열전모듈 냉방기에서 열전모듈의 개수 및 전원배열이 시스템의 성능에 미치는 영향

황 준, 강 병 하*†
국민대학교 대학원, *국민대학교 기계·자동차공학부

Effects of Thermoelectric Module Arrangement on the Performance of a Thermoelectric Air-Cooling System

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 August 28, 2006; Revision received December 14, 2006)

ABSTRACT: This paper presents the effects of thermoelectric module arrangement on the cooling performance of an air conditioner using thermoelectric module. A prototype of air cooling system, employing several thermoelectric modules, has been designed and built. The evaporative cooling technique is adopted for hot side of the module. The number of thermoelectric module in the system has been varied in the range of 2~8. The optimal operation conditions, such as input power to the thermoelectric module, fans and pump, have been determined for each arrangement of the system and the cooling performance has been compared under the optimal operation. It is found that both cooling capacity and *COP* are increased as the number of thermoelectric module increased. It is also found that cooling capacity can be improved by connecting the thermoelectric modules in series than in parallel, while the *COP* is little affected.

Key words: COP(성능계수), Peltier effect(펠티어 효과), Thermoelectric module(열전모듈), Thermoelectric cooling(열전냉각)

기 호 설 명

COP : 성적계수
C_p : 비열 [kJ/kgK]
$\dot{m}$: 공기의 질량유량 [kg/sec]
P : 소비전력, V^2/R [W]
Q_c : 냉방용량 [W]
R : 저항 [Ω]
RH : 상대습도 [%]
T : 온도 [℃]
t : 측정시간 [min]
V : 입력전압 [volt]

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m^3]

하첨자

c : 저온측

† Corresponding author
Tel.: +82-2-910-4681; fax: +82-2-910-4839
E-mail address: bhkang@kookmin.ac.kr

fan1 : 저온측 관류팬
fan2 : 고온측 관류팬
pump : 펌프
TEM : 열전모듈

1. 서 론

열전모듈의 흡열을 이용한 전자냉각방식은 기존의 증기압축식 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 직류전원을 사용하는 열전모듈의 입력전압의 조절만으로 제어할 수 있으므로 정밀제어가 가능하다.[1]

열전모듈을 이용한 시스템의 성능향상의 변수는 열전모듈의 자체 재료의 향상과 시스템의 최적 설계에 있다고 하였듯이,[2] 최근에 열전모듈에 관한 연구는 열전모듈의 자체에 의한 연구를 넘어 열전모듈 시스템에 대한 연구로 확산되고 있다. 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 국내의 많은 기업에 의해서 열전모듈을 이용한 화장품 냉장고와 와인 저장고가 출시되었다. 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. Hwang and Kang[7]은 열전모듈 냉방기의 냉방성능이 최대가 나올 수 있는 각 구성요소의 최적 운전조건에 관하여 연구하였다. 본 연구에서는 열전모듈 냉방기에 열전모듈을 2개, 4개, 6개, 8개를 각각 사용하는 열전모듈 냉방기를 제작하였고, 열전모듈 냉방기에 내장된 열전모듈의 개수가 열전모듈 냉방기의 냉방성능에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 규명하였다. 또한 열전모듈의 입력전원을 직렬 연결한 경우와 병렬 연결한 경우에 대하여 냉방 성능결과를 비교 검토하였다.

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 8개를 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 12개 설치하였다. 핀형 방열기와의 접촉열저항을 줄이기 위해 열그리스(thermal grease : 0.7 W/m·K)를 도포하였고 소형 볼트를 이용하여

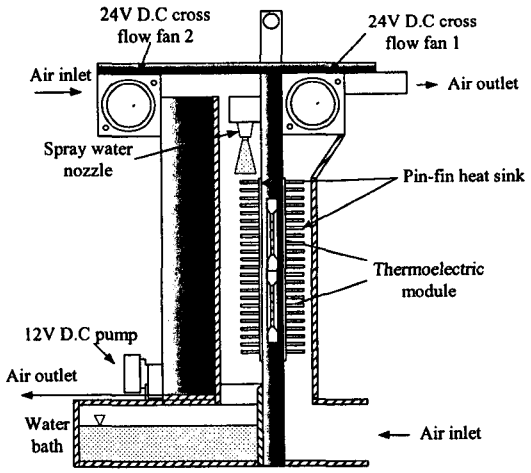


Fig. 1 Schematic diagram of a thermoelectric air-cooling system.

열전모듈과 핀형 방열기를 고정시켰다. 열전모듈에 입력되는 전원은 직렬연결과 병렬연결이 가능하도록 하였으며, 열전모듈 중 필요에 따라 2개, 4개, 6개, 8개에 전원을 공급할 수 있도록 배선을 연결하였다.

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

2 L의 냉각수를 저장할 수 있는 수조의 상부에는 DC 12 V 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 24 V 관류팬에서 공급하는 외기에 의해 핀형 방열기에서 증발을 일으키게 된다. 냉각수의 증발에 의한 증발냉각방식은 냉각수에 의한 현열냉각과 냉각수가 공기에 의해 증발되는 잠열냉각까지 이용하여 열전모듈에서 발생하는 열을 방열시킨다. 고온측 핀형 방열기와 열교환을 마친 외기는 고온측 채널의 하부로 배출되고 증발되지 않은 냉각수는 다시 수조로 배출되어 펌프에 의해 다시 분사노즐로 순환된다.

3. 실험장치 및 방법

열전모듈의 개수 및 배열이 열전모듈 냉방기의 냉방성능에 미치는 영향을 고찰하기 위한 실험장치는 Fig. 2와 같다. 실험장치는 열환경 챔버와 열전모듈 냉방기, 그리고 데이터 획득장치로 이루어져 있다. 실험에 사용되는 열환경 챔버는 2×2×1.5 m 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 직류전원을 공급하게 된다.

열환경 챔버 내의 4곳에 열전대를 설치하여 열환경 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 출구덕트에 5개의 열전대를 설치하여 데이터 획득장치(Yokogewa DR230)로 에어컨의 저온측 출구온도를 기록하였다.

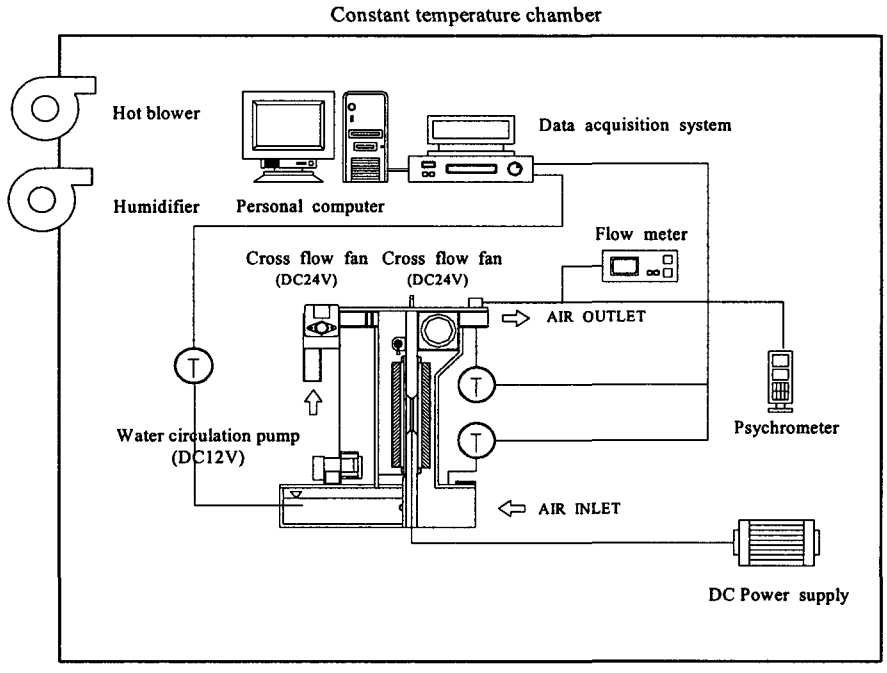


Fig. 2 Schematic of experiment setup.

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. 시스템의 냉방능력 환산에 필요한 공기의 질량유량은 공기의 밀도와 체적유량의 곱으로 계산된다.

열전모듈 냉방기의 성능계수(COP)와 냉방능력(Q_c)을 다음과 같이 정의하였다.

$$Q_c(W) = \dot{m} \times C_p \times \Delta T_c \tag{1}$$

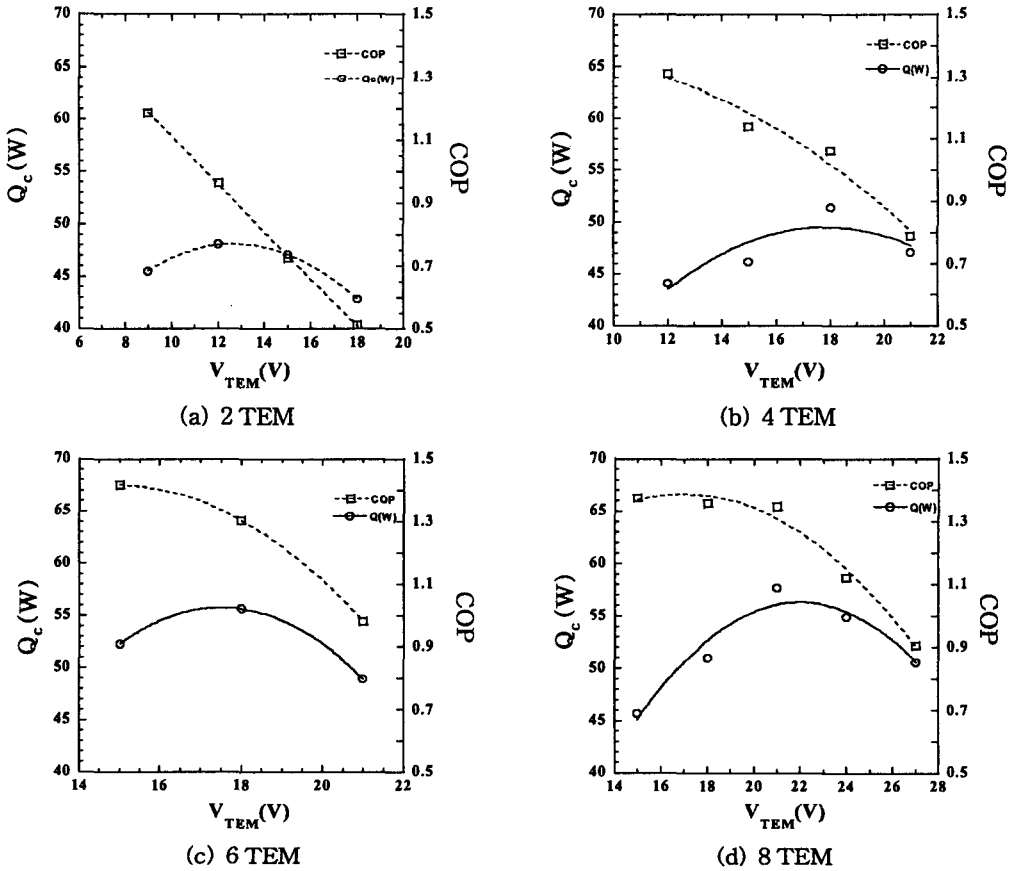
$$COP = \frac{Q_c}{P} \tag{2}$$

여기서, $\dot{m}$, C_p, ΔT_c와 P는 각각 공기의 질량유량, 비열, 열환경 챔버 내의 온도와 열전모듈 에어컨의 저온측 채널에서의 출구온도 차, 그리고 열전모듈 에어컨의 소비전력이다. 열전모듈 에어컨의 소비전력 P는 열전모듈에 직접 인가되는 소비전력 P_{TEM}과 열전모듈 에어컨의 구동에 사용되는 관류팬 2대의 소비전력 $P_{fan1,2}$, 그리고 펌프에 인가되는 소비전력 P_{pump}의 합으로써 다음과 같다.

$$P = P_{TEM} + P_{pump} + P_{fan1} + P_{fan2} \tag{3}$$

4. 실험결과 및 고찰

열전모듈의 개수에 따른 열전모듈 냉방기의 성능에 대한 고찰은 열전모듈의 개수를 변화시킨 상



(a) 2 TEM (b) 4 TEM

(c) 6 TEM (d) 8 TEM

Fig. 3 Effect of the input TEM voltage on the system performance, $V_{fan1,2}$=24 V, V_{pump}=9 V, T_{amb}=30℃, RH=60%, t=30 min.

Table 1 Determination of the optimal input voltage on each part of the system

TEM number	Fan 1 (V)	Fan 2 (V)	TEM (V)	Pump (V)
2 TEM	24	24	12	9
4 TEM	24	24	18	9
6 TEM	24	24	18	9
8 TEM	24	24	21	9

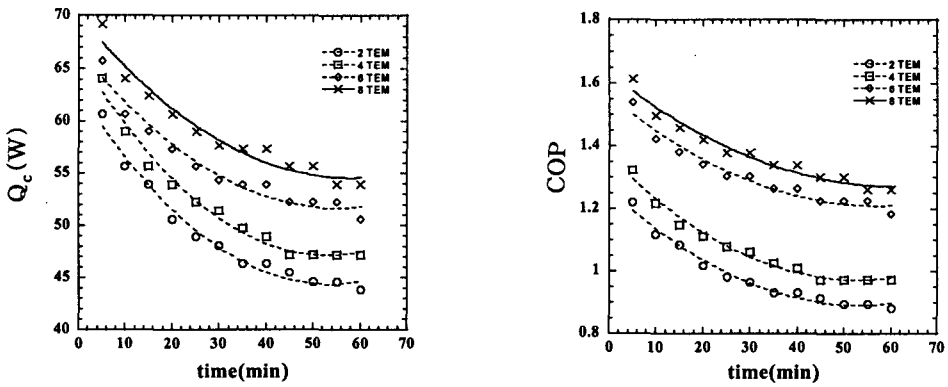
태에서 냉방기의 최대 냉방성능이 나올 수 있는 최적의 상태 내에서 이루어져야 한다. 그러므로 열전모듈 냉방기의 각 구성요소인 열전모듈, 관류팬1,2, 그리고 펌프의 최적 입력전압을 결정하고, 이 결과를 기준으로 비교하였다.

Fig. 3은 열전모듈의 입력전압 V_{TEM}에 따른 열전모듈 냉방기에 사용하는 열전모듈의 개수는 Fig. 3에서 (a) 2개, (b) 4개, (c) 6개, (d) 8개로 각각 2개씩 증가시켰으며, 전원은 직렬연결시켰을 때의 성능결과를 나타낸 것이다. 펌프 및 관류팬 2대의 입력전압은 각각 9 V와 24 V이고 열환경 챔버 내의 온도 T_{amb}는 30℃이며 초기 상대습도 RH는 60% 조건에서, 측정시간이 30분이 경과한 후 열전모듈 냉방기의 저온측 덕트의 배출 공기온도를 기준으로 냉방용량을 선정하였다. Fig. 3에서 열전모듈의 개수에 따라 열전모듈 냉방기의 최대 냉방성능이 나오는 열전모듈의 최적 입력전압이 각각 존재하는 것을 알 수 있다. 냉방용량 및 COP를 고려하여 모듈 개수가 2개, 4개, 6개, 8개 변화할 때 열전모듈의 최적 입력전압은 각각 12 V, 18 V, 18 V, 21 V이다.

열전모듈의 구성요소인 펌프와 관류팬1 및 관류팬2의 최적 입력전압을 Table 1에 나타내었다. Fig. 3과 동일한 방식으로 냉방용량 및 COP를 고려하여 각 구성요소의 최적 입력전압을 결정하였으며,[7] Table 1의 최적 입력전압으로 열전모듈 냉방기를 운전하여 열전모듈의 개수에 따른 냉방성능을 비교 및 고찰하였다.

Fig. 4는 시간에 따른 열전모듈 냉방기의 (a) 냉방용량 및 (b) COP를 나타내었다. 실험을 시작한 후 시간이 경과함에 따라 냉방성능이 저하되며 약 50분 후에 정상상태에 도달하는 것을 볼 수 있다. 이는 고온부의 냉각방식이 냉각수와 외기에 의한 증발냉각방식이나 실험 초기에 낮은 냉각수의 수온으로 인하여 증발냉각방식보다 수냉식으로 방열시키게 된다. 시간이 경과함에 따라 수온이 증가하여 방열능력이 감소함으로써 열전모듈 냉방기의 냉방성능이 저하되었으나 50분이 경과한 후 냉각수의 증발로 인하여 일정한 방열능력을 가지게 되므로 열전모듈 냉방기의 냉방성능이 정상상태에 도달할 수 있었다.

열전모듈의 개수에 따른 열전모듈 냉방기의 냉방성능을 Fig. 5에 나타내었다. 열환경 챔버 내의 온도는 30℃이고 초기 상대습도는 60%이다. 모듈 개수에 따라 Table 1에서 언급한 입력전압으로 열전모듈 에어컨을 운전하였으며 정상상태에 도달한 후의 냉방성능을 비교하였다. 열전모듈 개수가 감소할수록 냉방성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 열전모듈 개수가 감소할수록 열전모



(a) Q_c (b) COP

Fig. 4 Variation of (a) cooling capacity and (b) COP at various TEM numbers, at T_{amb}=30℃ and RH=60%.

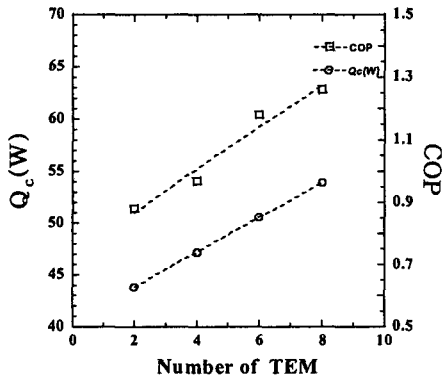


Fig. 5 Effect of the number of TEM on the system performance, at T_{amb}=30℃, RH =60%.

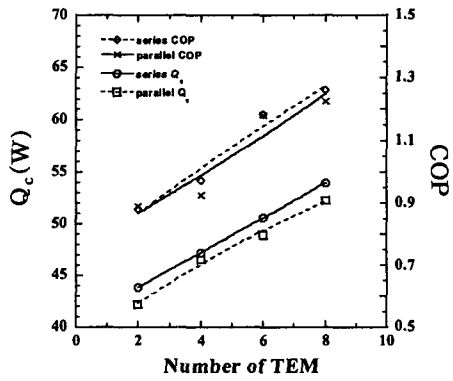


Fig. 6 Comparison on the effect of series and parallel connecting, at T_{amb}=30℃, RH =60%.

듈 개당 입력전압이 증가하므로 열전모듈 자체에서 발생하는 열이 증가하게 된다. 이에 따라 열전모듈의 고온 측에서 발생한 열이 저온 측으로 전도되어 냉방성능이 저하되었다.

Fig. 6은 열전모듈 냉방기에서 열전모듈 간의 전원공급 연결방식에 따른 냉방성능을 비교하였다. 전원공급을 병렬로 열전모듈을 연결할 경우 열전모듈의 입력전압은 Table 1에 언급한 입력전압을 열전모듈의 개수로 나누어 정하였다. 열전모듈의 개수가 2, 4, 6, 8개로 증가할 경우 열전모듈의 개당 입력전압은 각각 6 V, 4.5 V, 3 V, 2.625 V 이다. Fig. 6에 나타나 있듯이 열전모듈을 직렬로 연결한 것이 병렬로 연결한 것보다 냉방능력이 증가하였으나 소비전력 또한 증가하여 시스템의 COP는 직렬로 연결한 경우와 차이가 미미하였다. COP를 고려하면 열전모듈 냉방기에서는 열전모듈에 연결되는 전원을 병렬로 연결하는 것보다 직렬로 연결하는 것이 우수하다고 판단된다.

열전모듈의 개수와 연결방식에 따른 열전모듈 냉방기의 소비전력 및 냉방성능을 Table 2에 나

Table 2 Comparison of series and parallel connecting power consumptions

	Fan1 W(%)	Fan2 W(%)	TEM W(%)	Pump W(%)	Total W(%)	Cooling capacity Q(W)	COP
2 TEM (series)	4.3 (8.6%)	4.3 (8.6%)	26.5 (53.2%)	14.7 (29.5%)	49.8 (100%)	43.8	0.88
4 TEM (series)	4.3 (9.0%)	4.3 (9.0%)	25.2 (51.9%)	14.7 (30.1%)	48.5 (100%)	47.2	0.97
6 TEM (series)	4.3 (10.1%)	4.3 (10.1%)	19.4 (45.4%)	14.7 (34.4%)	42.7 (100%)	50.6	1.18
8 TEM (series)	4.3 (10.0%)	4.3 (10%)	19.5 (45.6%)	14.7 (34.4%)	42.8 (100%)	53.9	1.26
2 TEM (parallel)	4.3 (9.0%)	4.3 (9%)	24.0 (50.7%)	14.7 (31.1%)	47.3 (100%)	42.1	0.89
4 TEM (parallel)	4.3 (8.5%)	4.3 (8.5%)	27.0 (53.6%)	14.7 (29.2%)	50.3 (100%)	46.5	0.92
6 TEM (parallel)	4.3 (10.4%)	4.3 (10.4%)	18.0 (46.6%)	14.7 (35.6%)	41.3 (100%)	48.9	1.18
8 TEM (parallel)	4.3 (10.4%)	4.3 (10.4%)	18.1 (43.7%)	14.7 (35.5%)	41.4 (100%)	52.3	1.22

타내었다. 열전모듈 냉방기의 고온측 방열면적이 한정되어 방열능력의 한계가 있으므로 냉방기의 방열능력에 따라 각 열전모듈 개수당 최대 냉방능력을 낼 수 있는 최적 입력전압이 존재하였다. 열전모듈의 개수가 2개, 4개, 6개, 8개로 증가함에 따라 각각 12 V, 18 V, 18 V, 21 V를 인가하였기 때문에 직렬연결시 열전모듈에서 소요되는 총 전력은 점점 감소하게 된다. 이러한 운전조건에서 성능을 비교한 결과, 열전모듈의 개수에 따라 열전모듈 냉방기의 팬과 펌프에 소요되는 동력은 변화하지 않기 때문에 열전모듈의 개수가 증가할수록 냉방능력 및 *COP* 모두 증가하는 것을 알 수가 있다. 열전모듈 냉방기의 열전모듈에 공급되는 전원연결방식을 직렬과 병렬로 하여 냉방성능을 비교한 결과, 냉방능력은 열전모듈을 직렬로 연결하는 것이 병렬로 연결하는 것보다 우수하였으나, 소비전력은 병렬로 연결하는 것이 적게 나타나 시스템의 *COP*는 유사하게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 열전모듈 냉방기에서 열전모듈의 개수가 열전모듈 냉방기의 냉방성능에 미치는 영향과 열전모듈의 연결방식에 대한 실험을 수행하였다. 이를 위하여 열전모듈 냉방기에 내장된 열전모듈의 개수에 따라 최대의 냉방성능이 나올 수 있는 최적의 입력전압을 선정하여 냉방성능을 비교하였다.

열전모듈 냉방기에 내장된 열전모듈의 개수가 8개에서 2개로 감소함에 따라 열전모듈 냉방기의 최적 입력전압이 증가하였다. 최적 입력전압이 증가함에 따라 열전모듈 개당 입력전압이 증가하여 각 열전모듈에서 발생하는 열이 증가한다. 열전모듈 냉방기의 고온측 방열능력의 한계로 인하여 고온 측에서 발생하는 열이 증가할수록 열전모듈 냉방기의 냉방성능이 저하되었다.

냉방기 내에 설치된 열전모듈을 직렬과 병렬로 연결하여 냉방성능을 비교한 결과 냉방용량은 직렬로 연결한 경우가 병렬로 연결한 경우보다 우수하였으나, 소비전력은 병렬로 연결한 경우가 낮게 나타나 시스템의 *COP*에는 거의 영향을 미치지 않았다.

후 기

본 연구는 국민대학교 2006년도 교내연구비의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Sofrata, H., 1996, Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators, Energy Conversion and Management, Vol. 37, No. 3, pp. 269-280.
2. Stockholm, J. G., 1997, Current state of Peltier cooling, 26th Int. Conference of Thermoelectrics, Dresden, Germany.
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.
7. Hwang, J. and Kang, B. H., 2006, An experimental study on the optimal operation condition of an air-cooler using thermoelectric modules, Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 18, No. 1, pp. 66-72.