

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีของระบบปรับอากาศ

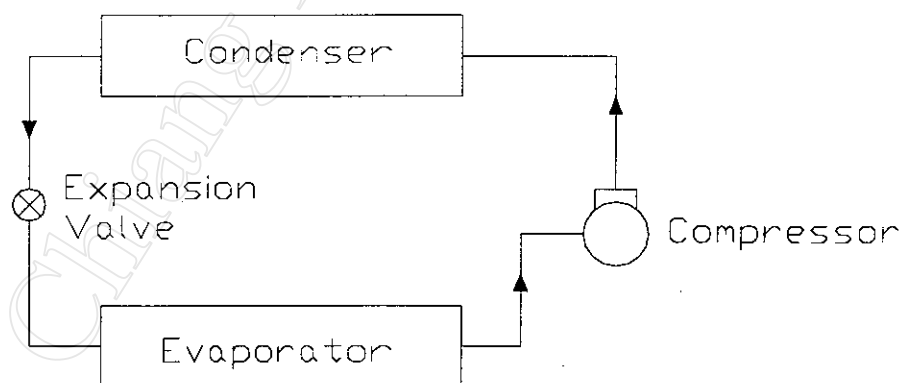
การปรับอากาศ คือ การกระทำต่ออากาศเพื่อที่จะทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศให้เป็นไปตามที่เราต้องการรวมทั้งต้องควบคุมความบริสุทธิ์และการเคลื่อนที่ของอากาศด้วย การปรับอากาศแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

ก. การปรับอากาศเพื่อความสะอาดสบาย

ข. การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม

ระบบปรับอากาศแบ่งได้เป็น 4 แบบคือ

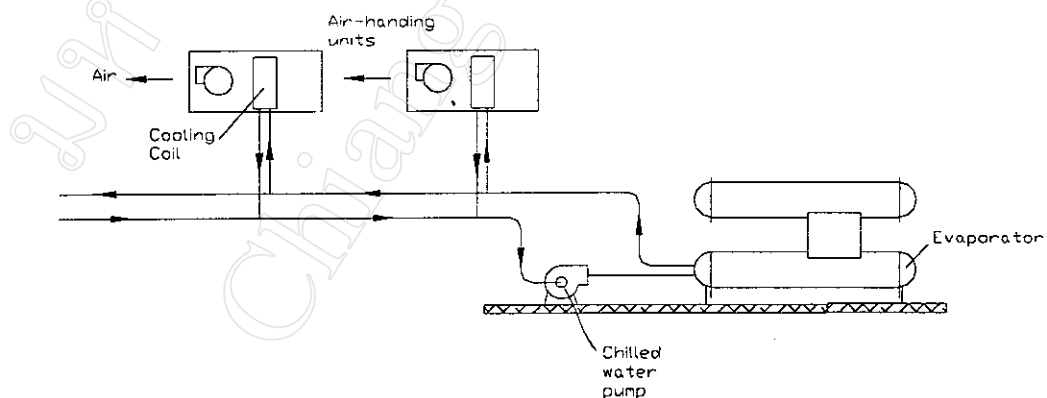
2.1.1 ระบบปรับอากาศแบบขยายตัวโดยตรง หมายถึง ระบบที่มีการจ่ายลมเย็นโดยตรงจากเครื่องปรับอากาศ การควบคุมการทำงานอาศัยการปิด-เปิดด้วยสวิตช์ ระบบการปรับอากาศแบบนี้จะใช้งานในพื้นที่ขนาดเล็กๆ เช่น ห้องส่วนตัว ห้องทำงานขนาดเล็ก เป็นต้น แสดงดังรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงระบบปรับอากาศแบบขยายตัวโดยตรง

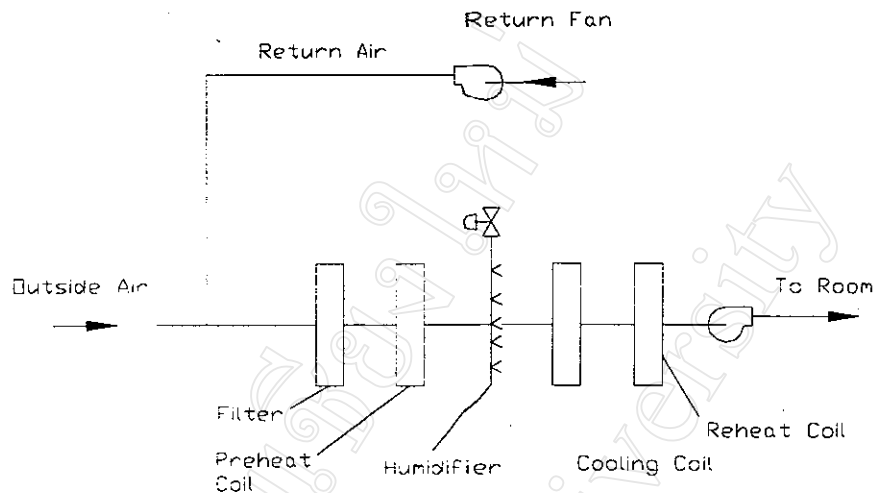
รูป 2.1.1 มีหลักการทำงานดังนี้ คือ เครื่องอัดไอ (Compressor) จะทำหน้าที่ดูดไอและเพิ่มความดันไอของของเหลวจากส่วนทำระเหย (Evaporator) ทำให้ไอของสารทำงานมีความดันและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเคลื่อนที่ไปยังส่วนควบแน่น โดยส่วนควบแน่นจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานให้กับอากาศที่อยู่รอบๆ ทำให้ไอเย็นตัวลงพร้อมกับคายความร้อนแฝงกลั่นตัวเป็นของเหลวและไหลไปยังวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ซึ่งทำหน้าที่ลดความดันของสารทำงานจากความดันสูงให้เป็นความดันต่ำเข้าไปยังส่วนทำระเหย ซึ่งส่วนทำระเหยจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดึงความร้อนจากภายในห้อง หรือบริเวณใกล้เคียงให้แก่สารทำงานเพื่อใช้เป็นความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอพร้อมที่จะถูกดูดเข้าไปยังเครื่องอัดไอ เป็นวัฏจักรต่อไป

2.1.2 ระบบปรับอากาศแบบน้ำทั้งหมด หมายถึง ระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำเย็นเป็นสารทำงานในการให้ความเย็นแก่บริเวณที่ต้องการ เรียกระบบปรับอากาศแบบนี้ว่า ระบบчилเลอร์ ส่วนประกอบของระบบปรับอากาศแบบนี้จะประกอบไปด้วย Fan coil unit หลายๆตัว Fan coilจะทำหน้าที่รับน้ำเย็นจากเครื่องทำความเย็น ดังรูป 2.2



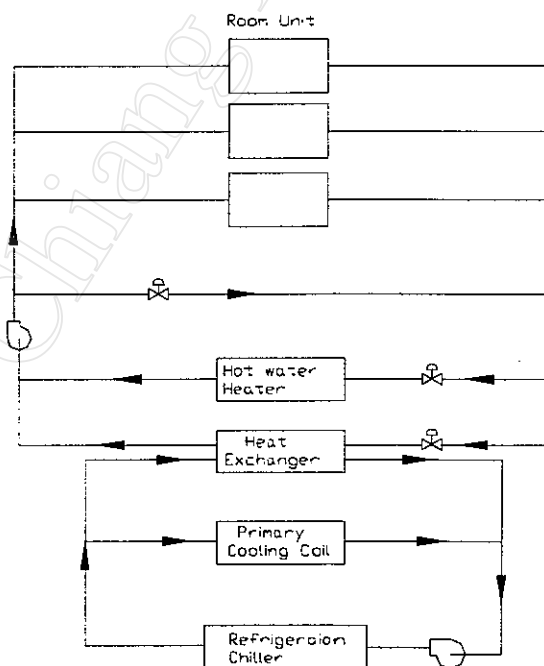
รูป 2.2 แสดงระบบปรับอากาศแบบน้ำทั้งหมด

2.1.3 ระบบปรับอากาศแบบอากาศทั้งหมด หมายถึง ระบบปรับอากาศที่ใช้อากาศผ่านเครื่องปรับอากาศแล้วนำไปจ่ายยังบริเวณที่ต้องการปรับอากาศ ระบบนี้จะนิยมใช้ในห้องประชุม ห้องสรรพสินค้า ฯลฯ ดังรูป 2.3



รูป 2.3 แสดงระบบปรับอากาศแบบอากาศทั้งหมด

2.1.4 ระบบปรับอากาศแบบน้ำและอากาศ หมายถึง ระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำและอากาศร่วมกัน ระบบแบบนี้มีข้อดีกว่าระบบปรับอากาศแบบน้ำทั้งหมดเพราะสามารถนำอากาศเสียออกจากบริเวณปรับอากาศ และนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาแทนที่ ดังรูป 2.4



รูป 2.4 แสดงระบบปรับอากาศแบบน้ำและอากาศ

2.2 ทฤษฎีของการกักเก็บน้ำแข็ง

การกักเก็บน้ำแข็ง (Ice storage) คือ กระบวนการกักเก็บพลังงานความร้อนในรูปความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำ (น้ำแข็ง) หรือสารอื่นๆ น้ำเป็นสารที่มีความร้อนแฝงของการหลอมเหลวสูงที่สุดในบรรดาสารที่ใช้ทั่วไป (334 kJ/kg ที่จุดหลอมเหลว หรือ จุดเยือกแข็ง 0°C) นอกจากน้ำแล้ว สารเปลี่ยนสถานะ (Phase change materials) ที่นิยมกันมากที่สุดคือ เกลือไฮเดรต (Hydrated salt) ที่มีความร้อนแฝงของการหลอมเหลว 95.4 kJ/kg และมีจุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็ง 8.3°C การเก็บพลังงานในรูปความร้อนแฝงจะใช้ปริมาณน้อยกว่าการเก็บพลังงานในรูปความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ซึ่งเท่ากับเป็นการลดต้นทุนไปด้วย

ก. ระบบการกักเก็บแบบละลายน้ำแข็งภายนอกคอยล์ (External melts ice-on-coil)

ระบบการกักเก็บน้ำแข็งรุ่นแรกสุดที่นำมาใช้ คือ Refrigerant-fed ice builder ซึ่งประกอบไปด้วย Refrigerant coil ซึ่งบรรจุอยู่ภายในถังกักน้ำ Compressor และ Evaporative compressor จะแช่แข็งถังกักน้ำจนกระทั่งน้ำแข็งบริเวณภายนอกห่อที่มีความหนาถึง 0.065 เมตร น้ำแข็งจะถูกละลายจากด้านนอกก่อนโดยการไหลเวียนของน้ำ ผ่านถังกักน้ำซึ่งน้ำจะถูกทำให้เย็นอีกครั้ง ฟองอากาศที่เกิดในถังกักน้ำจะรบกวนการแข็งตัวของน้ำและการหลอมละลายของน้ำแข็ง นอกจาก Refrigerant แล้ว สารทำความเย็นตัวที่สอง (Secondary coolant, 25% Ethylene glycol และ 75% น้ำ) จะถูกปั๊มผ่านชุดท่อในถังกักเช่นกัน ข้อดีของสารทำความเย็น คือ ช่วยลดการใช้ Refrigerant ได้อย่างมาก

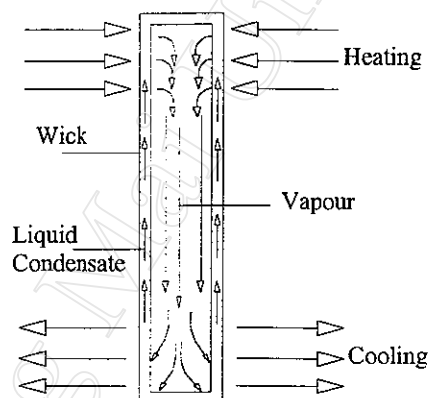
ข. ระบบการกักเก็บแบบละลายน้ำแข็งภายในคอยล์ (Internal melts ice-on-coil)

สำหรับระบบนี้จะมีท่ออยู่ภายในถังกักน้ำ โดยท่อขดมีปริมาตรประมาณ 10% ของถังกักน้ำ และ อีก 10% ของถังกักจะเป็นที่ว่างเพื่อไว้สำหรับการขยายตัวเมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็ง และส่วนที่เหลือจะเป็นน้ำ สารทำความเย็นตัวที่สองจะถูกทำให้เย็นโดยน้ำเย็น จากนั้นจะไหลผ่านชุดหลอดเพื่อแช่แข็งน้ำในถังกัก ความหนาของน้ำแข็งบนชุดท่อ และ เปอร์เซ็นต์ของน้ำในถังกักที่ถูกแช่แข็งขึ้นอยู่กับรูปร่างของท่อ และ ชนิดการวางระบบ ในช่วงของการระเหยนั้น สารทำความเย็นตัวที่สองจะไหลวนผ่านระบบ และ กลับสู่ถังกัก และจะถูกทำให้เย็นอีกครั้งโดยท่อเคลือบน้ำแข็ง

2.3 หลักการและทฤษฎีของท่อความร้อน

2.3.1 ท่อความร้อน

ท่อความร้อน เป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการนำความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง มีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองด้าน ผนังด้านในของท่อความร้อนจะมีวัสดุพรุน(Wick) ภายในท่อจะมีสภาพเป็นสุญญากาศและบรรจุสารทำงาน(Working fluids) จำนวนหนึ่งไว้ภายใน สารทำงานมีหน้าที่รับความร้อนจากส่วนระเหย (Evaporator) แล้วนำความร้อนระเหยไปยังส่วนควบแน่น (Condenser) ที่ส่วนควบแน่นนี้สารทำงานจะคายความร้อน และกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้ง โดยอาศัยวัสดุพรุนที่มีแรงดึงผิว (Capillary force) ช่วยในการดึงเอาสารทำงานที่กลั่นตัวให้ไหลกลับมายังส่วนที่ทำระเหย ดังรูปที่ 2.5



Heat Pipe

รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของท่อความร้อน (1981)

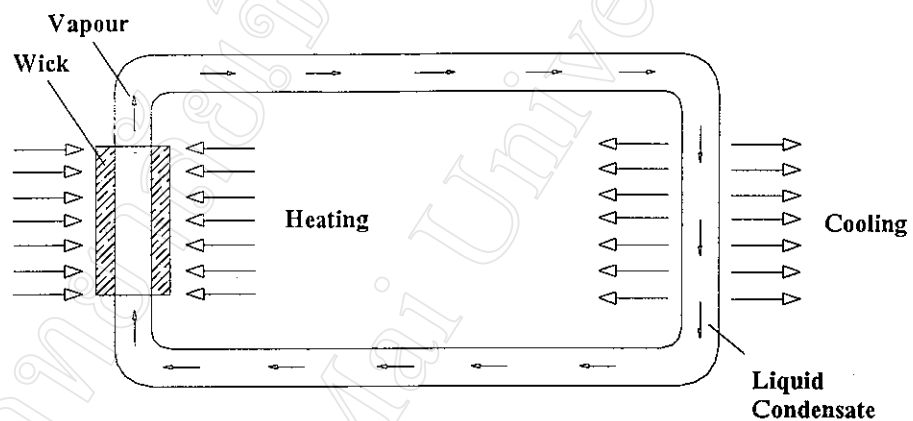
2.3.2 ท่อความร้อนวงรอบ

ท่อความร้อนวงรอบ เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของท่อความร้อน ซึ่งแตกต่างจากท่อความร้อนทั่วไปคือ มีส่วนระเหย และ ส่วนควบแน่น แยกออกจากกันอย่างมีนัยสำคัญกับระยะทางของท่อส่งของเหลว(Liquid line) และ ท่อส่งไอ(Vapor line) โดยท่อส่งของเหลวและท่อส่งไอยึดติดกับส่วนระเหย และ ส่วนควบแน่น ประกอบขึ้นเป็นวงรอบปิด ซึ่งมีวัสดุพรุนอยู่ภายในเพื่อดึงของเหลวควบแน่นจากส่วนควบแน่นกลับขึ้นไปยังส่วนระเหยอีกครั้ง

หลักการทำงานของท่อความร้อนวงรอบจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการทำงานของท่อความร้อนทั่วไป แต่ ต่างกันที่ ท่อความร้อนวงรอบจะทำงานเนื่องจากความแตกต่างความดัน

ระหว่างส่วนระเหยและส่วนควบแน่น เมื่อให้ความร้อนที่ส่วนระเหยทำให้สารทำงานซึ่งมีสภาวะเป็นของเหลวอึดอัดเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ไอจะไหลผ่านไปยังท่อส่งไอและควบแน่นที่ส่วนควบแน่นเนื่องจากที่ส่วนควบแน่นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของไอจึงควบแน่นกลายเป็นของเหลวแล้วจะถูกดึงกลับไปยังส่วนระเหยผ่านท่อส่งของเหลวโดยแรงตึงผิวจากวัสดุพรุน ดังรูป 2.6

ท่อความร้อนแบบนี้จะไม่เกิดปรากฏการณ์เอนเทรนเมนต์(Entrainment limit) เนื่องจากไม่มีการไหลสวนทางของไอและของเหลวควบแน่นเกิดขึ้น



Loop Heat Pipe

รูป 2.6 แสดงการทำงานของท่อความร้อนวงรอบ

2.3.3 ทฤษฎีการคำนวณหาสมรรถนะของท่อความร้อนวงรอบ

สมรรถนะของท่อความร้อนวงรอบหาได้จากความแตกต่างความดันจากส่วนระเหยและส่วนควบแน่นโดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta P_{CMax} \geq \Delta P_{vt} + \Delta P_{lt} + \Delta P_w + \Delta P_h \quad (1)$$

เมื่อ

$$\Delta P_{CMax} = \frac{2\sigma}{r_{cw}} \quad (2)$$

จากสมการ(1) เราจะพิจารณาความดันตกคร่อม(Pressure drop) ตามส่วนต่างๆของท่อความร้อนดังนี้

ก. ความดันตกคร่อมในท่อไอเป็นตามสมการดังนี้

$$\Delta P_w = f_v \left(\frac{L_v}{D_v} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_v u_v^2 \right) \quad (3)$$

เมื่อ

$$f_v = \frac{0.3164}{\text{Re}_v^{0.25}} \quad \text{เมื่อ} \quad 2300 < \text{Re}_v \leq 2 \times 10^4 \quad (4)$$

$$f_v = \frac{0.184}{\text{Re}_v^{0.20}} \quad \text{เมื่อ} \quad \text{Re}_v > 2 \times 10^4 \quad (5)$$

$$\text{Re}_v = \frac{D_v u_v}{\nu_v} \quad (6)$$

ข. ความดันตกคร่อมในท่อส่งของเหลวเป็นตามสมการดังนี้

$$\Delta P_h = f_l \left(\frac{L_l}{D_l} \right) \left(\frac{1}{2} \rho_l u_l^2 \right) \quad (7)$$

เมื่อ

$$f_l = \frac{64}{\text{Re}_l} \quad \text{เมื่อ} \quad \text{Re}_l < 2300 \quad (8)$$

$$f_l = \frac{0.3164}{\text{Re}_l^{0.25}} \quad \text{เมื่อ} \quad 2300 < \text{Re}_l \leq 2 \times 10^4 \quad (9)$$

$$\text{Re}_l = \frac{D_l u_l}{\nu_l} \quad (10)$$

ค. ความดันตกคร่อมในวัสดุพอร์เป็นตามสมการดังนี้

$$\Delta P_w = \left(\frac{t_w}{A_w} \right) \left(\frac{1}{K_w} \right) \nu_l m \quad (11)$$

ง. ความดันสถิตเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็นตามสมการดังนี้

$$\Delta P_h = \Delta P_{hv} + \Delta P_{hl} \quad (12)$$

เมื่อ

$$\Delta P_{hv} = \rho_v g (H_c - H_e) \quad (13)$$

$$\Delta P_{hl} = \rho_l g (H_e - H_c) \quad (14)$$

2.3.4 การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของท่อความร้อนวงรอบ

อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะขึ้นอยู่กับค่าความดันตกคร่อมในระบบซึ่งพิจารณาได้ 2 กรณีดังนี้

ก. กรณีที่ความดันตกคร่อมในท่อไอมีผลมากกว่าความดันตกคร่อมอื่น (ความดันตกคร่อมในท่อของเหลว ความดันตกคร่อมในวัสดุพูน และ ความดันเสียดสีเนื่องจากแรงโน้มถ่วง) ในกรณีนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_{Max} \leq \left[\frac{\pi^2}{4} \left(\frac{\sigma}{r_{cu}} \right) \left(\frac{D_v^5}{L_v} \right) \left(\frac{\rho_v h_{fg}^2}{f_v} \right) \right]^{1/2} \quad (15)$$

ข. กรณีที่ความดันตกคร่อมในวัสดุพูนมีผลมากกว่าความดันตกคร่อมอื่น (ความดันตกคร่อมในท่อไอ ความดันตกคร่อมในท่อของเหลว ความดันตกคร่อมที่ส่วนระเหย ความดันตกคร่อมที่ส่วนควบแน่น และ ความดันเสียดสีเนื่องจากแรงโน้มถ่วง) ในกรณีนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดหาได้จากสมการดังนี้

$$Q_{Max} \leq 2 \left(\frac{K_w A_w}{r_{cu} t_w} \right) \left(\frac{\sigma h_{fg}}{v_l} \right) \quad (16)$$

2.3.5 การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนวงรอบ โดยทฤษฎีคาลอริฟิค (Calorific Method)

การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดของท่อความร้อนวงรอบจากการทดลอง จะหาได้จากทฤษฎีคาลอริฟิค ซึ่งมีสมการดังนี้

$$Q = m C_p \Delta T \quad (17)$$

2.3.6 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนวงรอบ

การหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อนวงรอบ ที่ใช้ในการศึกษานี้ หาได้ดังต่อไปนี้

การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ของไหลสองชนิดไม่ปนกันสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_{Cold} = m_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (18)$$

$$Q_{hot} = m_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (19)$$

เมื่อรวมสมการ 18 , 19 และจัดให้อยู่ในรูปของ Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) จะได้

$$Q = \frac{UA \left[(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in}) \right]}{\ln \frac{(T_{h,in} - T_{c,out})}{(T_{h,out} - T_{c,in})}} \quad (20)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (Q_{Max}) ระหว่างของไหลสองชนิดที่มีการไหลสวนทางกัน ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเกิดขึ้น ณ จุดอุณหภูมิขาออกของของไหลเย็น เท่ากับอุณหภูมิขาเข้าของของไหลร้อน ดังสมการ

$$Q_{Max} = (mC_p)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (21)$$

เมื่อ $(mC_p)_{min}$ คือค่า mC_p ที่น้อยที่สุดระหว่างของไหลทั้งสอง ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Effectiveness) คือ

$$Eff = Q/Q_{max} \quad (22)$$

หรือ

$$Eff = \frac{UA \Delta T_m}{(mC_p)_{min} \Delta T_{max}} \quad (23)$$

หรือ

$$Eff = \frac{(mC_p)_h (T_{h,in} - T_{h,out})}{(mC_p)_c (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (24)$$

หรือ

$$Eff = \frac{(mC_p)_c (T_{c,out} - T_{c,in})}{(mC_p)_h (T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (25)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าประสิทธิภาพ และ NTU (Number of Transfer Unit) จะมีประโยชน์มากในการคำนวณเพื่อออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่ NTU คือตัวแปรไร้มิติที่ใช้กันทั่วไปในการวิเคราะห์เกี่ยวกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งกำหนดดังต่อไปนี้

$$NTU = \frac{UA_m}{(mC_p)_{min}} \quad (26)$$

ในทางด้านวิศวกรรมนั้นส่วนมากเราจะสนใจเกี่ยวกับว่าเราให้งานไปเท่าไร แล้วได้งานออกมาเท่าไรมากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจึงทำการหาอัตราส่วนงานที่ได้ต่องานที่ให้ Q_{output}/Q_{input} และเปรียบเทียบค่า Q_{output}/Q_{input} กับค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ และค่า NTU ด้วย ซึ่งอัตราส่วนงานที่ได้ต่องานที่ให้ มีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราส่วนงานที่ได้และงานที่ให้} = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \quad (27)$$