บทที่ 3

การทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของการทดลองในการทำวิทยานิพนธ์ โดยสามารถกล่าวรายละเอียดแยกเป็นหัวข้อดังนี้

3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารและระบบปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษา

3.2 การตรวจวัดการใช้พลังงานในระบบส่งจ่ายลมเย็น

3.3 การตรวจสอบผลลัพธ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารและระบบปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษา

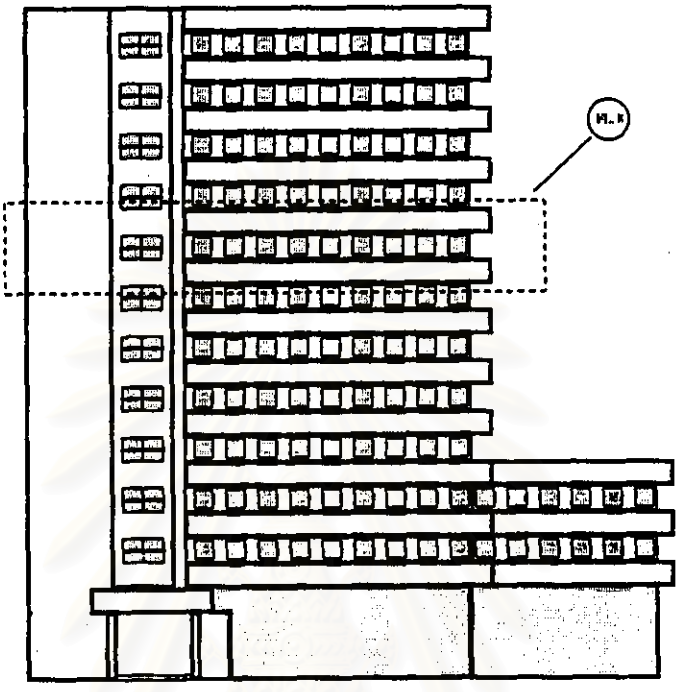
ที่ตั้ง ละติจูดที่ 13.7 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 100.5 องศาตะวันออก
ชนิดของอาคาร อาคารสำนักงาน จำนวนชั้น 12 ชั้น โดยพื้นที่ใช้สอย ระหว่างชั้น 1 ถึง ชั้น 3 มีพื้นที่ประมาณ 1200 ตารางเมตร และ ระหว่างชั้น 4 ถึง ชั้น 12 มีพื้นที่ประมาณ 1160 ตารางเมตร

สำหรับในการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ได้เลือกเอา ชั้นที่ 8 ของอาคาร เป็นตัวอย่างของการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแบบปริมาตรอากาศแปรผัน เนื่องจากเป็นชั้นที่เปิดโล่งไม่มีการกั้นห้องย่อยในพื้นที่และมีเครือข่ายของระบบควบคุมระบบปรับอากาศทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบการทำงาน สำหรับรายละเอียดจะแสดงดังต่อไปนี้

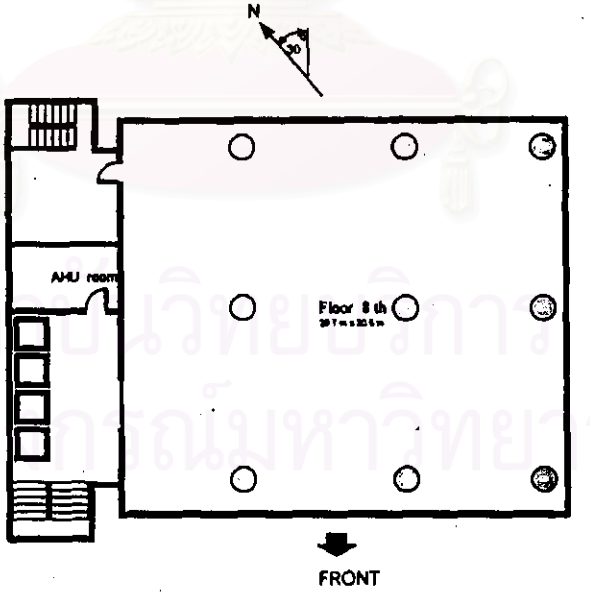
ข้อมูลอาคาร

พื้นที่ของการปรับอากาศ: 908.8 ตารางเมตร (ลักษณะของ Floor plan แสดงดังรูปที่ 3.1 ข)
ความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน: 2.95 เมตร จำนวนคน: 160 คน
พื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมด: 104 ตารางเมตร
พื้นที่กระจก: 162 ตารางเมตร คิดเป็น 60 %
ระบบแสงสว่าง: กำลังไฟฟ้า 3,456 วัตต์
อุปกรณ์ไฟฟ้า: กำลังไฟฟ้า 41,648 วัตต์

สำหรับรายละเอียดของวัสดุและความหนาของเปลือกอาคารแสดงดังในตารางที่ 3.1 และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุแสดงดังตารางที่ 3.2



(ก) อาคารตัวอย่าง



(ข) Floor Plan ของชั้นที่ 8

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของอาคารตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของวัสดุและความหนาของเปลือกอาคาร

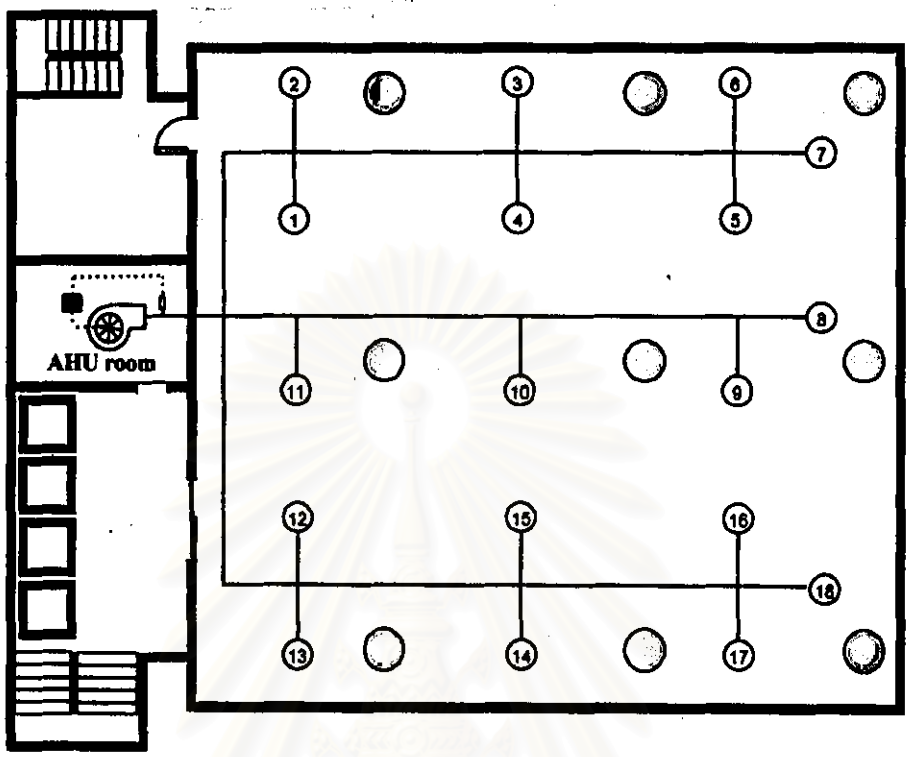
รายละเอียดส่วนของอาคาร	วัสดุก่อสร้าง
พื้น	คอนกรีตเสริมเหล็กหนา 20 เซนติเมตร ปูด้วยกระเบื้องยาง DYNOFLEX หนา 2.5 มิลลิเมตร
ผนังภายนอก	คอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 20 เซนติเมตร ทาสี
ฝ้าเพดาน	ยิบซั่มบอร์ด หนา 12 มิลลิเมตร (T-bar (Al))
หน้าต่าง	กระจก Safety glass สีชา หนา 10 มิลลิเมตร มีเฉลียงกันแดดตลอดแนวของกระจก (SC = 0.6)

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร

	K (W/m.K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg.K)	R (m^2.K/W)
Finish(Cement plaster)	0.415	1249	1.09	0.031
High-Density Concrete	1.731	2243	0.84	0.059
Window (safety glass)	0.92	-	-	-
rubber (Dynoflex)	0.2	-	-	-
Plaster or Gypsum	0.727	1602	0.84	0.026

ข้อมูลระบบปรับอากาศ

ระบบส่งจ่ายลมเย็นเป็นแบบ ระบบปริมาตรอากาศแปรผัน โดยใช้ Inlet Guide vanes เป็นอุปกรณ์ในการแปรเปลี่ยนปริมาณส่งจ่ายลมของพัดลม เครื่องจ่ายลมเย็นที่ใช้เป็นยี่ห้อ DUNHAM BUSH ซึ่งมีรายข้อมูลจำเพาะของเครื่องแสดงดังตารางที่ 3.3 , อุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง (VAV terminal) ที่ใช้เป็นแบบ Pressure independent type ยี่ห้อ Barber-colman จำนวน 18 ตัว และอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (VAV Controls) เป็นแบบ Direct Digital Control(DDC) โดยตำแหน่งที่ตั้งของระบบส่งจ่ายลมเย็น และ VAV terminals แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 ส่วนรายละเอียดของระบบท่อลมดูได้ในภาคผนวก ง.



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของระบบส่งจ่ายลมเย็น และ VAV terminals

ตารางที่ 3.3 รายข้อมูลจำเพาะของเครื่องจ่ายลมเย็น

	AHU-MODEL AHF-150
Air Volume	15,000 CFM
FLA	23 A
Fan motor	15 HP
Chilled water flowrate	98 GPM
Capacity	488,400 Btu/h

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

ตารางเวลา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ผู้อยู่อาศัย																								
วันทำงาน	0	0	0	0	0	0	0	60	100	100	100	100	40	80	100	100	100	20	0	0	0	0	0	0
วันเสาร์	0	0	0	0	0	0	0	0	30	50	50	50	20	30	50	50	10	0	0	0	0	0	0	0
วันหยุด	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ไฟแสงสว่าง																								
วันทำงาน	0	0	0	0	0	0	30	90	90	90	90	90	70	90	90	90	90	60	20	0	0	0	0	0
วันเสาร์	0	0	0	0	0	0	0	20	50	50	50	50	30	50	50	50	50	20	0	0	0	0	0	0
วันหยุด	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
อุปกรณ์ไฟฟ้า																								
วันทำงาน	0	0	0	0	0	0	0	60	80	80	80	80	40	80	80	80	60	20	0	0	0	0	0	0
วันเสาร์	0	0	0	0	0	0	0	0	20	40	40	40	20	40	40	40	10	0	0	0	0	0	0	0
วันหยุด	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น(ต่อ)

ตารางเวลา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
อากาศซึมผ่านผนัง																								
วันทำงาน	10	10	20	30	30	30	40	40	50	60	80	90	80	60	50	40	30	20	10	20	30	40	30	20
วันเสาร์	10	10	20	30	30	30	40	40	50	60	80	90	80	60	50	40	30	20	10	20	30	40	30	20
วันหยุด	10	10	20	30	30	30	40	40	50	60	80	90	80	60	50	40	30	20	10	20	30	40	30	20
ระบบปรับอากาศ																								
วันทำงาน	off	off	off	off	off	off	off	on	on	on	on	on	on	on	on	on	on	off	off	off	off	off	off	off
วันเสาร์	off	off	off	off	off	off	off	off	on	on	on	on	on	on	on	on	off	off	off	off	off	off	off	off
วันหยุด	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off	off
อุณหภูมิ Thermostat																								
วันทำงาน	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
วันเสาร์	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
วันหยุด	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น

ในการตรวจวัดระบบส่งจ่ายลมเย็น แบ่งการตรวจวัดออกเป็น 2 ส่วน คือการตรวจวัด เพื่อหาค่า Heat extraction rate[*] และ การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนการทำงานของพัดลมในระบบส่งจ่ายลมเย็น โดยบันทึกค่าที่ทำการตรวจวัดแบบรายชั่วโมง

สำหรับการหาค่า Heat extraction rate สามารถคำนวณได้จาก

Total heat extraction rate

Air side: คือ อัตรามวลไหลของอากาศ x ผลต่างของค่าเอนทัลปีระหว่างอากาศทางขาเข้าและอากาศทางขาออกจากเครื่องจ่ายลมเย็น

Water side: อัตรามวลไหลของน้ำเย็นผ่านคอยล์เย็น x ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำทางขาเข้าและน้ำทางขาออกจากคอยล์เย็น

Sensible heat extraction rate คือ อัตรามวลไหลของอากาศ x ค่าความจุความร้อนจำเพาะ x ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศขาเข้าและอากาศทางขาออกจากเครื่องจ่ายลมเย็น

ดังนั้นค่าที่ทำการตรวจวัดเพื่อหาค่า Heat extraction rate และการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนการทำงานของพัดลมสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 3.5 ต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[*] Heat extraction rate คือ ค่าอัตราความร้อนที่จะต้องนำออกไปจากห้องที่มีการปรับสภาวะอากาศ ค่าอัตราความร้อนดังกล่าวจะรวมถึงผลของคุณลักษณะของระบบควบคุม ซึ่งจะส่งผลให้มีการแกว่งของอุณหภูมิภายในห้อง

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงค่าที่ทำการตรวจวัด

ค่าที่ทำการตรวจวัด	อุปกรณ์ที่ใช้วัด
1. อุณหภูมิกระเปาะแห้งและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ - ก่อนเข้า Cooling coil - หลังออก Cooling coil - Room air	Temperature sensor และ Humidity transmitter
2. อัตราการไหลของลมเย็น	Airflow measuring station บน VAV terminal
3. อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกผ่านคอยล์เย็น	Thermocouple และ Digital thermometer
4. อัตราการไหลของน้ำเย็นผ่านคอยล์เย็น	เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic flow
5. การใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลม	เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analyzer)

รายละเอียดของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจวัด

1) Temperature sensor และ Humidity transmitter

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือยี่ห้อ Barber-Colman โดย Temperature sensor มีช่วงอุณหภูมิการใช้งานระหว่าง 0-70° C ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.2° C และ Humidity transmitter มีช่วงการใช้งานระหว่าง 20-95 %RH ค่าความคลาดเคลื่อน ± 2 %RH ในส่วนของการแสดงของค่าที่วัดจะทำได้โดยการใช้ Local Control Module(LCM) เป็นอุปกรณ์รับและแปลงสัญญาณท งไฟฟ้าให้เป็นค่าที่ทำการวัด แล้วแสดงผลทางหน้าจอแบบดิจิตอล ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ทันที สำหรับรูปร่างลักษณะของเครื่องมือจะแสดงดังรูปที่ 3.3

2) สถานีวัดอัตราการไหลอากาศ (Airflow measuring station)

จะใช้ Multi-point Velocity sensor เป็นอุปกรณ์ในการวัดค่าปริมาณการไหลของอากาศผ่านอุปกรณ์ปรับปริมาตรอากาศปลายทาง ยี่ห้อ Barber-Colman ซึ่งมีรูปร่างลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.4 ในส่วนของการแสดงผลจะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าผ่านระบบ Building Automation System แล้วแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

3) คู่ควบความร้อนและดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (Thermocouple and Digital thermometer)

เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำเย็นที่ไหลผ่านคอยล์เย็น โดยเครื่องมือที่ใช้เป็นยี่ห้อ FLUKE 51 มีช่วงอุณหภูมิการใช้งานระหว่าง 0-70° C ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.2° C มีรูปร่างลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.5

4) เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic flow

เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic flow คือเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของของเหลวภายในท่อ โดยการส่งคลื่น Ultrasonic ผ่านผิวท่อด้านหนึ่ง แล้วสะท้อนจากผิวทางอีกด้านหนึ่งมายังตัวรับสัญญาณ แล้วนำสัญญาณมาแปลงผลแสดงเป็นค่าอัตราการไหลภายในท่อ สำหรับเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องยี่ห้อ FUJI ELECTRIC รุ่น FL B20004N ซึ่งมีรูปร่างลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.6 และมีขีดความสามารถของการวัดอัตราการไหลดังแสดงในตารางที่ 3.5 ในส่วนของการแสดงผลของค่าที่วัดได้สามารถแสดงได้ 2 แบบ คือ การแสดงผลทางหน้าจอแบบดิจิตอล และแสดงผลทางกระดาษพิมพ์

5) เครื่องวิเคราะห์พลังงาน (Energy Analyzer)

เครื่องวิเคราะห์พลังงาน คือเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้ทั้ง ระบบไฟฟ้า 1 เฟส และ ระบบ 3 เฟส สำหรับค่าที่สามารถวัดได้ คือ ค่าแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage) , ค่ากระแสไฟฟ้า (Ampre) , ค่าความถี่ , ค่ากำลังไฟฟ้า (Power) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) เป็นต้น สำหรับเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องยี่ห้อ ELCONTROL รุ่น VIP SYSTEM 3 มีรูปร่างลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.7 และขีดความสามารถในการวัดของเครื่องแสดงได้ดังตารางที่ 3.6 การวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องมือนี้สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ทั้งแบบชั่วขณะใดขณะหนึ่ง หรือ ค่าเฉลี่ย , ค่าสูงสุด และค่าสะสมในช่วงเวลา

ตารางที่ 3.6 ขีดความสามารถของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic Flow

	ขีดความสามารถ
ของไหลที่ทำการวัด	ชนิด : น้ำ น้ำมัน น้ำทะเล สารละลาย อุณหภูมิ : -40 ถึง 100 °C อัตราการไหล : -16 m/sec ถึง 0 ถึง 16 m/sec ลักษณะการไหล : ของไหลไหลเต็มท่อและมีการไหลที่คงที่
ท่อที่ต้องการวัดอัตราการไหล	วัสดุ : เหล็กกล้า เหล็กหล่อ Stainless steel PVC ขนาด : เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ถึง 350 มิลลิเมตร (สำหรับ Sensor ขนาดเล็ก) เส้นผ่านศูนย์กลาง 200 ถึง 6000 มิลลิเมตร (สำหรับ Sensor ขนาดใหญ่) ตะกรัน : หินปูน Tar Epoxy ความยาวท่อ : 10 D หรือ มากกว่าสำหรับ UP stream 5 D หรือ มากกว่าสำหรับ DOWN stream
ค่าความคลาดเคลื่อน	± 1.5 %

ตารางที่ 3.7 ขีดความสามารถของเครื่องวิเคราะห์พลังงาน

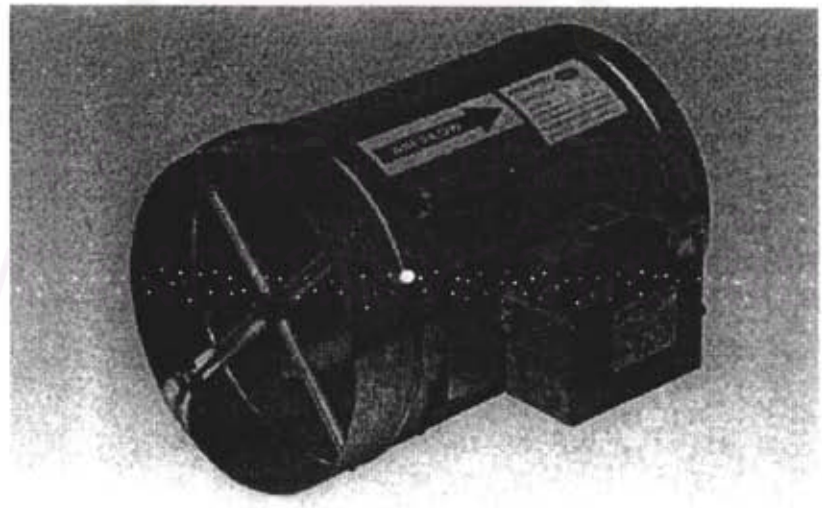
	ขีดความสามารถ	ความคลาดเคลื่อน
ค่ากระแสไฟฟ้า (Ampre)	0-1000 A	± 0.2 %
ค่าแรงดันทางไฟฟ้า (Voltage)	0-600 V (low voltage system)	± 0.2 %
การแสดงผล	- แสดงผลบนหน้าจอแบบดิจิตอล - ทางกระดาษพิมพ์ - ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์	

(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

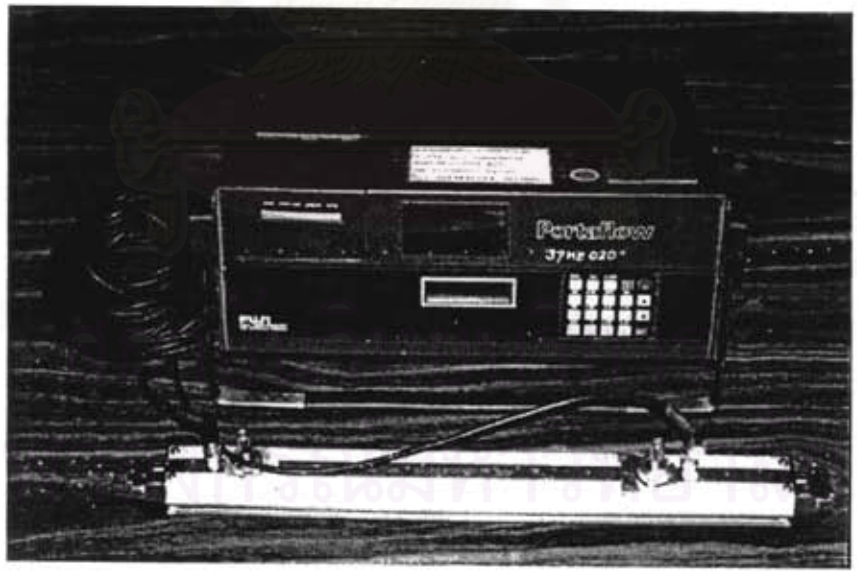
ก. Temperature sensor และ Humidity transmitter

ข. Local Control Module(LCM)



รูปที่ 3.4 สถานีวัดอัตราการไหลอากาศ

รูปที่ 3.5 คู่ควบความร้อนและดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Ultrasonic flow

รูปที่ 3.7 เครื่องวิเคราะห์พลังงาน

3.3 การตรวจสอบผลลัพธ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น

การตรวจสอบผลลัพธ์ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้น จะแบ่งหัวข้อการตรวจสอบออกเป็น 2 ส่วน ด้วยกันคือ

1. การตรวจสอบผลการคำนวณของโปรแกรม VAV-CAL ที่ประดิษฐ์ขึ้น

2. การตรวจสอบผลการปรับเทียบ Input File สำหรับโปรแกรม BLN-ESP1

สำหรับในการตรวจสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น จะเป็นการเปรียบเทียบ ผลการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดการใช้พลังงานในระบบส่งจ่ายลมเย็นในหัวข้อ 3.2 สำหรับการบันทึกค่าของการตรวจวัดการใช้พลังงานจริง ในระบบส่งจ่ายลมเย็นจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วง ฤดูฝน (วันที่ 22 - 25 กรกฎาคม 2540) และ ในช่วง ฤดูหนาว (วันที่ 20 - 23 มกราคม 2541)