

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

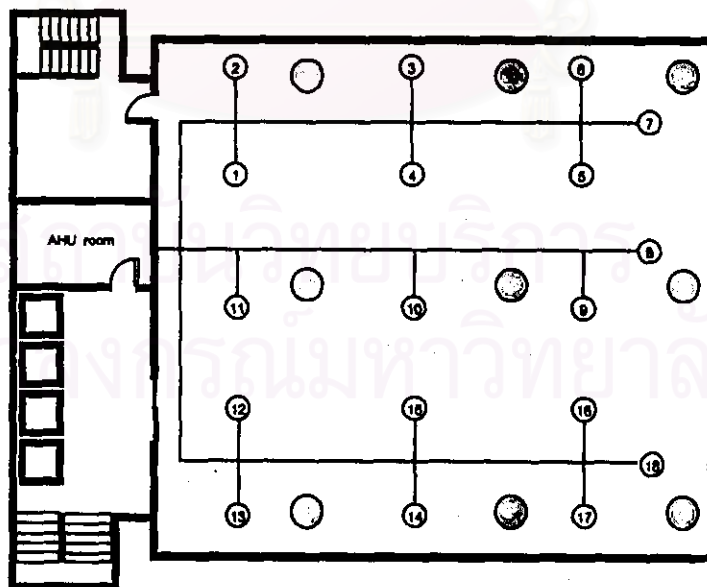
ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลของการนำระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบ ปริมาตรอากาศแปรผันมาใช้ในอาคารสำนักงานในประเทศไทย โดยแบ่งผลการทดลองและวิเคราะห์ ออกเป็นหัวข้อดังนี้

#### 4.1 ผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540 ซึ่งเป็นตัวแทนของผลการตรวจวัด(ผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็นทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.) โดยผลการตรวจวัดสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

##### ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและอัตราการส่งจ่ายลมเย็น

การตรวจวัดอุณหภูมิและอัตราการส่งจ่ายลมเย็นเป็นการตรวจสอบการทำงานของระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศแปรผัน โดยตำแหน่งของ VAV terminals ทั้ง 18 จุด แสดงดังรูปที่ 4.1 และผลการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของ VAV terminals

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง

เวลา	อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ (°C)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	25.1	25.3	26.7	26.3	26.1	25.5	25.5	25.3	25.9	26.2	26.3	25.5	25.3	25.2	25.5	25.4	25.4	24.5
8.00	25.0	25.3	26.2	25.9	25.9	25.3	25.2	24.7	25.5	26.4	26.1	25.2	25.6	25.2	25.6	25.1	25.3	24.1
9.00	24.6	25.3	26.4	25.9	25.6	25.3	25.2	24.3	25.4	26.4	26.3	25.3	25.9	25.0	25.3	25.0	25.2	24.0
10.00	24.7	25.5	26.6	25.7	25.8	25.4	25.5	24.4	25.2	26.3	26.4	25.3	25.8	25.2	25.4	25.1	25.3	23.8
11.00	24.8	25.3	26.4	25.5	25.8	25.3	25.3	24.3	25.1	26.1	26.2	25.5	25.2	25.1	25.6	25.1	25.3	23.8
12.00	24.9	25.3	26.4	25.3	25.6	25.3	25.3	23.9	24.9	26.2	26.0	25.2	25.2	24.9	25.2	25.1	25.2	24.1
13.00	24.6	25.0	25.4	24.9	25.3	24.8	24.9	23.5	24.4	25.9	24.1	25.4	24.9	24.6	25.2	24.8	24.8	24.2
14.00	24.8	25.3	25.9	25.3	25.4	25.0	25.2	23.9	24.9	25.9	25.6	25.2	25.1	25.1	25.4	25.0	25.2	24.2
15.00	24.8	25.3	26.0	25.2	25.4	25.0	25.1	23.9	24.7	26.1	25.4	25.4	25.5	25.0	25.2	25.1	25.3	24.2
16.00	24.8	25.2	25.8	25.2	25.4	25.0	24.9	24.1	24.9	26.1	25.0	25.2	25.6	25.0	25.5	25.0	25.2	24.3
17.00	25.8	25.1	26.0	26.0	25.6	25.1	25.2	24.1	24.5	26.3	26.3	26.2	26.1	25.6	26.0	25.1	25.3	24.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดลมส่งจ่ายที่ VAV terminal

เวลา	ปริมาณลมเย็น ณ VAV terminal (cfm)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
7.00	481	539	622	808	295	630	660	224	284	353	300	658	572	558	696	613	670	284
8.00	476	572	624	808	313	593	542	231	292	349	308	582	685	565	636	542	599	275
9.00	332	667	603	809	299	655	628	222	284	360	301	585	770	502	693	522	616	388
10.00	345	643	603	745	301	635	657	222	279	343	299	582	742	575	692	542	608	367
11.00	378	616	605	669	301	632	609	185	308	394	313	692	717	528	708	537	622	324
12.00	432	602	628	609	304	631	595	67	341	435	338	726	622	468	638	539	579	306
13.00	353	515	635	488	332	448	488	0	362	456	364	646	486	345	612	415	437	165
14.00	413	608	616	585	293	498	568	75	334	415	311	560	554	519	630	512	580	226
15.00	418	568	603	569	306	504	522	0	353	445	345	545	682	531	645	538	581	313
16.00	458	565	628	562	316	459	469	130	316	398	302	552	663	507	682	465	539	315
17.00	679	447	585	720	306	488	500	0	351	416	301	759	737	625	754	464	557	436

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการตรวจวัดการใช้พลังงานของระบบส่งจ่ายลมเย็น

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น

Time	T <sub>room</sub> °C	Air side					Water side			Heat Extraction Rate		Fan Power
		Flow rate m <sup>3</sup> /s	coil,in		coil,out		Flow rate m <sup>3</sup> /s	T <sub>wi</sub> °C	T <sub>w0</sub> °C	Sens. Heat kW	Total Heat kW	Consumption W
			T (°C)	RH(%)	T (°C)	RH(%)						
7.00	25.6	4.36	26.3	54.9	12.8	78.5	0.0099	10.5	13.8	72.9	134.1	6590
8.00	25.4	4.24	26.3	54.0	12.5	80.8	0.0102	10.5	13.5	72.7	126.9	6444
9.00	25.4	4.36	26.3	50.7	12.3	83.7	0.0101	10.3	13.1	75.6	118.4	6451
10.00	25.4	4.37	26.3	50.2	12.5	83.5	0.0100	10.3	13.1	74.6	116.0	6446
11.00	25.4	4.35	26.3	49.3	12.2	83.5	0.0105	10.3	13.1	75.9	119.3	6348
12.00	25.3	4.18	26.4	49.2	12.2	83.0	0.0102	10.1	12.9	73.3	116.0	6319
13.00	24.9	3.56	25.8	49.4	11.6	81.7	0.0105	9.8	12.2	62.7	101.1	5787
14.00	25.1	3.92	26.3	50.5	12.1	82.8	0.0101	10.2	13.0	68.9	113.9	6073
15.00	25.2	4.00	26.2	50.2	12.2	84.8	0.0102	10.2	12.8	69.4	107.8	6058
16.00	25.2	3.93	26.1	49.7	12.1	88.9	0.0103	10.3	12.8	68.0	102.0	6084
17.00	25.5	4.31	26.1	55.5	15.1	91.2	0.0088	13.0	15.3	58.5	83.6	6257

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2 ผลตรวจสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบผลลัพธ์การคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

### 4.2.1 ผลตรวจสอบโปรแกรม VAV-CAL ที่ประดิษฐ์ขึ้น กับการวัดจริง

การตรวจสอบผลการประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบปริมาตรอากาศแปรผันแบบ Inlet Guide Vanes ของโปรแกรม VAV-CAL ที่ประดิษฐ์ขึ้น เป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าได้จากการตรวจวัดเพื่อเป็นการให้ความมั่นใจในการใช้งานโปรแกรม โดยในการตรวจสอบใช้ค่า Sensible heat extraction rate จากการวัดจริง เป็นข้อมูลขาเข้าสำหรับโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์จากการคำนวณ ค่าอัตราส่งจ่ายลมเย็น, ความดันลดในท่อลม และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลม โดยโปรแกรมที่ประดิษฐ์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณ 2 %, 8% และ 3% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจสอบโปรแกรม VAV-CAL

Sensible Heat Extraction rate(W)	Q(m <sup>3</sup> /s)			ΔP <sub>r</sub> (Pa)			P(W)		
	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)
75408	4.63	4.70	1.5	989	869	-10.3	6987	6825	-2.3
72870	4.45	4.54	2.1	944	854	-9.6	8794	8556	-3.5
66990	4.21	4.18	-0.8	919	820	-10.8	8294	6074	-3.5
87269	4.20	4.19	-0.1	894	822	-8.1	6296	6093	-3.2
82742	3.56	3.49	-2.0	846	766	-9.4	5787	5546	-4.2
59634	3.30	3.32	0.5	820	753	-8.2	5482	5480	-0.4
53215	3.11	2.96	-4.9	770	729	-5.3	5295	5302	0.1
52636	3.01	2.93	-2.8	755	727	-3.7	5188	5287	1.9

### 4.2.2 การเปรียบเทียบผลการวัดจริงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การเปรียบเทียบผลการวัดจริงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นการปรับเทียบพารามิเตอร์ในส่วนรายละเอียดของข้อมูลอาคารสำหรับ Input File (รายละเอียดของ Input file แสดงในภาคผนวก ข.) ของโปรแกรม BLN-ESP1 ให้ความเหมาะสม สำหรับใช้ในการประมาณค่า Heat extraction rate ที่เกิดขึ้นตลอดทั้งปี เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปริมาตรอากาศแปรผัน ในโปรแกรม VAV-CAL ต่อไป

โดยพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการปรับเทียบ Input file คือ การปรับค่า  $K_T$  และ อัตราอากาศซึมผ่านผนัง โดยค่า  $K_T$  จะเป็นค่าการนำความร้อนต่อความยาวหนึ่งหน่วย ซึ่งใช้เป็นค่าในการคำนวณค่าสัดส่วนของการสูญเสียความร้อนคืนกลับสู่สิ่งแวดล้อม (รายละเอียดดูใน ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, Chapter 32, 1993) และ อัตราอากาศซึมผ่านผนังจะเป็นค่าที่ใช้ในการปรับแก้ค่าความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงของอาคาร ดังนั้นการปรับเทียบจะเป็นการพิจารณาค่า Heat extraction rate ที่ได้จากโปรแกรม BLN-ESP1 (โดย weather data สำหรับวันที่ทำการตรวจวัดได้จากบันทึกข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีวัดบางนา) กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดและตรวจลอบผลการคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปริมาณอากาศแปรผัน โดยการปรับเทียบ Input File สามารถแสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 4.5 ถึง 4.6 และผลการเปรียบเทียบผลการวัดจริงกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์แบ่งออกเป็น

#### 1. การเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate

ค่า Heat extraction rate ที่เกิดขึ้นสามารถแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน Sensible heat extraction rate และ Latent heat extraction rate สำหรับในการทดลองนี้จะพิจารณาถึงผลการคำนวณค่า Sensible heat extraction rate ให้สอดคล้องกับผลการตรวจวัดเป็นหลัก เพื่อให้เห็นภาพโดยรวม รูปที่ 4.2 ถึง 4.7 จะแสดงถึงรูปร่าง (Profile) ของเส้นกราฟเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate ที่เกิดขึ้น

กราฟผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ในระหว่างวันค่า Total Heat จากการคำนวณมีแนวโน้มรูปร่างของกราฟที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับค่าจากการตรวจวัด โดยค่าจากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าค่าจากการวัด ส่วนในช่วงแรกของการทำงานค่าจากการวัดจะมีค่าสูงสุด สำหรับค่า Sensible heat กราฟผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่าค่าการคำนวณมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดจริงหลังจากชั่วโมงแรกของการทำงาน โดยในช่วงแรกของการทำงานค่าจากการวัดจริงมีแนวโน้มเดียวกับค่า Total heat คือมีค่าสูงกว่าค่าจากการคำนวณ

เมื่อพิจารณาในช่วงชั่วโมงแรกของการทำงานพบว่า ค่า Total Heat extraction rate ที่ได้จากการวัดจริงมีค่าสูงกว่าค่าจากการคำนวณมากอาจเกิดเนื่องจาก

- ค่า Sensible heat extraction rate ที่ได้จากการตรวจวัดเป็นค่าที่เกิดขึ้นในแบบ instantaneous ของระบบปรับอากาศซึ่งพยายามลดอุณหภูมิห้องลงให้เข้าสู่ Set point ส่วนค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ Transfer functions Method ในการคำนวณนั้นเป็นการคำนวณหาค่า

ในแบบค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง โดยการคำนวณจะนำค่าที่เกิดขึ้นในชั่วโมงที่ผ่านมาถ่วงน้ำหนักเพื่อคำนวณหาค่าที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

- การสะสมความชื้นของอากาศภายในห้องซึ่งเป็นผลมาจากการถ่ายเทของอากาศจากภายนอกตลอดคืน ทำให้ค่า Latent heat extraction rate ที่เกิดขึ้นในขณะที่ระบบเริ่มทำงานมีค่าสูงกว่าค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็นค่าที่เกิดขึ้นเฉพาะในชั่วโมงนั้น ๆ

## 2. การเปรียบเทียบค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่าผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยโปรแกรม VAV-CAL มีค่าคำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง โดยผลการคำนวณในวันที่ 24 กรกฎาคม 2540 และ วันที่ 23 มกราคม 2541 มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดประมาณ 4% และ 5% ตามลำดับ ในส่วนของชั่วโมงแรกของการทำงานผลการคำนวณมีค่าผิดพลาดจากค่าการวัดจริงมาก เนื่องจากผลการคำนวณค่า Sensible heat extraction rate

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540

เวลา	Heat Extraction rate(W)									Fan power consumption(W)		
	Sensible			Latent			Total			ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)
	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)			
7.00	72,945	42,926	-41.2	61,147	18,180	-70.3	134,092	61,107	-54.4	5,935	4,885	-17.7
8.00	72,711	61,528	-15.4	54,190	25,278	-53.4	126,901	86,807	-31.6	5,476	5,376	-1.8
9.00	75,584	69,563	-8.0	42,804	28,666	-33.0	118,388	98,229	-17.0	6,025	5,513	-8.5
10.00	74,585	69,456	-6.9	41,396	30,352	-26.7	115,981	99,808	-13.9	5,373	5,460	1.6
11.00	75,931	72,219	-4.9	43,388	31,231	-28.0	119,318	103,450	-13.3	5,320	5,464	2.7
12.00	73,310	71,509	-2.5	42,658	32,748	-23.2	115,968	104,257	-10.1	5,426	5,524	1.8
13.00	62,742	56,190	-10.4	38,381	25,951	-32.4	101,123	82,141	-18.8	5,295	5,168	-2.4
14.00	68,949	69,370	0.6	44,972	26,436	-41.2	113,921	95,807	-15.9	5,508	5,525	0.3
15.00	69,423	70,463	1.5	38,408	24,693	-35.7	107,831	95,156	-11.8	5,673	5,618	-1.0
16.00	68,009	67,960	-0.1	34,021	25,162	-26.0	102,031	93,122	-8.7	5,646	5,633	-0.2
17.00	58,470	59,857	2.4	25,147	23,645	-6.0	83,617	83,502	-0.1	5,850	5,419	-7.4

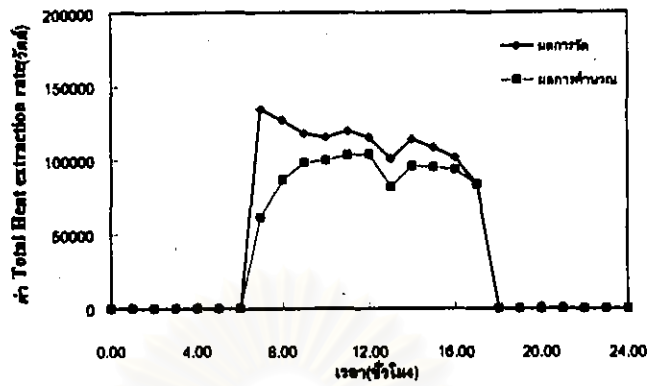
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



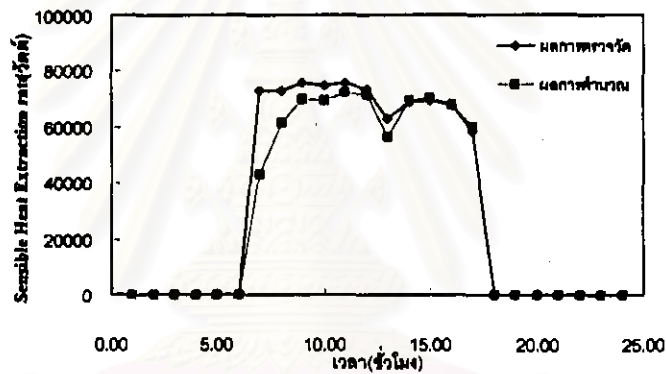
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541

เวลา	Heat Extraction rate(W)									Fan power consumption(W)		
	Sensible			Latent			Total			ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)
	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)	ผลการตรวจวัด	ผลการคำนวณ	ค่าผิดพลาด(%)			
7.00	72,264	39,617	-45.2	89,946	19,048	-78.8	162,210	58,665	-63.8	5,815	5,114	-12.1
8.00	52,636	56,477	7.3	43,491	23,095	-46.9	96,127	79,572	-17.2	5,188	5,505	6.1
9.00	60,890	62,048	1.9	47,591	31,052	-34.8	108,481	93,100	-14.2	5,394	5,713	5.9
10.00	64,028	60,020	-6.3	48,143	36,318	-24.6	112,171	96,338	-14.1	5,526	5,699	3.1
11.00	60,737	60,214	-0.9	41,884	39,573	-5.5	102,621	99,787	-2.8	5,393	5,711	5.9
12.00	65,330	62,642	-4.1	40,286	37,055	-8.0	105,616	99,697	-5.6	5,530	5,752	4.0
13.00	58,316	48,065	-17.6	34,659	28,306	-18.3	92,975	76,371	-17.9	5,287	5,351	1.2
14.00	65,298	62,566	-4.2	38,894	32,364	-16.8	104,192	94,930	-8.9	5,414	5,714	5.5
15.00	68,192	65,704	-3.6	40,432	27,605	-31.7	108,624	93,308	-14.1	5,547	5,802	4.6
16.00	69,655	66,051	-5.2	42,785	28,020	-34.5	112,440	94,070	-16.3	5,562	5,807	4.4
17.00	56,318	58,354	3.6	24,557	27,970	13.9	80,875	86,324	6.7	5,545	5,580	0.6

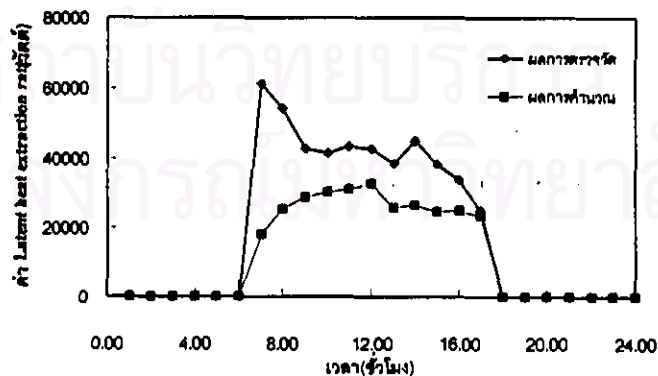
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



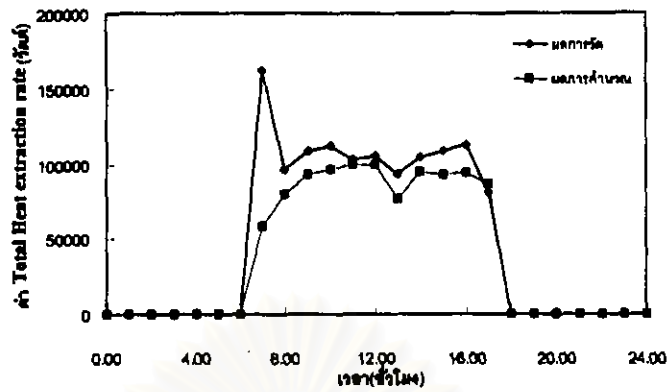
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Total Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540



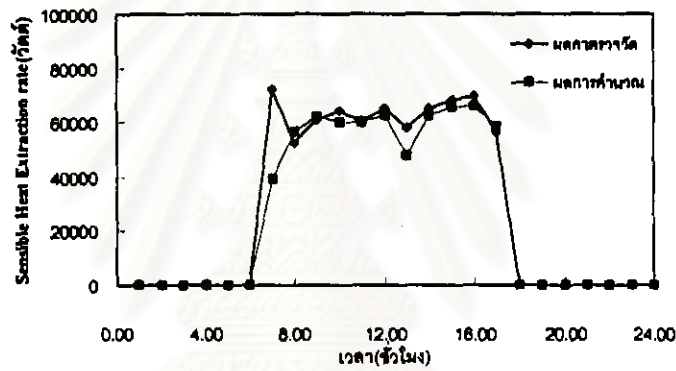
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Sensible Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540



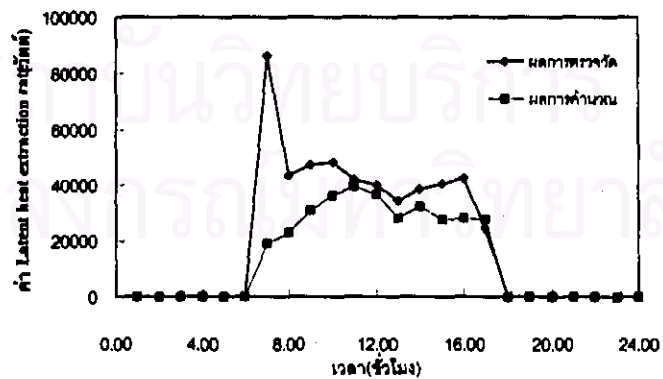
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Latent Heat extraction rate ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540



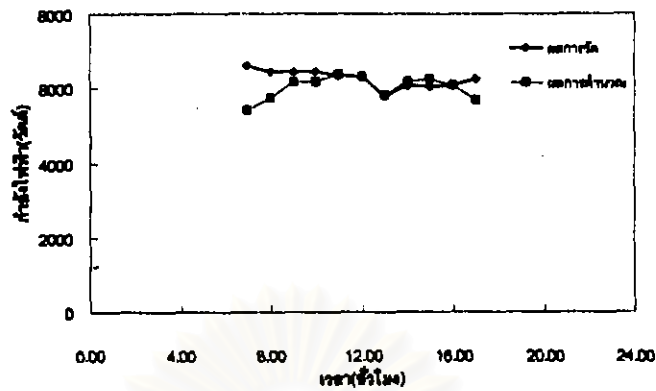
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Total Heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541



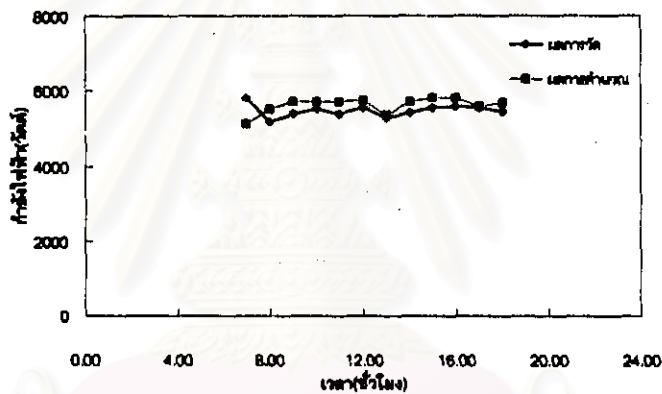
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Sensible Heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่า Latent Heat extraction rate ณ วันที่ 23 มกราคม 2541



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ วันที่ 24 กรกฎาคม 2540



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ วันที่ 23 มกราคม 2541

#### 4.3 ผลการประมาณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

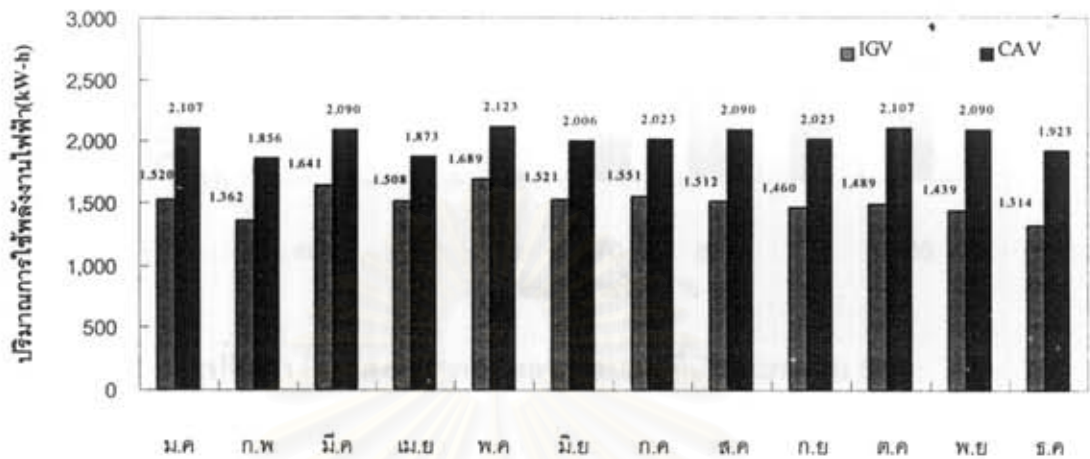
การตรวจสอบผลการคำนวณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบ ปริมาตรอากาศแปรผันในหัวข้อ 4.2 ผลลัพธ์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์แสดงให้เห็นโดยรวมว่ามีค่า ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ดังนั้นในหัวข้อนี้เป็นการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ในการ ประมาณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในระยะเวลา 1 ปี ของอาคารที่ทำการ ศึกษา โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

#### 4.3.1 กรณีการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริง

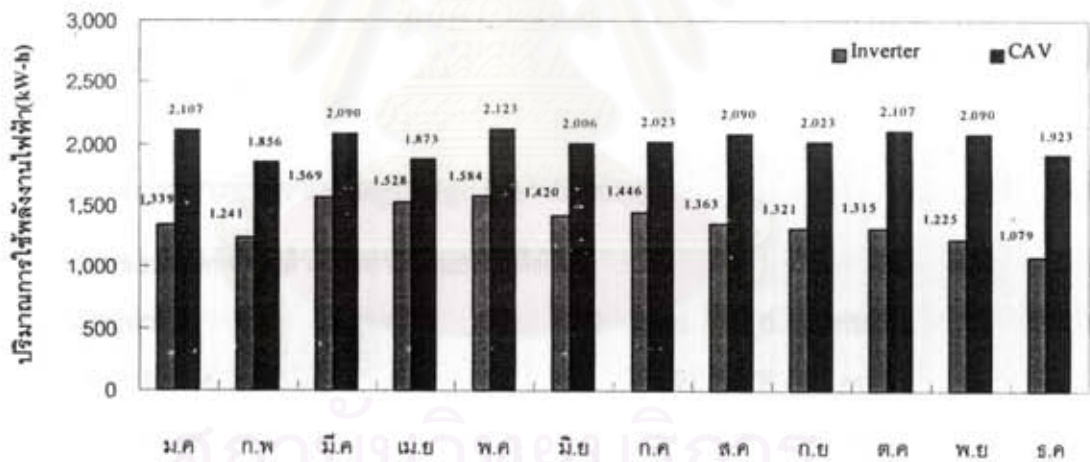
ในหัวข้อนี้เป็นการประมาณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศแปรผันของอาคารกรณีศึกษา สำหรับค่าการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น และเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้ระบบส่งจ่ายลมเย็นแบบปริมาตรอากาศคงที่ โดย Input file แสดงข้อมูลรายละเอียดของอาคาร, ระบบส่งจ่ายลมเย็น และกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาคผนวก ข. ในส่วนข้อมูลอากาศสำหรับการคำนวณค่าการทำความเย็นของระบบปรับอากาศเป็นข้อมูลอากาศรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานคร ในปี 2534

จากรูปที่ 4.10 ก แสดงผลการประมาณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในระยะเวลา 1 ปี จากโปรแกรม VAV-CAL สำหรับอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจริง แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือนของระบบ VAV แบบ IGV มีค่าน้อยกว่าระบบแบบ CAV โดยมีความแตกต่างน้อยที่สุดในเดือนเมษายน และค่าความแตกต่างมากที่สุดในเดือนธันวาคม . เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งปี พบว่าระบบ VAV แบบ IGV มีค่าน้อยกว่าระบบแบบ CAV โดยมีค่าเท่ากับ 18,006 kW-h และ 24,309 kW-h ตามลำดับ (ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ Peak load ของพัดลม สำหรับระบบ VAV และระบบ CAV เท่ากับ 7,454 W และ 8,360 W ตามลำดับ เนื่องจากการออกแบบขนาดของระบบส่งจ่ายลมเย็น สำหรับอาคารกรณีศึกษา ซึ่งได้จากการคำนวณค่าภาระความเย็นโดยโปรแกรม BLN-ESP1 ปริมาณลมเย็นส่งจ่ายสำหรับระบบ CAV จะสูงกว่า ระบบ VAV ประมาณ 2,300 cfm รายละเอียดดูในภาคผนวก จ.) และในส่วนของรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าระบบส่งจ่ายลมเย็นอยู่ในช่วงของการทำงานที่เกือบ Full load ตลอดเวลา คือประมาณ 64% ของชั่วโมงการทำงานตลอดปี เป็นผลทำให้ระบบ VAV แบบ IGV สามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงประมาณ 26 % เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบ CAV โดย 11% เป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการออกแบบขนาด และ 15 % เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงภาระความเย็นระหว่างวัน

และจากรูปที่ 4.10 ข แสดงผลการประมาณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในระยะเวลา 1 ปี สำหรับอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษา โดยจำลองการใช้ Inverter เป็น Flow modulator เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งปีจะมีค่าเท่ากับ 16,430 kW-h และจะลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงประมาณ 32 % เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบ CAV โดย 11% เป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการออกแบบขนาด และ 22 % เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของภาระความเย็นระหว่างวัน

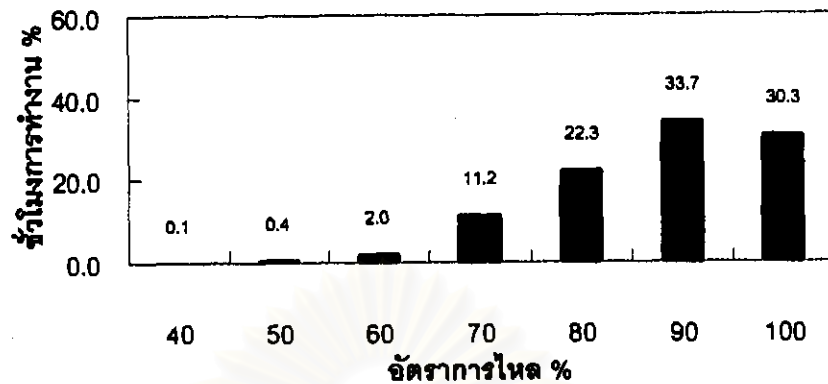


(n) Inlet Guide Vanes



(ข) Inverter

รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี



รูปที่ 4.11 แสดงอัตราการไหลของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี

#### 4.3.2 กรณีภาวะความเย็นต่าง ๆ กัน

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการประมาณค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 1 ปี กรณีการจำลองแบบค่าภาวะความเย็นต่าง ๆ กัน ในอาคารตัวอย่างขนาดพื้นที่ประมาณ 900 m<sup>2</sup> และมี Inlet Guide Vanes เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม โดยในการจำลองแบบได้แบ่งภาวะความเย็นออกเป็น 3 ระดับ เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อภาวะความเย็นเปลี่ยนแปลงดังนี้

##### 1) ภาวะการทำความเย็นสูง(High load density)

รายละเอียดข้อมูลสำหรับอาคารแสดงได้ดังนี้

ผู้อยู่อาศัย	150 คน	(6 m <sup>2</sup> /คน)
ไฟแสงสว่าง	7.2 kW	(8 W/ m <sup>2</sup> )
อุปกรณ์ไฟฟ้า	40.5 kW	(45 W/ m <sup>2</sup> )
อัตราการระบายอากาศ	3,000 CFM	(20 CFM/คน)
อุณหภูมิ Set-point	24 °C	
Window / wall ratio.	1	

รายละเอียดข้อมูลสำหรับระบบปรับอากาศแสดงได้ดังนี้

Maximum Capacity	60.8 TR.	(14.9 m <sup>2</sup> /TR)
Air Volume	20,000 CFM	

จากรูปที่ 4.12 ถึง 4.13 แสดงให้เห็นว่าที่ภาระการทำความเย็นสูง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีของระบบปริมาตรอากาศแปรผันแบบ IGV มีค่าเท่ากับ 25,434 kW-h และในส่วนของระบบปริมาตรอากาศคงที่มีค่าเท่ากับ 40,823 kW-h โดยประมาณ 40 % ของชั่วโมงการทำงานจะเป็นการทำงานที่ 70% Full load

## 2) ภาระทำความเย็นปานกลาง(Medium load density)

รายละเอียดข้อมูลสำหรับอาคารแสดงได้ดังนี้

ผู้อยู่อาศัย	90	คน	(10 m <sup>2</sup> /คน)
ไฟแสงสว่าง	7.2	kW	(8 W/m <sup>2</sup> )
อุปกรณ์ไฟฟ้า	22.5	kW	(25 W/m <sup>2</sup> )
อัตราการระบายอากาศ	1,350	CFM	(15 CFM/คน)
อุณหภูมิ Set-point	24	°C	
Window / wall ratio.	0.6		

รายละเอียดข้อมูลสำหรับระบบปรับอากาศแสดงได้ดังนี้

Maximum Capacity	44.5	TR.	(20.4 m <sup>2</sup> /TR)
Air Volume	15,000	CFM	

จากรูปที่ 4.14 ถึง 4.15 แสดงให้เห็นว่าที่ภาระการทำความเย็นปานกลาง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีของระบบปริมาตรอากาศแปรผันแบบ IGV มีค่าเท่ากับ 16,837 kW-h และในส่วนของระบบแบบ CAV มีค่าเท่ากับ 28,472 kW-h โดย 40 % ของชั่วโมงการทำงานจะเป็นการทำงานที่ประมาณ 60% Full load

## 3) ที่ภาระทำความเย็นต่ำ(Low density load)

รายละเอียดข้อมูลสำหรับอาคารแสดงได้ดังนี้

ผู้อยู่อาศัย	60	คน	(15 m <sup>2</sup> /คน)
ไฟแสงสว่าง	10.8	kW	(12 W/m <sup>2</sup> )
อุปกรณ์ไฟฟ้า	13.5	kW	(15 W/m <sup>2</sup> )
อัตราการระบายอากาศ	600	CFM	(10 CFM/คน)
อุณหภูมิ Set-point	24	°C	
Window / wall ratio.	0.3		



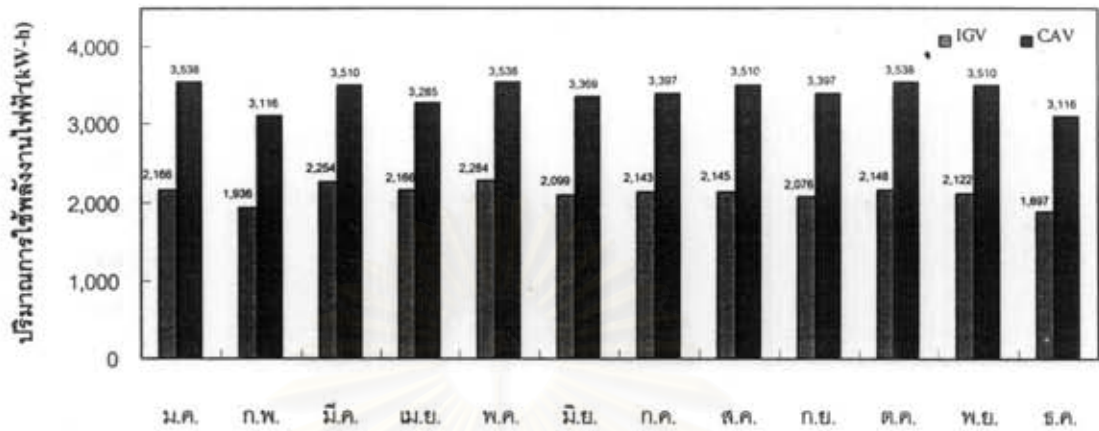
รายละเอียดข้อมูลสำหรับระบบปรับอากาศแสดงได้ดังนี้

Maximum Capacity	33.8 TR.	(26.9 m <sup>3</sup> /TR)
Air Volume	12,000 CFM	

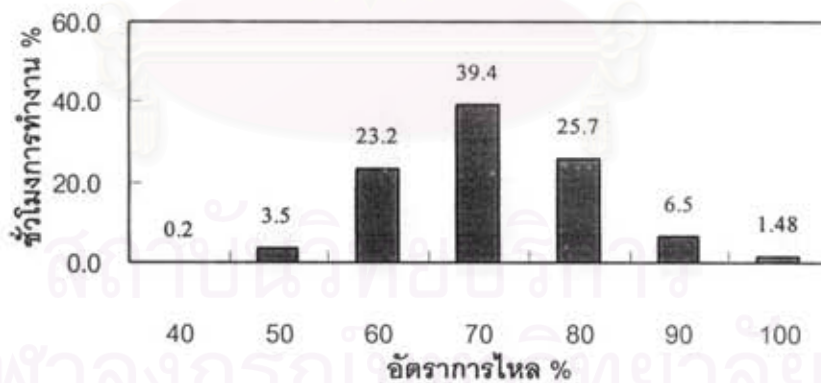
จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.17 แสดงให้เห็นว่าที่ภาระการทำความเย็นต่ำปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีของระบบปริมาตรอากาศแปรผันแบบ IGV มีค่าเท่ากับ 10,091 kW-h และในส่วนของระบบปริมาตรอากาศคงที่มีค่าเท่ากับ 17,300 kW-h โดย 46.7 % ของชั่วโมงทำงานจะเป็นการทำงานที่ประมาณ 60% Full load

เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ข้างต้น พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายลมเย็นลดลงตามภาระความเย็นของระบบ โดยระบบปริมาตรอากาศแปรผันแบบ IGV ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบบ CAV ประมาณ 37.7% , 40.9% และ 41.7% สำหรับการทำงานที่ภาระการทำความเย็นสูง, ปานกลางและต่ำ ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

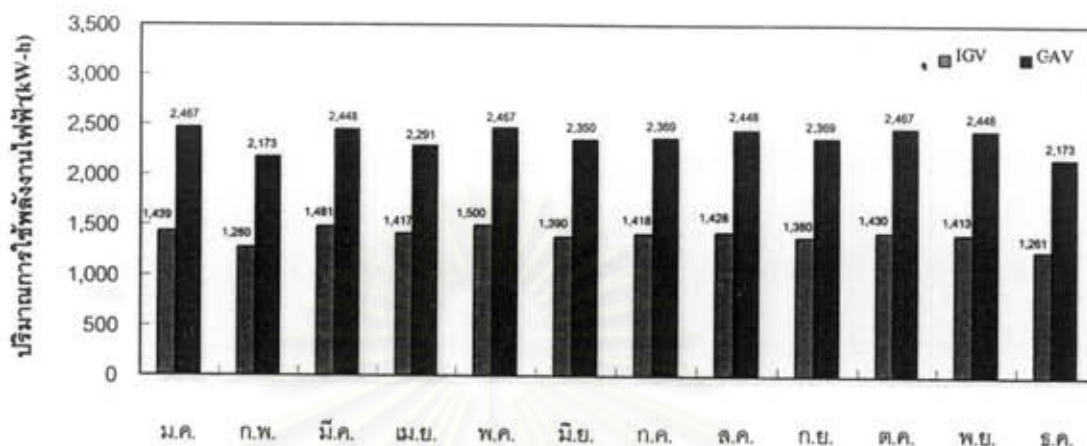


รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี กรณี High load density<sup>+</sup>

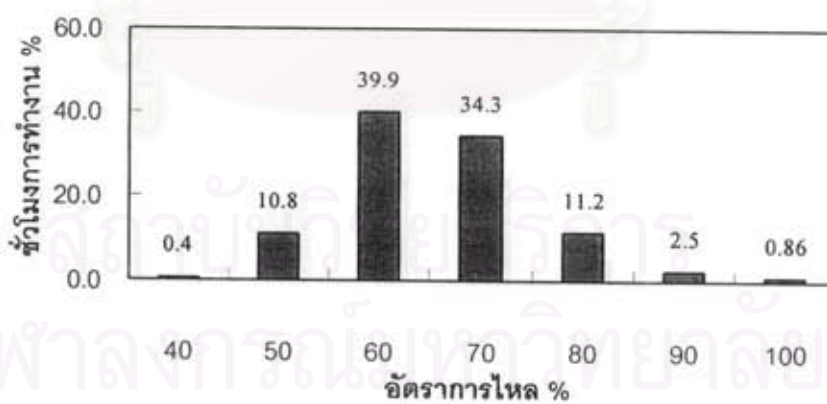


รูปที่ 4.13 แสดงอัตราการใช้โหลดของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี กรณี High load density

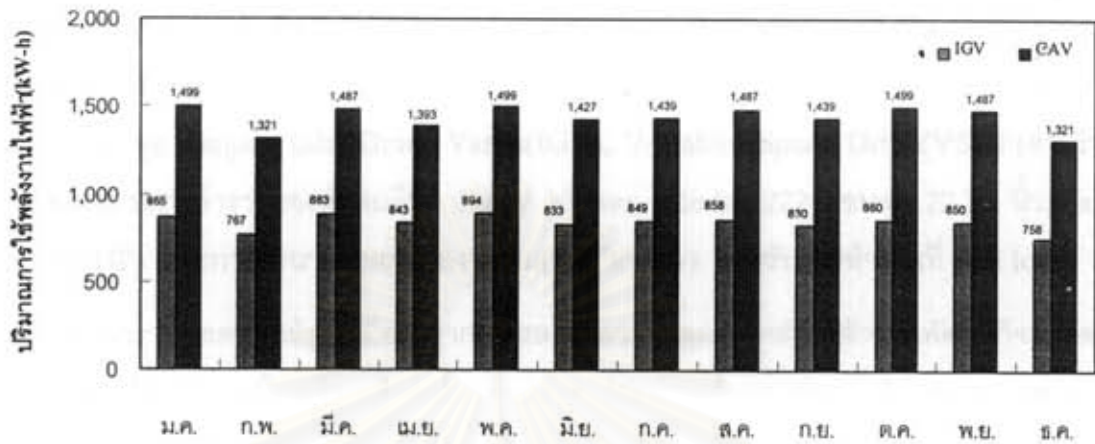
+ พิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมของระบบ CAV มากกว่า ระบบ IGV 20 % เมื่อทำงานที่ Peak load



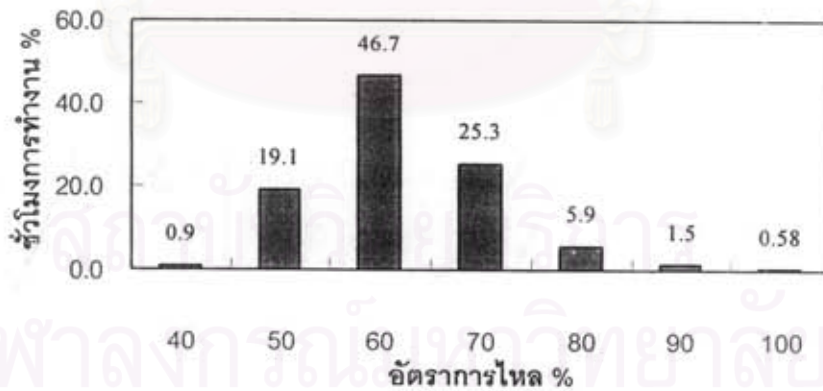
รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี  
กรณี Medium load density +



รูปที่ 4.15 แสดงอัตราการไหลของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี  
กรณี Medium load density



รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 1 ปี  
กรณี Low load density +

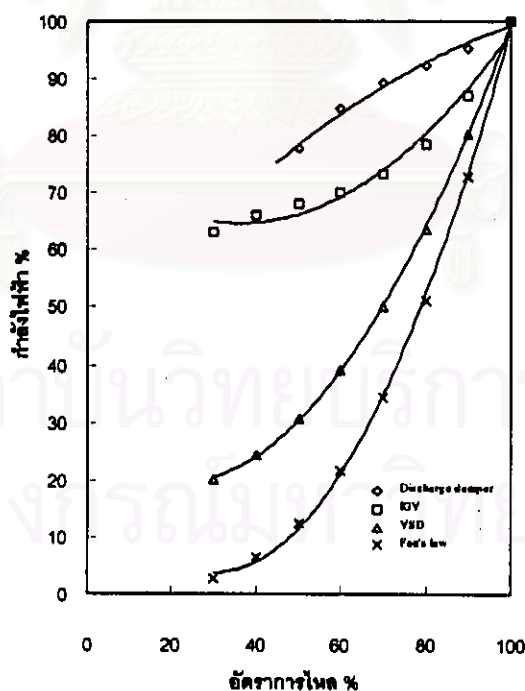


รูปที่ 4.17 แสดงอัตราการใช้โหลดของลมเย็นที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี  
กรณี Low load density

#### 4.4 ผลเปรียบเทียบศักยภาพการประหยัดพลังงานสำหรับระบบควบคุมแบบต่าง ๆ

กราฟรูปที่ 4.18 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์อัตราการไหลกับเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าของพัดลม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมอัตราการไหลของอากาศแบบ Discharge damper, Inlet Guide Vanes(IGV), Variable Speed Drive(VSD) (สำหรับการจำลองแบบการทำงานของพัดลมยี่ห้อ Barry blower, Model 222 ขนาด 22.25 นิ้ว, fan motor 15 HP) และการทำนายด้วยกฎของพัดลม(Fan's Law) สำหรับการดำเนินงานที่ Part load

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศลดลงกำลังไฟฟ้าของพัดลมก็จะลดลงตามอัตราการไหล โดยเมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟของ IGV, เส้นกราฟของ Discharge damper และเส้นกราฟของ VSD ซึ่งได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และเส้นกราฟตามกฎของพัดลม พบว่าประสิทธิภาพในการทำงานของ VSD สูงกว่า IGV และ Discharge damper ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาสถานะการทำงานที่ 70 % ของอัตราการไหล ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมจะเท่ากับ 89% , 73% และ 50% เมื่อใช้ Discharge damper, IGV และ VSD ตามลำดับ และเมื่อทำนายด้วยกฎของพัดลมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมจะเท่ากับ 34%



รูปที่ 4.18 กราฟแสดง Energy saving

#### 4.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการนำระบบปริมาตรอากาศแปรผันมาใช้ในอาคารสำนักงาน

นอกจากการพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีที่ลดลงแล้ว ขณะเดียวกัน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณา เนื่องจากการนำเอาระบบแบบ ปริมาตรอากาศแปรผันมาใช้นั้น จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมมากกว่าระบบแบบปริมาตรอากาศ คงที่ ทำให้มีการลงทุนในการติดตั้งระบบสูงกว่า ดังนั้นการนำระบบปริมาตรอากาศแปรผันมาใช้ แทนระบบแบบปริมาตรอากาศคงที่ซึ่งเป็นระบบแบบเดิมนั้น จำเป็นที่จะต้องคิดถึงความคุ้มค่าของการลงทุน โดยพิจารณาถึงระยะเวลาคืนทุน\* (Pay-back period) เป็นหลัก

จากผลการคำนวณค่าความคุ้มค่าในการนำระบบแบบปริมาตรอากาศแปรผันมาใช้สำหรับ สภาพะการทำงานที่เกิดขึ้นจริง พบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 346,100 บาท และค่าธรรมเนียมการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าลดลง เท่ากับ 17,018 บาท/ปี เมื่อเทียบกับระบบแบบ ปริมาตรอากาศคงที่ ดังนั้นในการนำระบบปริมาตรอากาศแปรผันมาใช้ของอาคารที่ใช้เป็นกรณี ศึกษา มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 20.3 ปี และกรณีการจำลองระบบส่งจ่ายลมเย็นโดยการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลมและอุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทางสามารถคำนวณหา ระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้ (รายละเอียดการคำนวณดูจากภาคผนวก จ.)

ระบบจำลองที่ 1 เป็นระบบซึ่งลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนของระบบลม โดยการใช้อุปกรณ์ ปรับปริมาตรอากาศปลายทางเป็นแบบ Pressure dependent ซึ่งมีระบบควบคุมแบบ Electronic ทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 16.4 ปี

ระบบจำลองที่ 2 เป็นระบบซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดการใช้พลังงานของพัดลม ของระบบส่งจ่ายลมเย็น โดยใช้ Inverter เป็นอุปกรณ์แปรเปลี่ยนปริมาณลม ทำให้มีระยะเวลาคืน ทุนเท่ากับ 17.6 ปี

\* การคำนวณระยะคืนทุนในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเฉพาะในส่วนของการปรับอากาศด้าน Air side เท่านั้น ไม่รวมถึงการ พิจารณาในด้าน Water side