

การวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความเย็นของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพา

Cooling Performance Analysis of a Portable Thermoelectric Refrigerator

เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ ณัฐพล ภูมิสะอาด*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

*ผู้ติดต่อ: E-mail: nattapol.p@msu.ac.th เบอร์โทรศัพท์และโทรสาร: 043-754316

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความเย็นของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพา ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล (Taihuaxing, model TEC1-12708) ทำความเย็นให้กับกล่องอลูมิเนียมที่มีขนาดความจุ 4 ลิตร ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีป ได้ปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานของระบบเพื่อประเมินสมรรถนะของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถทำให้น้ำอัดลมกระป๋องที่มีปริมาตร 0.325 ลิตร จำนวน 2 กระป๋อง มีอุณหภูมิ 16 °C ที่อัตราการทำความเย็น 24.7 W COP เท่ากับ 0.28 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30.9 °C ดังนั้นตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพานี้มีศักยภาพสำหรับทำความเย็นให้กับเครื่องดื่มในกรณีที่อยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าใช้หรืออยู่ภายนอกที่พกพา

คำหลัก: การทำความเย็น / อัตราการทำความเย็น / สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ

Abstract

This paper aimed to analyze cooling performance of a portable thermoelectric refrigerator. The unit consists of two thermoelectric modules (Taihuaxing, model TEC1-12708), aluminum box volume of 4 l at the cold side and fin heat exchangers at the hot side of thermoelectric modules. Various operating conditions were considered to assess the cooling performance of the unit. The experimental results demonstrate that the unit can cool two beverage cans volume of 0.325 l per each at 16 °C and have a cooling capacity 24.7 W, COP 0.28 and ambient temperature 30.9 °C. Thus, it is expected that the thermoelectric refrigerator portable would be potential for cold storage of drink in remote area, or outdoor applications where electric power supply is absent.

Keywords: Refrigeration / Cooling capacity / Coefficient of performance

1. บทนำ

การทำความเย็นเพื่อการถนอมอาหารให้มีความสด หรือทำความเย็นให้กับเครื่องดื่ม กลายเป็น

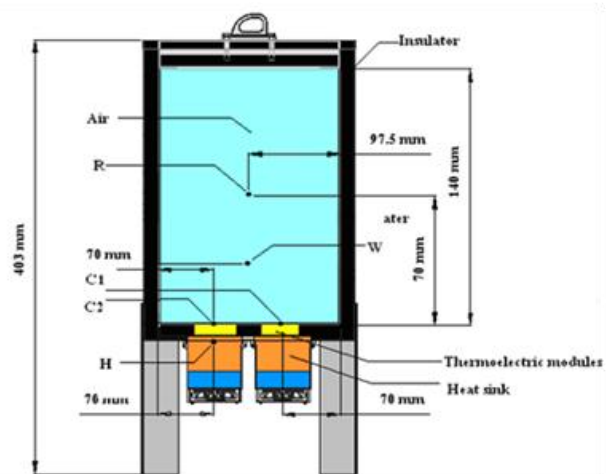
สิ่งจำเป็นอย่างหนึ่งสำหรับชีวิตประจำวันของมนุษย์ อย่างไรก็ตามหากต้องมิกิจกรรมต่างๆภายนอกที่พกพา เช่นการเดินทางไปพักผ่อนในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า

ใช้ อาจเกิดความไม่สะดวก เนื่องจากไม่สามารถใช้เครื่องทำความเย็นได้ ระบบการทำความเย็นในปัจจุบันมักจะเป็นระบบอัดไอ (Vapor compression system) หรือระบบดูดกลืน (Absorption system) ระบบการทำความเย็นทั้งสองแบบนี้ มีวัฏจักรการทำความเย็นที่ต้องใช้สารทำความเย็นเป็นสารทำงาน ทำให้เกิดความดันทั้งด้านสูงและด้านต่ำ ซึ่งยากที่จะพัฒนาให้มีขนาดเล็กและเบา ในขณะที่การทำความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และไม่มีเสียงรบกวน เป็นระบบที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวถ่ายโอนความร้อนแทนสารทำความเย็น นอกจากนั้นยังไม่ทำลายสภาวะแวดล้อมอีกด้วย [1] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการประยุกต์ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็นกันอย่างกว้างขวาง เช่น การทำความเย็นให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องมือแพทย์ [2] นอกจากนั้นยังได้นำมาใช้ในการปรับอากาศให้กับยานพาหนะทางทหาร [3] สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการศึกษาการทำความเย็นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกโดยผู้วิจัย [4-5] ได้สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และทดลองสร้างเครื่องต้นแบบของเครื่องปรับอากาศแบบเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้การพาความร้อนแบบอิสระ โดยเครื่องปรับอากาศมีอัตราการทำความเย็น 126 W นอกจากนั้นยังได้สร้างและทดสอบตู้ทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก [6] ที่มีขนาดความจุของน้ำเย็น 3 ลิตร โดยมีอัตราการทำความเย็น 90.33 W

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะหาประสิทธิภาพการทำความเย็นของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพาที่มีขนาดความจุ 4 ลิตร สามารถใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่รถยนต์หรือเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เพื่อความสะดวกในการใช้งานกรณีไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้ โดยจะศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก อุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่มีผลกระทบกับสมรรถนะในการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องต้นแบบของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีปส์เหลี่ยมผืนผ้าจำนวน 2 อัน ติดตั้งอยู่ที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยครีปส์มีความหนา 1 mm สูง 49 mm กว้าง 62 mm ระยะห่างระหว่างครีปส์ 0.96 mm มีจำนวน 30 ครีปส์ ผลิตจากทองแดง กล่องทำความเย็นผลิตจากอลูมิเนียมมีขนาดกว้าง 170 mm ยาว 195 mm และสูง 167 mm หุ้มฉนวน Closed cell elastomeric สภาพนำความร้อน 0.039 W/m.K โดยรอบกล่อง นอกจากนั้นยังได้ติดตั้งพัดลมเพื่อช่วยในการระบายความร้อนออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกอีกด้วย โดยพัดลมสร้างความเร็วให้อากาศไหลผ่านครีปส์ได้ในอัตรา 0.0225 kg/s เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 2 โมดูล (Taihuaxing, model TEC1-12708) ติดตั้งอยู่ที่ด้านล่างของกล่องทำความเย็นแสดงดังรูปที่ 1 ทำการเชื่อมต่อระหว่างโมดูลแบบอนุกรม



Note $C=0.5(C1+C2)$

รูปที่ 1 ขนาดและตำแหน่งวัตถุนหุมิของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพา

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ความถูกต้อง $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Testo

177) ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 1

- เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (FLUKE 189 ความถูกต้อง VDC ± 0.025 % A ± 0.15 %)
- เครื่องวัดความเร็วอากาศแบบฮอตวาย์ (Testo model 405V-1 ความถูกต้อง ± 5 % of mV)

ในการทดลองจะแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะทำการทดลองแบบไม่มีผลผลิตภายในตู้เย็น โดยจะศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบได้แก่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เมื่อได้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมแล้วจะทำการทดลองแบบมีภาระความเย็น โดยจะใช้น้ำอัดลมแบบกระป๋องจำนวน 2 กระป๋องเป็นภาระความเย็น ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเก็บค่าทุกๆ 1 นาที

3. การวิเคราะห์สมรรถนะ

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริก จะเริ่มจากการคำนวณหาอัตราการทำความเย็นดังนี้ [7]

$$Q_c = n[\alpha T_c I - 0.5 I^2 R - K(T_h - T_c)] \quad (1)$$

เมื่อ Q_c คืออัตราการทำความเย็นที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ (W)

n คือจำนวนเทอร์โมอิเล็กทริกใน 1 โมดูล มีค่าเท่ากับ 127

I คือกระแสไฟฟ้าที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (A)

R คือความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก มีค่าเท่ากับ $6.508 \times 10^{-3} \Omega$ [7]

K คือค่าการนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก มีค่าเท่ากับ $2.8 \times 10^{-3} \text{ W/K}$ [7]

T_h และ T_c คืออุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกตามลำดับ (K)

α คือสัมประสิทธิ์ Seebeck มีค่าเท่ากับ $2.1266 \times 10^{-4} \text{ V/K}$ [7]

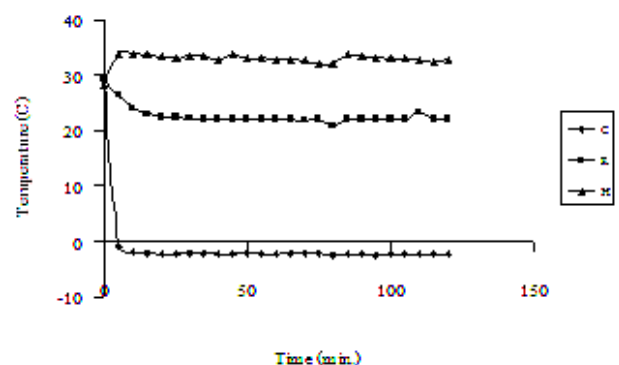
ในส่วนของการคำนวณสมรรถนะคำนวณจาก

$$\text{COP} = Q_c / P \quad (2)$$

เมื่อ P คือกำลังไฟฟ้าที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่ให้กับพัดลมระบายความร้อนด้วย (W)

4. ผลการทดลอง

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของอุณหภูมิที่ด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และอากาศในกล่องทำความเย็น ที่อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้า 4 A อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าต่ำสุดที่ -2.4°C ขณะที่อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าสูงสุดประมาณ 35°C อากาศในกล่องลดลงจาก 29.3 เป็น 22.2°C

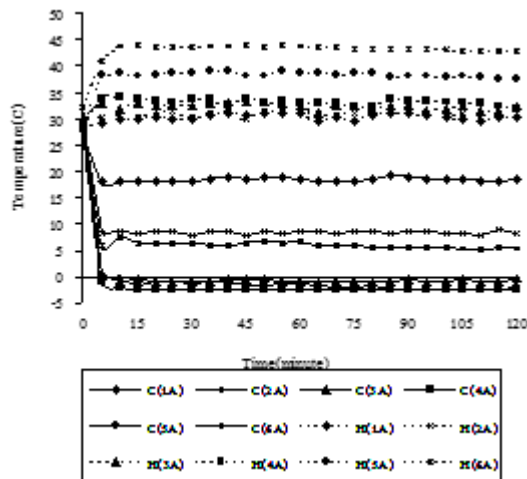


รูปที่ 2 โปรไฟล์ของอุณหภูมิด้านร้อน ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก และอากาศในกล่อง (I : 4 A และ T_{amb} : 30.9°C)

4.1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีต่อสมรรถนะในการทำความเย็นแสดงดังรูปที่ 3 ได้ทำการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า 6 ค่า คือ 1 ถึง 6 A จากการทดลองพบว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอุณหภูมิที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าลดลงจาก 18.5 เป็น -2.4°C ที่อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้า 5 และ 6 A อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกกลับมีค่าสูงกว่าที่กระแสไฟฟ้า 4 A ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียความร้อนของจูล (Joule heating effect) ในรูป $I^2 R$ แสดงในสมการที่ 1 มีค่ามากกว่าผลการทำความเย็นของ Seebeck อุณหภูมิที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุด

44.8 °C ที่อัตราการจ่ายกระแส 6 A อัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 6.4 ถึง 35.5 W ในขณะที่ COP มีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 1 ดังนั้นสำหรับตู้เย็นเรอร์โมอีเล็กทริกนี้มีสภาวะการทำความเย็นดีที่สุดที่การจ่ายกระแสไฟฟ้า 4 A



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเรอร์โมอีเล็กทริกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้า (T_{amb} : 30.9 °C)

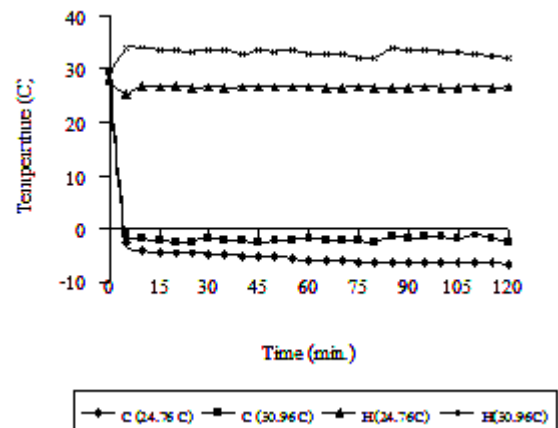
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบอัตราการทำความเย็นและ COP ที่ค่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่างๆ

I(A)	Q_c (W)	COP
1	6.4	0.38
2	11.4	0.45
3	13.4	0.29
4	20.7	0.28
5	30.5	0.28
6	35.3	0.23

4.2 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

เนื่องจากอุณหภูมิแวดล้อมเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลกระทบกับการทำความเย็นของเรอร์โมอีเล็กทริก จึงได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิแวดล้อม 2 ค่า คือ 24.7 และ 30.9 °C เมื่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมลดลงจาก 30.9 เป็น 24.7 °C อุณหภูมิที่ด้านเย็นของเรอร์โมอี

เล็กทริกลดลงจาก -2.4 เป็น -6.5 °C แสดงดังรูปที่ 4 ในขณะที่อัตราการทำความเย็นและ COP เพิ่มขึ้นจาก 24.7 เป็น 28.7 W และ 0.28 เป็น 0.39 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมที่ลดลงทำให้เรอร์โมอีเล็กทริกสามารถระบายความร้อนได้มากขึ้น



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของเรอร์โมอีเล็กทริกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (I : 4 A)

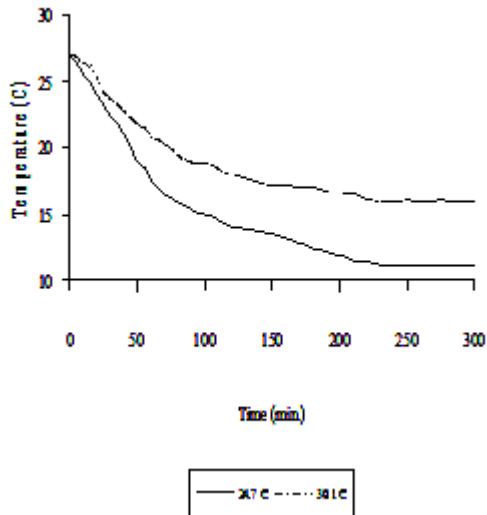
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการทำความเย็นและที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่างๆ

T_{amb} (°C)	Q_c (W)	COP
30.9	24.7	0.28
24.7	28.7	0.39

4.3 การทดลองเมื่อมีการทำความเย็น

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 เป็นการทดลองเพื่อหาสภาวะที่ทำความเย็นได้ดีที่สุดขณะไม่มีผลิตภัณฑ์ภายในตู้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการทดลองแบบมีการทำความเย็น โดยใช้ น้ำอัดลม กระป๋องที่มีความจุ 0.325 ลิตร จำนวน 2 กระป๋อง ทำการทดลองใน 2 อุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่ 24.7 และ 30.9 °C จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ น้ำอัดลม จะลดลงอย่างต่อเนื่องและคงที่ๆ เวลา 220 นาที โดยที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 24.7 °C สามารถลดอุณหภูมิ น้ำอัดลม ได้ต่ำสุด 11.2 °C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30.9 °C สามารถลดอุณหภูมิ น้ำอัดลม ได้ 16

°C แสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งอุณหภูมิของน้ำอัดลมดังกล่าวจะไม่เย็นจนเกินไป ทำให้สามารถดื่มได้อย่างสบาย



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำอัดลมเทียบกับเวลาที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่างกัน (I : 4 A)

5. สรุป

สมรรถนะของตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพาที่สร้างขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้า และอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสามารถทำความเย็นให้กับน้ำอัดลมจำนวน 2 กระป๋อง มีอุณหภูมิลดลงจาก 27 เป็น 16 °C ที่อัตราการทำความเย็น 24.7 W ค่า COP เท่ากับ 0.28 และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30.9 °C ดังนั้นตู้เย็นเทอร์โมอิเล็กทริกแบบพกพานี้จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาสู่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยให้แพร่หลายต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่เอื้อให้อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Mei, V.C. Chen, F. C. and Mathiprakasham, B. (1989). Comparison of thermoelectric and vapor

cycle technologies for groundwater heat pump application. *ASME Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 11, pp.353-357.

[2] Rowe, D.M. and Bhandari, C.M. (1983) *Modern thermoelectrics* Reston Publishing Company, Reston V. A.

[3] Heenan P. and Mathiprakasham, B. (1992) Development of two-men TE microclimate conditioner for use in army ground-vehicles. *Proceeding of the 11st International Conference on Thermoelectrics*, Arlington USA, 7-9 October 1992, pp. 181-184.

[4] Lertsatitthanakorn, C. Sarachitti, R. Hirunlabh, J. Khedari J. and Scherrer, H. (2002) Numerical Investigation of the performance of free convected thermoelectric air conditioner. *Proceeding of the 19th International Conference on Thermoelectrics*, Cardiff, UK, 20-23 August 2000, pp. 481-485.

[5] Lertsatitthanakorn, C. Hirunlabh, J. Khedari J. and Daguenet, M. (2000) Experimental performance of a ceiling-type free convected thermoelectric air conditioner. *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 23(2). pp. 59-68.

[6] Lertsatitthanakorn C. (2003) Cooling performance of thermoelectric water cooler. *Naresuan University Journal*, Vol. 11(2) pp. 1-9.

[7] Chen, K. and Gwilliam, S. B. (1996) An analysis of the heat transfer rate and efficiency of TE (thermoelectric) cooling systems. *International Journal of Energy Research*, Vol. 20, pp. 399-417,