

열전모듈을 이용한 냉방기의 최적 운전조건에 관한 실험적 연구

황 준, 강 병 하*

국민대학교 대학원, *국민대학교 기계·자동차공학부

An Experimental Study on the Optimal Operation Condition of an Air-Cooler using Thermoelectric Modules

Jun Hwang, Byung Ha Kang*

Graduate School, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

*School of Mechanical and Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received September 1, 2005; revision received December 2, 2005)

ABSTRACT: This article presents the optimal operation of an air conditioner using thermoelectric modules. A prototype of air conditioner using four thermoelectric modules has been designed and built. The system performance with evaporative cooling for hot side of the module are studied in detail for several operating parameters, such as input power to the thermoelectric module, fans and pump. It is found that the optimal input voltage to the thermoelectric module and pump is selected for the best system performance based on the cooling capacity and the COP at a given operating condition. It is also found that both the cooling capacity and COP of a system is increased with an increase in the input power to fans. The cooling performance could be improved when the ambient temperature is increased and the relative humidity is decreased since the evaporative cooling at the hot side has been increased.

Key words: COP(성적계수), Peltier effect(펄티어 효과), Thermoelectric module(열전모듈) Thermoelectric cooling(열전냉각)

기 호 설 명

COP : 성적계수

C_p : 비열 [kJ/kgK]

P : 소비전력, V^2/R [W]

Q_c : 냉방용량 [W]

R : 저항 [Ω]

RH : 상대습도 [%]

T : 온도 [$^{\circ}C$]

t : 측정시간 [min]

V : 입력전압 [volt]

v : 공기의 체적유량 [m^3/s]

그리스 문자

ρ : 물의 밀도 [kg/m^3]

하첨자

c : 저온측

$fan1$: 저온측 관류팬

$fan2$: 고온측 관류팬

$pump$: 펌프

† Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4681; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: bhkang@kookmin.ac.kr

TEM : 열전모듈

1. 서 론

열전모듈을 이용한 냉방시스템의 성능에 미치는 변수는 열전모듈의 자체 재료의 향상과 시스템의 최적 설계에 의존한다.⁽¹⁾ 따라서 최근에 열전모듈에 관한 연구는 열전모듈의 자체에 의한 연구를 넘어 열전모듈 시스템에 대한 연구로 확산되고 있다. Attey⁽²⁾는 열전모듈의 발열부를 기존의 공랭식 대신 수냉식으로 냉각시켜 줌으로써 냉방성능을 2배 이상 향상시키기에 따라 시스템의 최적화로 냉동기의 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. Kang et al.⁽³⁾은 공기와 물을 동시에 사용함으로써 현열냉각과 더불어 잠열냉각을 이용한 증발냉각방식을 도입하여 기존의 공랭식과 수냉식보다 방열효과를 높일 수 있었고, Astrain et al.⁽⁴⁾ 또한 상변화에 의한 발열부의 냉각방식을 택하여 방열효과를 높일 수 있었다.

열전모듈의 시스템 향상에 관한 연구가 지속적으로 이어짐에 따라 열전모듈을 이용한 제품들의 개발이 활발히 이루어지고 있다. Guler and Ahiska⁽⁵⁾는 6~10℃를 유지하며 혈액이나 백신 등을 저장할 수 있는 의료용 냉장고를 개발하였으며, Jin et al.⁽⁶⁾은 음료수 등을 저장할 수 있는 쇼케이스를 제작하였다. 또한 국내에서도 열전모듈을 이용한 화장품 냉장고와 와인 저장고가 출시되어 시판되고 있다. 그러나 기존의 열전모듈을 이용한 시스템은 밀폐된 공간을 냉각시키는 냉장고로 국한되었다. 이에 따라 본 연구에서는 열전모듈을 이용한 소형 냉방시스템을 제작하여 이에 대한 성능평가를 수행하였다.

열전모듈을 이용한 고성능 제품들의 개발은 열전모듈에서 최대의 성능이 나올 수 있는 최적의 상태 내에서 이루어져야 한다. 이에 따라 열전모듈을 이용하는 시스템의 성능을 분석하는 것이 제품을 개발하는 것만큼 중요하다. 그러므로 본 연구에서는 열전모듈을 이용한 소형 냉방기의 성능이 최대로 나올 수 있는 운전조건에 대하여 실험적으로 고찰하였다. 이를 위하여 냉방기의 각 구성요소인 열전모듈, 저온측 및 고온측 관류팬과 펌프의 최적 입력전압을 선정하였고 최적 운전조건 하에서 열환경 챔버 내의 온도와 습도를 변화시켜 열전모듈 냉방기의 성능을 평가하였다.

2. 열전모듈 냉방기의 구조

열전모듈 냉방기에 대한 간단한 구조를 Fig. 1에 나타내었다. 열전모듈 냉방기는 열전모듈이 있는 중심부와 저온측 채널, 고온측 채널, 그리고 냉각수를 저장하는 수조와 펌프로 이루어져 있다. 열전모듈이 있는 중심부는 단열성과 내열성을 고려하여 MC(monomer cast) 나일론으로 제작하였고 중앙에 홈을 내어 열전모듈 4개를 설치하였다. 열전모듈은 크기가 40×40×3 mm인 제품(TK06127: Thermotek)을 사용하였으며 열전모듈의 양측 표면에 54×54×20 mm인 핀형 방열기(pin-fin heat sink)를 각각 9개씩 설치하였다. 핀형 방열기와외 접촉 열저항을 줄이기 위하여 열그리스(thermal grease: 0.7 W/m·K)를 도포하였고, 소형 볼트를 이용하여 열전모듈과 핀형 방열기를 고정시켰다.

저온측 채널에서는 DC 24V 관류팬(Cross flow fan, C4220: DC chemical)을 설치하여 채널 하부에서 외기를 흡입하여 핀형 방열기와 열교환을 한 후, 채널 상부의 덕트로 냉기를 배출한다.

2L의 냉각수를 저장할 수 있는 수조의 상부에는 DC 12V 펌프가 설치되어 펌프에 의해 고온측 채널 내에 있는 분사노즐(spray nozzle)로 냉각수를 공급한다. 분사노즐은 고온측 핀형 방열기에 냉각수를 분사하고 분사된 냉각수는 고온측 채널에 설치된 DC 24V 관류팬(Cross flow fan, C4220: DC chemical)에서 공급하는 외기에 의해

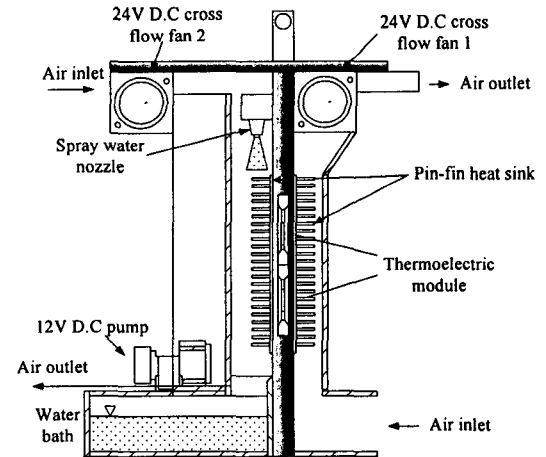


Fig. 1 Schematic of thermoelectric module air-conditioner.

편형 방열기에서 증발을 일으키게 된다. 냉각수의 증발에 의한 증발 냉각방식은 냉각수에 의한 현열냉각과 냉각수가 공기에 의해 증발되는 잠열냉각까지 이용하여 열전모듈에서 발생하는 열을 방열시킨다. 고온측 편형 방열기와 열교환을 마친 외기는 고온측 채널의 하부로 배출되고 증발되지 않은 냉각수는 다시 수조로 배출되어 펌프에 의해 다시 분사노즐로 순환된다.

3. 실험장치 및 방법

열전모듈 냉방기의 구성요소인 열전모듈, 관류팬1,2, 그리고 펌프의 최적 운전조건을 고찰하기 위한 실험장치는 Fig. 2와 같다. 실험장치는 열환경 챔버와 열전모듈 냉방기, 그리고 데이터 획득장치로 이루어져 있다. 실험에 사용되는 열환경 챔버는 2×2×1.5m 크기의 직육면체 공간으로 열환경 챔버 내에는 온풍기와 가습기가 설치되어 여름철의 외기온도와 상대습도를 모사하게 된다. 열전모듈 냉방기는 열환경 챔버의 중앙에 위치하게 되며 직류전원 공급장치(DC power supply)에 의해 열전모듈 냉방기의 구성요소인 열전모듈 및 관류팬1,2, 그리고 펌프에 직류 전원을 공급하게 된다.

열환경 챔버 내의 4곳에 열전대를 설치하여 열

환경 챔버 내의 온도를 측정하였고 열전모듈 냉방기의 수조에는 2개의 열전대를 설치하여 냉각수의 온도를 측정하였다. 열전모듈 냉방기의 중심부에 위치한 열전모듈의 양 표면에 각각 3개의 열전대를 설치하여 표면온도의 변화를 관찰하였고, 냉방기의 공기 출구 덕트에 5개의 열전대를 설치하여 데이터 획득장치(Yokogawa DR230)로 냉방기의 출구온도를 기록하였다.

덕트를 통과하는 공기의 체적유량을 측정하기 위하여 속도계(Anemomaster Model 6112: Kanomax)를 사용하여 공기의 평균 풍속을 측정하였다. 이때 덕트 출구에서의 평균 풍속은 덕트 단면의 5곳을 측정하여 평균값으로 구하였고, 평균 풍속과 덕트 단면적의 곱으로써 덕트를 통과하는 공기의 체적유량을 구하였다.

열전모듈 냉방기의 성적계수(COP)와 냉방량(Q_c)을 다음과 같이 정의하였다.

$$Q_c(W) = v \times \rho \times c_p \times \Delta T_c \quad (1)$$

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

여기서, ρ , C_p , v , ΔT_c 와 P 는 각각 공기의 밀도, 비열, 공기의 체적유량, 열환경 챔버 내의 온도와 열전모듈 냉방기의 저온측 채널에서의 출구

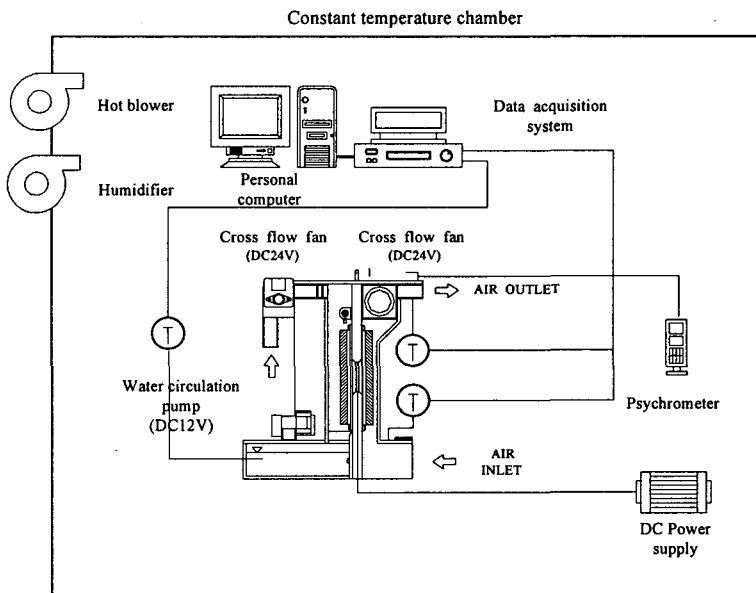


Fig. 2 Schematic of experiment setup.

온도차, 그리고 열전모듈 냉방기의 소비전력이다. 열전모듈 냉방기의 소비전력 P 는 열전모듈에 직접 인가되는 소비전력 P_{TEM} 과 열전모듈 냉방기의 구동에 사용되는 관류팬 2대의 소비전력 $P_{fan1,2}$, 그리고 펌프에 인가되는 소비전력 P_{pump} 의 합으로서 식(3)과 같다.

$$P = P_{TEM} + P_{pump} + P_{fan1} + P_{fan2} \quad (3)$$

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 시간에 따른 열전모듈 냉방기의 출구 온도, 열전모듈의 고온측, 저온측 양 표면온도, 그리고 냉각수 온도 및 열환경 챔버 내의 온도를 나타내었다. 여기서 열전모듈의 입력전압 V_{TEM} 은 30 V이고 DC 펌프 및 관류팬의 입력전압은 펌프와 관류팬의 최대 입력전압인 12 V와 24 V이다. 열환경 챔버 내의 온도는 30°C로 일정하였고 초기 상대습도는 60%였다. 열전모듈 냉방기의 각 구성요소에 전압이 공급됨에 따라 열전모듈의 고온측과 저온측 양 표면에서 각각 발열과 흡열이 일어나는 것을 볼 수 있다. 열전모듈의 저온측 표면온도는 외기와의 열교환으로 인하여 증가하였으며, 열전모듈의 저온측 표면온도의 증가에 의하여 열전모듈 냉방기의 출구온도가 증가하였다. 냉각수 또한 고온측 방열기와의 열교환으로 수온이 증가하였다.

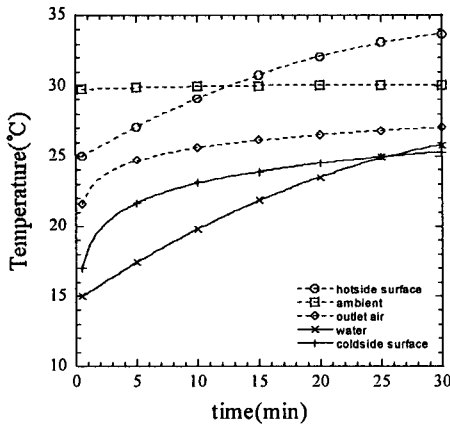


Fig. 3 Transient temperature variation for thermoelectric module air-conditioner, at $V_{TEM}=30$ volt, $V_{fan1,2}=24$ volt, $V_{pump}=12$, $T_{amb}=30^{\circ}\text{C}$, $RH=60\%$.

Fig. 4는 열전모듈의 입력전압에 따른 저온측 채널 덕트에서 배출되는 공기의 온도를 나타내었다. 실험조건으로서 펌프 및 관류팬의 입력전압은 각각 12 V와 24 V이고 챔버 내의 온도와 습도는 30°C와 60%이며, 측정시간은 30분이다. 각 입력전압마다 초기 열전모듈 냉방기의 저온측 덕트 출구온도는 24°C보다 낮았으나 측정시간이 경과함에 따라 출구온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 열전모듈 냉방기의 저온측 출구온도는 열전모듈의 입력전압 V_{TEM} 이 18 V일 때 가장 낮게 나타났다.

Fig. 5는 Fig. 4에서 30분이 경과한 후의 열전모듈 냉방기의 저온측 출구온도를 기준으로 식(1)과 (2)에 의해 계산된 열전모듈 냉방기의 냉방용량 및 COP를 나타냈다. Fig. 4에 나타나 있듯이 열전모듈의 냉방용량은 입력전압에 비례하여 증가하여 18 V에서 최대가 된다. 그러나 열전모듈의 입력전압이 18 V 이상이 될 경우 냉방기의 고온측 방열능력의 한계로 고온측에서 발생한 열이 저온측으로 전도되어 냉방용량이 저하되는 것을 볼 수 있다. COP는 소비전력이 가장 낮은 9 V에서 가장 높았으며 입력전압이 증가할수록 소비전력의 증가로 인하여 COP가 감소하였다. 냉방용량 및 COP를 고려하여 열전모듈의 입력전압 V_{TEM} 은 18 V로 선정하였다.

DC 펌프의 소비전력에 따른 열전모듈 냉방기의 성능을 Fig. 6에 나타내었다. 열전모듈 냉방기

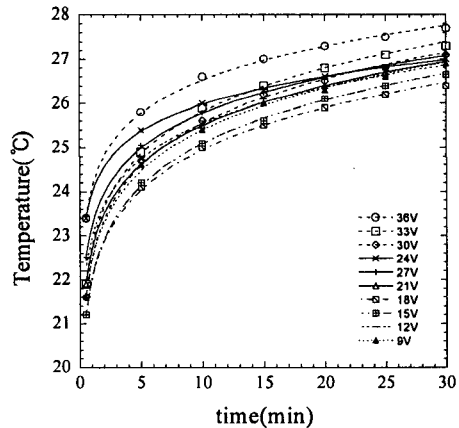


Fig. 4 Transient variation of outlet air temperature for various input voltages at $V_{fan1,2}=24$ V, $V_{pump}=12$ V, $T_{amb}=30^{\circ}\text{C}$ and $RH=60\%$.

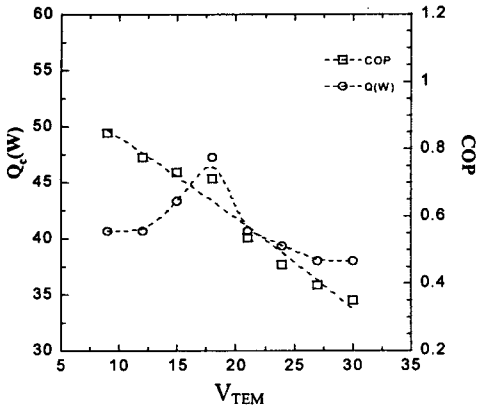


Fig. 5 Effect of the input TEM voltage on the system performance at $V_{fan1,2}=24$ V, $V_{pump}=12$ V, $T_{amb}=30^{\circ}\text{C}$, $RH=60\%$ and $t=30$ min.

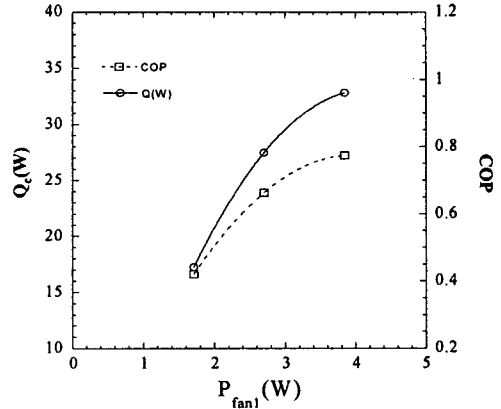


Fig. 7 Effect of the fan1 power consumption on the system performance, at $V_{TEM}=18$ V, $P_{fan2}=3.8$ W, $P_{pump}=9.4$ W, $T_{amb}=30^{\circ}\text{C}$, $RH=60\%$, $t=60$ min.

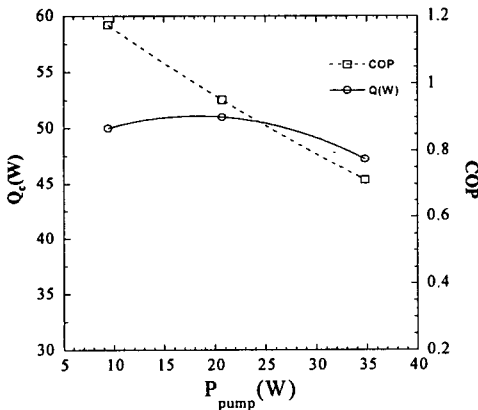


Fig. 6 Effect of the pump power consumption on the system performance at $V_{TEM}=18$ V, $P_{fan1,2}=3.8$ W, $T_{amb}=30^{\circ}\text{C}$, $RH=60\%$, $t=30$ min.

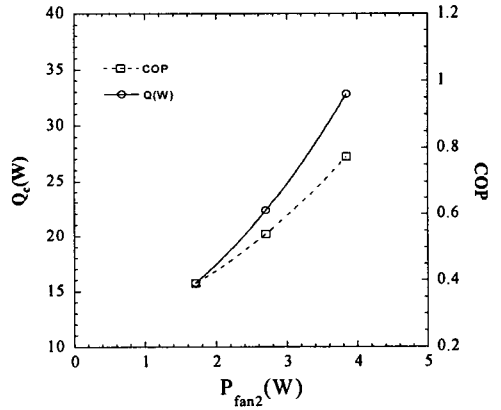


Fig. 8 Effect of the fan2 power consumption on the system performance, at $V_{TEM}=18$ V, $P_{fan1}=3.8$ W, $P_{pump}=9.4$ W, $T_{amb}=30^{\circ}\text{C}$, $RH=60\%$, $t=60$ min.

의 고온측 냉각방식은 DC 펌프에서 공급하는 냉각수와 관류팬2에서 공급하는 외기에 의한 증발 냉각방식이다. 관류팬2에서 공급하는 외기량을 일정하게 두었을 때 DC 펌프의 소비전력 P_{pump} 이 20.7 W 이상 증가하여 방열기 내로 분사되는 냉각수의 유량이 증가하면 열전모듈 냉방기의 냉방 성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 과도한 냉각수량은 증발을 감소시켜 방열성능을 저해시키기 때문이다. 또한 20.7 W 이상의 소비전력은 소비전력의 증가에 의해 COP가 감소된다. 냉방

기의 냉방용량은 펌프의 소비전력 P_{pump} 이 20.7 W일 때 최대값을 나타냈으나 9.4 W일 때와 차이가 미미하며 COP 고려시 9.4 W가 우수하므로 펌프의 소비전력 P_{pump} 은 9.4 W로 선정하였다.

Fig. 7은 저온측 채널에 설치된 관류팬1의 소비전력에 따른 냉방기의 냉방성능을 나타내었다. 관류팬1의 소비전력 P_{fan1} 이 3.8 W에서 1.7 W로 감소시 공기의 체적유량은 $0.0168 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서 $0.0064 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 감소하며 냉방기의 냉방용량이 저하되었다. COP 및 냉방용량을 고려하여 관류팬1의 소

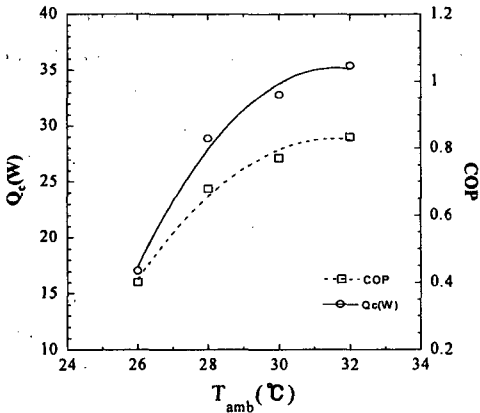


Fig. 9 Effect of the ambient temperature on the system performance, at $V_{TEM}=18$ V, $V_{pump}=6$ V, $V_{fan1,2}=24$ V, $RH=60$ %, $t=60$ min.

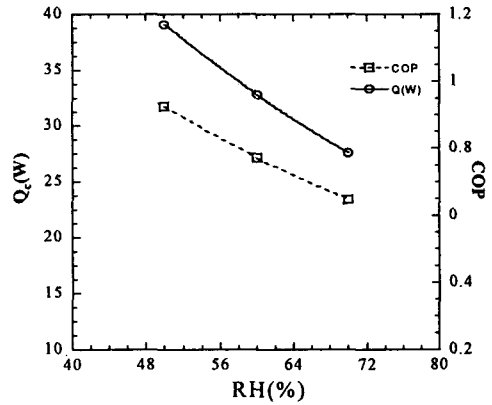


Fig. 10 Effect of the relative humidity on the system performance, at $V_{TEM}=18$ V, $V_{pump}=6$ V, $T_{amb}=30$ °C, $t=60$ min.

비전력 P_{fan1} 은 3.8 W로 선정하였다.

관류팬2의 소비전력에 따른 냉방기의 냉방용량을 Fig. 8에 나타내었다. 관류팬2는 관류팬1과 동일한 모델이며 고온측 채널의 상부에 설치되어 증발냉각에 필요한 외기를 공급한다. 관류팬2의 소비전력 P_{fan2} 을 3.8 W에서 1.7 W로 감소함에 따라 냉방기의 냉방용량이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 관류팬2의 입력전압을 감소시키면 외기량이 감소하여 냉각수의 증발량이 감소한다. 이에 따라 관류팬2의 소비전력 P_{fan2} 을 1.7 W 이하로 감소시켜 외기를 공급하지 않을시 열전모듈의 방열방식은 수냉식에 가까워지고 있는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 관류팬2의 소비전력 P_{fan2} 은 3.8 W로 선정하였다.

Fig. 9는 열환경 챔버 내의 온도변화가 냉방기의 냉방성능에 미치는 영향을 나타내었다. 챔버 내의 온도가 32 °C에서 26 °C로 감소함에 따라 냉방기의 냉방성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 냉방기의 외기온도가 낮아짐에 따라 냉방기의 열부하가 감소하였으나 관류팬2에 의해 고온측 채널에 공급하는 외기의 온도가 감소하여 냉각수의 증발을 저해시켰기 때문에, 냉방기의 냉방성능이 감소하였다. 이는 최적 운전조건이 외기온도 30 °C에서 얻어진 것으로서, 외기온도가 변화하면 최적 운전조건도 변화하게 된다.

열환경 챔버 내의 상대습도가 냉방기의 냉방성능에 미치는 영향을 Fig. 10에 나타내었다. 상대

습도가 50%에서 70%로 증가할 경우 냉방기의 냉방용량이 약 30% 감소하는 것을 볼 수 있다. 냉방기의 고온측 방열방식이 증발냉각 형태이므로 외기의 상대습도가 낮아질수록 냉각수의 증발량이 증가하여 고온측의 방열량이 증가한다. 이에 외기의 상대습도가 낮을수록 냉방기의 냉방성능은 증가한다.

5. 결론

본 연구에서는 열전모듈을 이용한 소형 냉방기의 최대 냉방성능을 얻기 위하여 냉방기의 각 구성요소인 열전모듈, 관류팬1, 2, 그리고 펌프의 최적 운전조건에 대한 실험을 수행하였다.

열전모듈의 입력전압 V_{TEM} 이 18 V보다 낮은 전압에서는 충분한 흡열량을 얻을 수 없었고, 18 V보다 높은 전압에서는 열전모듈에서의 발열을 충분히 방열시키지 못하여 냉방성능을 저하시키므로 열전모듈의 최적 입력전압 V_{TEM} 은 18 V로 판단된다.

펌프의 소비전력 P_{pump} 가 20.7 W 이상일 경우 과도한 냉각수량으로 인하여 냉각수의 증발을 저해하므로 냉방성능이 저하되었다. P_{pump} 가 9.4 W인 경우, 냉방용량의 차이는 20.7 W와 미미하나 COP를 고려하여 펌프의 소비전력 P_{pump} 는 9.4 W로 선정하였다. 저온측과 고온측 채널에 설치된 관류팬1 및 2의 소비전력인 $P_{fan1,2}$ 은 관류팬

의 최대 소비전력인 3.8 W보다 낮을 경우 저온측 핀과의 열교환에 필요한 풍량과 증발냉각에 필요한 풍량의 부족으로 냉방용량과 COP가 저하되므로 관류팬 소비전력 $P_{fan1,2}$ 은 3.8 W로 선정하였다.

열전모듈 냉방기의 발열부 방열방식이 증발냉각방식이므로 냉각수의 증발에 필요한 외기의 온도가 높을수록, 그리고 상대습도가 낮을수록 냉각수의 증발량이 증가하여 열전모듈 냉방기의 냉방성능이 향상되었다.

후 기

본 연구는 국민대학교 2005년도 교내연구비의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Stockholm, J. G., 1997, Current state of Peltier cooling, 26th Int. Conference of Thermoelectrics, Desden, Germany.
2. Attay, G. S., 1998, Enhanced thermoelectric refrigeration system COP through low thermal impedance liquid heat transfer system, Proceedings of the 7th International Conference on Thermoelectrics, pp. 519-524.
3. Kang, B. H., Chang, H. J. and Kim, S. Y., 2002, Cooling characteristics at hot side of the thermoelectric module for an air conditioner, Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 14. No. 3, pp. 482-488.
4. Astrain, D, Vian, J. G. and Dominguez, M., 2003, Increase of COP in the thermoelectric refrigeration by the optimization of heat dissipation, Thermal Engineering, Vol. 23, pp. 2183-2200.
5. Guler, N. F. and Ahiska, R., 2002, Design and testing of a microprocessor-controlled portable thermoelectric medical cooling kit, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 1271-1276.
6. Jin, J. H., Cho, J. R. and Kim, M. G., 2002, Study on the performance of showcase refrigerating chamber using thermoelectric module, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 35-40.