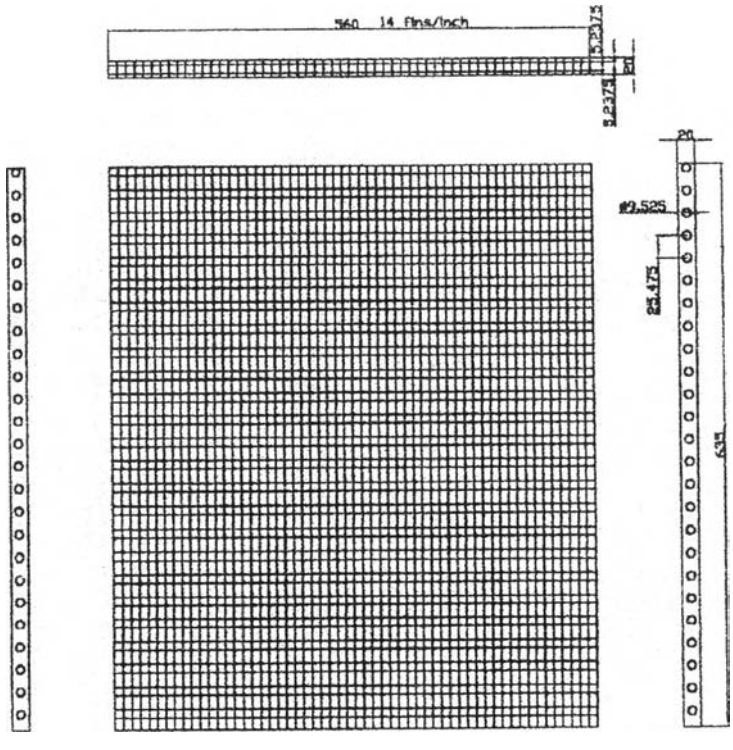
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

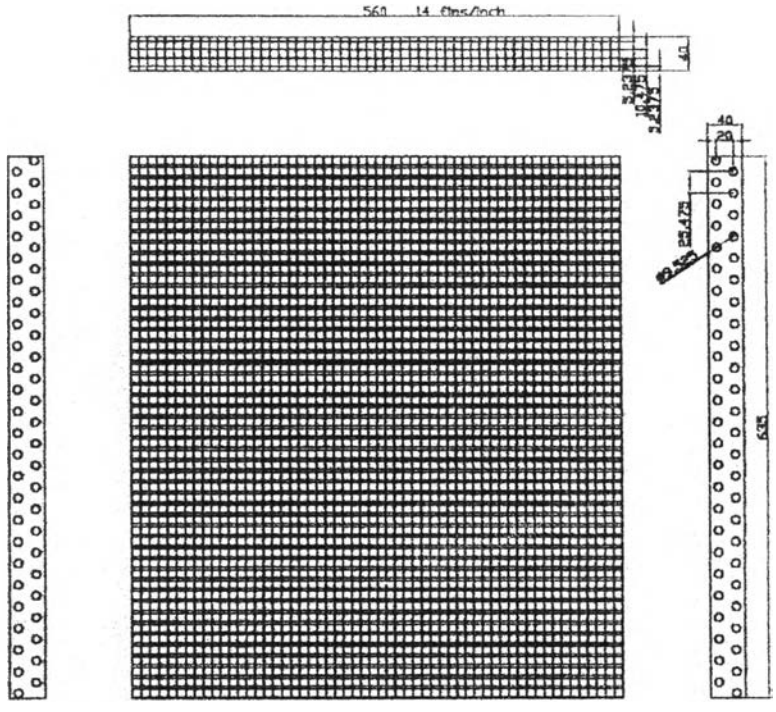
3.1 การออกแบบฮีทไปป์

การออกแบบฮีทไปป์สำหรับการวิจัยนี้เป็นการออกแบบ โดยกำหนดให้คอยล์ที่จะนำมาสร้างเป็นฮีทไปป์นั้นจะต้องมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศที่จะติดตั้งร่วมกันในการทดลอง คือ ความยาวและความสูงของฮีทไปป์เท่ากับ 0.635 เมตร และ 0.5334 เมตร เพื่อให้สามารถเข้ากันพอดี ส่วนคอยล์ที่ใช้นั้นเป็นคอยล์แบบท่อกลม และครีบชนิดแผ่นเรียบต่อเนื่อง (Circular tube-continuous plate fin) ท่อในคอยล์เป็นท่อทองแดงชนิดผิวในเรียบ ครีบของคอยล์เป็นอลูมิเนียมมีความหนาเท่ากันคือ 0.15 มม. และมีระยะครีบเท่ากันคือ 14 ครีบต่อนิ้ว โดยการจัดเรียงภายในคอยล์ จะมีการจัดเรียงแบบเหลื่อมกัน (Staggered alignment)

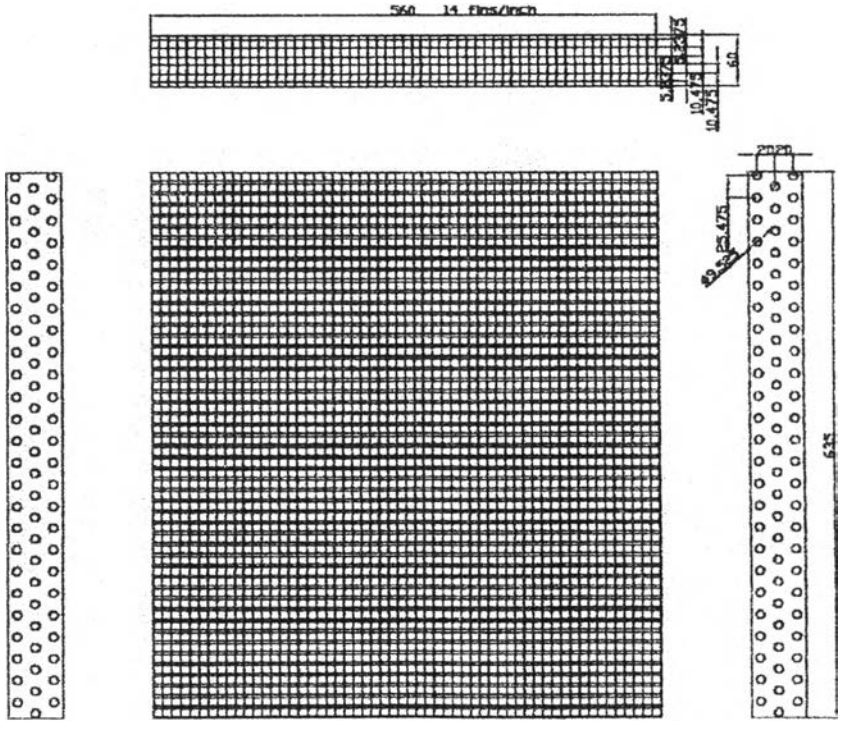
ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้ ได้เลือกรูปแบบของคอยล์ที่จะนำมาสร้างฮีทไปป์รวมทั้งสิ้น 4 รูปแบบ คือ คอยล์แบบ 1, 2, 3 และ 4 แถว อย่างละ 2 ชุด นำมาสร้างฮีทไปป์แบบ 12, 24, 36 และ 48 ลูปตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบว่าฮีทไปป์รูปแบบใด ทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาด 4 ตันความเย็นได้ประสิทธิภาพดีที่สุด และเหมาะสมที่สุด ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะแสดงในรูป.



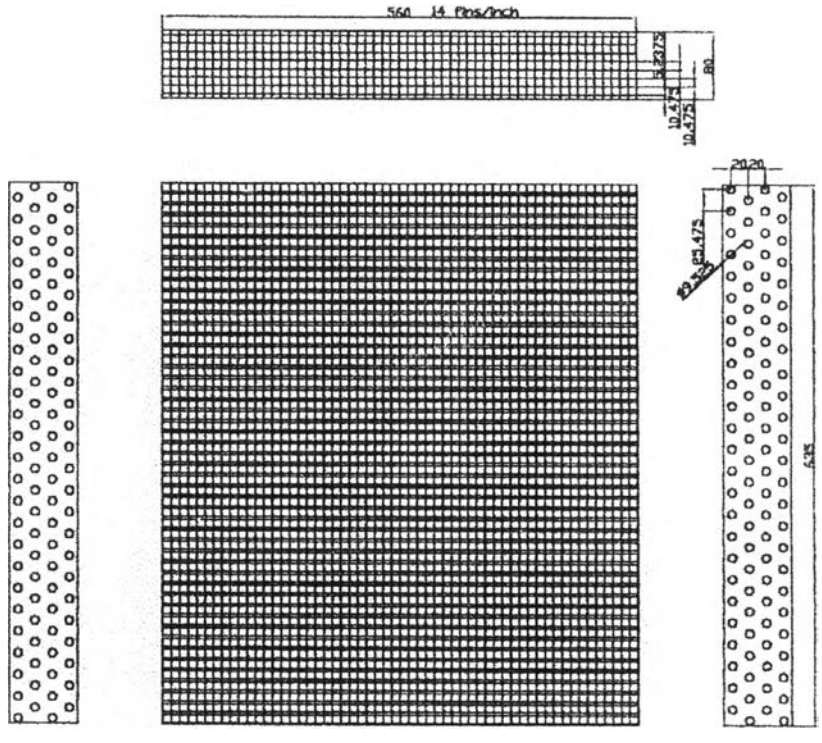
รูปที่ 3-1 แสดงคอยล์แบบ 1 แถวที่จะนำมาสร้างฮีทไปป์



รูปที่ 3-2 แสดงคอยล์แบบ 2 แถวที่จะนำมาสร้างฮีทไปป์



รูปที่ 3-3 แสดงคอยล์แบบ 3 แถวที่จะนำมาสร้างฮีทไปป์

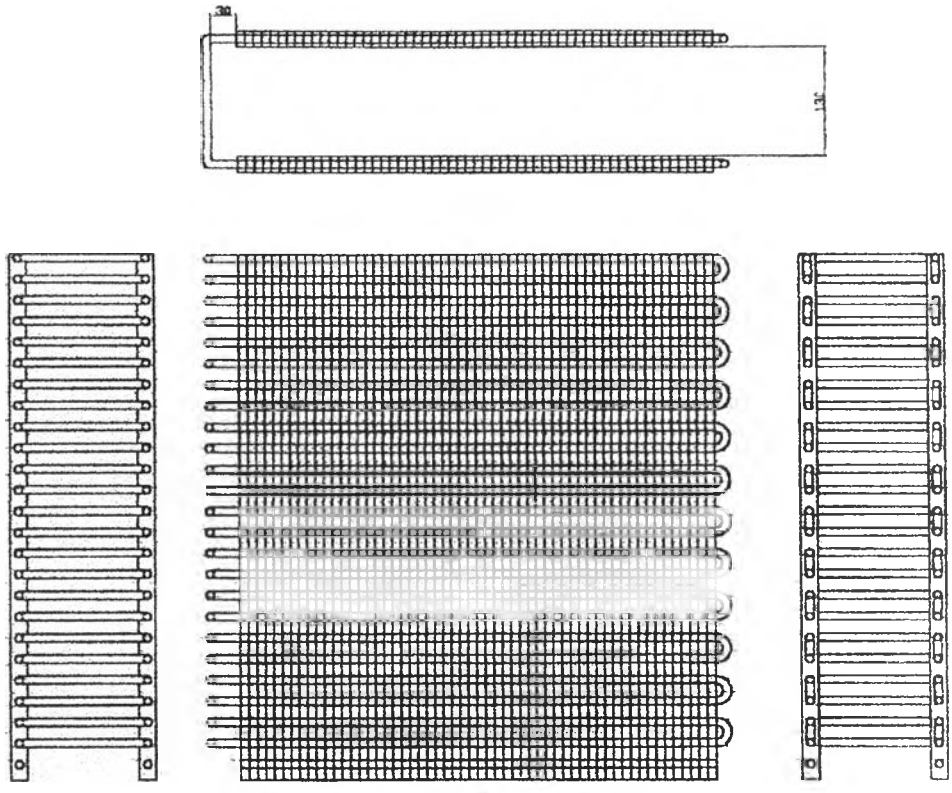


รูปที่ 3-4 แสดงคอยล์แบบ 4 แถวที่จะนำมาสร้างฮีทไปป์

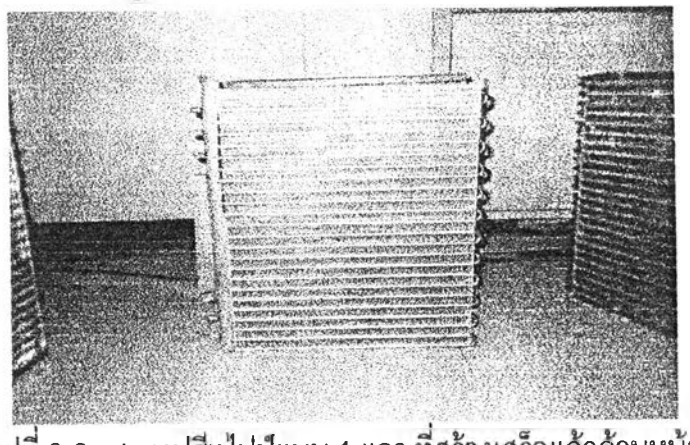
3.2 การสร้างฮีทไปป์ และการเติมของไหลทำงาน

ฮีทไปป์ที่จะสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วย คอยล์จำนวน 2 คอยล์ คือคอยล์ในส่วนของการ precool และคอยล์ในส่วนของการ reheat ซึ่งคอยล์ในส่วนของการ precool และ reheat จะวางไว้ด้านหน้า และด้านหลังคอยล์ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศตามลำดับ เนื่องจากจะต้องมีการใช้อุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างคอยล์ทำความเย็น และฮีทไปป์ และความสะดวกในการติดตั้งฮีทไปป์แต่ละชุด จึงจำเป็นต้องขยายขนาด Fan Coil Unit ของเครื่องปรับอากาศ ทั้งในแนวกว้าง และแนวลึก ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไปในหัวข้อ 3.3

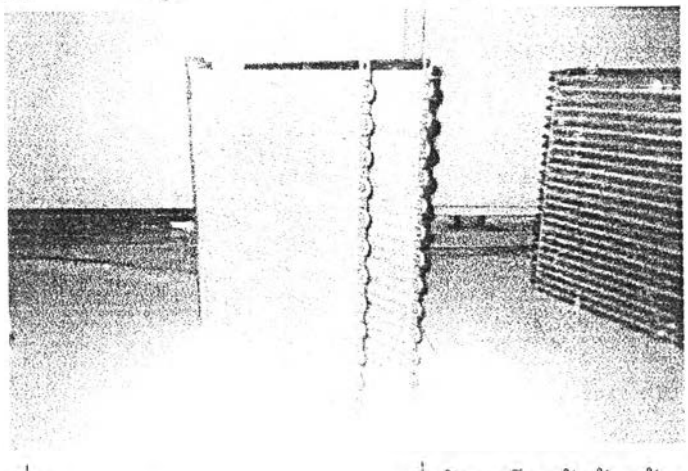
นำคอยล์ที่สร้างฮีทไปป์มาเชื่อมต่อกันด้วยท่อทองแดง ขนาด 3/8 นิ้ว ด้านหนึ่งนั้น ใช้ท่อทองแดงโค้งเชื่อมต่อกันให้เป็นลูป ส่วนอีกด้านหนึ่งนำลวดทองแดงมาโค้งเป็นรูปตัวยู เชื่อมติดกับคอยล์ส่วน precool และคอยล์ส่วน reheat โดยทำการเชื่อมหัวลูกศรเข้ากับท่อท่อนล่างของแต่ละลูป ดังรูป



รูปที่ 3-5 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว

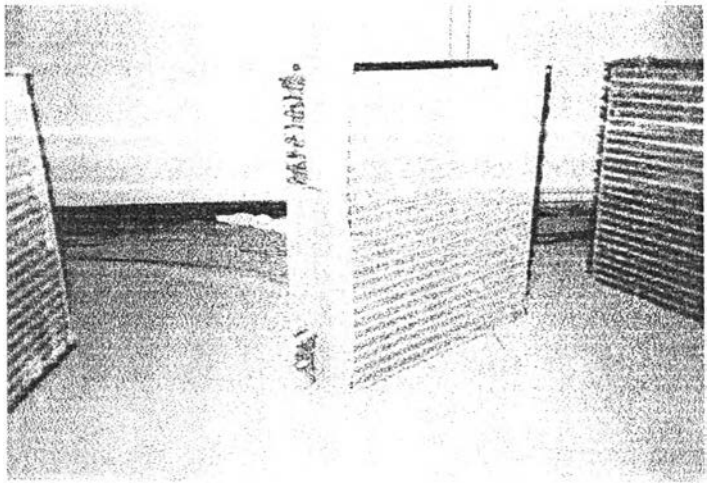


รูปที่ 3-6 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านหน้า

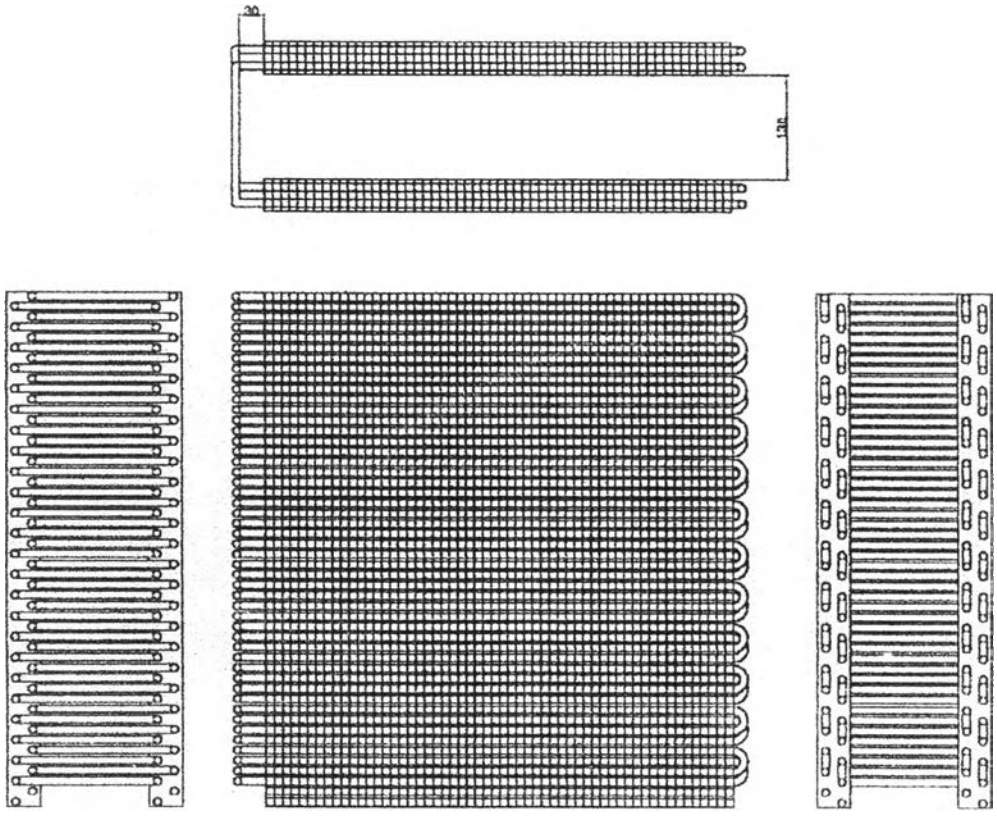


รูปที่ 3-7 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง

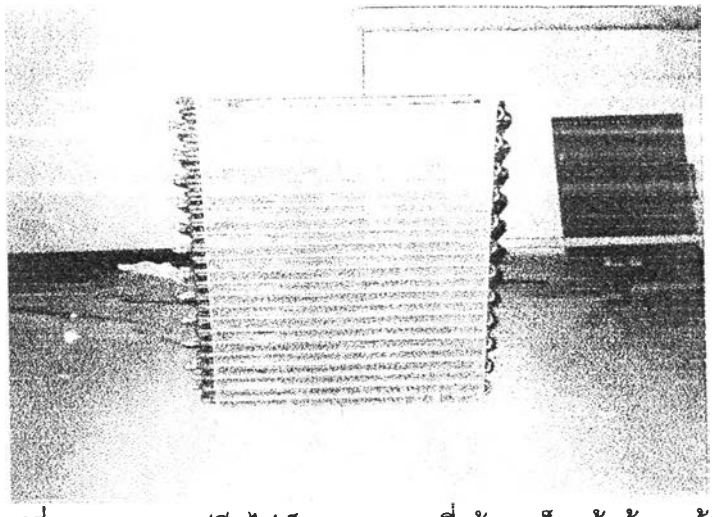
I 20469979



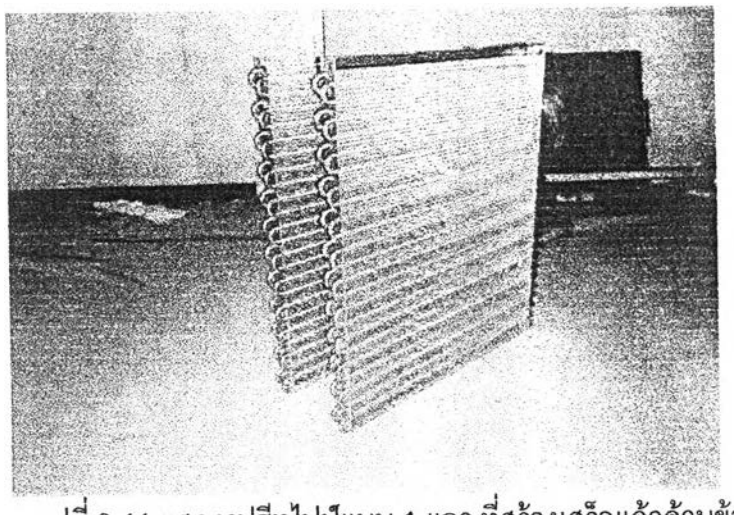
รูปที่ 3-8 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง



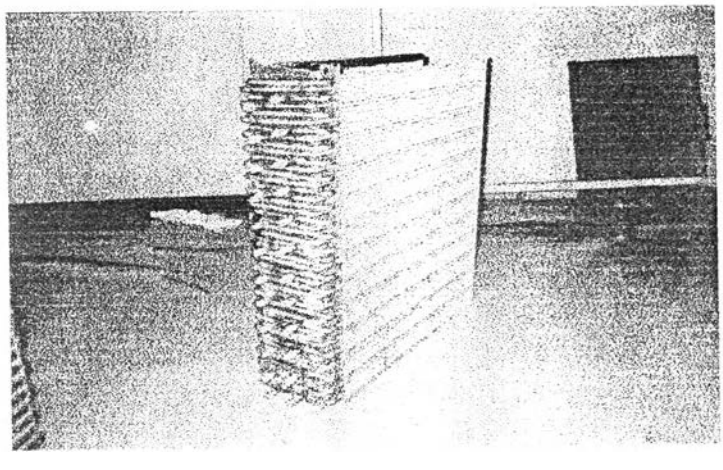
รูปที่ 3-9 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 2 แถว



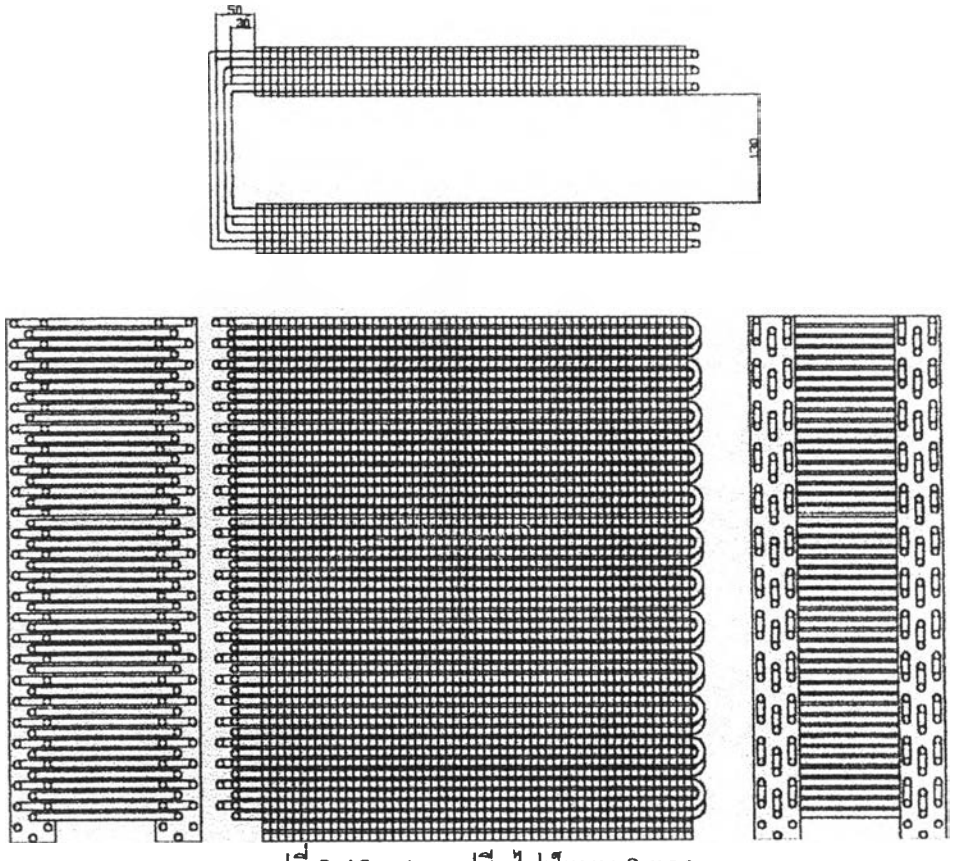
รูปที่ 3-10 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านหน้า



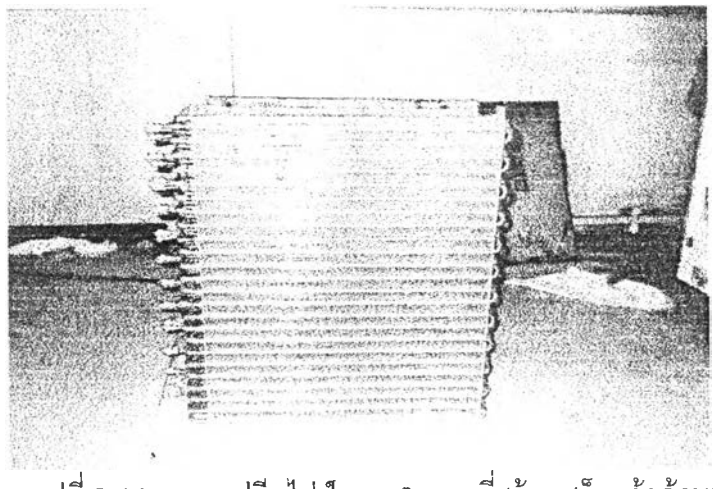
รูปที่ 3-11 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง



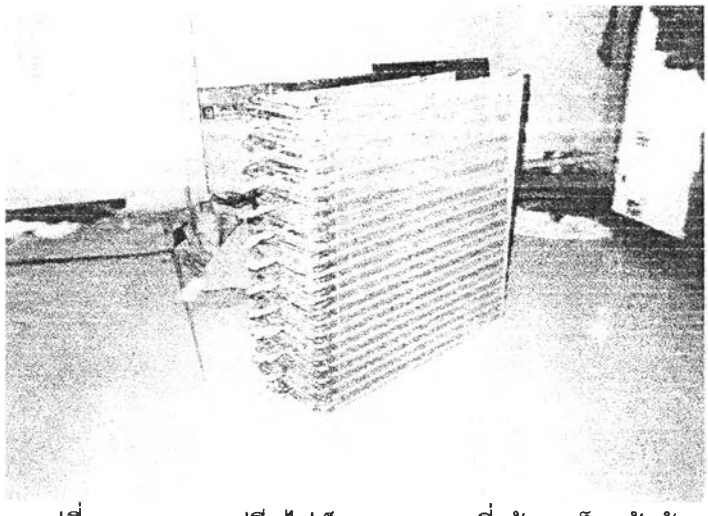
รูปที่ 3-12 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 1 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง



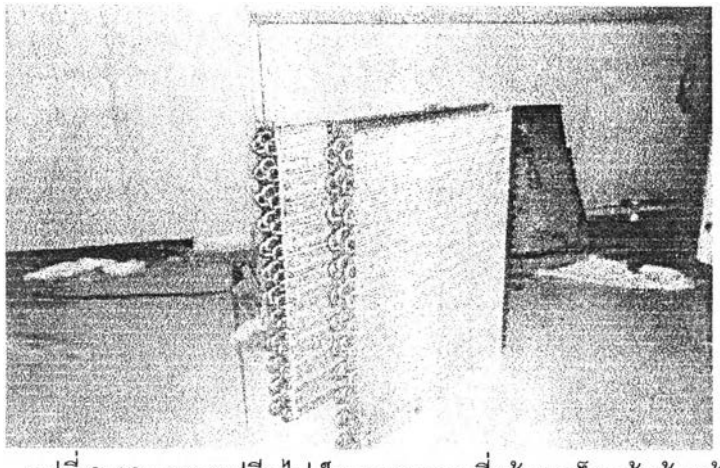
รูปที่ 3-13 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 3 แถว



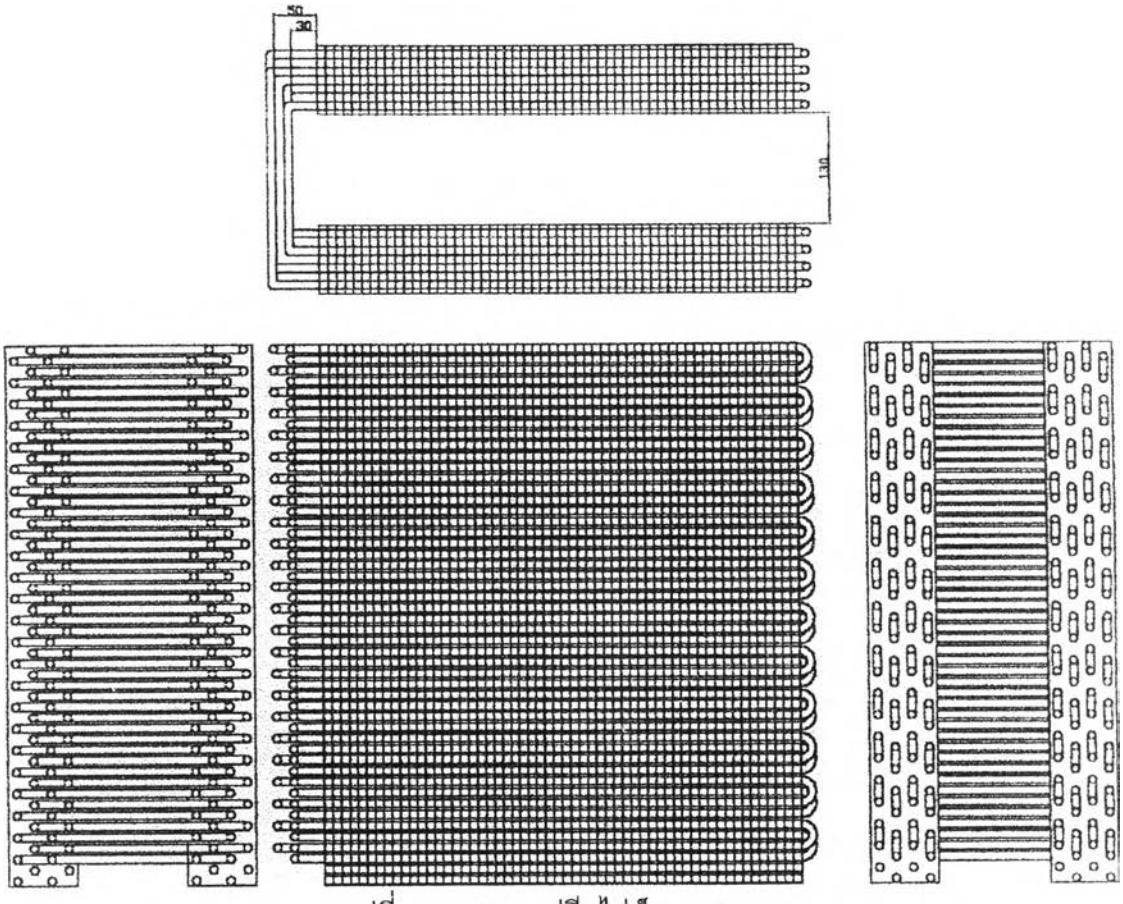
รูปที่ 3-14 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 3 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านหน้า



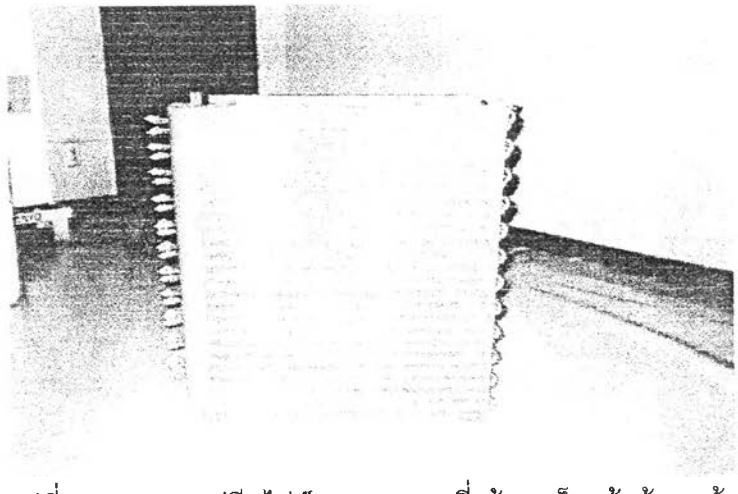
รูปที่ 3-15 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 3 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง



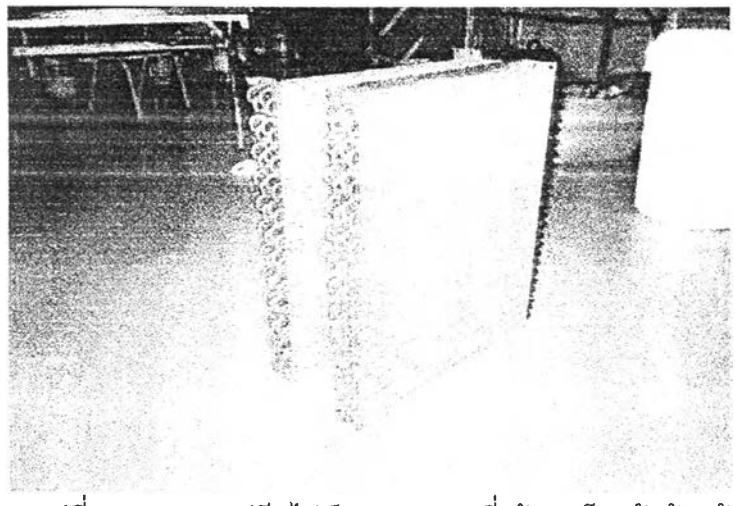
รูปที่ 3-16 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 3 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง



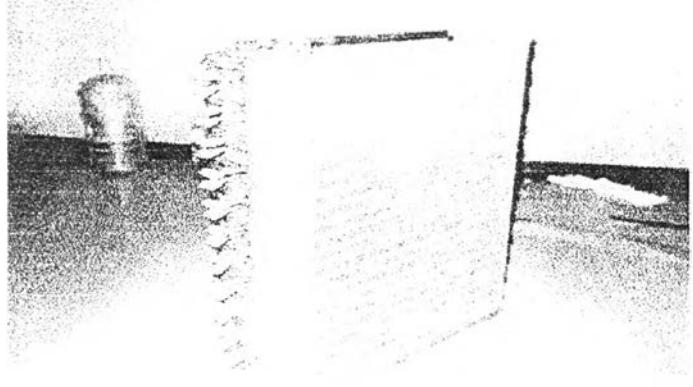
รูปที่ 3-17 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 4 แถว



รูปที่ 3-18 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 4 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านหน้า

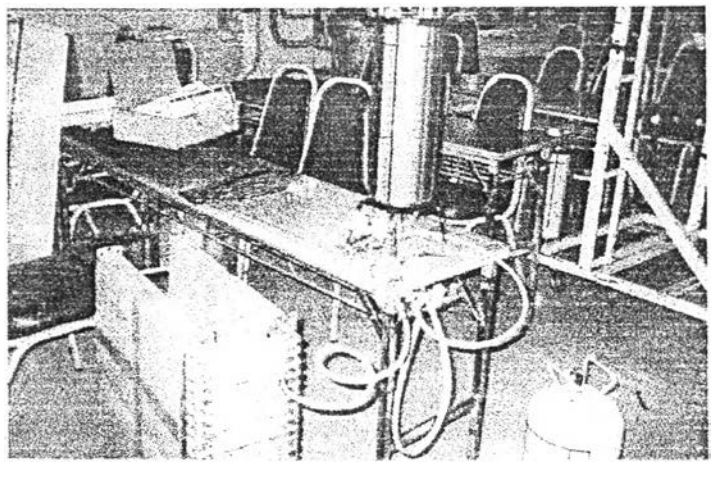


รูปที่ 3-19 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 4 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง



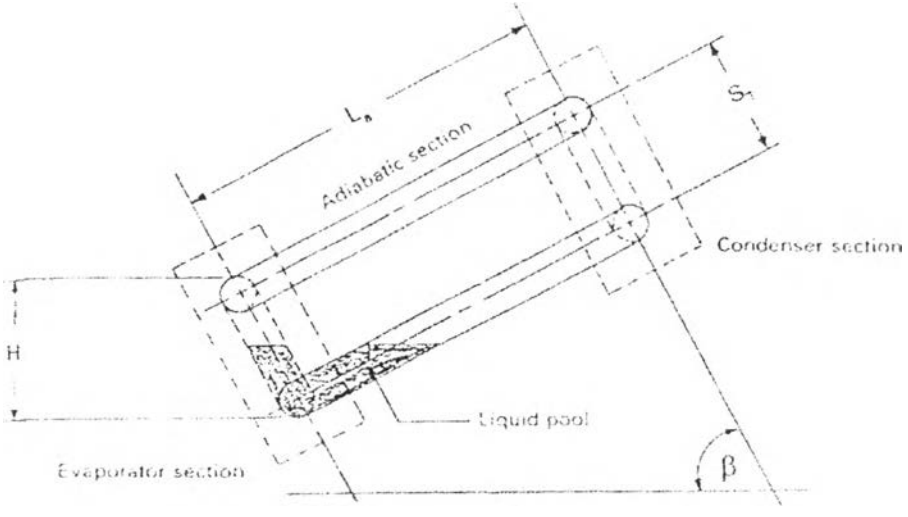
รูปที่ 3-20 แสดงรูปฮีทไปป์แบบ 4 แถว ที่สร้างเสร็จแล้วด้านข้าง

หลังจากนั้นทำการ vacuum ในแต่ละลูปเพื่อตรวจสอบรอยรั่ว และไล่ความชื้นภายในท่อ หลังจากนั้นเติมของไหลทำงาน ในที่นี้คือ R-22 ซึ่งค่าความร้อนแฝงสูง ในขณะที่จุดเดือดต่ำ เติมเข้าไปในแต่ลูป ดังรูป



รูปที่ 3-21 แสดงขั้นตอนการทำสุญญากาศ และเติมน้ำยา R-22

สำหรับปริมาณการเติมสารทำงานในฮีทไปป์นั้น จะใช้ประมาณ 50% ของปริมาตรในท่อของคอยล์ส่วนระเหย เพราะที่ปริมาณการเติม 50% จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์มากที่สุด



<u>รูปที่ 3-22</u> แสดงลักษณะฮีทไปป์ด้านข้าง

ความยาวของท่อส่วนที่มีของไหลทำงานบรรจุอยู่

= ความยาวของท่อในแนวนอน + ครึ่งหนึ่งของความยาวของท่อโค้ง + ความยาวของท่อต่อในส่วนของเหลว

$$= 0.635 + \frac{1}{2}\left(\frac{\pi \times 25.4 \times 10^{-3}}{2}\right) + \frac{2.54 \times 10^{3}}{2\tan(30^{\circ})}$$

= 0.635+0.02+0.02 = 0.639 m

ปริมาณของ R-22 ในสถานะของเหลว $= \frac{\pi D_i^2 L}{2}$

$$= \frac{\pi(0.009525^2)}{4} \times 0.639$$

$$= 43.41\times10^{-6}\ m^3$$

และจาก $\rho = \frac{m}{V}$

$m = \rho V$

จากคุณสมบัติของ R-22 ในตาราง .... ค่าความหนาแน่นของ R-22 ที่ 28 °C เท่ากับ 1178.8 kg/m^3

ดังนั้นมวลของ R-22 ที่จะเติมเข้าในแต่ละลูป = $1178.8\times10^{3}\times43.41\times10^{6}$

= 51.18 g

3.3 การดัดแปลง Fan Coil Unit และการติดตั้งร่วมกับฮีทไปป์

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นแบบแยกส่วน TRANE Yukon Split System Air Conditioners Tall Floor Type MCV 048 AB 50 Hz Model มีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

Fan Coil Unit

รุ่น MCV048ABOWAA

ระบบไฟฟ้า 220 Volts 1 Phase 50 Hz

พิกัดไฟฟ้าเข้าสูงสุด 2.10 A

(กระแส, แรงดัน, กำลัง)	จำนวน	RLA	LRA	H/P	VOLTS	PH	Hz	W(INPUT)
มอเตอร์พัดลม	1	1.68	2.57	1/6	220	1	50	245

ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 2.72 W/W

ขีดความสามารถทำความเย็นสูงสุด 14.06 kW

Condensing Unit

รุ่น TTK048QDOOAA

ระบบไฟฟ้า 380-415 Volts 3 Phase 50 Hz

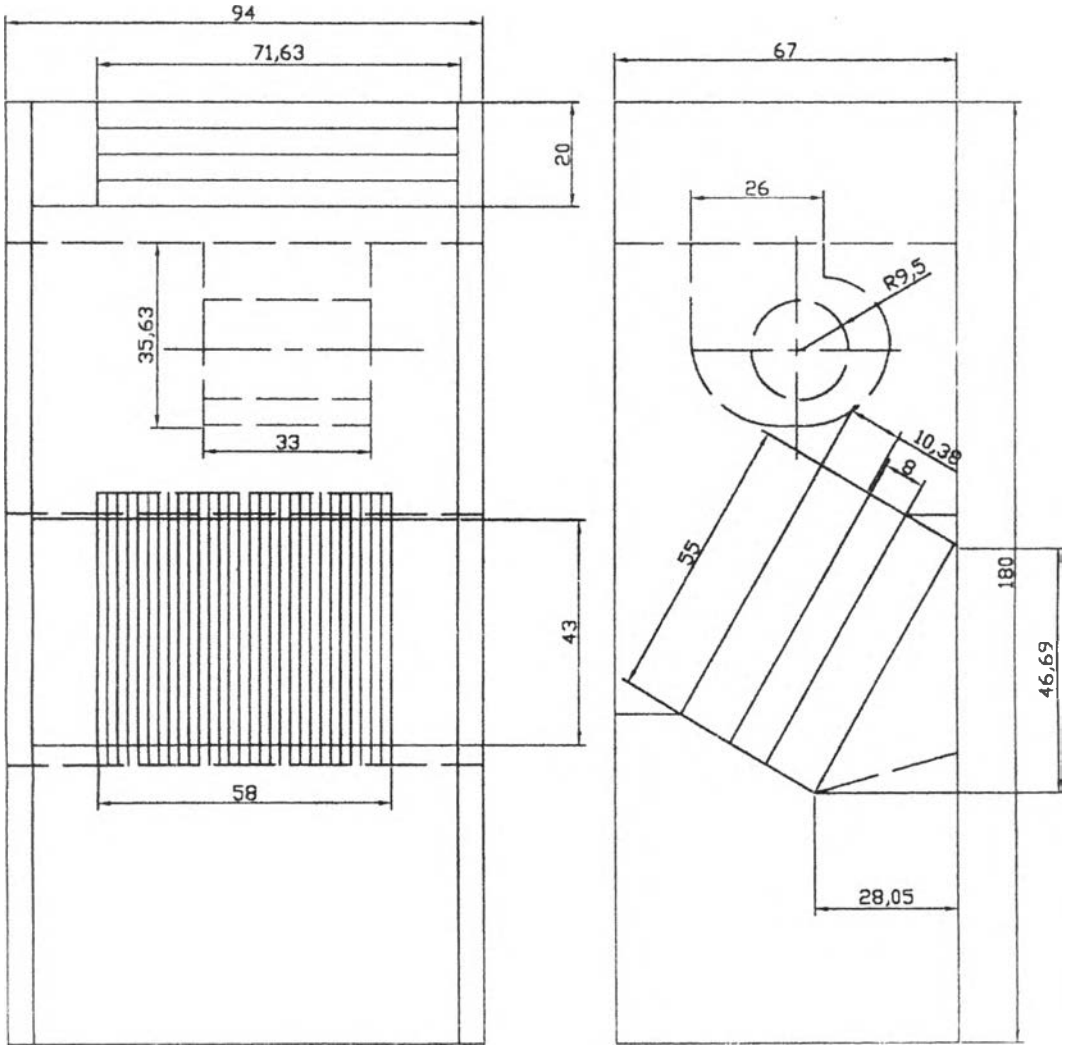
พิกัดไฟฟ้าเข้าสูงสุด 12.9 A

(กระแส, แรงดัน, กำลัง)	จำนวน	RLA	LRA	VOLTS	PH	Hz	W(INPUT)
คอมเพรสเซอร์	1	9.6	6.5	380-415	3	50	5020
มอเตอร์พัดลม	2	0.45	0.95	220	1	50	190

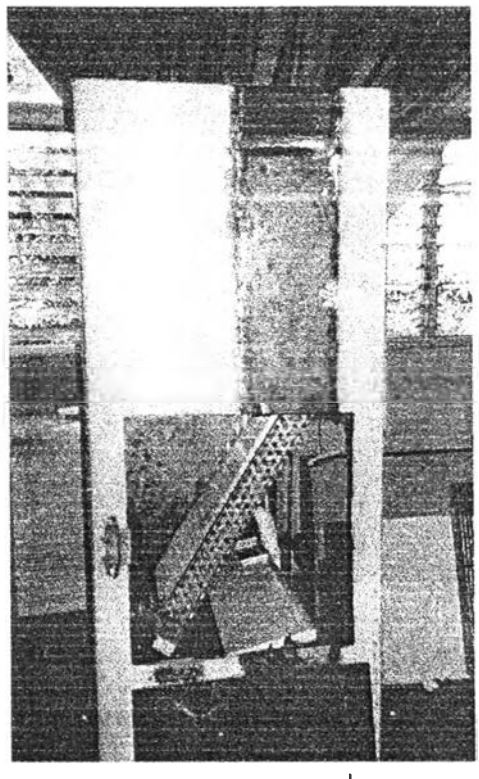
ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุด 2.72 W/W

ขีดความสามารถทำความเย็นสูงสุด 14.06 kW

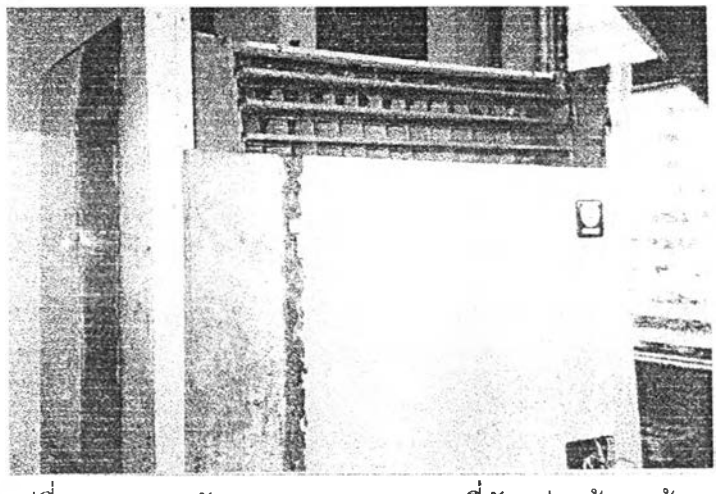
เนื่องจากในการทดลองนั้น จะต้องทำการติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับ cooling coil ของเครื่องปรับอากาศ ทำให้จะต้องมีการดัดแปลง Fan Coil Unit เพื่อให้เหมาะสมต่อการทดลอง และการติดตั้งเครื่องมือวัดต่าง ๆ ได้ โดยได้ขยายพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูป



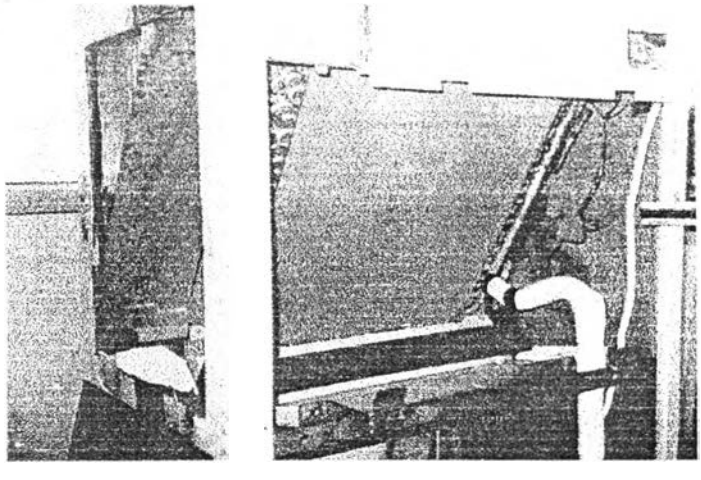
รูปที่ 3-23 แสดงลักษณะของ Fan Coil Unit ด้านหน้า และด้านข้าง



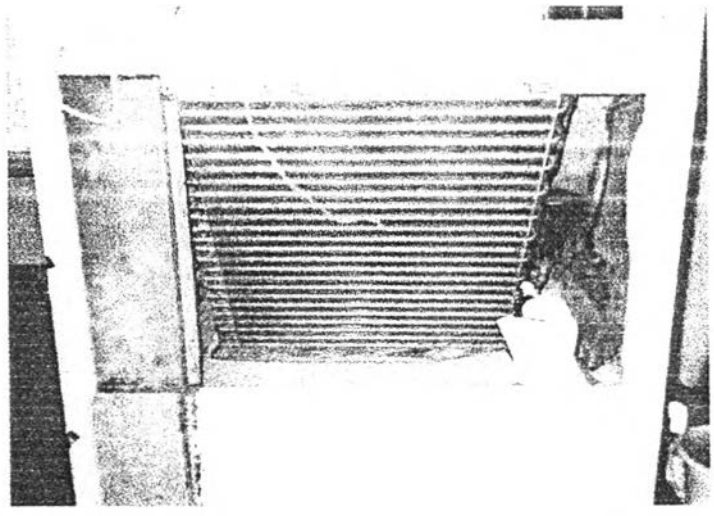
รูปที่ 3-24 แสดงลักษณะ Fan Coil Unit ที่ดัดแปลงด้านข้าง



รูปที่ 3-25 แสดงลักษณะ Fan Coil Unit ที่ดัดแปลงด้านหน้า



รูปที่ 3-26 แสดงลักษณะ Fan Coil Unit ที่ดัดแปลงด้านช่องลมดูด



รูปที่ 3-27 แสดงลักษณะ Fan Coil Unit ที่ดัดแปลงด้านช่องลมดูด

การติดตั้งฮีทไปป์เข้ากับคอยล์เย็นนั้น จะเป็นการทำให้ปริมาณลมที่ผ่านเข้าสู่ระบบ มีปริมาณน้อยลง ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนขนาดของมอเตอร์ให้มีความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งมีการติดตั้ง inverter เพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ได้ตามต้องการ โดยเปลี่ยนมอเตอร์จาก รุ่น FASCO 1/6 HP 1 PHASE 220 V 50 Hz 900 rpm เป็นรุ่น EMERSON ½ HP 1 PHASE 220 V 50 Hz 1425 rpm

3.4 เครื่องมือวัด

1. Thermohygrometer with probe ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บริเวณหน้าผิวคอยล์ของฮีทไปป์ และคอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ

Model	Testo 635	
Meas. Range	0...+100% RH	-20...+70 °C
Accuracy	±2% RH (0...+100% RH)	±0.4 °C (-10...+50 °C)
Resolution	1% RH	0.1 °C

รูปที่ 3-28 Thermohygrometer Testo 635

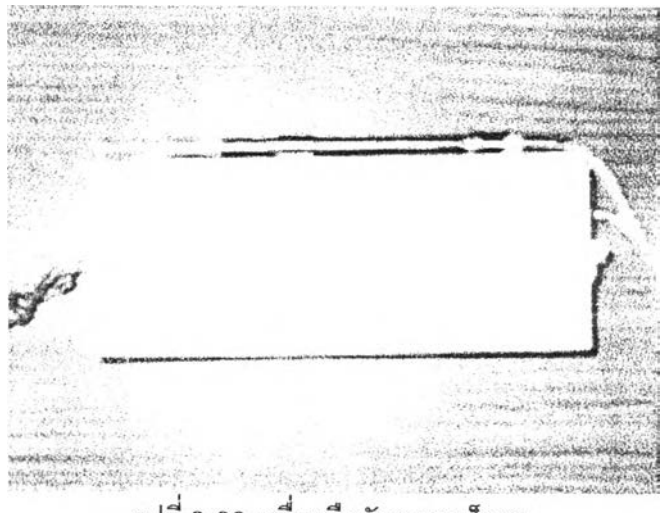
2. Hiyoshi Hybrid Anemometer เครื่องมือวัดความเร็วลมบริเวณช่องลมจ่าย

Model DP 90A

Meas. Range 0...20 m/s

Accuracy ±0.1 m/s

Resolution 0.1 m/s



รูปที่ 3-29 เครื่องมือวัดความเร็วลม

3. Thermometer ใช้ร่วมกับ thermocouple สำหรับวัดอุณหภูมิบริเวณผิวคอยล์

Model Fluke 52 J-Type thermocouples

Meas. Range -200...+760 °C

Accuracy ±0.8 °C

Resolution 0.1 °C

4. Digital Power Hi Tester ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของ compressor และของเครื่องปรับอากาศทั้งหมด

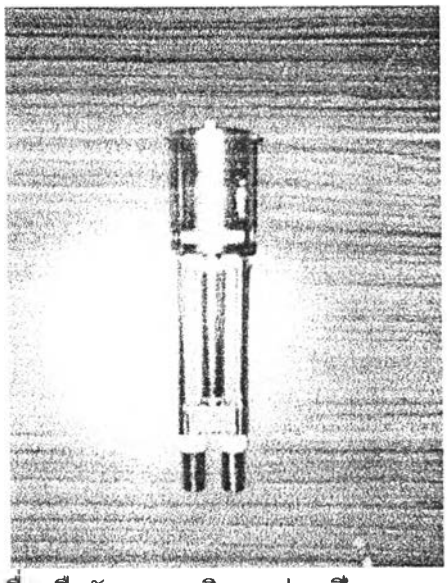
Model HIOKI 3184

Meas. Range 200...500 V 2...20 A

Resolution 0.01 kW 0.01 A 1V

5. Assmann Psychrometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้งในห้องปรับอากาศ

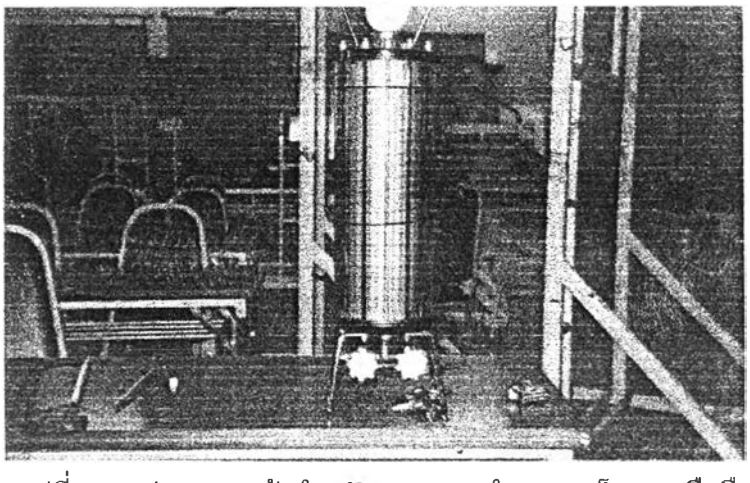
Resolution 0.5 °C



รูปที่ 3-30 เครื่องมือวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง

6. Manifold Guage เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันของสารทำความเย็นด้านสูง และด้านต่ำที่อยู่ในระบบ เป็นเครื่องมือสำหรับบรรจุสารทำความเย็นในระบบ และเป่าไล่ไอสารทำความเย็น และอากาศออกจากระบบ

7. ท่อหลอดแก้วสำหรับบรรจุสารทำความเย็นแบบมือถือ ใช้วัดน้ำหนัก หรือมวลของสารทำความเย็นเพื่อการบรรจุสารทำความเย็นเข้าสู่ฮีทไปป์



รูปที่ 3-31 ท่อหลอดแก้วสำหรับบรรจุสารทำความเย็นแบบมือถือ

8. นาฬิกาจับเวลา เวลาที่ใช้ในการกลั่นตัวของน้ำ

9. บีกเกอร์ วัดปริมาณการกลั่นตัวของน้ำ

3.5 การดำเนินการทดสอบ

ในการทดสอบฮีทไปป์ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบใน 2 ลักษณะ คือ การทำการทดสอบในห้องปรับอากาศ (ในสถานที่ที่ควบคุมสภาวะอากาศในห้องปรับอากาศจริง) และการทำการทดสอบในห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ เพื่อที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง

3.5.1 การทำการทดสอบในห้องปรับอากาศ

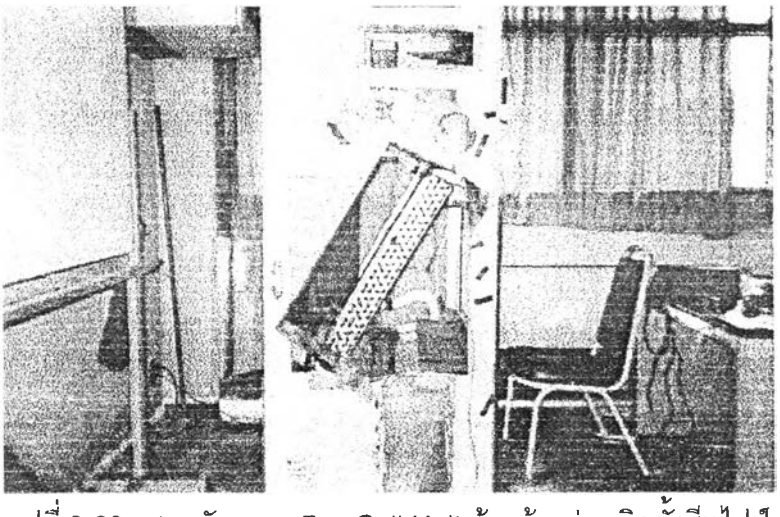
3.5.1.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ห้องที่ใช้ในการทดสอบนี้มีขนาดความกว้าง 7 เมตร ยาว 12 เมตร และ สูง 3.3 เมตร เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 4 ตันความเย็น ฮีทไปป์ที่ใช้เป็นแบบคอยล์ลูป โดยในการทดสอบนี้ ฮีทไปป์ที่ใช้มี 4 แบบ คือ 1 แถว, 2 แถว, 3 แถว และ 4 แถวตามลำดับ

(1) ทำการทดสอบ และเก็บข้อมูลก่อนติดตั้งฮีทไปป์ และหลังติดตั้งฮีทไปป์แบบ 1 แถว, 2 แถว, 3 แถว และ 4 แถวตามลำดับ โดยแต่ละแบบ ทดสอบในแต่ละวัน

(2) ทำการทดสอบ และเก็บข้อมูลหลังติดตั้งฮีทไปป์แบบ 3 แถว และ 4 แถว ในขณะที่มีสารทำความเย็น และไม่มีสารทำความเย็นตามลำดับ โดยแต่ละแบบ ทดสอบในแต่ละวัน

การทดสอบทั้งหมดนี้จะกำหนดให้คอมเพรสเซอร์ทำงานตลอดเวลาการทดสอบ



รูปที่ 3-32 แสดงลักษณะ Fan Coil Unit ด้านข้างก่อนติดตั้งฮีทไปป์

รูปที่ 3-33 แสดงลักษณะ Fan Coil Unit ด้านข้างหลังติดตั้งฮีทไปป์

3.5.1.2 การบันทึกข้อมูล

สำหรับข้อมูลที่ต้องบันทึกเพื่อหาค่าความสามรถการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ของฮีทไปป์ในส่วนของการ precool และการ reheat ประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) ปริมาณการกลั่นตัวของน้ำในระบบ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปรับอากาศ มีดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) และกระเปาะแห้ง (T_{db}) ภายในห้องปรับอากาศ

(2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้า precooling coil ของฮีทไปป์ (ตำแหน่งที่ 1), T1, RH1

(3) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้า cooling coil ขอเครื่องปรับอากาศ (ตำแหน่งที่ 2), T2, RH2

(4) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้า reheating coil ของฮีทไปป์ (ตำแหน่งที่ 3), T3, RH3

(5) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจาก reheating coil ของฮีทไปป์ (ตำแหน่งที่ 4), T4, RH4

(6) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณช่องลมจ่าย หลังผ่าน blower (ตำแหน่งที่ 5), T5, RH5

(7) ความเร็วลมบริเวณช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ

(8) กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ

(9) อุณหภูมิอากาศภายนอก

(10) ความดันทั้งทางด้านความดันสูง (P_{dis}) ทางด้านความดันต่ำ (P_{suc}) ทางด้าน condensing unit

(11) ปริมาณการกลั่นตัวของน้ำ ที่ได้จาก Fan Coil Unit

3.5.2 การทดสอบในห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ

โดยจะทำการทดสอบ ณ ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ ตึกโคลัมโบ ภาควิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นการทดสอบเพื่อหาขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่แท้จริง กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ และปริมาณการดึงน้ำออกจากอากาศของระบบปรับอากาศ

3.5.2.1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ แบ่งออกเป็น 2 ห้อง คือ ห้องควบคุมอากาศร้อน ซึ่งเป็นห้องที่ติดตั้ง Condensing Unit โดยจะควบคุมอากาศภายในห้องนี้ให้มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 35 ^{o}C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเท่ากับ 24 ^{o}C ห้องควบคุมอากาศเย็นซึ่งเป็นห้องที่ติดตั้ง Fan Coil Unit โดยจะควบคุมอากาศภายในห้องนี้ให้มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 27 ^{o}C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าเท่ากับ 19 ^{o}C โดยในการควบคุมนั้นจะสามารถเพิ่มปริมาณความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝงให้แก่ห้องได้ (โดยใช้ฮีทเตอร์อากาศ และฮีทเตอร์น้ำ)

ทำการติดตั้ง Fan Coil Unit และ Condensing Unit ของเครื่องปรับอากาศกับห้องควบคุมอากาศร้อน และห้องควบคุมอากาศเย็น ดังรูป

ทำการทดสอบ และเก็บข้อมูลก่อนติดตั้งฮีทไปป์ และ หลังติดตั้งฮีทไปป์แบบ 3 แถว และ 4 แถว ทั้งแบบมีน้ำยา และไม่มีน้ำยา

3.5.2.2 การบันทึกข้อมูล

สำหรับข้อมูลที่ต้องบันทึกเพื่อหาค่าความสามรถการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ของฮีทไปป์ในส่วนของการ precool และการ reheat ประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) ปริมาณการกลั่นตัวของน้ำในระบบ และความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปรับอากาศ มีดังนี้

(1) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) และกระเปาะแห้ง (T_{db}) ภายในห้องควบคุมอากาศเย็น

(2) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้า precooling coil ของฮีทไปป์ (ตำแหน่งที่ 1), T1, RH1

(3) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้า cooling coil ของเครื่องปรับอากาศ (ตำแหน่งที่ 2), T2, RH2

(4) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้า reheating coil ของฮีทไปป์ (ตำแหน่งที่ 3), T3, RH3

(5) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหลังออกจาก reheating coil ของฮีทไปป์ (ตำแหน่งที่ 4), T4, RH4

(6) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณช่องลมจ่าย หลังผ่าน blower (ตำแหน่งที่ 5), T5, RH5

(7) ความเร็วลมบริเวณช่องลมจ่ายของเครื่องปรับอากาศ

(8) กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศ

(9) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) และกระเปาะแห้ง (T_{db}) ภายในห้องควบคุมอากาศร้อน

(10) ความดันทั้งทางด้านความดันสูง (P_{dis}) ทางด้านความดันต่ำ (P_{suc}) ทางด้าน condensing unit

(11) ปริมาณการกลั่นตัวของน้ำ ที่ได้จาก Fan Coil Unit

3.5.3 การคำนวณผลการทดสอบ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง นำมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทราบดังนี้

(1) ความเร็วลมที่แท้จริงที่ผ่าน cooling coil ของเครื่องปรับอากาศ

(2) ขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ของฮีทไปป์ในส่วนของการระเหย และในส่วนของการควบแน่น

(3) ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปรับอากาศ

(4) ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP)

(5) การถ่ายเทความร้อนของฮีทไปป์ทางทฤษฎี

(6) ปริมาณการกลั่นตัวของไอน้ำในระบบ

โดยรายละเอียดต่าง ๆ ของการคำนวณ พร้อมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Microsoft Visual Basic 6.0) เพื่อช่วยในการคำนวณ อยู่ในภาคผนวก ก.