บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ท่อความร้อน

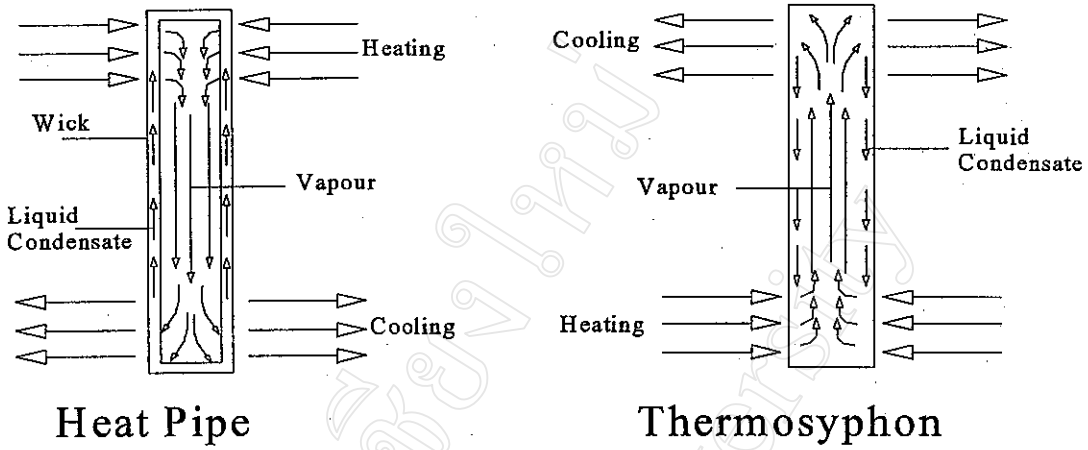
ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการนำความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองด้าน ผนังด้านในของท่อความร้อนจะมีวัสดุพรุน ภายในท่อจะมีสภาพเป็นสุญญากาศและบรรจุสารทำงานจำนวนหนึ่งไว้ภายใน สารทำงานมีหน้าที่รับความร้อนจากส่วนทำระเหย แล้วนำความร้อนระเหยไปยังส่วนควบแน่น ที่ส่วนควบแน่นนี้สารทำงานจะคายความร้อนและกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้ง โดยอาศัยวัสดุพรุนที่มีแรงตึงผิว ช่วยในการดึงเอาสารทำงานที่กลั่นตัวให้ไหลกลับมายังส่วนที่ทำระเหย ดังรูปที่ 2.1

2.2 เทอร์โมไซฟอน (Thermpsyphon)

เทอร์โมไซฟอน คือ ท่อความร้อนที่ปราศจากวัสดุพรุนที่ช่วยในการดึงสารทำงานที่กลั่นตัวกลับมายังส่วนทำระเหยประกอบด้วยส่วนต่างๆคือ ส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น ซึ่งมีหลักการทำงานคือ เมื่อสารทำงานภายในท่อบริเวณส่วนทำระเหยได้รับความร้อน สารทำงานจะระเหยกลายเป็นไอและลอยขึ้นไปยังส่วนควบแน่น ซึ่งเย็นกว่าและจะปลดปล่อยความร้อนที่ส่วนควบแน่น หลังจากนั้นสารทำงานจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลย้อนกลับคืนลงมาตามผนังด้านในของท่อสู่ส่วนทำระเหยโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อรับความร้อนกลับไปทำงานอีกครั้ง ดังนั้นข้อจำกัดข้อหนึ่งของเทอร์โมไซฟอนแบบนี้ คือ การใช้งานเทอร์โมไซฟอนจะต้องให้ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่างเสมอ ในการทำงานของเทอร์โมไซฟอนนั้นยังสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งแนวดิ่งและแนวเอียง ดังรูปที่ 2.1

ก. ทฤษฎีการคำนวณหาสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน

สมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบท่อแนวดิ่ง สามารถแสดงได้โดยค่าความต้านทานทางความร้อนรวม (Z) อัตราการส่งถ่ายความร้อนตามจริง (Q) และผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อน ($\Delta T = T_{so} - T_{si} - \Delta T_h$) โดยจะใช้ความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของท่อความร้อนและท่อเทอร์โมไซฟอน

ที่มา Engineering Science Data Unit. [16]

$$Q = \Delta T / Z_{total} \tag{2.1}$$

โดยที่ $Z_{total} = Z_1 + ((Z_{int} x Z_{10})/(Z_{int} + Z_{10})) + Z_9$

เมื่อ $Z_{int} = Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8$

ความต้านทานทางความร้อนรวมถูกแทนในรูปของเครือข่ายทางอุดมคติของค่าความต้านทานทางความร้อนรวม Z_1 ถึง Z_{10} ดังรูปที่ 2.2 โดยที่

Z_1 และ Z_9 คือ ค่าความต้านทานความร้อนระหว่างแหล่งความร้อนกับผิวนอกของส่วนทำระเหย และระหว่างผิวนอกของส่วนทำระเหยกับส่วนควบแน่น

$$Z_1 = 1/(h_{eo} S_{eo}) \tag{2.2}$$

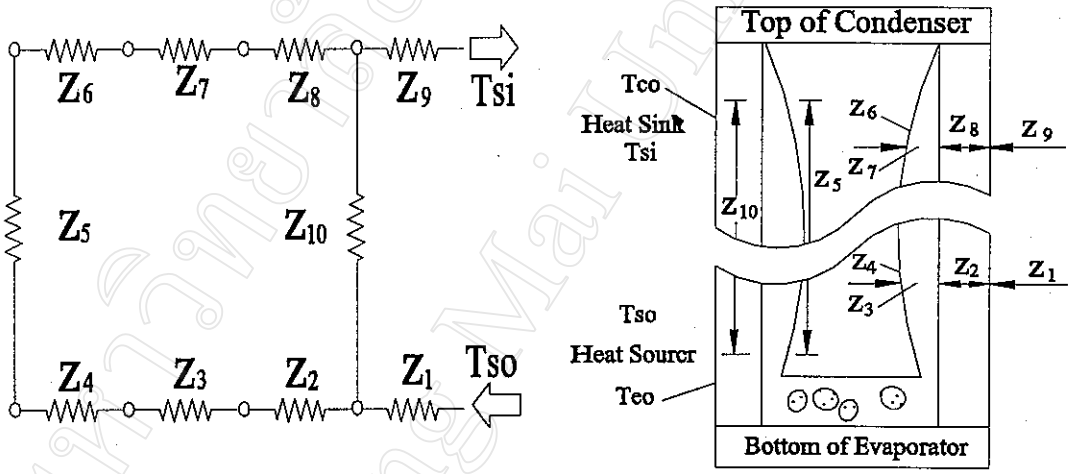
$$Z_9 = 1/(h_{co} S_{co}) \tag{2.3}$$

Z_2 และ Z_8 คือ ค่าความต้านทานความร้อนของผนังท่อในส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น

$$Z_2 = \ln(D_o / D)/(2\pi l_e k) \tag{2.4}$$

$$Z_8 = \ln(D_o / D)/(2\pi l_c k) \tag{2.5}$$

Z_3 และ Z_7 คือ ค่าความต้านทานภายในของการเดือดและการควบแน่นของสารทำงานภายในท่อ ประกอบด้วยคุณสมบัติของสารทำงานและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อ



ความต้านทานทางความร้อน ตำแหน่งของความต้านทานทางความร้อน

รูปที่ 2.2 แสดงค่าความต้านทานทางความร้อนและตำแหน่งของความต้านทานทางความร้อน
ที่มา Engineering Science Data Unit. [16]

Z_4 และ Z_6 คือ ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้น เนื่องจากไอของสารทำงานมีสถานะเป็นสถานะผสมในส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น ซึ่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานอื่นๆ

Z_s คือ ผลของค่าความต้านทานความร้อนอันเนื่องมาจากความดันไอลดลง จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น มีผลทำให้อุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำงานลดลงตามไปด้วย อัตราการควบแน่นจึงลดลง แต่มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานอื่นๆ

Z_{total} คือ ผลรวมของค่าความต้านทานต่างๆของเทอร์โมไซฟอน

2.3 อีโคโนไมเซอร์

อีโคโนไมเซอร์ทำหน้าที่ดึงความร้อนที่มากับไอเสียของหม้อไอน้ำ มาส่งให้กับน้ำที่จะเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอเพื่อให้น้ำดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ก. ทฤษฎีการคำนวณหาสมรรถนะของอีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อน

การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลสองชนิดไม่ปนกันสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$Q_{cold} = m_c C_{pc}\left(T_{c,out} - T_{c,in}\right) \tag{2.6}$$

$$Q_{hot} = m_h C_{ph}\left(T_{h,in} - T_{h,out}\right) \tag{2.7}$$

เมื่อรวมเอาสมการข้างบนและจัดให้อยู่ในรูปของ Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) จะได้

$$Q = \frac{UA\left[\left(T_{h,in} - T_{c,out}\right) - \left(T_{h,out} - T_{c,in}\right)\right]}{\ln \dfrac{\left(T_{h,in} - T_{c,out}\right)}{\left(T_{h,out} - T_{c,in}\right)}} \tag{2.8}$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (Q_{max}) ระหว่างของไหล 2 ชนิดที่มีการไหลแบบสวนทางกันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเกิดขึ้น ณ จุดที่ อุณหภูมิขาออกของของไหลที่เย็นเท่ากับอุณหภูมิขาเข้าของของไหลที่ร้อน ($T_{c,out} = T_{h,in}$) ดังสมการ

$$Q_{\max} = \left(mC_p\right)_{\min} \Delta T_{\max} \tag{2.9}$$

เมื่อ $(m\ C_p)_{min}$ คือค่า mC_p ที่น้อยที่สุดระหว่างของไหลทั้งสอง

และ $\Delta T_{max} = T_{h,in} - T_{c,in}$

ดังนั้นค่าประสิทธิผล ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (E_{ffn}) คือ

$$E_{ffn} = Q / Q_{\max} \tag{2.10}$$

$$E_{ffn} = \frac{UA}{(mC_p)_{\min}} \frac{\Delta T_m}{\Delta T_{\max}} \tag{2.11}$$

$$E_{ffn} = \frac{(mC_p)_h}{(mC_p)_{\min}} \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \tag{2.12}$$

$$E_{ffn} = \frac{(mC_p)_c}{(mC_p)_{\min}} \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \tag{2.13}$$

และ

$$E_{ffn,cold} = \frac{(T_{c,out} - T_{c,in})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \tag{2.14}$$

$$E_{ffn,hot} = \frac{(T_{h,in} - T_{h,out})}{(T_{h,in} - T_{c,in})} \tag{2.15}$$

2.4 อีโคโนไมเซอร์แบบเทอร์โมไซฟอน

อีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลที่ร้อน กับน้ำเย็น ก่อนเข้าหม้อไอน้ำโดยอาศัยท่อความร้อนซึ่งมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้สูง ซึ่งประกอบด้วยท่อความร้อนเรียงกันเป็นแถวอยู่ในตัวเครื่อง แผ่นกั้นจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ของไหลร้อนและน้ำเย็นที่ไหลผ่านเครื่องปนกันและยังช่วยในการยึดท่อความร้อนไว้อีกด้วย ของไหลร้อนจะไหลเข้าทางด้านส่วนทำระเหย และน้ำเย็นจะไหลเข้าทางด้านส่วนควบแน่น ท่อ

ความร้อนที่ใช้สามารถใช้ได้ทั้งท่อความร้อนแบบมีวัสดุพรุน หรือท่อความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาอีโคโนไมเซอร์แบบท่อความร้อนชนิดเทอร์โมไซฟอน เนื่องจากมีข้อดีคือ สร้างง่าย ราคาถูก และสะดวกในการติดตั้งในอุตสาหกรรม โดยที่เราจะให้ไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงไหลผ่านส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนที่อยู่ด้านล่างของอีโคโนไมเซอร์ และให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำไหลเข้าส่วนควบแน่นที่อยู่ด้านบน เทอร์โมไซฟอนจะทำหน้าที่ดึงเอาความร้อนจากไอเสียที่มีอุณหภูมิสูงด้านล่างผ่านสารทำงานมาให้กับน้ำป้อนที่อยู่ด้านบน ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ซึ่งจะช่วยในการประหยัดพลังงานที่จะใช้ในการทำงานของหม้อไอน้ำได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Z และ UA คือ

$$Z = \frac{1}{UA} \tag{2.16}$$

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University