บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อมมีเนื้อหาที่สำคัญที่จะต้องศึกษาดังนี้

2.1 บทนำ

2.2 ประวัติและพัฒนาการของการปรับอากาศ

2.3 ความร้อนและอุณหภูมิ

2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometrics chart)

2.5 การทำความเย็นโดยการระเหย

2.6 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหย

2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

2.1 บทนำ

ระบบทำความเย็นแบบระเหยชนิดโดยตรงและโดยอ้อม เป็นการประยุกต์หลักการปรับอากาศแบบระเหยเข้ากับการปรับอากาศแบบใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตามขวาง (Cross flow heat exchanger) เพื่อที่จะสามารถควบคุมสภาวะอากาศให้มีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นเหมาะสมตามต้องการ ซึ่งในการคำนวณสามารถหาความสัมพันธ์ได้จากแผนภูมิสภาวะอากาศ (Psychometric chart)

2.2 ประวัติและพัฒนาการของการปรับอากาศ

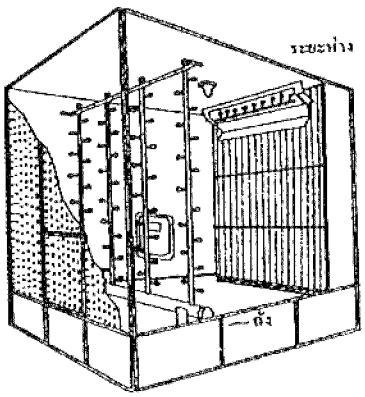
2.2.1 การค้นพบวัฏจักรการทำความเย็นและพัฒนาการของเครื่องทำความเย็น ได้เป็นแนวทางไปสู่การใช้ประโยชน์ของการปรับอากาศ โดยหลักใหญ่ๆแล้ว เครื่องอัดสารทำความเย็นทำหน้าที่อัดและทำให้ไอสารทำความเย็นเป็นของเหลว สารทำความเหลวเย็นเมื่อถูกฉีดเข้าไปในที่ที่มีความดันต่ำก็จะระเหยกลายเป็นไอทำให้อุณหภูมิลดลง ในยุคแรกๆ แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายที่สุด แต่ในปัจจุบันนี้ ฟรีออนได้เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดแทน

ในปี ค.ศ. 1822 คากนาร์ด เดอ ลา ทัวร์ (Caggniard de la Tour) แห่งฝรั่งเศส ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสภาวะวิกฤตของแกสอีเธอร์ และในปีถัดมาฮัมฟรี เดวี (Humphrey Davy)

และผู้ช่วยของเขาชื่อฟาราเดร์ (M. Faraday) แห่งอังกฤษ ได้เป็นบุคคลแรกที่สามารถทำให้ไอแอมโมเนียกลายเป็นแอมโมเนียเหลวได้สำเร็จ ในปี ค.ศ. 1824 คาร์โน (N.L.S. Carnot) แห่งฝรั่งเศส ก็ได้พบหลักเบื้องต้นของวัฏจักรการทำความเย็น และในปีเดียวกันนั้นเอง ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ของเขาก็ได้ถูกนำออกเผยแพร่ สิ่งที่ถือได้ว่าเป็นเครื่องปรับอากาศเครื่องแรกคือสิ่งประดิษฐ์ที่ โจเซฟ แมคครีดี (Joscpt Mccreaty) แห่งสหรัฐอเมริกาได้ประดิษฐ์ขึ้นและได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ไว้ในปี ค.ศ. 1897 ระบบของเขาเรียกว่า "เครื่องล้างอากาศ" (ระบบการทำความเย็นโดยการฉีดน้ำให้เป็นละอองเข้าไปในอากาศซึ่งมีรายละเอียดในภาพที่ 2.1) ส่วน ดร.วิลลิส ฮาวิแลนด์ คาร์เรียร์ (Dr.Willis Haviland Carrier) แห่ง

สหรัฐอเมริกานั้นเป็นบุคคลแรกที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศโดยที่เขาประสบผลสำเร็จในการปรับอากาศในโรงพิมพ์ด้วยระบบเครื่องล้างอากาศที่ทำให้อากาศเย็นลงและอิ่มตัวที่จุดน้ำค้าง เมื่อปี ค.ศ. 1911 คาร์เรียร์ก็ได้เสนอทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์เขาต่อสมาคมวิศวกรเครื่องกลอเมริกัน

ในระยะแรก การปรับอากาศได้ถูกนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ จนภายหลังสงครามโลกครั้งแรกแล้ว จึงได้มีการพัฒนาระบบปรับอากาศเพื่อความสุขสบายของมนุษย์



ภาพที่ 2.1 เครื่องล้างอากาศ (Air washer)

2.2.2 คำจำกัดความของการปรับอากาศ

ดังได้กล่าวแล้วการปรับอากาศคือการกระทำต่ออากาศเพื่อที่จะควบคุมให้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้เป็นไปตามต้องการของที่นั้นๆ และพร้อมๆ กันไปก็จะต้องควบคุมความบริสุทธิ์และการเคลื่อนไหวของอากาศด้วยในบางประเทศถึงกับมีกฎหมายกำหนดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ความบริสุทธิ์ และการเคลื่อนไหวของอากาศสำหรับงานแต่ละอย่างไว้ด้วย เช่น การปรับอากาศภายในสำนักงาน ภายในห้องประชุม เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว การปรับอากาศแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1) การปรับอากาศเพื่อความสบาย เป็นการปรับอากาศที่มุ่งส่งเสริมสุขภาพ ความสบายและประสิทธิภาพในการทำงานของผู้คนที่อาศัยหรือทำงานอยู่ที่นั้น อาทิ การปรับอากาศภายในบ้าน สำนักงาน โรงภาพยนตร์ โรงพยาบาล ฯลฯ

2) การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นการปรับอากาศเพื่อควบคุมภาวะบรรยากาศในกระบวนการผลิต ในการทำงานวิจัย และการเก็บรักษาผลผลิตต่างๆ ตัวอย่างเช่น การปรับอากาศในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โรงงานทอผ้า โรงบ่มยา ฯลฯ

2.3 ความร้อนและอุณหภูมิ

2.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

คือระดับสูงต่ำของความร้อนที่อยู่ในวัตถุ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุเมื่อวัตถุนั้นมีความร้อนอยู่ในตัว และเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่า ความร้อนย่อมถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิคือ Thermometer

2.3.2 อุณหภูมิสมบูรณ์หรือศูนย์สมบูรณ์ (Absolute Temperature or Absolute Zero)

อุณหภูมิต่ำสุด หรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งมาก ซึ่ง ณ จุดนี้จะไม่มีความร้อนหรือพลังงานเหลืออยู่อีกเลย เป็นจุดที่ทำให้แก๊สมีปริมาตรเป็นศูนย์ หรือมีสถานะเป็นแก๊สอยู่ต่อไปอีกไม่ได้จุดนี้จะมีอุณหภูมิ -273 °C หรือ -459.4 ° F

2.3.3 การวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

เครื่องมือสำหรับอุณหภูมิ คือ Thermometer โดยอาศัยหลักการขยายตัวของของเหลวหรือแก๊ส เช่น ปรอท แอลกอฮอล์ อีเทอร์ แก๊สต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนและอากาศ เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ของเหลวมี่เหมาะสมและใช้กันมาก ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์ปรอท แบบทั่วๆไปของเทอร์โมมิเตอร์ปรอท มีลักษณะเป็นหลอดหรือแท่งแก้วยาว ปลายข้างหนึ่งตันอีกด้านหนึ่งทำเป็นกระเปาะสำหรับบรรจุปรอท แบ่งออกได้หลายแบบ

2.3.4 ความร้อน (Heat)

เป็นพลังงานรูปหนึ่ง (พลังงานภายใน) ที่ทำให้ปราสาทสัมผัสของคนปกติเกิดความรู้สึกร้อนเย็นได้ พลังงานความร้อนที่อยู่ในวัตถุนั้น อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ คือ เมื่อโมเลกุลเกิดการเคลื่อนไหว ก็จะเกิดความร้อนขึ้นได้ แต่ถ้าโมเลกุลหยุดนิ่งก็จะไม่เกิดความร้อนขึ้นเลย เพราะโมเลกุลไม่เกิดการเสียดสีกัน เช่น เซอร์ อัมฟรี เดวี ทดลองใช้น้ำแข็งถูกับน้ำแข็งจะละลายเร็วขึ้น หรือใช้วัตถุ 2 อัน ถูกันจะเกิดความร้อนขึ้น การอัดอากาศในกระบอกสูบก็จะเกิดความร้อนเพราะโมเลกุลของอากาศเบียดเสียดถูกัน เป็นต้น

2.3.5 หน่วยวัดความร้อน (Unit of Heat)

ปริมาณความร้อนที่มีอยู่ในวัตถุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณหรือน้ำหนักของวัตถุและอุณหภูมิ ฉะนั้นวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำอาจมีค่าความร้อนสูงกว่าวัตถุอีกอันหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็ได้ หน่วยความร้อนที่ใช้มีหลายหน่วยดังนี้คือ

1) แคลลอรี่ (Calorie) ปริมาณความร้อน 1 แคลลอรี่ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีความร้อนสูงขึ้น 1 °C บางทีเรียก "กรัมแคลลอรี่" หรือ "กรัมองศาเซ็นติเกรด" (Gram-degree Centigrade Unit)

2) แคลลอรี่ใหญ่หรือกิโลกรัมแคลลอรี่ (Big Calorie, Major Caloric or Kilogram Calorie) คือ ปริมาณความร้อนที่พอดี ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 °C

ความร้อนนี้ว่า "หน่วยความร้อนเซ็นติเกรด" (Centigrade Unit of heat)

∴ 1 แคลลอรี่ใหญ่ = 1,000 แคลลอรี่

ในประเทศอังกฤษ นอกจากจะใช้หน่วยในมาตราเมตริกแล้ว ยังมีหน่วยความร้อนเป็นของตนเองด้วย คือ

ก) ปอนด์องศาฟาเรนไฮต์ (Pond degree Centigrade Unit or Centigrade heat unit) คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 °C เขียนย่อๆว่า 1b °C หรือ (Chu) บางทีเรียกหน่วย

ข) ปอนด์องศาฟาเรนไฮต์ (Pond degree Fahrenheit Unit or 1b °F) คือปริมาณที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 °F หรือเรียกว่า "หน่วยความร้อนอังกฤษ" (British Thermal Unit) เขียนย่อๆว่า B.Th.U หรือ B.T.U.

ค) เธอม (Them) เป็นหน่วยใหญ่ของ B.T.U.

ง) จูล (Joule) เป็นหน่วยวัดงาน พลังงาน และปริมาณความร้อนของระบบ S.I.unit

1 Therm	=100,000 B.T.U.

หน่วยความร้อนเปรียบเทียบ

1 B.T.U.	=252 Calories
	=778.26 ft.-1b.
	=1055 Joule
1 1b °C or Chu	=453.6 Calories
	=1400 ft.-1b.
1 H.P. – hr	=2544.98 or 2545 B.T.U.
1 kw. – hr.	=3413 B.T.U. =860 Kcal

1 joule	=0.37 ฟุต – ปอนด์
	=0.238 Calories,
	=นิวตัน – เมตร
1 Calorie	=4.2 joule

2.3.6 การส่งผ่านความร้อน (Transfer of Heat)

การส่งผ่านความร้อนหรือการเคลื่อนที่ของความร้อนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุอีกอันหนึ่ง นั้นแบ่งออกได้ 3 วิธี คือ

1) การนำความร้อน (Conduction of Heat) คือการที่ความร้อนส่งผ่านจะเคลื่อนที่ไปโดยอาศัยวัตถุเป็นสื่อหรือสะพานนำไป คล้ายกับไต่หรือคลานไปไปตามโมเลกุลหรือวัตถุนั้นโดยที่โมเลกุลนั้นไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย ส่วนมากเป็นพวกของแข็ง

2) การพาความร้อน (Convection of Heat) วิธีนี้จะเคลื่อนที่ความร้อนไปได้โดยอาศัยเกาะไปกับโมเลกุลของวัตถุ เมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่ไปความร้อนจึงเคลื่อนที่ไปได้โดยมากเป็นของเหลวและก๊าซ

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation of Heat) การส่งความร้อนโดยวิธีนี้ส่งออกเป็นคลื่น (Wave) โดยไม่ต้องอาศัยสื่อกลางเหมือน 2 วิธีแรก และไม่ทำให้ ตัวกลางที่ความร้อนผ่านร้อนขึ้นเลย เช่น การส่งความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านอากาศมายังโลก การแผ่รังสีนี้จะเป็นไปอย่างรวดเร็วมากและมีอัตราเร็วเท่าแสง

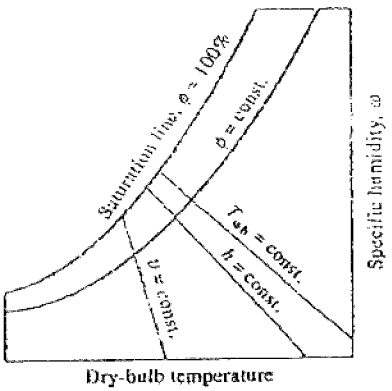
วัสดุทั้ง 3 สถานะ โดยทั่วไปแล้วของแข็งนำความร้อนได้ดีกว่าของเหลว และของเหลวนำความร้อนได้ดีกว่าก๊าซ เช่น เหล็กนำความร้อนดีกว่าน้ำ 100 เท่า และน้ำนำความร้อนดีอากาศ 15 เท่า

2.4 แผนภูมิไซโครเมตริก (psychometrics chart)

โดยปกติสภาวะของอากาศในบรรยากาศที่มีความดันค่าหนึ่งนั้น สามารถถูกกำหนดได้อย่างสมบูรณ์โดยค่าสมบัติไม่ขึ้นอยู่กับมวลอิสระ (intensive property) 2 ค่า เราจะทราบค่าสมบัติของสภาวะของอากาศดังกล่าวได้โดยการคำนวณจากสมการความสัมพันธ์ข้างต้น ในการออกแบบระบบปรับอากาศมักจะใช้การคำนวณเช่นนั้นมากมาย ซึ่งมักจะทำให้เกิดความรำคาญต่อนักวิศวกรออกแบบเป็นอย่างมาก ดังนั้น จึงได้มีผู้คิดค้นหาวิธีการคำนวณหาค่าทั้งหมด และคำนวณหาค่าที่ได้มาทำรูปของแผนภูมิที่ง่ายต่อการอ่านแผนภูมิได้นี้จะถูกเรียกว่า แผนภูมิไซโครเมตริก (psychometric chart) ซึ่งมักจะถูกใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบระบบปรับการ แผนภูมิ psychometric ที่ความดัน 1 atm (101.325 kPa หรือ 14.696 psia)

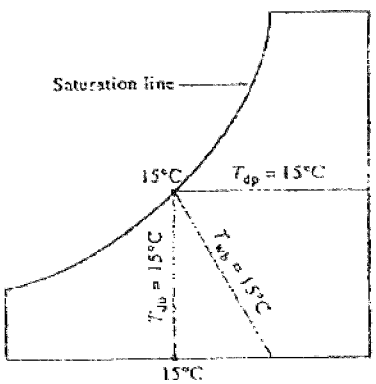
รูปร่างพื้นฐานทั่วไปของแผนภูมิ Psychometric ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.2 กล่าวคือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งถูกแสดงไว้เป็นแกนนอน และค่าความชื้นจำเพาะถูกแสดงไว้เป็นแกนตั้ง (บางแผนภูมิก็แสดงค่าความดันไอไว้เป็นแกนตั้งด้วย เพราะค่าความชื้นจำเพาะ ω จะมีความสัมพันธ์กับค่าความดันเป็นไอ

P_v ตามสมการ (2.8) เมื่อมีการค่าความดันรวม P) ที่ส่วนปลายด้านซ้ายของแผนภูมิ เราจะเห็นเส้นโค้งซึ่งเรียกว่า เส้นอิ่มตัว (Saturation line) แทนที่จะเป็นเส้นตรง สภาวะอากาศอิ่มตัวทั้งหมดจะอยู่บนเส้นโค้งนี้ ดังนั้น เส้นโค้งนี้ก็คือเส้นโค้งที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% ส่วนโค้งที่ค่าคงที่ของความชื้นสัมพัทธ์อื่นๆก็ได้แสดงในรูปร่างที่คล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิ Psychometric

เส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จะมีลักษณะเฉียงลงมาทางขวามือ และเส้นของปริมาตรจำเพาะคงที่ (ในหน่วยของ m^3 / kg dry air) จะดูคล้ายคลึงเว้นแต่ว่ามีความชันที่มากกว่า ส่วนเส้นของเอนทาลปีคงที่ (ในหน่วยของ kJ/kg dry air) จะเกือบที่ขนานกับเส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ ดังนั้น เส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่จึงมักถูกใช้ไปเป็นเส้นของเอนทาลปีคงที่ในแผนภูมิเดียวกันด้วย



ภาพที่ 2.3 แผนภูมิอากาศอิ่มตัว อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
กระเปาะเปียกและจุดน้ำค้างจะเท่ากัน

สำหรับอากาศอิ่มตัว อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ในกระเปาะเปียก และจุดน้ำค้าง จะเท่ากันดังภาพที่ 2.3 ดังนั้นอุณหภูมิที่จุดน้ำค้างของอากาศในบรรยากาศที่จุดใดๆ บนแผนภูมิสามารถถูกหาได้โดยลากเส้นแนวนอน (เส้นของ ω คงที่ หรือ P_v = คงที่) จากจุดนั้นไปยังเส้นอิ่มตัวค่าอุณหภูมิที่จุดตัดคือ ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

นอกจากนี้แผนภูมิ psychometric ยังมีคุณค่าช่วยให้มองเห็นภาพของกระบวนการการปรับอากาศได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น กระบวนการทำร้อน หรือ กระบวนการทำความเย็นธรรมดาจะปรากฏเป็นเส้นแนวนอนบนแผนภูมิถ้าไม่มีกระบวนการเพิ่มความชื้น (humidification) หรือกระบวนการลดความชื้น (dehumidification) เข้ามาเกี่ยวข้อง (นั่นคือ ω = คงที่) และถ้ามีการเบี่ยงเบนจากเส้นแนวนอนแล้ว จะชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มความชื้นหรือเอาความชื้นออกจากอากาศในระหว่างกระบวนการ

ตัวอย่างที่ 2.1

เราลองพิจารณาห้องที่มีอากาศบรรจุอยู่ โดยมีสภาวะอยู่ที่ 1 atm. 35° C และความชื้นสัมพัทธ์ 40% จะใช้แผนภูมิ psychometric ในการหา

ก)ความชื้นจำเพาะ

ข)ค่าเอนทาลปี (ในหน่วยของ kJ/kg day air)

ค)อุณหภูมิกระเปาะเปียก

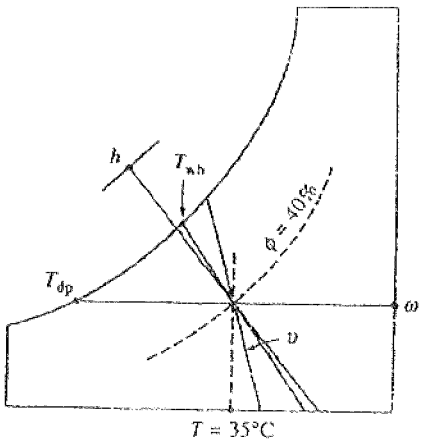
ง)อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

จ)ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (ในหน่วยของ m_3/kg day air)

วิธีทำ ที่ความดันรวมค่าหนึ่ง สภาวะของอากาศในบรรยากาศจะถูกกำหนดอย่างสมบูรณ์โดยค่าสมบัติอิสระ 2 ค่า เช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าสมบัติอื่นๆสามารถหาได้โดยการอ่านค่าจากแผนภูมิ psychometric

ก)ความชื้นจำเพาะหาได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาสะที่กำหนดทางด้านขวามือจนกระทั่งตัดแกน ω ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ที่จุดตัดนี้เราอ่านค่าได้

ω = 0.0142 kg H_2O/kg dry air



ภาพที่ 2.4 แผนภูมิตัวอย่างที่ 2.1

ข)ค่าเอนทาลปีของอากาศในหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง หาได้โดยการลากเส้นขนานกับเส้น h = คงที่ จากสภาวะที่กำหนดจนกระทั่งตัดกับสเกลของเอลทาลปี ที่จุดตัดนี้เราสามารถอ่านค่าได้

$$H = 71.5 \text{ kJ/kg dry air}$$

ค)อุณหภูมิกระเปาะเปียก สามารถหาได้โดยการลากเส้นขนานกับเส้น T_{dp} = คงที่จากสภาวะที่กำหนดจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว ที่จุดนี้เราอ่านค่าได้

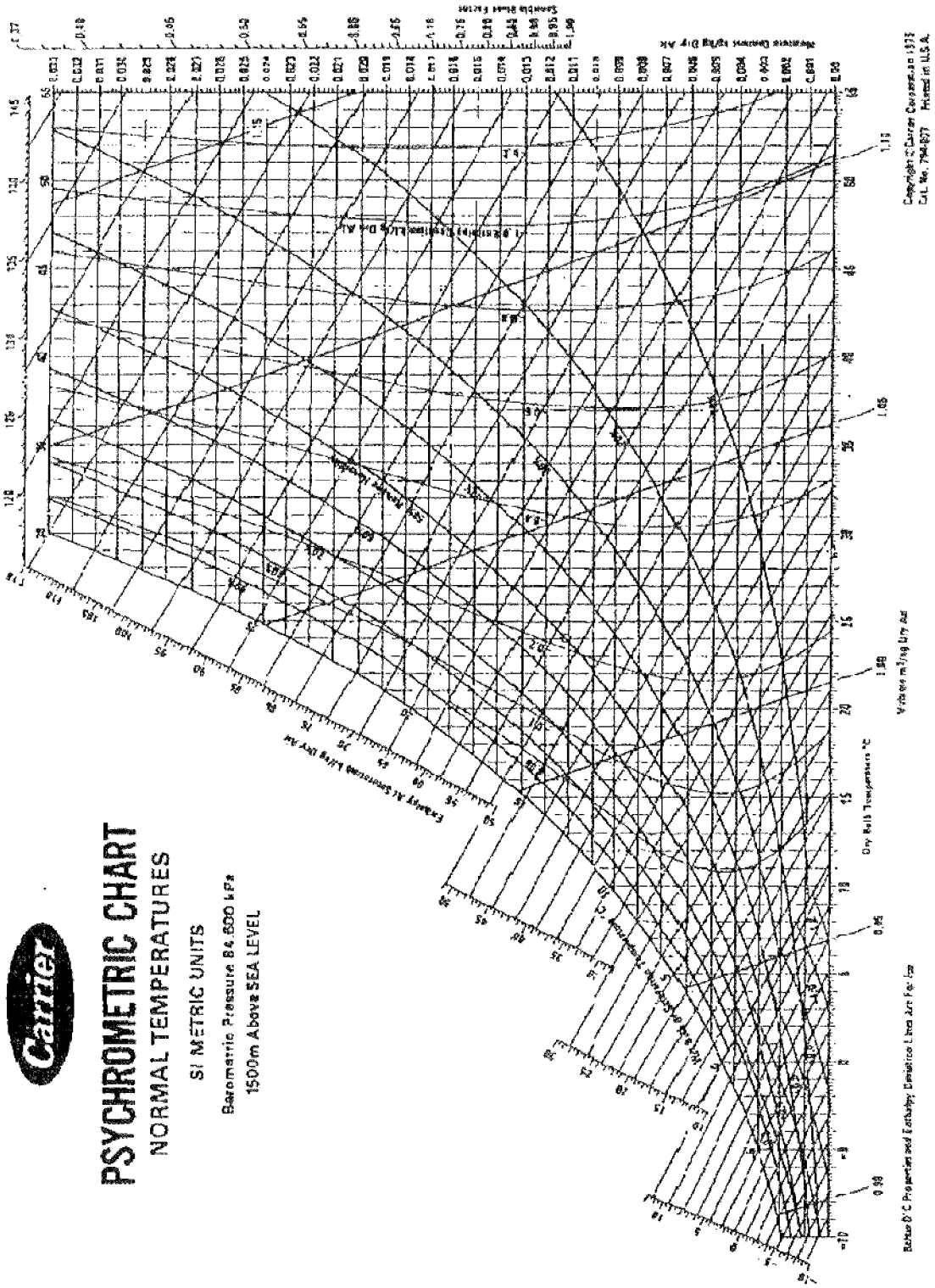
$$T_{wp} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ง)อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หาได้โดยลากเส้นแนวนอนจากสภาวะที่กำหนด ไปยังซ้ายมือจนกระทั่งตัดกับเส้นอิ่มตัว ที่จุดนี้เราเราอ่านค่าได้

$$T_{dp} = 19.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

จ)ปริมาตรจำเพาะต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศสามารถหาได้โดยสังเกตระยะห่างระหว่างสภาวะที่กำหนดและเส้นของ V = คงที่ทั้งสองด้านสังเกตดูว่าสภาวะที่กำหนดนั้นอยู่ในระหว่างค่าใดบ้าง และหาค่าโดยประมาณจะได้

$$V = 0.893 \text{ m}^3/\text{kg dry air}$$



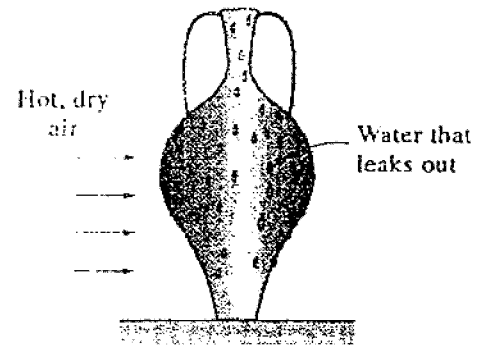
ภาพที่ 2.5 แผนภูมิ Psychometric chart

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.5 การทำความเย็นโดยการระเหย

ระบบทำความเย็นแบบธรรมดาเป็นระบบที่ทำงานตามวัฏจักรทำความเย็น และสามารถใช้ได้ในทุกๆส่วนของโลก แต่ระบบทำความเย็นแบบธรรมดานี้จะมีค่าต้นทุนสูงและค่าใช้จ่ายในการทำค่อนข้างสูง ในสภาวะของอากาศทะเลทราย (ร้อนและแห้ง) เราสามารถหลีกเลี่ยงการใช้ระบบการทำความเย็นแบบธรรมดาที่มีต้นทุนสูงนี้ได้ โดยใช้เครื่องทำความเย็นโดยการระเหย (Evaporative coolers) หรือรู้จักกันดีในนาม swamp cools

การทำความเย็นโดยการระเหยมีหลักการทั่วไปดังนี้ คือ ขณะที่เกิดการระเหย ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำจะได้รับจากน้ำด้วยกันเองและอากาศที่รอบๆ ผลที่ตามมาคือทั้งน้ำและอากาศจะเย็นตัวลงระหว่างกระบวนการนี้และวิธีการนี้ เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ทำน้ำให้เย็นเป็นระยะเวลาเกือบพันปีมาแล้ว กล่าวคือเหยือกหรือภาชนะที่ทำเป็นรูปเหยือกมีสองหู ที่มีรูและน้ำบรรจุอยู่ภายในถูกปล่อยวางไว้ในบริเวณที่เปิดและร่ม ปริมาณน้ำเล็กน้อยจะรั่วออกจากเหยือกโดยผ่านรูพรุนและเกิดเป็นเหงื่อ ในสภาวะบรรยากาศที่แห้ง น้ำนี้จะระเหยและทำให้น้ำที่เหลืออยู่ภายในเหยือกเย็นลง (ภาพที่ 2.6)

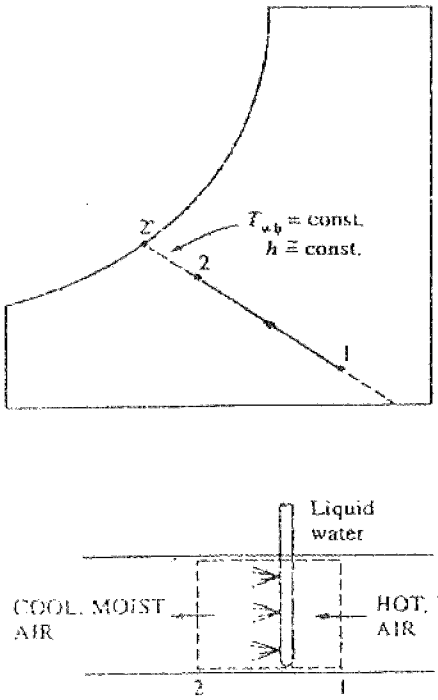


ภาพที่ 2.6 ผลของกระบวนการการทำให้เย็นโดยการระเหย

บางทีเราอาจจะรู้สึกได้ว่า ในวันที่อากาศร้อนและแห้งเรารู้สึกเย็นกว่าได้ถ้ามีพ่นน้ำในสนามหญ้า ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าน้ำมีการดูดซึมความร้อนจากอากาศที่อยู่รอบๆ และเกิดการระเหยขึ้นการทำงานของกระบวนการทำความเย็น โดยการระเหยก็มีการทำงาน โดยหลักการนี้ ภาพของการทำความเย็น โดยการระเหยและกระบวนการบนแผนภูมิ Psychometric ได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.7 กล่าวคือ อากาศที่ร้อนและแห้งตามสภาวะที่ 1 ไหลเข้าสู่เครื่องทำความเย็นโดยการระเหย ซึ่งเมื่อฉีดพ่นน้ำที่อยู่อยู่ในสภาวะของเหลว น้ำส่วนหนึ่งจะเกิดการระเหยในระหว่างกระบวนการนี้โดยการดูดซึมความร้อนจากกระแสของอากาศ ผลที่ตามมาก็คืออุณหภูมิของกระแสอากาศจะลดลง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 ก.พ. 2555
เลขทะเบียน 244211

และมีความชื้นเพิ่มขึ้น (สภาวะที่ 2) ข้อจำกัดของกระบวนการนี้คือ อากาศจะไหลออกได้เต็มที่ที่สภาวะอิ่มตัวที่สภาวะที่ 2 ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถจะทำได้ในกระบวนการนี้



ภาพที่ 2.7 การทำความเย็นโดยการระเหย (evaporative cooling)

กระบวนการทำความเย็นโดยการระเหยนี้ จะเหมือนกับกระบวนการอิ่มตัวแอเดียเบติก เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนระหว่างอากาศและสิ่งแวดล้อมมักจะไม่มีมากนัก ดังนั้น กระบวนการทำความเย็น โดยการระเหยจะดำเนินการตามแนวเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่คงที่บนแผนภูมิ Psychometric (ข้อสังเกต คือ สิ่งนี้จะไม่ถูกต้องนักถ้าน้ำในสถานะของเหลวถูกป้อนเข้าที่อุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิที่ทางออกจากกระแสอากาศ) เนื่องจากเส้นของอุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่เกือบจะเป็นเส้นเดียวกันของเอนทาลปีคงที่ ดังนั้น ค่าเอนทาลปีของกระแสอากาศสามารถถูกสมมุติให้คงที่ นั่นคือ

$$T_{wb} \cong \text{คงที่} \quad \ldots (2.1)$$

และ $$h \cong \text{คงที่} \quad \ldots (2.2)$$

ในระหว่างกระบวนการทำความเย็นโดยการระเหย ข้อสมมตินี้มีค่าถูกต้อง โดยประมาณ และมักถูกใช้เพื่อการคำนวณในระบบปรับอากาศ

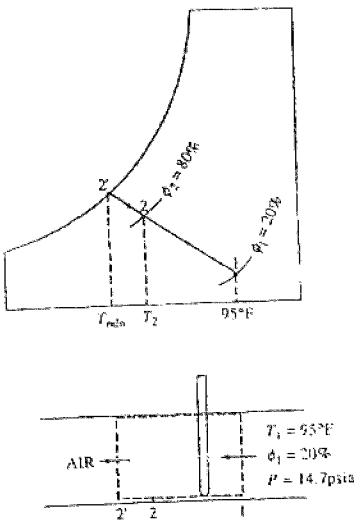
ตัวอย่างที่ 2.3

อากาศไหลเข้าเครื่องทำความเย็น โดยการระเหย ที่สภาวะ 14.7 psi, 95 °F และมีความชื้นสัมพัทธ์ 20% และไหลออกที่สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ 80% จงคำนวณหา

ก)อุณหภูมิที่ทางออกของอากาศ

ข)อุณหภูมิที่ต่ำสุดที่อากาศสามารถถูกทำให้เย็นได้โดยเครื่องทำความเย็น โดยการระเหยนี้

วิธีทำ ภาพของเครื่องทำความเย็นโดยการระเหย และแผนภูมิ Psychometric ของกระบวนการนี้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แผนภูมิ Psychometric และกระบวนการทำความเย็นแบบระเหย

ก)ถ้าเราสมมุติน้ำในสถานะของเหลวที่ถูกป้อนเข้าไปที่อุณหภูมิที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิที่ทางออกจากกระแสอากาศมากนักกระบวนการทำความเย็นโดยการระเหยจะดำเนินตามแนวเส้นที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่บนแผนภูมิ Psychometric นั่นคือ

$$T_{wb} \cong \text{คงที่}$$

อุณหภูมิกระเปาะเปียกที่สภาวะ 95 °F และความชื้นสัมพัทธ์ 20% สามารถหาได้จากแผนภูมิ Psychometricซึ่งมีค่าเท่ากับ 66.0 °F และเส้น = 80% คือ สภาวะที่ทางออกของอากาศ อุณหภูมิที่จุดนี้เป็นอุณหภูมิที่ทางออกของอากาศ และสามารถหาหนทางออกได้จากแผนภูมิ Psychometric ได้ดังนี้

$$T_{min} = T_2 = 66.0 \quad ^{\circ}F$$

2.6 ประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบระเหย

ประสิทธิภาพของการทำความเย็นแบบระเหย จะขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศที่ใกล้สภาวะอิ่มตัว ซึ่งจะเป็นตัววัดสมรรถนะในการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบระเหย โดยทั่วไปแล้วจะแสดงในรูปประสิทธิภาพอิ่มตัว (Saturation efficiency) ซึ่งจะเป็นการพิจารณาจากผลของอุณหภูมิจากการระเหยของน้ำเมื่อมีอากาศไหลผ่านผิวเปียก ดังนั้นการพิจารณาระบบการทำความเย็นสามารถประเมินได้จาประสิทธิภาพดังนี้

$$\varepsilon_{sat} = \frac{T_{db,i} - T_{db,o}}{T_{db,i} - T_{wb,i}} \times 100\% \qquad \ldots(2.3)$$

โดยที ε_{sat} คือ ประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)

$T_{db,i}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านผิวเปียก ($^{\circ}$C)

$T_{db,o}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านผิวเปียก ($^{\circ}$C)

$T_{wb,i}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านผิวเปียก ($^{\circ}$C)

ระบบการทำความเย็นแบบระเหยในแบบพ่นฝอย จะให้ประสิทธิภาพถึง 90 ถึง 98 เปอร์เซ็น ที่ความดัน 25 psi ของแรงดันหัวฉีด ส่วนผิวเปียก ประสิทธิภาพในการทำความเย็นจะอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างกว้างทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ สภาพของอากาศที่ไหลผ่าน พื้นที่ และความหนาของผิวเปียก รวมทั้งความสามารถในการรักษาระดับของปริมาณน้ำภายในผิวเปียกได้ดี ซึ่งโดยทั่วไปประมาณ 90 % และถ้ามีการบำรุงรักษาประสิทธิภาพสามารถทำได้ถึง 80 %

2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Principle of Heat Transfer)

เมื่อไหร่ก็ตามที่จุดสองจุดมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ก็จะมีพลังงานถ่ายเทจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ พลังงานที่กำลังเคลื่อนด้วยอิทธิพลของอุณหภูมิที่แตกต่างนี้ เรียกว่าความร้อน ถึงแม้ว่าวิชาเทอร์โมไดนามิกส์จะเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทของพลังงานก็ตาม แต่ก็เป็นการศึกษาเฉพาะในกรณีที่ระบบความร้อนนั้นอยู่ในสภาวะสมดุลแล้วเท่านั้น ดังนั้นกฎเกณฑ์ต่างๆ ในวิชาเทอร์โมไดนามิกส์จึงใช้ได้แต่เพียงทำนายจำนวนพลังที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบความร้อนนั้น อยู่ในสภาวะสมดุลจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถที่จะบอกให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดจากขึ้นได้รวดเร็วเพียงไร ศาสตร์จากวิชากรถ่ายความร้อนนี้จะช่วยต่อเติมกฎหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้

รายละเอียดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์และการถ่ายเทความร้อนนั้น พิจารณาได้จากแท่งเหล็กที่กำลังร้อนขึ้นเมื่อนำไปแช่ทิ้งไว้ในน้ำร้อนจากกฎของเทอร์โมไดนามิกส์ จะทำให้สามารถหาอุณหภูมิจากแท่งเหล็กและน้ำร้อนได้เมื่อแท่งเหล็กและน้ำร้อนอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว แต่ก็ไม่สามารถบอกให้ทราบถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิในช่วงที่กำหนดให้นั้น และก็สามารถบอกให้ทราบว่าจะต้องใช้เวลานานเท่าไหร่ แท่งเหล็กและน้ำร้อนจึงจะมีอุณหภูมิตามต้องการ ส่วนการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนนั้นจะสามารถทำนายอัตราการถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนไปยังแท่งเหล็กได้ นอกจากนี้ ยังสามารถคำนวณหาอุณหภูมิของแท่งเหล็กและน้ำในฟังก์ชั่นของเวลาอีกด้วย

การวิเคราะห์การถ่ายความร้อนที่ดีนั้น จะต้องทราบถึงกลไก ของการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ หรือการนำความร้อน (Conduction)

2. การถ่ายเทความร้อนโดยการพา หรือการพาความร้อน (Convention)

3. การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี หรือการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

ในการออกแบบระบบความร้อนและวิเคราะห์ การแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะต้องเข้าใจกลไกของการถ่ายเทความร้อนแต่ละระบบ และต้องทราบถึงความสัมพันธ์ของการถ่ายเทความร้อนแบบนั้นๆ สำหรับในบทนี้พิจารณาถึงกฎเกณฑ์สำคัญๆ ของการถ่ายเทความร้อนและการใช้งานที่พื้นๆ บางอัน ส่วนรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนแต่ละแบบนั้นจะกล่าวถึงในภายหลัง

2.7.1 การนำ (Conduction)

การนำความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่อุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกันแต่อุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อนความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง) การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีมากในตัวกลางที่เป็นของแข็ง การเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพกพาความร้อนเคลื่อนที่ โดยการนำได้โดยการเคลื่อนที่ไปได้โดยการสั่นสะเทือน (Vibration energy) อีกด้วย

หลักการคำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อนถูกตั้งขึ้นโดย โจเซฟ ฟูลเรีย (Joseph Fourier) นักวิทยาสาสตร์ชาวฝรั่งเศส ฟูลเรียได้เสนอสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำในปี ค.ศ.1822 โดยอาศัยข้อมูลจากากรทดลอง ไว้ดังนี้คือ

$$Q_X = -KA(\frac{dT}{dX}) \qquad (2.4)$$

โดยที่ K คือ ค่าการนำความร้อน (Fourier Rate Equation) ของสารที่ความร้อนเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นในระบบ และ ในระบบอังกฤษ เป็นพื้นที่ที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของความร้อนและเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

สมการนี้เรียกว่า ซึ่งเป็นสมการที่ได้มาโดยอาศัยผลการทดลอง จากสมการนี้เราสมารถหาสมการอื่นๆ เพื่อใช้ให้เป็นประโยชน์ในการคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการนำได้

2.7.2 การพา (Convection)

การพา คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ความร้อนโดยการพาได้นั้นเกิดจากการรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการและการเคลื่อนที่ของไหล การพาแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) และการพาตามธรรมชาติ (Nature หรือ Free Convection)

การพาโดยการบังคับ (Forced Convection) คือการเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม หรือเครื่องสูบน้ำ

การพาตามธรรมชาติ (Nature หรือ Free Convection) คือการเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่ของไหลที่อยู่ใกล้ผิวของของแข็ง อาจจะเคลื่อนที่ได้โดยแรงตัวของของไหลเองแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของการไหลขึ้น

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน โดยการพานั้นเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก เมื่อพิจารณาแล้วมีหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เป็นต้นคุณสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ความเหลวของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของแข็ง และของเหลวเป็นต้น นิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยางยากเหล่านี้ โดยการเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ความร้อนโดยการพาดังนี้คือ

$$q = h\,(T_h - T_c) \qquad (2.5)$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient) ซึ่งได้รวมเอาความยุ่งยากทั้งหมดไว้ ถ้าเรารู้ว่าการคำนวณสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนได้ เราก็คำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้ สมกรสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนส่วนใหญ่จะเป็นสมการชนิดเอมไพริกัลป์ (Empirical Equation)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหน่วยเป็น W/m^2K ในระบบ SI และ $Btu/ft^2\ hr^oF$ ในระบบอังกฤษ

q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของแข็งที่สัมผัสกับของไหล

T_h คือ อุณหภูมิที่ร้อนกว่า (ของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็ง)

T_c คือ อุณหภูมิที่เย็นกว่า (ของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็ง)

2.7.3 การแผ่รังสี (Radiation)

ในการแผ่รังสีความร้อนเคลื่อนที่ได้ โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางดังเช่นในการนำและพาในการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ การที่จะอธิบายว่าความร้อนเคลื่อนที่ได้อย่างไรนั้น เป็นสิ่งที่ยากจะอธิบายให้พฤติกรรมทางกายภาพได้ มีผู้พยายามเสนอวิธีเกี่ยวกับการแผ่รังสีมาหลายรายแต่ไม่ค่อยเป็นที่น่าพอใจนัก ทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุดในขณะนี้เป็นทฤษฎีที่เสนอโดย ไอสไตน์ (Einstein) ซึ่งกล่าวว่าในการแผ่รังสีความร้อนเคลื่อนที่โดยอาศัยกลไกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนรวมกัน (Combined Convection and Radiation)

เมื่อถ่ายเทความร้อนเกิดจากการพาและการแผ่รังสีความร้อนพร้อมกัน และอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและแผ่รังสีความร้อนไม่ต่างกันมากนัก การวิเคราะห์หาค่าของการถ่ายเทความร้อนยุ่งยากมาก แต่ในบางกรณี เราอาจประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการรวมอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการการพาและการแผ่รังสีเข้าด้วยกันได้ เช่น การไหลของก๊าซที่ได้จากการสันดาป ซึ่งประกอบด้วย CO_2, CO และ H_2O ซึ่งมีอุณหภูมิ ในท่อซึ่งอุณหภูมิผนัง การถ่ายเทความร้อนจากก๊าซไปสู่ผนังท่อ จะเกิดขึ้นโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนหากอัตราการถ่ายความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนมีค่าไม่มากนัก อัตราถ่ายเทความร้อนรวมจะหาได้โดยการประมาณ จากการรวมอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันดังนี้

$$q = h(T_h - T_c) + hr(T_h - T_c) \qquad (2.6)$$

$$= (h + hr)(T_h - T_c)$$

$$= h_{cr}(T_h - T_c)$$

โดยที่ h_{cr} คือ สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวมของการพาและการแผ่รังสีความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ (Heat Transfer with Change of Phase)

เมื่อสารเปลี่ยนสถานะจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นพร้อมกันไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น เมื่อไอของสารเคลื่อนที่มาสัมผัสกับวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไอจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวใน

การกระบวนการดังกล่าว ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวของสาร จะถูกคลายออกมาซึ่งจะถูกระบายไปในทางตรงกันข้ามของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นไอ เช่น การเดอดและการระเหย จะต้องมีความร้อนซึ่งถูกเก็บไว้ในไอ ในการเป็นสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวเช่นเดียวกัน จะต้องมีการถ่ายเทความร้อนไปให้สารและความร้อนแฝงจะถูกเก็บไว้ในของเหลว

การถ่ายเทความร้อนระหว่างการเปลี่ยนสถานะนี้มีความสำคัญมากในทางวิศวกรรมศาสตร์ เครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากที่อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะของสารในการระบายความร้อน วิศวกรจึงควรจึงควรมีความสามารถที่จะวิเคราะห์ของการถ่ายเทความร้อนในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารได้

ในบางโอกาสใช้ H เป็นปริมาณพื้นฐานด้วยก็ได้ ในกรณีนี้จะมีปริมาณพื้นฐาน 5 ปริมาณ คือ L, M, t, T และ H

สำหรับการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทรงกระบอกชั้นเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ภายในท่อ จะเขียนได้จากสมการ ดังนั้น คือ

$$U_i = \left[\frac{1}{h_i} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{\frac{k_1}{r_1}} + \frac{1}{\frac{h_0 r_0}{r_1}} \right]^{-1} \qquad (2.7)$$

โดยที่ $r_2 - r_1$ คือ ความหนาของผนัง

เนื่องจากท่อทำจากโลหะที่มีผนังบางมาก และมีค่านำความร้อนสูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเขียนได้ดังนี้

$$U_i = \left[\frac{1}{hi} + \frac{1}{ho} \right]^{-1} \qquad (2.8)$$

ในกรณีที่ผิวนอกของท่อติดครีบ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะหาได้โดยสมการที่ซึ่งเขียนได้ดังนี้ คือ

$$= \left[\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o \left\{ (\frac{A_o}{A_i}) + n_f (\frac{\eta_f}{A_i}) \right\}} \right]^{-1} \qquad (2.9)$$

โดยที่

A_i คือ พื้นที่ผิวในต่อหน่วยความยาวท่อ

A_o คือ พื้นที่ผิวนอกต่อหน่วยความยาวท่อ (ไม่รวมส่วนที่ถูกครีบทับอยู่)

A_f คือ พื้นที่ผิวของครีบต่อหน่วยความยาวท่อ

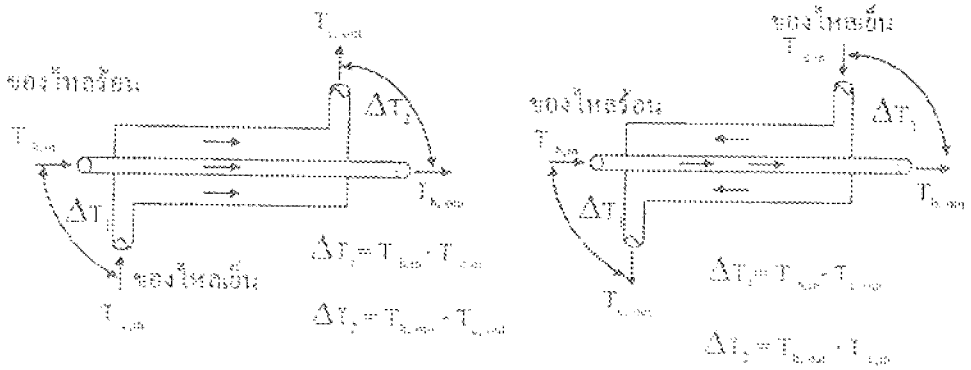
n_f คือ ประสิทธิภาพของครีบ

2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger)

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มหรือลดพลังงานความร้อนของของไหล ซึ่งของไหลนั้นสามารถเป็นได้ทั้งของเหลวและก๊าซ หรือเป็นการเพิ่มและลดอุณหภูมิของของไหล ทฤษฎีหรือวิธีการคำนวณค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2วิธี คือ วิธีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิ และ วิธีของค่าประสิทธิผล-เอ็นทียู โดยมีหลักการคำนวณตามรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

2.8.1 วิธีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (LMTD, LOG MEAN TEMPERATURE DIFFERENCE METHOD)

วิธีการของLMTD ที่ใช้วิเคราะห์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนำมาใช้เมื่อเราทราบค่าอุณหภูมิที่ทางเข้าและที่ทางออกของของไหล และสามารถนำมาหาค่าตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2. 9 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขนานกันและแบบไหลสวนทางกัน

พิจารณาภาพที่ 2.9 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทสามารถหาได้จากสมการ (2.10-2.11)

$$\dot{Q} = \dot{m}_h \; c_h \left(T_{h,in} - T_{h,out} \right) \tag{2.10}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c \; c_c \left(T_{c,in} - T_{c,out} \right)$$

$$\dot{Q} = U \; A \; F \; \Delta T_{lm} \tag{2.11}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} - \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

โดยที่

$\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,in} = T_{h,in} - T_{c,out}$

$\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,out} = T_{h,out} - T_{c,in}$

$\dot{Q}$ = ปริมาณความร้อน (kJ/s)

$\dot{m}_h$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไหลร้อน (kg/s)

$\dot{m}_c$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไหลเย็น (kg/s)

c_h = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของไหลร้อน (kJ/kg)

c_c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของไหลเย็น (kJ/kg)

U = สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.K$)

A = พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m^2)

F = ค่าแฟคเตอร์แก้ไข (มีค่าเท่ากับ 1 กรณีแบบท่อซ้อนทั่วไป ถ้ามีรูปทรงอย่างอื่นต้องหาจากภาพที่2.10)

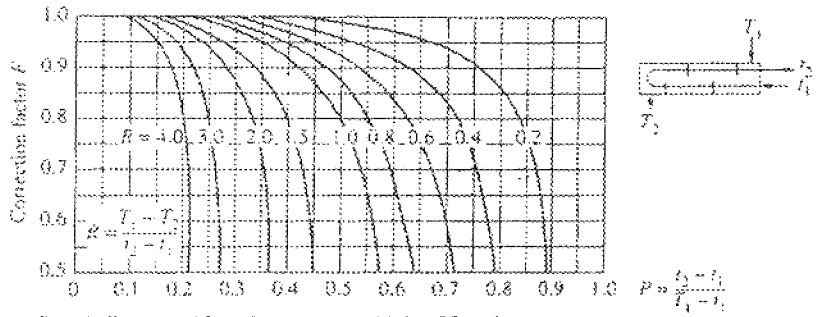
ΔT_{lm} = ชุดค่าของอุณหภูมิแตกต่างของของไหลที่ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{h,in}$ =อุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน (K)

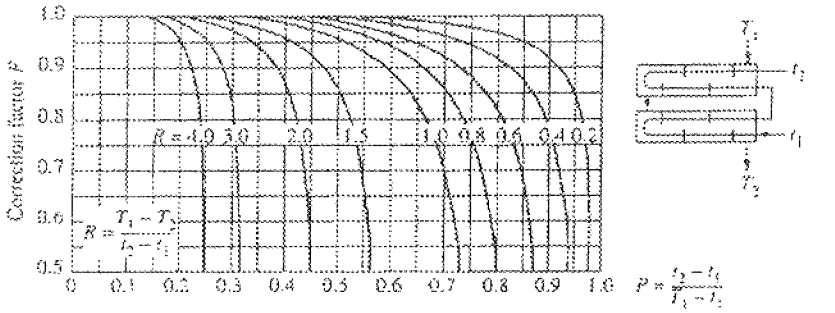
$T_{h,out}$ =อุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน (K)

$T_{c,in}$ =อุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น (K)

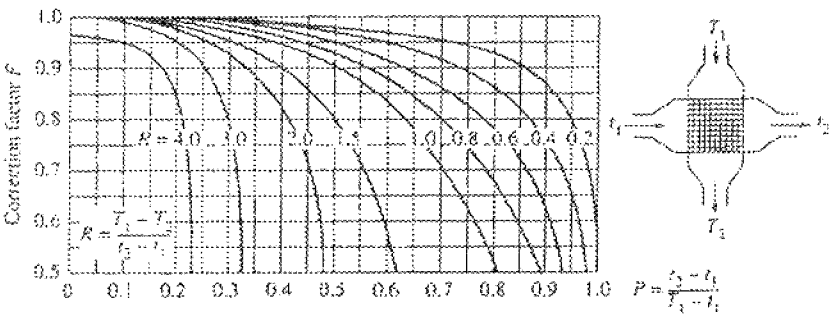
$T_{c,out}$ =อุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น (K)



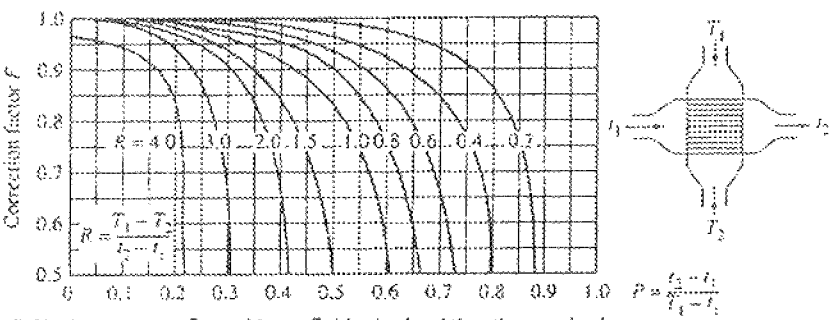
(a) One-shell pass and 2, 4, 6, etc. (any multiple of 2), tube passes



(b) Two-shell passes and 4, 8, 12, etc. (any multiple of 4), tube passes



(c) Single-pass cross-flow with both fluids *unmixed*



(d) Single-pass cross-flow with one fluid *mixed* and the other *unmixed*

ภาพที่ 2.10 ค่าแฟคเตอร์แก้ไขของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ

2.8.2 วิธีการของค่าประสิทธิผล-เอ็นทียู (Effectiveness-NTU Method)

ในกรณีที่ทราบค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว แต่ไม่ทราบค่าอุณหภูมิทางออก สามารถจะหาค่าได้จากวิธีการของค่าประสิทธิผล-เอ็นทียู ซึ่งจะรวดเร็วกว่า เพราะไม่ต้องทำการแก้ค่าสมการล็อกจากวิธีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย

ค่าประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ε)

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{MAX}} \tag{2.12}$$

โดยที่

$\dot{Q}$ = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจริง (kJ/s)

$\dot{Q}_{MAX}$ = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนได้สูงสุด (kJ/s)

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนจริงสามารถหาได้ดังนี้

$$\dot{Q} = C_c\left(T_{c,out} - T_{c,in}\right) = C_h\left(T_{h,in} - T_{h,out}\right) \tag{2.13}$$

โดยที่

$C_c = \dot{m}_c C_c$, $C_h = \dot{m}_h C_h$ คือ อัตราความจุความร้อนสำหรับของไหลเย็นและร้อน

$T_{h,in}$ =อุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน (K)

$T_{h,out}$ =อุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน (K)

$T_{c,in}$ =อุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น (K)

$T_{c,out}$ =อุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น (K)

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนได้สูงสุดคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{MAX} = C_{\min}\left(T_{h,in} - T_{c,in}\right) \tag{2.14}$$

โดยที่

$C_{\min}$ =ค่าต่ำสุดของค่า (C_c, C_h)

ประสิทธิผลของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตและเส้นทางของของไหล ดังนั้นเราสามารถหาค่า ประสิทธิได้ดังนี้

กำหนดให้ เอ็นทียู(NTU) มีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.15)

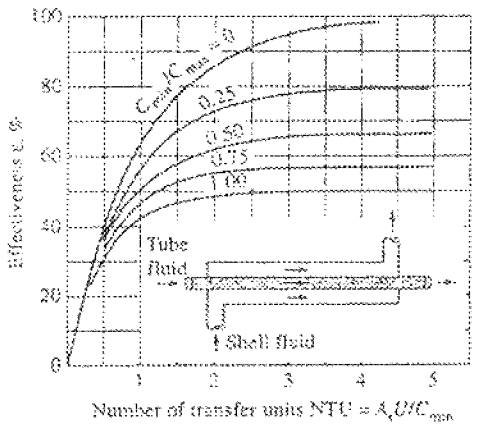
$$\text{NTU} = \frac{UA}{C_{\min}} \tag{2.15}$$

อัตราส่วนความจุ

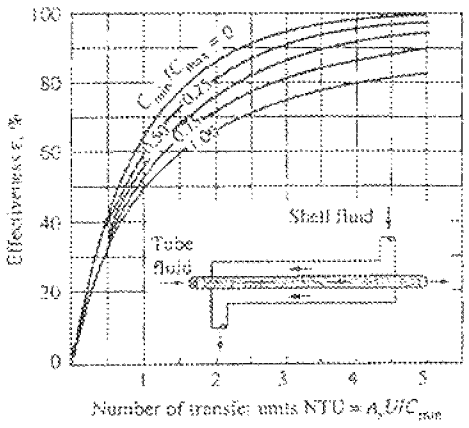
$$\text{C} = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \tag{2.16}$$

ค่าประสิทธิผลสามารถเขียนในรูปตัวแปรNTU และ อัตราส่วนความจุ

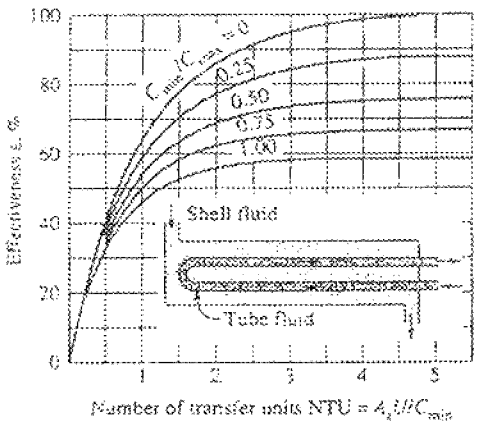
$$\varepsilon = \text{function (NTU, C)} \qquad (2.17)$$



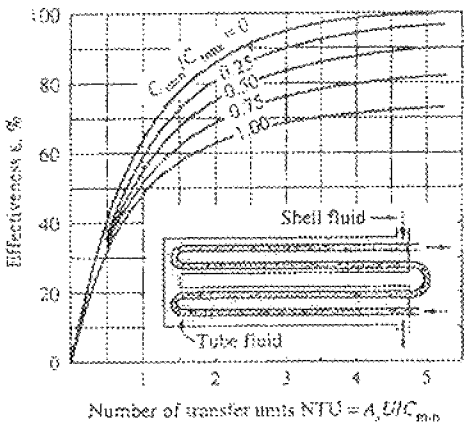
(a) Parallel-flow



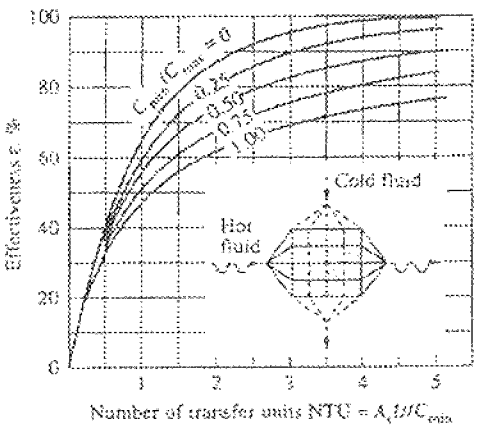
(b) Counter-flow



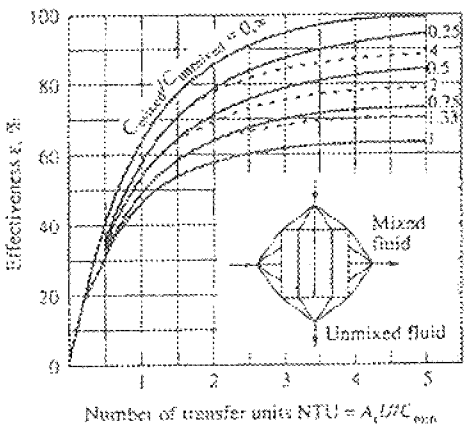
(c) One-shell pass and 2, 4, 6, ... tube passes



(d) Two-shell passes and 4, 8, 12, ... tube passes



(e) Cross-flow with both fluids unmixed



(f) Cross-flow with one fluid mixed and the other unmixed

ภาพที่ 2.11 ค่าประสิทธิผล NTU และ อัตราส่วนความจุ กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบต่างๆ