

열전모듈을 이용한 에어컨의 방열부 냉각특성에 대한 연구

강 병 하, 장 혁 재*, 김 서 영**, 김 석 현

국민대학교 기계·자동차공학부, *국민대학교 자동차전문대학원, **KIST 열·유동제어연구센터

Cooling Characteristics at Hot Side of the Thermoelectric Module for an Air Conditioner

B. H. Kang, H. J. Chang*, S. Y. Kim**, S. Kim

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

Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

**Thermal/Flow Control Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea

(Received August 23, 2001; revision received February 8, 2002)

ABSTRACT: A small air conditioner using thermoelectric module has been designed and built. Three types of cooling methods, such as air cooling, closed-loop water cooling, and evaporative cooling, for hot side of thermoelectric module have been investigated. Among three types of cooling method, the evaporative cooling method is seen to be the most effective to achieve the steady state operation of a thermoelectric air conditioner. The system performance with evaporative cooling method are also studied in detail for several operating parameters, such as input power to the thermoelectric module, water or air flow rate at the hot side, and air flow rate at the cold side. The results obtained indicate that the cooling capacity of a system is increased with an increase in the input power to the thermoelectric module while the system COP is decreased. It is also found that the optimal air flow rate as well as water flow rate at the hot side is needed for the best system performance at a given operating condition. Both the system COP and cooling capacity are increased as the air flow rate at cold side is increased.

Key words: Evaporative cooling(증발냉각), Heat sink(방열), Portable air conditioner(소형 에어컨), Thermoelectric module(열전모듈)

기 호 설 명

C_p : 공기의 비열 [kJ/kg·T]

COP : 성능계수, 식(2)

P : 전력 [W]

Q_c : 냉방용량 [kJ/s]

T : 입·출구 온도 [°C]

\dot{v}_a : 공기의 풍량 [m³/min]

\dot{v}_w : 물의 유량 [L/min]

그리스 문자

† Corresponding author

Tel.: +82-2-958-5683; fax: +82-2-958-5689

E-mail address: seoykim@kist.re.kr

ϵ : 다공도

ρ : 공기밀도 [kg/m³]

하첨자

- c : cold side
- F : Fan
- h : hot side
- P : Pump
- TM : Thermoelectric module

1. 서 론

열전모듈을 이용한 냉동기는 정밀온도제어가 가능하고, 저소음, 소형화 등의 장점으로 인하여 우주항공, 컴퓨터 CPU 및 군사용 등 특별한 목적을 가진 곳에 일부 이용되고 있으나 시스템 효율이 압축식 냉동기 및 흡수식 냉동기보다 낮기 때문에 일반적으로 사용하는 데 많은 제약을 받고 있다. 그러나, 최근에는 Solomon⁽¹⁾에 의해서 열전모듈의 재료와 형상, 구조 등을 변화시킴으로써 냉동기의 성능을 향상시키는 연구가 발표되었고, 더 나아가 Miner and Majumdar⁽²⁾는 과도전류 열전효과를 이용하여 열전모듈의 성능을 향상시켰다. Huang et al.^(3,4)는 열전모듈의 고온측에 방열효과가 충분히 이루어져야만 성능을 개선시킬 수 있다는 점을 이용하여, 팬을 설치하여 공기로 열전모듈의 방열부를 냉각시켜 줌으로써 냉동기의 성능을 개선시켰다.

최근에는 열전모듈의 성능에 관한 연구는 열전모듈 자체에 대한 연구를 넘어서 열전모듈 시스템에 대한 연구로 확산되고 있다. Attey⁽⁵⁾는 열전모듈의 고온측을 공기 대신 액체로 냉각시켜 줌으로써 성능을 2배 이상 향상시킬 수 있었다. 즉, 열전모듈 자체가 아닌 시스템의 최적화로 냉동기의 성능을 향상시켰다. 이와 같이 현재 국외에서는 열전모듈을 이용한 많은 제품들의 개발과 더불어 성능향상에 대한 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 최근 들어 열전모듈 자체의 성능개선과 함께 시스템에서의 성능향상에 대한 모델링에 관한 연구가 지속적으로 연구되고 있다. 국내에서는 Ro and Seo⁽⁶⁾에 의해서 열전모듈의 원리와 간단한 설계 등이 연구되었으나 이에 대한 정확한 제어와 더불어 소형화에도 가능한 열전모듈을 이용한 냉동기에 대한 연구와 관심이 필요하다고 본다.

열전모듈은 두 개의 다른 열전반도체를 병렬로

연결한 후 직류전류를 공급하여 줌으로써 한 부분에서는 열흡수가 다른 부분에서는 열방열이 일어나는 기기이다. 열전모듈을 이용한 냉동기는 냉열과 온열을 동시에 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있으나 방열부에서 충분한 방열이 이루어지지 않을 경우에는 그에 상응하는 냉열을 얻지 못하는 단점을 가지고 있다. 그러므로 열전모듈을 이용한 에어컨의 경우, 충분한 냉열을 얻기 위해서는 방열부의 충분한 방열이 동시에 이루어져야 한다. 그러므로 본 연구에서는 열전모듈의 방열부의 방열효과에 따른 에어컨의 성능을 평가하기 위해서 기존에 사용하고 있는 공기, 물을 각각 이용하였을 경우와 새로운 방법인 공기와 물을 동시에 사용함으로써 현열냉각과 더불어 잠열냉각을 이용한 증발냉각방식을 도입하여 3가지 방열방법에 대하여 비교하였다. 또한 방열부의 냉각을 위하여 증발냉각방식을 채택한 경우에 대하여 열전모듈을 이용한 소형 에어컨 시스템을 제작하여 이에 대한 성능평가를 수행하였다.

2. 열전모듈의 구조와 성능평가

열전모듈에 대한 간단한 구조를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서와 같이 DC 전압을 N, P type의 반도체로 이루어진 열전모듈에 공급하였을 경우, 서로 다른 반도체 내에서 같은 방향으로 전자가 열을 이동시킴으로써 한쪽에는 열흡수가 일어나고, 이와 반대로 다른 한쪽에서는 열방출이 일어난다. 이때, 우리는 열 흡수부인 저온측에서

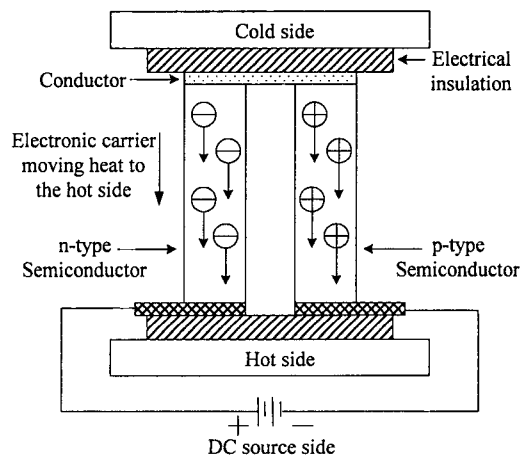


Fig. 1 Structure of thermoelectric module.

냉열을 얻을 수 있고, 이때 열전모듈 에어컨의 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)을 식(1)과 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$Q_c(W) = \dot{v}_a \times \rho \times C_p \times \Delta T_c \quad (1)$$

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

여기서, ρ , C_p , \dot{v}_a , T 와 P 는 각각 공기의 밀도, 비열, 공기의 풍량, 온도 및 입력일이다. 입력일 P 는 열전모듈에 직접 인가되는 일(P_{TM})과 열전모듈 에어컨의 구동에 사용되는 팬과 펌프에 인가되는 일의 합으로서 식(3)과 같이 계산된다.

$$P = P_{TM} + P_F + P_P \quad (3)$$

여기서, 하첨자 TM , F 및 P 는 각각 열전모듈, 팬 및 펌프를 나타내며, 각각 총 공급되는 입력일의 약 78%, 3% 및 19%를 차지한다.

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 열전모듈을 이용한 소형 에어컨의 방열부에 대한 효율적인 냉각방법을 연구하기 위하여 Fig. 2와 같은 냉각시스템을 고안하였다. Fig. 2에서와 같이 열전모듈을 사이에 두고 상부의 흡열부분과 하부의 방열부분에는 열교환기를

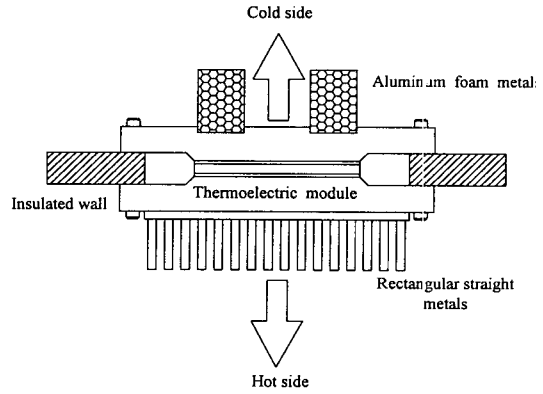


Fig. 2 Concept design of compact air-conditioner.

설치하여 열교환이 이루어지게 하였다. 특히 방열부에서의 방열방법에 따른 열전모듈의 성능을 평가하기 위해서 Fig. 3과 같이 세 가지 방법으로 실험하고 이를 비교하였다. 첫번째 방법은 열전모듈의 방열부분을 팬을 이용하여 공기만으로 냉각시켰다. Fig. 3(a)와 같이 열교환기에 팬을 설치하여 열교환기의 하부로부터 외기를 흡입하여 방열부를 냉각하고 상부를 통해 배출시켰다. 두번째 방법은 공기 대신 냉각수를 이용한 것으로 Fig. 3(b)와 같이 펌프를 이용하여 열교환기의 하부에 설치된 수조(190 mm×150 mm×50 mm)로부터 냉각수를 열교환기 상부로 공급하여 냉각수가 열교환기 전면에서 흐르면서 방열부를 냉각하게 하였다. 또한 물은 수조에 떨어지게 함으로써 물

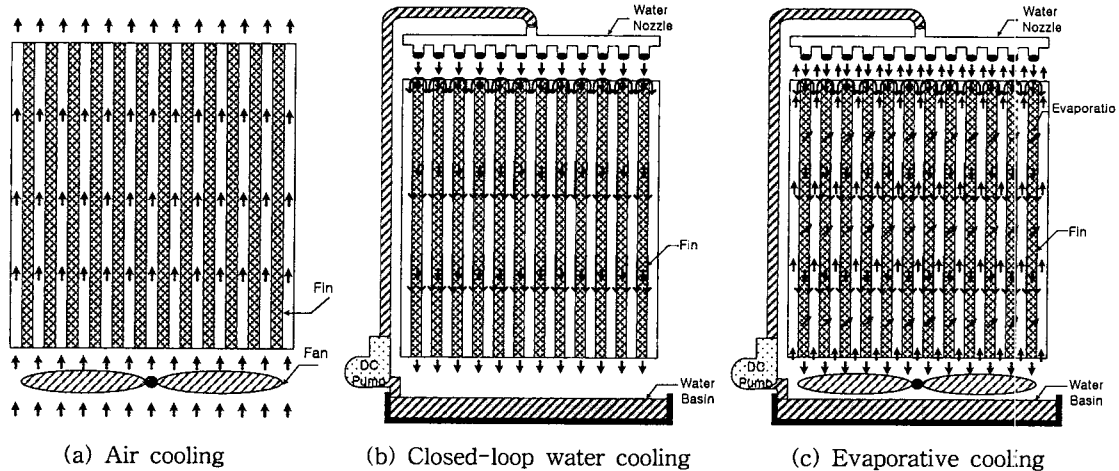


Fig. 3 Cooling types of hot side.

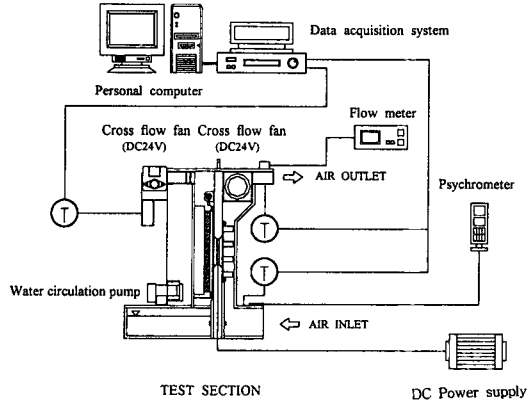


Fig. 4 Schematic of experimental setup for compact air-conditioner.

을 계속 순환하게 하였다. 세번째 방법은 공기와 냉각수를 모두 이용한 경우로서 Fig. 3(c)와 같이 열교환기의 하부로부터 흡입된 공기와 상부로부터 공급된 냉각수의 현열냉각과 냉각수가 공기에 의해 증발되는 잠열냉각까지 이용한 것이다.

위와 같은 세 가지 냉각방법에 대한 효과를 평가하기 위한 실험장치의 개략도를 Fig. 4에 나타내었다. 본 연구의 실험장치는 실험영역과 전원을 공급하고 데이터를 받는 부분의 두 가지로 구분된다.

실험영역은 열전모듈, 공기유동이 흐르는 채널 2개, 냉각수를 공급하는 수조와 펌프, 고온측과 저온측에서 열을 교환하는 두 개의 열교환기로 되어 있다. 시스템이 작동할 때 흡열부 및 방열부에 공급되는 공기의 온도를 31℃로 일정하게 하기 위하여 공기온도 조절장치를 사용하였으며, 냉각수는 초기에 수조 안에 24℃의 물을 넣어 이 물을 가지고 방열부를 냉각하면서 계속 순환하도록 하였다. 열전모듈은 시중에 나와 있는 냉각열량이 70 W급인 제품(TK08127 : Thermotek)으로 선정하였다. 냉각효율의 변수로서 열전모듈의 입력전압의 영향을 실험하기 위하여 직류전원 공급장치(ESF150-13.8 : Fine Suntronix)를 이용하여, 6 V, 8 V, 10 V, 12 V 및 14 V로 변화시켜 주었으며, 공기유동은 관류팬(Cross flow fan Model FL-06036-BA : Royal Electric Co.)을 사용하여 풍량을 변화시켜 주었고, 흡열부에서 역시 같은 관류팬을 사용하여 풍량을 조절하였다. 그리고 냉각수의 유량을 조절하기 위하여 DC 펌프(Mabuchi : 24 V)를 이용하여 냉각수의 양을 조절하였

다. 열전모듈 저온측에는 열교환을 목적으로 각각 ϵ (다공도)값이 0.92인 알루미늄 발포성 재료로 만들어진 크기가 190×14×20(length×width×height)로 된 알루미늄 다공성 핀을 부착하였고, 열전모듈의 고온측에는 사각형 형태의 방열기를 부착하였다.

그밖에 열전모듈의 흡열부와 방열부, 양쪽의 입출구 온도, 냉각수의 입출구 온도를 측정하기 위해서 T type 열전대(상대온도편차 $\pm 0.1^\circ\text{C}$)를 설치하였고, 이를 데이터 처리장치(Yokogawa DR230)를 사용하여 노트북으로 데이터를 받았다. 주위의 건구온도를 측정하기 위해서 온도계(Digital Thermo-Hygrometer Model RH411 : OMEGA)를 이용하였으며, 덕트를 통과하는 풍량을 측정하기 위해서 속도계(Anemomaster Model 6112 : Kanomax)를 사용하여 평균 풍속을 측정하여 풍량을 구하였다. 덕트 내에서의 평균 풍속은 덕트 단면의 8곳을 측정하여 평균값으로 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서는 열전모듈을 이용한 소형 에어컨 개발을 위한 기초 실험으로서 가장 중요한 방열부의 냉각방법을 결정하기 위해서 공기 또는 냉각수만으로 냉각하였을 경우와 냉각수와 공기를 함께 사용한 증발냉각방법을 이용한 경우에 대하여 실험을 수행하였다. 위의 세 가지 방열부 냉각방법에 대하여 시스템의 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)의 시간에 따른 변화를 Fig. 5에 나

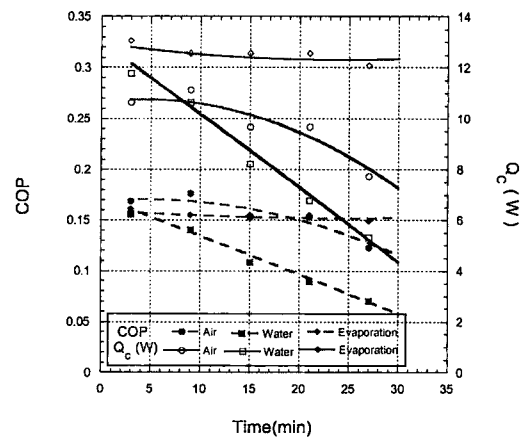


Fig. 5 Three cooling method on hot side of thermoelectric module.

타내었다. 그래프에서 나타나듯이 냉각수 또는 공기만을 가지고 방열부를 냉각하였을 경우 시간이 경과함에 따라 냉각효과가 떨어지나 두 가지 모두를 사용한 증발냉각방식을 사용하였을 경우에는 시간이 경과함에 따라 지속적인 냉각효과를 얻을 수 있었다. 이는 냉각수 또는 공기만을 가지고는 열전모듈의 방열부를 냉각시켰을 경우 방열부에서 나오는 열량을 충분히 냉각시킬 수 없기 때문이다. 이에 반하여 증발냉각방법을 사용하였을 경우, 현열로 인한 냉각 이외에 잠열인 증발냉각으로 인한 냉각이 이루어지므로 방열부를 충분히 냉각할 수 있기 때문이다. 또한 냉각수만을 사용하였을 경우, 공기만을 사용하였을 경우보다 더 빨리 냉방용량(Q_c)이 떨어지는 이유는 냉각수의 경우 순환되는 물의 온도가 초기의 온도보다 계속 증가하기 때문이다.

이 실험을 통하여 열전모듈을 이용한 에어컨을 사용하였을 경우, 방열부의 충분한 냉각이 이루어져야만 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)이 유지될 수 있음을 알 수 있다. 또한 소형 에어컨에서 현열냉각뿐만 아니라 잠열냉각을 고려하였을 경우 방열부를 충분히 냉각시켜 원하는 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)을 유지할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 본 연구에서는 열전모듈의 방열부를 공기와 냉각수 두 가지를 모두 이용한 증발냉각방식을 채택하여, 정상상태를 유지시킨 후 열전모듈의 입력전압, 냉각수량, 냉각풍량, 그리고 흡열부의 풍량조절에 따른 냉동기

의 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)의 변화를 규명하였다.

우선 열전모듈에 공급되는 전압에 따른 에어컨의 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)의 변화를 알아보기 위해서 방열부를 $0.33 \text{ m}^3/\text{min}$ 의 공기와 $1.14 \text{ L}/\text{min}$ 의 냉각수로 냉각시키는 증발냉각 조건하에서 열전모듈에 들어가는 입력전압을 변화시켜 주었다. Fig. 6에서와 같이 입력전압이 증가할수록 냉방용량(Q_c)이 증가하는데 반하여 성능계수(COP)는 감소하는 경향을 볼 수 있다. 냉방용량(Q_c)은 펠티어(Peltier) 효과에 의해 증가하다가 주울(Joule) 효과에 의해 감소한다. 이는 열전모듈에 공급되는 직류전압이 전자냉각모듈의 냉각효과에 직접적으로 연관되어 있음을 알 수 있으며, 성능계수(COP) 역시 냉방용량(Q_c) 감소에 따라 낮아지게 된다. 또한 공급전압이 높을 경우 흡열부의 흡열량이 증가함에 따라 방열부의 방열량도 그만큼 커지므로 방열부의 효과적인 냉각이 필요함을 알 수 있다.

효과적인 방열부의 냉각방법을 제시하기 위하여 냉각수량과 풍량을 변화시켜 실험을 수행하였다. 냉각수에 의한 방열부 냉각효과를 알아보기 위하여 열전모듈의 방열부에 $0.33 \text{ m}^3/\text{min}$ 공기를 공급하면서 냉각수량을 변화시켜 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 유량이 증가함에 따라 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)이 증가하다가 최대값을 가진 후 감소하

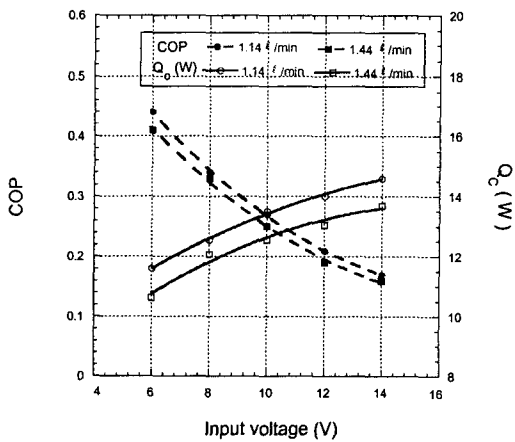


Fig. 6 Effect of the input voltage on the system performance.

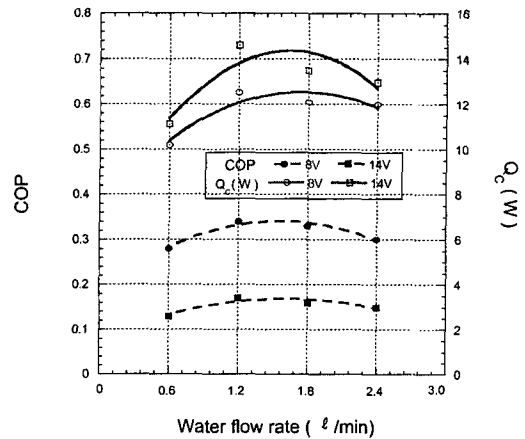


Fig. 7 Effect of the water flow rate at hot side on the system performance.

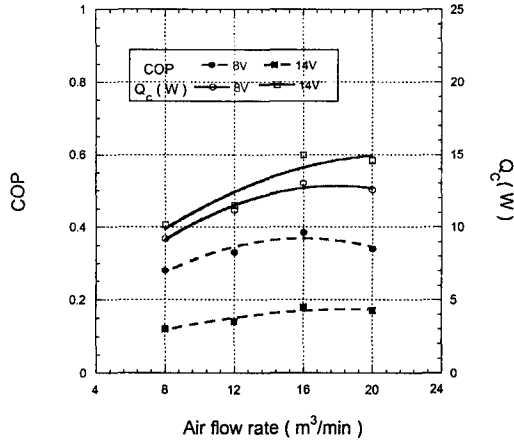


Fig. 8 Effect of the air flow rate at hot side on the system performance.

는 것을 볼 수 있다. 이는 물의 유량이 증가할수록 처음에는 대류열전달이 증가하여 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)이 증가하지만, 1.2L/min 이상이 되면 수막의 두께가 커져 열저항이 증가하므로, 결국 방열효과를 감소시켜 냉방용량(Q_c)을 감소시키게 된다. 또한 유량증가로 인한 펌프의 동력이 증가하므로 성능계수(COP) 역시 감소하게 된다. 또한 공기량을 변화시켜 주었을 경우 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)의 변화를 알아보기 위해서 열전모듈의 방열부에 1.14L/min 냉각수를 공급하면서 공기량을 변화시켜 Fig. 8과 같은 결과를 얻었다. 공기량을 증가하였을 경우 성능계수(COP)는 증가하다가 16 m³/min 이상이 되면 감소하는 것을 볼 수 있으며, 냉방용량(Q_c)은 증가하다가 공기의 유량이 16 m³/min 이상이 되면 포화상태에 이른다. 이는 공기의 유량이 증가할수록 대류열전달의 증가로 인하여 냉방용량(Q_c)이 증가하다가 16 m³/min 이상이 되면 열전모듈의 흡열부로부터 얻을 수 있는 냉열이 포화상태가 되기 때문이며, 이에 반하여 팬에 들어가는 동력은 증가하므로 성능계수(COP)는 떨어지게 된다.

흡열부에서 풍량의 변화에 따른 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)의 변화를 알아보기 위해서 8 V 전압의 일정공급하에 열전모듈의 방열부를 0.33 m³/min 공기와 1.14 L/min 냉각수로 냉각시키는 조건하에 흡열부에서 풍량을 변화시켰다.

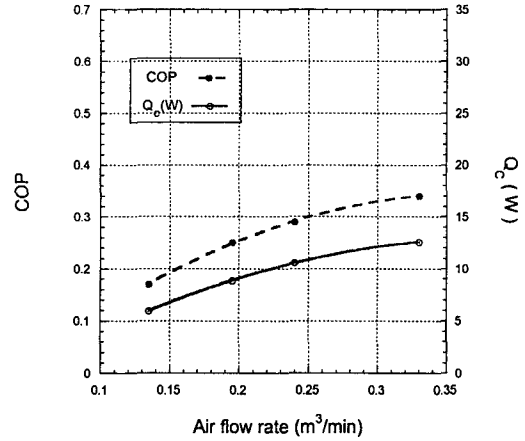


Fig. 9 Effect of the air flow rate at cold side on the system performance.

그에 대한 결과는 Fig. 9에서와 같이 풍량이 증가함에 따라 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)이 함께 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 풍량이 증가함에 따라 냉방용량(Q_c)이 커지는 것이고, 성능계수(COP)가 증가하는 것은 냉방용량(Q_c)의 증가량이 팬의 동력(P_p)의 증가량보다 크기 때문이다.

위의 실험결과로부터 소형에어컨 제작시 지속적인 성능을 얻기 위해서는 열전모듈의 방열부에 대한 냉각방법이 중요한 문제임을 알 수 있다. 또한 방열부 냉각방법과 조건들에 따라서 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)이 변화한다는 것을 알 수 있다. 즉, 가장 최적의 냉각조건과 방법을 선정하면 열전모듈을 이용한 에어컨을 효율적으로 이용할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 열전모듈을 이용한 소형 에어컨의 성능을 유지시키기 위하여 가장 문제점이 되고 있는 방열부의 냉각방법에 대한 실험을 수행하였다. 먼저 공기 또는 냉각수를 이용하여 방열부를 냉각하는 현열냉각방법과 공기와 냉각수를 함께 사용하는 증발냉각방법에 대해 열전모듈을 이용한 에어컨 시스템의 성능에 미치는 영향을 규명하였다. 공기 또는 냉각수를 이용하여 열전모듈의 방열부를 냉각할 경우에는 시간에 따른

지속적인 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)을 얻을 수 없었으나 공기와 냉각수를 같이 사용한 증발냉각방법에서는 현열 이외에 잠열에 의한 냉각 효과로 인하여 지속적인 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)을 얻을 수 있었다.

이러한 증발냉각방법하에 열전모듈의 입력전압과 풍량, 냉각수량을 변화시켜 그에 따른 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)을 실험하였다. 열전모듈의 입력전압이 증가함에 따라 냉방용량(Q_c)은 증가하는데 반하여 성능계수(COP)는 감소하였다. 냉각수량이 증가함에 따라 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)은 증가하다가 1.2 L/min 이상이 되면 감소하였으며, 풍량을 증가함에 따라 성능계수(COP)는 증가하다가 16 m³/min 이상이 되면 감소하는데 반하여 냉방용량(Q_c)은 증가하다가 16 m³/min 이상이 되면 포화상태가 되었다. 즉, 적절한 공기와 냉각수량이 공급되었을 때 시스템의 성능계수(COP)와 냉방용량(Q_c)이 최적의 값을 유지함을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업(기계설비요소기술개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

참고문헌

1. Solomon, M., 1998, Determination of TE Module Parameters, 18th International Conference on Thermoelectrics, pp. 519-524.
2. Miner, Andrew and Majumdar, Arun, 1999, Thermo-Electro Mechanical Refrigeration Based on Transient Thermoelectric Effects, Proceedings of the 18th international Conference on Thermo-electrics, pp. 27-30.
3. Huang, B. J. and Duang, C. L., 2000, System Dynamic Model and Temperature Control of a Thermoelectric Cooler, Int. J. Refrigeration, Vol. 23, pp. 197-207.
4. Huang, B. J., Duang, C. L. and Chin, C. J., 2000, A design method of thermoelectric cooler, Int. J. Refrigeration, Vol. 23, pp. 208-218.
5. Attey, 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.
6. Ro, S. T. and Seo, J. S., 1990, Principle of Thermoelectric Refrigeration and System Design, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 19, No. 3, pp. 135-145.