บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

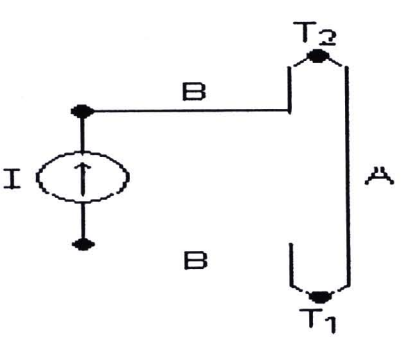
2.1 การทำความเย็นโดยเทอร์โมอิเล็กตริก

ในปี ค.ศ. 1892 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน Thomas seebeck ทำการศึกษาพบว่าเมื่อนำขดลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดต่อทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเส้นลวดทั้งสองตามรูปที่ 2.1 (ก) ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างอุณหภูมิที่ปลายจุดทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออกจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า "ซีเบ็คโวลเตจ"

รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์ซีเบ็ค

[รูปจากhttp://www.datatrackpi.com/technical-papers/how-does-a-thermocouple-work.htm]

ต่อมาในปี ค.ศ. 1836 Jean C.A.Peltier พบว่าเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกับที่ซีเบ็คสร้างขึ้น โดยใช้ลวดด้านหนึ่งทำจากบิสมัน(Bismuth)และอีกด้านหนึ่งทำจากแอนติโมนิ(Antimony)จะทำให้เกิดอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อที่แตกต่างกัน โดยปลายข้างหนึ่งจะร้อนและอีกปลายข้างหนึ่งจะเย็นลง วงจรการทดลองของเพลเทียร์เป็นดังรูปที่ 2.2



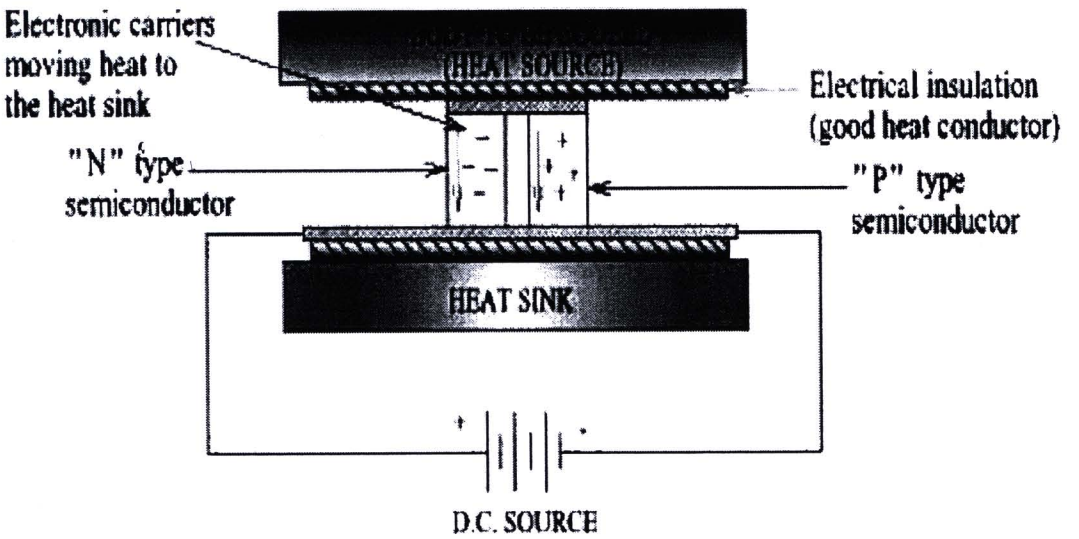
รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์

[รูปจาก http://commons.wikimedia.org/?title=File:Peltier_effect_circuit.png]

เมื่อมีกระแสจากแหล่งภายนอกไหลผ่านเข้าไปวงจรดังรูปที่ 2.2 จะทำให้จุดต่อ T_2 มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ T_1 ซึ่งจากการค้นพบของซีเบ็คและเพลเทียร์ทำให้เกิดการค้นคว้าเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กตริกต่อมา

2.1.1 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กตริก

เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล (Thermoelctric Module) สร้างจากวัสดุกึ่งตัวนำโดยใช้หลักการการทำงานของปั๊มความร้อน แสดงดังรูปที่ 2.3

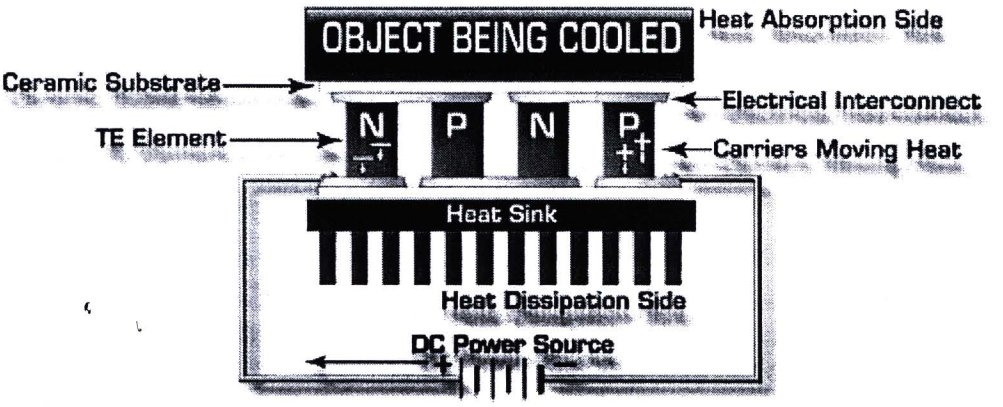


รูปที่ 2.3 หน้าตัดของคู่เทอร์โมคัปเปิลภายในเทอร์โมอิเล็กตริก

[รูปจาก http://www.tetech.com/FAQ-Technical-Information.html]

จากรูปที่ 2.3 เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบพี-เอ็น (P-N Type) กระแสที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ทางไฟฟ้าและทำให้มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง โดยเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านบวก (Positive DC Voltage) ไหลผ่านวัสดุกึ่งตัวนำแบบเอ็น (N Type) จะส่งผลให้เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำสารกึ่งตัวนำแบบพี (P-Type) สู่พลังงานระดับสูงสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น (N Type) ส่งผลให้เกิดความเย็นที่ด้านเย็น (Heat Source) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากระดับพลังงานสูงของสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น (N Type) สู่ระดับพลังงานต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี (P-Type) ส่งผลให้เกิดความร้อนที่ด้านร้อน (Heat Sink) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเรียกว่าปรากฏการณ์ของเพลเทียร์ (Peltier effect) นำไปสู่การประยุกต์ใช้ด้านเย็นในการทำความเย็น และความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะทำความเย็นจะถูกระบายทิ้งให้กับบรรยากาศแวดล้อม ลักษณะการเชื่อมต่อของวัสดุกึ่งตัวนำแบบเอ็นและแบบพี จะมีลักษณะการต่อเป็นคู่ๆ แบบอนุกรมและแบบขนาน โดยทางด้านไฟฟ้าเป็นการต่อแบบอนุกรมเพื่อให้ได้ขนาดของพลังงานไฟฟ้า

ที่เหมาะสมกับความต้องการและด้านการทำความร้อน และความเย็นเป็นการเชื่อมต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นให้ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบเทอร์โมอิเล็กตริก

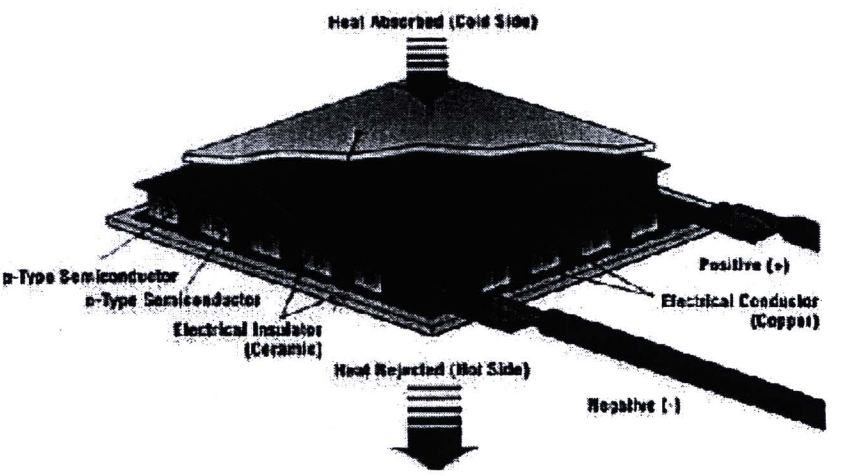
[รูปจาก http://www.peltier-info.com/photos.html]

2.1.2 เทอร์โมอิเล็คตริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็คตริกโมดูลสามารถออกแบบตามลักษณะได้สองแบบคือ

2,1.2.1 เทอร์โมอิเล็คตริกแบบชั้นเดียว (Single-Stage Peltier Module)

มีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เทอร์โมอิเล็กตริกแบบชั้นเดียว

[รูปจากhttp://www.customchill.com/pages/techsolid.php]

เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลแบบชั้นเดียว เป็นเทอร์โมอิเล็กตริกที่มีผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนกับด้านเย็นในการใช้งานไม่สูง ซึ่งมีค่าประมาณ $67^{\circ}C$ ซึ่งเป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิในขณะที่ไม่มีภาระความร้อน ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กตริกมีหลายรูปหลายแบบ ทั้งขนาดและรูปร่าง อีกทั้งมีสมบัติหลายอย่างให้เลือกตามลักษณะการใช้งานเช่น ค่ากระแสไฟฟ้าค่าแรงดันไฟฟ้าและความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยสามารถสรุปลักษณะและสมบัติได้ดังนี้คือ

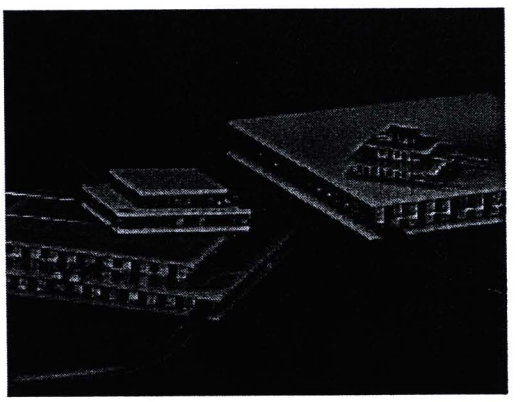
1. ขนาดพื้นที่ผิวหน้าเซรามิก 1.8 x 3.4 ตารางมิลลิเมตรถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร
2. ขนาดความสูงตั้งแต่ 2.54 มิลลิเมตร ถึง 5.8 มิลลิเมตร
3. ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.2 ถึง 125 วัตต์
4. ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.8 แอมแปร์ ถึง 60 แอมแปร์
5. ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.4 โวลท์ ถึง 15.4 โวลท์

2.1.2.2 เทอร์โมอิเล็กตริกแบบหลายชั้น (Multistage Thermoelectric Module)

เป็นเทอร์โมอิเล็กตริกที่มีการต่อตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ลักษณะของเทอร์โมอิเล็กตริกแบบหลายชั้นแสดงดังรูปที่ 2.6 ลักษณะและสมบัติของเทอร์โมอิเล็กตริกแบบหลายชั้น ที่สำคัญคือ

1. พื้นที่ผิวด้านเย็นมีขนาดตั้งแต่ 3.2 x 3.2 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตรและพื้นที่หน้าตัดด้านร้อนขนาดตั้งแต่ 3.8 x 3.8 ตารางมิลลิเมตร ถึง 62 x 62 ตารางมิลลิเมตร
2. ขนาดความสูงตั้งแต่ 3.8 มิลลิเมตร ถึง 21.4 มิลลิเมตร
3. ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดตั้งแต่ 0.39 ถึง 59 วัตต์
4. ค่ากระแสสูงสุดตั้งแต่ 0.7 แอมแปร์ ถึง 9.5 แอมแปร์
5. ค่าแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.8 โวลท์ ถึง 14 โวลท์

ซึ่งจำนวนชั้นของเทอร์โมอิเล็กตริกแบบหลายชั้น มีการเชื่อมต่อตั้งแต่ 2 ชั้น จนถึง 6 ชั้น



รูปที่ 2.6 เทอร์โมอิเล็กตริกแบบหลายชั้น

[รูปจาก http://sites.google.com/site/prakashelectronicscom/thermo-electric-module]

ก่อนการเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูล ควรมีการหาค่าตัวแปรที่สำคัญเบื้องต้น 3 อย่าง คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก (Cold Surface Temperature,Th) และปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกที่ผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก (Hot Surface Temperature, Th) และปริมาณความร้อนที่ต้องการถ่ายเทออกที่ผิวด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก (Qc) เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้เทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลที่เหมาะสมต่อไป การถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกมีความสำคัญต่อการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริกมากเพราะถ้าไม่สามารถถ่ายเทความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกออกได้ ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริกก็จะไม่สามารถเย็นลงได้ โดยตัวแปรที่สำคัญในการถ่ายเทความร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกด้านร้อน คือ อุณหภูมิแวดล้อมที่รองรับความร้อนที่ถ่ายเทจากเทอร์โมอิเล็กตริก และประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งข้อมูลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนของ Melcor Corporation ได้แสดงค่าประมาณการถ่ายเทความร้อนไว้ดังนี้

- การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนด้วยครีบแบบบังคับ (Finned forced air) มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 10^0C ถึง 15^0C
- การถ่ายเทความร้อนด้วยอากาศโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Free convection air) มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 15^0C ถึง 20^0C
- การถ่ายเทความร้อนด้วยของเหลว มีค่าอุณหภูมิด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริกสูงกว่าอุณหภูมิของเหลวประมาณ 2^0C ถึง 5^0C

2.1.3 สมการในการคำนวณการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก

2.1.3.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น (Heat Pumped at Cold Surfacce, Q_C)

อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านที่เย็น คำนวณได้ดังสมการ 2.1

$$Q_c = \alpha I T_c - \frac{1}{2} I^2 R - K_t \Delta T \qquad (2.1)$$

โดยที่ Q_C คือ อัตตรการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น (W)

α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (V/K)

I คือ กระแสไฟฟ้า (Amp)

T_C คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก (K)

K_t คือ ค่าความนำความร้อนของ Thermoelectric Element (W/K)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

R คือ ความต้านทานทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก (Ω)

2.1.3.2 ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน

เป็นค่ากระแสที่ไหลเข้าไปทำงานให้ตัวเทอร์โมอิเล็กตริก กระแสไฟที่จ่ายเข้าไปขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค ค่าผลต่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น และค่าความต้านทานของตัวเทอร์โมอิเล็กตริก ดังสมการที่ 2.2

$$I = \frac{V - \alpha(T_h - T_c)}{R} \tag{2.2}$$

2.1.3.3 กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กตริก

เป็นค่ากำลังที่ทำให้เทอร์โมอิเล็กตริกทำงาน หาได้จากสมการ 2.3

$$P_{in} = \alpha I \Delta T + I^2 R \tag{2.3}$$

โดยที่ P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กตริก (W)

2.1.3.4 สมรรถนะการทำความเย็น (COP)

เป็นการหาสมรรถนะในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก เป็นอัตราส่วนระหว่างความเย็นที่ตัวเทอร์โมอิเล็กตริกทำได้กับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ตัวเทอร์โมอิเล็กตริก

$$\text{COP} = \frac{Q_C}{P_{in}} \tag{2.4}$$

จากการศึกษาของ Molcor Corporation [3] ได้แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างของเทอร์โมอิเล็กตริกโมดูลดังแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ทั่วไปของเทอร์โมอิเล็กตริก

Definiton	Symbol	Value
Seebeck Coefficient	α	4.4x10-2(volt/kelvin)
Resistivity	ρ	$1.0x10^{-3}$(ohm cm)
Device Thermal Conductance	K	$4.95x10^{-1}$(watt/Kelvin)
Figure of Merit	Z	$2.67x10^{-3}$(Kelvin)

2.1 ภาระความเย็นในหมวกนิรภัยสำหรับรถจักรยานยนต์ (หมวกกันน็อก)

ภาระความเย็นภายในหมวกนิรภัยสำหรับรถจักรยานยนต์เป็นผลรวมของแหล่งความร้อนที่มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกหมวกนิรภัยกับความร้อนที่มาจากศีรษะของผู้สวมใส่ โดยสมการภาระทำความเย็นทั้งหมดแสดงดังสมการที่ 2.5

$$Q_{net} = Q_{ab} + Q_{head} \tag{2.5}$$

โดยที่ Q_{net} คือ ค่าภาระทำความเย็นทั้งหมด

Q_{ab} คือ ค่าภาระความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกหมวก

Q_{head} คือ ค่าภาระความร้อนจากศีรษะผู้สวมใส่หมวกนิรภัย

2.2.1 ค่าภาระความร้อนที่มาจากผู้สวมใส่หมวกนิรภัย

ความร้อนที่มาจากศีรษะเป็นความร้อนที่มาจากผิวของศีรษะโดยการถ่ายเทความ ร้อนด้วยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน เราสามารถคำนวณความร้อนที่ได้จากศีรษะโดยสมการที่ 2.6

$$\begin{aligned} Q_{head} &= Q_{conv} + Q_{rad} \\ &= h_c\left(T_s - T_{in}\right) + \varepsilon\sigma\left(T_s^4 + T_{in}^4\right) \end{aligned} \tag{2.6}$$

โดยที่ h_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

σ คือ ค่าคงที่สเตฟาร์น-โบสเมนส์

ε คือ ค่าการเปล่งรังสีของผิว

T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวบริเวณศีรษะ

T_{in} คือ อุณหภูมิภายในหมวกกันน็อก

T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

2.2.2 ภาระความร้อนที่มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกหมวกนิรภัย

ภาระส่วนนี้ คือ อัตราการนำความร้อนไหลผ่านจากภายนอกของหมวกมายังภายในหมวกโดยการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนของอุณหภูมิภายนอกหมวกผ่านฉนวนเข้ามายังภายใน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.7

$$Q_{ab} = \frac{\Delta T}{\left(\left(\frac{\Delta x_1}{k_1 A_1}\right) + \left(\frac{\Delta x_2}{k_2 A_2}\right) + \left(\frac{\Delta x_3}{k_3 A_3}\right)\right)} \quad (2.7)$$

ΔT คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับอุณหภูมิภายในหมวก

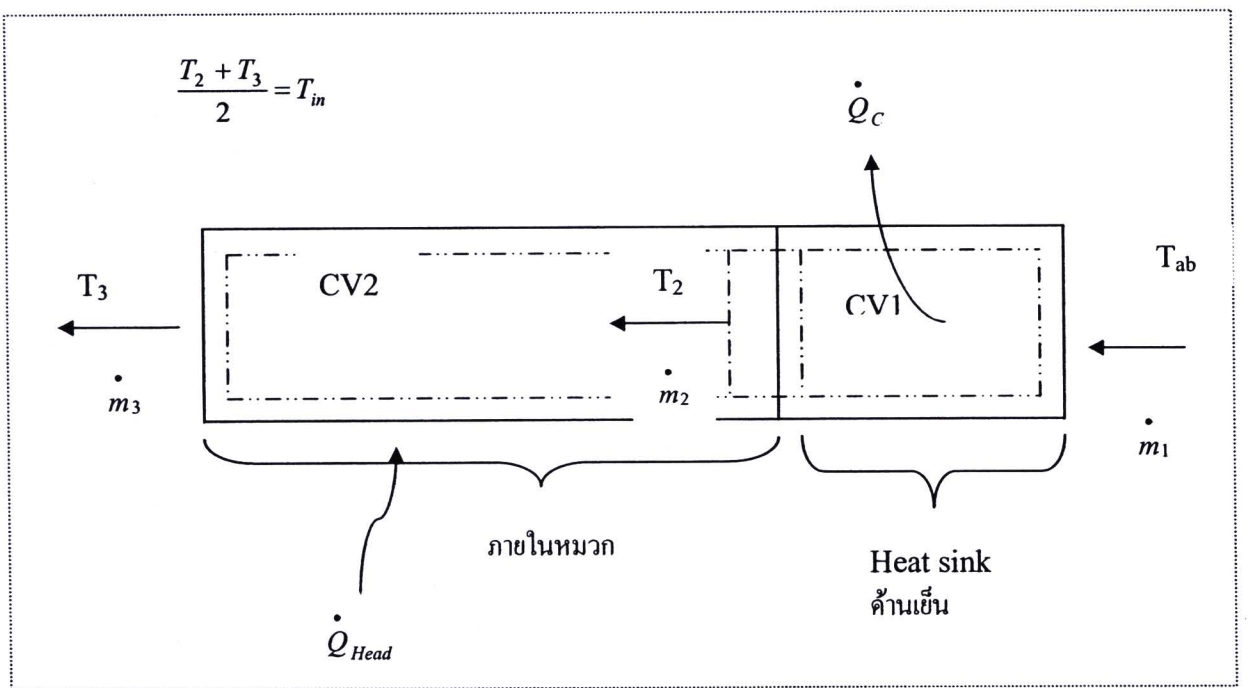
k คือ ค่าคงที่การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

A คือ พื้นที่หน้าตัดของ ฉนวนแต่ละชนิด

Δx_i คือ ความหนาของวัสดุแตละชนิด

2.2 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนภายในหมวก

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนภายในหมวกโดยปริมาตรควบคุม จุดประสงค์เพื่อที่จะได้รู้ว่าความร้อนที่ถูกดึงออกจากภายในหมวกกันน็อคไปสู่สิ่งแวดล้อมมีปริมาณเท่าใด



รูปที่ 2.7 ปริมาตรควบคุมภายในหมวกกันน็อก

จากรูปที่ 2.7 ระบบแลกเปลี่ยนความเย็นในหมวกกันน็อกจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือปริมาตรควบคุม ช่วงแรกอากาศที่อุณหภูมิแวดล้อมจะเข้ามาในหมวกและถูกทำให้เย็นโดย Heat Sink ด้านเย็น อากาศ

เย็นจะผ่านเข้าไปในปริมาตรควบคุมช่วงที่ 2 เพื่อไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผลิตจากศีรษะผู้สวมใส่ $\dot{Q}_{out}$ คำนวณได้จากสมการสมดุลพลังงานที่ 2.8 และ 2.9

$$\dot{Q}_C + \dot{m}_1(h_1 - h_2) = 0 \tag{2.8}$$

$$\dot{Q}_{Head} + \dot{m}_2 h_2 - \dot{m}_3 h_3 = 0 \tag{2.9}$$

Enthalpy = h_i =h(Ti) คือ เอนทาลปีของอากาศที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

อุณหภูมิที่ได้ในหมวกกันน็อกจะมีค่าเท่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิขาเข้าและอุณหภูมิขาออกของปริมาตรคอบคุมที่สอง ดังสมการ (2.10)

$$\left(\frac{T_2 + T_3}{2} \right) = T_{in} \tag{2.10}$$

2.4 ความชื้น (Moisture)

2.4.1 การระเหย (Evaporation)

ภาระทางความร้อนที่ออกมาจากศีรษะส่วนใหญ่อยู่ในรูปของความร้อนแฝง (Latent heat) เช่น ไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการพิจารณาการถ่ายเทความร้อนของระบบหรือปริมาตรอ้างอิงที่กำหนดขึ้น มวลที่มาจากการระเหยเนื่องจากความร้อนสะสมจากศีรษะทำให้อัตราการไหลที่ออกจากปริมาตรอ้างอิงที่ 2 เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.7) อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นคำนวณได้จากสมการอัตราการระเหยของน้ำ ดังสมการที่ 2.11

$$\dot{m}_{evap} = \frac{\dot{Q}_{Head}}{h_{fg}\left(\overline{T}_{CV2}\right)} \tag{2.11}$$

อัตราการไหลที่ออกมาจากปริมาตรอ้างอิงที่ 2 (รูปที่ 2.7) ได้ดังสมการ 2.12

$$\dot{m}3 = \dot{m}2 + \dot{m}_{evap} \tag{2.12}$$

ใช้สมบัติของไอน้ำอิ่มตัวหาค่าที่อุณหภูมิเฉลี่ยในหมวกเพื่อหาค่าอัตราการไหลที่ได้ ส่วนสมการที่ 2.14 จะให้การหาไอน้ำที่เพิ่มเข้าในปริมาตรควบคุมที่ 2

2.4.2 การควบแน่น (Condensation)

ในที่นี้ได้ใช้สมบัติของอากาศแห้งในการคำนวณภาระการทำงานของระบบ แต่ในการใช้งานจริงแล้ว อากาศที่เข้าไปภายในหมวกกันน็อกนั้นมีความชื้นเข้ามาพร้อมกับอากาศด้วย ทั้งนี้เมื่อความชื้นของอากาศที่เข้ามายังระบบเพิ่มมากขึ้นทำให้เทอร์โมอิเล็กตริกต้องการใช้พลังงานในการทำความเย็นมากขึ้นเนื่องจากว่าความจุความร้อนของน้ำมีค่ามากกว่าของอากาศ ที่สภาวะคงที่และอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ในปริมาตรควบคุมดังรูปที่ 2.7 สามารหาสมการพลังงานได้ดังสมการที่ 2.13

$$\dot{Q}_{CV} = \dot{m}_a[(h_{a2} - h_{a1}) + \omega(h_{v2} - h_{v1})] \tag{2.13}$$

โดยที่ตัวห้อย "a" แทนสมบัติของอากาศแห้ง ตัวห้อย "v" แทนสมบัติของไอน้ำและ ω คืออัตรา อัตราส่วนความชื้น หาได้จากสมการที่ 2.14

$$\omega = 0.622\left(\frac{p_{v1}}{p - p_{v1}}\right) \tag{2.14}$$

2.5 การถ่ายเทความร้อนจาก Heat Sink

สมการที่ใช้ดึงความร้อนออกไปจากภายในหมวกกันน็อกขึ้นอยู่กับลักษณะของครีบ(ความสูงและระยะห่างของครีบ) และพื้นที่ของ Heat Sink คือสมการ 2.15

$$\dot{Q} = \bar{h}_c A\left(T_s - \bar{T}_b\right) \tag{2.15}$$

$\bar{h_c}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยของ Heat Sink หาได้จากการพาความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยม ดังสมการ 2.16

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

$$\overline{h_c} = \left(k/D_h\right)\overline{Nu}_{DH} \tag{2.16}$$

D_h คือ พื้นที่หน้าตัดไฮดรอริกภายในของท่อสี่เหลี่ยม ได้จากสมการ ที่ 2.17

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \tag{2.17}$$

โดยที่ A_C เป็นพื้นที่หน้าตัดภายในของท่อสี่เหลี่ยม

P เป็นเส้นรอบรูปของท่อสี่เหลี่ยม

$\overline{Nu}_{DH}$ คือค่า Nusselt number หาได้จากตารางที่ 2.2 ค่า Nusselt number ที่ของไหลในท่อไม่กลมแบบลามินาร์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนล์แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างส่วนสูงของครีบและระยะห่างระหว่างครีบ

ตารางที่ 2.2 ค่า Nusslet number สำหรับการไหลเต็มท่อแบบลามินาร์ในท่อสี่เหลี่ยม [4]

Channel Ratio	Nu_{Dh}		$f\,\mathrm{Re}_{Dh}$
	Constant Axial Wall Heat Flux	Constant Axial Wall Temperature	
1 / 1	3.6	2.976	57
1 / 1.4	3.8	3.1	59
1 / 2	4.1	3.4	62
1 / 3	4.8	4.0	69
1 / 4	5.3	4.4	73

ส่วนการไหลในท่อแบบปั่นป่วน ค่า Nusselt Number ขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนล์ โดยค่าเรย์โนล์ที่ใช้คือ

$$R_e = \frac{\rho v D_h}{\mu} \tag{2.18}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลที่ไหลในท่อ (kg/m^3)

v คือ ความเร็วของของไหลในท่อ (m/s)

D_h คือ พื้นที่หน้าตัดไฮดรอริกภายในของท่อสี่เหลี่ยม (m^2)

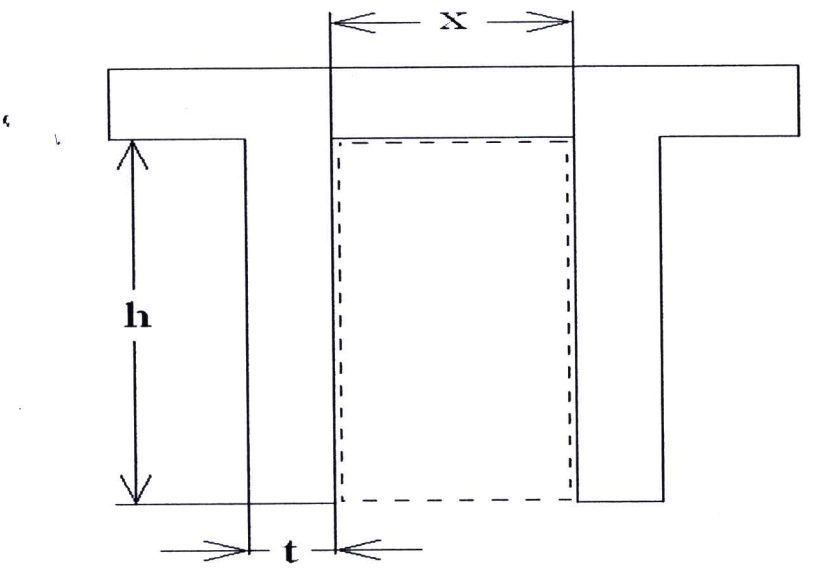
μ คือ ความหนืดไดนามิคของของไหล ($N.s/m^2$)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 27 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน 247093
เลขเรียกหนังสือ

การไหลในท่อที่มีค่าเรย์โนล์มากกว่า 2300 ขึ้นไป เป็นการไหลแบบปั่นป่วน
ค่า Nusselt Number จะได้ดังสมการที่ 2.19

$$Nu = 0.023R_e^{0.8}\,\mathrm{Pr}^n \tag{2.19}$$

โดยที่ n = 0.4 สำหรับการให้ความร้อน (heating) และ 0.3 สำหรับการระบายความร้อน(cooling)
A คือ พื้นที่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของครีบหาได้จากสมการ 2.20



รูปที่ 2.8 ครีบระบายความร้อน

$$A = nL(2h + x) \tag{2.20}$$

n คือ จำนวนครีบของ Heat Sink

L คือ ความยาวของ Heat Sink

x คือ ระยะห่างระหว่างครีบของ Heat Sink

ผลต่างอุณหภูมิในสมการที่ 2.15 T_s เป็นอุณหภูมิที่ผิวด้านเย็นของ Heat Sink และ $\overline{T_b}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้าและขาออกของ Heat Sink หาได้จากสมการที่ 2.21

$$\frac{T_{ab} + T_2}{2} \tag{2.21}$$

2.6 สภาวะความสบายเชิงความร้อน[5]

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ บ่งบอกถึงขอบเขตสภาวะความสบาย พบว่า อุณหภูมิระหว่าง 22-27°C และความชื้นสัมพันธ์ระหว่าง 20-75% ความรู้สึกร้อนหนาวที่เหมาะสม (Thermal Comfort) หมายถึง การควบคุมสภาพแวดล้อมให้อยู่เขตความสบายตามความต้องการผู้อยู่อาศัย โดยเน้นการใช้ระบบธรรมชาติให้มากที่สุด และการปรับปรุงช่วงที่อยู่นอกเขตสบาย เช่น ร้อนเกินไปด้วยระบบปรับอากาศหรือระบบเครื่องกลในส่วนน้อย จากการศึกษาพบว่าอิทธิพลของลม อุณหภูมิ และความชื้น มีผลโดยตรงต่อความรู้สึกร้อน หนาวที่พอเหมาะ กล่าวคือ เมื่อกระแสลมที่พัดผ่านผิวกายมีความเร็วเพิ่มขึ้น มนุษย์จะมีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิที่เป็นจริง เป็นเพราะอัตราการระบายความร้อนออกจากผิวกายแปรผันตามความเร็วลม ถ้ากระแสลมมีความเร็วสูง ทำให้รู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริง ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่วัดได้จริงกับความรู้สึกเมื่อมีลมพัดผ่านผิวกายนี้ (ในที่นี้เรียกว่าความรู้สึกเย็นลง) เมื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยจะได้ดังสมการที่ 2.22

$$\text{อุณหภูมิที่ลดลง } (^{\circ}C) = 0.381V+0.0126RH \qquad (2.22)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วลม (km/h)

RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (%)

จากสมการอาจสรุปคร่าวๆ ได้ว่า ความเร็วลมเพิ่มขึ้น 1 km/h มนุษย์จะรู้สึกเย็นกว่าอุณหภูมิจริงประมาณ 0.4 °C และเมื่อนำเอาอากาศภายนอกซึ่งมีความชื้นสูงมาปรับสภาพให้อยู่ในเขตสบายภายในห้องปรับอากาศ ต้องใช้พลังงานจำนวนมหาศาลในการลดความชื้นในรูปของความร้อนแฝง (Latent Load) และลดอุณหภูมิในรูปของความร้อนสัมผัส (Sensible Load) เป็นต้น

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีการศึกษาการใช้เทอร์โมอิเล็กตริกในด้านต่างๆ เพื่อประโยชน์ในงานด้านวิศวกรรมอย่างต่อเนื่อง Wasserhter W. [6]ได้ศึกษาและพัฒนาตู้แช่วัคซีนตามองค์การอนามัยโลก โดยใช้ระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กตริก ขนาด 16 ตารางเซนติเมตร ใช้กำลังไฟฟ้าของแผงแซลล์แสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง 30 วัตต์ ถึง 60 วัตต์ ขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีอาทิตย์โดยความร้อนทิ้งของระบบใช้การถ่ายเทให้สิ่งแวดล้อมซึ่งตู้ชีวัคซีนนี้บรรจุภายใน 40 ลิตร มีผนังด้านในแบบ dewar vessel ทำจากแก้ว strong boro-silsicate โดยเป็นผนังตู้แบบสุญญากาศที่สามารถลดการถ่ายความร้อนผ่านผนังตู้น้อยกว่า

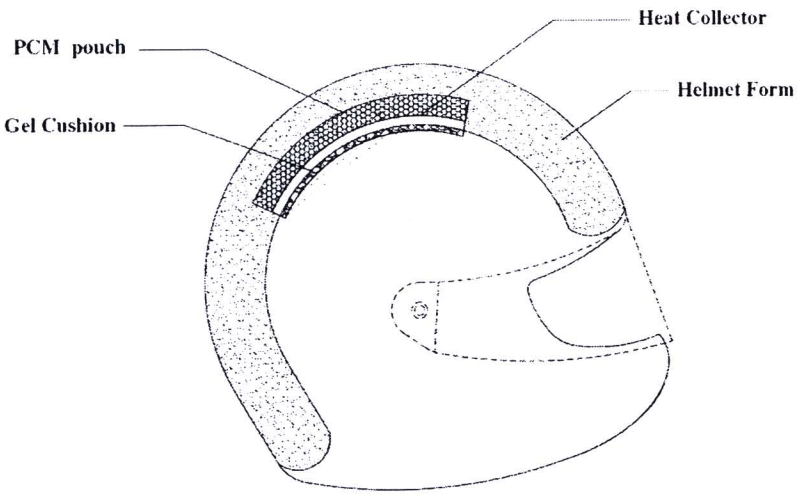
5 วัตต์ ที่อุณหภูมิแวดล้อม 43 °C โดยเก็บสะสมความเย็นในรูปของน้ำแข็งที่ช่องว่างด้านล่างของตู้แช่วัคซีน ซึ่งข้อดีของตู้แช่นี้ คือ การใช้ระบบทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กตริกที่มีอายุการใช้งานสูงถึง 10 ปี มีขนาดกะทัดรัด มีการบำรุงรักษาต่ำเนื่องจากไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนไหว และเป็นเทคโนโลยีที่รักษาสิ่งแวดล้อม

Jack M. Bradley [7] ได้ทำการติดตั้งตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์ ณ Heawanai Health Center ประเทศปาปัวนิวกีนี เพื่อบรรจุวัคซีนรักษาโรค เช่น โรคปาลิโอ วัณโรค โรคคอตีบ โรคตีบ โรคหัด โรคบาดทะยัก เป็นต้น ซึ่งก่อนที่จะมีการใช้ตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นวัคซีนที่ถูกส่งมาจะเสื่อมคุณภาพถึง 70% โดยส่วนประกอบที่สำคัญของระบบตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้คือ ตู้เย็นมีความจุขนาด 30 ลิตร สามารถผลิตน้ำแข็งได้ 17 ลิตรต่อวัน โครงสร้างคอมเพลสเซอร์ 12 โวลล์ จำนวน 2 ชุด แบตเตอร์รี่ 12 โวลล์ 100 แอมป์แปร์ –ชั่วโมง จำนวน 2 ชุด อุปกรณ์ควบคุมการประจุ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบรรจุแบตเตอรี่ขนาด 175 วัตต์ โดยตู้แช่วัคซีนพลังงานแสงอาทิตย์ตัวนี้สามารถบรรจุวัคซีน เพื่อรองรับผู้ป่วยได้ถึง 10,000 คนต่อเดือน

วีรชัย เลิศสถาพรสุข[8] ได้ประยุกต์การทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกในการทำตู้แช่วัคซีนและรับแหล่งพลังงานไฟฟ้าตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงสุด 13.5 V 4.4 A มีการถ่ายเทความร้อนสูงสุด 36 วัตต์ การศึกษาพบว่าสามารถลดอุณหภูมิจาก 25 องศาเซลเซียส มาที่ 4 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที ค่าการใช้ไฟฟ้า 50.5 วัตต์

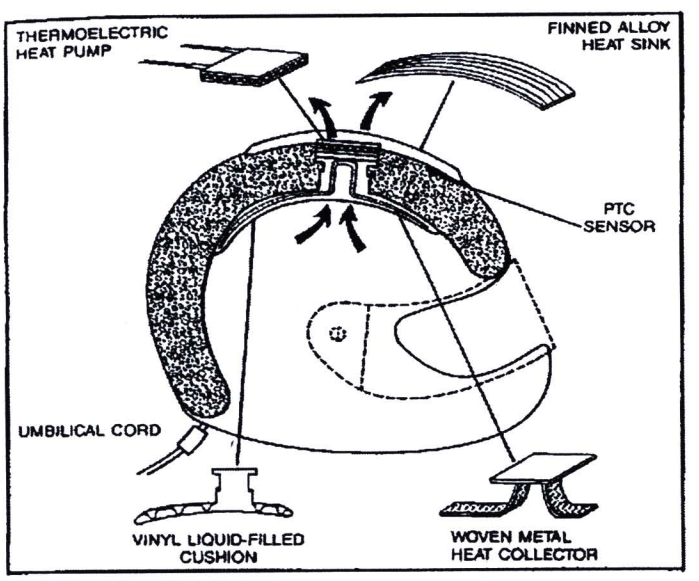
ศตวรรษ ทองรักษา[9] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบปรับอากาศโดยใช้เทอร์โมอิเล็กตริกร่วมกับสารดูดความชื้น คือซิลิกาเจล อากาศที่ได้จากด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริก ถูกใช้ในการคืนรูปของซิลิกาเจล ผลการศึกษาพบว่าการใช้สารดูดความชื้นสามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการทำความเย็น (COP) ของเทอร์โมอิเล็กตริกในการปรับอากาศจาก 0.76 เป็น 1.94

Fok, S และ Tan, F [1]ได้ศึกษาและออกแบบระบบทำความเย็นในหมวกกันน็อก โดยใช้วิธีการเปลี่ยนสถานะของวัสดุ (Phase change material (PCM)) โดยการใช้โซเดียมซัลเฟตฝังไว้ในหมวกกันน็อก ความร้อนจากศีรษะจะส่งผ่านมายังวัสดุโซเดียมซัลเฟลโดยผ่านแผ่นรับความร้อนที่ฝังไว้ระหว่างศีรษะกับแผ่นโซเดียมซัลเฟต แผ่นโซเดียมซัลเฟตนี้มีระยะเวลาการใช้งานประมาณ 2 ชั่วโมง สามารถดึงความร้อนได้ประมาณ 15 W เมื่อหมดระยะการใช้งานก็สามารถถอดออกมาแช่น้ำหรือว่าวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อที่จะทำให้วัสดุมีสมบัติที่จะดูดความร้อนได้เพื่อที่จะนำกลับไปใช้ได้อีก



รูปที่ 2.9 Phase change material cooled helmet [Fok, S & Tan, F][1]

Buist and Streitwieser [2]ได้ใช้เทอร์โมอิเล็กตริกระบายความร้อนในหมวกกันน็อคโดยการปั๊มผ่านแผ่นรับความร้อนจากศีรษะโดยการนำความร้อนผ่านแผ่นทองแดงที่หุ้มด้วยไวนิลไป ผ่านตัวเทอร์โมอิเล็กตริก แล้วระบายความร้อนออกทางครีบระบายความร้อนด้านนอกหมวกกันน็อก แล้วทำการทดลองกับผู้สวมใส่ ทดลองที่ความเร็ว 40 km/h สามารถอุณหภูมิของแผ่นเย็นได้ 16°C เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อม



รูปที่ 2.10 Thermoelectrically cooled helmet

[Buist and Streitwieser] [2]