

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

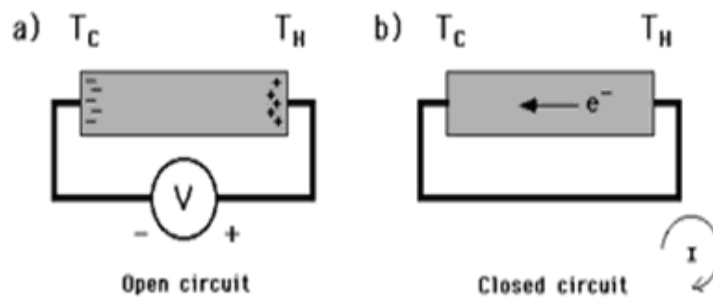
2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันกล่าวว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด”



รูปที่ 2.1 Thomas Johann Seebeck

Undated engraving, Deutsches Museum, Munich



รูปที่ 2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ซีเบคเป็นปรากฏการณ์ที่มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนเป็นไฟฟ้าความสำคัญทางกายภาพของมันสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ของการบังคับกระแสน้ำของอุณหภูมิสม่ำเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์อุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อน (Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้น เรียกว่า ความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck voltage)

สำหรับสมการของ Seebeck effect ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$\vec{E} = \alpha \vec{\nabla} T \quad (1)$$

โดย E = เวกเตอร์สนามไฟฟ้า (V/m)

α = สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

T = อุณหภูมิ (K)

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ไม่เท่ากับศูนย์จะเป็นวัสดุ Thermoelectric และจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่น ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ N-type จะมี Seebeck coefficient เป็นลบ แต่ P-type จะมี Seebeck coefficient เป็นบวก เป็นต้น

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect)

ในปี 1834 ยีน เพลทีเยอร์ ชาร์เลส อะธานาส (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส กล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า”



รูปที่ 2.3 Jean Charles Athanase Peltier

ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์เป็นปรากฏการณ์หนึ่งซึ่งคู่กันกับปรากฏการณ์ซีเบค และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการทำระบบหล่อเย็นจากการผันความร้อนจากไฟฟ้า (Thermoelectric refrigeration) ในที่นี้ อัตราของการดูดซับความร้อนแบบกลับได้ (Rate of reversible heat absorption, Q) ซึ่งส่งมาพร้อมกับการผ่านกระแสไฟฟ้า (I) ผ่านรอยต่อ คือ

$$Q = \pi_{ab} I \quad (2)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของเพลทีเยอร์ของรอยต่อ หาได้จาก

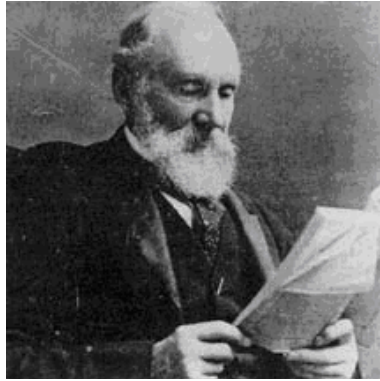
$$\pi = \alpha T \quad (3)$$

$\pi < 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลทีเยอร์เป็นลบ

$\pi > 0$; ค่าสัมประสิทธิ์ เพลทีเยอร์เป็นบวก

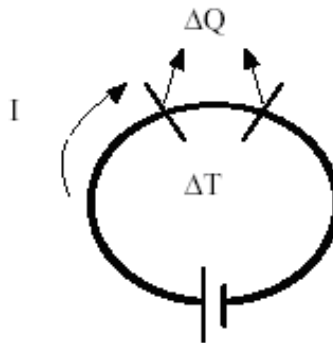
2.1.3 ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)

ในปี 1954 วิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) หรือ หลอด เคลวิน (Lord Kelvin) นักฟิสิกส์ชาวสก็อตกล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อนหรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น”



รูปที่ 2.4 William Thomson (Lord Kelvin)

ปรากฏการณ์ทอมสัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ของความร้อนแบบกลับได้ ΔQ ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไฟฟ้าตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่งเมื่อมีเกรเดียนต์ ΔT อุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรเทอร์โมไดนามิกส์ของปรากฏการณ์ทอมสัน (H.J. Goldsmid, 1960)

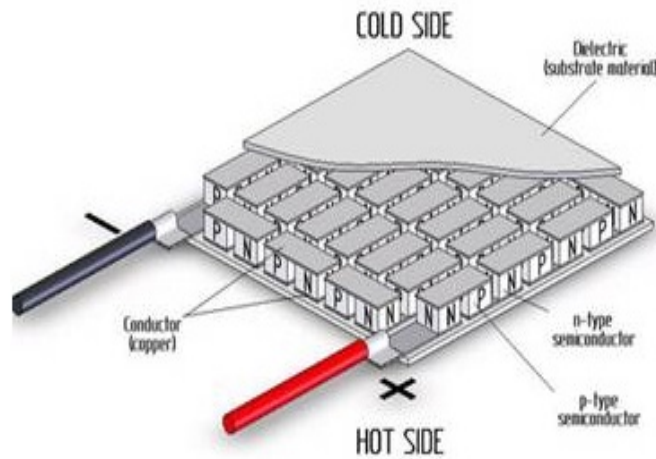
ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ τ เป็น

$$\tau = T \frac{d\alpha}{dT} \quad (4)$$

τ คือ Thomson coefficient (VK^{-1})

2.1.4 วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

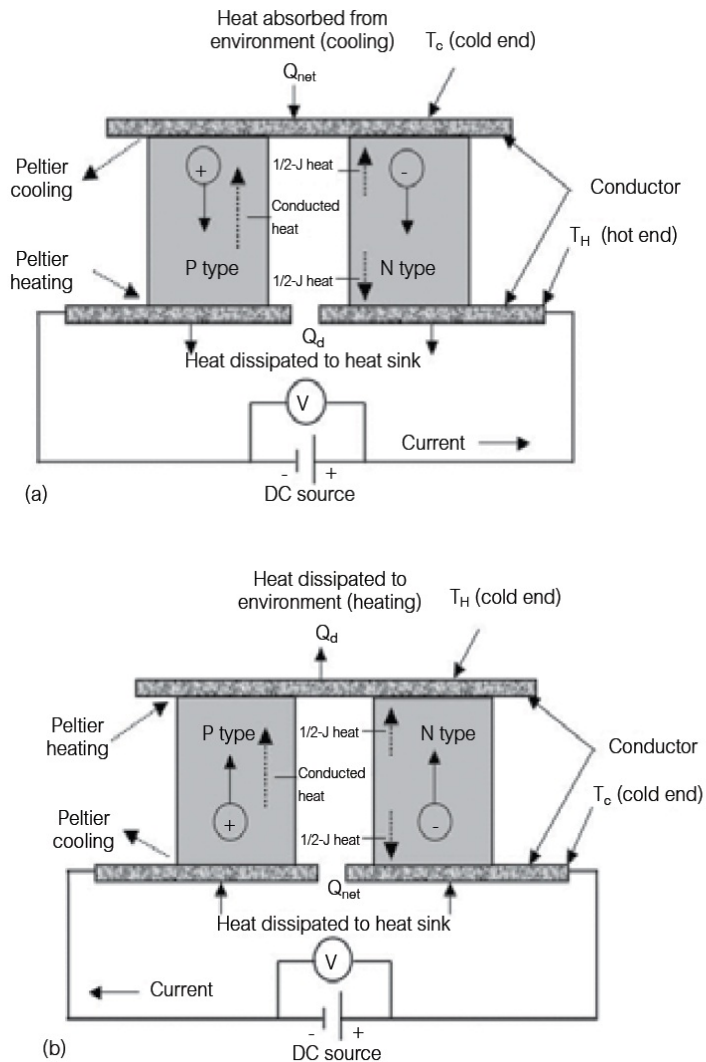
การประกอบ “วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก” ให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำไปใช้งานเป็นแหล่งพลังงานได้ เรียกว่า “เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric module)” เริ่มต้นจากการนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ชนิดเอ็น (N type) และชนิดพี (P type) ชิ้นเล็กๆ มาต่อกันเป็นคู่ๆ โดยวางสลับกัน และมีโลหะขนาดเล็กเชื่อมต่อทั้งคู่เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละคู่ที่ต่อกันจะมีการเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมทางไฟฟ้า ตั้งแต่ตัวแรกถึงตัวสุดท้าย เมื่อนำมาต่อเข้ากับโหลด (Load) หากมีกระแสไฟฟ้าไหลก็จะครบวงจรพอดีที่ด้านบนและด้านล่างถูกประกบด้วยแผ่นเซรามิก ปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่โมดูลผลิตได้เนื่องจากความต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นด้านบนและด้านล่างขึ้นอยู่กับจำนวนคู่ของ เอ็น-พี ในโมดูลนั้น



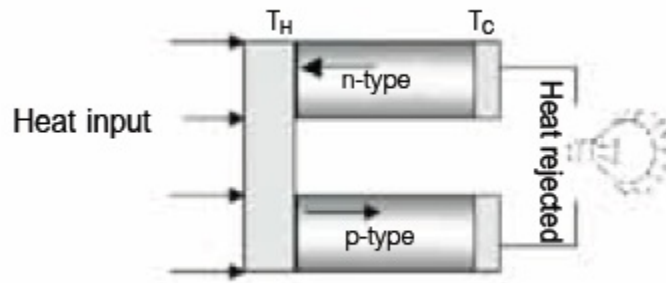
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล แบ่งเป็น 2 โหมดดังนี้ โหมดแรก เรียกว่า “โหมดผลิตไฟฟ้า (Generator mode)” โดยให้ความต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ด้านบนและด้านล่างทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลเนื่องจากพาหะเอ็นและพีในสารกึ่งตัวนำเหล่านั้น ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นซึ่งมีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน (Electron) หรือประจุลบ เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง การไหลของความร้อนจะทำให้เกิดการไหลของพาหะข้างมากเหล่านั้น อิเล็กตรอนจะไหลจากผิวด้านบนไปสู่ด้านล่าง ส่วนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี มีพาหะข้างมากเป็นโฮล (Hole) หรือประจุบวก เมื่อมีความร้อนที่ผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง โฮลก็จะไหลจากผิวด้านบนไปด้านล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจึงไหลตามกันไปทิศทางเดียวกัน

ส่วนการทำงานอีกโหมดหนึ่งในทางกลับกัน เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเทอร์โมอิเล็กทริก โมดูลจะทำให้เกิดความร้อนและความเย็นเกิดขึ้นที่ผิวด้านบนและด้านล่าง เรียกว่า “โหมดผลิตความเย็นด้วยไฟฟ้า (Refrigerator mode)” เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอก เช่น แบตเตอรี่ จะทำให้เกิดความแตกต่างของความร้อนและความเย็นที่ผิวแต่ละด้าน เนื่องจากการกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการนำความร้อนจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 2.7 เทอร์โมอิเล็กทริก (a) ขณะทำความเย็น (b) ขณะทำความร้อน



รูปที่ 2.8 เทอร์โมอิเล็กทริกขณะผลิตไฟฟ้า

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แล้วในต่างประเทศที่มีอากาศหนาว เช่น โหหมด การผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลด้านหนึ่งมาประกบเข้ากับแหล่งความร้อนที่สูญเสียต่างๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ประเภทใช้ได้ทั้งไฟฟ้าและน้ำมัน (Hybrid) ท่อไอเสีย คอมเพรสเซอร์แอร์ เตาความร้อน หรือแม้แต่บนดาวเทียม ที่ผิวอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลอากาศเย็นกว่า ก็จะเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งนี้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้

2.2 ท่อความร้อน (Heat pipe)

2.2.1 ท่อความร้อน (Heat pipe)

ท่อความร้อนหรือฮีทไปป์ คือ อุปกรณ์อย่างง่ายซึ่งมีความสามารถถ่ายเทความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆ ได้รวดเร็วมากโดยเปรียบเทียบกับตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั้งหมดโดยไม่มีการสูญเสีย

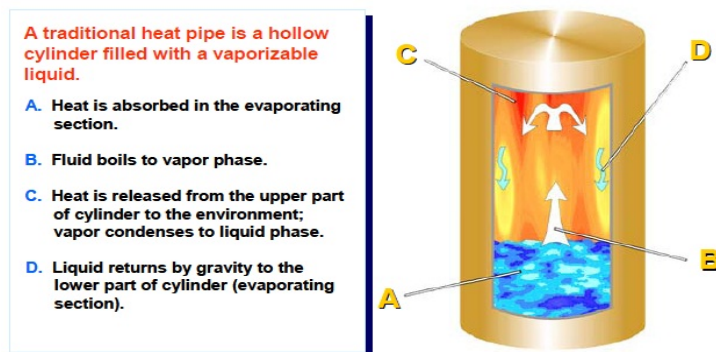
ฮีทไปป์ถูกคิดค้นในช่วงประมาณปี ค.ศ. 1950 และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงตั้งแต่ ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาและค้นคว้าพัฒนามาถึงปัจจุบันมีเวลามากกว่า 60 ปีแล้ว โดยแรกเริ่มต้นในด้านเทคโนโลยีอวกาศ ดาวเทียม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยในระยะหลัง 10 - 15 ปี จนถึงปัจจุบันฮีทไปป์ได้ถูกนำมาใช้ในการลดความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรือนำไปใช้ด้านประหยัดพลังงานและแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมทั่วไป

2.2.2 หลักการทำงานของท่อความร้อน

ฮีทไปป์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนโดยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารที่บรรจุอยู่ภายในท่อซึ่งไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก มีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้งสองข้างเป็นสุญญากาศที่มีสารทำงาน (Working Fluid) บรรจุอยู่ภายใน ซึ่งมักจะเป็นสารทำความเย็น (Refrigerant) ฟรีออน R-22 หรือ R134A โดยท่อที่ใช้จะเป็นอลูมิเนียม ทองแดง หรือ สแตนเลส โดยแยกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator) และส่วนควบแน่น (Condenser) และมีส่วนโครงสร้างวัสดุพูนหรือไส้ (Wick) ในบริเวณผนังผิวในของท่อและมีการทำงานคือของไหลที่อยู่ภายในท่อ เมื่อได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอจากส่วนทำระเหยและนำเอาความร้อนนั้นส่งถ่ายจากส่วนแรกไปถ่ายเทยังส่วนที่เย็นกว่า จากนั้นไอจะควบแน่นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งและไหลกลับสู่ปลายท่อที่ร้อนส่วนทำระเหยด้วยแรงโน้มถ่วงอีกครั้งเป็นวัฏจักรและจากค่าความร้อนแฝงของการระเหยของของไหลที่มีค่าสูงมาก ดังนั้นท่อความร้อนจะสามารถส่งถ่ายความร้อนปริมาณมากจากปลายหนึ่งไปสู่อีกปลายหนึ่ง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิไม่มากได้

หลักการข้างต้นจึงสามารถนำท่อความร้อนในการดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมากกลับไปใช้ในการอบแห้งหรือการระบายความร้อนเข้าหรือออกจากเครื่องจักร อุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้หลากหลายประเภท

การทำงานของฮีทไปป์อาศัยหลักการเปลี่ยนสถานะจากการระเหยและควบแน่นร่วมกับแรงโน้มถ่วงของสารทำงาน โดยไม่ใช้พลังงานจากภายนอก (Passive) กล่าวคือสารทำงานในท่อด้านที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความร้อนก็จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปยังด้านที่สูงกว่าแล้วคายความร้อนออก ทำให้ไอของสารทำงานมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดควบแน่น กลายเป็นของเหลวตกลงสู่ด้านที่ต่ำกว่าอีกครั้ง และด้วยเหตุนี้จึงเรียกด้านที่อยู่ต่ำกว่าว่าด้านระเหย (Evaporation Section) และเรียกด้านที่อยู่สูงกว่าว่าด้านควบแน่น (Condensation Section) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างภายในของฮีทไปป์

2.2.3 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนนี้วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้บัญญัติคำศัพท์ทางวิชาการขึ้นเรียกว่า “สารทำความเย็น” และให้ความหมายของคำว่าสารทำความเย็นไว้ว่า “หมายถึง สารที่ทำให้เกิดความเย็นโดยการดูดความร้อน เมื่อขยายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นไอ สารนี้ในสภาพไอ ถ้าได้ระบายความร้อนออกจะคืนสภาพเป็นของเหลว”

สารทำความเย็นจะทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางในการทำทำความเย็น (ถ่ายเทความร้อน) ขณะที่สารทำความเย็นในระบบภายในอีแวปอเรเตอร์เดือดเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่อุณหภูมิ และความดันต่ำจะต้องการความร้อนแฝงดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศภายในห้องรอบอีแวปอเรเตอร์ ปริมาณความร้อนจำนวนนี้จะถูกระบายออกทิ้งภายนอกห้องที่คอนเดนเซอร์เพื่อให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง สารทำความเย็นที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้มีอยู่ 3 ประเภท

โดยทั่วไปแล้วสารทำความเย็นส่วนใหญ่จะเป็นพวก Fluorinated Hydrocarbon แต่ก็ยังมีระบบทำความเย็นบางระบบที่มีการใช้สารทำความเย็นพวกอื่น เช่น พวก Hydrocarbon และสารพวก Inorganic Compound อยู่บ้าง เราสามารถแบ่งชนิดของสารทำความเย็นออกได้ดังนี้

1. กลุ่ม Halocarbon Compound เป็นสารทำความเย็นที่มีองค์ประกอบของกลุ่มธาตุ Halogen หรือ ธาตุหมู่ 7 อยู่ด้วยซึ่งได้แก่ Chlorine, Fluorine หรือ Bromine อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน
2. กลุ่ม Inorganic Compound เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นสารทำความเย็น ที่ใช้กันในปัจจุบัน เช่น น้ำ อากาศ แอมโมเนีย เป็นต้น
3. กลุ่ม Hydrocarbon เป็นสารที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน ดังรูปที่ 1 ซึ่งสารในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม สารทำความเย็นของระบบทำความเย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรม Petroleum และ Petrochemical
4. กลุ่ม Azeotropes เป็นสารทำความเย็นที่ได้จากการผสมของสารทำความเย็นที่ต่างกัน 2 ชนิด โดยที่สารทั้งสองรวมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ตัวอย่างสารกลุ่มนี้มีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น Refrigerant 502 ซึ่งมีส่วนผสมของ Refrigerant 22 เท่ากับ 48.8% กับ Refrigerant 115 เท่ากับ 51.2%

สารทำความเย็นที่ใช้โดยทั่วไปในงานเครื่องทำความเย็นในระยะแรกๆ ได้แก่ แอมโมเนียและ CO₂ เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ ต่อมา มีการนำเอาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเมทิลคลอไรด์ใช้กับเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก ต่อมาจึงใช้สารทำความเย็นพวกฟลูออโรคาร์บอนแทนและยังใช้อยู่ในปัจจุบัน สารทำความเย็นฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นสารประกอบ

ระหว่างไฮโดรเจนกับคาร์บอนและนำเอาคลอรีนหรือฟลูออรีนเข้าไปแทนที่ ไฮโดรเจน ทั้งหมดนี้เรียกว่า ฮาโลคาร์บอน โดยชนิดและคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่ยังใช้ในระบบเครื่องเย็น ดังนี้คือ

1. แอมโมเนีย เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษและไวไฟหรืออาจเกิดได้ถ้ามีส่วนผสมกับอากาศที่พอเหมาะเป็นสารทำความเย็นที่ดูดซับปริมาณความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ปัจจุบันพบว่าใช้ในโรงงานทำน้ำแข็ง, โรงงานบรรจุอาหาร, ลานสกต่น้ำแข็งและห้องเย็นขนาดใหญ่ มีความดันในการกลั่น 1.4 Kg/cm² ที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส และ 10.85 Kg/cm² ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นสารทำความเย็นที่เป็นพิษแต่ไม่ติดไฟและไม่ระเบิด ยังมีใช้อยู่บ้าง จุดเดือดของสารทำความเย็นนี้อยู่ที่ประมาณ -9.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิอิ่มตัว -15 องศาเซลเซียส และที่ 30 องศาเซลเซียส มีความดัน 3.64 Kg/cm² ไม่ละลายน้ำกับน้ำมันหล่อลื่นคอมเพรสเซอร์และหนักกว่าน้ำมัน สารทำความเย็น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ บริสุทธิ์ไม่ทำปฏิกิริยากับโลหะ แต่ถ้ามีความชื้นในระบบจะมีสภาพเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะ
3. คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารทำความเย็นชนิดแรกที่ใช้ในระบบเครื่องทำความเย็นอุตสาหกรรมเรือเดินทะเล โรงละคร โรงแรมและที่อื่นๆ ที่ต้องการความปลอดภัยเป็นพิเศษ เป็นสารทำความเย็นที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟหรือระเบิดหรือไม่กัดกร่อนโลหะ
4. เมทิลคลอไรด์ เป็นสารพวกฮาโลคาร์บอนของมีเทนจุดเดือดอยู่ที่ -24 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ ใช้ในเครื่องทำความเย็นในบ้าน เช่น ตู้เย็นและตู้แช่ เมทิลคลอไรด์ไม่เป็นพิษเมื่อมีส่วนผสมมาก ติดไฟปานกลางและระเบิดเมื่อผสมกับอากาศระหว่าง 8.1-17.2 % โดยน้ำหนัก จะทำปฏิกิริยากับโลหะพวกอะลูมิเนียม สังกะสี แมกนีเซียม ซึ่งเมื่อผสมกับโลหะเหล่านี้อาจจะระเบิดได้ ถ้ามีความชื้นจะระเหิดเป็นกรดไฮโดรคลอริกอย่างอ่อน ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโลหะจำพวกเหล็กและอื่นๆ นอกจากนั้นยังทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติและยางเทียมและยังเป็นน้ำยาที่ละลายในน้ำมันเครื่อง
5. สารทำความเย็น R-11 เป็นพวกฟลูออโรคาร์บอนของมีเทน จุดเดือดอยู่ที่ 823.7 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ เป็นน้ำยาที่ไม่เป็นพิษ ละลายน้ำได้อย่างดีและไม่ติดไฟละลายยางธรรมชาติได้ ใช้เป็นสารทำความเย็นล้างระบบทำความเย็น
6. สารทำความเย็น R-12 ใช้สำหรับเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในบ้าน เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ รถยนต์ มีสภาพแน่นอนไม่เปลี่ยนสภาพได้ง่ายแม้อุณหภูมิสูง จุดเดือด

อยู่ที่ -29.87 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ สารทำความเย็น R-12 สามารถละลายในน้ำมันได้อย่างดีทุกสถานะ

7. สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ ที่จุดเดือดอยู่ที่ -40.8 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศและสามารถทำได้ถึง -87 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2
8. สารทำความเย็น R-113 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นที่ทำงานเป็น 2 หรือ 3 ช่วง สามารถใช้แทน R-22 ได้ในเครื่องที่มีอุณหภูมิต่ำบางเครื่อง จุดเดือดอยู่ที่ -98 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศใช้กับคอมเพรสเซอร์ได้ทุกชนิด ไม่ละลายในน้ำมัน
9. สารทำความเย็น R-500 เป็นสารทำความเย็นระหว่าง R-22 กับ R-152a (78% กับ 26.2 % โดยน้ำหนัก) สารทำความเย็น R-500 มีจุดเดือดอยู่ที่ -33 องศาเซลเซียส (-28 องศาฟาเรนไฮต์) ที่ความดันบรรยากาศ
10. สารทำความเย็น R-502 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-22 เท่ากับ 48.8% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.2 % เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ได้ดีในระบบต้องการอุณหภูมิต่ำขนาด 0 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง -60 องศาฟาเรนไฮต์ สารทำความเย็นชนิดนี้จะใช้ในห้องเก็บอาหารแช่แข็งหรือเย็นจัด ตู้เก็บอาหารเย็นจัดจนแข็งและถึงไอศกรีม
11. สารทำความเย็น R-503 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-23 และ R-13 สัดส่วนเท่ากับ 40.1% กับ 59.9% ตามลำดับ จุดเดือดของสารทำความเย็นชนิดนี้ที่แรงดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ -128.6 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้ในห้องทดลองหรือประเภทระบบเครื่องเย็นอุณหภูมิต่ำที่ต้องการอุณหภูมิ -100 องศาฟาเรนไฮต์ถึง -125 องศาฟาเรนไฮต์ แรงดันทางด้าที่ 50 องศาฟาเรนไฮต์ เท่ากับ 264 psia และแรงดันทางด้าที่อุณหภูมิวิกฤติ (Critical Temperature 67.1 องศาฟาเรนไฮต์) เท่ากับแรงดันวิกฤติ (Critical Pressure 607 psia)
12. สารทำความเย็น R-504 เป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น 2 ชนิด คือ R-32 เท่ากับ 48.3% ผสมกับ R-115 เท่ากับ 51.7 % จุดเดือดของ R-504 เท่ากับ -70 องศาฟาเรนไฮต์ที่แรงดันบรรยากาศ แรงดันของอีแวปอเรเตอร์ 5 องศาฟาเรนไฮต์เท่ากับ 85.93 psia แรงดันวิกฤติเท่ากับ 690 psia สารทำความเย็นชนิดนี้ใช้กับระบบเครื่องเย็นอุตสาหกรรมซึ่งต้องการที่อุณหภูมิต่ำขนาด -40 องศาฟาเรนไฮต์ ถึง -80 องศาฟาเรนไฮต์

2.2.4 ข้อพิจารณาพื้นฐานในการออกแบบท่อความร้อน

มีส่วนประกอบพื้นฐาน 3 อย่างของท่อความร้อน คือ ตัวท่อ (Container), สารบรรจุใช้งาน (Working fluid) และส่วนโครงสร้างวัสดุพูนหรือไส้ (Wick หรือ Capillary structure)

1. ตัวท่อ (Container)

ตัวท่อมียุณหภูมิที่แยกของไหลทำงานออกจากบรรยากาศไม่ให้เกิดการรั่วเพื่อรักษาความแตกต่างของแรงดันและทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนในส่วนที่ต้องการมาของไหลภายในได้ ส่วนการเลือกวัสดุที่ใช้ทำตัวท่อความร้อนนั้นขึ้นกับองค์ประกอบดังนี้

- ความสามารถที่เข้ากันได้ของวัสดุต่อของไหลและบรรยากาศโดยไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกัน (Compatibility)
- อัตราส่วนความเค้นต่อน้ำหนักควรมีค่าสูง (Strength to weight ratio) เพราะมีความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ในงานอากาศยาน
- มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง (Thermal conductivity) เพราะทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดี
- การผลิตประกอบโลหะ สามารถเชื่อมได้, สามารถตกแต่งด้วยเครื่องจักร เช่น การกลึงหรือหล่อเป็นชิ้นงานได้
- ความพูนของตัววัสดุ (Porosity) โดยวัสดุจะต้องไม่มีความพูนเพื่อป้องกันการระเหยของไอ
- ความสามารถในการเปียกของน้ำของสารหรือวัสดุ (Wettability)

2. สารบรรจุใช้งาน (Working fluid)

ประเด็นแรกที่พิจารณาสำหรับความเหมาะสมของสารบรรจุใช้งาน คือ ช่วงอุณหภูมิที่กลายเป็นไอและประเด็นอื่นๆคือ

- สามารถใช้ร่วมงานกันได้และไม่ทำปฏิกิริยากันหรือกัดกร่อนกับไส้และวัสดุตัวท่อ
- สามารถคงความร้อนได้ดี
- ความสามารถในการเปียกของน้ำของสารหรือวัสดุ (Wettability)
- มีค่าแรงดันไอไม่สูงหรือน้อยในช่วงอุณหภูมิใช้งาน
- มีค่าความร้อนแฝงสูง
- มีค่าอุณหภูมิจุดไหลเทที่เหมาะสม

การเลือกสารบรรจุใช้งานต้องเป็นไปตามหลักอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น จิตจำกัของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อน, ความหนืด, คลื่นเสียงและระดับการเดือด

การออกแบบท่อความร้อนนั้นของไหลที่ใช้ต้องมีค่าแรงตึงผิวสูง เพราะจะทำให้ท่อความร้อนสามารถทำงานได้โดยแรงโน้มถ่วงเกิดแรงขับไหลสูง ดังนั้นการเพิ่มค่าแรงตึงผิวของของไหลทำงานมีความจำเป็นต่อการสัมผัสกับท่อใส่และผนังตัวท่อ ก็อุมสัมผัสควรเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด

สารบรรจุใช้งานควรมีค่าความร้อนแฝงสูง เพราะจะถ่ายเทปริมาณความร้อนได้สูงที่ปริมาณการไหลน้อยและเหตุนี้ทำให้แรงดันตกในท่อความร้อนมีค่าน้อย ทั้งยังต้องมีค่าการนำความร้อนสูงด้วยเพราะจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีค่าน้อย (Radial temperature gradient) และลดการเดือดที่เกิดขึ้นกับไส้และผนังตัวท่อ ส่วนการดันการไหลให้มีค่าน้อยที่สุดโดยเลือกสารบรรจุทำงานที่มีค่าความหนืดต่ำ ซึ่งสารบรรจุทำงานที่ใช้กันแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารบรรจุทำงานที่ใช้กันและช่วงอุณหภูมิใช้งาน

สารที่บรรจุหรือ ตัวกลาง	อุณหภูมิจุดหลอมเหลว (°C)	อุณหภูมิจุดเดือดที่ ความดันบรรยากาศ (°C)	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (°C)
ฮีเลียม	-271	-261	-271 ถึง -269
ไนโตรเจน	-210	-196	-203 ถึง -160
แอมโมเนีย	-78	-33	-60 ถึง 100
อะซิโตน	-95	57	0 ถึง 120
เมทานอล	-98	64	10 ถึง 130
เอทานอล	-112	78	0 ถึง 130
น้ำ	0	100	30 ถึง 200
ทูโลอิน	-95	110	50 ถึง 200
ปรอท	-39	361	250 ถึง 650
โซเดียม	98	892	600 ถึง 1,200
ลิเทียม	179	1,340	1,000 ถึง 1,800
เงิน	960	2,212	1,800 ถึง 2,300

3. ส่วนโครงสร้างวัสดุพรุนภายในหรือไส้ (Wick)

ในท่อความร้อนจะมีไส้เป็นตัวดูดซับของเหลวกลับสู่ส่วนรับความร้อน โดยใช้หลักการหลอดรูเล็ก (Capillary tube) ไส้จะต้องเป็นวัสดุที่มีลักษณะรูพรุนอาจทำจากเหล็ก, อลูมิเนียม, นิกเกิล, เซรามิก หรือทองแดง ซึ่งมีขนาดของรูพรุนหลากหลาย โดยทั่วไปจะทำจากเซรามิกและในการเลือกวัสดุพรุนสำหรับท่อความร้อนนั้นขึ้นกับหลายปัจจัยซึ่งจะพิจารณาจากคุณสมบัติของสารที่บรรจุ

ไส้มีหน้าที่ทำให้เกิดแรงดันด้านการไหลของของไหลทำงานที่ไหลจากส่วนควบแน่น (Condenser) ไปยังส่วนระเหย (Evaporator) ซึ่งจะทำให้ของไหลกระจายรอบส่วนระเหยเพื่อรับความร้อน โดยแรงดันด้านการไหลจะมีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนวัสดุพรุนมีมากและรูพรุนมีขนาดเล็ก การถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุของท่อความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความหนาของวัสดุพรุนและความต้านทานความร้อนรวมที่ส่วนระเหยจะขึ้นกับความสามารถในการนำความร้อนของของไหลทำงาน ชนิดของไส้ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ผงเซรามิก, ใช้ท่อผนังเกลียวอยู่ภายในท่อและตะแกรง (Screen Mesh) ซึ่งจะใช้กันส่วนใหญ่

2.2.5 การประยุกต์ใช้งานท่อความร้อน

1. ใช้ท่อความร้อนในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ในงานอุตสาหกรรมทั่วไปนำท่อความร้อนมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการถ่ายเทความร้อนได้อย่างกว้างขวาง เช่น การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบฮีตไปป์ (Heat pipe heat exchanger), การลดความชื้นในระบบปรับอากาศ, การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยนำท่อความร้อนมาแทนที่หรือในเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ท่อความร้อนในส่วนแผงรับความร้อน เป็นต้น
2. ใช้ท่อความร้อนเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Economizer) ระหว่างไอเสียจากหม้อน้ำเชื้อเพลิงแข็ง (ไม้ฟืน) ขนาด 10 ตันต่อชั่วโมงกับน้ำป้อนก่อนเข้าหม้อไอน้ำซึ่งสามารถอุ่นน้ำป้อนจากอุณหภูมิ 30 °C เป็น 65 °C ที่อัตราการไหล 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงโดยอุณหภูมิไอเสียลดลงจาก 230 °C เป็น 130 °C
3. ใช้จัดเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อนำมาอุ่นน้ำใช้ในชีวิตประจำวัน และระบบโรงแรมรีสอร์ท ในส่วนของแผงรับแสงเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นใช้หลอดแก้วสุญญากาศแบบท่อความร้อน (Heat Pipe) เป็นตัวนำความร้อน

4. ใช้ปรับปรุงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำให้อากาศ ที่เรียกว่าฮีตเตอร์ไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้น (เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอน้ำกับอากาศเพื่อให้ได้ลมร้อนไปอบอาหาร) โดยแบบเดิมเป็นท่อเหล็กติดครีป (Finn tube) และปรับปรุงโดยใช้ท่อความร้อนแทนท่อเหล็กติดครีป ส่งผลให้ลดการใช้ไอน้ำลงจากเดิมประมาณ 17 %
5. ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับอากาศ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์, ปั่นดินเผาและกระบวนการอบผลิตภัณฑ์ยาง

2.2.6 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากฮีทปั๊มเป็นท่อปิดและไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็นออกสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามผู้ผลิตส่วนใหญ่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้สารทำความเย็น R-134a ทดแทน R-22 ในการผลิตฮีทปั๊ม เพื่อให้เป็นไปตามพิธีสารมอนทรีออลในการควบคุมปริมาณการใช้สารทำความเย็นที่มีผลต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ

2.3 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature gradient) ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลาง การถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อน คือ “ความแตกต่างของอุณหภูมิ” (Temperature different)

กลไกการเคลื่อนที่ของความร้อนจากจุดๆหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ การนำ การพา และการแผ่รังสี โดยกระบวนการถ่ายเทความร้อนทุกกระบวนการอาจเกิดจากการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวหรือหลายวิธีรวมกันก็ได้



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในแบบต่างๆ โดยเส้นทางการถ่ายเทความร้อน
แบบที่ 1 คือ การแผ่รังสี แบบที่ 2 คือ การนำความร้อน และแบบที่ 3 คือ การพาความร้อน

การนำความร้อน	การพาความร้อน	การแผ่รังสี

รูปที่ 2.11 รูปแบบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นโดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี

2.3.1 สถานะสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ (Steady state and Unsteady state)

1. สถานะสม่ำเสมอ (Steady state) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุดๆหนึ่งในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลาหรืออาจเขียนอยู่ในรูปสมการได้ว่า $\square \partial T / \partial t = 0$ สถานะสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นในกรณีที่วัตถุได้รับการถ่ายเทความร้อนมาเป็นเวลานานพอสมควร จนอุณหภูมิในวัตถุไม่เปลี่ยนแปลง ไม่ว่าเราจะถ่ายเทความร้อนให้วัตถุไปอีกนานเท่าใด สถานะสม่ำเสมอซึ่งมีความหมายว่าอุณหภูมิที่จุดหนึ่งจุดใดในตัวกลางที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เมื่อพิจารณาให้ดีจะเห็นว่า หากเกิดสถานะสม่ำเสมอแล้วอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนที่จุดใด ๆ ในทิศทางของการเคลื่อนที่จะมีค่าเท่ากัน แสดงว่าถ้าความร้อนเคลื่อนที่ในทิศทางของ X อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ X ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้โดยใช้ปริมาตรควบคุม (Control Volume) ที่บางมากที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน สมมติว่าจุดที่พิจารณาอยู่ในปริมาตรควบคุมนี้ หากจุด ๆ นั้นมีอุณหภูมิคงที่ก็หมายความว่า ปริมาตรควบคุมไม่ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น แสดงว่าความร้อนที่เคลื่อนที่เข้าปริมาตรควบคุมจะเท่ากับความร้อนที่ออกจากปริมาตรควบคุม หากพิจารณาอย่างเดียวกันนี้กับปริมาตรควบคุมอื่นที่วางเรียงต่อเนื่องกันในทิศทาง X แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนนี้ไม่เปลี่ยนแปลงกับ X

2. สถานะไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State หรือ Transient State) หมายความว่า อุณหภูมิที่จุด ๆ หนึ่งภายในวัตถุยังเปลี่ยนแปลงอยู่ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป หรืออาจเขียนในรูปสมการ $\square \partial T / \partial t \neq 0$ สถานะไม่สม่ำเสมอเกิดเมื่อตอนที่เรารับถ่ายเทความร้อนให้แก่วัตถุ อุณหภูมิของวัตถุยังไม่คงที่ ยังคงเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

2.3.2 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Heat Conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

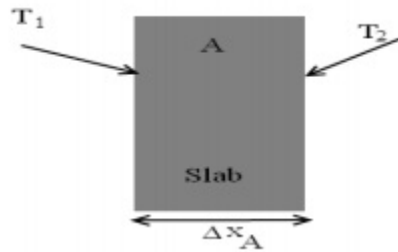
การนำความร้อนเกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อน ในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซ การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K)

วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k)(W/mK)
อากาศ (ที่ความดันบรรยากาศ)	0.026
อะลูมิเนียม	237
คอนกรีต	1.82
ทองแดง	401
เพชร	2300
น้ำแข็ง	2.2
กระดาษ	0.05
ไม้	0.1-0.35
เงิน	429
พิวซี	0.161

1. การนำความร้อนในผนังราบ สำหรับการนำความร้อนมิติเดียวที่สภาวะ Steady state จะใช้ Fourier's law ในการอธิบายดังสมการ

$$\dot{Q} = -KA \frac{dT}{dx} \quad (5)$$



รูปที่ 2.12 การนำความร้อนแบบมิติเดียวผ่านผนังราบชั้นเดียว

สมการการนำความร้อนผ่านผนังราบชั้นเดียวเมื่อคิดว่า K และ A เป็นค่าคงที่ และมีเงื่อนไขขอบเขต คือ $T = T_1$ ที่ $X = 0$ และ $T = T_2$ ที่ $X = L$ เป็นดังนี้

$$\int_{x=0}^L \dot{Q} dx = - \int_{T_1}^{T_2} K A dT \quad (6)$$

อินทิเกรตสมการ (6) ได้เป็น

$$\dot{Q} = \frac{KA}{X} (T_1 - T_2) \quad (7)$$

โดย $\dot{Q}$ = Heat Transfer Rate (W)

K = Thermal Conductivity (W/m.K)

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

X = ความหนาของวัสดุ

2.3.2 การพาความร้อน

เมื่อของไหลสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันก็就会有การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างของไหลกับวัตถุ กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้เรียกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อน การถ่ายเทความร้อนโดยการพาหรือการพาความร้อนนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection)

2. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

ภาพที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของวัฏจักรการพาความร้อน การแผ่รังสีจากกองไฟทำให้เกิดความร้อนที่ก้นหม้อน้ำด้านนอก โลหะทำให้เกิดการนำความร้อนเข้าสู่ภายในหม้อ ทำให้น้ำที่อยู่เบื้องล่างร้อนและขยายตัว ความหนาแน่นต่ำจึงลอยขึ้นสู่ข้างบน ทำให้น้ำเย็นความหนาแน่นสูงซึ่งอยู่ด้านบนเคลื่อนตัวลงมาแทนที่ เมื่อน้ำเย็นที่เคลื่อนลงมาได้รับความร้อนเบื้องล่าง ก็จะลอยขึ้นหมุนวนเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป ซึ่งเรียกว่า “วัฏจักรการพาความร้อน” (Convection circulation)



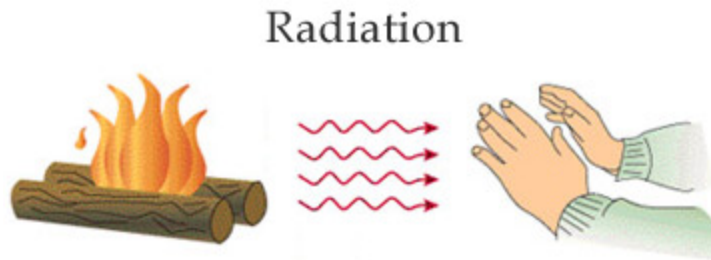
รูปที่ 2.13 ลักษณะของการพาความร้อน

การพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับ

1. รูปลักษณะผิววัตถุ
2. ผิววัตถุอยู่แนวดิ่งหรือแนวราบ
3. ตัวกลางที่พาความร้อน
4. ความหนาแน่น ความหนืด ความร้อนจำเพาะ สภาพนำความร้อนของตัวกลาง
5. ตัวกลางมีการเคลื่อนที่สม่ำเสมอหรือววน

2.3.3 การแผ่รังสี

การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -273°C หรือ 0 K (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว



รูปที่ 2.14 ลักษณะของการแผ่รังสี

ทั้งนี้การแผ่รังสี คือการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องผ่านตัวกลางใดๆ เช่น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์ถือเป็นความร้อนที่เกิดจากการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี โดยที่วัตถุแต่ละชนิดสามารถดูดกลืนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1. สีของวัตถุ วัตถุสีดำหรือสีเข้มดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุสีขาวหรือสีอ่อน
2. ผิววัตถุ วัตถุผิวขรุขระดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าวัตถุผิวเรียบและขัดมัน

เราสามารถนำความรู้เรื่องนี้ไปใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้ซึ่งมีสีและลักษณะของพื้นผิวของวัสดุให้เหมาะสม เช่น คนที่อาศัยในประเทศเขตหนาวควรใช้เครื่องนุ่งห่มสีเข้ม เพราะดูดกลืนความร้อนและให้ความอบอุ่นมากกว่าสีอ่อนๆ แต่คนในประเทศเขตร้อนควรใช้เครื่องนุ่งห่มสีอ่อนๆ เพราะให้ความรู้สึกเย็นสบายกว่าใช้สีเข้ม, ตั้งกะสีหรือวัสดุที่ใช้มุงหลังคาบ้านเรือนในประเทศที่มีอากาศร้อนไม่ควรทาสีเข้ม จะได้สะท้อนแสงแดดและทำให้บ้านเรือนมีอุณหภูมิไม่สูงมากในเวลากลางวัน, สีของอาคารก็มีส่วนช่วยทำให้อาคารเย็นและร้อนได้ด้วย