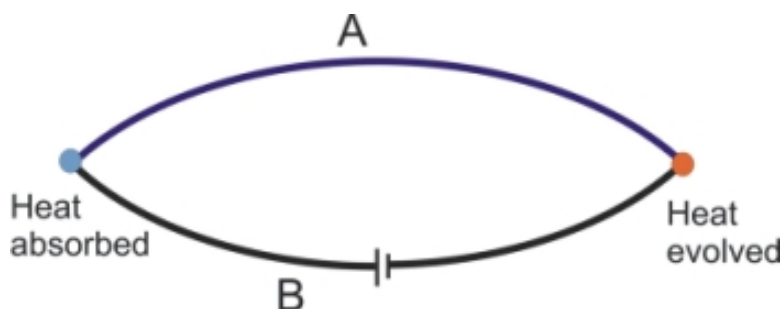


บทที่ 2

การทำความเย็นจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

2.1 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ในปี ค.ศ. 1834 Jean Peltier ได้ทำการทดลองผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในโลหะทองแดงและบิสมัทที่เชื่อมต่อกัน ผลที่เกิดขึ้น คือ รอยต่อระหว่างทองแดงและบิสมัทข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น ส่วนอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง อันเป็นผลจากคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิด กลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านโลหะด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อน (Heat Evolved) แต่อีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน (Heat Absorbed) ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ ดังแผนภาพที่ 2.1 เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า Peltier Effect และ Peltier ยังได้ใช้รอยต่อของทองแดงและบิสมัททำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็งจากกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ จะเห็นได้ว่าปรากฏการณ์ทั้งสองเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถกำเนิดอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานย้อนกลับกระบวนการ (Reverse Operation) กันได้



ภาพที่ 2.1 ปรากฏการณ์ Peltier Effect จากการเคลื่อนที่ของประจุในโลหะต่างชนิด [1]

2.1.1 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

จากผลการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำ มีการพบว่า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.1.1.1 สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)

2.1.1.2 สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มากที่สุด

2.1.1.3 มีสภาพนำความร้อนต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

คุณสมบัติทั้ง 3 ประการ มีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์ตามสมการที่ 2.1 สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z)

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\lambda} \dots\dots\dots 2.1$$

โดยที่ α คือ สัมประสิทธิ์ซีเบ็ค $\left[\frac{\Delta V}{\Delta T} \right]$ (Volt/Kelvin)

σ คือ สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (Ampere/Volt·meter)

และ λ คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ (Watt/meter·Kelvin)

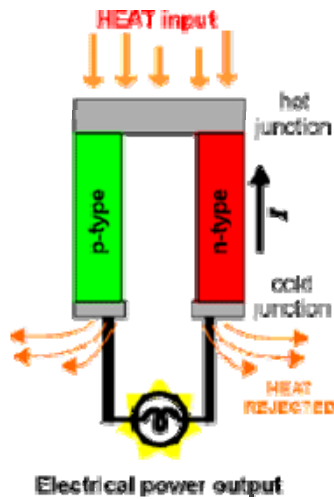
เนื่องจาก Z มีหน่วยต่ออุณหภูมิ แต่ในทางปฏิบัติค่าบ่งชี้ที่เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะไม่มีหน่วย เรียกว่าค่า figure-of-merit ดังนั้นจึงมีการคูณสมการ 2.1 ด้วย T ได้สมการใหม่เป็น ZT โดยที่ T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน ค่า ZT จึงเป็นค่า figure-of-merit ที่ใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุด และคุณสมบัติการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนองค์ประกอบ (Thermo-Element) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2.1.2 การทำงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

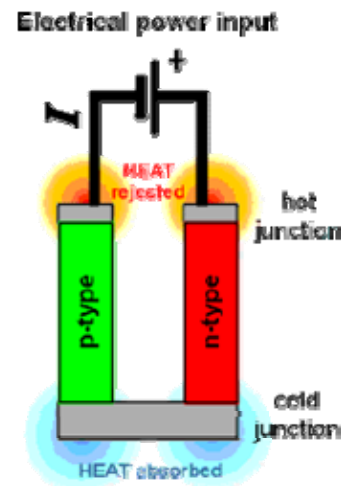
ปัจจุบันวิวัฒนาการของปรากฏการณ์ Seebeck Effect และ Peltier Effect ได้รับการพัฒนาเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามกระบวนการอุณหพลศาสตร์ใน 2 รูปแบบ คือ จักรกลความร้อน (Heat Engine) และจักรกลสูบความร้อน (Heat Pump) โดยมีการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์แยกชนิดตามหน้าที่ในการทำงานดังนี้

อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อน (ตามปรากฏการณ์ Seebeck Effect) เรียกว่า Thermoelectric Generator (TEG) อุปกรณ์ทำความเย็น (ตามปรากฏการณ์ Peltier effect) เรียกว่า Thermoelectric Cooler (TEC) หรือ Peltier Cooler การทำความเย็นด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบริเวณรอยต่อไอหุ้มมิกของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (TEC) อาศัยผลการดูดกลืนความร้อนของกลุ่มอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่จากรอยต่อด้านเย็นผ่านเทอร์โมลิเมนต์ และนำไปปลดปล่อยที่รอยต่อด้านร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ โดยมีผลให้รอยต่อด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่รอยต่อด้านร้อนออก ดังแสดงในแผนภาพที่ 2.2 และ 2.3 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์และเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์นั้นมีลักษณะของโครงสร้างคล้ายคลึงกัน จึงสามารถทำงานย้อนกระบวนการกันได้ แต่ภาวะการท

อุณหภูมิของอุปกรณ์และค่า ZT ของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เลือกใช้จะแตกต่างกันขึ้นกับความต้องการประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์



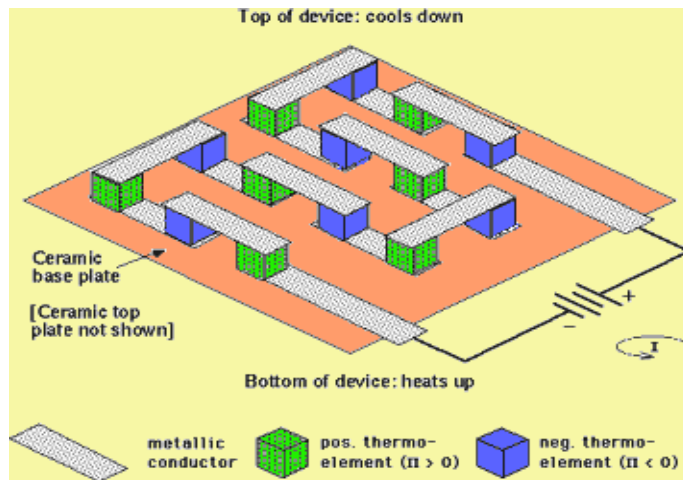
ภาพที่ 2.2 Thermoelectric Generation
(Heat Engine)



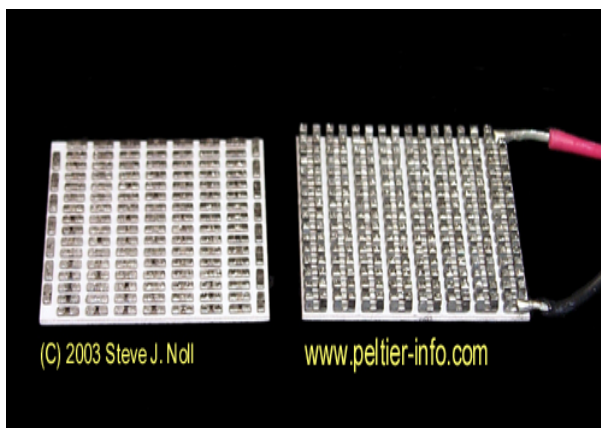
ภาพที่ 2.3 Thermoelectric Cooling
(Heat Pump)

2.1.3 โครงสร้างของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

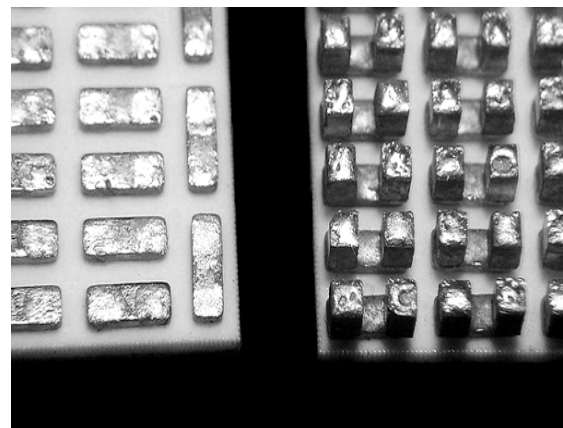
อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ผลิตกันในเชิงพาณิชย์ จะมีมาตรฐานการกำหนดข้อมูลเฉพาะ (Specification) ทั้งขนาดพื้นที่ รูปร่าง และกำลังไฟฟ้าของเซลล์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานได้หลากหลายตามวัตถุประสงค์ โดยในการผลิตทางอุตสาหกรรม เทอร์โมอิเล็กทริกชนิดสารกึ่งตัวนำแบบพีและเอ็น (P type - N type) จะถูกนำมาจัดเรียงบนแผ่นฉนวนไฟฟ้าต่อสลับอันดับกันทางวงจรไฟฟ้าและต่อขานกันในเชิงวงจรความร้อนบนพื้นที่กว้าง ทั้งนี้เพื่อให้มีทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะไฟฟ้าที่สอดคล้องกับการเกิดปรากฏการณ์ Peltier Effect เป็นการสร้างรอยต่อโอห์มมิกที่ผนังอุปกรณ์ด้านร้อนและด้านเย็น ดังแผนภาพโครงสร้างในภาพที่ 2.4 และภาพถ่ายส่วนประกอบในภาพที่ 2.5 ทำให้ได้พื้นที่ทำความเย็นและระบายความร้อนเพิ่มขึ้นในกรณีของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ (TEC) และ ขณะเดียวกันก็ได้พื้นที่ในการรับพลังงานความร้อนและระบายความร้อนในการสร้างกระบวนการย้อนกลับให้ทำงานเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (TEG) ในภาพที่ 2.6 แสดงสภาพของโครงสร้างรอยต่อโอห์มมิกที่ผนังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการนำความร้อนบริเวณรอยต่อ



ภาพที่ 2.4 แผนภาพโครงสร้างของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์

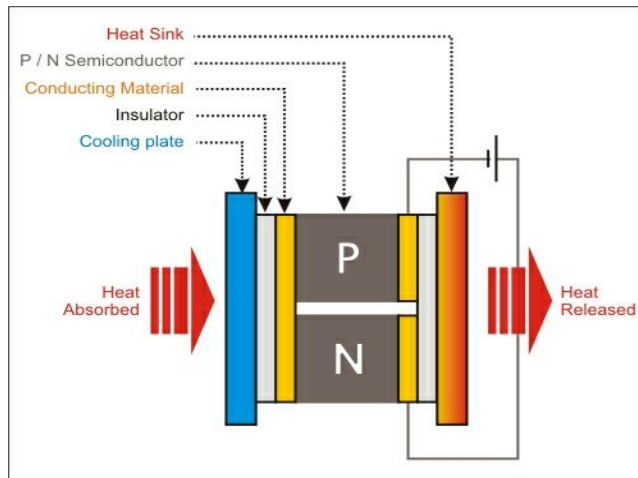


ก. แผ่นฉนวนที่จัดเรียงเทอร์โมอิเล็กทริก



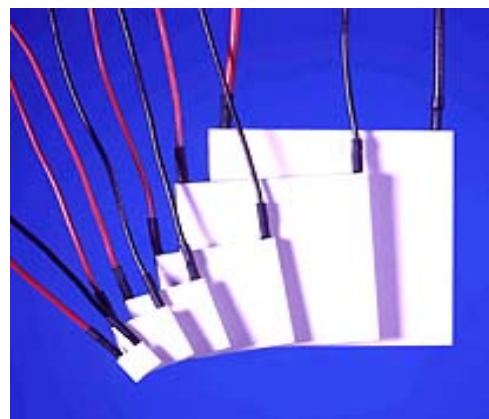
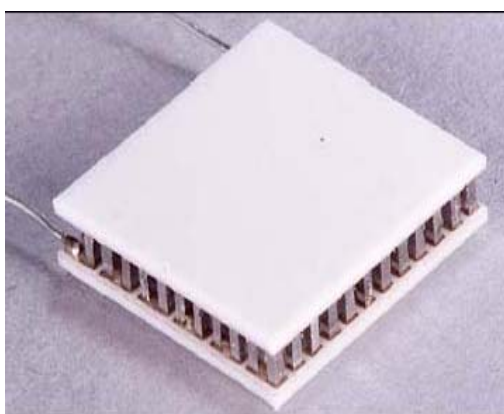
ข. ภาพขยายส่วนฐานและเทอร์โมอิเล็กทริก

ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายโครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างบริเวณรอยต่อที่ผนังด้านร้อนและผนังด้านเย็น

เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ที่ออกแบบเพื่อใช้งานในระบบทำความเย็นหรือระบบทำความเย็นร่วมกับการทำความร้อนพร้อมกันจากผนังเซลล์ 2 ด้านโดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าและหล่อเย็นผนังเซลล์เพื่อรักษาให้อุณหภูมิผนังด้านร้อนไม่เกิน 60 °C เซลล์มาตรฐานดังในภาพที่ 2.7 สามารถดูดกลืนปริมาณความร้อนได้ตั้งแต่ 10 – 130 W/Cell ขึ้นกับขนาดที่ออกแบบ ทุนอุณหภูมิสูงสุดได้ไม่เกิน 140 °C ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบทำความเย็นของเครื่องมือต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องใช้ในครัวเรือน เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องมือทางการแพทย์ คอมพิวเตอร์และเครื่องมือสื่อสารบางชนิด เป็นต้น จึงมีการออกแบบรูปทรงของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์ในแบบต่าง ๆ หลากหลาย



ก. รูปร่างของเพลเทียร์คูลเลอร์

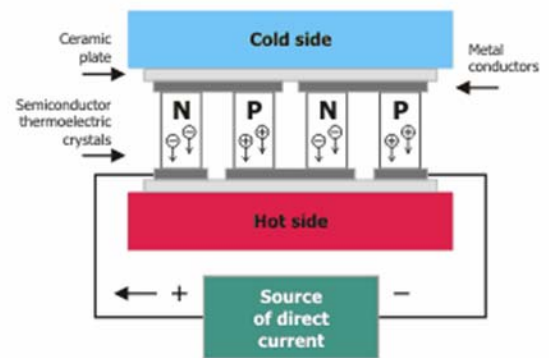
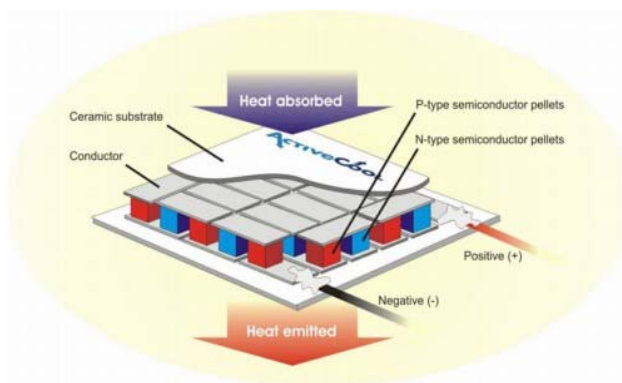
ข. ขนาดของเซลล์ที่ต่างกัน

ภาพที่ 2.7 เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์

2.2 การทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2.2.1 การทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

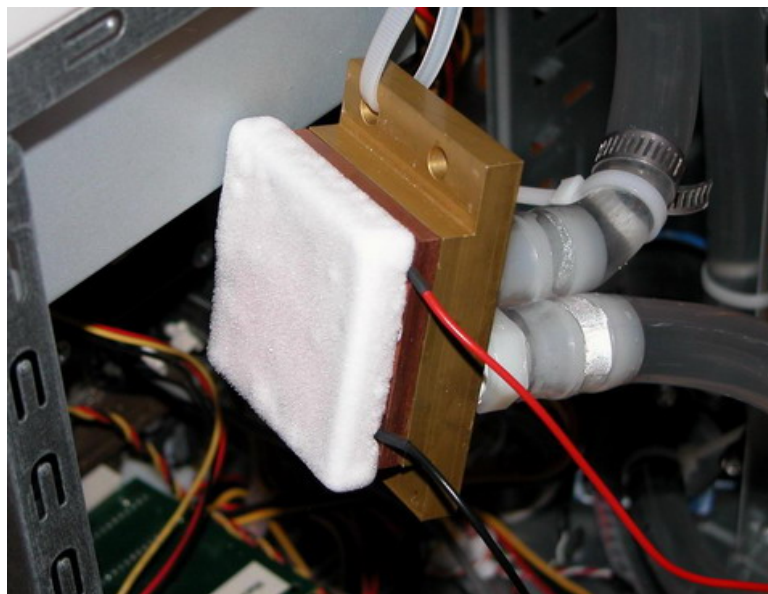
ระบบทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแตกต่างจากระบบทำความเย็นแบบอัดไอเคมี (Compression) ที่ใช้กันทั่วไป เนื่องจากไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว ไม่ต้องการสารทำความเย็น ไม่มีเสียงรบกวน การทำความเย็นด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกต้องการเพียงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันและกระแสไฟฟ้า พร้อมทั้งระบบระบายความร้อนด้วยพัดลมหรือน้ำ ที่เหมาะสมกับการสูบน้ำปริมาณความร้อนของเซลล์ออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น โดยจัดวางตามแผนภาพที่ 2.8 การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกทำให้เกิดกลุ่มพาหะประจุรับความร้อนจากผนังด้านเย็นเคลื่อนไปปล่อยที่ผนังด้านร้อนที่อยู่ตรงกันข้าม ทำให้ผนังด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำลงต่อเนื่องจนมีเกล็ดน้ำแข็งซึ่งเกิดจากความชื้นในอากาศจับ ตราน้ำแข็งที่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าป้อนให้ระบบและระบายความร้อนออกจากผนังด้านร้อนของระบบ ดังภาพถ่ายในภาพที่ 2.9



ก. การทำความเย็นด้วยแผ่น TEC

ข. การทำงานของ TEC 2 รอยต่อ

ภาพที่ 2.8 แผนภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์



ภาพที่ 2.9 เกล็ดน้ำแข็งที่เกาะบนผนังด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์

2.2.2 ข้อดีและข้อด้อยในการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

ก. ข้อดีของการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

1. เป็นการลดปริมาณสารทำความเย็นคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (Chloro Fluoro Carbon : CFCs) ซึ่งมีผลต่อการทำลายบรรยากาศโลก
2. เครื่องทำความเย็นแบบใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะไม่มีเสียงการสั่นสะเทือนเมื่อเทียบกับระบบใช้น้ำยาที่ต้องมีเครื่องอัดน้ำยา เพราะไม่มีส่วนประกอบที่เคลื่อนไหวจึงไม่มีเสียงดังรบกวน
3. สามารถทำงานได้ในสถานะที่มีฝุ่นละอองมาก การบำรุงรักษาน้อยกว่าระบบทำความเย็นด้วยน้ำยา

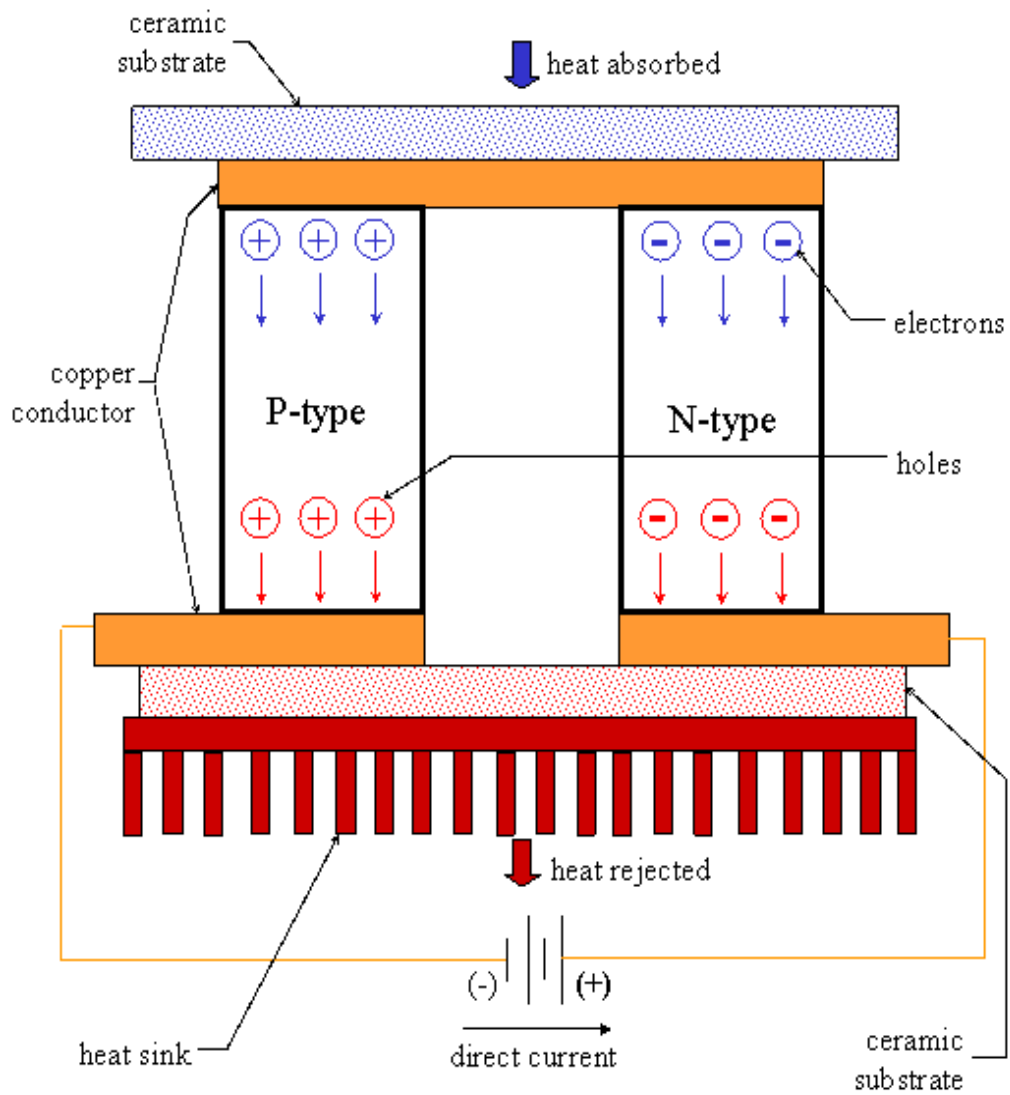
4. มีความคงทนแข็งแรงและมีอายุใช้งานนาน

ข. ข้อด้อยของการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

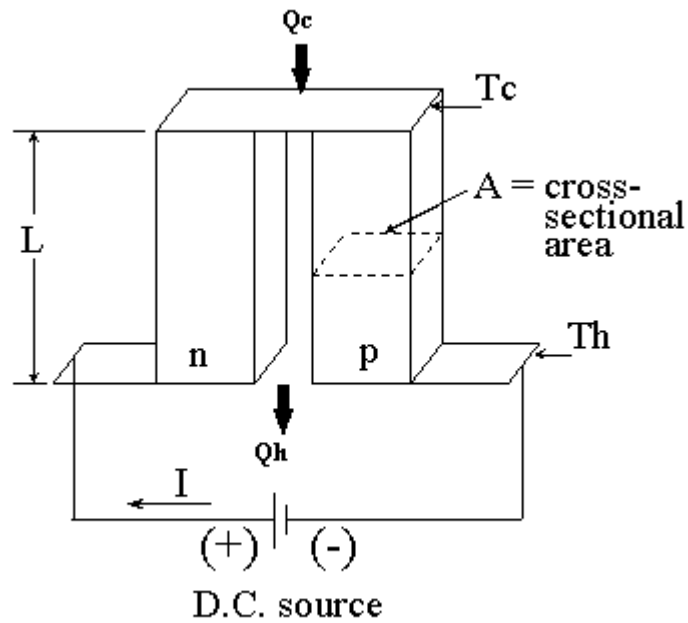
1. ต้นทุนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกยังค่อนข้างสูง เนื่องจากเซลล์ความร้อนยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย จึงยังไม่มีการผลิตเป็นจำนวนมากในเชิงพาณิชย์
2. ปัจจุบันเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC) ที่มีจำหน่ายทั่วไปยังมีประสิทธิภาพในการผลิตความเย็นต่ำ COP (Coefficient of Performance) ประมาณ 4-5 %

2.3 การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเพื่อออกแบบเครื่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก

Schematic of a Thermoelectric Cooler



ภาพที่ 2.10 การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเพื่อออกแบบเครื่องทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพที่ 2.11 วงจรการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากภาพที่ 2.11

L = ค่าความสูงของสารเทอร์โมอิเล็กทริก

A = ค่าพื้นที่หน้าตัดของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

Q_c = ปริมาณความร้อนที่ระบบรับเข้าทางด้านผนังเย็น

T_c = อุณหภูมิทางด้านผนังเย็น

T_h = อุณหภูมิทางด้านผนังร้อน

I = ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

S = ค่าคงที่ซีเบค Seebeck Coefficient

R = ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

K = ค่าการนำความร้อนของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

V = ค่าแรงดันตกคร่อมเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริก

N = จำนวนเซลล์ในแผ่นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

ซึ่งได้สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรดังนี้

$$Q_c = 2 * N * [S * I * T_c - 1/2 * I^2 * R * L/A - K * A/L * (T_h - T_c)] \quad (2.2)$$

$$V = 2 * N * [S * (T_h - T_c) I - R * L/A] \quad (2.3)$$

ค่าความหมายคณิตศาสตร์ของเทอมที่หนึ่งในสมการที่ 2.2 $S \cdot I \cdot T_c$ เป็นค่าการทำความเย็นของ Peltier ที่เกิดขึ้นบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

ค่าเทอมที่สองของสมการที่ 2.2 $\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R \cdot L / A$ เป็นค่าความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

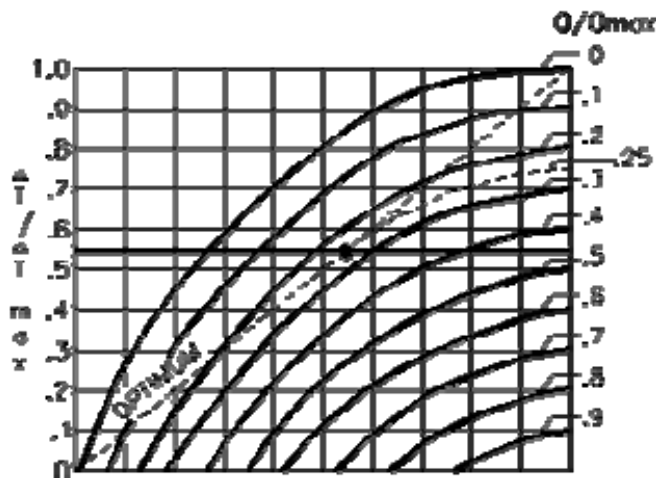
ค่าเทอมที่สาม ของสมการที่ 2.2 $\frac{1}{2} \cdot K \cdot A / L \cdot (T_h - T_c)$ เป็นค่าพลังงานความร้อนที่ไหลจากผนังด้านร้อนไปยังผนังด้านเย็น

สมการที่ 2.2 เป็นสมการในรูปอย่างง่ายที่จะอธิบายความร้อนที่เกิดบนผนังด้านเย็นแต่ในทางปฏิบัติจริงค่า S,R,K จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิซึ่งจะต้องใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงในการแก้ปัญหา

2.4 การประมาณค่า TEC Performance ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในการใช้งาน

จากข้อมูลการผลิต TEC ของแต่ละโมเดลจะมีค่าตัวแปรที่เป็นค่าอ้างอิงในการเลือก TEC มาใช้งาน เช่น Q_{max} , T_c , T_{max} , V_{max} , I_{max} และขนาดของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ยกตัวอย่างคุณสมบัติเฉพาะแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก Model DT6-6 ของ Marlow Industries LTD มี ดังนี้ $Q_{max}=30 \text{ W}$, $DT_{max} = 65\text{C}$, $I_{max} 5.6 \text{ A}$, $V_{max}=8.2 \text{ V}$

ถ้าต้องการสร้างเครื่องทำความเย็นให้มีอุณหภูมิทางด้านผนังเย็นติดลบ -8 องศาเซลเซียส โดยมีอุณหภูมิห้อง 27 องศาเซลเซียส ค่า DT (Different Temperature) จะมีค่าเท่ากับ $-8-27 = 35$ องศาเซลเซียส ซึ่งนำค่า DT ที่ได้ไปคำนวณอัตราส่วน $DT/DT_{max} = 35/65 = 0.54$ นำ DT/DT_{max} 0.54 ที่ได้ไปหาค่าอื่นต่อจากเส้นกราฟ Performanceการทำงานที่รูป 2.12



ภาพที่ 2.12 กราฟ TEC Performance

