บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

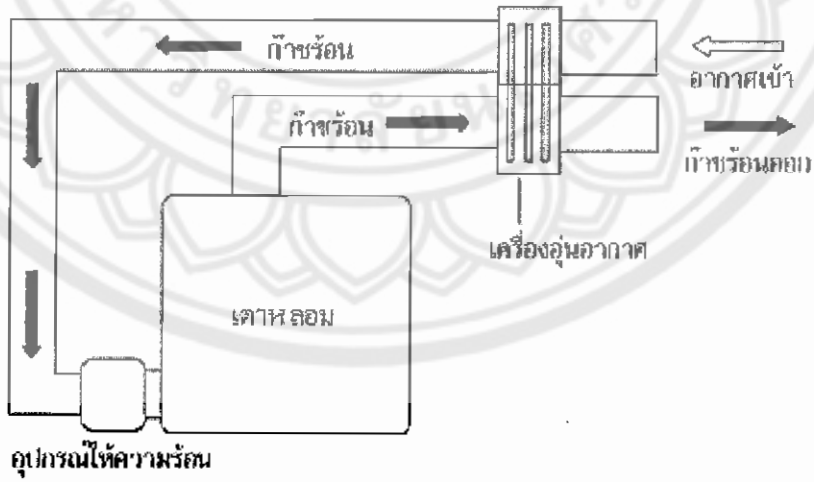
ในการที่เราจะสามารถลดอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเตาหลอมอลูมิเนียม โดยการเพิ่มอุณหภูมิของ อากาศ (Preheat Air) ก่อนที่จะเข้าห้องเผาไหม้นั้น ต้องอาศัยหลักทฤษฎีที่นำมาใช้ร่วมกัน นั่นก็คือ การเผาไหม้ การเลือกเครื่องเปลี่ยนความร้อน และการดึงความร้อนสูญเสียกลับมาใช้ใหม่ นั่นเอง

2.1 การเก็บความร้อนของก๊าซทิ้งและนำกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery and Recycling)

การเก็บคืนความร้อน เป็นการนำเอาความร้อนทิ้งจากกระบวนการหนึ่งไปใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนกับอีกกระบวนการหนึ่ง (หรือในกระบวนการเดียวกัน)มีตัวอย่างเป็นอันมากของการเก็บคืนความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น

- การเก็บคืนความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งของหม้อน้ำ ไปใช้อุ่นน้ำเลี้ยงให้ร้อนขึ้นก่อนป้อนเข้าหม้อน้ำ
- การเก็บคืนความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งของเครื่องยนต์ดีเซลมาให้ความร้อนแก่น้ำ

สำหรับโครงงานนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดของการเก็บคืนความร้อนในก๊าซร้อนทิ้งของเตาหลอมอลูมิเนียมเพื่อใช้อุ่นอากาศใหม่ก่อนเข้าห้องเผาไหม้



รูปที่ 2.1 การเก็บคืนความร้อน

2.2 การเผาไหม้

การเผาไหม้ คือ ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนซึ่งให้ความร้อนออกมา องค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ คือ เชื้อเพลิง ออกซิเจน ความร้อน และปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่ง องค์ประกอบทั้งหมดนี้จะต้องเกิดขึ้นพร้อมกันในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้มีการเผาไหม้ขึ้นได้ ซึ่ง โดยทั่วไปแล้วออกซิเจนนั้นจะได้มาจากอากาศที่อยู่ภายในบริเวณของการเผาไหม้

นิยามที่สำคัญเกี่ยวกับการเผาไหม้ สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ของสารผสม

Stoicheometry คือปริมาณที่เหมาะสมของออกซิไดเซอร์ (Oxidizer) กับเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ถ้าในสารผสมมีปริมาณของออกซิไดเซอร์มากกว่า เรียกว่า fuel lean หรือ lean แต่ถ้าในสารผสมมีปริมาณของออกซิไดเซอร์น้อยกว่า เรียกว่า fuel rich หรือ rich

อัตราส่วนStoichiometric ของออกซิไดเซอร์ (หรืออากาศ) และเชื้อเพลิง (มวล) หาได้โดยการเขียนสมดุลอะตอมอย่างง่าย สมมติฐานสารตั้งต้นของเชื้อเพลิงอยู่ในรูปแบบของ Ideal set ของสารผลิตภัณฑ์ สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน แสดงโดย C_xH_y ความสัมพันธ์ของ Stoichiometric สามารถแสดงได้ ดังนี้

$$C_xH_Y + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow xCO_2 + (y/2)H_2O + 3.76aN_2$$

โดยที่

$$a = x + y/4$$

โครงงานนี้ กำหนดให้ ส่วนประกอบของออกซิเจน (O_2) 21 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน (N_2) 79 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) ซึ่งจำนวนโมลของไนโตรเจนในอากาศมีค่าเป็น 3.76 เท่าของจำนวนโมลของออกซิเจน

อัตราส่วน Stoichiometric ของอากาศกับเชื้อเพลิง หาได้จาก

$$(A/F)_{stoic} = \left(\frac{m_{air}}{m_{fuel}}\right)_{stoic} = \frac{4.76a}{1}\frac{MW_{air}}{MW_{fuel}}$$

โดยที่ MW_{air} และ MW_{fuel} คือ มวลโมเลกุลของอากาศและเชื้อเพลิง

2.2.1 Equivalence Ratio, Φ

เป็นปริมาณไร้หน่วยที่นิยมใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งเป็นตัวบอกให้ทราบว่าส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิไดเซอร์ ผสมกันเป็นแบบหนา (rich), บาง (lean), หรือ พอดี (stoichiometric) ซึ่ง equivalence ratio หาได้จากสมการ

$$\Phi = \frac{(A/F)_{Stioc}}{(A/F)_{Actual}} = \frac{(F/A)_{Actual}}{(F/A)_{Stoich}}$$

จากนิยามข้างต้น จะพบว่า หากสารผสมเป็น fuel rich, $\Phi > 1$ และหากสารผสมเป็น fuel lean, $\Phi < 1$ สำหรับสารผสม stoichiometric, $\Phi = 1$ ในการใช้ประโยชน์จากการเผาไหม้ค่า equivalence ratio เป็นตัวแปรที่สำคัญมากในการหาสมรรถนะของระบบ ตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับ stoichiometry คือ เปอร์เซ็นต์ stoichiometric air และเปอร์เซ็นต์อากาศเกิน (percent excess air) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กับค่า equivalence ratio ได้ดังนี้

$$\%stoichiometric\ air = \frac{100\%}{\Phi}$$

$$\%excess\ \ air = \frac{(1-\Phi)}{\Phi} \times 100\%$$

2.2.2 Absolute (or Standardized) Enthalpy และ Enthalpy of Formation

สำหรับสารใดๆเราสามารถนิยาม Absolute Enthalpy ได้คือ เป็นผลรวมของ Enthalpy of formation และ Sensible Enthalpy Change

$$\bar{h}_i(T) = \overline{h^o}_{f,i}(T_{ref}) + \Delta\overline{h^o}_{s,i}(T_{ref})$$

เมื่อ

$$\Delta\bar{h}_{s,i} \equiv \bar{h}_i(T) - \overline{h^o}_{f,i}(T_{ref})$$

โดยที่

$\bar{h}_i(T)$	=	Absolute enthalpy at temperature T
$\overline{h^o}_{f,i}(T_{ref})$	=	Enthalpy of formation at standard reference state (T_{ref}, P°)
$\Delta\overline{h^o}_{s,i}(T_{ref})$	=	Sensible enthalpy change in going from T_{ref} to T

นิยามอ้างอิงที่สภาวะอ้างอิงมาตรฐาน T_{ref} = 298 K (25°C) , P_{ref} = P° = 1 atm (101.3 kPa) Enthalpy of Formation เป็นศูนย์สำหรับธาตุ (Element) ในรูปที่ปรากฏทั่วไปในธรรมชาติ ที่อุณหภูมิและความดันอ้างอิง ตัวอย่างเช่น ที่ 25°C และ 1 atm O_2 ซึ่งประกอบไปด้วย O 2 อะตอม จะได้

$$\left(\overline{h^o}_{f,O_2}\right)_{298} = 0$$

2.2.3 Absolute (or Standardized) Enthalpy

เพื่อให้เกิดอะตอมของออกซิเจนที่สภาวะมาตรฐาน จะต้องทำการแตกพันธะทางเคมีของ O_2 พลังงานการแตกพันธะจะทำให้เกิด O อะตอม จำนวน 2 อะตอม ดังนั้น Enthalpy of Formation ของ atomic oxygen มีค่าเป็น

$$\left(\overline{h^o}_{f,O}\right)_{298} = 249{,}195\, kJ/kmol$$

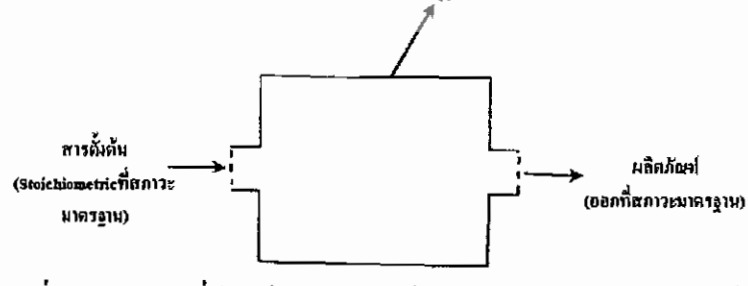
ดังนั้น Enthalpy of formation คือการเปลี่ยนแปลงสุทธิของ Enthalpy ด้วยการแตกพันธะทางเคมีของธาตุที่สภาวะมาตรฐาน และสร้างพันธะใหม่ของสารประกอบที่ต้องการ

$$\left(\overline{h^o}_{f,N_2}\right)_{298} = 0 \qquad \left(\overline{h^o}_{f,N}\right)_{298} = 472{,}629\, kJ/kmol$$

$$\left(\overline{h^o}_{f,H_2}\right)_{298} = 0 \qquad \left(\overline{h^o}_{f,H}\right)_{298} = 217{,}977\, kJ/kmol$$

2.2.4 Enthalpy ของการเผาไหม้ และ Heating Value

สารตั้งต้น เป็นของผสม stoichiometric ที่สภาวะมาตรฐาน สารผลิตภัณฑ์เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และผลิตภัณฑ์อยู่ที่สภาวะมาตรฐาน หากผลิตภัณฑ์ที่ทางออกมีอุณหภูมิเท่ากับของสารตั้งต้น จะต้องมีการดึงความร้อนออก ปริมาณความร้อนที่ดึงออกสามารถสัมพันธ์กับเอนทาลปีสมบูรณ์ของสารตั้งต้น และสารผลิตภัณฑ์ โดยการใช้รูปการไหลคงตัวของกฎข้อที่ 1 ดังแสดงในรูปที่2.2



รูปที่2.2 ปฏิกิริยาที่มีการไหลคงตัวใช้หาเอนทาลปีของการเผาไหม้

จากสมการ

$$q_{CV} = h_o - h_i = h_{prod} - h_{reac}$$

เอนทาลปีของปฏิกิริยา หรือเอนทาลปีของการเผาไหม้

$$\Delta h_R \equiv q_{CV} = h_{prod} - h_{reac}$$

หรือในรูปคุณสมบัติของ extensive (สมบัติที่ขึ้นกับปริมาณ)

$$\Delta H_R = H_{prod} - H_{reac}$$

ตัวอย่าง

ที่สภาวะมาตรฐาน เอนทาลปีของสารตั้งต้นของสารผสมที่ stoichiometric ของ CH_4 กับน้ำ ที่ 1 kmol ของเชื้อเพลิงที่ทำปฏิกิริยา มีค่า -74,831 kJที่สภาวะเดิม ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้มีเอนทาลปีสัมบูรณ์เป็น -877,236 kJ

$$\Delta H_R = -877{,}236 - (-74{,}831) = -802{,}405 kJ$$

ค่านี้สามารถปรับได้ให้อยู่ในหน่วย ต่อหน่วยมวลของเชื้อเพลิงได้ดังนี้

$$\Delta h_R \left(\frac{kJ}{kg_{fuel}} \right) = \Delta H_R / MW_{fuel}$$

หรือ

$$\Delta h_R \left(\frac{kJ}{kg_{mix}} \right) = \Delta h_R \left(\frac{kJ}{kg_{fuel}} \right) \frac{m_{fuel}}{m_{mix}}$$

เมื่อ

$$\frac{m_{fuel}}{m_{mix}} = \frac{m_{fuel}}{m_{air} + m_{fuel}} = \frac{1}{(A/F)+1}$$

$$\Delta h_R (kJ / kg_{mix}) = -50{,}016 / (17.11 + 1) = -2671.8$$

เอนทาลปี ของการเผาไหม้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เลือกในการคำนวณ เนื่องจาก เอนทาลปีของสารตั้งต้น สารผลิตภัณฑ์ล้วนแต่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

2.2.5 Adiabatic Flame Temperature (T_{ad})

ในหัวข้อนี้ จะแสดง Adiabatic Flame Temperature 2 ชนิด คือ

Adiabatic Flame Temperature สำหรับการเผาไหม้ที่ความดันคงที่

Adiabatic Flame Temperature สำหรับการเผาไหม้ที่ปริมาตรคงที่

1) Adiabatic Flame Temperature สำหรับการเผาไหม้ที่ความดันคงที่

ถ้าของผสมระหว่างเชื้อเพลิง กับอากาศเผาไหม้ที่ความดันคงที่ อย่าง Adiabatic เอนทาลปีสัมบูรณ์ของสารตั้งต้นที่สภาวะเริ่มต้น (T_1=298 K, P=1 atm) จะมีค่าเท่ากับเอนทาลปีสัมบูรณ์ของสารผลิตภัณฑ์ที่สภาวะสุดท้าย (T=T_{ad}, P=1 atm)

นิยามของ T_{ad} ที่ความดันคงที่

$$H_{reac}(T_{i,}\ P) = H_{prod}(T_{ad,}\ P)$$

หรือในหน่วย ต่อมวลของของผสม

$$h_{reac}(T_{i,}\ P) = h_{prod}(T_{ad,}\ P)$$

ในการคำนวณหา T_{ad} ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้

2) Adiabatic Flame Temperature สำหรับการเผาไหม้ที่ปริมาตรคงที่

Adiabatic Flame Temperature สำหรับการเผาไหม้ที่ปริมาตรคงที่จะเกี่ยวข้องกับระบบเผาไหม้ที่มีปริมาตรคงที่ เช่น การจุดระเบิดภายในระบบปิด หรือวัฏจักรออตโต (Otto cycle)

นิยามของ T_{ad} ที่ปริมาตรคงที่

$$U_{reac}(T_{init},\ P_{init}) = U_{prod}(T_{ad},\ P_f)$$

เมื่อ U เป็นพลังงานภายในสัมบูรณ์ของของผสม

การแปลความหมาย และการคำนวณคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ส่วนใหญ่จะแสดงโดยเอนทาลปี H (หรือ h) มากกว่า U (หรือ u) ดังนั้นเราจะพิจารณาความสัมพันธ์

$$H = U+PV$$

จากนิยาม $U_{reac}(T_{init},\ P_{init}) = U_{prod}(T_{ad},\ P_f)$ จะได้ $H_{reac} - H_{prod} - V(P_{init} - P_f) = 0$ หากเราใช้กฎของก๊าซในอุดมคติ เพื่อแทนค่าเข้าไปในสมการข้างต้น

$$P_{init}V = \sum_{reac} N_i R_u T_{init} = N_{reac} R_u T_{init}$$

$$P_f V = \sum_{prod} N_i R_u T_{ad} = N_{prod} R_u T_{ad}$$

จะได้

$$H_{reac} - H_{prod} - R_u\left(N_{reac}T_{init} - N_{prod}T_{ad}\right) = 0$$

เนื่องจาก

$$\frac{m_{mix}}{N_{reac}} \equiv MW_{reac} \text{ และ } \frac{m_{mix}}{N_{prod}} \equiv MW_{prod}$$

เพราะฉะนั้น

$$h_{reac} - h_{prod} - R_u\left(\frac{T_{init}}{MW_{reac}} - \frac{T_{od}}{MW_{prod}}\right) = 0$$

2.3 สมดุลทางเคมี

ผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ไม่ใช่ของผสมอย่างง่าย ไม่ใช่ในอุดมคติ ที่ผ่านมาใช้ผลิตภัณฑ์ในอุดมคติในการคำนวณ Stoichiometry ซึ่งค่า equivalence ratio จะเกี่ยวข้องกับสารผลิตภัณฑ์ในอุดมคติ สำหรับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน ดังนี้

ถ้า $\Phi = 1$ สารผลิตภัณฑ์ คือ CO_2, H_2O, N_2

ถ้า $\Phi < 1$ สารผลิตภัณฑ์ คือ CO_2, H_2O, N_2, O_2

ถ้า $\Phi > 1$ สารผลิตภัณฑ์ คือ CO_2, H_2O, N_2, CO, H_2

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จริงจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนอาจจะรวมไปถึง CO_2, H_2O, N_2, O_2, H_2, OH, CO, H, O, N, NO เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์หลัก ได้แก่ CO_2, H_2O, N_2, O_2, H_2, CO และแตกตัวออกเป็นH, N, O, OH, NO

2.3.1สมดุลระหว่างน้ำกับก๊าซ

ในหัวข้อนี้จะมีการพัฒนาความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการคำนวณผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ (โดยสมมติว่าไม่เกิดการแตกตัวเพื่อผลิตสารรองใดๆ) สำหรับสภาวะ lean และ rich
พิจารณาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนใดๆ

$$C_xH_y + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow bCO_2 + cCO + dH_2O + eH_2 + fO_2 + 3.76aN_2$$

สำหรับ fuel lean หรือ ที่เงื่อนไข stoichiometric $(\Phi \le 1)$ จะได้

$$C_xH_y + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow bCO_2 + dH_2O + fO_2 + 3.76aN_2$$

โดยที่

$$e \text{ และ } c = 0 \text{ ดังนั้น } b = x, d = \frac{y}{2}, f = [(1-\Phi)/\Phi]\left(x + \frac{y}{4}\right)$$

สำหรับ fuel rich $(\Phi > 1)$ จะได้

$$C_xH_y + a(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow bCO_2 + cCO + dH_2O + eH_2 + 3.76aN_2$$

โดยที่

$$a = \frac{x + y/4}{\Phi}$$

ดังนั้น ถ้ากำหนดเชื้อเพลิง และ Φ มาให้ ก็จะทราบค่า a

จำนวนโมลรวมของผลิตภัณฑ์ หาได้จาก

$$N_{tot} = x + \frac{y}{2} + \left(\frac{x + y/4}{\Phi}\right)(1 - \Phi + 3.76)$$

สำหรับ $\Phi \leq 1$

สัดส่วนโมลของผลิตภัณฑ์ หาได้จาก

$$X_{CO_2} = x/N_{tot}$$
$$X_{CO} = 0$$
$$X_{H_2O} = (y/2)/N_{tot}$$
$$X_{H_2} = 0$$
$$X_{O_2} = [(1-\Phi)/\Phi](x + y/4)/N_{tot}$$
$$X_{N_2} = 3.76(x + y/4)/(\Phi N_{tot})$$

สำหรับ $\Phi > 1$

สัดส่วนโมลของผลิตภัณฑ์ หาได้จาก

$$X_{CO_2} = b/N_{tot}$$
$$X_{CO} = (x-b)/N_{tot}$$
$$X_{H_2O} = (2a-b-x)/N_{tot}$$
$$X_{H_2} = (-2a+b+x+y/2)/N_{tot}$$
$$X_{O_2} = 0$$
$$X_{N_2} = 3.76a/N_{tot}$$

2.4 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)

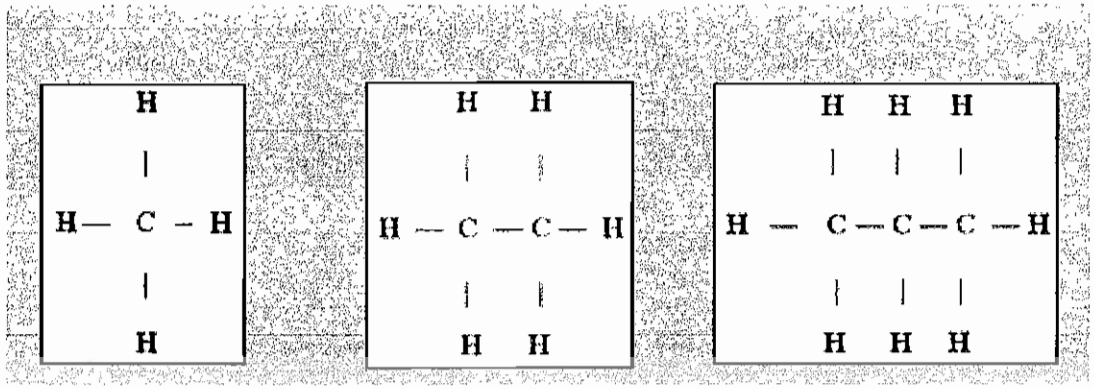
ก๊าซธรรมชาติ คือก๊าซชีวภาพชนิดหนึ่ง เกิดจากการทับถมตัวของซากสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์นับหลายล้านปี ซากพืชและสัตว์เหล่านี้แปรสภาพเป็นก๊าซ และน้ำมัน เนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลก และสะสมอยู่ในชั้นดิน จัดเป็นสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง ที่มีสูตรทางเคมีเป็น C_nH_{2n+2} โดยทั่ว ๆ ไป จะประกอบด้วยก๊าซมีเทน (Methane, CH_4) ตั้งแต่ 70% ขึ้นไป ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแหล่งก๊าซธรรมชาติ แต่ละแห่งเป็นสำคัญ

ก๊าซธรรมชาติประกอบไปด้วยส่วนที่เผาไหม้ได้ (Combustible) และอีกส่วนที่ไม่เผาไหม้ (Non-combustible หรือ Inert) ซึ่งองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติของ ปตท. เป็นดังนี้

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติของ ปตท.

Component	Percent By Volume
Methane (CH_4)	77.63467
Ethane (C_2H_6)	5.606381
Propane (C_3H_8)	1.643275
Butane (C_4H_{10})	0.358161
Entane (C_5H_{12})	0.334521
Hexane+(C_6+)	0.089030
Non- Combustible	
Carbondioxide (CO_2)	12.36640
Nitrogen (N_2)	1.780820

ส่วนที่เผาไหม้ได้ในก๊าซธรรมชาติ (Methane, Ethane, Propane, Butane, etc.) มีองค์ประกอบสำคัญคือ Carbon และ Hydrogen ซึ่งเรียกรวมกันว่าสารประกอบ Hydrocarbon โดยโครงสร้างของสารประกอบ Hydrocarbon ในก๊าซธรรมชาติจะมีลักษณะเป็นโซ่ของอะตอม Carbon ที่อิ่มตัวเกาะอยู่กับ**อะตอมของ Hydrogen หมายถึงขาของอะตอม Carbon ทั้ง 4 ขานั้นจับคู่กับอะตอมของ Hydrogen**



รูปที่ 2.3 โครงสร้างพันธะเคมีของ Methane, Ethane และ Propane

2.5 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger)

โดยปกติทั่วไปการใช้งานเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ในระบบงานทางวิศวกรรม เพื่อวัตถุประสงค์ให้เกิดการถ่ายเทความร้อนหรือแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลสองชนิดที่เป็นของไหลร้อนและของไหลเย็น

2.5.1 การแบ่งประเภทตามจุดประสงค์การใช้งาน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามารถแบ่งตามประเภทจุดประสงค์การใช้งาน หรือลักษณะการใช้งานนั้น ได้แก่

1) เครื่องระเหย (Evaporator) หรือหม้อเดี่ยว(Concentrator)การใช้งานคือการระเหยของเหลวให้เป็นไอเพื่อใช้ไอที่เกิดขึ้นให้เป็นประโยชน์หรือเพื่อให้ได้ของเหลวที่เข้มข้นขึ้น

2) เครื่องอุ่น หรือเครื่องทำให้ร้อนล่วงหน้า (Preheater) จุดประสงค์ก็เพื่อทำให้ของไหลร้อนล่วงหน้า ซึ่งเป็นการ เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของกระบวนการ โดยทั่วไปมักจะเรียกชื่อตามตำแหน่งข้างหน้าของการใช้งานหรือตามประเภทของของไหลที่ถูกอุ่นให้ร้อน เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ (Boiler Feed Water Preheater), เครื่องอุ่นอากาศให้ร้อนล่วงหน้าก่อนการสันดาป (Air Preheater) เป็นต้น

3. เครื่องทำให้ร้อน (Heater) จุดประสงค์ก็เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

4 เครื่องทำให้ร้อนยิ่งยวด (Superheat-heater) เครื่องนี้จะทำหน้าที่เพิ่มความร้อนให้กับของไหลที่ถูกทำให้ร้อนมาแล้ว เพื่อที่จะทำให้อยู่ในสภาพร้อนยิ่งยวด เช่น เครื่องดงไอ (Steam Superheater)

5 เครื่องต้มซ้ำ (Reboiler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ให้ความร้อนให้กับของเหลวเพื่อที่จะระเหยให้เป็นไออีกครั้ง

6 เครื่องควบแน่น (Condenser) จุดประสงค์ที่สำคัญก็เพื่อควบไอให้กลายเป็นของเหลว เช่น เครื่องควบแน่นไอน้ำ

7 เครื่องควบแน่นหมด (TotalCondenser) เครื่องนี้เป็นเครื่องควบแน่นชนิดหนึ่งที่ใช้กับหอกลั่น ได้รับการออกแบบให้สามรถควบแน่นไอที่ออกมาจากยอดหอกลั่นได้ทั้งหมด

8 เครื่องควบแน่นบางส่วน (Partian Condenser) เครื่องควบแน่นประเภทผลิตขึ้นใช้กับหอกลั่น มีจุดประสงค์เพื่อควบแน่นบางส่วนให้กลายเป็นของเหลว

9 เครื่องระบายความร้อน (Cooler) เครื่องนี้ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับของไหลเพื่อลดอุณหภูมิของของไหล

10 เครื่องทำให้เย็นจัด (Chillier) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของของไหลให้ต่ำลงมาก โดยใช้สารทำความเย็น (Refrigeration) เช่น ฟรีออน แอมโมเนีย เป็นต้น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในคำจำกัดความที่แคบนี้แตกต่างจากเครื่องอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ในแง่ที่ว่ามีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้ความร้อนแก่ของไหลตัวหนึ่ง ในขณะที่ระบายความร้อนกับของไหลอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีหลายชนิด ซึ่งแบ่งตามรูปทรงของอุปกรณ์และลักษณะของการไหล เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double – pipe Exchanger) ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในท่อในและอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างรูปวงแหวนระหว่างท่อในและท่อนอกซึ่งอาจไหลในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่2.4 (ก) โดยของไหลทั้งร้อนและเย็นจะไหลเข้าที่ปลายข้างเดียวกัน ไหลไปในทิศทางเดียวกันและไหลออกไปที่ปลายด้านเดียวกัน ส่วนการไหลสวนทางกันดังรูปที่ 2.4 (ข) นั้น ของไหลทั้งสองจะไหลเข้าที่ปลายด้านตรงข้ามกัน ไหลสวนทางกันและไหลออกที่ปลายด้านตรงข้ามกัน และนอกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้นั้นยังมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and Tube Exchanger) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Type Exchanger) เป็นต้น

(ก) การไหลทิศเดียวกัน (ข) การไหลสวนทางกัน

รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานและแบบไหลสวนทาง

2.5.2 ชนิดของการแลกเปลี่ยนความร้อน

การแบ่งประเภทของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ แบ่งตามสภาวะของของไหลที่ใช้ และแบ่งตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้คือ

การแบ่งตามสภาวะของไหลที่ใช้

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ประเภทที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด เช่น น้ำมันก้นหอกลั่นและน้ำมันดิบที่ป้อนเข้าหอกลั่น เป็นต้น

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลว-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของของไหลทั้ง 2 ชนิด โดยของเหลวชนิดหนึ่งจะเปลี่ยนสภาวะเป็นก๊าซหรือระเหยเป็นไอในระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น เครื่องต้มซ้ำ (Reboiler) ของหอกลั่นน้ำมันซึ่งใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงเป็นแหล่งความร้อน

3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ไม่เกิดการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นอากาศที่ใช้ก๊าซทิ้งเป็นแหล่งความร้อน

4. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ก๊าซ ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ โดยชนิดหนึ่งจะมีการควบแน่นเป็นของเหลว เช่น เครื่องกระจายความร้อน (Radiator) สำหรับทำความอบอุ่นในห้องโดยทำอากาศให้อุ่นด้วยไอน้ำ

5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ โดยชนิดหนึ่งเป็นก๊าซและอีกชนิดหนึ่งเป็นของเหลว เช่น เครื่องอุ่นน้ำป้อน ที่ใช้ก๊าซทิ้งจากหม้อไอน้ำเป็นแหล่งความร้อน

6. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซ-ของเหลว ชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะ เช่น หม้อไอน้ำแบบท่อ ซึ่งระเหยน้ำให้เป็นไอน้ำด้วยก๊าซสันดาป และเครื่องควบแน่น ซึ่งควบแน่นไอให้เป็นของเหลวด้วยน้ำระบายความร้อน

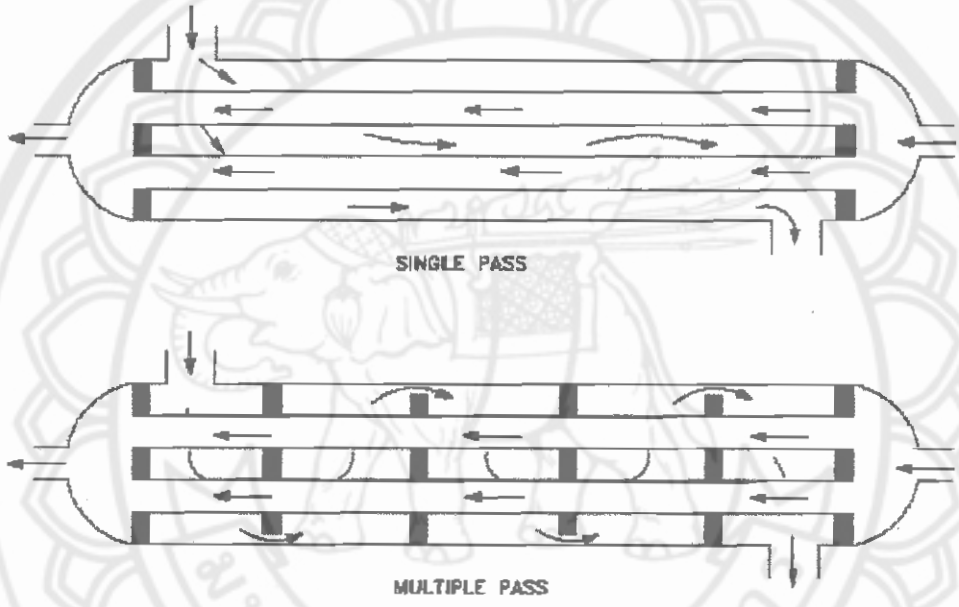
2.5.3 ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube Exchanger)

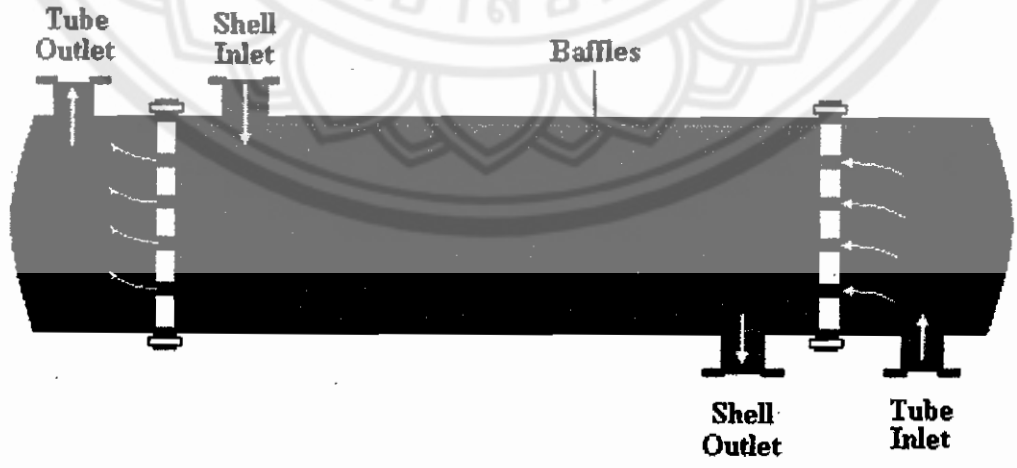
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อมีชื่อเรียกเช่นนี้เพราะมีท่อถ่ายเทความร้อนจำนวนมากติดตั้งไว้ภายในเชลล์ของเครื่อง ของไหลในท่อและของไหลด้านเชลล์จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนผ่านผนังท่อซึ่งกั้นระหว่างของไหลทั้ง 2 ประเภท การไหลของของไหลมี 2 แบบ ได้แก่ การไหลแบบขนาน (parallel flow) และการไหลแบบสวนทาง (counter flow)

จำนวนเที่ยวการไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

ในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ การกำหนดความเร็วของของไหลที่เหมาะกับหลักเศรษฐกิจที่สุด โดยการเลือกจำนวนเที่ยวการไหลที่ถูกต้องในตัวเชลล์และในท่อเป็นสิ่งสำคัญ โดยจำนวนเที่ยวการไหล1เที่ยว (one pass or single pass) หมายถึง การไหลจากทางเข้าที่ปลายข้างหนึ่งตรงไปอีกข้างหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ถ้ามีการกลับทิศทางการไหลภายในเครื่อง 1 ครั้ง ก็เรียกว่าการไหล 2 เที่ยว (Two Passes) ในกรณีที่จำต้องใช้จำนวนเที่ยวการไหลมากกว่านี้ มักใช้การไหล 4 เที่ยว, 6 เที่ยว, 8 เที่ยว ซึ่งเป็นเลขคู่



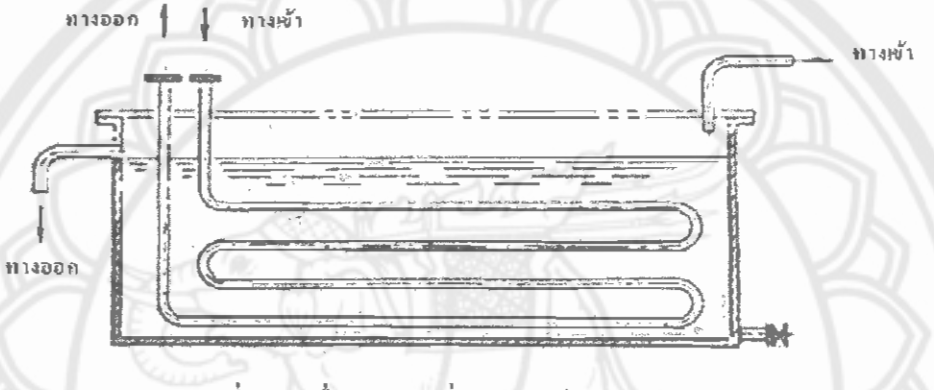
รูปที่ 2.5 จำนวนเที่ยวการไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2.6 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ

2) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ (Submerged Coil Exchanger)

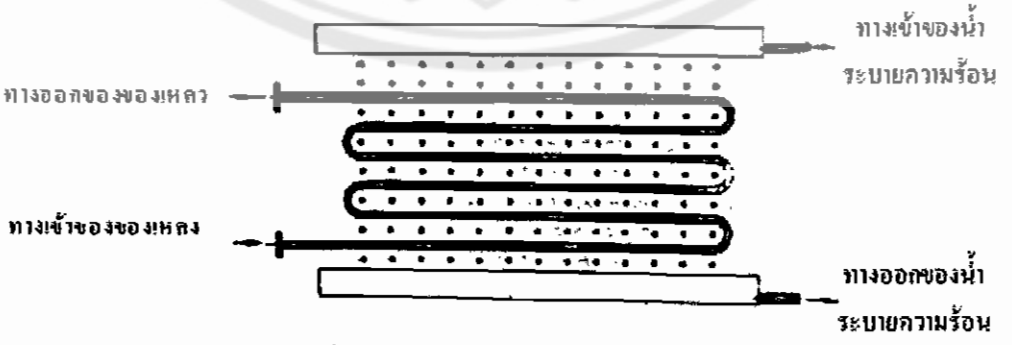
โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ไม่ต้องการกรรมวิธีการผลิตที่ละเอียดลออ วัสดุที่ใช้ทำขดท่อ (Coil) มีตั้งแต่ท่อทองแดง, ท่อเหล็ก, จนถึงวัสดุที่แปรรูปได้ยากเช่น กระเบื้องดินเผา, เซรามิค, แก้ว, เหล็กหล่อซิลิกอนสูง, กราไฟท์, ยางสังเคราะห์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นขดท่อ จึงมีความแข็งแกร่งสูง ดังนั้น ข้อดีของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้คือ ปัญหาการรั่วไหลมีน้อย แต่ข้อเสียคือ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำและมีพื้นมีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนภายนอกของเครื่อง



รูปที่ 2.7 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ

3) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปิด (Open Type Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ใช้ระบายความร้อนโดยการปล่อยให้น้ำหยดลงบนท่อที่ติดตั้งอยู่ในแนวระดับเพื่อลดอุณหภูมิของของไหลที่ไหลอยู่ภายในท่อ โครงสร้างทั่วไปประกอบด้วยท่อตรงและส่วนโค้ง และสามารถวางซ้อนกันหลายๆชั้นเครื่องแบบนี้เหมาะที่จะใช้กับของไหลที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง เพราะโอกาสที่จะเกิดการรั่วไหลมีน้อยและหากเกิดการรั่วไหลก็รู้ได้ทันที วัสดุที่ใช้ทำนั้นสามารถทำได้ตั้งแต่ท่อเหล็ก จนกระทั่งวัสดุประเภทต่างๆที่ทนการกัดกร่อนดังเช่นในกรณีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ

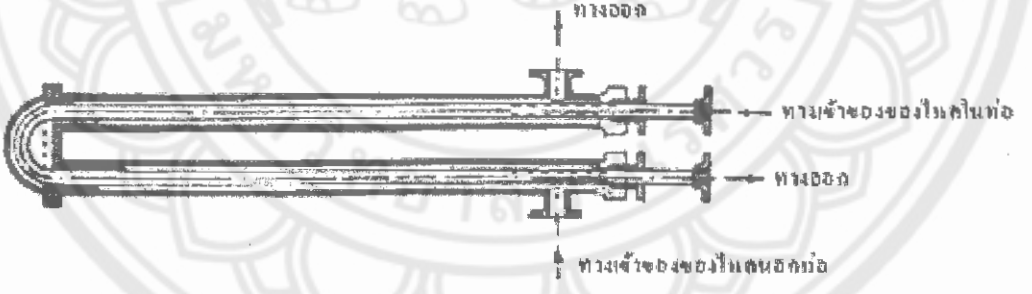


รูปที่ 2.8เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปิด

4) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double-Pipe Exchanger)

โครงสร้างของเครื่องนี้ประกอบด้วยท่อ 2 ขนาด ที่ซ้อนกันอยู่โดยมีแกนกลางของท่อร่วมกัน ของไหลชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในท่อและของไหลอีกชนิดหนึ่งจะไหลอยู่ในช่องว่างรูปวงแหวนระหว่างท่อในและท่อนอก โดยทั่วไปปลายข้างหนึ่งจะถูกเชื่อมต่อกันด้วยท่อโค้งรูปตัว U ดังรูปที่2.9 เครื่องแบบนี้เหมาะสำหรับการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหลภายในท่อที่มีความดันสูง ความหนืดสูง หรือฤทธิ์กัดกร่อนสูง ในบางกรณีอาจใช้ท่อที่มีครีบระบายความร้อน (Fin) เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนและความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของเครื่อง

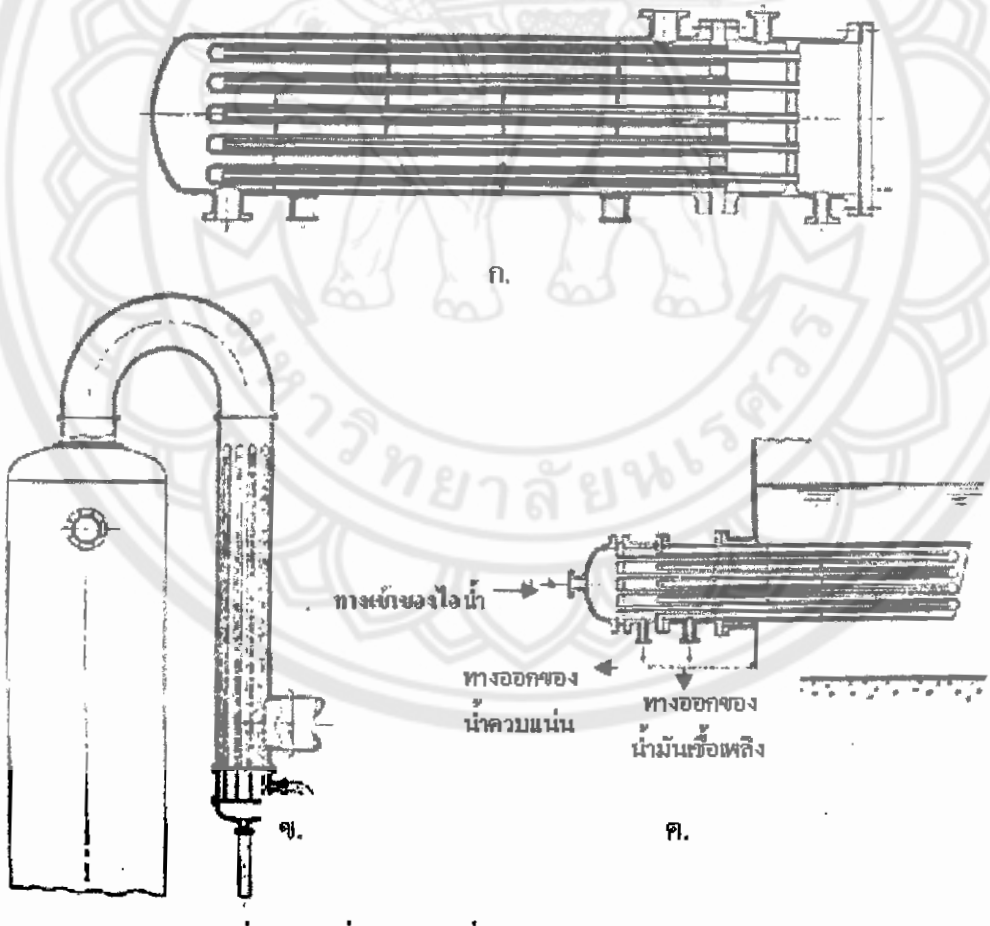
ลักษณะเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสองชั้นคือ โครงสร้างค่อนข้างง่ายราคาของเครื่องต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ถ่ายเทความร้อนราคาถูก และเมื่อมีความจำเป็นต้องการเพิ่มความสามารถในการทำงาน สามารถทำได้ง่ายโดยการนำเครื่องที่มีสัดส่วนเหมือนๆกันหลายๆชุดมาต่อกันแบบอนุกรม (Series) หรือขนาน (Paralrel) เมื่อให้ของไหลไหลสวนทางกันด้วยความเร็วที่เหมาะสม ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะมีค่าสูงในขณะที่ความดันสูญเสียมีค่าต่ำ แต่เมื่อขนาดของเครื่องเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ปริมาตรของเครื่องต่อหน่วยพื้นที่ถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มตามขึ้น ทำให้ราคาของเครื่องค่อนข้างแพงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอื่น ดังนั้นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้จึงควรเลือกใช้ในกรณีที่ปริมาตรการถ่ายเทความร้อนมีค่อนข้างน้อย หรือในกรณีที่ต้องการพื้นที่ถ่ายเทความร้อนน้อยกว่า 20 m^3



รูปที่2.9 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น

5) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบดาบปลายปืน (Bayonet Exchanger)

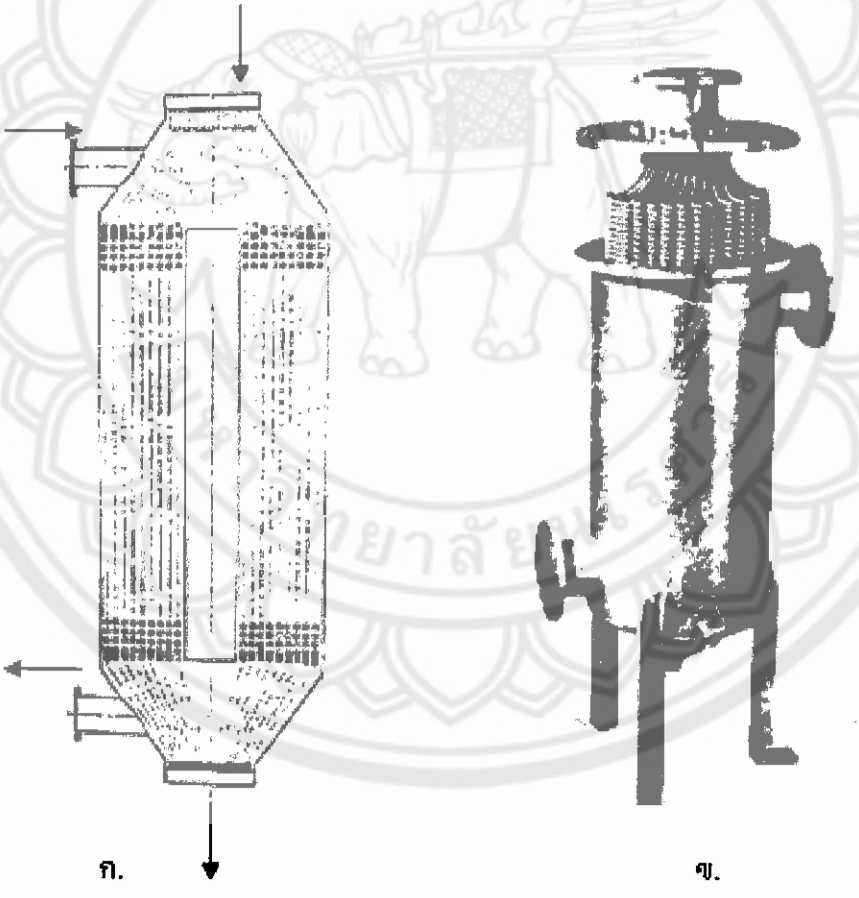
เส้นทางการไหลภายในท่อประกอบด้วยท่อนอกซึ่งปลายข้างหนึ่งมีฝาปิดอยู่และท่อในซึ่งสอดอยู่ในท่อนอกของไหลภายในท่อจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับของไหลภายในเซลล์ ในระหว่างที่ไหลอยู่ในช่องว่างระหว่างท่อในและท่อนอก เนื่องจากมัดท่อของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้สามารถติดตั้งหรือถอดออกได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับของไหลภายในเซลล์ ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้นั้น สะดวกที่จะสอดเข้าในภาชนะบรรจุหรือระบบท่อได้โดยตรงเพื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของของไหลในเซลล์ ดังรูปที่2.10 (ข) แสดงตัวอย่างการสอดเข้าไปในระบบท่อเพื่อทำความเย็นให้กับไอที่มาจากยอดของหอกลั่น ส่วนรูปที่2.10 (ค) แสดงตัวอย่างของการติดตั้งที่ผนังด้านข้างของถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันที่ปากทางออก แต่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้นั้นมีราคาสูงเมื่อเทียบกับเครื่องชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนสูง แต่เหมาะสำหรับใช้กับอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วเพื่อเสริมอัตราการถ่ายเทความร้อนที่มีอยู่แล้วให้เพียงพอ



รูปที่ 2.10 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบดาบปลายปืน

6) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหมุนวน (Spiral-Wound Type Exchanger)

โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนประเภทนี้ประกอบด้วยท่อทองแดง , ท่ออลูมิเนียม , หรือท่อวัสดุอ่อนอื่นๆซึ่งมีลักษณะเป็นท่อเล็กและยาวหมุนวนเป็นเกลียวหลายๆชั้นแล้วบรรจุในภาชนะรูปทรงกระบอก ผลที่ได้ คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากแต่มีการสูญเสียความร้อนน้อยมากเพราะพื้นผิวที่ความร้อนหนีออกจากเครื่องมีน้อย ส่วนข้อเสียของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้คือของไหลในท่อและในเชลล์จะต้องสะอาดและมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยจึงจะสามารถใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ได้ โดยในปัจจุบัน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหมุนวนส่วนใหญ่จะใช้กับอุปกรณ์แยกก๊าซซึ่งทำให้อากาศหรือก๊าซอื่นๆกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำมากๆเพื่อทำการแบ่งแยกก๊าซองค์ประกอบต่อไป



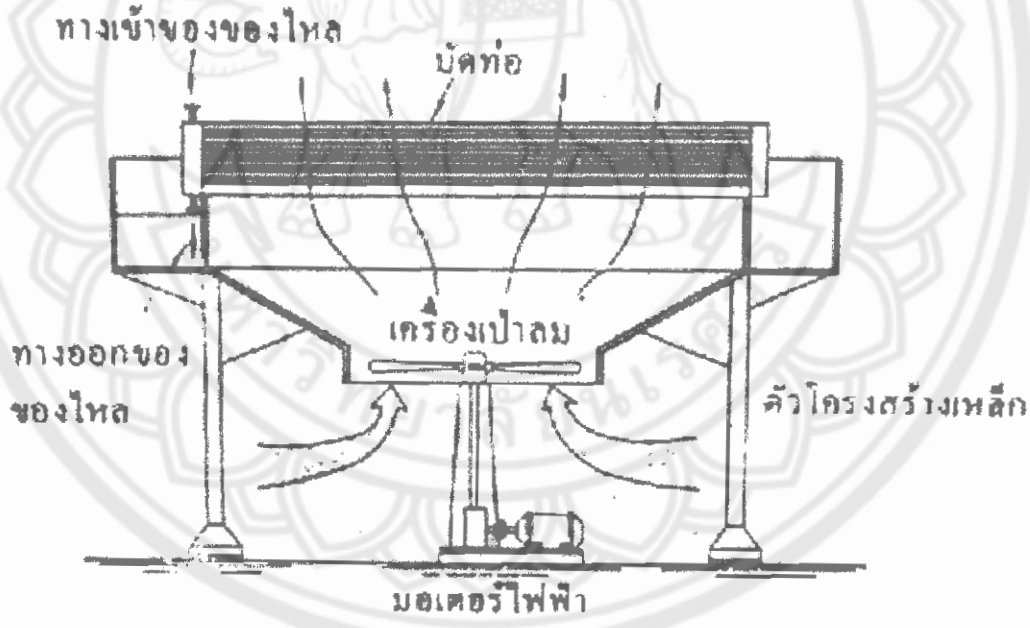
ก. ข.

รูปที่2.11 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหมุนวน

7) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air – Cooled Heat Exchanger)

เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ใช้อากาศเป็นตัวระบายความร้อนแทนน้ำเย็น จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ซึ่งโครงสร้างของเครื่องมี 3 องค์ประกอบ คือ มัดท่อซึ่งประกอบด้วยท่อถ่ายเทความร้อนที่มีครีบ (Fin) โครงเหล็ก ซึ่งใช้สำหรับยึดมัดท่อและเครื่องเป่าลมพร้อมมอเตอร์สำหรับเป่าอากาศผ่านมัดท่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีทั้งแบบที่เป่าอากาศผ่านมัดท่อ (Forced-Draft) และแบบที่ชักนำอากาศให้ผ่านมัดท่อ (Induced-Draft) ผลคือ ไม่ต้องกังวลเรื่องหาแหล่งน้ำ หรือแก้ไขคุณภาพของน้ำที่ใช้หลังการใช้แลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว และอากาศที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนก็มีปริมาณไม่จำกัด ยิ่งไปกว่านั้นการเกิดความสกปรกหรือสนิมของกรณีที่ใช้น้ำระบายความร้อนก็ไม่มี ข้อดีอีกอย่างคือค่าบำรุงรักษาถูกกว่ากรณีที่ใช้น้ำและหากเกิดการรั่วไหลของท่อขึ้น เรื่องที่น้ำจะเข้าไปปนกับของเหลวภายในท่อก็ไม่มี ส่วนข้อเสียนั้นคือ การทำงานของเครื่องจะมีเสียงดังและยังต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้ง



รูปที่2.12 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

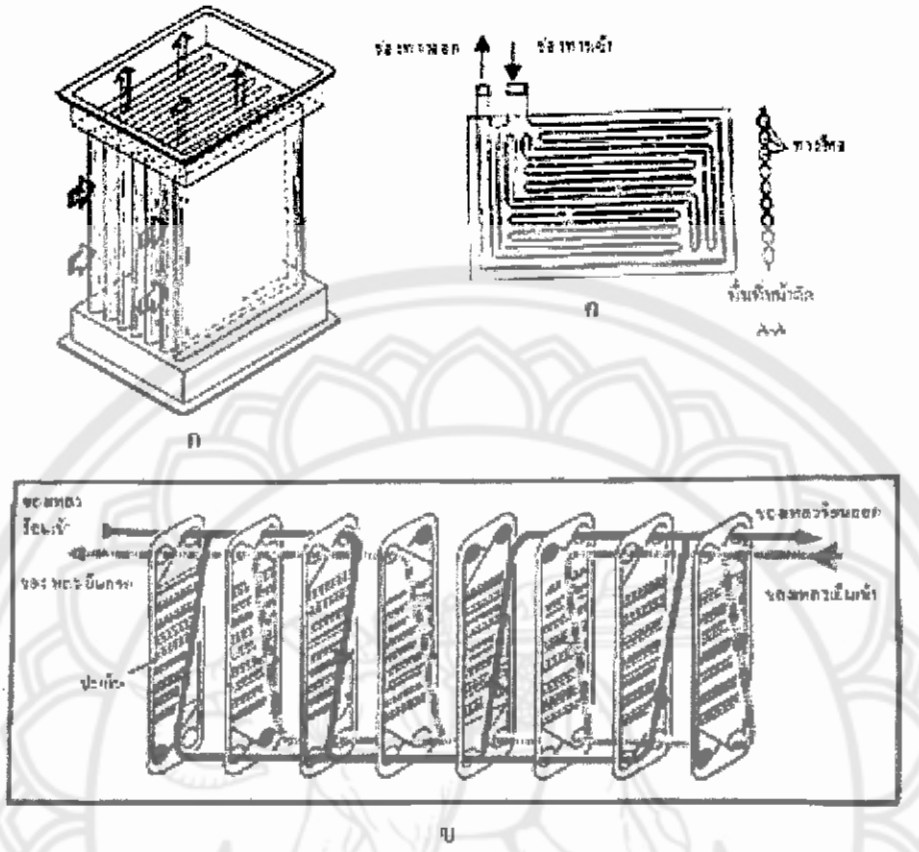
8) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate Type Exchanger)

ลักษณะพิเศษของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นคือการเอาแผ่นถ่ายเทความร้อนหลายๆ แผ่นมาวางเรียงกันในระยะห่างที่คงที่แล้วให้ของเหลวแต่ละชนิดไหลผ่านช่องว่างระหว่างแผ่นในลักษณะสลับกันช่องเว้นช่อง ดูรูป 2.13(ก) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลักษณะนี้นั้นมักใช้กับการเพิ่ม อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าหม้อไปน้ำ (Boiler) ในกรณีนี้ค่าความดันสูญเสียจะมีน้อยแต่ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนก็ไม่สู้ดีนัก แต่ได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นโดยออกแบบดังรูปที่ 13 (ข) ซึ่งทำจากแผ่นสแตนเลส (Stainless Steel) บางๆ หรือแผ่นไทเทเนียม (Titanium) ซึ่งทนต่อสนิมอย่างดีเอามาอัดให้เกิดส่วนนูน ส่วนเว้า และวางประกบกันหลายๆแผ่น ของไหลแต่ละชนิดจะไหลสลับกันไปตามช่องว่างที่เกิดจากการประกบเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง ป้องกันการรั่วและให้มีช่องว่างสำหรับการไหล ผิวของแผ่นนำความร้อนจะมีส่วนนูนและส่วนเว้าปะเก็น (gasket) จะถูกติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้ของไหลรั่วและรักษาระยะห่างระหว่างแผ่นที่ต้องการ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปรับปรุงใหม่นี้มีค่าสูงส่วนคุณสมบัติที่ดีอย่างอื่นคือ สามารถถอดออกมาเป็นแผ่นๆเพื่อทำความสะอาดได้ทั่วถึง การบำรุงรักษาก็ง่ายและสามารถปรับปริมาณการถ่ายเทความร้อนได้ โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนแผ่นถ่ายเทความร้อนเนื่องจากปะเก็นที่ใช้นั้นจะทำจากยางหรือยางสังเคราะห์ จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับอุณหภูมิสูงหรือความดันสูง

เครื่องแบบนี้นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมเวชภัณฑ์ และอุตสาหกรรมอาหาร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูงประมาณ 1300-3500 $kcal/m^2hr\ ^\circ C$ ส่วนความดันและอุณหภูมิและอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ได้ประมาณ $5kg/cm^2$ และ150 °C ตามลำดับ

รูป (ค) แสดงลักษณะของขดท่อที่ผลิตจากแผ่นถ่ายเทความร้อน(Plate Coil) โดยการนำแผ่นถ่ายเทความร้อน 2 แผ่นมาประกบกันให้เกิดช่องทางการไหลเหมือนกับขดท่อ ลักษณะการใช้มีตั้งแต่การนำมาวางประกบกันหลายๆแผ่นให้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น การวางใช้ในภาชนะบรรจุแทนขดท่อถ่ายเทความร้อน (Coil) ตลอดจนการวางติดกับผนังถังแทนปลอกหุ้ม (Jacket)



รูปที่2.13 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น

9) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปลอกหุ้ม (Jackted Type Exchanger)

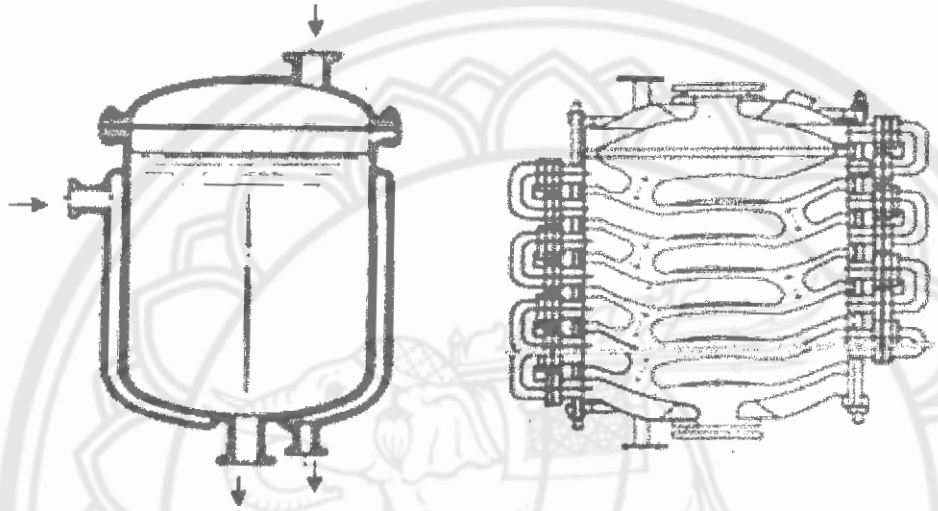
เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปลอกหุ้มนี้มีโครงสร้างของเครื่องประกอบด้วย ปลอกหุ้มถังเก็บ หรือถังปฏิกรณ์ (Reactor) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ในกระบวนการของอุตสาหกรรมเคมี

ข้อเสียคือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ หรือแบบอื่นๆ อีกทั้งพื้นที่การถ่ายเทความร้อนก็ถูกจำกัดโดยโครงสร้างของตัวถัง **ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับงานที่มีจุดประสงค์หลักเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน**

ส่วนข้อดีคือโครงสร้างเป็นแบบง่ายๆ ราคาถูก และความจุของภาชนะภายในสูงดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการให้ความร้อนหรือทำความเย็นแก่ของเหลวโดยเฉพาะอย่างยิ่งสะดวกสำหรับการรักษาอุณหภูมิของของเหลว ในถังเก็บหรือถังตวงให้คงที่ ในบางครั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความ

ร้อนอาจมีการติดตั้งเครื่องกวนสำหรับกวนของเหลวภายในถังหรือเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนโดยใช้ขดท่อถ่ายเทความร้อนร่วมด้วย

โดยปกติการทำความสะอาดภายในปลอกหุ้มทำไม่ได้ ดังนั้นของไหลที่ใช้ในปลอกหุ้มควรเป็นไอน้ำ น้ำเย็น ฟรีออน (Freon) หรือแอมโมเนีย (Ammonia) ที่มีความสกปรกน้อย



รูปที่2.14 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบปลอกหุ้ม

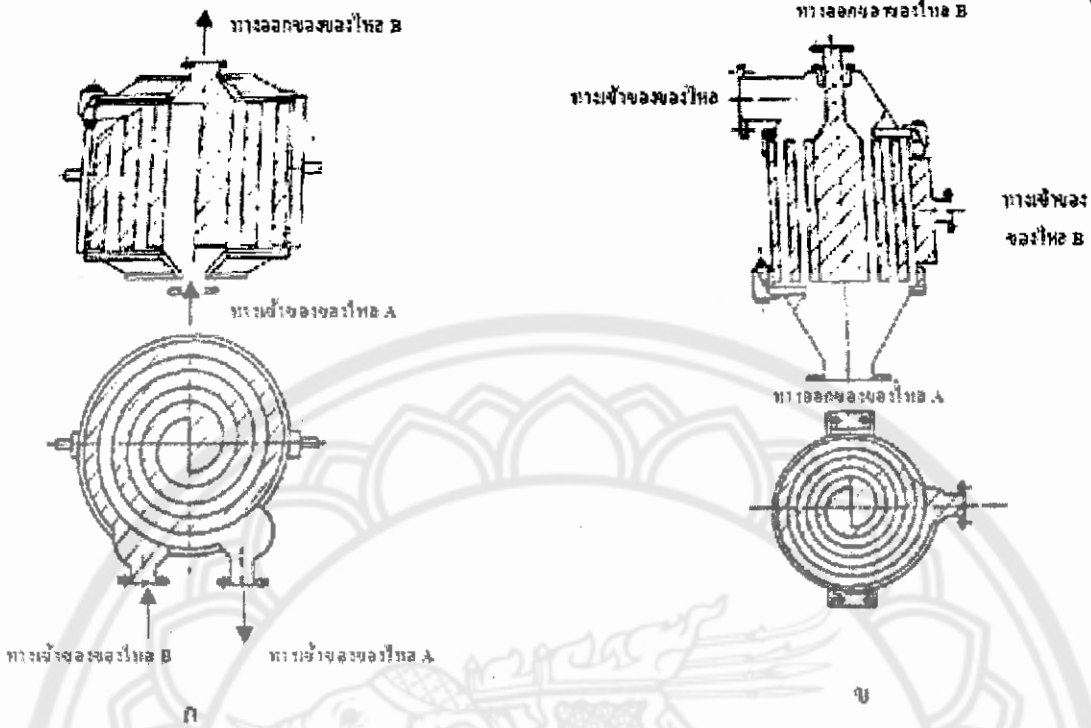
10) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหอยโข่ง (Volute Type Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้นั้นสร้างจากแผ่นราบ 2 แผ่นที่เอามาดัดขนานกันให้เหมือนลายก้นหอยโข่ง ดังรูป 2.15 (ก) แสดงการไหลแบบสวนทาง (Counter Flow) ส่วนรูป 2.15 (ข) แสดงการไหลแบบตั้งฉาก (Cross Flow)

ลักษณะเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้คือ โครงสร้างเป็นแบบไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการยืดหดตัวเชิงความร้อน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสูง เมื่อเทียบกับค่าความดันสูญเสียที่น้อยและการไหลก็สม่ำเสมอด้วย ดังนั้นจึงสามารถออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ขนาดเล็กเมื่อเทียบกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อน

ข้อเสียคือ ทำความสะอาดหรือซ่อมแซมได้ยาก เพราะโครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้จะสร้างโดยการเชื่อมโลหะ (Welding) ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับของเหลวที่สกปรกมาก, ของไหลที่มีฤทธิ์กัดกร่อนแตกต่างกันหรือของไหลที่มีความดันสูง ในปัจจุบันนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้มีใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

ป
TP
318
วงจร
2548.
ว.38591113
25
สำนักหอสมุด
17 มี.ค. 2551

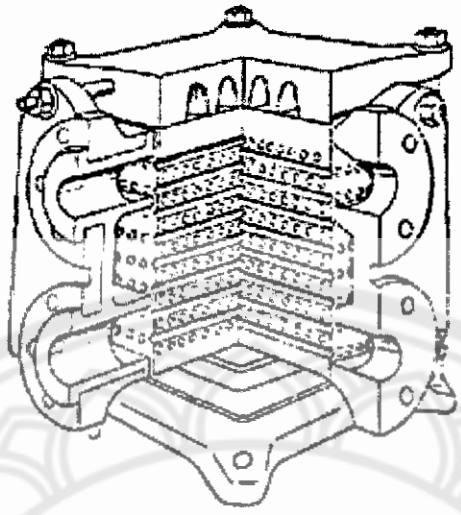


รูปที่ 2.15 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบหอยโข่ง

11) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบบล็อก (Block Type Exchanger)

โดยส่วนใหญ่แล้ว การเลือกวัสดุประเภทโลหะที่เหมาะกับการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารเคมีสองชนิดที่มีฤทธิ์กัดกร่อนผิดแผกกันนั้นทำได้ลำบาก ในกรณีเช่นนี้ควรใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบบล็อกซึ่งทำจากกราไฟท์ หรือวัสดุทนการกัดกร่อนอื่นๆดังรูปที่ 2.16 โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วยก้อนวัสดุทนการกัดกร่อนซึ่งเจาะรูยาวจำนวนมากให้ตั้งฉากกันระหว่างแต่ละชั้นของรู ของไหลแต่ละชนิดไหลสลับชั้นกันไปตามรูที่เจาะไว้

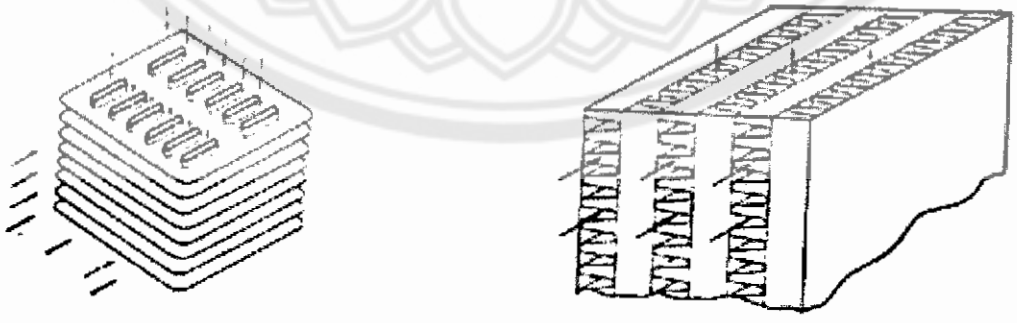
เครื่องแบบนี้มีใช้ในอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เช่น กรดเกลือ, กรดกำมะถันและเคมีภัณฑ์อื่นๆ แต่โครงสร้างของเครื่องจำกัดการใช้ในเฉพาะกรณี ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยที่ความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 2.16 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบบล๊อก

12) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกะทัดรัด (Compact Exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ได้มากจากความคิดริเริ่มที่ต้องการลดขนาดของเครื่องให้เล็กที่สุดแต่มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนสูง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้นั้นจะต้องมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ถ่ายเทความร้อน (m^2) กับปริมาตร (m^3) ของเครื่องมีค่ามากกว่า 660 ขึ้นไปเพื่อให้พื้นที่ต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยมีค่าสูง ในกรณีที่ใช้ท่อกลม จะใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า ¼ นิ้วที่ติดครีบ (Fin) ดังรูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างทั่วไปของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด เนื่องจากโครงสร้างแบบนี้นั้นจะทำการซ่อมแซมทำความสะอาดได้ยาก และอุณหภูมิหรือความดันที่ใช้ได้ก็มีจำกัด จึงไม่ค่อยใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมเคมี แต่จะเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีเยี่ยมระหว่างก๊าซสองชนิดที่สกปรกน้อย



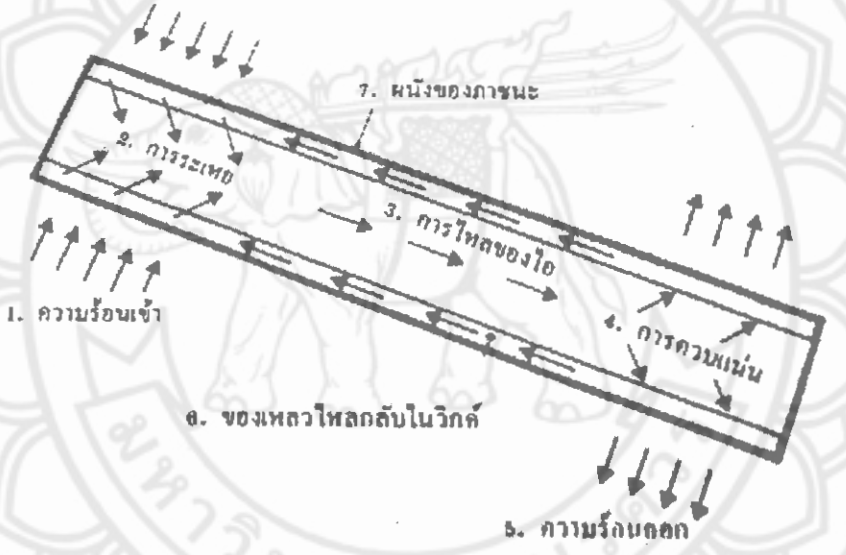
ก. ข.

รูปที่2.17 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด

13) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ (Heat Pipe Heat Exchanger)

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบนี้ประกอบไปด้วยฮีทไปป์ ซึ่งเป็นท่อปิดผนึก ภายในบรรจุวิกค์ (Wick) และของเหลวใช้งาน (Working Fluid) ที่ความดันสุญญากาศ

ลักษณะการทำงานของฮีทไปป์เป็นดังรูปที่ 2.18 กล่าวคือเมื่อฮีทไปป์ รับความร้อนจากแหล่งให้ ความร้อนผ่านผนังท่อของช่วงการระเหย (Evaporation Section) ไปยังวิกค์ ของเหลวใช้งานอยู่ในวิกค์จะระเหยกลายเป็นไอ ไอที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ตามท่อไปยังช่วงการควบแน่น (Condensation Section) ซึ่งมีความดันไอต่ำกว่า ณ ที่นี้ความร้อนแฝงที่เกิดจากการควบแน่นจะถ่ายเทผ่านผนังท่อไปสู่แหล่งรับความร้อน ส่วนของเหลวจากการควบแน่นจะไหลซึมกลับไปยังช่วงการระเหยโดยแรงคาพิลารี (Capillary Action) ของวิกค์



รูปที่ 2.18 ลักษณะการทำงานของฮีทไปป์

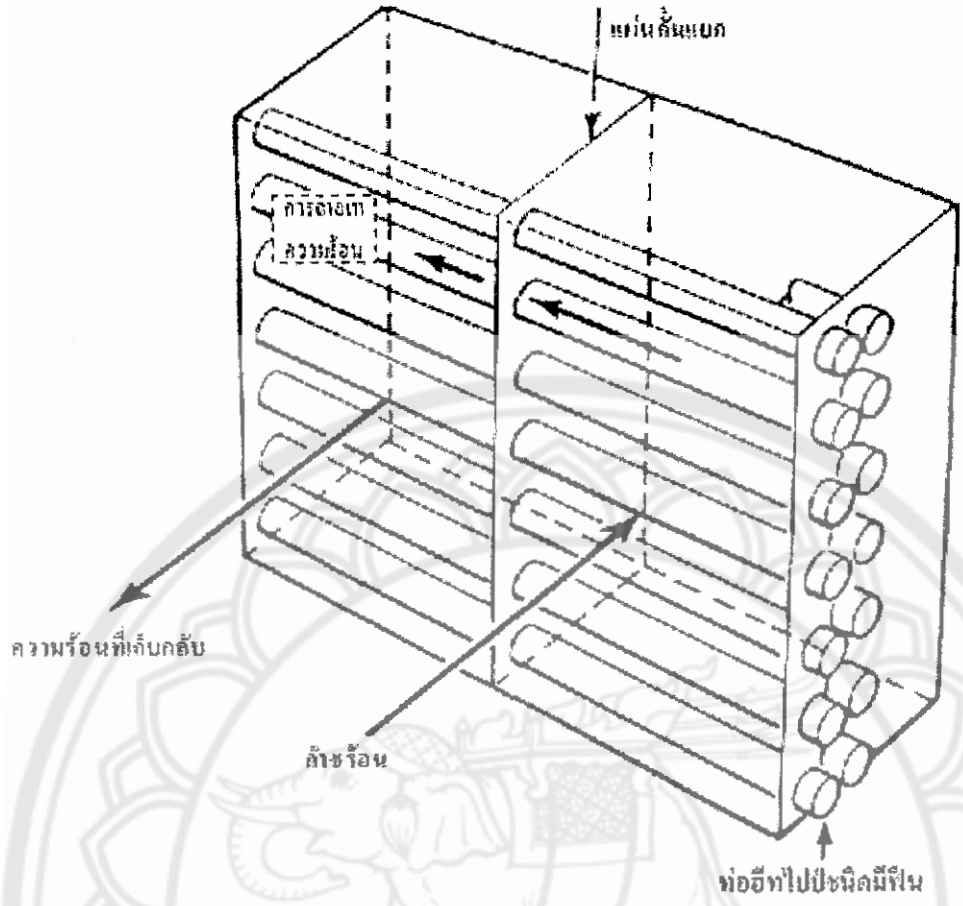
จุดเด่นของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์มีดังนี้

(1)ไม่ต้องใช้พลังงานเสริมในการใช้งาน ยกเว้น เครื่องเป่าลมหรือเครื่องสูบของเหลว

(2) อุณหภูมิที่ใช้งานมีช่วงกว้างและสามารถทำงานได้แม้อุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อนแตกต่างกันไม่มาก ถ้าเลือกของเหลวใช้งานให้เหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิดังแสดงในตารางที่ 2.2

(3) อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยมีค่าสูงกว่าอัตราการนำความร้อนของโลหะมาก

(4) ปัญหาในการใช้งานและการดูแลรักษามีน้อย เพราะไม่มีส่วนเคลื่อนไหว (Moving Parts)



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์

ตาราง 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างของเหลวใช้งานกับอุณหภูมิ

ช่วงอุณหภูมิ (°C)	ของเหลวใช้งาน
20-40	แอมโมเนีย
50-200	น้ำ
250-650	ปรอท
400-800	โปแตสเซียม
500-1000	โซเดียม
1000-1800	ลิเธียม

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น ในการรักษาอุณหภูมิในยานอวกาศให้มีค่าสม่ำเสมอทุกจุด ในการกำจัดความร้อนออกจาก ชิ้นส่วนอิเลคโทรนิกส์ประเภททรานซิสเตอร์ อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำและวงจรไอซี ในการถ่ายเทความร้อนระหว่างระหว่างก๊าซร้อนและก๊าซเย็นเพื่อประหยัดพลังงาน ในการควบคุมอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์เคมี

ในการอบแห้งเส้นใยและกระดาษ ในการเก็บความร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ ในการระบายความร้อนจากระบบเบรกของเครื่องบิน เตาเผาขยะและกระบวนการผลิตเป็นต้น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซร้อนและก๊าซเย็นในอดีตมีหลายประเภท การเปรียบเทียบเชิงปริมาณระหว่างสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีทไปป์กับเครื่องประเภทอื่นๆนั้นแสดงในตารางที่ 2.3

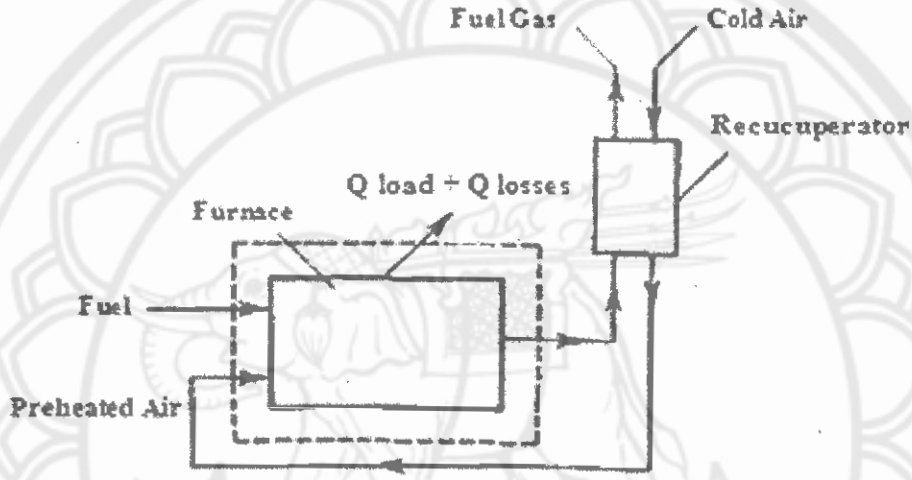
ตาราง 2.3 การเปรียบเทียบเชิงปริมาณของสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ สำหรับกรณีของก๊าซร้อนและก๊าซเย็น

ประเภทของเครื่องเครื่องแลกความร้อน	ความดันสูญเสีย	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	การบำรุงรักษา	ราคา	พลังงานเสริม	การรั่วผสมของของไหล	พื้นที่ถ่ายเทความร้อนต่อปริมาตรไหน่วย	คะแนนรวม
Regeneration	ปานกลาง 3	สูง 4	ยาก 2	สูง 2	ไม่จำเป็น	มี 0	มาก 4	15
Shell and Tube	สูง 2	สูง 4	ธรรมดา 3	ปานกลาง 3	ไม่จำเป็น	ไม่มี 5	น้อย 2	19
Plate fin	ต่ำ 4	ปานกลาง 3	ธรรมดา 3	สูง 2	ไม่จำเป็น	ไม่มี 5	มากพิเศษ 5	22
Reciculating	ต่ำ 4	ต่ำ 2	ยาก 2	สูง 2	จำเป็น	ไม่มี 5	ปานกลาง 3	18
Secondarymed. Heat pipe	ต่ำ 4	สูง 4	ง่าย 5	ปานกลาง 3	ไม่จำเป็น	ไม่มี 5	มาก 4	25

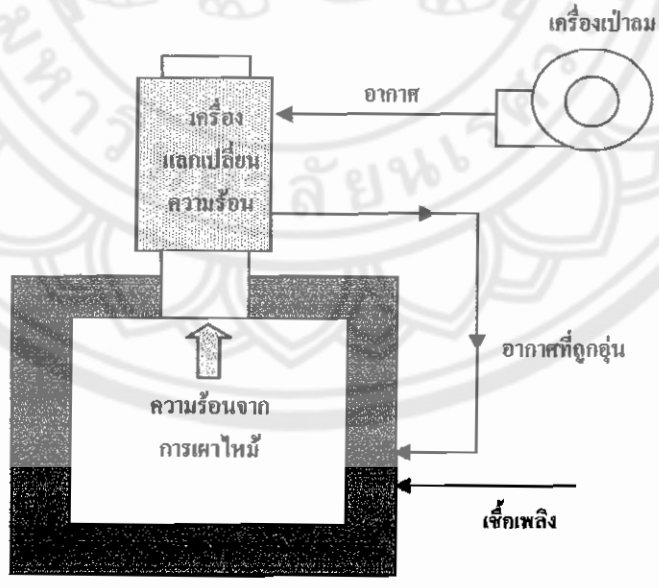
อย่างไรก็ดี ถ้าการเลือกวัสดุและการรออกแบบฮีทไปป์กระทำอย่างไม่ถูกต้อง ก็อาจเกิดปัญหาในการใช้งานได้ เช่น การผุกะลุของผนังท่อจะทำให้ฮีทไปป์หมดหมดประสิทธิภาพในการทำงานโดยสิ้นเชิง การผุกร่อนของผนังด้านในอาจก่อให้เกิดการอุดตันหรือเสื่อมคุณภาพของวิกค์ได้ แต่บางครั้งวิกค์อาจเกิดการแห้งตัวได้ (Dry Out) ถ้าแรงคาพิลลารีมีไม่เพียงพอที่จะถ่ายเทของเหลวควบแน่นกลับไปยังช่วงการระเหยได้ทัน ของเหลวใช้งานยังอาจเสื่อมคุณภาพได้ที่อุณหภูมิสูงเกินไป

2.6 การประหยัดเชื้อเพลิงโดยการทำอากาศให้ร้อนล่วงหน้า (Air preheat)

วิธีการอย่างหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากความร้อนของก๊าซทิ้ง คือ การอุ่นอากาศที่ใช้ในการสันดาปให้ร้อนล่วงหน้า ในการนี้ อากาศที่ใช้ในการสันดาปจะถูกอุ่นให้ร้อนด้วยก๊าซทิ้งโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ นำเอาก๊าซร้อนไอเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศใหม่เพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศให้สูงขึ้นก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้อีกครั้ง รูปที่ 2.20 ก. แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วๆไป และรูปที่2.20 ข. แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Air to Air



รูปที่ 2.20 (ก) ลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั่วๆไป



รูปที่2.20 (ข) ลักษณะการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Air to Air