความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดพื้นฐานของฉนวนกับความร้อนที่ใช้กันทั่วไป โดยแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ พอสังเขปดังนี้

- **ฉนวนใยแก้ว** (Glass Fiber)

ผลิตขึ้นมาจากการปั่นก้อนแก้วแข็งด้วยการปั่นจนเป็นเส้นเกลียวบาง เชื่อมยึดกันด้วยตัวประสาน (รูปที่2-12) เนื่องจากใยแก้วเป็นสารอนินทรีย์ จึงเป็นวัสดุที่ไม่ลุกไหม้ แต่ตัวประสานใยแก้วนั้นสามารถลุกไหม้ได้ จึงต้องมีมาตารฐานกำหนดตาม ASTM C84 คุณสมบัติสภาพการนำความร้อนต่ำ การดูดซับเสียงดี ไม่เป็นพิษ และไม่มีกลิ่น การประยุกต์ใช้งานเป็นฉนวนหลังคาอาคาร ผนัง พื้น ห้องใต้ฝุนตึก และงานระบบท่อ

- **ฉนวนใยหิน** (Rock Fiber)

ลักษณะคล้ายคลึงกับฉนวนใยแก้ว มีทั้งฉนวนแร่ใยหิน (Asbestos) มีคุณสมบัติสภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่ติดไฟ การดูดซับเสียงดี (รูปที่2-13)

- **ฉนวนใยเซลลูโลส** (Cellulosic Fiber)

ผลิตขึ้นจากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่(Recycle) (รูปที่2-14) ทั่วไปที่ใช้กันอยู่ม 2 เกรดคือ Short Fiber และ Long fiber (รูปที่2-15) โดย Short Fiber ทำจากกระดาษหนังสือพิมพ์ จะมีสีคล้ำกว่า ใช้พ่นกับผนังทั่วไป ส่วน Long Fiber ทำจากกรัที่มีเนื้อละเอียดกว่า เช่น กระดาษพิมพ์งาน A3,A4ทั่วไป จะมีคุณสมบัติในการยึดเกาะพื้นผิวได้ดีกว่า Short Fiber ใช้พ่นในส่วนหลังคา โดยที่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนยังเท่าเทียมกัน การแผ่และดึงให้กระจายออกทำการย่อย Cellulose Fiber ให้ละเอียดจนเป็นปุย จากนั่นทำการประสารด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือ สารบอแรกซ์ จะช่วยป้องกันมด,ปลวกและยับยั้งการเกิดเชื้อราในบางส่วน อีกชนิดคือ สารบอริกซ์ จะช่วยต้านทานการลุกไหม้ การใช้งานมักใช้ในลักษณะฉีดพ่น สำหรับเป็นฉนวนใต้ดาดฟ้า หลังคา หรือถึงใต้ดินขนาดใหญ่ ข้อควรระวังของฉนวนประเภทนี้ คือ เมื่อโดนน้ำมากจะยุ่ยได้ง่าย จากการทดสอบตาม ASTM C-737-73 ฉนวนควรจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากการดูดซึมน้ำไม่เกิน 15 % โดยปริมาตร เพราะอาจเกิดปัญหาในการใช้สำหรับสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง

---

1. ข้อมูลจาก คุณอนุรักษ์ เหล่าพานิช ฝ่ายขายบริษัท เนเจอรัล อินซูเลชั่น จำกัด ,มีนาคม 2540

-**ฉนวนโพลิสไตรีนโฟม** * (Polystyrene Foam / PS.)

ฉนวนโพลิสไตรีนโฟมหรือโฟมขาว (รูปที่2-16) ผลิตขึ้นมา 2 รูปแบบ คือแบบโฟมอัดรีด (Extruded) และแบบโฟมหล่อ (Molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดรีด จะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า มีรูปร่างที่คงที่มากกว่าและสามารถทนแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบ เนื่องจากโพลิสไตรีนเป็นสารที่ลุกไหม้ได้ ควรมีเปลือกหุ้มต้านทานเปลวไฟสำหรับในการใช้งาน เช่น แผ่นยิบซั่ม และช่วยป้องกันจากการกระทบแสงอุลตร้าไวโอเลตโดยตรงด้วย เพราะจะทำให้เป็นสีเหลืองและคุณภาพจะลดลง มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจใช้หุ้มภายนอกอาคารทั้งหมด เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคารได้ดี ดังเช่น ผนัง EIFS /Exterior Insulation and Finish System ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว (รูปที่2-17)

- **ฉนวนโพลิยูริเทน** (Polyurethane Foam / PU.)

หรือฉนวนโพลิไอโซไซยานูเรตโฟม คือ วัสดุฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นโฟม (รูปที่2-18) โดยที่จะให้โครงสร้างแข็งขึ้นอยู่กับการบ่ม โดยมีทั้งการหล่อเป็นรูปแบบแผ่นแข็งล่วงหน้าหรือเป็นรูปแบบที่ฉีดพ่นเป็นสเปรย์ในชิ้นงาน มีสภาพการนำความร้อนต่ำ อาจจะเพิ่มขึ้นตามอายุของโฟม การดูดซึมน้ำต่ำเป็นตัวต้านทานการเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย และไม่มีพิษยกเว้นเมื่อถูกเผาไหม้จะให้ควันมาก และให้กาซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ซึ่งเป็นอันตราย การใช้งานจะต้องหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟไหม้ ใช้เป็นฉนวนหลังคา พื้น ผนัง ปกติจะใช้ร่วมกับพื้นผิวสะท้อนรังสีบนด้านนอกของฉนวนที่หุ้มอาคาร

- **ฉนวนโพลิเอทธีรีน** (Polyetherene Foam / PE.)

ฉนวนโพลิเอทธีรีน มีลักษณะคล้ายฉนวนโพลิสไตรีน จะมีความหนาแน่นมากกว่า มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนได้ดี การใช้งานอาจใช้ติดกับวัสดุมุงหลังคาด้านใน เช่น หลังคาแผ่นโลหะ (รูปที่2-19)

- **แผ่นบางผิวสะท้อนรังสี**

ส่วนใหญ่ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ แผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือค่าการแผ่รังสีต่ำ (รูปที่2-20) มักใช้กับส่วนหลังคาของบ้านพักอาศัย หรือใช้กับประกอบกับแผ่นยิบซั่มหรือฉนวนกันความร้อนชนิดอื่น เช่น ใยแก้ว มีคุณสมบัติคงทนถาวรและทนต่อแรงดึงได้ดี กันน้ำและความชื้นได้ดี ไม่ติดไฟ (บางชนิด) ติดตั้งง่าย แต่ควรมีช่องอากาศระหว่างวัสดุหลังคาเพราะแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดี นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสว่างภายในอาคารอีกด้วย

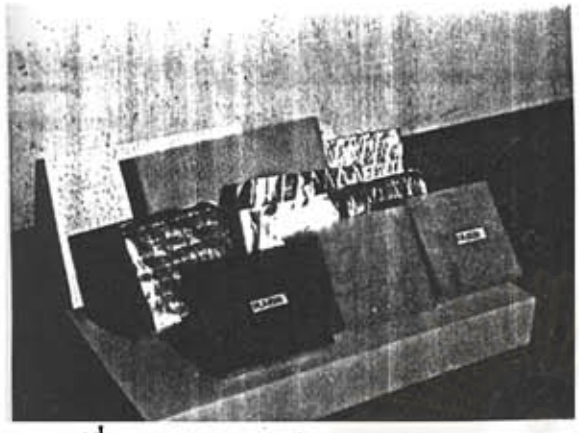
---

* คู่มือฉนวนความร้อน, นาวาอากาศตรีตระการ ก้าวกสิกรรม. พิมพ์ที่ หจก.อักษรการพิมพ์, 2537

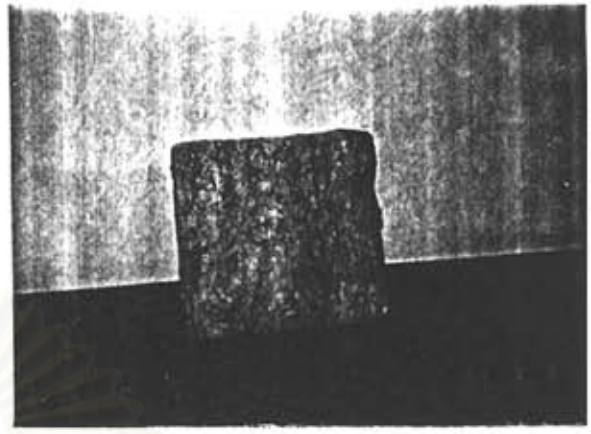
นอกจากนี้ยังมีฉนวนกันความร้อนอีกหลายชนิด มีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น ไฟมชนิดสารยืดหยุ่น (Elastomeric Foam) หรือไฟมยางแบบขยาย ใช้เป็นฉนวนท่อที่ยืดหยุ่นได้ ด้วยการพ่นให้ขยายตัวในแบบฉนวนเพอร์ไลท์ (Perlite) หรือ ซิลิก่าไฟม (Exponded Foam) เป็นฉนวนที่ทำมาจากเม็ดแก้วภูเขาไฟแบบทราย ฉนวนฟีโนลิคโฟม (Pheolic Foam) และฉนวนท่อที่ถูกหล่อแข็ง ทำจากวัสดุฟีโนลิคที่เป็นกลางทางเคมี และฉนวนเวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite) ทำจากไมกาซึ่งเป็นแร่ชนิดหนึ่งเป็นเกล็ด ๆคล้ายกระจก เป็นต้น

การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนทั่วไป ต้องพิจารณาประเด็นหลักคือ คุณสมบัติต้านทานความร้อน คุณสมบัติการป้องกันไฟ และคุณสมบัติการป้องกันเสียง สำหรับฉนวนกันความร้อนที่กล่าวมาพอที่จะสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติให้เข้าใจ ดังรูปที่ 2-21 และตารางที่ 2-7

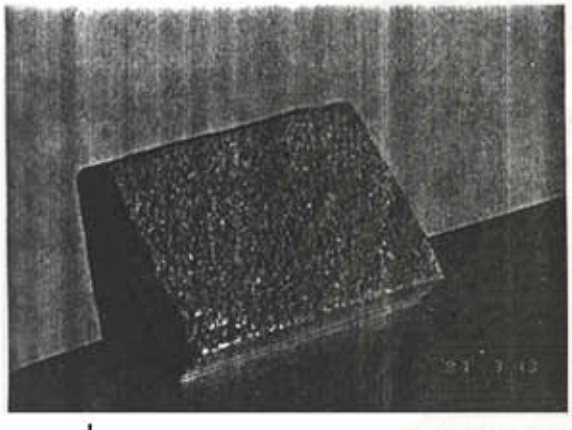
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-12 ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber)

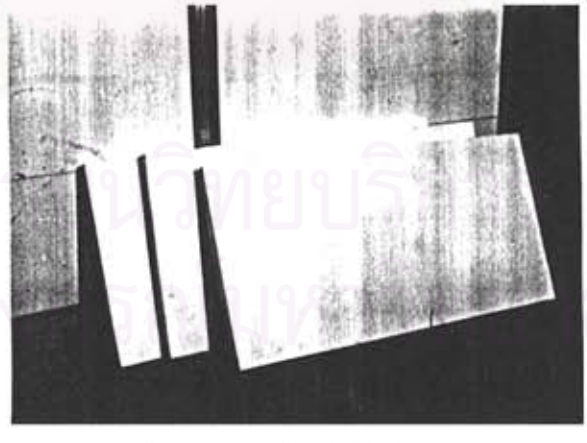


รูปที่ 2-13 ฉนวนใยหิน (Rock Fiber)



รูปที่ 2-14 ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber)

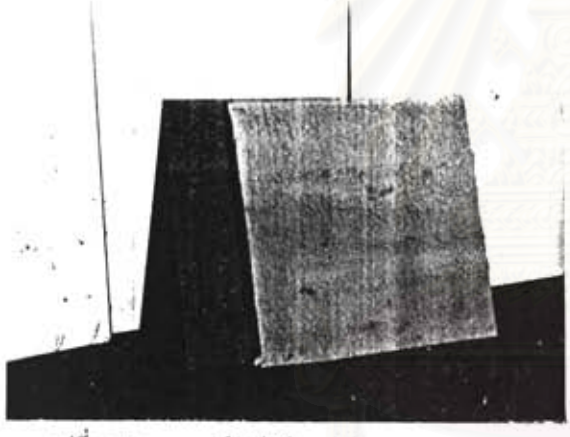
รูปที่ 2-15 เยื่อกระดาษชนิด Short Fiber และ ชนิด Long Fiber



รูปที่ 2-16 ฉนวนโพลิสไตรีนโฟม

(Polystyrene Foam / PS.)

รูปที่ 2-17 แสดงรายละเอียดหน้าตัด EIFS.



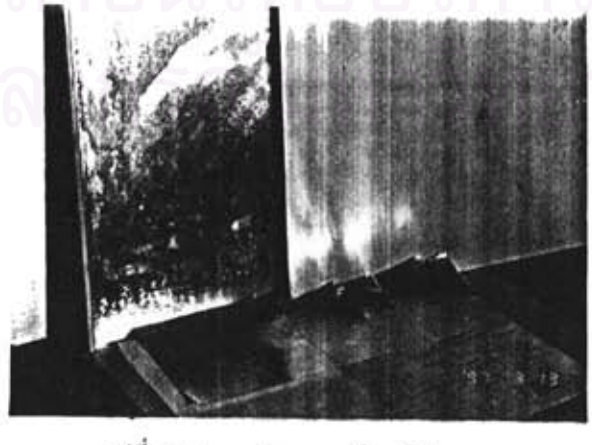
รูปที่ 2-18 ฉนวนโพลียูรีเทนโฟม

(Polyurethane Foam / PU.)

รูปที่ 2-19 ฉนวนโพลิเอทธีรีนโฟม

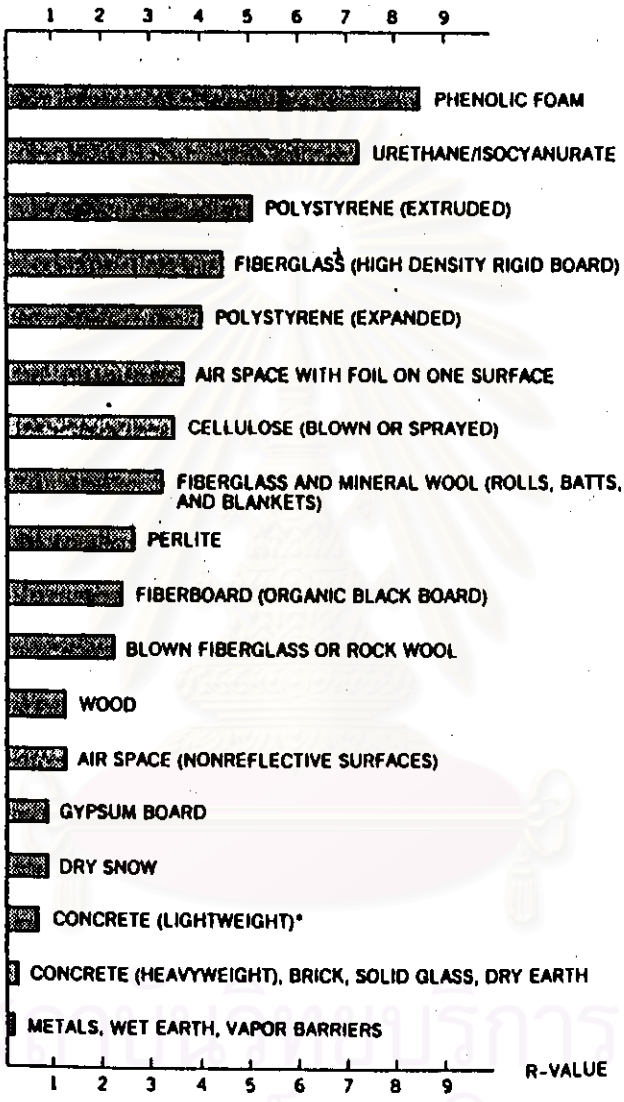
(Polyetherene Foam / PE.)

ยึดติดกับหลังคาแผ่นโลหะ



รูปที่ 2-20 แผ่นบางสะท้อนรังสี

รูปที่ 2- 17 แสดงค่าเปรียบเทียบ R-Valueของฉนวนกันความร้อนและวัสดุต่างๆที่ความหนา 1 นิ้ว



A comparison of the thermal resistance of various materials. All values are for 1-in.-thick samples. the actual resistance of a sample varies with density, temperature, material composition, and in some-cases moisture content. The resistance of lightweight concrete varies greatly with density and aggregate used (R-values vary from 0.2 to 2.0).

ที่มา : Heating Cooling Lighting, Design Methods for Architects.,Norbert Lechner.,1991.

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของฉนวนกันความร้อนประเภทต่างๆ

วัสดุฉนวนกันความร้อน	ค่าความต้านทานความร้อนต่อความหนา๑"	ลักษณะทางกายภาพ	คุณสมบัติทั่วไป
1. Fiber glass	3.2	Rolls,batts& blankets	ทนน้ำ,ทนไฟ,กันเสียงได้ดี
2. Rock Wool	2.2 4.4	Loose Fill Rigid board	ทนน้ำ,ทนไฟ,กันเสียงได้ดี
3. Perlite	2.7	Loose Fill	ป้องกันไฟได้ดีมาก
4. cellulose	3.2 3.5	Loose Fill Sprayed in place	สามารถเข้าไปในพื้นที่เล็กได้ดี มีการดูดซับความชื้น ทนไฟ,กันเสียงได้ดี
5. Polystyrene (expanded)	4	Rigid board	ราคาต่ำเมื่อเทียบกับค่าความเป็นฉนวน ติดไฟได้ ควรระวังไม่ให้ถูกไฟ,แสงแดด
6. Polystyrene (extruded)	5	Rigid board	ต้านมานความชื้นสูงมาก สามารถใช้ในชั้นใต้ดิน ติดไฟได้ ควรระวังไม่ให้ถูกไฟ,แสงแดด ราคาแพงกว่า แบบที่5
7.Urethane / / isocyanurate	7.2	Rigid board	มีความต้านทานความร้อนสูงมาก ติดไฟได้ และเป็นพิษ ควรระวังไม่ให้ถูกไฟและความชื้น
	6.2	Foamed in place	สำหรับพื้นผิวที่ขรุขระและไม่ธรรมดา
8. Phenolic foam	8.2	Rigid board	มีความต้านทานความร้อนสูงที่สุด ต้านทานไฟได้ดี ,เปราะบาง แตกง่าย
9. Reflective foil	ขึ้นอยู่กับทิศทางของ foil ที่ติดกับช่องอากาศและทิศทางของการถ่ายเทความร้อน	ถูกแบ่งด้วยช่องอากาศ	มีประสิทธิภาพในการความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ควรติดช่องอากาศอย่างน้อยหนา 3/4 นิ้ว แผ่นฟอยล์ควรคว้ำลงเพื่อป้องกันฝุ่นเกาะ

ที่มา : Norbert Lechner ,Heating Cooling Lighting Design Methods for Architects

2.3 เทคนิคการวิเคราะห์และการประเมิน

2.3.1 การหาปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร

โดยทั่วไปสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$Q = U*A*\Delta T \quad \text{..... (1)}$$

และ $$Q = U*A*CLTD \quad \text{..... (2)}$$

โดยที่ Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (BTU/Hr.Sq.ft.F)

U = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (BTU/Hr.Sq.ft.F)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (Sq.ft.)
(วัดตั้งฉากกับทิศทางถ่ายเทความร้อน)

Δ = ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกับภายนอกบ้าน (F)

CLTD = ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า (F)
หรือ Cooling Load Temperature Difference.

สมการที่ 1 จะใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลของแสงแดดมาเกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้แตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในมีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรือในอีกกรณีหนึ่ง คือ เพื่อความสะดวกในกรณีที่ให้มีอัตราการเสียงต่ำในการคำนวณหา Heat Load ของอาคารเมืองหนาว ซึ่งถือว่าอิทธิพลจาก มวลสาร การหน่วงเวลาหรืออื่นๆ เป็นเสมือนว่า Safty Factor ในการคำนวณ

สมการที่ 2 จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลของแสงแดด ค่า ΔT ถูกเปลี่ยนเป็นค่า CLTD เพื่อปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะในสภาพความเป็นจริงความแตกต่างอากาศระหว่างภายนอกกับภายในไม่เคยคงที่ จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การคำนวณ Peak Load ของอาคารจึงใช้สมการที่ 2 ใช้ค่า CLTD แทน ΔT ค่าCLTD เป็นค่าที่ดัดแปลงมาจาก ΔT หากแต่ปรับให้เข้ากับอิทธิพลจากภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา วัน เดือน และ เขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารและสี, การหน่วงเวลา ตลอดจนผลกระทบของแสงแดดอุณหภูมิและสภาพแวดล้อม

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลมากต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ผนังหรือหลังคาเมื่อถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น การที่ผิวของผนังหรือหลังคาร้อนขึ้นนี้เอง ทำให้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ต้องเปลี่ยนไปและจะใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายใน (ΔT) ไม่ได้อีกต่อไป ค่าของ ΔT จะต่ำกว่าความเป็นจริงมากโดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ และเพื่อจะศึกษาอิทธิพลของแสงแดดและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผล

ต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจึงมีผู้ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรเหล่านั้นขึ้น โดยสร้างเป็นสมการ ASHRAE 1989 Sol-Air Temperature

Sol-Air Temperature Te = Tout + I * α/ho - $\varepsilon \Delta$R/ho.....(3)

โดยที่

Te = Sol - Air Temperature

Tout = อุณหภูมิอากาศภายนอก

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด

(Total Solar Radiation Incident on the Surface) (BTU/HR.Sq.ft.F.)

α = สัมประสิทธิการดูดความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

ho = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนของผิวซึ่งรวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection (BTU/HR.Sq.ft.F.)

R = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (BTU/HR.Sq.ft.F.)

ε = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนจากผิว

(Hermispherical Emittance of the Surface)

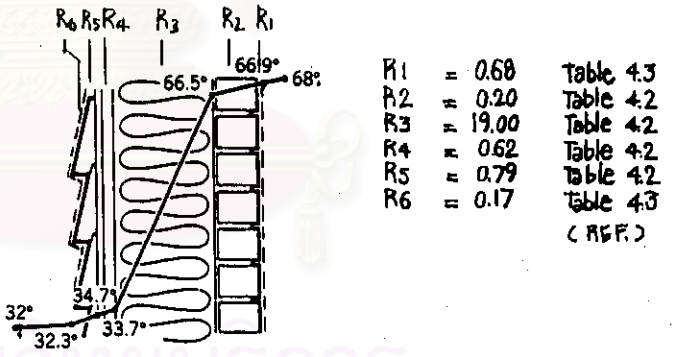
Sol - Air Temperature คือ อุณหภูมิประมาณของอากาศที่ติดอยู่กับผิววัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม และจากการเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก ASHARE (1989) "Sol-Air Temperature is the outdoor air that, in the absece of all radiation change, gives the same rete of heat entry into the surface as would the compination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air."

2.3.2 การประเมินสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอาคารจริง

ในการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล ทางด้านอุณหภูมิหลังคาจากอาคารตัวอย่าง ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งประกอบไปด้วยหลังคาหลากหลายประเภท โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาหลังคา 4 ประเภทหลัก ได้แก่ หลังคากระเบื้องลอนคู่ หลังคากระเบื้องคอนกรีต หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก และหลังคาแผ่นโลหะ จากการเก็บข้อมูลอาคารจริงพบว่า มีปัจจัยจากตัวแปรอิสระมากมาย ที่เป็นตัวแปรสำคัญและมีผลกระทบต่อพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคาร อาทิเช่น อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่าพลังงานการถ่ายเทรังสีจากดวงอาทิตย์ สภาพท้องฟ้า ค่าความเร็วลมและปริมาณความชื้นในอากาศ เป็นต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าว จึงควรพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของหลังคาแต่ละประเภท การหาค่า U จากการศึกษาอาคารจริง ได้พิจารณาและประยุกต์การหา U-Value ได้ 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 หลักการ Thermal Gadient

โดยพิจารณาจากค่าของอุณหภูมิที่ลดลงในแต่ละส่วน ที่ผ่านเข้าไปในเปลือกหุ้มอาคาร (ผนังหรือหลังคา) ดังแสดงในรูปที่ 2-22



R	Component	ΣR from Interior	Temperature Drop from Interior (F°)	Temperature at Outer Edge of Component (F)
0.68	Inside air layer (1)	0.68	0.68/21.46 × 36 = 1.1	66.9
0.20	Common brick (2)	0.88	0.88/21.48 × 36 = 1.5	66.5
19.00	Nominal 6-in. insulation(5)	19.88	19.88/21.46 × 36 = 33.3	34.7
0.62	½-in. Plywood (4)	20.5	20.5/21.46 × 36 = 34.3	33.7
0.79	1-in. Wood siding(5)	21.29	21.29/21.46 × 36 = 35.7	32.3
0.17	Outside air (6)	21.46		32

Fig. 4.5 Procedure for calculating the thermal gradient through construction. Assume that outside and inside temperatures are 32 and 68 F (0 and 20°C); Δt = 68 − 32 = 36F°.

รูปที่ 2-22 แสดง Thermal Gadient ของผนัง

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Buildings ,8th Edition,1992

จากข้อมูล (A)

ค่าอุณหภูมิที่ลดลงจากจุด A (ผิวผนังภายใน)จากอุณหภูมิห้อง (ΔT_a)

$$= R1/\Sigma R * \Delta T$$

โดยที่ R1 = Still Air Resistance (ดูจากตารางที่ ผ/1-1)

ΣR = ผลรวมค่าความต้านทานของผนังทั้ง 6 องค์ประกอบ

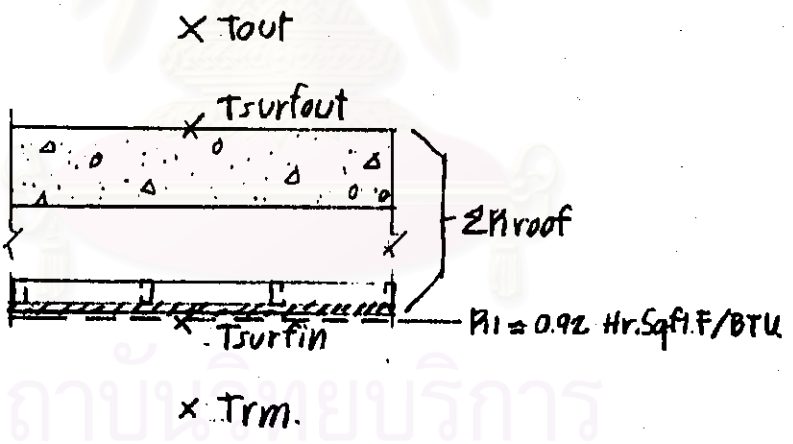
ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับภายในห้อง (F)

(Tout.-Trm.)

ΔT_a = ผลต่างของอุณหภูมิที่จุด A กับอุณหภูมิห้อง (F)

Trm. = อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (F)

จากหลักการดังกล่าว และพิจารณาค่า Still Air Resistance ของอากาศภายในแต่ละลักษณะระนาบและทิศทางการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (จากตารางที่ ผ/1-1) พร้อมนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่า U ของหลังคาจากอาคารจริงดังนี้



รูปที่ 2-23 แสดงการคำนวณหาค่า U ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก

ในการคำนวณหาค่า U ควรที่จะเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก แทนการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก (Tout.) เนื่องจากมีปัจจัยจากตัวแปรอื่นอีกมากมาย ที่ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่เป็นข้อมูลของการถ่ายเทความร้อนของหลังคาโดยตรง อันได้แก่ ค่าการสะท้อนรังสีของวัสดุหลังคาภายนอก ค่าความเร็วลม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น ข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ จึงประกอบด้วย

- อุณหภูมิผิวหลังคาภายนอก (Tsurfout.)
- อุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานหรือใต้หลังคา (Tsurfin.)
- อุณหภูมิอากาศภายนอก (Trm.)

จากหลักการ Thermal Gadient นำมาคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมใส่วนหลังคา (ΣRroof.) ดังนี้

$$Tsurfin.-Trm. = (R1/\Sigma Rroof+R1)*Tsurfout.-Trm.$$

จากรูปภาพที่ 2.24 หาค่า ΣRroof. ของหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนี้

กำหนด $Tsurfout.-Trm. = A$

$Tsurfin.-Trm. = B$

$R1 = 0.92$ (จากตารางที่ ผ/1-1)

ดังนั้น $B = (0.92/\Sigma Rroof.+0.92)*A$

$\Sigma Rroof.+0.92 = 0.92*A/B$

$\Sigma Rroof. = (0.92*A/B)-0.92$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา (U-Value)

จะได้ $U\text{-}Value = 1/\Sigma Rroof$ .....(4)

วิธีที่ 2 <u>หลักการพิจารณา CLTD</u>

จากการศึกษาอาคารจริง เราพิจารณาค่า CLTD ในกรณีที่เป็นค่าความแตกต่างเทียบเท่าของอุณหภูมิที่ผิวหลังคาภายนอก เช่นกัน สมการที่ใช้คือ

$Q1 = U1*A*\Delta T$ .....(1)

และ $Q2 = U2*A*CLTD$ ..... (2)

โดยที่ Q1 และ Q2 = อัตราการถ่ายเทความร้อน (ที่ผิวฝ้าเพดานภายใน) (BTU/Hr.Sq.ft.F)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถ่ายเทความร้อน (Sq.ft.)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวฝ้าภายในและอุณหภูมิห้อง (F) (Tsurfin.-Trm.)

U1 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวฝ้าเพดานภายใน (hi.) (พิจารณาตารางที่ ผ/1-1 ประกอบ)

CLTD = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิห้อง (Tsurfout.-Trm..)

จากสมการที่ 1 จะได้

$$Q1 = hi*A*(Tsurfin.-Trm.) \quad \text{.....(5)}$$

และจากสมการที่ 5 ทำให้ได้ค่า Q1

โดยที่ $Q1 = Q2$

ดังนั้น จากสมการที่ 2 จะได้

$$U2 = Q2/A*CLTD \quad \text{.....(6)}$$

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง จะเป็นการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาที ช่วงเวลาตั้งแต่ 7:00-19:00 น.ดังนั้นค่า U-Value ของหลังคาที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เป็นลักษณะของ Dynamic U-Value ดังที่จะแสดงต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 **พลังงานที่ใช้ในการจัดปริมาณความร้อน**

สำหรับเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทย ใช้มาตราฐานความสามารถของเครื่องปรับอากาศที่ 1.4 KW/Ton นั่นคือ การลดความร้อนที่เกิดขึ้น 12,000 BTU. จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1.4 KW หรือ 4,776 BTU. ประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้จริง (Coefficient of Performance) หรือ COP จากสูตร

จากสูตร $COP = \frac{output}{Input}$

โดยที่ Output = พลังงานที่ได้จากภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ ขนาด 1 ตัน (Cooling Load) เท่ากับ 12,000 BTU/hr.Sq.ft.

Input = พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ขนาด 1 ตัน เท่ากับ 1.4 KW./TON หรือ 4,776 BTU

$COP = \frac{12,000}{4,776} = 2.51$

การหาพลังงานที่ใช้จริงในการปรับอากาศ $= \frac{Q}{COP}$

$= \frac{Q}{2.51}$ BTU/hr.Sq.Ft.

2.3.3. **มูลค่าของพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปี**

อาคารแต่ละประเภทในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีจุดประสงค์การใช้งานแตกต่างกันไป แต่ในที่นี้จะพิจารณาตามเวลาการใช้งานโดยทั่วไปของอาคารส่วนใหญ่ โดยแยกเป็น สำหรับช่วงเวลากลางวัน (Office Hour) ตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น. และเวลากลางคืน (Home Hour) ตั้งแต่เวลา 18.00 - 6.00 น. โดยสำหรับช่วงเวลากลางวันจะคิดเฉพาะวันทำงาน (สัปดาห์ละ 5 วัน)

ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานถือว่า ประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้จริง (COP) มีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คิดในราคา 1.95 ทางต่อ (1 หน่วย = KW.hr หรือ 3,412 BTU.hr)

2.4 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับอาคารทั่วไปในเขตร้อน หลังคาเป็นองค์ประกอบของสถาปัตยกรรมที่จะได้รับผลกระทบโดยตรง จากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ เพราะหลังคามีพื้นที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมมากที่สุด เมื่อเทียบกับกรอบอาคารด้านต่าง ๆ ดังนั้นสถาวะน่าสบายของอาคารชั้นเดียว หรือห้องใต้หลังคา จะได้รับอิทธิพลจากกรอบอาคารส่วนนี้มากที่เดียว ระบบหลังคาจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ส่วนหลังคาภายนอก เป็นส่วนที่สัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอกโดยตรง ส่วนช่องอากาศภายใน และส่วนฝ้าเพดาน

ประเภทของหลังคา แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ หลังคาประเภท Heavyweight Solid และหลังคาประเภท Lightweight (B.Givoni, Man Climate and Architecture, 1969)

หลังคาประเภท Heavyweight Solid ทั่วไปส่วนใหญ่เป็นลักษณะแบนเรียบ เช่น หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Flat Slab RL. Concrete Roof) จะมีความสามารถในการสะสมความร้อนสูง การส่งผ่านของความร้อนที่ถูกดูดซึมไว้จากพื้นผิวภายนอกของหลังคา มีผลจากการนำความร้อนผ่านมวลของหลังคา, ช่องอากาศ (ถ้ามี) สู่ส่วนฝ้าเพดาน ดังนั้นปัจจัยหลักของการถ่ายเทความร้อนของหลังคา คือ สีภายนอก, ความต้านทานความร้อน และความสามารถในการสะสมความร้อน และการเพิ่มฉนวนกันความร้อนแก่หลังคา

ส่วนหลังคาประเภท Lightweight ทั่วไป เป็นแผ่นหลังคาภายานอกบนโครงหลังคา วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นหลังงคา ก็แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ แผ่นแอสเบสทอส แผ่นแอสฟัลท์ หรือโลหะผสม เป็นต้น

การเลือกใช้วัสดุหลังคาส่วนนี้ ก็มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคาด้วยเหมือนกัน ดังเช่น การเลือกใช้แผ่นหลังคาเหล็ก ที่มีผิวเป็นมันและสีขาว จะทำให้แสงอาทิตย์สะท้อนกลับได้ค่อนข้างมาก และดูดซึมได้น้อย ประกอบกับผิวด้านล่างเป็นฟอยล์ มีค่า Emissivity ต่ำ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องทดลองไม่สูงมากไปกว่าอุณหภูมิหลังคาทดลองอื่น (จญงดา บุญเกียรติ การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคา, 2537)

สีภายนอก และลักษณะพื้นผิวของหลังคา จะมีอิทธิพลต่อปริมาณการแผ่รังสีความร้อนที่ถูกดูดซึมในหลังคาตอนกลางวัน และการสูญเสียความร้อน จากการแผ่รังสีคลื่นยาวของหลังคาตอนกลางคืน ซึ่งจะมีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอก และอุณหภูมิภายในหลังคา ตัวอย่างเช่น บ้านที่มีหลังคาโบกปูนทาสีขาว อุณหภูมิผิวใต้ฝ้าเพดานจะต่ำกว่าอากาศด้านบนตลอดช่วงเวลากลางวัน เสมือนว่า หลังคาเป็นเครื่องทำความเย็นให้แก่อาคาร โดยทั่วไปอุณหภูมิผิวภายนอกหลังคาโบกปูนสีขาว จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศภายนอก (B.Givoni, Man Climate and Architecture, 1969)

ความต้านทานความร้อนของวัสดุหลังคา มีผลกระทบอย่างมากต่ออุณหภูมิในหลังคา และความสามารถในการสะสมความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุหลังคา ก็มีผลต่อช่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนของหลังคาด้วยเช่น หลังคาประเภท Lightweight จะมีปริมาณความร้อนสะสมในช่วงเย็น หรือกลางคืน น้อยกว่าหลังคาประเภท Heavyweight

ช่องอากาศภายในระบบหลังคา ก็มีส่วนเป็นเสมือนฉนวนกันความร้อนให้แก่หลังคา เมื่อเทียบกับทิศทางของระนาบหลังคา การถ่ายเทความร้อนลงทางหลังคา หรือฝ้าเพดานในแนวระนาบจะมีค่าความต้านทานความร้อนของฟิลม์อากาศที่ผิวหลังคา หรือฝ้าเพดานนั้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับทิศอื่น (Benjamin Stein, John J. Roynolds, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 8th Edition, USA, 1992) หลังคาที่มีช่องระบายอากาศที่ปีกชายคา บุตะแกรงเหล็กฉีกทำให้การไหลเวียนของลมภายใต้หลังคาสะดวกขึ้น เป็นการช่วยระบายอากาศร้อนภายใต้หลังคาออกไป (สุนทร บุญญาณิการ, รศ.ดร., วารสารสถาปัตยกรรม ฉบับเดือนกรกฎาคม, 2536)

การใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนไม่ให้ถ่ายเทสู่พื้นที่ใช้สอยเบื้องล่าง ดังนั้นการวางตำแหน่งของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม คือ การวางฉนวนกั้นระหว่างพื้นที่ใช้สอย (โดยเฉพาะพื้นที่ส่วนที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ) กับห้องใต้หลังคา เพราะจะช่วยควบคุมความร้อนเข้าสู่พื้นที่ใช้สอยมากที่สุด

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การศึกษาถึงการป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคารทางหลังคานั้นเป็นประเด็นที่น่าศึกษาและค้นคว้าวิจัยหาข้อสรุปที่เหมาะสมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย