บทที่ 3

การสร้าง และวิธีการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

3.1 การสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

3.1.1 เงื่อนไขในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โม-ไซฟอน ครั้งนี้ มีเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบและสร้างดังนี้

1. ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างกาซกับกาซ (อากาศกับอากาศ)
2. ช่วงอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง 10 - 45 องศาเซลเซียส
3. ของไหลร้อน คือ อากาศที่อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิเฉลี่ย 32 + 4 องศาเซลเซียส
4. ของไหลเย็น คือ อากาศที่ได้จากชุดผลิตลมเย็น (ชุดปรับอุณหภูมิอากาศ) อุณหภูมิเฉลี่ย 23 + 4 องศาเซลเซียส
5. ความเร็วเฉลี่ย ต่ำสุด-สูงสุด ของลมร้อนและลมเย็นในท่อ คือ 0.5 - 8 เมตร ต่อ วินาที
6. การไหลของของไหลร้อนและของไหลเย็นเป็นแบบสวนทางกัน
7. การสร้างใช้วิธีดึงสุญญากาศ ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วเติมของไหลใช้งานในสภาพของเหลว
8. ปริมาณของไหลใช้งานที่ใช้เติมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนคือ 80 เปอร์เซนต์ ของปริมาตรรวมเชิงประสิทธิผลภายในเครื่อง

3.1.2 การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โม-ไซฟอน

การออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปแบ่งออกได้ สองส่วน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกันดังนี้

การออกแบบเชิงความร้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีปัจจัยดังต่อไปนี้

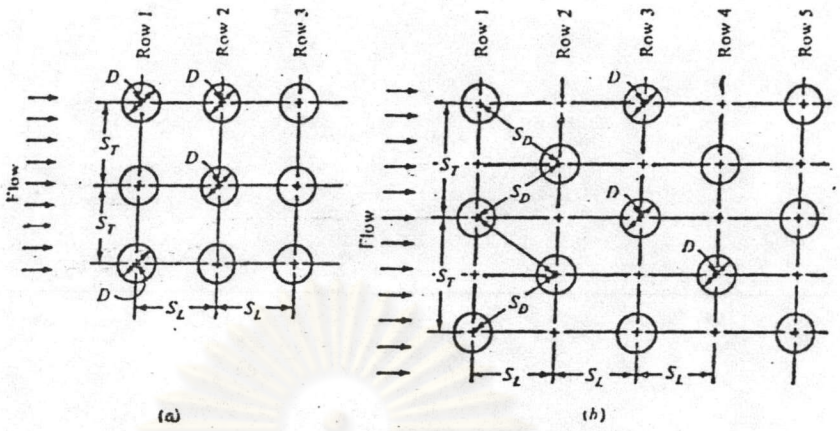
1. ทิศทางการไหลของของไหลภายนอก ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ การไหลแบบขนาน (parallel flow),การไหลแบบสวนทาง (counter flow) และการไหลแบบตัดหรือตั้งฉาก (cross flow)

2. พื้นที่การถ่ายเทความร้อนต้องมีมากพอที่จะส่งผ่านปริมาณความร้อน ในอัตราที่ต้องการโดยที่ต้องคำนึงถึงชั้นของสิ่งสกปรกที่มาเกาะจับ (fouling factor) ซึ่งทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงตามเวลาการใช้งานและลักษณะการวางเรียงท่อถ่ายเทความร้อน

3. การกระจายอุณหภูมิ(temperature distribution) ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ตลอดจนอุณหภูมิเข้าออกและความเร็วของของไหล

การออกแบบเชิงกล ซึ่งเกี่ยวข้องกับความแข็งแกร่งและความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งมีปัจจัยดังนี้

1. ความดันที่ใช้งานและความดันลดที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน การไหลผ่านกลุ่มท่อที่วางเรียงกันในลักษณะต่างๆ กัน คือ การวางในแนวเดียวกัน (in line) รูปที่ 3.1 a และการวางเรียงเหลื่อมแนวกัน (staggered) รูปที่ 3.1 b ผลก็คือ จะให้ความดันลดและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.1 a) การวางในแนวเดียวกัน (in line)
b) การวางเรียงเหลื่อมแนวกัน (staggered)

2. การเลือกใช้วัสดุให้มีความแข็งแกร่ง (yield strength) เพียงพอที่จะทนต่อความดันสูงสุดที่จะประสพในการใช้งาน , การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุเนื่องจากความดันและอุณหภูมิ เช่น การเกิดการคราก (creep) , ความล้า (fatigue) หรือการเปลี่ยนแปลงของ impact strength การสึกกร่อน (erosion) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของของไหล เป็นต้น นั่นคือต้องเลือกประเภทและความหนาของวัสดุที่ใช้อย่างถูกต้อง

3. การเกิดการสั่นสะเทือน (vibration) ในขณะใช้งานซึ่งอาจทำให้โครงสร้างบางส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดการรั่วขึ้นได้ การออกแบบจึงต้องระวังตั้งแต่ ลักษณะการไหล, ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้

4. การออกแบบรอยต่อและจุดเชื่อม เช่น หน้าแปลน , ปะเก็น รอยเชื่อมต่อของท่อ , ตำแหน่งของโบลต์ เป็นต้น

5. การคำนึงถึงขนาด , น้ำหนัก , การทำความสะอาด , การซ่อมแซม , การติดตั้ง , การเคลื่อนย้าย , การบำรุงรักษา เป็นต้น

อนึ่งในการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โม-ไซฟอน นอกจากจะให้ความสนใจข้อควรพิจารณาในการออกแบบโดยทั่วไปของการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงข้อควรพิจารณาในการออกแบบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ดังนี้

3.1.2.1 การเลือกของไหลใช้งาน

เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ออกแบบกำหนดให้อุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง 10 - 45 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเลือกของไหลใช้งานจึงต้องเหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิการใช้งานดังกล่าว ของไหลใช้งานที่ได้พิจารณามีอยู่ 4 ชนิด คือ อะซีโทน (Acetone) ,เมทธานอล (methanol), ฟรีออน-11 (Freon-11), ฟรีออน-22 (Freon-22) เนื่องจากของไหลใช้งานที่พิจารณาในการเลือกมีอยู่ 4 ชนิด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ ประกอบ (ภาคผนวก ข แสดงคุณสมบัติของของไหลใช้งานต่างๆ)

ตารางที่ 3.1 เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของของไหลใช้งานที่เลือก จะเห็นได้ว่า อะซีโตน (Acetone) และเมธานอล (methanol) ถึงแม้ว่าเป็นสารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาเป็นของไหลใช้งานก็ตาม แต่จะเกิดปัญหาในเวลาบรรจุได้ เพราะอะซีโทนและเมทธานอลเป็นสารไวไฟ ดังนั้นในการเชื่อมปิดผนึกอาจทำให้เกิดการลุกติดไฟและระเบิดได้ นอกจากสารทั้งสองยังมีคุณสมบัติในด้านการละลายพลาสติก และทำให้เกิดการยืดของพลาสติกซึ่งอาจทำให้ปะเก็น (seal) ของวาล์วบวม และระบบเกิดการรั่วได้

ฟรีออน-11 (Freon-11,R-11) และฟรีออน-22 (Freon-22 ,R-22) เป็นสารที่มีคุณสมบัติของของไหลใช้งานรองลงมาจาก เมทธานอลและอะซีโทน แต่ฟรีออน-22 จะเป็นของไหลใช้งานที่ดีกว่า ฟรีออน-11 ในกรณีที่ของการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ (พิจารณาจาก ตัวเลขเมอริท)

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของของไหลใช้งาน

อุณหภูมิ (°C)	20				40			
ของไหลใช้งาน คุณสมบัติ	อะซีโทน	เมทธานอล	ฟรีออน-11	ฟรีออน-22	อะซีโทน	เมทธานอล	ฟรีออน-11	ฟรีออน-22
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat, J/gm)	552	1165	183.4	187.2	536	1140	175.6	165.98
ความดันไอ (Vapour pressure,Bar)	0.27	0.175	0.93	8.11	0.6	0.4	1.82	14.39
ความหนืด (viscosity, gm/cm-sec)								
ของเหลว (liquid)$x10^{-2}$	0.82	0.945	1.08	1.273	0.86	0.98	1.14	1.39
ไอ (vapour)$x10^{-4}$	0.323	0.611	0.44	0.187	0.27	0.46	0.37	0.17
ค่าการนำความร้อนของเหลว (Liquid thermal conductivity,W/m°C)	0.323	0.204	0.1	0.08	0.27	0.2	0.1	0.08
แรงดึงผิว $x10^{-2}$ (surface tension, gmf/cm)	2.37	2.27	1.92	1.66	2.12	2.09	1.66	0.54
ความหนาแน่น (Density,gm/cm^3)	0.79	0.79	1.49	1.21	0.77	0.77	1.44	1.13
ตัวเลขเมอริท $x10^6$ (Merit,W/cm^2)	3.14	3.36	1.17	1.98	3.18	3.94	1.11	0.58
ศักยภาพในการทำลายโอโซน	–	–	1.0	0.04-0.06	–	–	1.0	0.04-0.06
ศักยภาพในการทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น	–	–	1.0	0.32-0.37	–	–	1.0	0.32-0.37
การติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ติดไฟ	ติดไฟ	ไม่ติดไฟ	ไม่ติดไฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศและของโลก ปัญหาในเรื่องการทำลายชั้นโอโซน (Ozone layer) ในบรรยากาศ โดยสาร CFC (chloro-fluoro-carbon) และการอุ่นตัวของโลกเป็นปัญหาที่สำคัญ เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าฟรีออน-22 มีประสิทธิภาพในการทำลายชั้นโอโซนเพียง 5 % ของฟรีออน-11 และมีประสิทธิภาพในการทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น ประมาณ 35% ของฟรีออน-11

สรุปแล้วฟรีออน-11 เป็นสาร CFC ตัวหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการทำลายโอโซนสูง ส่วนฟรีออน-22 เป็นสาร HCFC ตัวหนึ่งที่ถูกนำมาทดแทนสาร CFC เพราะ HCFC มีประสิทธิภาพในการทำลายโอโซนต่ำกว่า ในปัจจุบันสาร CFC ได้ถูกประกาศห้ามใช้แล้วในบางประเทศ และมีแนวโน้มว่าจะเลิกใช้ทั่วโลกในปี ค.ศ. 2000 (วิระ มาวิจักขณ์ และแสงสันต์ พานิช แปล,2533) ส่วนฟรีออน-22 จะยังคงนำมาใช้ได้อีกเป็นระยะเวลานานพอสมควร จนกว่าจะสามารถค้นหา และสังเคราะห์สารตัวใหม่มาทดแทนได้ทั้งในแง่คุณสมบัติที่ดี และราคาพอสมควร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเห็นสมควรว่า ฟรีออน-22 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นของไหลใช้งาน ฟรีออน-22 หรือ ในทางการค้าเรียกว่า R-22 มีสูตรโครงสร้างดังนี้ $CHClF_2$ (Chlorodifluoromethane) คุณสมบัติของฟรีออน-22 ดูได้จากภาคผนวก ข

3.1.2.2 การเลือกวัสดุท่อ

เมื่อเลือกของไหลใช้งานแล้ว สิ่งต่อไปที่ต้องพิจารณาคือ วัสดุท่อ โดยต้องพิจารณาถึงความเข้ากันได้ของวัสดุท่อและของไหลใช้งาน และของไหลภายนอก ซึ่งไม่ทำให้เกิดการผุกร่อน หรือการเกิดปฏิกริยาของของไหลใช้งานกับท่อ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติอื่นๆด้วย อาทิเช่น ความแข็งแกร่งต่อน้ำของตัวท่อเอง (ท่อจะต้องมีน้ำหนักต่อความยาวท่อไม่มากนัก) และค่าความนำความร้อนของท่อต้องสูง เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่าท่อทองแดงมีความเหมาะสมมากที่สุด ดังคุณสมบัติตามภาคผนวก ข.

ท่อทองแดงที่ใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ ท่อผนังด้านในเรียบ (smooth tube) และท่อผนังด้านในเป็นร่องเกลียว (micro-fin tube) แต่เนื่องจากท่อชนิดผนังด้านในเป็นร่องเกลียวจะมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อผนังด้านในเรียบ (Gersey et al,1990) เพราะท่อชนิดผนังด้านในเป็นร่องเกลียวจะมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น และยังช่วยให้ของเหลวเดือดและไอควบแน่นได้ดีขึ้น

อนึ่งนอกจากท่อแล้วครีบระบายความร้อนก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณา โดยทั่วไปในกรณีที่ของไหลภายนอกเป็นอากาศและใช้ท่อทองแดง จะใช้ครีบระบายความร้อนที่ทำด้วย อลูมิเนียม (aluminium)

3.1.2.3 การกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

โดยทั่วไปท่อที่มีการใช้ทำคอยล์ระเหย และคอยล์ควบแน่นจะใช้ท่อขนาด 1/4 , 3/16 , 3/8 , 5/8 , 3/4 , 1 นิ้ว ความถี่ของการติดครีบระบายความร้อน (fin) มักอยู่ในช่วง 3-14 ครีบ ต่อ นิ้ว และระยะห่างการวางเรียงท่อ (pitch) อยู่ในช่วง 5/8 - 2 $^{1}/_{2}$ นิ้ว (ASHRAE, 1981) เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการสร้างและความสะดวกในการติดต่อหาซื้อในท้องตลาดได้เลือกใช้ท่อขนาด 3/8 นิ้ว ความถี่ของการติดครีบระบายความร้อน (fin) 12 ครีบ ต่อ นิ้ว และระยะห่างการวางเรียงท่อ 1 นิ้ว

โดยทั่วไป การกำหนดระยะห่างการวางเรียงท่อ ต้องคำนึงถึงระยะห่างระหว่างครีบระบายความร้อน และระยะห่างการติดครีบระบายความร้อน ต้องคำนึงถึง ความดันลดที่เกิดขึ้นในขณะที่ลมไหลผ่าน การสะสมของฝุ่นละออง และในกรณีของการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำการเกาะสะสมของเกล็ดน้ำแข็ง (frost accumulation)

3.1.3 ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์-โมไซฟอน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่สร้างประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ คือ

1. คอยล์ระเหย (Evaporator coil) และคอยล์ควบแน่น (Condenser coil)

การออกแบบ คอยล์ระเหย และคอยล์ควบแน่น พิจารณาจาก

1. ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทได้สูงสุด ประมาณ 10,000 W

2. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไป (Ozisik,1985) จะอยู่ในช่วง 60 -600 W/m^2-C (เลือกใช้ 67 W/m^2-C)

3. อุณหภูมิทางเข้าลมร้อน 34 °ซ อุณหภูมิทางเข้าลมเย็น 23 °ซ

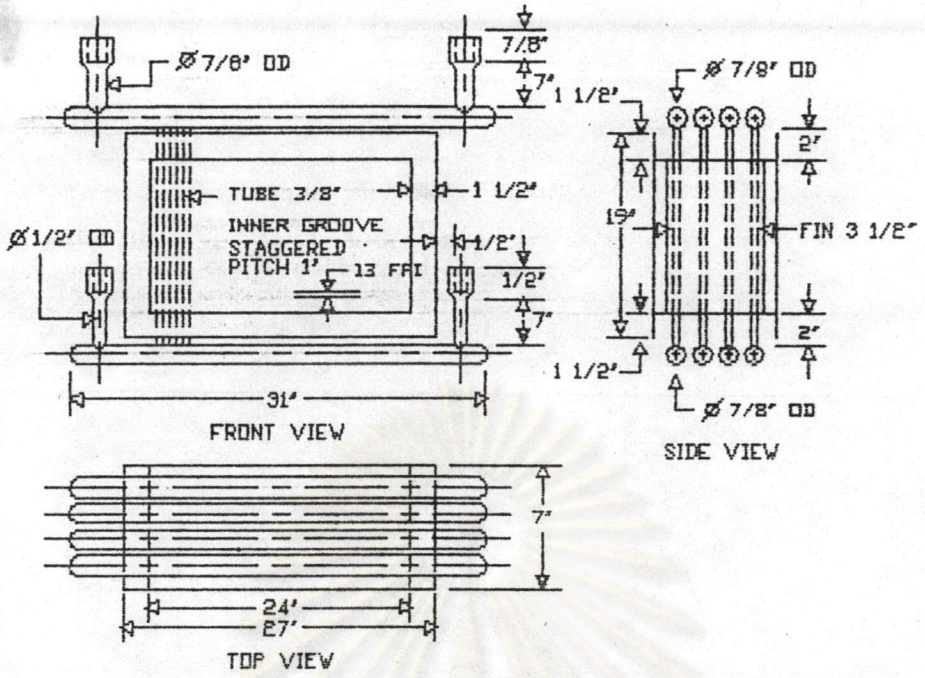
5. ความเร็วของลมร้อนและลมเย็นภายในท่อสูงสุด 8 ม/วินาที

6. ความสอดคล้องกับชุดทดสอบสมรรถนะที่มีอยู่เดิมแล้ว (ปรีชา กอบ-เกื้อชัยพงษ์,2533)

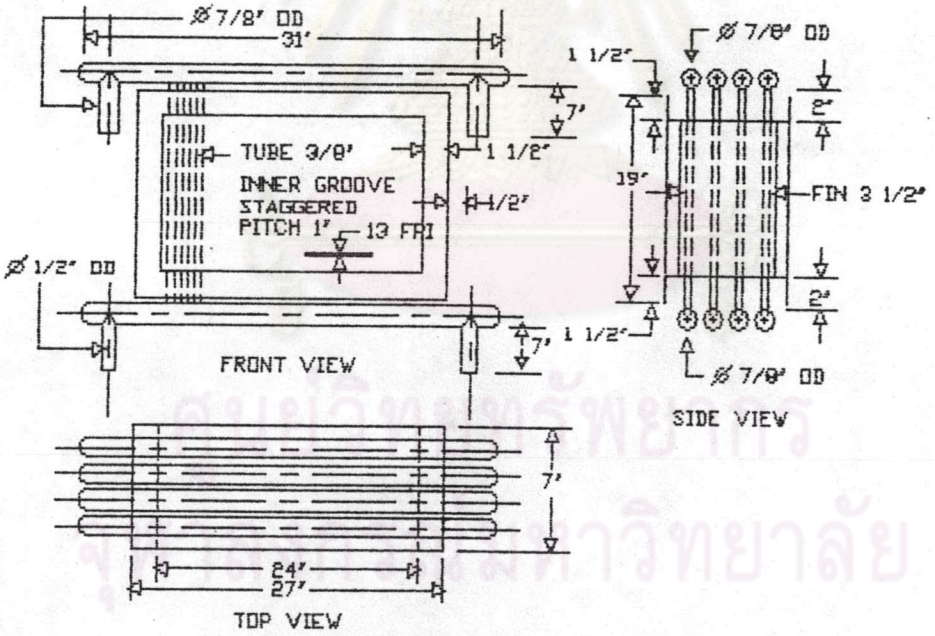
คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น แต่ละคอยล์จะประกอบด้วยท่อเทอร์โมไซ-ฟอน วางเรียงกัน 4 แถว ซึ่งแต่ละแถวจะมีจำนวนท่อ 24 ท่อ มีท่อรวม(header) ของไออยู่ด้านบน และท่อรวมของเหลวควบแน่นอยู่ด้านล่าง ติดครีบอลูมิเนียมจำนวน 13 ครีบ/นิ้ว ความยาวท่อประสิทธิผล 40 ซม. มีโครงประกอบ (frame) ยึด ลักษณะโดยทั่วไปของคอยล์ระเหย และคอยล์ควบแน่น เหมือนกันจะแตกต่างที่การหันท่อต่อเฮดเดอร์ไม่เหมือนกันดังรูปที่ 3.2

การสร้างคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นที่ออกแบบขึ้นนั้น ทำที่บริษัท ยูนิ-แฟ็บอิควิปเม้นต์ จำกัด (UNIFAB EQUIBMENT Co.)

รูปที่ 3.3 แสดงภาพถ่ายของ คอยล์ระเหย(a) และคอยล์ควบแน่น(b) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

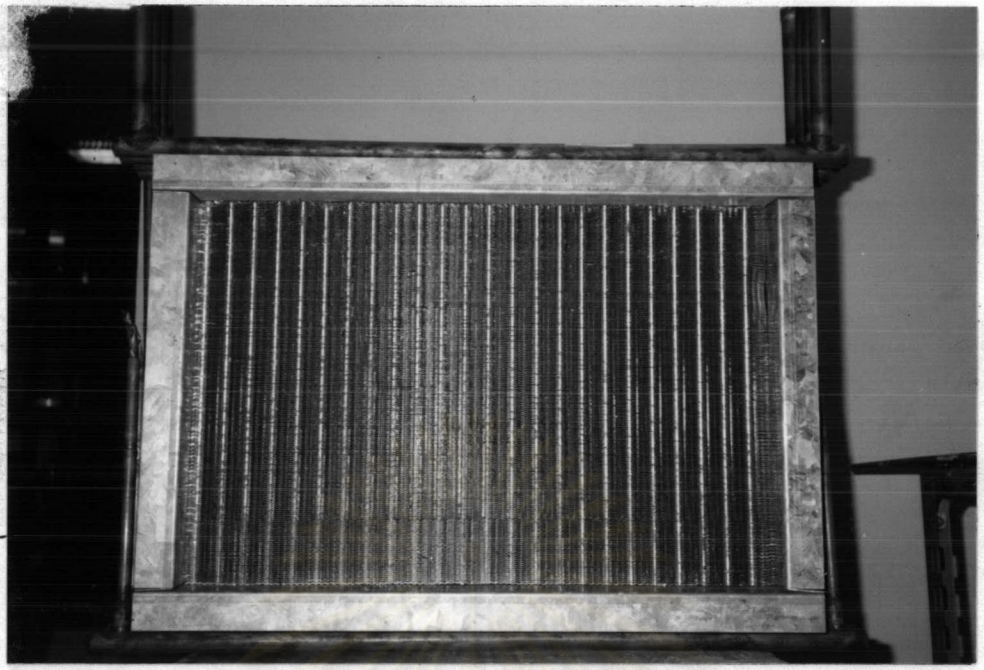


a) คอยล์ระเหย (Evaporator Coil)

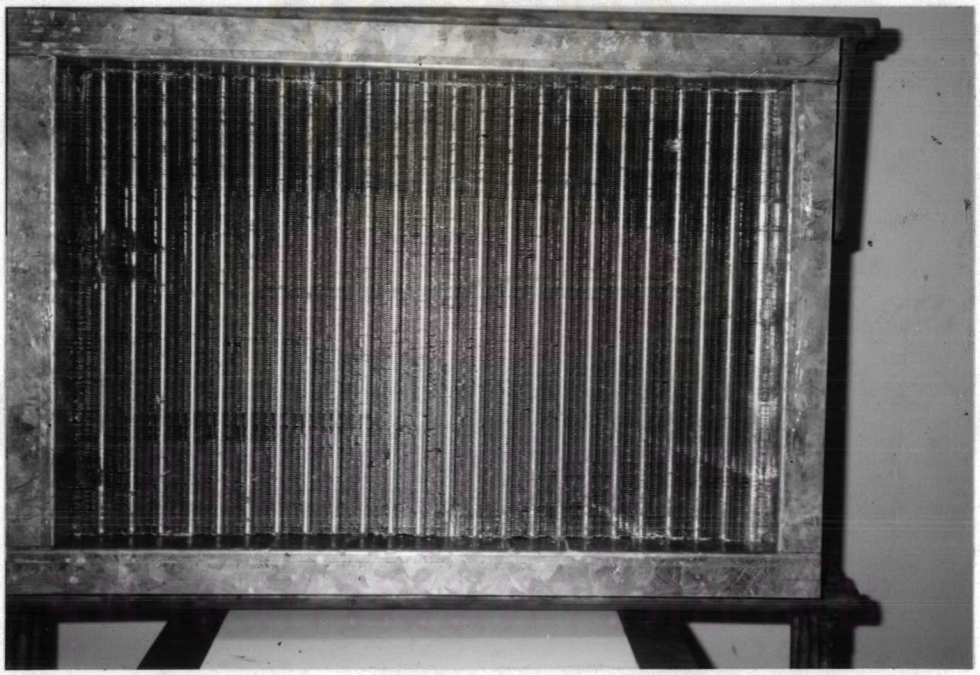


b) คอยล์ควบแน่น (Condenser Coil)

รูปที่ 3.2 แบบของคอยล์ระเหย (a) และคอยล์ควบแน่น (b)



a) คอยล์ระเหย (Evaporator Coil)



b) คอยล์ควบแน่น (Condenser Coil)

รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายของ คอยล์ระเหย (Evaporator coil , a) และ คอยล์ควบแน่น (Condenser coil , b)

2. ท่อต่อระหว่างเฮดเดอร์คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น

ในการประกอบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นแบบแยกส่วน จำเป็นที่จะต้องต่อคอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่นเข้าด้วยกัน ท่อที่ต่อระหว่างคอยล์นี้จะเป็นส่วนที่ไม่ได้รับหรือคายความร้อน (adaibatic section) โดยจะหุ้มฉนวนกันความร้อนตลอดแนวท่อ ท่อที่ใช้มี 2 ขนาด ดังนี้

2.1 ท่อต่อระหว่างเฮดเดอร์ ของไอเป็นท่อทองแดง ขนาด 7/8 นิ้ว

2.2 ท่อต่อระหว่างเฮดเดอร์ ของของเหลวควบแน่นเป็นท่อทองแดงขนาด 1/2 นิ้ว

3. วาล์วเติมของไหลใช้งาน

เพื่อความสะดวกต่อการปรับเปลี่ยน ปริมาณบรรจุของไหลใช้งานในระหว่างการวิจัย จะไม่เลือกใช้วิธีการบีบแล้วปิดเชื่อมท่อเติม แต่ได้เลือกการใส่วาล์วแทน โดยวาล์วหรือปะเก็นของวาล์วที่เลือกใช้จะต้องไม่ทำปฏิกริยากับของไหลใช้งาน

4. ของไหลใช้งาน

ของไหลใช้งานที่ใช้ในการสร้างครั้งนี้คือ ฟรีออน-22 เนื่องฟรีออน-22 มีคุณสมบัติชอบดูดความชื้น ซึ่งทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป ดังนั้นก่อนที่จะเติมเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำต้องมีการกำจัดความชื้นเสียก่อน ซึ่งรายละเอียดดังจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน มีอยู่ในหัวข้อ 3.1.9

3.1.4 การทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ

จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆก่อนที่จะนำไปใช้งานเพื่อไม่ให้เกิดสิ่งสกปรก (Fouling) ซึ่งจะเป็นตัวต้านทานในการถ่ายเทความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง การทำความสะอาดแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1.4.1 การทำความสะอาดของไหลใช้งาน

ของไหลใช้งานที่ใช้คือ ฟรีออน-22 โดยทั่วไปถ้านำมาจากบริษัทผู้ขายโดยตรงโดยที่ไม่ได้ถ่ายไปมาระหว่างถังบรรจุ จะไม่มีปัญหาในเรื่องความสะอาด แต่ในทางปฏิบัติส่วนใหญ่จำเป็นที่จะต้องถ่ายจากถังใหญ่สู่ถังเล็ก จึงมีปัญหาเรื่องความชื้น เนื่องจาก ฟรีออน-22 เป็นสารที่ชอบดูดความชื้น ดั้งนั้นจึงจำเป็นที่ต้องกำจัดความชื้นออกก่อนที่จะนำไปเติมเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยให้ ฟรีออน-22 ไหลผ่านตัวดูดความชื้น (Filter Dryer) ซึ่งภายในบรรจุสารดูดความชื้น (Siliga gel) ขั้นตอนในการปฏิบัติอยู่ในข้อ 3.1.7

3.1.4.2 การทำความสะอาดส่วนประกอบที่เป็นโลหะ

การทำความสะอาดส่วนประกอบที่เป็นโลหะมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะกำจัดพวก ไขมัน น้ำมัน และเศษโลหะออก ส่วนประกอบที่ต้องทำความสะอาด มีดังนี้

1. คอยล์ระเหยและคอยล์ควบแน่น เนื่องจากการสร้างคอยล์ได้ทำขึ้นที่บริษัท ซึ่งทางบริษัทได้ทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆมาอย่างเรียบร้อยแล้วดังจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 4 ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องทำความสะอาดอีก แต่มีข้อควรระวังคือ 1. การตัดท่อต่อเฮดเดอร์เพื่อที่จะต่อเฮด

เดอร์ระหว่างคอยล์ระเหยกับคอยล์ควบแน่น ต้องพยายามตัดโดยไม่ให้เศษโลหะเข้าไปในคอยล์ 2. เมื่อทำการตัดท่อต่อเฮดเดอร์แล้วต้องรีบประกอบทันทีเพราะตอนที่สร้างคอยล์ที่บริษัท ทางบริษัทได้ทำการล้างและอัดกาซไนโตรเจนเพื่อทดสอบแรงดัน (ความแข็งแกร่ง) และไม่ต้องการให้เกิดคราบออกไซด์

วิธีทำความสะอาดใหม่อีกครั้ง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เมื่อตัดท่อต่อท่อเฮดเดอร์แล้วใช้จุกแก้วปิดท่อต่อท่อเฮดเดอร์ ที่ตัดด้านล่าง

2. เติมสารละลายอะซีโทนประมาณ 500 ลบ.ซม. ต่อแถว

3. ปิดท่อต่อเฮดเดอร์ด้านบนให้หมด

4. เขย่าคอยล์ ไป-มา 10 นาที แล้วเทเอาสารละลายอะซีโทน ออก

5. เริ่มทำตั้งแต่ข้อ 1 ใหม่ อีก 2 ครั้ง

6. เป่าด้วยกาซไนโตรเจนเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อระเหยไล่สารละลายอะซีโทนระเหยออกจนหมด และเป่าไล่พวกเศษโลหะที่ค้างอยู่ออกให้หมด

2. ท่อต่อระหว่างเฮดเดอร์คอยล์ระเหย และคอยล์ควบแน่น ท่อส่วนใหญ่ที่ซื้อมาจากบริษัทจะผ่านการทำความสะอาด และจะมีจุกปิดหัวท้ายของท่อทองแดงมา แต่เพื่อความมั่นใจ ก่อนที่จะนำมาใช้ได้ทำความสะอาดอีกครั้ง โดยล้างด้วยสารละลายอะซีโทนแล้วเป่าด้วยกาซไนโตรเจนให้แห้ง

3.1.5 ขั้นตอนการประกอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูปเทอร์โมไซฟอน

หลังจากที่ได้ทำความสะอาดส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน แล้วควรที่จะรีบนำส่วนประกอบต่างๆ มาประกอบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทันที โดยทั่วไปรูปแบบหลักของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีอยู่ สอง แบบ คือ ชนิดแบบชุดเดียว และ แบบ

แยกส่วน การศึกษาครั้งนี้จะเน้นเฉพาะแบบแยกส่วน ซึ่งจะต้องประกอบ ณ สถานที่ที่ต้องการติดตั้ง ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแบบแยกส่วน จะติดตั้งคอยล์ควบแน่นที่ท่อลมเย็น และคอยล์ระเหยที่ท่อลมร้อน แล้วต่อท่อถึงกันระหว่างท่อเฮดเดอร์ของคอยล์ระเหย และคอยล์ควบแน่น จำนวน 8 ท่อ แล้วติดวาล์วเติมของไหลใช้งานที่ท่อต่อน่ำของเหลวควบแน่นจำนวน 4 ตัว ตัวละแถว รูปที่ 3.4 แสดงภาพถ่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่ประกอบเสร็จและพร้อมที่จะทดสอบสมรรถนะ

ในการต่อท่อถึงกันของเฮดเดอร์ การติดตั้งวาล์วนี้จะใช้วิธีการเชื่อมเงินซึ่งเป็นจุดที่สำคัญมาก เพราะถ้าการเชื่อมไม่ดี จะทำให้เกิดการรั่วขึ้น การต่อท่อใช้การต่อแบบวางเหลื่อมกันแล้วเชื่อมด้วยความร้อนที่ได้จาก กาซอะเซทีลีน (Acetylene) กับกาซออกซิเจน (Oxygen) ใช้เงิน 20-30 % เป็นตัวประสาน โดยไม่ใช้น้ำยาประสานช่วยในการเชื่อม เพราะการใช้น้ำยาประสานช่วยในการเชื่อมจะเกิดการรั่วได้ง่าย กรรมวิธีในการเชื่อมมีดังนี้

1. ทำความสะอาดบริเวณที่จะเชื่อมให้เรียบร้อย แล้วน่าท่อทองแดงมาต่อกันแบบเหลื่อม

2. ถ้าเป็นไปได้ ปล่อยกาซไนโตรเจนเข้าไปในท่อที่จะเชื่อมเล็กน้อยซึ่งจะช่วยให้บริเวณรอยเชื่อมไม่เกิดคราบออกไซด์

3. ใช้ไฟที่ได้จาก หัวเชื่อมซึ่งใช้กาซอะเซทีลีน กับ ออกซิเจน ลนบริเวณที่จะเชื่อมจนท่อร้อนแดง

4. จี้ลวดเชื่อมเงินไปที่รอยเชื่อม ลวดเชื่อมจะละลายเป็นของเหลว วิ่งรอบตามรอยเชื่อม ปล่อยให้เย็นจนรอยเชื่อมปิดสนิท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่ประกอบเสร็จและพร้อมทดสอบสมรรถนะ

3.1.6 การตรวจสอบรอยรั่วของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์ -ลูป เทอร์โมไซฟอน

หลังจากที่ได้ประกอบส่วนต่างๆเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว จำเป็นอย่างมากที่ต้องทำการตรวจสอบการรั่วของทุกแถวของ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะถ้าแถวใดแถวหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนรั่ว ก็จะทำให้แถวนั้นไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง หรือถ้าเกิดรั่วทุกแถว เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเครื่องนั้นก็ไม่สามารถทำงานได้เลย ดังนั้นการตรวจสอบรอยรั่วจึงเป็นสิ่งจำเป็น การตรวจสอบรอยรั่วที่ใช้ปฏิบัติกันอยู่มี 2 วิธี คือ

1. ดึงสุญญากาศภายในเครื่อง แล้วปิดระบบปล่อยทิ้งไว้ 24 ชม. ถ้าเกจ์วัดความดันไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่าไม่รั่ว แต่ในทางปฏิบัติไม่นิยมทำ เพราะถ้าเกิดมีการรั่ว จะไม่สามารถรู้ได้ว่ารั่วที่จุดไหน จำเป็นที่ต้องใช้วิธีที่ 2 ในการค้นหารอยรั่วต่อไป

2. อัดความดันเข้าไปในระบบโดยใช้กาซไนโตรเจน การอัดความดันจะทำ 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 อัดความดันที่ 50 Psig แล้วตรวจสอบรอยรั่วโดยใช้น้ำสบู่ (soap) ชโลมไปตามจุดทุกจุดที่มีโอกาสจะเกิดรอยรั่ว ถ้ารอยสบู่มีฟองปุดขึ้นก็แสดงว่ารั่ว แต่ถ้าไม่มีฟองก็แสดงว่าไม่รั่วหรือไม่รั่วที่ความดันนี้

2.2 เพิ่มความดันที่ 150 Psig แล้วตรวจสอบรอยรั่วอีกครั้งตามกรรมวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.3 เพิ่มความดันที่ 250 Psig ตรวจสอบรอยรั่วขั้นสุดท้าย ถ้าไม่พบ ก็แสดงระบบจะไม่มีการรั่วในขณะใช้งาน

เพื่อความแน่ใจ ควรปล่อยระบบขณะที่อัดความดันไว้ ทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วดูความดันว่าลดลงหรือไม่ ถ้าความดันลดลง แสดงว่าระบบมีการรั่วในจุดที่ยังหารอยรั่วไม่พบ

อนึ่ง ในการใช้น้ำสบู่ตรวจหารอยรั่ว ต้องพิจารณาการเกิดฟองให้ดี ในกรณีที่รูรั่วเล็กมาก (ตามด) ฟองที่เห็นจะเล็กละเอียดนิดเดียว การตรวจหาจึงต้องระวังเป็นพิเศษ และสาเหตุที่ต้องค่อยๆเพิ่มความดันแล้วตรวจหารอยรั่วเพราะถ้าเพิ่มความดันสูงสุดเลย ในกรณีที่มีรอยต่อเชื่อมที่ไม่ดีพอ อาจทำให้รอยต่อนั้นเกิดการหลุดออกอย่างรุนแรงหรือระเบิด ซึ่งอาจเป็นอันตรายได้

3.1.7 การทำสุญญากาศและการเติมของไหลใช้งาน

หลังจากที่ตรวจสอบการรั่วและแน่ใจว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างไม่รั่ว ขั้นต่อไปจะต้องทำสุญญากาศภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังชุดการทำสุญญากาศและเติมของไหลใช้งาน

3.1.7.1 การทำสุญญากาศ

การทำสุญญากาศ จนไม่มีอากาศหลงเหลืออยู่ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของเครื่องให้มากขึ้น เพราะถ้ามีอากาศหลงเหลืออยู่ อากาศส่วนนี้ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า ฟรีออน-22 (ประมาณ 3 เท่า) จะไปสะสมอยู่ที่ส่วนบนของคอยล์ควบแน่น โดยเป็นกาซไม่ควบแน่น จึงทำให้พื้นที่เชิงประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อนลดลงและทำให้อุณหภูมิที่ฟรีออนควบแน่นนั้นสูงขึ้น ดังนั้นประสิทธิภาพจึงลดลง ปัญหาอีกประการหนึ่งคือ อากาศที่ค้างอยู่ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมักมีความชื้น (ไอน้ำ) อยู่ด้วย ซึ่งอาจทำปฏิกริยากับ ฟรีออน-22 ทำให้คุณสมบัติของ ฟรีออน-22 เปลี่ยนไป หรืออาจเปลี่ยนสภาพเป็นกรดเล็กน้อย ทำให้เกิดการกัดกร่อนท่อได้ หรือเกิดกาซไม่ควบแน่นเพิ่มขึ้น

การทำสุญญากาศ จึงจำเป็นต้องเน้นการทำให้ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นสุญญากาศได้มากที่สุด การเลือกเครื่องทำสุญญากาศที่มีขนาดโตพอจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณา เครื่องทำสุญญากาศ ที่มีให้เลือกใช้มี 2 ชนิด คือ

1. ปั๊มสุญญากาศแบบธรรมดา (Rotary-pistan pump) ซึ่งสามารถที่จะทำสุญญากาศได้ 74-50 ทอร์ ในการใช้งานควรต้องใช้เวลาในการทำสุญญากาศ ให้นานพอ มีข้อดีคือ ราคาถูก หาซื้อง่าย

2. ปั๊มสุญญากาศแบบประสิทธิภาพสูง (Rotary vane pump) เป็นปั๊มสุญญากาศที่สามารถทำสุญญากาศได้ต่ำกว่า 23 ทอร์ ที่ความดัน 26 ทอร์ น้ำจะเดือดที่อุณหภูมิ 26.7 °ซ ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่าความชื้นภายในระบบจะเหลือน้อยมาก แต่ราคาแพง

ขั้นตอนการทำสุญญากาศมีดังนี้ (ดูรูปที่ 3.5)

1. เปิดวาล์ว V1, V2, V3, V4, V5, V6, V8, V10, V11 ปิดวาล์ว V7, V9, V12, V13

2. เติมน้ำแข็งแห้ง ที่ผสมกับ อะซีโทน (Dry ice+Acetone) ที่ชุดกับดักความเย็น (cold trap)

3. เริ่มเดินเครื่องทำสุญญากาศ รอจนความดันด้านต่ำ (LP) ลดลงเหลือ ประมาณ 36 ทอร์ (น้ำเดือดที่ 32 °C)

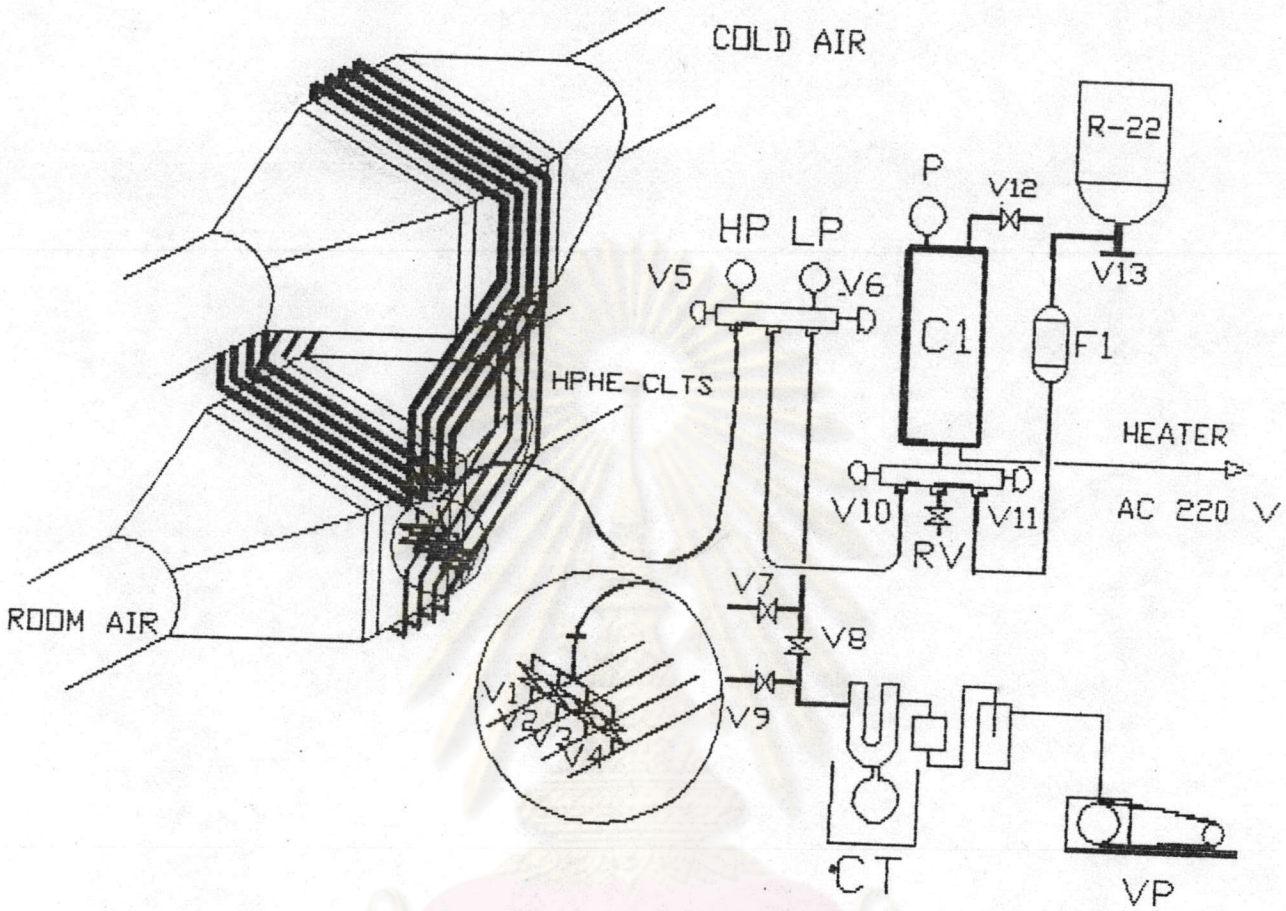
4. ปิดวาล์ว V8 เปิดวาล์ว V9 หยุดเดินเครื่องทำสุญญากาศ (VP)

5. หงายถังบรรจุน้ำยา (R-22) เปิดวาล์ว V13 ให้น้ำยาสถานะกาซไหลเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ปิดวาล์ว V13 แล้วปล่อยทิ้งไว้ 1 ชม.

6. ค่อยๆเปิดวาล์ว V7 ปล่อยให้กาซ ฟรีออน-22 ออกจากระบบ ซึ่งจะช่วยดันเอาอากาศที่ค้างอยู่ภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ออกมาได้บางส่วน นอกจากนี้ ฟรีออน-22จะรวมตัวกับความชื้น แล้วปล่อยทิ้งออกมาปล่อยออกจนกระทั่งความดันลดลงเหลือประมาณ 1.5 บรรยากาศ ปิดวาล์ว V7

7. ปิดวาล์ว V9 เปิดวาล์ว V8 เริ่มทำตั้งแต่ข้อ 3 ใหม่ โดยทำซ้ำอีก 2 ครั้ง ซึ่งจะช่วยไล่อากาศออกได้หมด

8. เมื่อทำระบบสุญญากาศสมบูรณ์แล้วปิดวาล์ว V6



HPHE-CLTS : เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

V : วาล์วต่างๆ

C1 : กระบอกเติมน้ำยา

HP : ความดันด้านสูง

P : เกจ์วัดความดัน

LP : ความดันด้านต่ำ

VP : ปั๊มสุญญากาศ

RV : วาล์วระบายความดัน

F1 : ตัวดูดความชื้น

CT : ชุดกับดักเย็น

R-22 : น้ำยาฟรีออน-22

ROOM AIR : อากาศร้อน

COLD AIR : อากาศเย็น

รูปที่ 3.5 แผนผังชุดทำสุญญากาศและเติมของไหลใช้งาน

3.1.7.2 การเติมของไหลใช้งาน

หลังจากที่ได้ทำสุญญากาศภายในระบบเรียบร้อยแล้วขั้นต่อไป คือเติมของไหลใช้งานเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ปริมาณของของไหลใช้งานที่เติมเข้าไปจะต้องแน่นอน เพื่อคงประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากของไหลใช้งานในที่นี้คือ ฟรีออน-22 ซึ่งมีจุดเดือดที่ -40.8 °ซ ดังนั้น ที่สภาวะขณะเติมจะอยู่ในสภาพที่เป็นไอ แต่การเติมในสภาพที่เป็นไอทำได้ลำบาก จึงต้องการเติมในสภาพของเหลว ซึ่งทำให้สะดวกต่อการวัดปริมาตรของของไหลใช้งานที่แน่นอน รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังชุดเติมของไหลใช้งาน (R-22)

ขั้นตอนในการเติมของไหลใช้งาน หลังจากที่ได้ทำสุญญากาศภายในระบบแล้ว แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ (ดูรูปที่ 3.5 ประกอบ)

1. ขั้นตอนการเติมของไหลใช้งานจากถังเก็บ เข้ากระบอกเติมน้ำยา (Cylinder charge)

1.1 คว่ำถังเก็บน้ำยา (R-22) ให้ของเหลวอยู่ด้านล่าง (ทางออก)

1.2 เปิดวาล์ว V13 ของถังเก็บของไหลใช้งาน

1.3 เปิดวาล์ว V11 เพื่อให้ของไหลใช้งานจากถังเก็บไหลเข้ากระบอกเติมน้ำยา (C1) โดยผ่านตัวดูดความชื้น (F1) และไหลไปตามสายเติมจนถึงวาล์ว V1,V2,V3,V4 รอจนกระทั่งได้ปริมาณของไหลใช้งาน ตามที่ต้องการ แต่ถ้าในกรณีที่ไม่สามารถเติมของไหลใช้งานจากถังเก็บเข้ากระบอกเติมน้ำยาได้อีก เนื่องจากความดันภายในกระบอกเติมน้ำยาสูง ให้ลดความดันโดยค่อยๆ เปิดวาล์ว V12 ความดันจะค่อยๆ ลดลง ดังนั้นของไหลใช้งานจากถังเก็บจึงไหลเข้ากระบอกเติมน้ำยาได้

1.4 เมื่อได้ปริมาตรของไหลใช้งานที่ต้องการแล้วปิดวาล์ว V11

2. ขั้นตอน การเติมของไหลใช้งาน เข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (ระบบ)

หลังจากได้ของไหลใช้งาน (ฟรีออนเหลว) อยู่ในกระบอกเติมน้ำยาแล้วก็พร้อมที่จะเติมของไหลใช้งานเข้าในระบบโดยจะเติมทีละแถว ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.5 ประกอบ)

2.1 เสียบปลั๊กฮีทเตอร์ของกระบอกเติมน้ำยา เพื่อเพิ่มความดันภายในกระบอกเติมน้ำยาให้มากกว่าความดันของไอของของไหลใช้งาน (ที่ 32 °C ความดันไอ 11.8 บาร์) โดยให้เพิ่มมาที่ 13 บาร์ สาเหตุที่ต้องเพิ่มความดันภายในกระบอกเติมน้ำยาเพราะในการเติมของไหลใช้งาน ถ้าความดันภายในระบบ (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน) เท่ากับความดันภายในกระบอกเติมน้ำยา ของไหลใช้งานจากกระบอกเติมน้ำยาจะไม่สามารถไหลเข้าในระบบได้ (หรือไหลได้น้อยโดยจากแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างเดียว) ดั้งนั้นจึงแก้ปัญหานี้โดยเพิ่มความดันภายในกระบอกเติมน้ำยาให้สูงกว่าระบบเล็กน้อย เข้าในระบบได้ อนึ่งการคำนวนหาปริมาณของของไหลใช้งาน คุณสมบัติต่างๆ ต้องคิดที่ความดันภายในกระบอกเติมน้ำยาขณะกำลังเติม

2.2 เริ่มบันทึกปริมาตรเริ่มต้นโดยดูจากสเกลที่กระบอกเติมน้ำยา

2.3 ค่อยๆ เปิดวาล์ว V1 ให้ของไหลใช้งานจากกระบอกเติมน้ำยาไหลเข้าระบบ โดยที่ยังคงรักษาความดันให้คงที่ (ดูที่ HP)

2.4 รอจนกระทั่งได้ปริมาณตามที่ต้องการ ปิดวาล์ว V1

2.5 ถ้าปริมาณของไหลใช้งานภายในกระบอกเติมน้ำยามีเหลือพอที่จะเติมในแถวต่อไป ก็ให้เริ่มทำตั้งแต่ข้อ 2 โดยเปลี่ยนเป็นแถวต่อไป แต่ถ้าปริมาณของไหลใช้งานภายในกระบอกเติมน้ำยาเหลือไม่พอที่จะเติมในแถวต่อไปให้ถอดปลั๊กฮีทเตอร์ออก

2.6 ลดความดันภายในกระบอกเติมน้ำยาโดยเปิดวาล์ว V12 จนกระทั่งความดันลดลงมาปรกติ

2.7 เริ่มขั้นตอนการเติมของไหลใช้งาน จากถังเก็บเข้ากระบอกเติมน้ำยา ข้อ 1.1 ใหม่ แล้วเติมของไหลใช้งานจนครบ 4 แถว

3.1.8 การปิดผนึกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

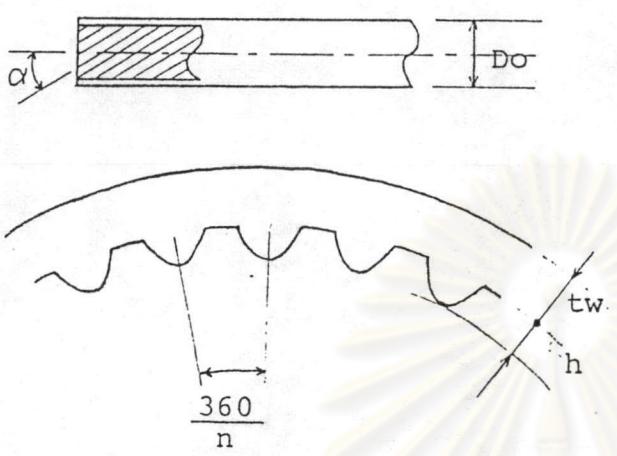
เมื่อเติมของไหลใช้งานเสร็จแล้ว จำเป็นต้องปิดผนึก ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน การปิดผนึกในการวิจัยนี้ จะไม่เลือกใช้วิธีปิดผนึกแบบบีบปลายท่อแล้วเชื่อมปิดสนิท เพราะวิธีนี้ไม่เหมาะกับกรณีที่มีการเติมของไหลใช้งานหลายครั้ง ซึ่งต้องตัดท่อและเชื่อมปิดใหม่ทุกครั้งแม้ว่าจะมีข้อดีคือระบบจะไม่เกิดปัญหาในเรื่องของการรั่ว เพื่อความสะดวกในการเติมของไหลใช้งานหลายครั้ง จึงใช้การติดวาล์วสำหรับเติมของไหลใช้งาน วาล์วที่ใช้จะต้องเป็นวาล์วที่ไม่มีส่วนใดๆทำปฏิกริยากับของไหลใช้งาน รวมทั้งปะเก็นของวาล์วด้วย (ของไหลใช้งานบางชนิดเมื่อถูกกับปะเก็นของวาล์วทำให้ปะเก็นของวาล์วบวมและเสียรูป ซึ่งอาจทำให้ระบบรั่วได้) ในที่นี้เลือกใช้วาล์วของระบบปรับอากาศ ซึ่งเป็นวาล์วที่ไม่ทำปฏิกิยากับของไหลใช้งานที่เลือกใช้ (R-22)

ตำแหน่งที่ติดตั้งวาล์วคือที่ท่อน่าของเหลวควบแน่นกลับไปยังช่วงการระเหย เพราะช่วยลดปัญหาการรั่วได้เนื่องจากในท่อนี้จะมีความดันไอน้อยกว่าท่อน่าของไอในขณะที่ใช้งาน ดังนั้นโอกาศที่จะเกิดการรั่วจึงน้อยลง อีกทั้งยังใช้วาล์วขนาดลดลงได้ เนื่องจากท่อท่อน่าของเหลวควบแน่นกลับไปยังช่วงการระเหยเป็นท่อขนาดเล็ก นั่นหมายถึงราคาต้นทุนลดลงนั่นด้วย

3.1.9 รายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์-โมไซฟอน ที่สร้าง

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน ที่สร้างและทดสอบสมรรถนะ ประกอบด้วยคอยล์ 2 ชุด คือ คอยล์ระเหย กับ คอยล์ควบแน่น ซึ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัด 60x40 ซม^2 ในแต่ละคอยล์ประกอบด้วยท่อฮีทไปป์แบบ เทอร์โมไซฟอน ซึ่งทำจากท่อทองแดงชนิดมีร่องเกลียวอยู่ภายใน ขนาด 3/8 นิ้ว (รายละเอียดมีแสดงในตารางที่ 3.2) จำนวน 4 แถว ในแต่ละแถวจะมีท่อเทอร์โมไซฟอนวางเรียงกันเป็นแบบเหลื่อมกัน (staggered) ซึ่งมีระยะห่าง (pitch) 2.54x2.54 ซม. จำนวน 24 ท่อ ติดครีบอลูมิเนียม แบบรูปคลื่น (wavy) โดยมีความถี่ 13 ครีบ/นิ้วความยาวท่อ ในแต่ละแถวมีท่อรวม (header) ซึ่งเป็นท่อทองแดงแข็งไม่มีเกลียวด้านใน ขนาด 7/8 นิ้ว อยู่ 2 ด้าน คือ ด้านบนเป็นท่อรวมของไอ และด้านล่างเป็นท่อรวมของของเหลวควบแน่นของของไหลใช้งาน โครงกรอบยึด (frame) ของคอยล์ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี ซึ่งมีขอบเพื่อใช้เจาะรูสำหรับยึดกับหน้าแปลน กว้าง 1 1/2 นิ้ว เจาะรูสำหรับใส่น็อตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว ระยะห่างทุก 4 นิ้ว รายละเอียดมีแสดงในตารางที่ 3.3

ท่อรวมของไอระหว่างคอยล์ระเหยกับคอยล์ควบแน่น ต่อถึงกันโดยใช้ท่อทองแดงแข็งไม่มีเกลียวด้านในขนาด 7/8 นิ้ว หุ้มฉนวนความร้อน (Insulation) หนา 1/2 นิ้ว ส่วนท่อรวมของของเหลวควบแน่นระหว่างคอยล์ระเหยกับคอยล์ควบแน่น ต่อถึงกันโดยใช้ท่อทองแดงขนาด 1/2" หุ้มฉนวน หนา 1/2" ติดวาล์วสำหรับเติมของไหลใช้งาน ที่ท่อต่อถึงกันของท่อรวมของของเหลวควบแน่นบริเวณโดยรอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะหุ้มด้วยฉนวนความร้อน ทั้งหมด



Do : Outside Diameter

α : Lead Angle

t : Average Wall Thickness

tw : Bottom Wall Thickness

h : Groove Depth

n : Number of Groove

รูปที่ 3.6 ลักษณะของท่อชนิดมีร่องเกลียวภายใน

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของท่อเทอร์โมไซฟอน

ความยาวประสิทธิผล (มิลลิเมตร)	400
เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (Do, มิลลิเมตร)	9.52
ความหนาของผนังโดยเฉลี่ย (t, มิลลิเมตร)	0.41
ความลึกของร่อง (h, groove) (มิลลิเมตร)	0.25
มุมเอียงของร่อง (α, องศา)	25

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์-โมไซฟอน ที่สร้าง

จำนวนคอยล์ต่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	2
จำนวนแถวในแต่ละคอยล์	4
จำนวนท่อเทอร์โมไซฟอนในแต่ละแถว	24
จำนวนท่อเทอร์โมไซฟอนทั้งหมดในแต่ละคอยล์	96
จำนวนท่อเฮดเดอร์ในแต่ละแถว	2
จำนวนท่อเฮดเดอร์ทั้งหมดในแต่ละคอยล์	8
การวางเรียงท่อเทอร์โมไซฟอน	เหลื่อมกัน
ระยะห่างระหว่างแกนกลาง (เซนติเมตร)	
แนวยาว	2.54
แนวขวาง	2.54
ความยาวประสิทธิผลของเทอร์โมไซฟอน (เซนติเมตร)	
คอยล์ควบแน่น	40
คอยล์ระเหย	40
ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตารางเซนติเมตร)	
คอยล์ควบแน่น	60x40
คอยล์ระเหย	60x40
ความถี่ของการติดครีบอลูมิเนี่ยม (ครีบ/นิ้วความยาวท่อ)	13
ของไหลใช้งาน	R-22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วิธีการในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

แนวทางในการกำหนดเงื่อนไขมาตรฐาน ของวิธีการทดสอบสมรรถนะ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศ ได้ยึดแนวทางวิธีมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างอากาศกับอากาศ ของสมาคม ASHRAE ของอเมริกา (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditional Engineering) (ASHRAE STANDARD, 1978) ซึ่งเป็นสมาคมที่ทำหน้าที่ศึกษากำหนดมาตรฐานให้กับ สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของอเมริกา (ANSI)

3.2.1 เงื่อนไขมาตรฐานของการทดสอบสมรรถนะที่ใช้ในการวิจัยนี้

1. ปริมาตรของไหลใช้งาน (R-22) ที่เติมเท่ากับ 89% ของปริมาตรประสิทธิผลของคอยล์ระเหย

2. กำหนดให้อัตราการไหลสูงสุดของลมร้อนและลมเย็นภายในท่อ 2.26 ลบ.ม./วินาที (ความเร็ว 8 เมตร/วินาที)

3. ทดลองหาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ อัตราการไหลสูงสุด และที่ 75% , 50% , 25% ของอัตราการไหลสูงสุด

4. ทดลองหาสมรรถนะที่อัตราส่วนของอัตราการไหลสูงสุด/อัตราการไหลจริง (w_{max} / w_{min}) จากอัตราส่วน 1 ถึง 2 โดยเพิ่มทีละ 0.25

5. การทดลองเป็นระบบการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเข้าของลมร้อน-ลมเย็น คงที่ที่ 12 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนได้ + 1.5 องศาเซลเซียส

6. ในการทดสอบจะไม่มีการเกิดการควบแน่นของไอน้ำ (ในลมร้อน) และไม่เกิดการรั่วในบริเวณที่มีการถ่ายเทความร้อน

7. ลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างระบบการทดลองกับระบบภายนอกให้เหลือน้อยที่สุดโดยการหุ้มฉนวนความร้อนอย่างเพียงพอ

3.2.2 ชุดทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน

ชุดทดสอบสมรรถนะที่ใช้ในการทดสอบมีแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ

1. ระบบท่อลมร้อน , ท่อลมเย็น และแหล่งกำเนิดลมร้อนและลมเย็น

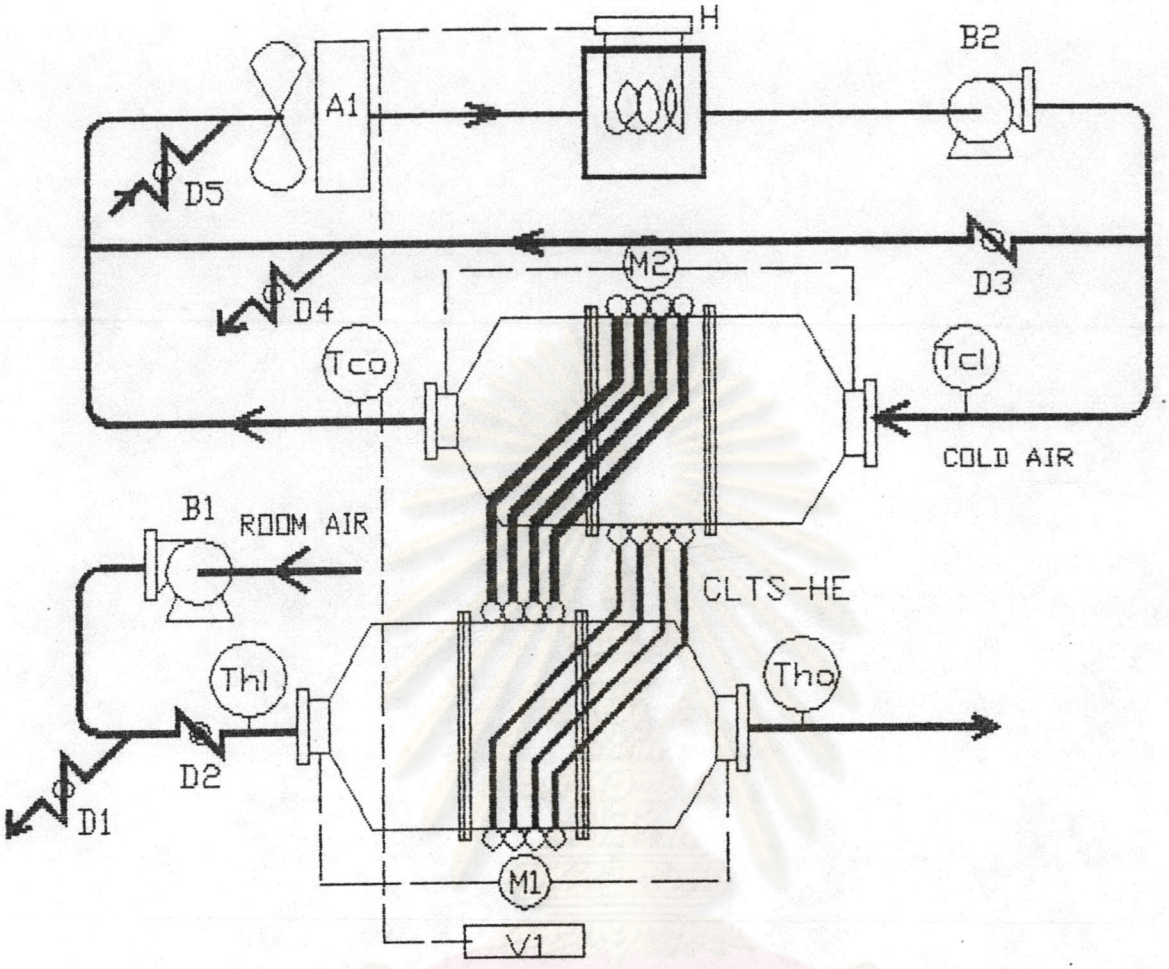
ท่อลมร้อน และท่อลมเย็น ใช้ท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ซม. ท่อลมทิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 ซม. มีวาล์วผีเสื้อเป็นตัวควบคุมความเร็วลม ระบบท่อทั้งหมดจะหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน(micro-fiber) หนา 1 นิ้ว การหมุนเวียนของลมร้อนใช้พัดลมชนิดหอยโข่ง (centrifugal fan) ติดมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 8 แรงม้า การหมุนเวียนของลมเย็นก็ใช้พัดลมชนิดเดียวกันแต่มีกำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า เนื่องจากท่อลมเย็นเป็นท่อที่ยาวและไหลเป็นวงปิดจึงมีความดันลดมาก ดังนั้นจึงต้องใช้กำลังขับเคลื่อนลมมากขึ้น ลมร้อนใช้ลมที่อุณหภูมิห้อง ส่วนลมเย็นใช้ลมที่ได้จากระบบผลิตลมเย็นซึ่งมีความสามารถเท่ากับระบบปรับอากาศขนาด 36000 Btu/hr สามารถผลิตลมเย็นอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหลของลม 2.26 ลบ.ม./วินาที นอกจากนี้ใช้ฮีทเตอร์ขนาด 4500 วัตต์ ช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของลมเย็น โดยใช้ Variac เป็นตัวปรับแรงดันไฟฟ้าเข้าฮีทเตอร์

2. ระบบเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด ดังนี้

2.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนและลมเย็นจะ



CLTS-HE : เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ คอยล์-ลูป เทอร์โมไซฟอน

A1 : ชุดผลิตลมเย็นของระบบปรับอากาศ (Air Condition)

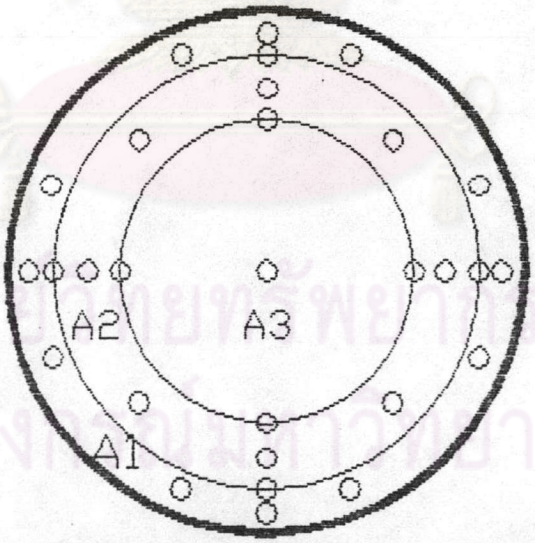
D : วาล์วผีเสื้อ (Damper)	M : มาโนมิเตอร์ (Manometer)
B : พัดลม (Blower)	T : เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
V : ชุดปรับอุณหภูมิ (Variac)	H : ฮีทเตอร์ (Heater)
h : ด้านร้อน	i : ทางเข้า
c : ด้านเย็น	o : ทางออก

รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะมาตรฐาน

ใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทในแก้ว ซึ่งมีความละเอียดในการวัด 0.05 องศาเซลเซียส โดยเทอร์โมมิเตอร์จะมีช่องวัดแต่ละช่อง 0.1 องศาเซลเซียส

2.2 เครื่องมือวัดความเร็วลมและความดัน

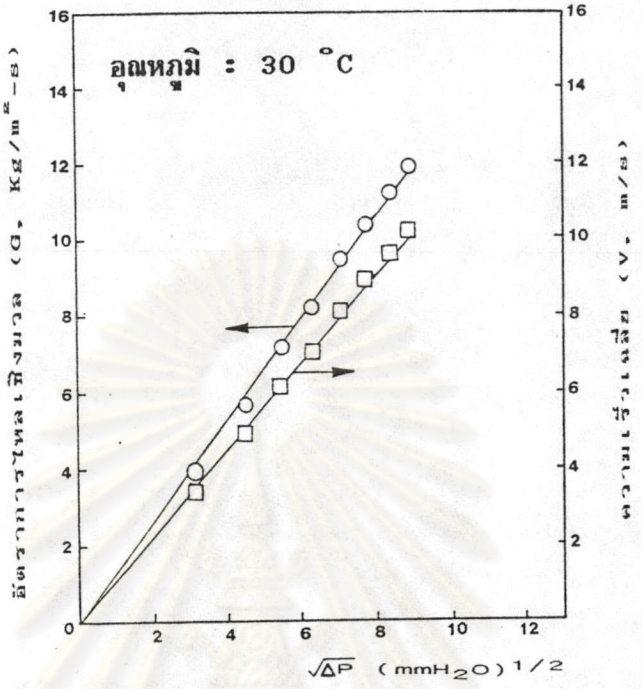
การวัดความเร็วลมของลมร้อน และลมเย็นใช้การสอบเทียบ กับความเร็วของลมที่วัดได้โดย Hot wire anemometer การวัดความเร็วเฉลี่ยภายในท่อทำโดยแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็น 3 ส่วนเท่ากัน แล้ววัดความเร็วตามจุดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จำนวน 29 จุด แล้วนำมาเฉลี่ย การวัดจะทำซ้ำกัน 3 ครั้ง โดยคงความดันลดที่คร่อมคอยล์แต่ละชุดให้คงที่ การวัดความดันลดใช้มาโนมิเตอร์ชนิดที่ใช้น้ำผสมสีเป็นของเหลวภายในและขาข้างหนึ่งทำมุมเอียง 70° จากแนวดิ่ง เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้ละเอียดมากขึ้น ผลของการสอบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลมร้อนและลมเย็น กับความดันลดที่คร่อมเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน มีแสดงในรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10 ตามลำดับ



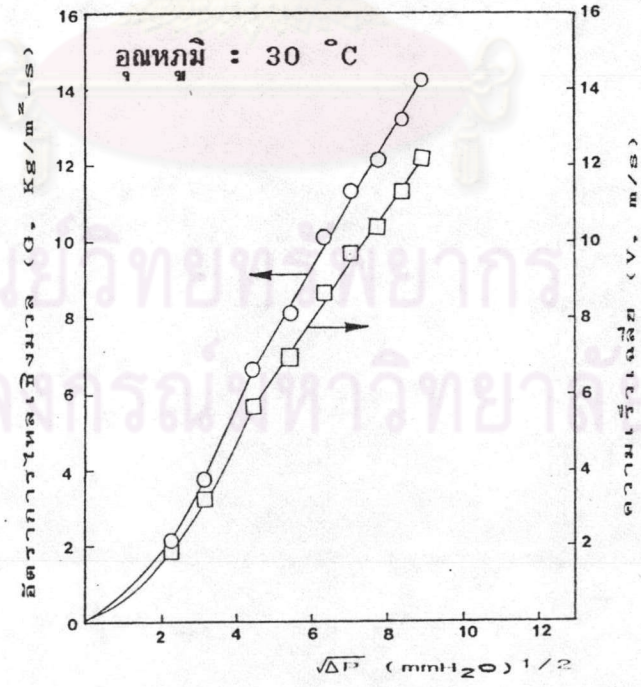
A1=A2=A3

A : CROSS SECTION AREA

รูปที่ 3.8 จุดต่างๆที่วัดความเร็วลมภายในท่อเพื่อหาความเร็วเฉลี่ย



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลมร้อนกับความดันลด



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลมเย็นกับความดันลด

3.2.3 วิธีวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน

การคำนวน และวิเคราะห์สมรรถนะ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีรายละเอียดดังนี้

1. การคำนวนอัตราการไหลของลมร้อนและลมเย็น

สมการที่ใช้ในการหาอัตราการไหล คือสมการที่ 3.1

$$q = vA \qquad (3.1)$$

เมื่อ

q = อัตราการไหลของลม (cu.m./sec)

v = ความเร็วของลมที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (m/sec)

A = พื้นที่หน้าตัดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (sq.m.)

2. ประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness , E)

ประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ระหว่างอากาศกับ อากาศ โดยทั่วไป จะหาในรูปของ sensible heat effectiveness นิยามของประสิทธิผล (effectiveness) เป็นมีดังนี้

$$E = \frac{\text{Actual transfer for the given device}}{\text{Maximum possible transfer between the air streams}}$$

จากรูปที่ 3.11

$$E = \frac{Q_h}{Q_{max}} = \frac{Q_c}{Q_{max}} = \frac{Q_{avg}}{Q_{max}} \qquad (3.2)$$

โดยที่

$$Q_h = w_h(T_{hi}-T_{ho})$$

$$Q_c = w_c(T_{co}-T_{ci})$$

$$Q_{avg} = (Q_h+Q_c)/2$$

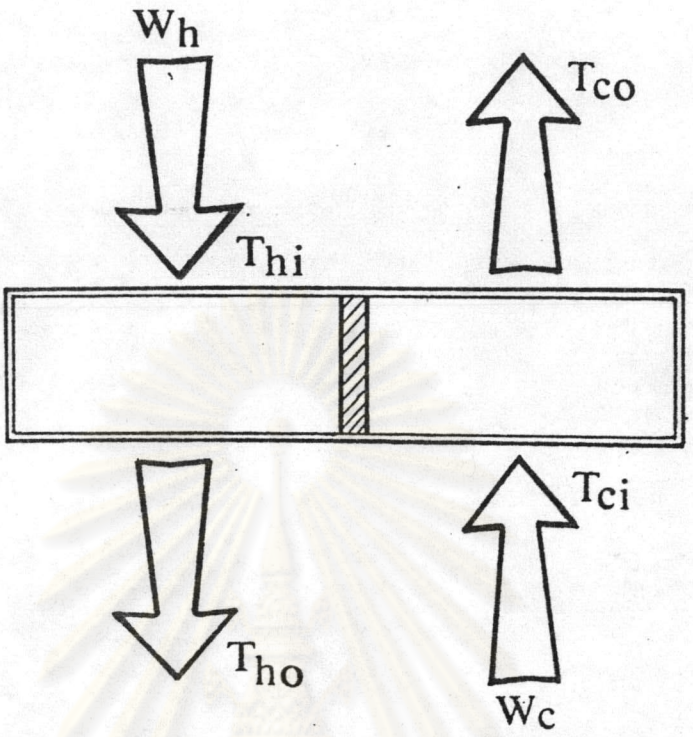
$$Qmax = w_{min}(T_{hi}-T_{ci})$$

$$w = mC_p$$

เมื่อ

E	=	ค่าประสิทธิผล (effectiveness)	h	=	ด้านร้อน
Q	=	ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท (W)	c	=	ด้านเย็น
m	=	อัตราการไหลเชิงมวล (Kg/sec)	i	=	ทางเข้า
C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะ (ของของไหล, J/Kg-C)	o	=	ทางออก
			avg	=	เฉลี่ย
T	=	อุณหภูมิ ($^{\circ}$C)	o	=	ทางออก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 รูปแบบของการถ่ายเทความร้อน

3.2.4 ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน มีดังนี้ (ดูรูป 3.7)

1. เปิดพัดลมของลมร้อนและลมเย็น (B1, B2) และเปิดระบบผลิตลมเย็น (เครื่องปรับอากาศ) (A1)

2. ปรับความเร็วของลมร้อน โดยปรับที่วาล์วผีเสื้อ (D1, D2) โดยสังเกตความดันที่มาโนมิเตอร์ (M1) ซึ่งได้ปรับเทียบกับความเร็วไว้แล้ว จนได้ความเร็วที่ต้องการ

3. ปรับความเร็วของลมเย็น โดยปรับที่ วาล์วผีเสื้อ (D3, D4, D5) โดยดูความดันที่มาโนมิเตอร์ (M2) ที่ได้ปรับเทียบกับความเร็วไว้แล้ว จนได้ความเร็วที่ต้องการ

4. ปรับและควบคุมอุณหภูมิของลมเย็นให้ได้ 23 องศาเซลเซียส การปรับควบคุมอุณหภูมิใช้ฮีทเตอร์(H) เป็นตัวเสริมโดยปรับแรงดันไฟฟ้าที่แวริแอกค์ (Variac) (V1)

5. ปล่อยไว้ให้อยู่ในสภาวะคงที่ (steady state) โดยรอประมาณ 1 ชั่วโมง

6. เริ่มบันทึกข้อมูลโดยจดบันทึกอุณหภูมิ เข้า-ออก ของลมร้อนและลมเย็นทุกๆ 10 นาที 3 ครั้งแล้วนำมาหาอุณหภูมิเฉลี่ย

7. เปลี่ยนเงื่อนไขการทดลองใหม่โดยเริ่มตั้งแต่ข้อ 2.

3.2.5 ผลการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน

ผลการทดลองการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นได้นำมาแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าผลการทดลองจะครอบคลุมเงื่อนไขการใช้งานทั้งหมด ที่จะนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไปใช้งาน ผลการทดลองที่ได้นั้นสอดคล้องกับทฤษฎี (สมการที่ 3.2) โดยที่เมื่อสัดส่วนของ w_{max} / w_{min} เพิ่มขึ้น ค่าของประสิทธิผล (Effectiveness) จะเพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อสัดส่วน w_{max} / w_{min} เพิ่มขึ้น นั่นหมายถึง w_{max} คงที่ แต่ w_{min} ลดลง ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้ระหว่างของไหลสองสายย่อมลดลง จึงทำให้ค่าประสิทธิผลเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เท่ากับ 3200 วัตต์ ที่ w_{max} / w_{min} เท่ากับ 1 (ความเร็วของลมร้อนและลมเย็นภายในท่อเท่ากัน เท่ากับ 8 ม./วินาที) และ 100 % w_{max} (w_{max} = 1117 W/C) อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยลดลง เมื่อ w_{max} / w_{min} เพิ่มขึ้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่อสัดส่วน w_{max} / w_{min} เพิ่มขึ้น โดยที่ w_{max} คงที่ (อัตราการไหลคงที่) แต่ w_{min} ลดลง นั่นหมายถึงอัตราการไหลลดลง ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทลดลงจึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยลดลง

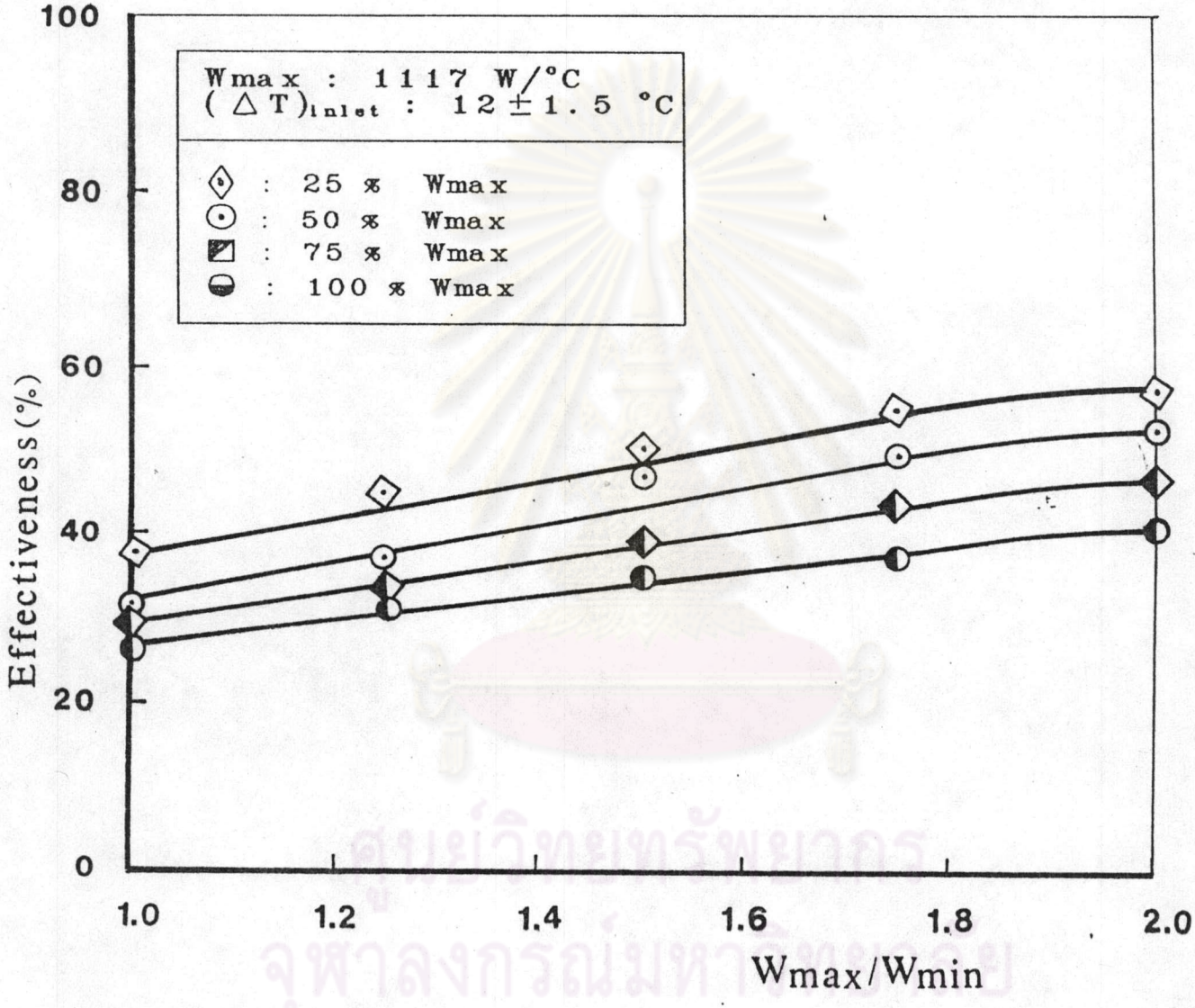
รูปที่ 3.14 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งใช้ในการลดอุณหภูมิของอากาศ (pre-cool) กับผลงานของ สเทาเดอร์ (Stauder,1986) ที่ได้ทำการทดลองไว้เมื่อ ปี ค.ศ. 1986 โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความเป็นแบบ เทอร์โมไซฟอน สองเฟส ใช้ในการอุ่นอากาศ (pre-heat) เครื่องของสเทาเดอร์ใช้ R-11 เป็นของไหลใช้งาน มีจำนวนลูป 4 ลูป แต่ละคอยล์ประกอบด้วยท่อทองแดง ขนาด 3/8 นิ้ว มีจำนวน 8 แถว แต่ละแถวมีจำนวน 12 ท่อ ติดครีบระบายความร้อน 12 ครีบต่อนิ้ว การวางเรียงท่อเป็นแบบเหลื่อมกัน

จะเห็นได้ว่าลักษณะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนของสเทาเดอร์คล้ายคลึงกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองนี้ จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าที่ค่าผลต่างอุณหภูมิน้อย (ΔT = 12 °C) ค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองจะสูงกว่าของสเทาเดอร์ แต่เมื่อผลต่างอุณหภูมิมากขึ้น (ΔT = 25 °C) ค่าประสิทธิผลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองจะต่ำกว่าของสเทาเดอร์ เมื่อพิจารณารายละเอียด จะพบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกับของสเทาเดอร์ ในแง่ของไหลใช้งาน และแง่ใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จากหัวข้อการเลือกของไหลใช้งานดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า R-22 เป็นของไหลใช้งานดีกว่า R-11 ในกรณีใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ เช่นการลดอุณหภูมิ ซึ่งผลการเปรียบเทียบที่ได้จะสอดคล้องกับที่กล่าวมา ดังนั้นกล่าวได้ว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองใช้งานได้ดีในกรณีลดอุณหภูมิอากาศ (pre-cool)

ตารางที่ 3.4 เป็นตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเมื่อนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้าง มาใช้ในการประหยัดพลังงาน จะเห็นว่าในระบบปรับอากาศ 3 ตันความเย็น (ปกติยังไม่นิยมนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในการประหยัดพลังงาน) ถ้านำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการประหยัดพลังงานจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 10,768 Btu/h หรือมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ เทอร์โมไซฟอน ที่บริษัทแห่งหนึ่งในอเมริกาได้สร้างขึ้น

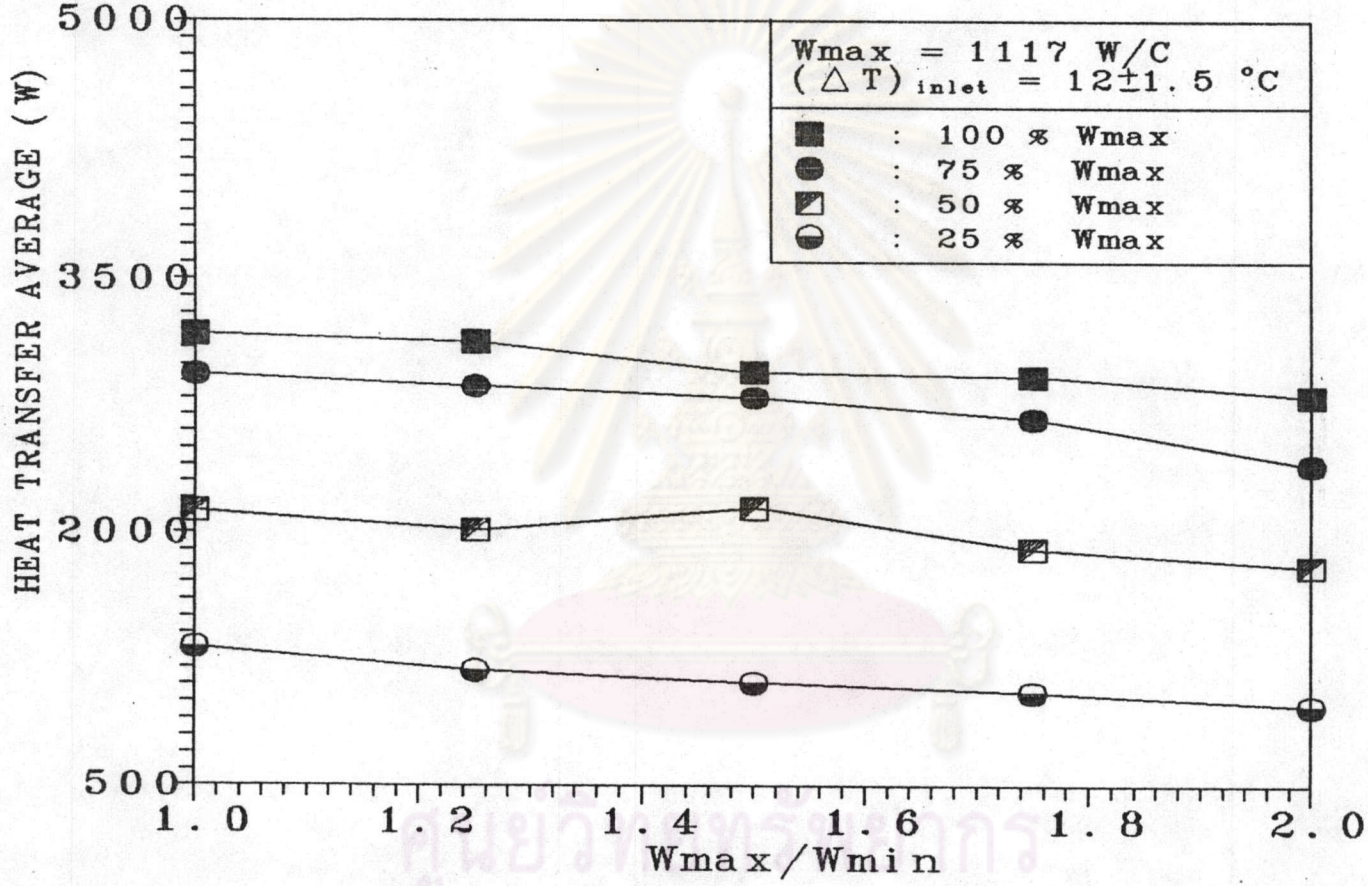
โดยอาศัยลิขสิทธิ์จาก NASA แล้วนำมาใช้กับระบบ 3 ตันความเย็นจะสามารถประหยัดพลังงานได้ 7,000 Btu/h หรือมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 20 จะเห็นได้ว่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการทดลองสามารถประหยัดพลังงานได้สูงกว่า (Terrestrial Application Technology Utilization Division, ———)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



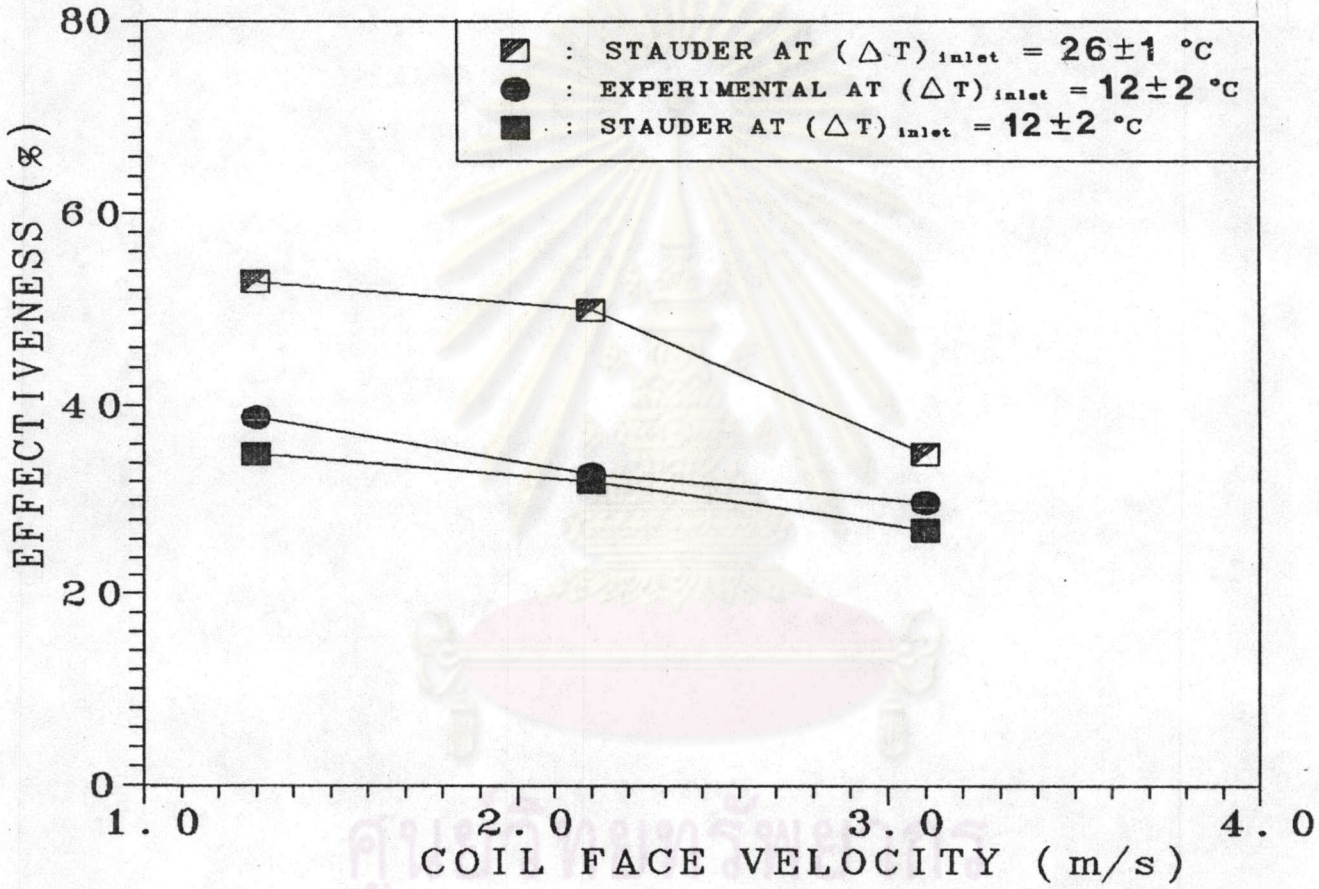
รูปที่ 3.12 ผลการทดสอบสมรรถนะแบบมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 อิทธิพลของ w_{max}/w_{min} ต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (Qav)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.15 การเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะกับผลการทดลองของสเทาเดอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 การคำนวนหาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน

ข้อมูลการทดลอง :

อากาศภายนอก (room air : r) : Tr = 34 °C DB

อัตราการไหลเชิงมวล (mass flowrate : mr) = 0.87 kg/sec

อากาศเย็น (cold air : c) : Tc = 22 °C DB

อัตราการไหลเชิงมวล (mass flowrate : mc) = 0.87 kg/sec

คุณสมบัติอากาศ :

T = 34 °C :Cp = 1,006.2 J/kg-C : ρ = 1.1523 kg/m^3

T = 22 °C :Cp = 1,005.7 J/kg-C : ρ = 1.2009 kg/m^3

ดังนั้น Wr = mrCpr = 0.87x1006.2 = 875.4 W/°C

Wc = mcCpc = 0.87x1005.7 = 874.9 W/°C

<u>ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศก่อนติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน</u>

Q = (mrCpr)(Tr-Tc)

= 875.4(34-22)

= 10,504.8 W

= 35,868 Btu/h

ประมาณ = 3 ตันความเย็น

<u>ภาระทำความเย็นของระบบหลังติดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน</u>

จากข้อมูล Wmax = 875.4 W/°C หรือประมาณ 75% Wmax ของการทดลอง

(Wmax ของการทดลอง = 1,117 W/°C)

Wmax/Wmin = 1

จากกราฟรูปที่ 3.12 : E = 29.8 %

- หาอุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน :

จากสมการ 3.2 : Wh/Wmin = 1

Tho = Thi - E x (Thi-Tci)

= 34 - 0.298 x (34-22)

= 30.4 °C

ที่ 30 °C : Cp = 1,005.9 J/Kg-C

- ภาระทำความเย็นหลังติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Q = (0.87x1005.9)x(30.4-22)

= 7,351.1 W

= 25,100 Btu/h

ดังนั้น ภาระที่ประหยัดได้หลังจากติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Qsave = 35,868-25,100

= 10,768 Btu/h

หรือประมาณ = 0.9 ตันความเย็น

ประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานหลังจากติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

Eff = (10,768/35,868)x100 %

= 30 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย