

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

การออกแบบและสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง
มีข้อมูลและเครื่องมือต่างๆเพื่อนำมาใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

3.1 การออกแบบเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

3.1.1 ขั้นตอนของการออกแบบมีดังนี้

3.1.1.1 ตรวจสอบข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องดักจับฝุ่น

3.1.1.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษา Quick Basic

1.1 โดยใช้วิธีการคำนวณมาจาก ESDU 81038 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับวิธีคำนวณแบบ
จำลองการนำความร้อน (Conductance model) และวิธี $E-NTU$ จากนั้นเพิ่มในส่วนของ
การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกข้อมูลชุดที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นชุด
ของข้อมูลที่ให้ค่าประสิทธิภาพผลสูงสุด ณ ค่าพลังงานที่ถ่ายเทได้ต่อหน่วยราคามากที่สุด

3.1.1.3 นำตัวแปรต่าง ๆ มาคำนวณตามโปรแกรม ตามหัวข้อ 3.1.1.2
เพื่อหาชุดข้อมูลที่ดีที่สุด

3.1.1.4 นำเอาชุดของข้อมูลจากข้อ 3.1.1.3 มาออกแบบและสร้าง
อุปกรณ์ทดสอบดังในภาคผนวก ค และทำการจำลองสภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำ
การแปรเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อนและอากาศ อัตราการไหลของก๊าซร้อนและอากาศ
เพื่อตรวจสอบผลของข้อมูลต่างๆที่ได้

3.2 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องดักจับฝุ่น

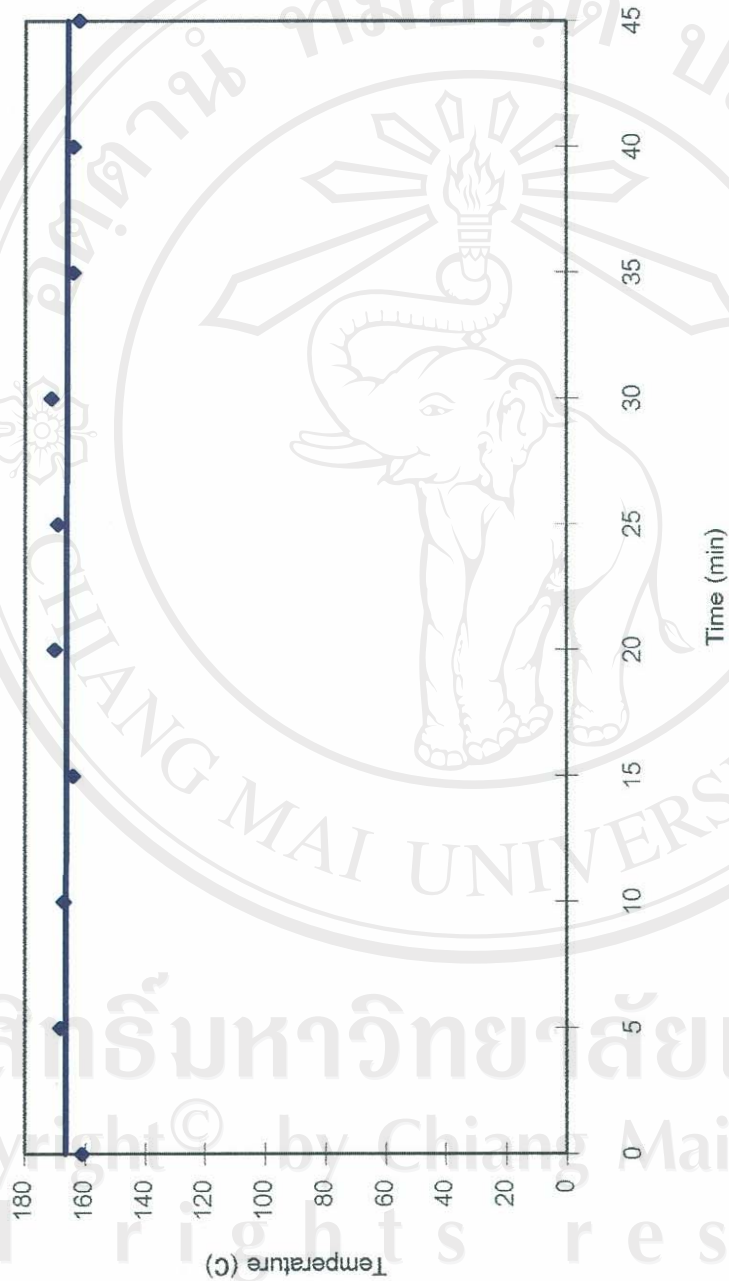
ในการออกแบบเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนครั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลของการ
ทดสอบสมรรถนะของเครื่องดักจับฝุ่นของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 12 (Mae Moh unit 12
electrostatic precipitator test result) จังหวัดลำปาง โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 12 เป็น
หน่วยหนึ่งจากจำนวนทั้งหมด 13 หน่วยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องดักจับฝุ่นของโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 12 ได้ทำการตรวจสอบในระหว่างวันที่ 21 - 23 กันยายน 2538 จากเวลา 9.00 น. ถึงเวลา 16.00 น. โดยได้ข้อมูลสำคัญที่นำมาออกแบบเครื่องอุณหอากาศแบบท่อความร้อน ดังนี้

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 12

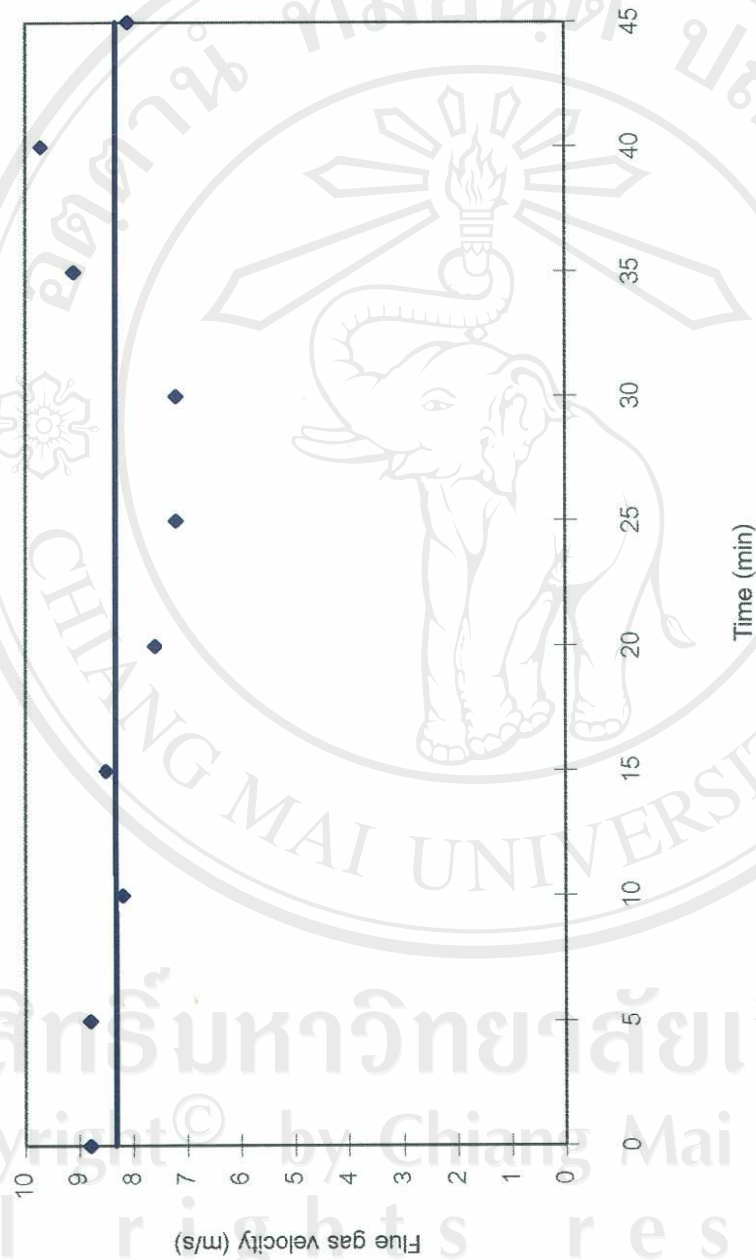
ขนาดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า	300	MW
อัตราการผลิตไอน้ำ	921.60	ton/hr
ความดันไอดัง	160	bar
อุณหภูมิของไอดัง	540	°C
อัตราการไหลของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องดักจับฝุ่น	190	m ³ /s
อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องดักจับฝุ่น	170	°C
อุณหภูมิของอากาศภายนอก	30	°C
ความเร็วของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องดักจับฝุ่น	8-9	m/s
ปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในก๊าซร้อน	8.5	%
ปริมาณของฝุ่นที่ผสมอยู่ในก๊าซร้อน	0.15	g/m ³

และถ้านำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซร้อนกับเวลา และความเร็วของก๊าซร้อนกับเวลา จะได้ดังรูป 3.1 และ 3.2



รูป 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซร้อนกับเวลา

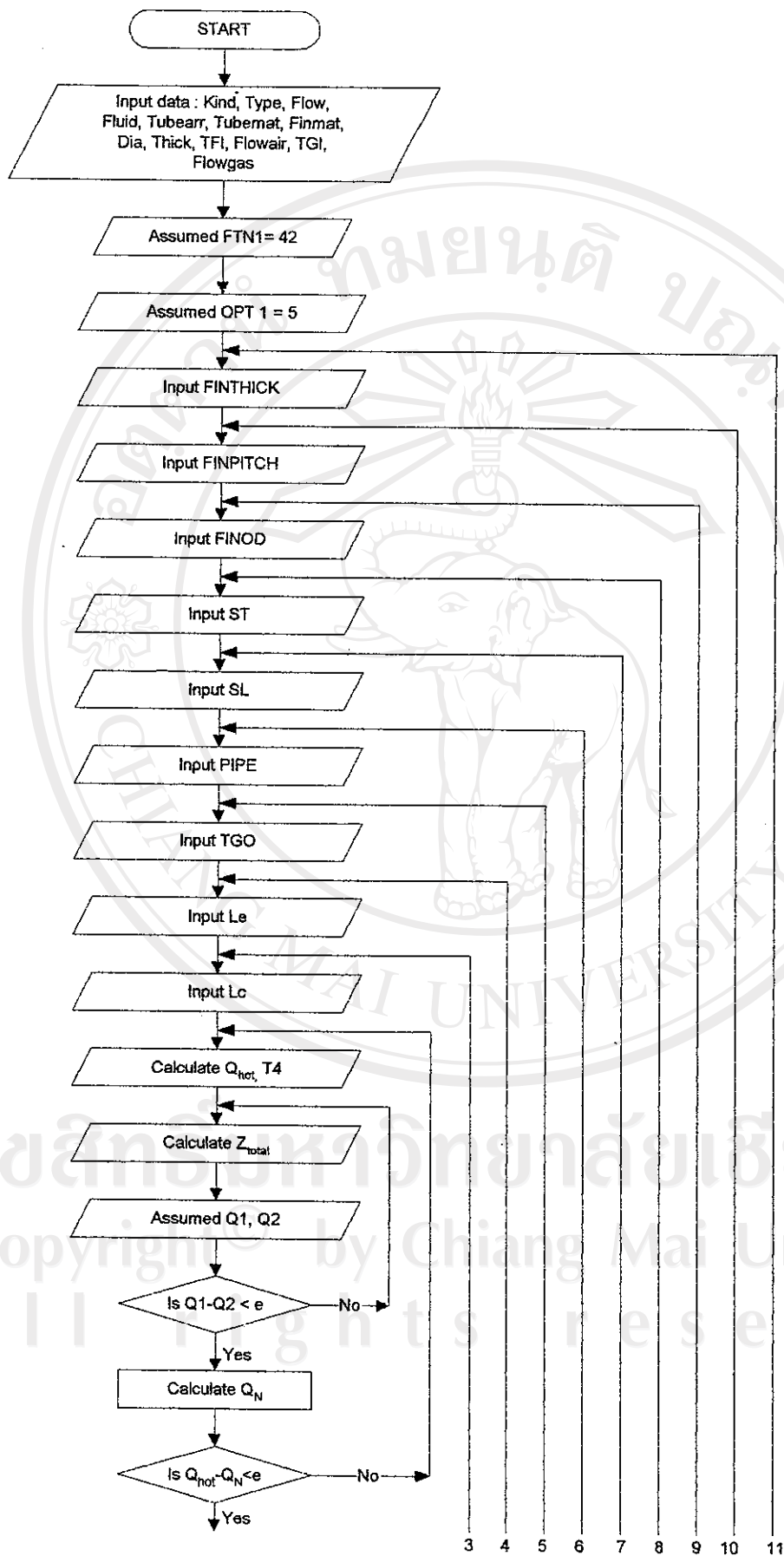
(วันที่ 21 -23 กันยายน 2538)



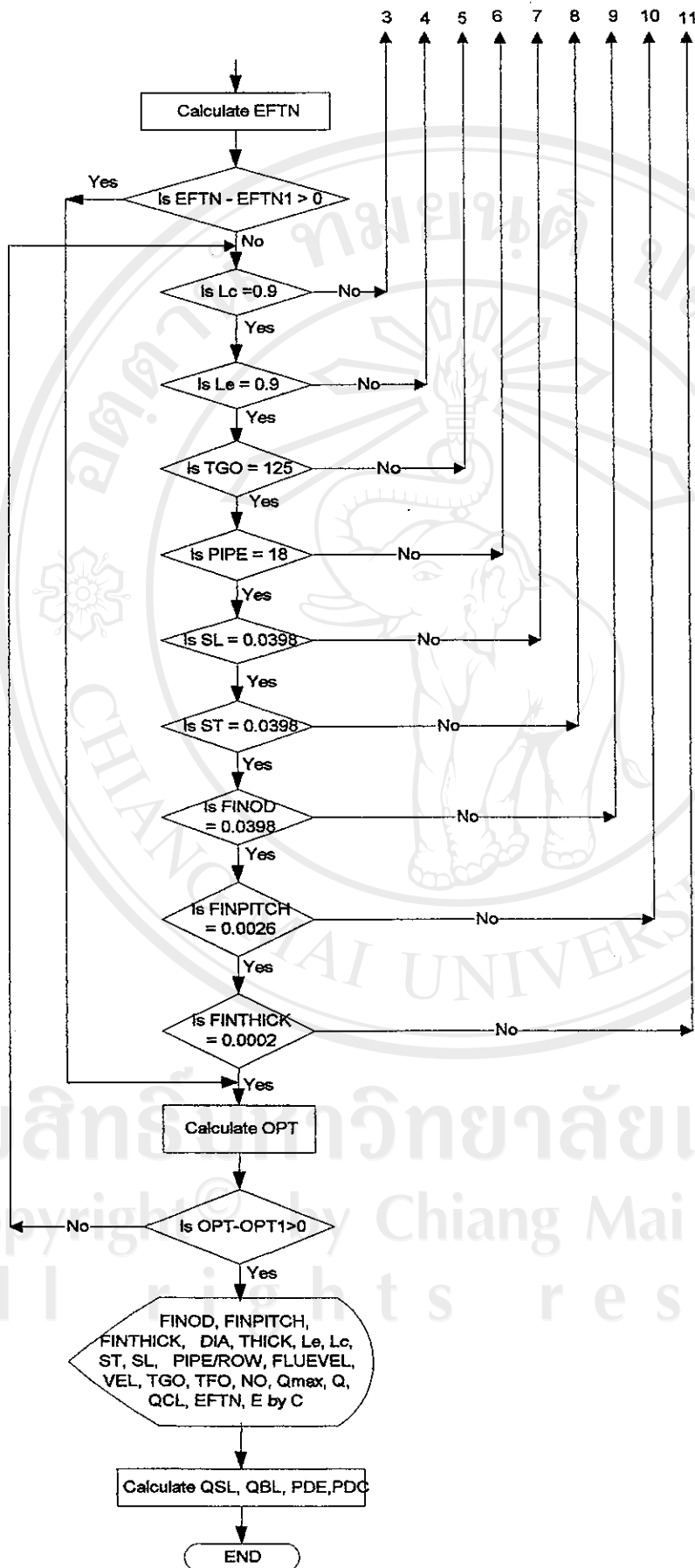
รูป 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของก๊าซร้อนกับเวลา
(วันที่ 21 - 23 กันยายน 2538)

3.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบ

เนื่องจากในการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาบางอย่างค่อนข้างยุ่งยาก ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นเพื่อทำให้การคำนวณสะดวกขึ้น โดยโปรแกรมนี้ใช้ภาษา Quick Basic 1.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนมาจากเอกสารอ้างอิง (17) ลักษณะของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถใช้ได้ทั้งท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอนแบบท่อเดี่ยว (Single tube) หรือ ท่อกลุ่ม (Tube bank) ท่อความร้อนจะเป็นทั้งแบบมีครีปและไม่มีครีป ทั้งยังใช้ได้กับเครื่องอุ่นอากาศหรือเครื่องอุ่นน้ำป้อน อีกทั้งการจัดเรียงตัวของท่อความร้อนอาจเป็นได้ทั้งแบบอยู่ในแนวเดียวกัน (In - line) หรือแบบเหลื่อม (Staggered) และทิศทางการไหลของของไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะเป็นแบบไหลตามกันหรือแบบไหลสวนทางกันก็ได้ รายละเอียดของโปรแกรมสามารถดูได้ในภาคผนวก ข



รูป 3.3 แสดง Flow chart ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์



จากการนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยรูปจำลองการนำความร้อน (Conductance model) และวิธีการวิเคราะห์โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ $E - NTU$ (จิวัฒน์, 2529) ซึ่งผลที่ได้ทั้ง 3 วิธี มีค่าใกล้เคียงกันมาก ตามตาราง 3.1

ตาราง 3.1 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับวิธีการวิเคราะห์แบบ Conductance model และ $E - NTU$

ตัวแปร วิธีการ	$T_{h, in}$ °C	$T_{h, out}$ °C	$T_{c, in}$ °C	$T_{c, out}$ °C	Q_{hot} W	Q_{hp} W	no.of hp.	E	Z_{total} KW
1. Conductance model	185	142.3	25	85	67467	1223.8	55.13	0.375	0.09012
2. $E - NTU$	185	142.3	25	85	67467	1223.8	56.19	0.375	0.09012
3. Program computer	185	142.3	25	85	67470.7	1356.6	49.7	0.375	0.07993

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าเพื่อหาชุดของข้อมูลที่ดีที่สุด ซึ่งทำการเลือกจากชุดของข้อมูลที่ให้ค่าประสิทธิภาพและค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อหน่วยราคาที่สูงที่สุด ข้อมูลที่ทำการปรับเปลี่ยนจะเป็นไปตามตาราง 3.2

ตาราง 3.2 แสดงข้อมูลที่ทำให้การปรับเปลี่ยนค่า

ชื่อข้อมูล	ค่าต่ำสุดที่เลือกใช้	ค่าสูงสุดที่เลือกใช้	ลำดับขั้นการเปลี่ยนแปลง (ครั้งละ)
ความหนาของครีป	0.18 มิลลิเมตร	0.2 มิลลิเมตร	0.2 มิลลิเมตร
จำนวนครีปต่อความยาว ท่อความร้อน 1 นิ้ว	10	12	2
เส้นผ่านศูนย์กลางของครีป (เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ)	2	2.5	0.5
ระยะห่างระหว่างท่อตามแนวขวาง (เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ)	2	2.5	0.5
ระยะห่างระหว่างท่อตามแนวยาว (เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ)	2	2.5	0.5
ท่อทองแดงชนิด L	½ นิ้ว	1 นิ้ว	¼ นิ้ว
จำนวนท่อต่อแถว	10	18	2
อุณหภูมิขาออกของก๊าซร้อน	110 °C	125 °C	5 °C
ความยาวของส่วนทำระเหย	0.4 เมตร	0.9 เมตร	0.1 เมตร
ความยาวของส่วนควบแน่น	0.4 เมตร	0.9 เมตร	0.1 เมตร

ชุดของข้อมูลที่กำหนดค่าให้

อัตราการไหลของก๊าซร้อนขาเข้า	5400	m ³ /hr.
อัตราการไหลของอากาศขาเข้า	2700	m ³ /hr.
อุณหภูมิขาเข้าของก๊าซร้อน	170	°C
อุณหภูมิขาเข้าของอากาศ	30	°C
วัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อน	ทองแดงชนิด L	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ	6.35, 12.7 และ 25.4	มิลลิเมตร
ครีปอะลูมิเนียมทั้งส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น		
จำนวนแถว	8	แถว
การจัดวางท่อความร้อนเหมือนกัน		

ของไหลทำงานในท่อความร้อนเป็นน้ำกลั่นบริสุทธิ์

ปริมาณการเติมของไหล

50

เปอร์เซ็นต์

ไม่มีการเคลือบที่ผิวท่อเพื่อป้องกันการกัดกร่อน

ราคาของชุดท่อความร้อนขึ้นอยู่กับชนิด จำนวน ความยาว และขนาดของท่อ

รวมไปถึงขนาดและความหนาของกล่องบรรจุท่อ

รูปแบบการไหลเป็นแบบการไหลสวนทางกัน (Counter current flow)

3.4 เงื่อนไขในการเลือกชุดข้อมูลที่ดีที่สุด

การเลือกชุดข้อมูลที่ดีที่สุดเพื่อนำไปสร้างเป็นเครื่องอุ่นอากาศนั้นมีขั้นตอนอยู่ 2 ขั้นตอนดังนี้

3.4.1 โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทำการเปรียบเทียบชุดข้อมูลที่ให้ค่าประสิทธิภาพผลสูงที่สุดที่ค่าพลังงานต่อหน่วยราคาที่สูงที่สุดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครีป และจำนวนครีปต่อหนึ่งนิ้ว ดังตาราง 3.3 แสดงชุดข้อมูลที่ดีที่สุดของแต่ละการจำลองสภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครีป และจำนวนครีปต่อหนึ่งนิ้ว ต่างๆกัน พบว่า ชุดข้อมูลที่ให้ค่าประสิทธิภาพ และค่าพลังงานต่อหน่วยราคาที่สูงมีอยู่ 3 ชุด คือ

ก. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 0.0159 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครีป 0.0318 เมตร จำนวน 12 ครีปต่อหนึ่ง ให้ค่าประสิทธิภาพ 59.39 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานต่อราคา 3.94 วัตต์ต่อบาท

ข. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 0.0222 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครีป 0.0555 เมตร จำนวน 12 ครีปต่อหนึ่ง ให้ค่าประสิทธิภาพ 59.39 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานต่อราคา 3.75 วัตต์ต่อบาท

ค. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ 0.0286 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครีป 0.0715 เมตร จำนวน 12 ครีปต่อหนึ่ง ให้ค่าประสิทธิภาพ 42.86 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานต่อราคา 1.91 วัตต์ต่อบาท

ตาราง 3.3 แสดงชุดข้อมูลที่ดีที่สุดของแต่ละการจำลองสภาพ

ที่	OD	Thick	FINOD	no of fin	Le	Lc	St	Sl	no of pipe	Th,out	Tc,out	Qhp	Eff.	E by C
3.4.1 ก.	0.0159	1.02E-03	0.0318	12	0.4	0.4	0.0318	0.0318	77	110	113.1	1094.4	0.5939	3.94
3.4.1 ข.	0.0222	1.14E-03	0.0555	12	0.4	0.4	0.0555	0.0555	29	110	113.1	1616.9	0.5939	3.75
3.4.1 ค.	0.0286	1.27E-03	0.0715	12	0.4	0.4	0.0715	0.0715	43	110	113.1	1935.4	0.4286	1.91

3.4.2 โดยการตัดสินใจของผู้ออกแบบ

จากข้อมูลที่ได้ในข้อ 3.4.1 จะพบว่า ข้อมูลที่ 3.4.1 ก. ให้ค่าประสิทธิภาพ และค่าพลังงานต่อหน่วยราคาสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกมาเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างเครื่อง อุ่นอากาศแบบท่อความร้อนจำลอง

โปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบเครื่อง อุ่นอากาศแบบท่อความร้อน ได้จัดทำ ให้อยู่ในรูปของภาษา Quick basic (HPAP. BAS) และบรรจุอยู่ในแผ่นดิสก์เก็ต (Diskette) ที่แนบมากับวิทยานิพนธ์เล่มนี้

3.5 ชุดของข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเครื่อง อุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

การออกแบบเครื่อง อุ่นอากาศแบบท่อความร้อน ทำได้โดยใช้ชุดของข้อมูลที่ให้ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ภายหลังจากที่ได้จำลองสภาพ มีดังนี้

วัสดุที่ใช้ทำท่อความร้อนทองแดงชนิด L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0159 เมตร

ครีบอลูมิเนียมเต็มทั้งส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น

ของไหลทำงานในท่อความร้อนเป็นน้ำกลั่นบริสุทธิ์

ความยาวของส่วนทำระเหย	0.5	เมตร
-----------------------	-----	------

ความยาวของส่วนควบแน่น	0.5	เมตร
-----------------------	-----	------

ระยะห่างระหว่างท่อตามแนวขวาง	0.0318	เมตร
------------------------------	--------	------

ระยะห่างระหว่างท่อตามแนวยาว	0.0318	เมตร
-----------------------------	--------	------

จำนวนท่อต่อแถว	10	ท่อ
----------------	----	-----

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของครีบอลูมิเนียม	0.0318	เมตร
--	--------	------

ความหนาของครีบอลูมิเนียม	0.00018	เมตร
--------------------------	---------	------

จำนวนครีบอลูมิเนียมต่อความยาวท่อ 1 นิ้ว	12	ครีบอลูมิเนียม
---	----	----------------

และได้ค่าต่างๆจากการคำนวณ ดังนี้

จำนวนท่อความร้อน	76	ท่อ
------------------	----	-----

ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อ 1 ท่อความร้อน	965.6	วัตต์
--	-------	-------

ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้สำหรับเครื่อง อุ่นอากาศ	73,381.2	วัตต์
--	----------	-------

ประสิทธิภาพของเครื่อง อุ่นอากาศ	0.6029	
---------------------------------	--------	--

ค่าพลังงานที่ถ่ายเทได้ต่อราคาการลงทุน	4.05	วัตต์ต่อบาท
---------------------------------------	------	-------------

อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่อง อุ่นอากาศ	109.1	°C
---	-------	----

อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอุ่นอากาศ	114.4	°C
ค่าความดันตกคร่อมส่วนระเหย	0.121	psi
ค่าความดันตกคร่อมส่วนควบแน่น	0.057	psi

Haung et al. (21) พบว่า ได้อัตราส่วนของอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนระหว่างก๊าซร้อนและอากาศเท่ากับ 0.74 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่คำนวณได้จากชุดของข้อมูล คือ 0.88

เมื่อนำเอาชุดข้อมูลดังกล่าวมาดำเนินการเพื่อสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน แต่เนื่องจากประสบปัญหาทางด้านการผลิต ทั้งจากการทำครีบและการเจาะแผ่นกันเพื่อทำการจัดวางท่อ ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยนขนาดบางส่วน เพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถทำได้เช่น ปรับระยะห่างระหว่างท่อตามแนวยาวจาก 0.0318 เมตร เป็น 0.0275 เมตร และเปลี่ยนรูปแบบของครีบจากแบบ Annular fin เป็นแบบแผ่น L - footed fin plate (รายละเอียดของชุดทดสอบจำลอง สามารถดูได้จากภาคผนวก ค) ทำให้ได้ค่าจากการคำนวณใหม่ดังนี้

ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้ต่อ 1 ท่อความร้อน	946.9	W
ค่าความร้อนที่ถ่ายเทได้สำหรับเครื่องอุ่นอากาศ	71,963.8	W
ประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศ	0.5913	
ค่าพลังงานที่ถ่ายเทได้ต่อราคาการลงทุน	4.0	W/Baht
อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากเครื่องอุ่นอากาศ	110.3	°C
อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอุ่นอากาศ	112.8	°C
ค่าความดันตกคร่อมส่วนระเหย	0.131	psi
ค่าความดันตกคร่อมส่วนควบแน่น	0.062	psi

3.6 แบบสำหรับสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

แบบที่ใช้สำหรับสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนจำลอง ประกอบด้วยแบบโครงสร้างทั่วไป (General arrangement drawing) และแบบรายละเอียด (Details drawing) มิติของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนจำลอง กว้าง 1.0 เมตร ยาว 8.195 เมตร สูง 1.68 เมตร รายละเอียดของแบบที่ใช้จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.7 การสร้างเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

3.7.1 เครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

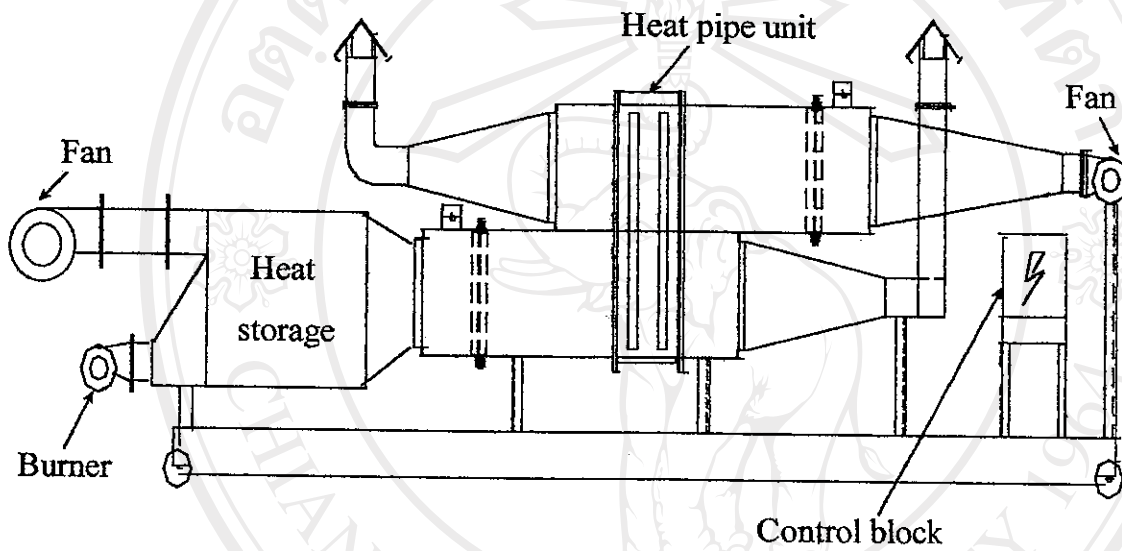
ลักษณะของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน ประกอบด้วยท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.0159 เมตร จำนวน 76 ท่อ วางเรียงกันแบบเหลื่อม ที่ชุดท่อมีครีบอลูมิเนียม ติดตั้งอยู่ทั้งด้านส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น จำนวน 12 ครีบท่อนี้ว ระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น มีแผ่นเหล็กคั่นกลางหนา 5 มิลลิเมตร ดังรูป 3.4



รูป 3.4 แสดงรูปเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

3.7.2 ชุดทดสอบเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

ชุดทดสอบเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อนจะประกอบไปด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน คือ ชุดก๊าซร้อน ชุดท่อความร้อน และชุดอากาศ ดังรูป 3.5



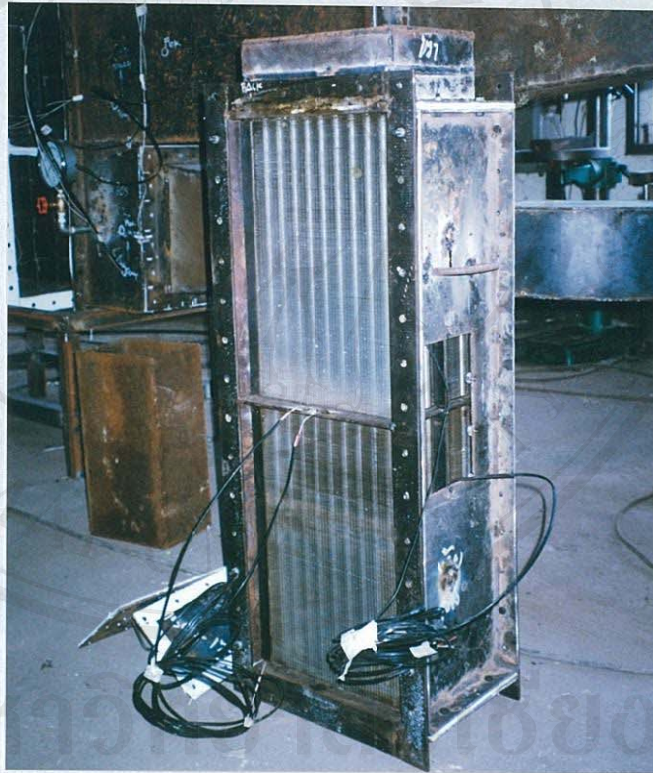
รูป 3.5 แสดงรูปแบบของชุดทดสอบจำลอง

3.7.2.1 ชุดก๊าซร้อน ประกอบไปด้วยเครื่องพ่นไฟแบบใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง (Bloen gas burner) ยี่ห้อ บัลเทอร์ (Balter) รุ่น BGN 9 H ให้พลังงานสูงสุด 99.0 กิโลวัตต์ เป็นตัวให้พลังงานความร้อน พัฒลมหอยโข่ง ชนิด Backward curve fan รุ่น BCF-3B ให้อัตราการไหลของของไหลสูงสุด 7800 m³/hr. ห้องเผาไหม้กว้างขนาด 1000 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และสูง 1000 มิลลิเมตร ภายในบุด้วยอิฐทนไฟ (Refractory brick) ขนาด 125 x 255 x 65 มิลลิเมตร จำนวน 250 ก้อน แล้วฉาบด้วยคอนกรีตทนไฟ (Castable) ทุกๆด้านเพื่อใช้กักเก็บความร้อนและช่วยป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนเปลี่ยนแปลงมากเกินไปเนื่องจากการสูญเสียความร้อนจากห้องเผาไหม้ ส่วนภายนอกของห้องเผาไหม้และท่อก๊าซร้อนขนาด 330 x 500 มิลลิเมตร จะหุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว (Glass wool) ความหนาแน่น 48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หนา 2 นิ้ว แล้วหุ้มปิดโดยรอบนอกด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminium sheet) หนา 0.8 มิลลิเมตร แผ่นบังคับการไหล (Flow controlled plate) และท่อระบาย ขนาด 100 มิลลิเมตร ดังรูป 3.6



รูป 3.6 แสดงชุดก๊าซร้อน

3.7.2.2 ชุดท่อความร้อนประกอบด้วย ท่อความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงชนิด L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0159 เมตร จำนวน 76 ท่อ แบ่งเป็น 8 แถวๆละ 10 ท่อ สารทำงานภายในท่อเป็นน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ปริมาณการเติม 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ท่อมีครีบอลูมิเนียมแบบแผ่น L- footed fin plate ทั้งส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น การจัดวางท่อเป็นแบบเหลี่ยม มีแผ่นเหล็กกั้นระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นออกจากกันทำจากแผ่นเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร ส่วนเปลือกนอกทำจากแผ่นเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร ภายนอกทั้งหมดหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วแล้วหุ้มปิดรอบนอกด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminium sheet) หนา 0.8 มิลลิเมตรดังรูป 3.7



รูป 3.7 แสดงชุดท่อความร้อน

การทดสอบอุณหภูมิของท่อความร้อน

ท่อความร้อนทุกๆท่อในชุดท่อความร้อน (Heat pipe unit) ได้ถูกทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของท่อความร้อนที่ปลายด้านส่วนควบแน่น โดยนำชุดท่อความร้อน ด้านส่วนระเหยทั้งหมดจุ่มลงในอ่างน้ำร้อน 90°C ที่ปลายด้านส่วนควบแน่นได้ทำการติดตั้ง สายเทอร์โมคัปเปิล เพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวของท่อความร้อนในแต่ละท่อ ทำการต่อสาย เทอร์โมคัปเปิล เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลขนาด 10 ช่องสัญญาณ (Data logger) ดังรูป 3.8 เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทุกๆ 1 นาที รายละเอียดของผลการทดสอบสามารถดูได้ใน ภาคผนวก จ



รูป 3.8 แสดงการต่อสายวัดอุณหภูมิของท่อความร้อน

3.7.2.3 ชุดอากาศประกอบไปด้วยพัดลมหอยโข่งชนิด Backward fan รุ่น BCF-2 ให้อัตราการไหลสูงสุด $3600 \text{ m}^3/\text{hr}$. ท่ออากาศขนาด 330×500 มิลลิเมตร ภายนอกหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วแล้วหุ้มปิดรอบนอกด้วยแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminium sheet) ขนาด 0.8 มิลลิเมตร แผ่นบังคับการไหลและท่อระบายขนาด 100 มิลลิ เมตร ดังรูป 3.9



รูป 3.9 แสดงชุดอากาศ

3.7.3 ชุดควบคุมการทำงานทางไฟฟ้า

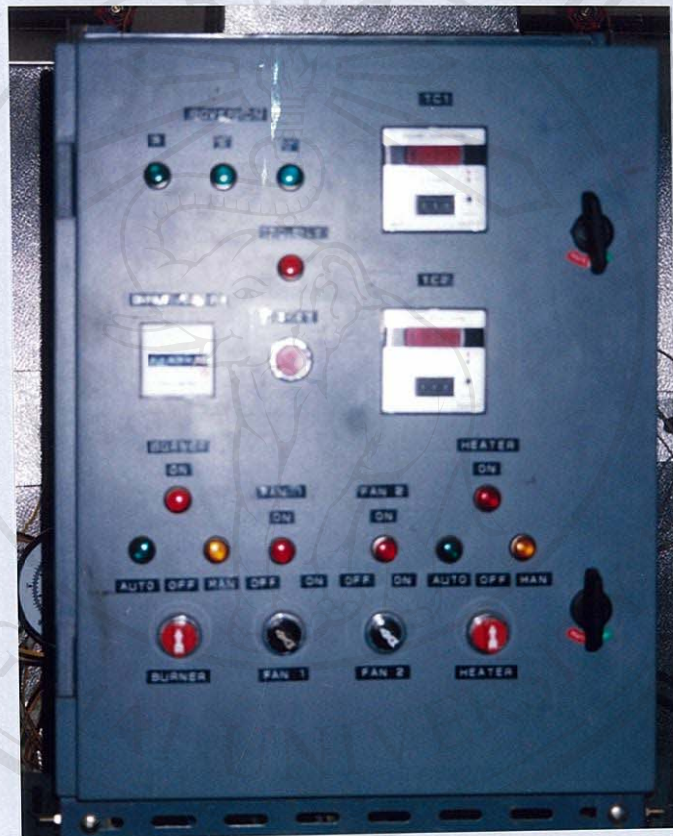
ในการทดสอบเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน ได้ทำการจัดทำตู้ไฟฟ้าจำนวน 1 ชุด โดยภายในประกอบไปด้วยชุดควบคุมทางไฟฟ้า จำนวน 2 ชุด

3.7.3.1 ชุดควบคุมทางไฟฟ้าชุดที่ 1 ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DD-7 ใช้กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด RTD มีช่วงการวัดอุณหภูมิ $0-399^{\circ}\text{C}$ เพื่อใช้ควบคุมและแสดงอุณหภูมิของก๊าซร้อนขาเข้า โดยวัดที่กึ่งกลางท่อก๊าซร้อนขาเข้า สวิตช์ควบคุมการทำงานของเครื่องพ่นไฟ สวิตช์ปิด-เปิดพัดลม และเครื่องนับจำนวนชั่วโมงการทำงาน (Running hour meter) ดังรูป 3.10



รูป 3.10 แสดงชุดควบคุมทางไฟฟ้า 1

3.7.3.2 ชุดควบคุมทางไฟฟ้าชุดที่ 2 ประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิยี่ห้อ DIGICON รุ่น DD-7 ใช้กับเทอร์โมคัปเปิลชนิด RTD มีช่วงการวัดอุณหภูมิ 0-399°C เพื่อใช้ควบคุมและแสดงอุณหภูมิของอากาศขาเข้า โดยวัดที่กิ่งกลางท่ออากาศขาเข้า และสวิตช์ปิด-เปิดพัดลม ดังรูป 3.11



รูป 3.11 แสดงชุดควบคุมทางไฟฟ้า 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

๗

621.4

เลขทะเบียน.....เลขหมู่ ๖๒๑.๔
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

3.7.4 เชื้อเพลิง

ในการทดสอบครั้งนี้ ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้จำนวน 3 ถังต่อเข้ากันด้วยท่อเหล็กอานสึงกะสีและมีวาล์วปิด-เปิด แยกในแต่ละชุด และมีวาล์วควบคุมความดัน (Regulating pressure valve) เพื่อรักษาความดันของก๊าซในขณะที่ทำงาน ดังรูป 3.12



รูป 3.12 แสดงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

3.7.5 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.7.5.1 เครื่องบรรจุสารทำงาน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ประกอบไปด้วย บั๊มสุญญากาศ เกจความดัน หลอดแก้วพร้อมตัวเลขบอกปริมาตร ข้อต่อ และท่อสเตนเลส วาล์วและถังน้ำกลั่นบริสุทธิ์ ดังรูป 3.13



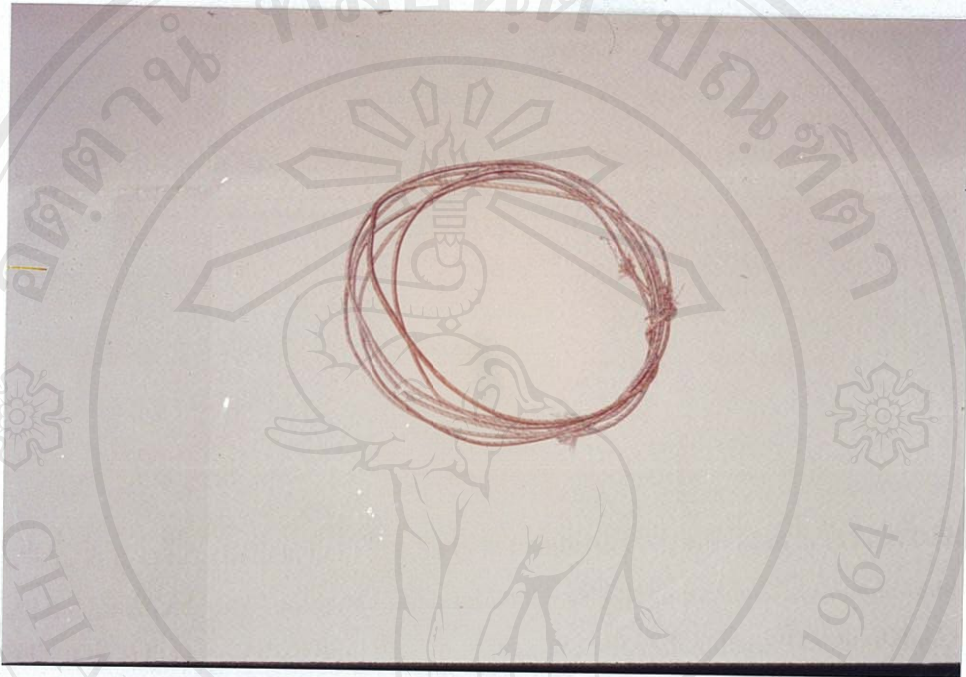
รูป 3.13 แสดงลักษณะของเครื่องบรรจุสารทำงาน

3.7.5.2 เครื่องบันทึกข้อมูลขนาด 6 ช่องสัญญาณ ยี่ห้อ TrendView รุ่น Minitrend เป็นเครื่องแสดงค่าของข้อมูลและบันทึกข้อมูล ชนิดไม่ใช้กระดาษในการบันทึก (Paperless chart recorders) ดังรูป 3.14

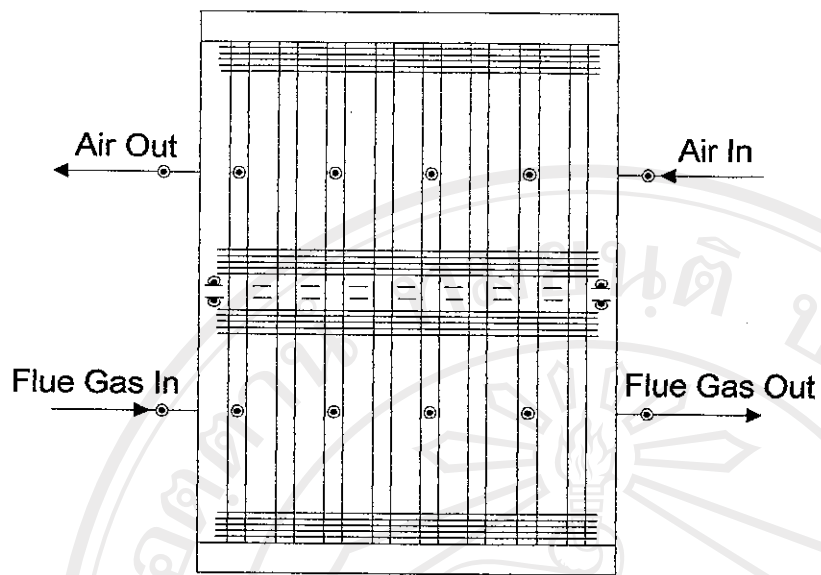
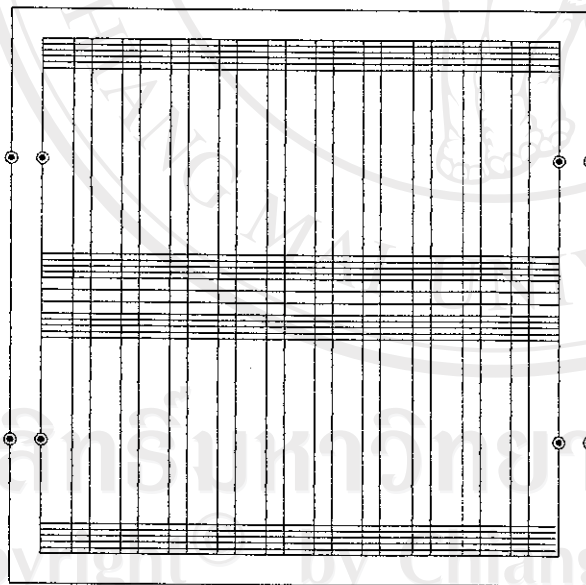


รูป 3.14 แสดงลักษณะของเครื่องบันทึกข้อมูลขนาด 6 ช่องสัญญาณ

3.7.5.3 สายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ยี่ห้อ Omega type K ลักษณะ
ดังรูป 3.15 ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล เพื่อวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ โดยมีตำแหน่งติดตั้ง
สายเทอร์โมคัปเปิล ดังรูป 3.16



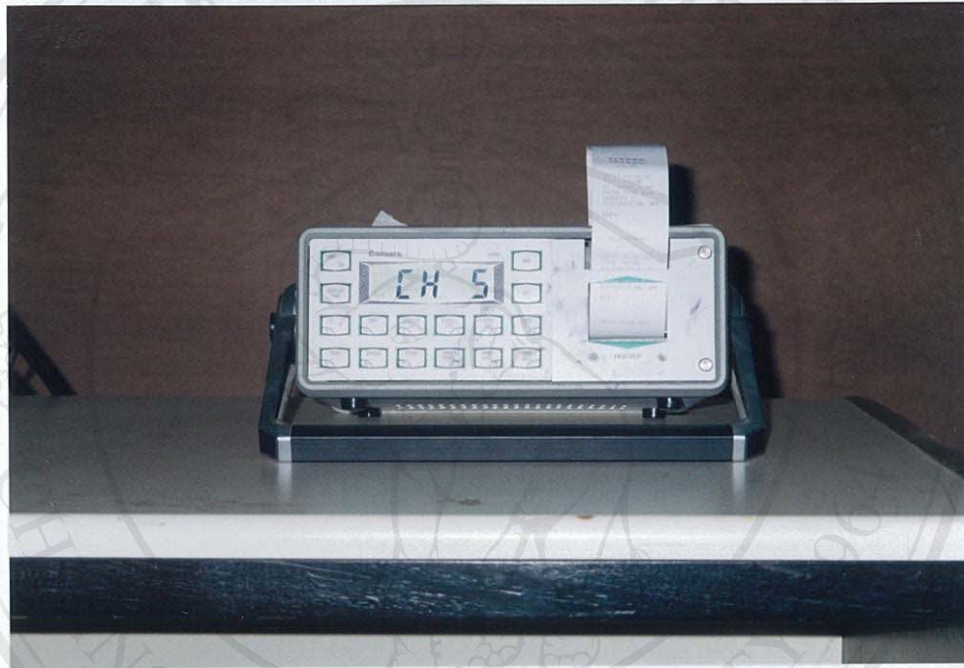
รูป 3.15 แสดงลักษณะของสายเทอร์โมคัปเปิล

**RIGHT SIDE VIEW****FRONT VIEW**

● Thermocouple point

รูป 3.16 แสดงตำแหน่งติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลของเครื่องอุ่นอากาศแบบท่อความร้อน

3.7.5.4 เครื่องบันทึกข้อมูลขนาด 10 ช่องสัญญาณ ยี่ห้อ Comark รุ่น C 8510 มีช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 3000°C ความแม่นยำ ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ดังรูป 3.17



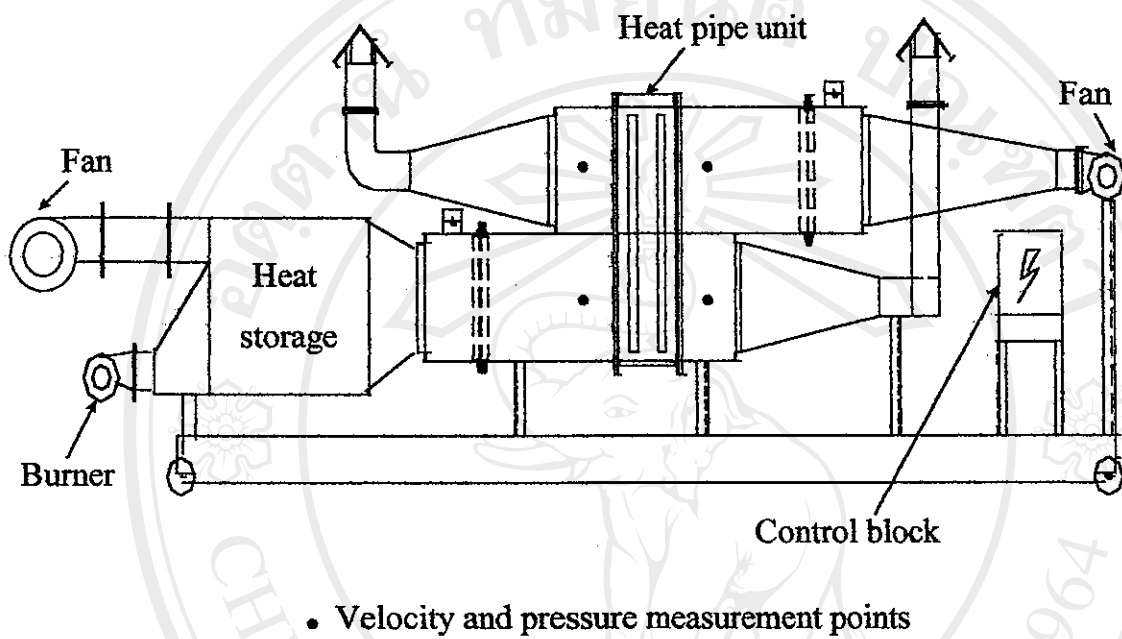
รูป 3.17 แสดงลักษณะของเครื่องบันทึกข้อมูลขนาด 10 ช่องสัญญาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.7.5.5 เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ไอเสีย (Flue gas analyzer measurement) ยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 454 ใช้เป็นเครื่องสำหรับวัดความเร็ว มีช่วงการวัดตั้งแต่ 1.0 ถึง 30 เมตรต่อวินาที และใช้เป็นเครื่องวัดความดันที่ตกคร่อม โดยมีช่วงการวัดระหว่าง 0 ถึง 20 มิลลิบาร์ ความแม่นยำ ± 0.1 มิลลิบาร์ ดังรูป 3.18 โดยมีจุดวัดความเร็วและความดัน ดังรูป 3.19



รูป 3.18 แสดงลักษณะของเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ไอเสีย



รูป 3.19 แสดงจุดวัดความเร็วและความดันของเครื่องอุณหอากาศแบบท่อความร้อน

3.7.5.6 เครื่องคอมพิวเตอร์ Intel Celeron Processor 300 A MHz ใช้
สำหรับบันทึกข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จำลองสภาพ
และวิเคราะห์ข้อมูล ดังรูป 3.20

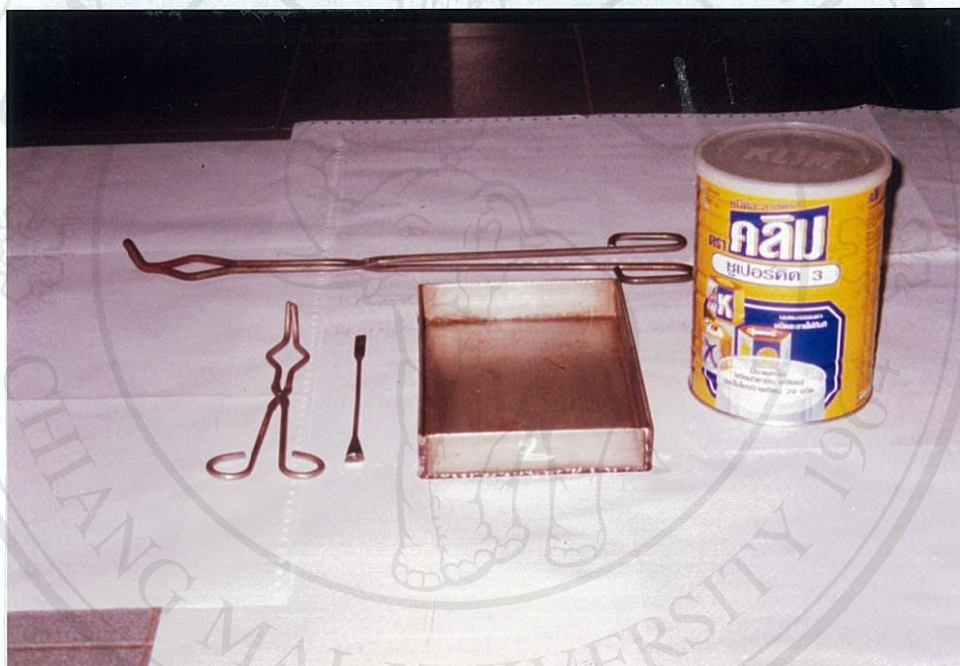


รูป 3.20 แสดงลักษณะของเครื่องคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.7.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาปริมาณความชื้นในยิปซัม

3.7.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและอบแห้งยิปซัม ประกอบด้วย กระจกที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างยิปซัม ที่มีฝาปิดมิดชิด ถาดสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 150 x 250 x 25 มิลลิเมตร คีมเหล็ก และช้อนตัก ดังรูป 3.21



รูป 3.21 แสดงลักษณะของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและอบแห้งยิปซัม

3.7.6.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อMettler type PE-11 ใช้สำหรับชั่งน้ำหนัก
ยิปซัมและทดสอบเตนเลส ก่อนเข้าและออกจากตู้อบไฟฟ้า ดังรูป 3.22



รูป 3.22 แสดงลักษณะของเครื่องชั่งน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.7.6.3 ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert type: UM 400 เป็นตู้อบแห้งที่ใช้หลัก
การพาความร้อน สามารถอบแห้งโดยการตั้งเวลาหรือตั้งอุณหภูมิ มีช่วงวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 30
ถึง 220 °C ดังรูป 3.23



รูป 3.23 แสดงลักษณะตู้อบไฟฟ้า