บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

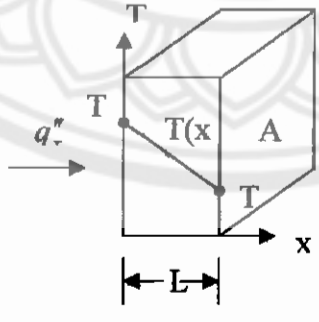
2.1)ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนมีทั้งสิ้น 3 แบบ ได้แก่ การนำความร้อน (Conduction heat transfer) การพาความร้อน (Convection heat transfer) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer) โดยมีรายละเอียดดังนี้

<u>การนำความร้อน</u>

การนำความร้อน หมายถึง การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง จากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นในตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่าตัวกลางแบบการนำความร้อน คำนวณจากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law)

กฎของฟูเรียร์กล่าวว่า การนำความร้อนผ่านตัวกลางในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง อัตราการถ่ายเทความร้อน ($\dot{Q}_x$) ผ่านตัวกลางในทิศทางนั้น เป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน (A) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางในทิศทางดังกล่าว (dT/dx)



รูปที่ 2.1 การนำความร้อนผ่านตัวกลางใน 1 มิติพิกัด x

ฟลักซ์ความร้อนผ่านตัวกลางสามารถคำนวณได้จาก

$$q''_x = -k\frac{dT}{dx} \qquad (2.1)$$

q''_x = ฟลักซ์ความร้อน (W/m^2)

K = ค่าสภาพนำไฟฟ้า (thermal conductivity) ($W/m^2.K$)

ภายใต้สภาวะคงตัวและตัวกลางมี k เป็นค่าคงที่ อุณหภูมิ T (x) เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นดังรูปที่ 2.1

ดังนั้น
$$q''_x = \frac{k(T_1 - T_2)}{L} \qquad (2.2)$$

สามารถคำนวณอัตราการนำความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว A จาก

$$\dot{Q}_x = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L} \qquad (2.3)$$

$\dot{Q}_x$ = อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

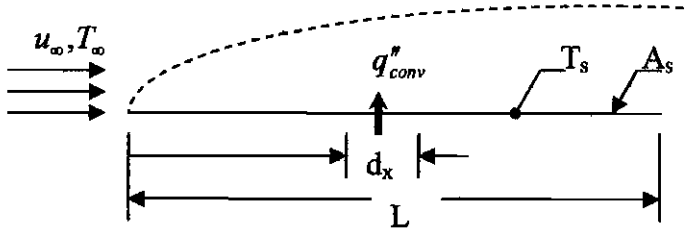
การพาความร้อน

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน หมายถึง การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของไหล ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม ซึ่งมีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของแข็งนั้น (h) พลังงานความร้อนถูกถ่ายโอนเป็นผลมาจากการแพร่ของโมเลกุล และผลจากการเคลื่อนไหวไปทั้งปริมาตรของของไหล ซึ่งสามารถแบ่งการถ่ายเทความร้อนโดยการพาเป็น 2 ชนิดดังนี้

1.การพาความร้อนตามธรรมชาติ (Free Convection) คือ การไหลของของไหลซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเอง โดยเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

2.การพาความร้อนโดยบังคับ (Force Convection) คือการไหลของของไหลที่เกิดจากแรงภายนอกมากระทำ เช่น แรงที่เกิดจากพัดลม เครื่องสูบ ฯลฯ

จากรูปที่2 พิจารณาการพาความร้อนจากผิวของแข็งพื้นที่ A_s อุณหภูมิผิว T_s ขณะของไหลไหลผ่านด้วยความเร็ว U_∞ และอุณหภูมิ T_∞ คงที่ ความร้อนเฉพาะที่คำนวณ เป็นไปตามกฎการทำให้เย็นตัวลงของนิวตัน (Newton's law of cooling)



รูปที่ 2.2 การพาความร้อนในชั้นชิดผิวความร้อนและชั้นชิดผิวความเร็ว

$$q''_{conv} = h(T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ ($W/m^2.K$)

ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราการพาความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิว A_s จาก

$$\dot{Q}_{conv} = \int_{A_s} q''_{conv}\, dA_s = (T_s - T_\infty) \int h dA_s \quad (2.5)$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_m A_s (T_s - T_\infty) \quad (2.6)$$

h_m = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย ($W/m^2.K$)

<u>การแผ่รังสีความร้อน</u>

การถ่ายเทความร้อนชนิดนี้จะเป็นลักษณะการเคลื่อนที่ทางแม่เหล็กไฟฟ้าโดยส่งออกมาจากวัตถุในรูปของคลื่นของโมเลกุล อนุภาคพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเปลี่ยนรูปเป็นการแผ่รังสี ตัวกลางที่มีการแผ่รังสีความร้อนผ่านไปสามารถเป็นไปสามารถเป็นไปได้ทั้งสุญญากาศ ก๊าซ ของไหล และของแข็ง ซึ่งวัตถุทุกชนิดมีพลังงานการแผ่รังสีไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะผิวหน้าของวัตถุ Stafan - Boltzmann กล่าวว่าวัตถุสีดำ (Blackbody) จะมีพลังงานในการแผ่รังสีเป็นอัตราส่วนกับกำลังสี่ของอุณหภูมิสมบูรณ์ ดังนี้

$$\dot{Q}_{rad} = A\sigma T^4 \quad (2.7)$$

σ = Stafan – Boltzmann Constant = 5.6697×10^{-8} $W/m^2.K^4$

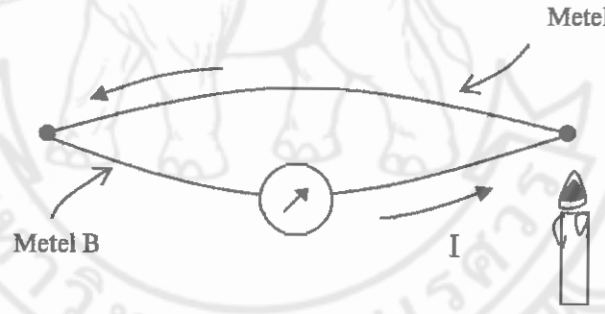
สำหรับวัตถุสีไม่ดำ (Nonblackbody) ซึ่งดูดกลืนรังสีตกกระทบได้น้อยกว่า 100% จะมีพลังงานในการแผ่รังสีดังนี้

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A\sigma T^4 \quad (2.8)$$

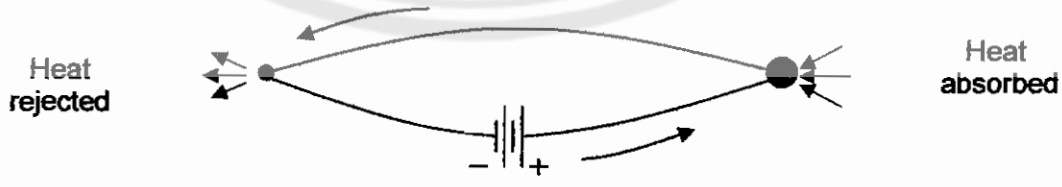
ε = คุณสมบัติการแผ่รังสี (Emissivity) โดยที่ $0 < \varepsilon < 1$

2.2) หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

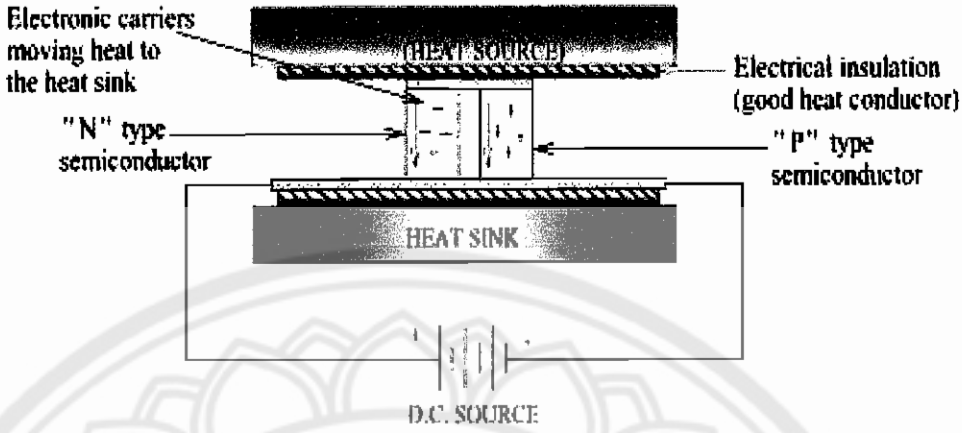
การนำเส้นลวด 2 เส้นที่ทำจากโลหะที่แตกต่างกัน 2 ชนิด เมื่อนำปลายมาเชื่อมต่อกัน จะทำให้เกิดวงจรปิดดังรูปที่ 2.3 โดยปกติจะไม่มีอะไรเกิดขึ้น แต่ถ้าปลายด้านหนึ่งถูกให้ความร้อน จะมี กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในวงจร ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าผลของ Seebeck (Seebeck effect) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Thomas Seebeck ผู้ซึ่งค้นพบปรากฏการณ์นี้ในปี ค.ศ. 1821 ถ้า Seebeck สามารถย้อนทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนในวงจรเทอโมอิเล็กทริก (โดยการป้อนความต่างศักย์จากภายนอกในทิศทางที่ย้อนกลับ) เพื่อให้เกิดผลของกระบวนการทำความเย็นขึ้น แต่ปรากฏการณ์นี้กลับไม่ได้ถูกค้นพบโดย Seebeck แต่ผู้ค้นพบปรากฏการณ์นี้คือ Jean Charles Athanase Pettier ซึ่งค้นพบในปี ค.ศ. 1834 เขาได้สังเกตพบว่าในระหว่างที่เขาทำการทดลองปล่อยกระแสไฟฟ้าจำนวนเล็กน้อยไหลผ่านเส้นลวด 2 ชนิด ที่เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ที่รอยต่อด้านหนึ่งจะเย็นลง ดังแสดงในรูป2.4 เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ผลของ Pcltier (Peltier effect) และเป็นผลทำให้เกิดระบบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric refrigeration) ขึ้น



รูปที่2.3 เมื่อปลายด้านหนึ่งของโลหะ 2 ชนิดที่เชื่อมต่อกันถูกให้ความร้อน ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิดขึ้น



รูปที่2.4 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวัสดุ 2 ชนิดที่เชื่อมต่อกันที่รอยต่อด้านหนึ่งจะเย็นตัวลง



รูปที่2.5 แสดงส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริก

ส่วนประกอบของเทอร์โมอิเล็กทริก ประกอบด้วย แผ่น เซรามิกบาง ๆ 2 แผ่นทำหน้าที่ป้องกันการไหลของกระแสไฟฟ้าออกมาภายนอก และภายในประกอบด้วยวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำทางไฟฟ้า (Bismuth-telluride) แบบ พี-เอ็น (P-N Type) เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปภายในวงจรนั้น ทำให้สารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันเกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สูพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สงผลให้เกิดการดูดกลืนความรอนที่ ดานเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนเคลื่อนที่
จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สูพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สงผลให้เกิดการคายความรอนที่ ดานรอน (Heat rejected at hot side)

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก สามารถนำมาใช้เพื่อทำความร้อน หรือทำความเย็นก็ได้ โดยขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เราจ่ายให้กับวงจร ในกรณีที่เราต้องการใช้งานในสภาวะทำความเย็น อันดับแรกที่ต้องพิจารณาคือด้านที่ต้องการทำความเย็นนั้นว่าสามารถดูดซับและถ่ายเทความร้อนออกเพียงพอหรือไม่ เพราะว่า อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก จะมีความร้อนเกิดขึ้นภายในตัวอุปกรณ์เองด้วย

ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อเทอร์โมอิเล็กทริกมีอยู่ด้วยกัน 3 ตัวแปร คือ 1) T_h อุณหภูมิของแผ่นด้านร้อน 2) T_c อุณหภูมิของแผ่นด้านเย็น 3) Q_c ความร้อนที่ดูดซับจากด้านเย็น

เมื่อเราจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ภายในวงจรของเทอร์โมอิเล็กทริก ความร้อนจะถูกปล่อยออกมาทางด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกและถ่ายเทไปยัง Heat sink ต่อไป โดยใช้อากาศเป็นตัว

ระบายความร้อนออกจาก Heat sink จะเป็นแบบธรรมชาติหรือแบบบังคับก็ได้ ทำให้เราหาค่า T_h ได้จากสมการ (2.9) และ (2.10)

$$T_h = T_{amb} + (R)Q_h \qquad (2.9)$$

T_h = อุณหภูมิของแผ่นด้านร้อน ($^{\circ}C$)

T_{amb} = อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมโดยรอบ ($^{\circ}C$)

R = ค่าความต้านทาน ความร้อนของการแลกเปลี่ยนความร้อน ($^{\circ}C$ /watt)

Q_h = ความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากด้านร้อน (watt)

$$Q_h = Q_c + P_{in} \qquad (2.10)$$

Q_c = ความร้อนที่ดูดซับจากด้านเย็น (watt)

P_{in} = กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เทอร์โมอิเล็กทริก (watt)

การที่เราติดตั้ง Heat sink เพื่อระบายความร้อนนั้น ทำให้เกิดการต้านทานความร้อนขึ้น ถ้าไม่ทราบค่าความต้านทานความร้อนบริเวณนั้น ให้ประมาณค่าอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิโดยรอบตามชนิดของการถ่ายเทความร้อนได้ ดังนี้

1. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ $20^{0}C$ - $40^{0}C$
2. การพาความร้อนแบบบังคับ $10^{0}C$ - $15^{0}C$
3. การใช้ของเหลว(Liquid cooling) $2^{0}C$ - $5^{0}C$

(ที่มา: Melcor Corporation, Thermoelectric Handbook, Sept., 1995)

Heat sink เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ถ้ามีขนาดเล็กจนเกินไปก็จะส่งผลต่อการทำงานของด้านเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก หมายความว่า ด้านเย็นอาจจะไม่สามารถดูดซับความร้อนได้เลย

เมื่อเราต้องการทำความเย็นให้กับวัตถุ สิ่งที่จำเป็นคือ แผ่นด้านเย็นต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของวัตถุที่เราจะทำความเย็น อุณหภูมิที่แตกต่างของด้านร้อนและด้านเย็นหาได้จากสมการ (2.11)

$$\Delta T = T_h - T_c \qquad (2.11)$$

การหาค่า Q_c หรือค่าความร้อนที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถหาค่าที่แท้จริงได้ยาก เนื่องจากค่าภาระความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต้องนำมาพิจารณาด้วย โดยภาระความร้อน ที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าดังนี้

1) ความร้อนจากภายใน: - ภาระความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2) ความร้อนจากภายนอก: - การแผ่รังสี (การสูญเสียความร้อนระหว่าง 2 บริเวณที่มีอุณหภูมิ ต่างกัน)
- การพาความร้อน (การสูญเสีย ความร้อนผ่านอากาศ เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศและวัตถุต่างกัน)
- การสูญเสียความร้อนบริเวณฉนวน
- การสูญเสียจากการนำความร้อน (บริเวณ หน้าสัมผัส)
- ภาวะชั่วคราว (เกิดจากเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของวัตถุ)

ตัวแปรอื่น ๆ ที่นำมาพิจารณาคือวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมอิเล็กทริก ต้องมีคุณลักษณะที่เหมาะสมด้วย ถ้าเป็นบริเวณผิวสัมผัสด้านเย็น และด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก ควรมีคุณสมบัติในการนำความร้อนได้ดี เช่น Copper, Aluminum เพื่อที่จะสามารถถ่ายเทความร้อนออกไปได้ดีที่สุด แต่ส่วนประกอบที่เป็นฉนวนควรมีคุณสมบัติในการนำร้อนได้ต่ำ เช่น โฟม, polyurethane เพื่อลดการสูญเสียความร้อน

สิ่งแวดล้อมโดยรอบที่มีผล เช่น ความชื้น ที่เกิดขึ้นบนด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถทำให้เกิดน้อยลงได้โดยการปิดผนึก (Seal) โดยรอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อป้องกันการสัมผัสกับน้ำ และอากาศโดยตรง ซึ่งจะช่วยลดการผุกร่อน และการลัดวงจรของกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

ตัวแปรอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น กำลังไฟฟ้าจ่ายต้องเหมาะสม ชนิด Heat sink และรวมถึงลักษณะของการใช้งานด้วย