

열전모듈의 냉각특성에 관한 실험적 연구

황 준*, 강병하^{†**}

*국민대학교 대학원, **국민대학교 기계·자동차공학부

An experimental study on cooling characteristics of a thermoelectric module

Jun Hwang*, Byung Ha Kang^{†**}

*Graduate School of Kookmin Univ.

**School of Mechanical & Automotive Engineering, Kookmin Univ.
861-1 Chonnung-dong, Sungbuk-gu, Seoul, 136-702 Korea

ABSTRACT

An experimental study has been carried out on cooling performance of a thermoelectric module. This problem is of particular interest in the design of the refrigeration systems using thermoelectric module, such as cosmetic refrigerator, wine cellar and air cooler. The effect of the input voltage and the hot side temperature on the cooling performance is studied in detail. The ΔT , temperature difference between cold side and hot side surface of thermoelectric module, is described in terms of the input voltage and the hot side temperature. It is found that the cooling capacity can be improved by increasing the input voltage and by reducing the heat from the hot side of the thermoelectric module. However, COP is decreased with an increase in the input voltage, since power consumption is also increased. Thus, optimum input voltage can be selected based on cooling capacity and COP.

주요기술용어 : Thermoelectric module(열전모듈), Cooling characteristics(냉각특성), COP(성적계수)

1. 서 론

열전모듈은 에너지 변환 재료인 열전반도체를 기본 소재로 사용한 칩형 전자냉각소재로서 P-형 및 N-형 반도체로 구성된다. 열전모듈에 대

한 간단한 구조를 Fig.1에 나타내었다. N-형 반도체는 초과전자를 가지고 있으며 P-형 반도체는 반대로 전자가 부족한 반도체이다. 직류 전압을 공급하였을 경우, 서로 다른 반도체내에서 같은 방향으로 전자가 열을 이동시킴으로써 한쪽 면에는 흡열이 일어나고, 반대 면은 발열이 일어난다.

열전모듈의 흡열을 이용한 전자냉각방식

†Corresponding author :bhkang@kookmin.ac.kr

은 기존의 증기 압축식 냉동기에 비해 압축기와 같은 작동 부품이 필요하지 않으므로 마모와 소음이 없으며 소형화를 이룰 수 있다. 또한 냉매를 사용하지 않으므로 친환경적이고 중력의 영향을 거의 받지 않으므로 우주선을 포함하여 어느 지역에서나 사용할 수 있다. 열전모듈의 냉방용량은 직류 전원을 사용하는 열전모듈의 입력전압의 조절만으로 제어할 수 있으므로 정밀 제어가 가능하다¹⁾. 이러한 장점으로 인하여 전자냉각용분야는 현재 항공 우주 분야, 반도체 제조분야, 의료분야, 일반 민수용 분야, 통신, 전자 분야에 이르기까지 다양하나 시스템 효율이 기존의 증기 압축식 냉동기보다 낮으며 가격 경쟁력의 약화로 실용화에 많은 제약을 받고 있다.

그리나 최근에 많은 연구자들에 의해 열전모듈의 재료와 제조 기술 등 열전모듈과 열전모듈을 이용한 제품의 성능향상에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. Solomon²⁾은 열전모듈의 재료와 형상, 구조 등을 변화시킴으로써 냉동기의 성능을 향상시키는 연구를 발표하였고, Miner and Majumber³⁾는 과도전류 열전효과를 이용하여 열전모듈의 성능을 향상시켰다. Xuan et al.⁴⁾은 열전모듈을 피라미드형과 입방형으로 적층시키고 한정된 열전모듈의 개수내에서 최대의 냉각 성능을 낼 수 있는 열전모듈의 최적의 배열과 입력전류값을 연구하였고 Huebener and Tsusi⁵⁾는 피라미드형으로 열전모듈을 적층시켜 열전모듈의 저온측 표면온도를 149K 까지 낮추었다. Attey⁶⁾는 열전모듈의 발열부를 기존의 공랭식 대신 수냉식으로 냉각시켜 줌으로써 냉각성능을 2배 이상 향상시킴에 따라 시스템의 최적화로 냉동기의 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. 국내에서는 Kang et al.⁷⁾은 공기와 물을 동시에 사용함으로써 현열냉각과 더불어 잠열냉각을 이용한 증발냉각방식을 도입하여 기존의 공

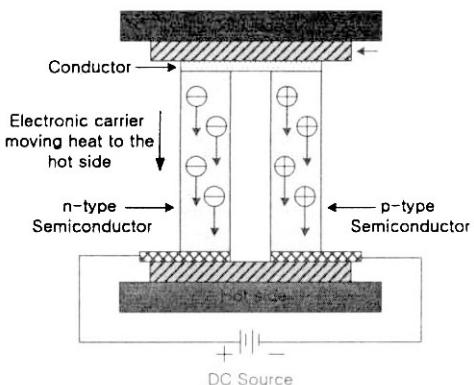


Fig. 1. Structure of thermoelectric module.

랭식과 수냉식보다 방열효과를 높일 수 있었다.

열전모듈의 재료와 열전모듈 자체의 성능이 향상됨에 따라 열전모듈을 이용한 고성능 제품들의 개발은 열전모듈에서 최대의 성능이 나올 수 있는 최적의 상태 내에서 이루어져야 한다. 이에 따라 열전모듈의 성능을 분석하는 것이 제품을 개발하는 것만큼 중요하다. 하지만 때때로 많은 연구자들이 이를 간파하고 있는 실정이다.⁸⁾ 열전 모듈을 제조하는 기업들은 제품 사양서에 열전모듈의 최대 냉각성능과 성능곡선 등을 제시하고 있으나 이는 이론에 근거한 것이며 이를 이용하여 제품을 개발시 예상한 냉각 성능을 얻을 수 없는 단점이 있다. 이에 따라 열전모듈 자체의 성능을 실험적으로 연구하는 것이 필수적이다.

본 연구에서는 열전모듈의 고온측을 수냉식으로 방열시키는 경우 열전모듈의 냉각특성과 열전모듈의 입력 전압별로 고온측 수조의 수온을 일정하게 유지시켜 열전모듈의 고온측 표면온도를 조절하였다. 이때 열전모듈의 저온측과 고온측의 표면온도차(ΔT)를 측정하여 표면온도차(ΔT)에 따른 열전모듈의 냉각성능을 고찰하였다. 또한 열전모듈에서 최대로 나올 수 있는 냉각능력과 최

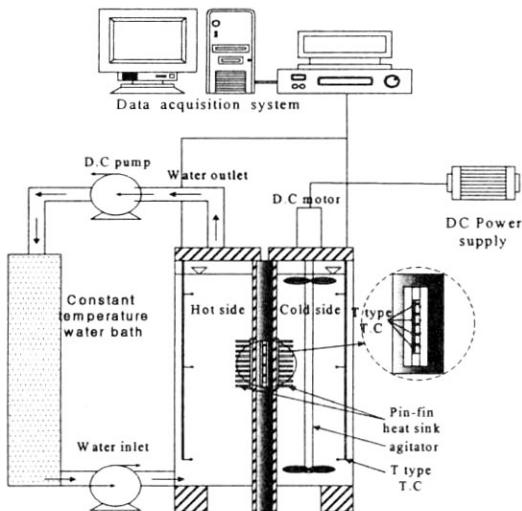


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental setup.

대 COP를 실험적으로 고찰함으로써 열전모듈을 이용한 제품 개발 시 한계를 명확히 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

열전모듈 자체의 냉각특성을 고찰하기 위한 실험장치를 Fig. 2에 나타내었다. 열전모듈이 있는 시험부의 중심부는 단열성과 내열성을 고려하여 MC(monomer cast)나일론으로 제작하였고 중심부의 양 측면에 각각 1ℓ의 물을 채울 수 있는 수조를 설치하였다. 열전모듈의 양측 표면에 펀형방열기(pin-fin heat sink)를 설치하여 고온측과 저온측 수조의 물과 열교환을 일으키게 된다. 열전모듈의 표면에는 방열기와 접촉 열저항을 줄이기 위해 열그리스(thermal grease: 0.7W/m·K)를 도포하였고 소형 불트를 이용하여 열전모듈과 펀형 방열기를 고정시켰다.

열전모듈의 고온측 표면온도에 따른 냉각 성능을 고찰하기 위해서 고온부의 열을 효과적으로 방열시키는 것이 중요하다. 이를

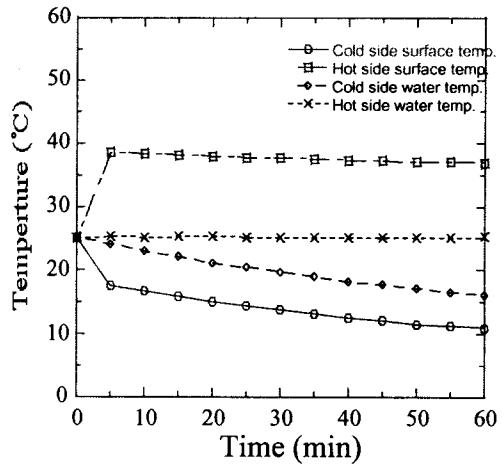


Fig. 3. Transient temperature variation for thermo-electric module at V=8volt and Thw=25°C.

위해 항온조와 D.C. 펌프 2대를 이용하여 고온측 수조의 물을 순환시킴으로써 고온측의 수온을 일정하게 유지시켜 열전모듈 고온측 표면온도를 제어하였다. 저온측 수조의 상부에 소형 모터와 프로펠러로 이루어진 교반기(agitator)를 설치하여 저온측 수조의 수온이 성층화를 이루는 것을 방지하였다. 본 실험에서는 직류전원공급장치(DC power supply)에 의해 열전모듈과 교반기 그리고 펌프에 직류 전원을 공급하였고 MC 블록과 수조의 외부로의 열손실을 최소화하기 위해 주위에 단열재를 부착하였다.

열전모듈의 양 표면에는 각각 3개의 T-type 열전대를 설치하여 열전모듈의 저온측과 고온측의 양 표면온도를 측정하였고 각각의 수조에 설치된 5개의 열전대를 통하여 수조의 수온 변화를 측정하였다. 열전대를 통해 측정된 온도를 조사하여 데이터 획득장치(Yokogawa DR230)로 수온과 열전모듈의 표면온도를 기록하였다. 본 실험에서 사용한 열전모듈(Thermotek, model TK06127)은 크기가 40x40x3(mm)이며 열전

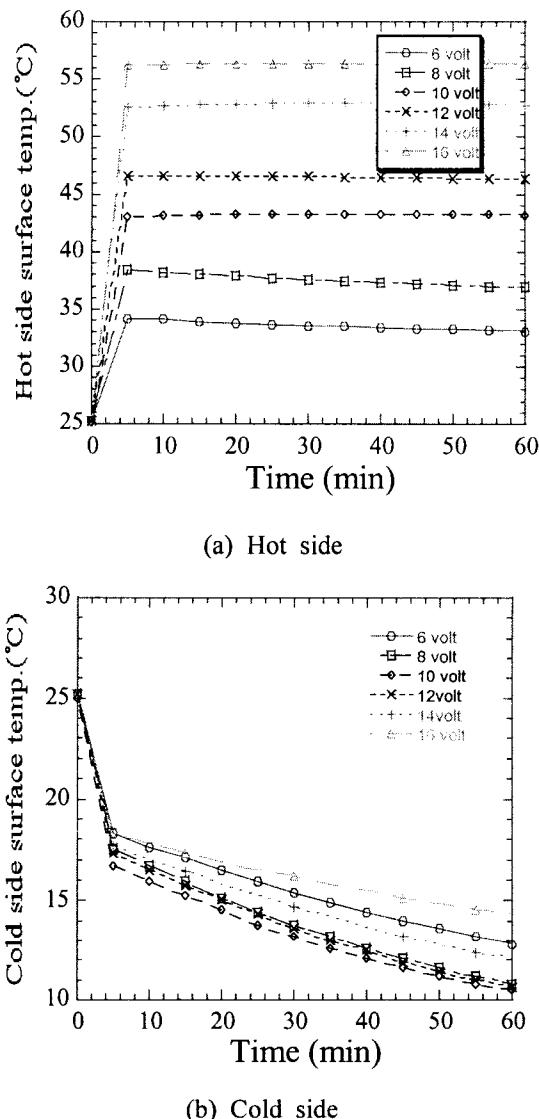


Fig. 4. Transient temperature variation of (a) hot side and (b) cold side surface temperature at various input voltages, at $Th_w = 25^\circ\text{C}$.

모듈에 부착된 편형방열기는 한번의 길이가 54mm이고 정방형이며 높이는 20mm이다.

열전모듈의 냉각특성을 고찰하기 위하여 냉각능력(Q_c)과 성적계수(COP)를 다음과 같이 정의 하였다.

$$Qc(W) = V \times \rho \times Cp \times \frac{dT_{cw}}{dt} \quad (1)$$

$$COP = \frac{Qc}{P} \quad (2)$$

여기서 V , ρ , C_p , T_{cw} , t 는 각각 물의 부피, 밀도, 비열 그리고 저온측 수조의 수온과 측정시간이며, P 는 열전모듈에 공급되는 전력이다. 열전모듈의 자체 냉각성능에 관한 고찰을 위해 시간에 따른 저온측 수온의 변화를 측정하여 열전모듈의 냉각능력을 정의 하였고 COP는 열전모듈의 소비전력에 대한 냉각능력의 비로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 시간에 따른 열전모듈의 표면온도와 수온의 변화를 나타내었다. 이때 열전모듈의 입력 전압 V_{TEM} 은 8 volt이고 고온측의 수온 Th_w 은 25°C로 일정하게 유지시켰다. 열전모듈에 전압이 공급됨에 따라 열전모듈의 고온측과 저온측 양 표면에서 각각 발열과 흡열이 일어나는 것을 볼 수 있다. 고온측 수조의 수온이 25°C로 일정하게 유지되어 열전모듈에서 발생하는 열을 제거하면서 열전모듈의 고온측 표면온도가 시간이 경과함에 따라 점점 하강하였고 저온측 또한 열전모듈의 흡열에 의해 저온측 수조의 수온이 하강하였다. 저온측 수조의 수온이 하강함에 따라 열부하가 줄어들어 열전모듈의 저온측 표면온도가 하강하는 것을 볼 수 있다.

열전모듈의 입력 전압에 따른 열전모듈 표면온도의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 이 때 고온측 수조의 수온은 25°C로 일정하게 유지시켰다. Fig. 4(a)는 열전모듈 고온측 표면온도의 변화를 나타내고 있다. 열전모듈의 입력 전압이 증가함에 따라 열전모듈의 고온측 표면온도가 입력 전압에 비례하

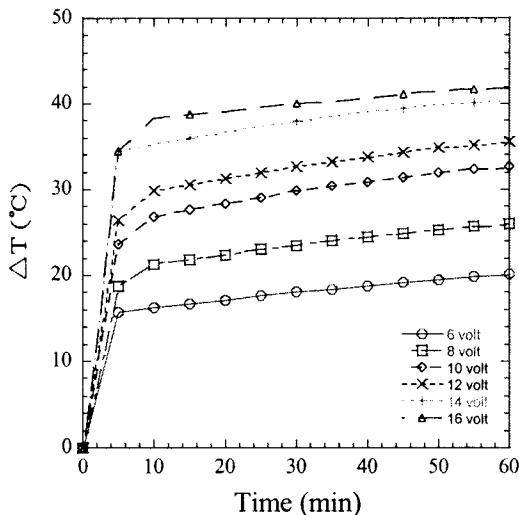


Fig. 5. Transient variation of ΔT , temperature difference between cold side and hot side surface of TEM, for various voltages, at $Th_w=25^{\circ}\text{C}$.

여 상승함을 볼 수 있다. 열전모듈의 저온 측 표면온도는 Fig. 4(b)에 나타났다. Fig. 4(b)에 나타나 있듯이 입력전압이 6 volt와 16 volt에서 저온측 표면온도가 높은 것을 볼 수 있다. 이는 6 volt의 경우 입력 전압

이 낮아 충분한 흡열을 할 수가 없었고 16 volt의 경우 입력전압은 높았으나 고온측에서 충분한 방열을 하지 못하여 열전모듈에서 발생한 열이 저온측 표면으로 전도되어 열전모듈의 냉각성능을 저하시키기 때문이다. 그러므로 열전모듈을 이용하는 제품의 개발시 열전모듈에서 발생하는 열을 방열시키는 능력에 따라 최대 냉각성능을 낼 수 있는 최적의 입력전압이 존재함을 알 수 있다.

열전모듈의 입력전압별 고온측과 저온측 표면온도의 차이(ΔT)를 Fig. 5에 나타내었다. 온도차 (ΔT)가 낮을수록 주어진 입력전압 내에서 열부하를 최대로 뽑아낼 수 있는 흡열량이 증가한다. V_{TEM} 이 6 volt에서 온도차(ΔT)가 가장 낮아졌으며, V_{TEM} 이 증가할수록 온도차(ΔT)가 증가함을 볼 수 있다. 이는 고온측의 수온 Th_w 가 25°C로 일정함에 따라 열전모듈의 고온측 표면에서 발생하는 열을 방열시키는 능력이 한정되어 상대적으로 빌열이 적은 6 volt에서의 온도차(ΔT)가 낮았다. 하지만 Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이

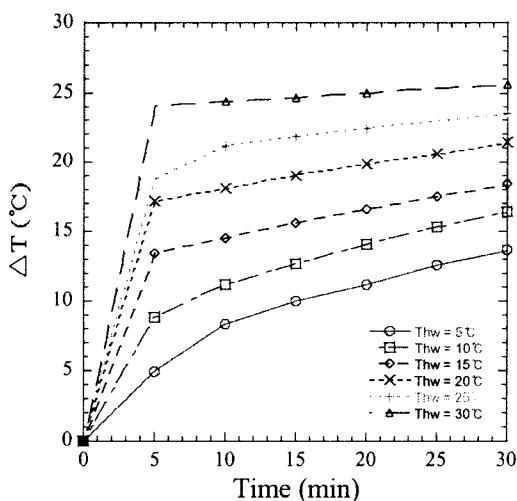


Fig. 6. Effect of hot side water temperature on ΔT , temperature difference between cold side and hot side surface of TEM, at $V_{\text{TEM}}=8\text{volt}$.

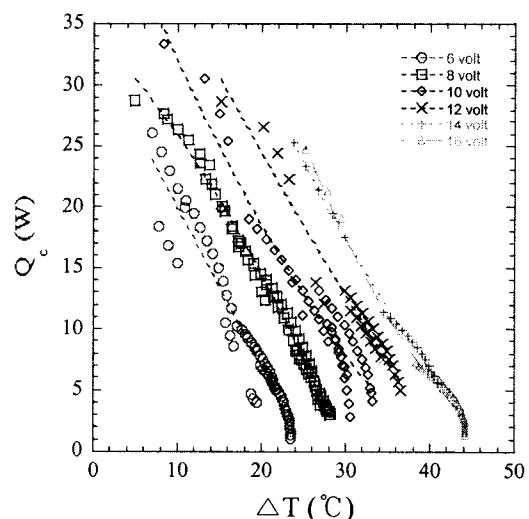


Fig. 7. Effect of ΔT on the cooling capacity Q_c of thermoelectric module.

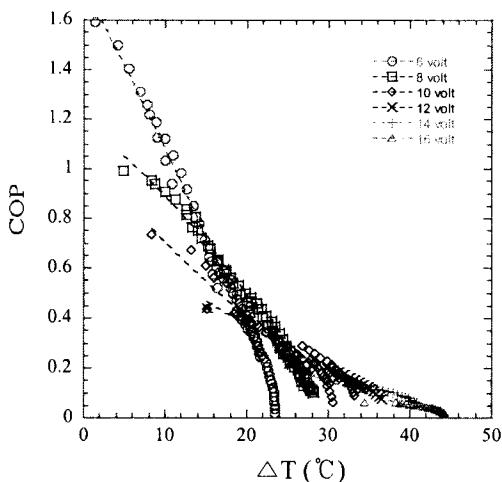


Fig. 8. Effect of ΔT on the COP of a thermoelectric module.

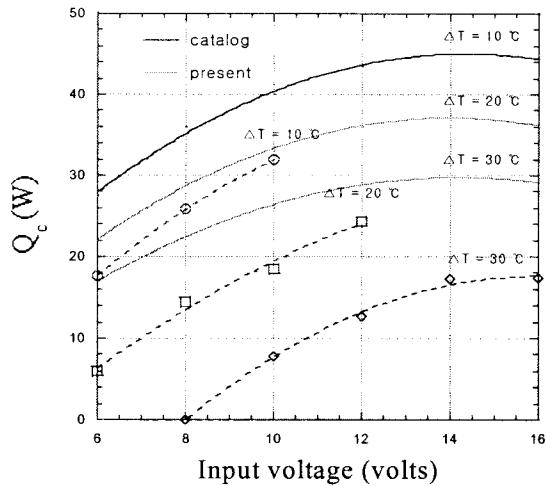


Fig. 9. Comparison of the cooling capacity between catalog and present results.

입력전압이 낮은 만큼 흡열량도 낮은 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 고온측 수조의 수온에 따른 열전모듈의 온도차(ΔT)를 나타냈다. 이때 열전모듈의 입력전압 V_{TEM} 은 8 volt로 일정하였다. 고온측 수조의 수온이 감소할수록 고온측에서 발생한 열의 제거율이 증가하여 온도차(ΔT)가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 동일한 입력전압에 대해 열전모듈의 고온측 표면에서 발생하는 열의 제거율에 비례하여 열전모듈의 냉각성능이 향상됨을 의미한다.

Fig. 7은 각 입력전압별 온도차(ΔT)에 따른 열전모듈의 냉각능력을 보여주고 있다. 온도차(ΔT)가 동일한 경우 입력전압의 증가에 비례하여 냉각능력이 증가하였음을 Fig. 7을 통해 볼 수 있다. 이는 열전모듈에서 발생되는 열을 제거하여 각 입력전압에 대해 동일한 온도차(ΔT)를 만들 경우 입력전압이 증가함에 따라 흡열량이 증가하여 열전모듈의 냉각능력이 증가하는 것이다. 또한 모든 전압에서 온도차(ΔT)가 증가할 수록 열전모듈의 냉각능력이 저하됨을 볼

수 있다.

각 입력전압별 온도차(ΔT)에 따른 열전모듈의 COP를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7에서 동일한 온도차(ΔT)에서 입력전압이 증가할수록 냉각능력이 증가하였으나 COP는 감소함을 볼 수 있다. 이는 동일한 온도차(ΔT)에서 입력전압이 증가하면 냉각능력이 향상되나 열전모듈의 소비전력은 냉각능력의 증가분 이상으로 증가하여 COP는 감소하게 된다.

Fig. 9는 열전모듈 제조사에서 제공한 열전모듈의 성능곡선과 자체 성능 평가에 의한 성능곡선을 비교하여 나타내었다. 동일한 입력전압에서 ΔT 가 감소함에 따라 냉방능력이 증가하는 것과 동일한 ΔT 에서 입력전압이 증가함에 따라 냉방능력이 증가하는 경향은 동일하였으나 실험에 의한 냉방능력은 이론에 근거한 카달로그상의 냉방능력보다 약 25% 낮았다. 이에 따라 열전모듈을 이용한 제품 개발 시 카달로그상의 냉방능력을 기준으로 제품을 설계하면 예상한 냉방능력을 얻을 수 없으며 자체 성능 평가를 통하여 열전모듈의 냉방능력을 평가 한

후 이를 바탕으로 제품을 설계하여야 한다.

4. 결론

열전모듈에 대한 입력전압과 고온측 수조의 수온을 제어하여 열전모듈 고온측 표면온도를 변화시키면서 열전모듈의 냉각 특성을 고찰하였다. 열전모듈의 발열과 흡열은 열전모듈의 입력전압에 비례하여 증가하나 발열을 충분히 방열시키지 못할 경우 고온측에서 발생한 열이 저온측으로 전도됨에 따라 열전모듈의 냉각성능은 떨어지게 된다. 동일한 입력전압의 경우 고온측 수조의 수온을 조절하여 열전모듈의 고온측 표면온도를 변화시킬 경우 고온측 표면온도를 낮추어 열전모듈의 표면온도차(ΔT)가 감소할 수록 열전모듈의 냉각성능은 향상하였다. 동일한 표면온도차일 경우 열전모듈의 입력전압이 높을수록 냉각성능은 향상되었으나 소비전력이 증가함에 따라 COP는 감소하였다. 열전모듈을 이용하여 충분한 냉각성능을 얻으려면 열전모듈 고온측에서 발생하는 열을 방열시키는 것이 무엇보다 중요하며, 시스템의 방열 성능을 고려하여 열전모듈의 최적의 입력전압이 존재함을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) H. Sofrata, "Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators," Energy Conversion and Management, Vol. 37, No. 3, 1996, pp. 269~280.
- 2) M. Solomon, "Determination of TE module parameters", Proceedings of the 18th International Conference on Thermoelectrics," 1998, pp. 519~524.
- 3) A. Miner, and A. Majumdar, "Thermo-Electro mechanical refrigeration based on transient thermoelectric effects," Proceedings of the 18th International Conference on Thermo-electrics, 1999, pp. 27~30.
- 4) C. Xuan, K. C. Ng, C. Yap, and H. T. Chua, "Optimization of two-stage thermoelectric coolers with two design configurations," Energy Conversion and Management, Vol. 43, 2002, pp. 2041~2052.
- 5) R. P. Huebener and C. C. Tsuei, "Prospects for peltier cooling of superconducting electronics," Cryogenics, Vol. 38, 1998, pp. 325~328.
- 6) G. S. Attay, "Enhanced thermoelectric refrigeration system COP through low thermal impedance liquid heat transfer system," Proceedings of the 7th international Conference on Thermoelectrics, 1998, pp. 519~524.
- 7) B. H. Kang, H. J. Chang, and S. Y. Kim, "Cooling characteristics at hot side of the thermoelectric module for an air conditioner," Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 14. No. 3, 2002, pp. 482~488.
- 8) B. J. Huang, C. L. Chin and C. L. Duang, "A design method of thermoelectric cooler," Int. J. Refrigeration, Vol. 23, 2000, pp. 208~218.