평행유동에서 공랭식 열전모듈 냉각시스템의 성능에 관한 연구

강 상 우†, 신 재 훈*, 한 훈 식*, 김 서 영
한국과학기술연구원 에너지메카닉스센터, *한국과학기술원 기계공학과

A Study on Performance of Thermoelectric Air-Cooling System in Parallel Flow

Sarng Woo Karng†, Jae-Hoon Shin*, Hun Sik Han*, Seo Young Kim
Energy Mechanics Center, KIST, Seoul 136-791, Korea
**Division of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea*

(Received February 25, 2011; revision received May 9, 2011)

ABSTRACT: Experimental and theoretical studies on cooling performance of two-channel thermoelectric air-cooling system in parallel flow are conducted. The effects of operating temperature to physical properties of thermoelectric module (TEM) are experimentally examined and used in the analysis of an air-cooling system considering thermal network and energy balance. The theoretical predicted temperature variation and cooling capacity are in good agreement with measured data, thereby validating analytic model. The heat absorbed rate increases with increasing the voltage input and decreasing thermal resistance of the system. The power consumption of TEM is linearly proportional to mean temperature differences due to variations of the physical properties on operation temperature of TEM. Furthermore thermal resistance of hot side has greater effects on cooling performance than that of cold side.

Key words: Thermoelectric module(열전모듈), Thermal resistance(열저항), COP(성능계수), Cooling capacity(흡열량), Impinging flow(충돌유동)

기 호 설 명

A_{eff} : 히트싱크 총괄 열전달 면적 [m^2]
A : 히트싱크 기저부 면적 [m^2]
COP : 성능계수
c_p : 정압 비열 [J/kgK]
h : 대류열전달계수 [W/m^2K]
I : 입력전류 [A]
k_s : 히트싱크 열전도계수 [W/mK]
K_t : 열 컨덕턴스 [W/K]
$\dot{m}$: 질량 유량 [kg/s]
P_e : 입력전력 [W]
Q : 공기 체적유량 [m^3/s]
q_c : 흡열량 [W]
q_h : 발열량 [W]
R : 열전모듈 전기저항 [Ω]
R_{base} : 히트싱크 기저부 전도열저항 [K/W]
R_{conv} : 대류열저항 [K/W]
R_{cont} : 접촉열저항 [K/W]
R_{th} : 열저항, $R_{th} \equiv R_{conv} + R_{base} + R_{cont}$ [K/W]
$R_{th,c}$: 열전모듈 저온부 열저항 [K/W]

† Corresponding author
Tel.: +82-2-958-5680; fax: +82-2-958-5689
E-mail address: libra@kist.re.kr

$R_{th,h}$: 열전모듈 고온부 열저항 [K/W]
T_c : 열전모듈 저온부 표면온도 [℃]
$T_{c,out}$: 열전모듈 저온부측 출구 공기온도 [℃]
T_h : 열전모듈 고온부 표면온도 [℃]
$T_{h,out}$: 열전모듈 고온부측 출구 공기온도 [℃]
T_{in} : 입구 공기온도 [℃]
T_m : 열전모듈 작동온도, $T_m \equiv \frac{T_h + T_c}{2}$ [℃]
V : 입력전압 [V]
Z : 열전모듈 성능지수 [K^{-1}]

그리스 문자

α : 열전모듈 지벡(Seebeck) 계수 [V/K]
ΔT : 열전모듈 표면온도차, $\Delta T \equiv T_h + T_c$ [℃]

1. 서 론

전류의 극성에 따라 열을 흡수, 방출하는 열전모듈을 이용한 냉각시스템은 기존의 냉각방식과 비교시 기계적 구동부분이 요구되지 않으므로 저진동, 저소음의 특징을 가지며, 시스템의 소형화 및 경량화를 가능하게 한다. 또한 정밀한 온도제어가 가능하고, 냉매를 사용하지 않는 친환경 기술로서 최근 전세계적으로 환경오염 문제가 대두됨에 따라서 전자냉각 및 소형냉각기, 항공우주, 반도체 제조와 의료기술에 이르기까지 응용분야에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.[1~5]

열전모듈은 에너지 변환 재료인 열전반도체를 기본 소재로 한 칩형 냉각소재로서 전자가 부족한 P-형 반도체와 초과전자를 가진 N-형 반도체로 구성된다. 이 두 반도체는 전기적 직렬, 열적 병렬로 쌍을 이루어 연결되어 있으며 직류전원을 공급할 경우, 서로 다른 반도체에서 같은 방향으로 전자가 열을 이동시킴으로써 저온부에서는 흡열 현상이 일어나고, 고온부 표면에서는 열이 방출된다. 이러한 열전모듈의 흡열 현상을 이용한 냉각방식은 각종 전자장비 냉각기술 및 시스템 개발 등에 적용 가능하지만 시스템 효율이 종래의 압축식보다 낮으며 가격 경쟁력의 약점으로 인하여 실용화에 제약을 받고 있다. 이에 따라 최근에는 재료와 제조 기술 등의 열전모듈 자체의 성능 향상 및 냉각시스템 최적화에 대한 연구의 중요성이 부각되고 있다.

Lineykin and Ben-Yaakov[6, 7]는 열전모듈의 상용화를 위하여 기본적 열전달 현상을 통한 시스템의 일차원 모델링을 제안함으로써 많은 연구의 기초가 되었다. 또한 충돌유동(impinging flow)에서의 공랭 실험을 통하여 열전모듈 제조사의 정보와 열전모듈 물성치에 대한 상관식을 제안하였다. Min and Rowe[8]는 열전모듈 시스템에서 대류 및 복사 열전달 현상에 대한 수치해석적 연구를 수행하였고, Gorodetskiy[9]와 Solomon[10]은 열전모듈의 재료와 형상, 구조 등이 열전모듈의 성능에 미치는 영향을 규명하였다. Xuan et al.[11]은 피라미드형과 입방형으로 적층시킨 한정된 열전모듈 내에서 최대의 냉각성능을 낼 수 있는 최적배열과 입력전류에 대하여 연구하였고, Atteny[12]는 열전모듈의 발열부의 냉각을 통한 성능 변화를 관찰하였다. 앞서 언급한 열전모듈 시스템의 기본적 구조 및 열전모듈 자체에 대한 연구와 더불어 냉각성능 향상을 위한 시스템 개선에 대한 연구도 이루어져 왔다. Huang et al.[13]은 수냉 실험을 통하여 충돌유동에서의 최적설계 변수로 히트싱크의 열저항을 적용, 경제적 최적화에 대한 연구를 수행하였으며, Yamanashi[14]는 시스템의 열적 네트워크 분석을 제안하며, 냉각성능의 변화를 수치적으로 규명하였다. Chein and Chen[15]은 수냉식 냉각시스템 실험을 통하여 냉각유체의 유량의 변화에 따른 냉각성능을 관찰하였으며, 열전모듈 시스템의 성능계수가 최대가 되는 최적입력전압이 존재함을 보였다. Lee and Kim[16]은 열전모듈의 표면온도차가 감소함에 따라 시스템 효율이 상승함을 3D 모델의 수치해석을 통하여 확인하였으며, Luo et al.[17]은 열부하와 성능계수의 상관관계에 대한 연구를 수행하였다.

현재까지 열전모듈 냉각시스템에 대한 위의 연구들은 열전모듈의 흡열부만을 고려한 수냉식 냉각시스템 또는 충돌유동에 대하여 국한되어 수행되었으나, 평행유동에서 단일 열전모듈의 2-유로 시스템 성능연구 및 송풍기와 히트싱크를 포함한 통합시스템 최적화는 아직까지 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 평행 유동에서 단일 열전모듈을 이용한 공랭식 냉각시스템의 냉각성능을 실험과 해석을 통하여 관찰하고 통합시스템 상용화 및 최적화를 위한 해석모델을 제안하고자 한다. 그리고 해석모델을 바탕으로 시스템의 작동온도와 열저항을 포함한 냉각성능에 영향을 미치는 여러 인자들에 대해 알아보고자 한다.

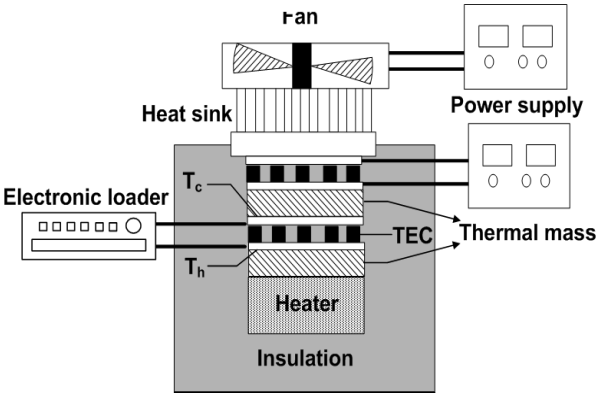


Fig. 1 Experimental setup of physical properties.

2. 실 험

본 실험의 모든 온도측정은 T-type 열전대를 사용하였고, 자료획득장치(Yokogawa, DA-100)를 통하여 컴퓨터에 저장하였다.

2.1 열전모듈 물성치 측정실험

열전모듈의 냉각성능은 지벡 계수, α, 열 컨덕턴스, K_t, 전기저항, R인 물리적 특성에 좌우된다. 일반적으로 열전모듈 제조사가 제공하는 물성치 정보는 제한적이며, 제조과정에서의 변형 등의 이유로 오차가 존재한다. 따라서 본 연구에서 이를 고려하여 작동온도에 따른 열전모듈의 물성치 측정실험을 수행하였으며, 측정결과를 이용하여 열전발전의 원리로부터 물성치를 산정하고자 하였다. Fig. 1에 도시한 바와 같이 물성치 측정 실험장치는 온도제어가 가능한 고온부와 저온부, 열전모듈의 발전부 및 실험결과 측정을 위한 계측부로 구성된다. 열전모듈의 고온부는 40×40 mm^2 크기의 필름히터를 설치하여 온도를 조절하였으며, 저온부의 온도제어를 위해 발전부와 동일한 열전모듈과 히트싱크 및 이를 냉각시키기 위한 직류전원 팬을 설치하였다. 전 시험부를 단열시켜 열손실을 최소화하였으며 전기부하기(KIKUSUI PLZ334W)를 사용하여 개회로 출력전압과 전류를 측정하였다. 열전모듈 고온부와 저온부의 작동온도의 측정을 위하여 열전모듈 양단에 인접하여 설치한 두랄루민 블록 중앙에 홈을 가공하고 열전대를 삽입하였고, 접촉부위에 열 그리스(thermal grease)를 도포하여 접촉열저항을 최소화하였다. 히터의 입력전압을 증가시키면서 열전모듈의 저온부 및 고온부 온도를 설정온도의 ±0.1℃ 이내로 제어하였다.

열전모듈의 발전 성능은 다음과 같이 정의되며 이로부터 물성치를 실험적으로 산정할 수 있다.[6]

$$V = \alpha \Delta T - IR \tag{1}$$

$$Z = \frac{\alpha^2}{K_t R} \tag{2}$$

$$q_h = \alpha I T_h + K_t \Delta T - 0.5 I^2 R \tag{3}$$

무부하 상태($I=0$)시 발생하는 전압, V와 열전모듈 양단 온도차, ΔT를 이용하여 지벡계수를 구하였고, 이로부터 각 발생전류마다 전압을 측정하여 전기저항을 산정하였다. 또한 Z-meter(RMT Ltd. DX4065 Series)를 사용하여 측정한 열전모듈의 성능지수, Z로부터 열 컨덕턴스, K_t를 계산할 수 있다.

측정실험은 히터와 냉각용 열전모듈의 입력전압을 변화시켜 새로운 실험조건에서 온도가 충분히 정상상태에 도달한 후(약 50분 후) 자료를 획득하였다. 이후 다른 조건의 실험을 수행하기 전 충분한 시간을 두어 온도가 초기의 정상상태로 복귀하도록 하였으며, 다양한 온도조건에서의 실험을 통해 작동온도, T_m가 물성치에 미치는 영향을 규명하였다.

2.2 공랭식 열전모듈 시스템 냉각실험

2-유로 내 평행 유동에서 단일모듈로 구성된 열전모듈 냉각시스템의 성능에 대한 실험적 연구를 수행하였으며, Fig. 2에 실험장치의 개략도를 나타내었다. 시험부인 사각형 유로는 두께가 5 mm인 plexiglass

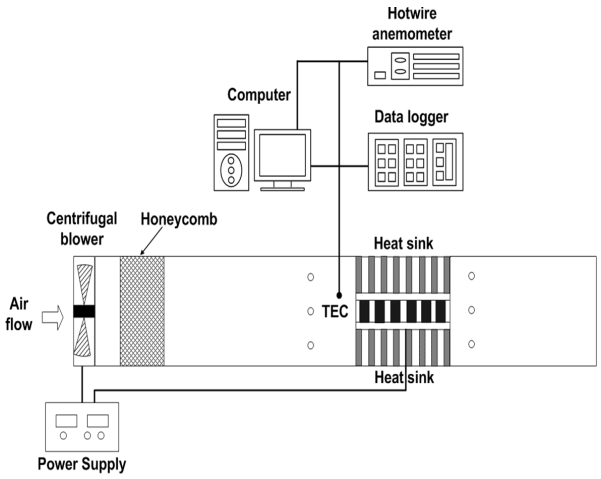


Fig. 2 Experimental setup of a thermoelectric air-cooling system.

를 이용하여 폭 55 mm, 높이 50 mm, 길이 600 mm로 구성하였으며, 단열재를 이용하여 외부로의 열손실을 최소화하였다. 유로 내부 열전모듈의 앞부분은 단일 유로로 이루어지며 송풍기(NMB, BG0903B047)를 설치하여 공기 유동을 공급하였다. 열전모듈의 뒷부분은 동일면적의 흡열부와 발열부를 각각의 유로(2-유로)로 분리시켰으며, 유로의 끝부분은 대기로 개방시켰다. 직류 전원공급기(Agilent, E3634A)를 통해 송풍기의 유량과 열전모듈의 전원을 제어하였으며, 유로의 상류부에 허니콤과 스크린 망을 설치하여 입구공기 유동의 균일하게 유지하였고 속도측정장비(Dantec SteamLine® System)로 확인하였다.

열전모듈의 고온부 및 저온부 표면에는 크기 40×40×13 mm^3의 구리 재질 평판핀 히트싱크를 부착하여 공기와의 열교환을 촉진시켰으며 부착 후 단열성과 내열성을 고려, 발포단열재를 사용하여 외부로의 열손실을 최소화하였다. 그리고 열전모듈과 히트싱크 사이에 열 그리스를 도포하여 접촉열저항을 최소화하였다.

열전모듈 양단의 히트싱크 기저부에 홈을 가공하고 열전대를 설치하여 표면 온도를 측정하였으며, 시험부의 입구와 고온부 및 저온부 출구에는 스테인리스 지지대를 이용하여 각각 6개씩의 열전대를 설치하여 온도를 측정하였고, 자료획득 장치를 통하여 컴퓨터에 저장 후 평균온도를 산정하였다. 평행 유로를 통과하는 공기의 유량을 측정하기 위해 속도측정 장치를 사용하여 공기 입구부와 열전모듈 고온부 및 저온부 출구에서 평균 속도를 측정하였다. 이때 공기의 평균 속도는 단면의 15곳을 측정하여 평균값으로 계산하였으며, 유로 단면적의 곱으로써 공기의 체적유량을 산정하였다.

실험은 공기의 유량 및 열전모듈의 입력전압을 변화시켜 새로운 실험조건에서 온도 및 유동장이 충분히 정상상태에 도달한 후(약 30분 후) 자료를 획득하였다. 이후 다른 조건의 실험을 수행하기 전 충분한 시간을 두어 온도 및 유동장이 초기 상태로 복귀하도록 하였다.

열전모듈의 냉각특성을 고찰하기 위한 흡열량, q_c, 발열량, q_h, 성능계수, COP는 다음과 같다.

$$q_h = \dot{m}c_p(T_{h,out} - T_{in}) \tag{4}$$

$$q_c = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{c,out}) \tag{5}$$

$$\mathrm{COP} = \frac{q_c}{P_e} \tag{6}$$

여기서 $\dot{m}$, c_p, T_{in}, $T_{c,out}$, $T_{h,out}$는 각각 작동유체인 공기의 질량유량, 정압비열, 입구공기 온도, 저온부 출구온도 및 고온부 출구온도이며, P_e는 열전모듈에 공급되는 전력을 나타낸다. 열전모듈 냉각시스템의 냉각성능 분석하기 위하여 정상상태까지 출구온도의 변화를 측정하였으며, 성능계수는 입력전력에 대한 흡열량의 비로 나타내었다.

열전모듈시스템 설계의 중요인자인 열저항은 다음과 같이 정의된다.

$$R_{th} \equiv \frac{T_{in} - T_c}{q_c} \tag{7}$$

해석모델의 완성을 위해 Saini와 Webb[19]의 상관식으로부터 구한 열저항을 실제 실험값과 비교하였으며, 흡열량에 대한 입구공기와 저온부 표면의 온도차로부터 열저항을 구할 수 있다.

3. 열전모듈의 냉각시스템 해석

열전모듈은 Seebeck, Peltier, Joule heating 그리고 Thomson의 열전현상이 동시에 발생하여 구동된다. 그러나 Thomson 효과는 상대적으로 매우 작으므로 무시할 수 있기 때문에 열전모듈의 냉각성능은 다음과 같이 계산할 수 있다.[6]

$$V = \alpha(T_h - T_c) + IR \tag{8}$$

$$P_e = \alpha I(T_h - T_c) + I^2R \tag{9}$$

$$q_c = \alpha I T_c - K_t(T_h - T_c) - 0.5I^2R \tag{10}$$

$$q_h = \alpha I T_h - K_t(T_h - T_c) + 0.5I^2R \tag{11}$$

Fig. 3과 같이 열전모듈 냉각시스템은 열전모듈과 흡열부, 발열부 2개의 히트싱크로 구성된다. 열전모듈 흡열부의 히트싱크를 통과한 공기는 냉각되며, 발열부의 유입공기는 가열되어 토출된다. 이때 열전모듈의 표면온도와 냉각성능은 시스템의 열저항에 의존하며, 그 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

열전모듈 냉각시스템의 열적 회로도를 Fig. 4에

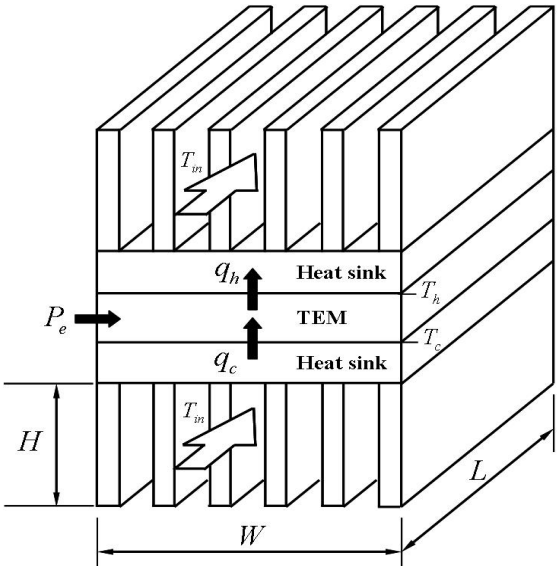


Fig. 3 Schematic of the thermoelectric system.

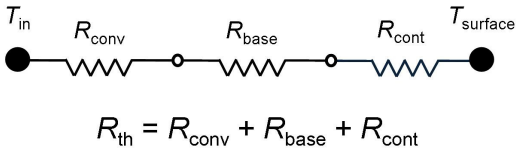


Fig. 4 Analogy network of thermal resistances.

나타내었으며, 시스템의 총 열저항은 다음과 같이 대류열저항, 히트싱크 기저부의 전도열저항 및 접촉열저항의 합으로 나타낼 수 있다.

$$R_{th} = R_{conv} + R_{base} + R_{cont} \tag{12}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_{eff}} \tag{13}$$

$$R_{base} = \frac{L}{k_s A} \tag{14}$$

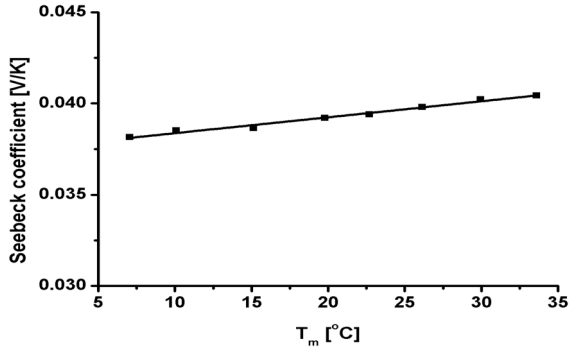
통합시스템 해석모델의 도출을 위하여 평행유동에서 평판핀의 대류열저항은 Saini and Webb[19]이 제안한 j-factor 상관식을 이용하여 구할 수 있으며, 전도 열저항은 평판핀의 형상으로부터 계산할 수 있다. 그리고 접촉 열저항은 상용화된 열 그리스의 열저항($R_{cont} = 0.03$ K/W)을 적용하였으며, 히트싱크의 기저부 표면적과 열전모듈의 표면적이 같으므로 확산 열저항은 무시하였다.[5]

열전모듈 물성치 실험을 통하여 측정한 데이터를 시스템 해석에 사용하였으며, 수치해는 하향이완 반복법을 이용하여 모든 변수들의 상대 변화율이 10^{-6} 이하일 때까지 계산을 수행하였다.

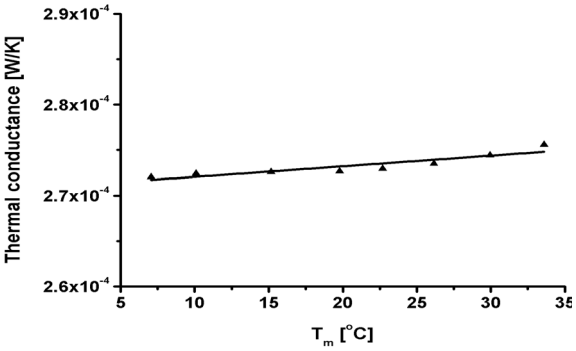
4. 결과 및 고찰

4.1 열전모듈 물성치 실험결과

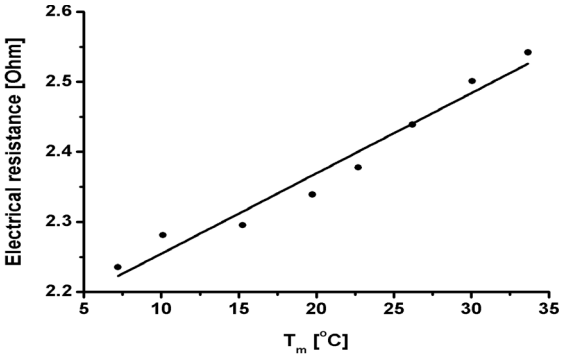
작동온도에 따른 열전모듈의 물성치 지벡 계수와 열 컨덕턴스, 그리고 전기저항의 변화를 Fig. 5에 도시하였다. 열전모듈의 물성치 모두 작동온도에 따라 증가하며, 이로부터 작동온도가 열전모듈의 성능에 주요한 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다. 물성치는 다음과 같이 온도의 1차 함수로 나타낼 수 있으며, 측정결과를 이용하여 냉각시스템의 해석을 수행하였다.



(a) Seebeck coefficient



(b) Thermal conductance



(c) Electrical resistance

Fig. 5 Physical properties of TED.

$$\alpha = 8.76 \times 10^{-3} T_m + 0.037 \quad (15)$$

$$K_t = 1.30 \times 10^{-5} T_m + 0.271 \quad (16)$$

$$R = 0.012 T_m + 2.140 \quad (17)$$

4.2 열전모듈 냉각시스템 냉각실험 결과

공기유량과 열전모듈의 입력전압에 따른 열저항의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 열저항은 유량이 증가함에 따라 감소하지만, 입력전압에 따른 열저항의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 이는 유량이 증가함에 따라서 대류에 의한 열전달이 향상되기 때문이다. 즉, 같은 유량에서의 열저항은 열전모듈의 입력전압에 관계없이 일정하다.[5]

유량에 따른 열전모듈 시스템의 냉각성능을 Fig. 7에 나타내었다. 동일한 입력전압에서 유량이 증가함에 따라 열전모듈의 흡열량과 성능계수 모두 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 유량의 증가로 인한 시스템의 열저항 감소로 냉각성능이 향상됨을 나타낸다. 입력전압이 증가함에 따라서 흡열량은 점차 증가하여 최대점이 나타난 후 다시 감소하며, 이로부터 냉각성능이 최대인 최적 입력전압이 존재함을 알 수 있다.

해석모델의 타당성은 열전모듈 시스템의 실험결과를 이용하여 검증하였다. 열전모듈 냉각시스템 해석시, 물성치 측정실험 결과를 적용하여 수행하였으며, 정상상태 실험결과와 비교한 결과를 Fig. 8, Fig. 9에 나타내었다. Fig. 8은 같은 유량에서 열전모듈 시스템 냉각성능의 실험데이터와 해석 결과에 대한 비교를 나타낸 것으로서, 두 결과가 거의 일치하고 있으며 이로부터 열전모듈 냉각시스템의 해석 결과의 타당성을 검증할 수 있다.

열전모듈의 표면온도를 측정한 결과와 해석적 결

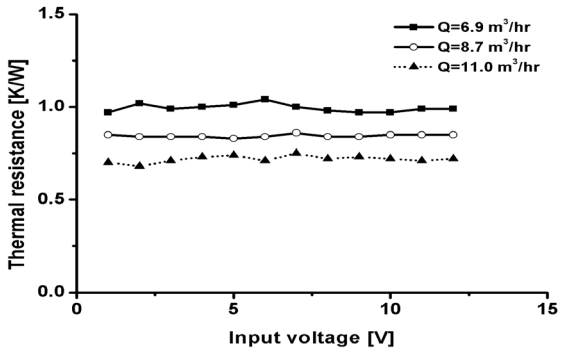
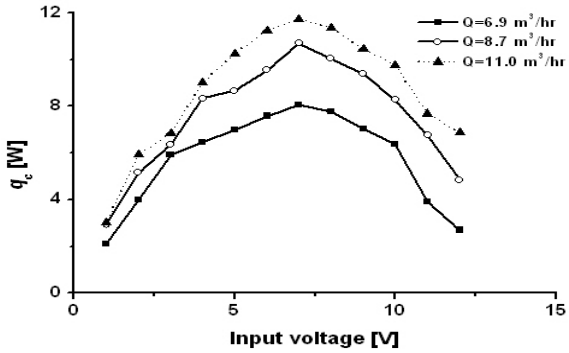
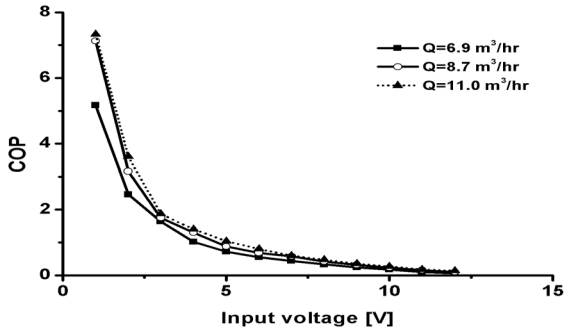


Fig. 6 Thermal resistances according to flow rates.

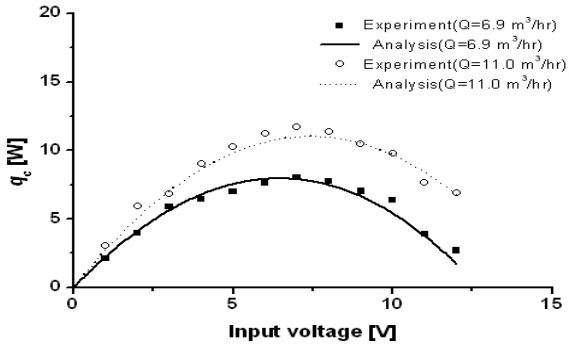


(a) Heat absorbed rate

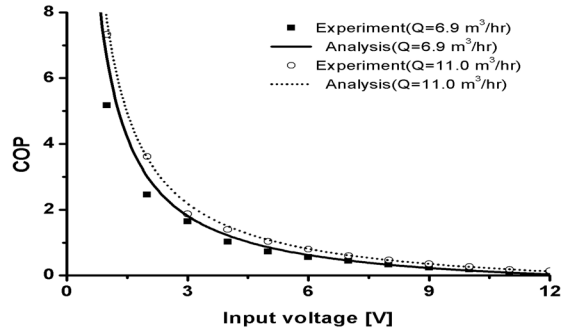


(b) Coefficient of performance

Fig. 7 Cooling performance of the thermo-electric air-cooling system.



(a) Heat absorbed rate



(b) Coefficient of performance

Fig. 8 Comparison of the cooling performances between experiment and analysis.

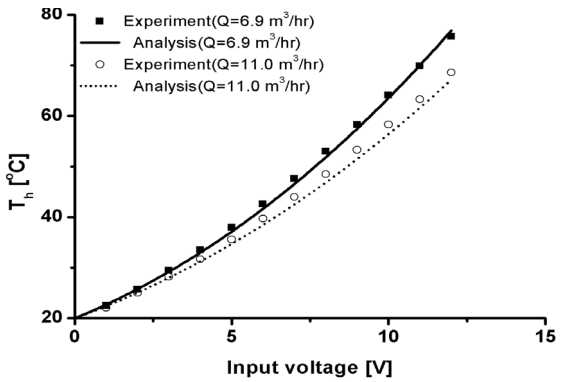
과를 Fig. 9에 비교한 결과, 오차 범위 10% 이내로 일치하였다.

Table 1에 시스템 열저항의 수치해석 및 실험결과의 비교를 나타내었다. 해석모델을 통한 계산은 Saini and Webb[19]이 제시한 상관식을 이용하였으며, 각 유량에 따른 열저항 모두 9% 이하의 상대오차를 나타냄으로써 해석 및 냉각실험의 신뢰성을 확인할 수 있다.

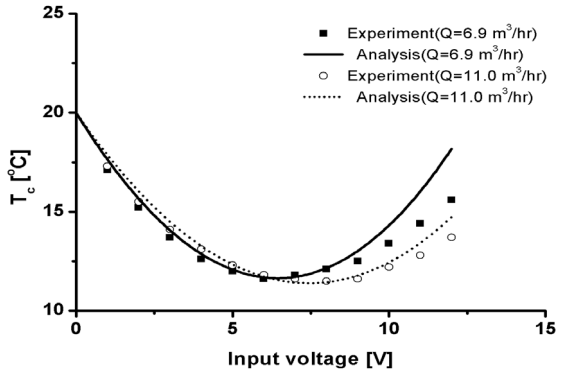
앞서 제시한 열전모듈 냉각시스템의 해석 모델을 바탕으로 열저항 값을 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 그리고 0.9 K/W까지 증가시키면서 열저항의 변화가 시스템에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

Table 1 Comparison of thermal resistances between experiment and analysis

flow rate	experiment	analysis	error
6.9 m^3/s	0.994 K/W	0.915 K/W	8.6%
8.7 m^3/s	0.844 K/W	0.805 K/W	4.8%
11.0 m^3/s	0.718 K/W	0.725 K/W	1.0%



(a) Variations of hot side temperature

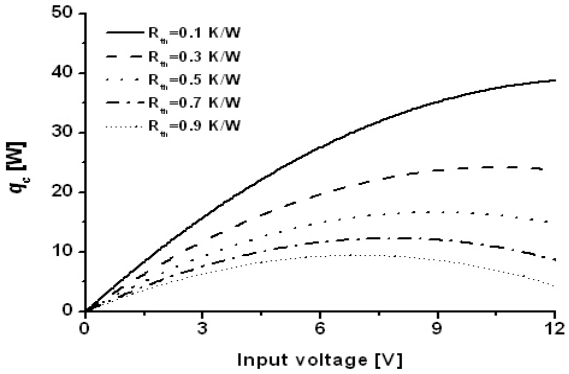


(b) Variations of cold side temperature

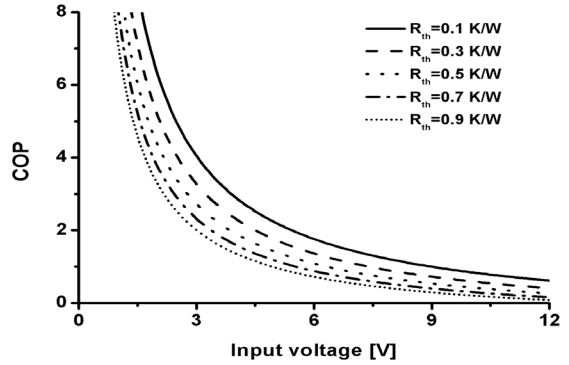
Fig. 9 Comparison of the surface temperatures between experiment and analysis.

4.3 열전모듈 냉각시스템 해석 결과

Fig. 10은 입력전압과 열저항에 따른 열전모듈 시스템의 냉각성능을 나타낸다. 같은 입력전압에서 열저항이 감소함에 따라 흡열량과 성능계수 모두 증가하여 냉각성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 시스템의 총 열저항은 히트싱크의 대류열저항과 히트싱크 기저부의 전도 열저항, 그리고 접촉열저항으



(a) Heat absorbed rate



(b) Coefficient of performance

Fig. 10 Cooling performance according to thermal resistance and input voltage.

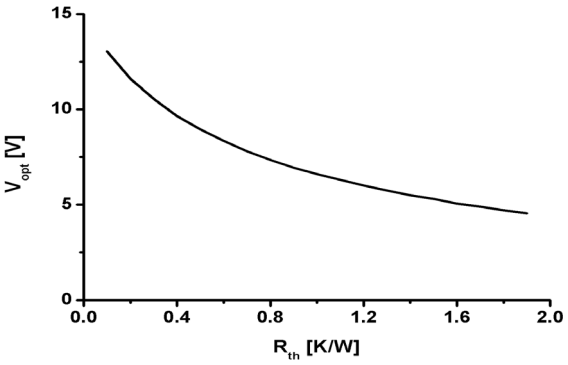
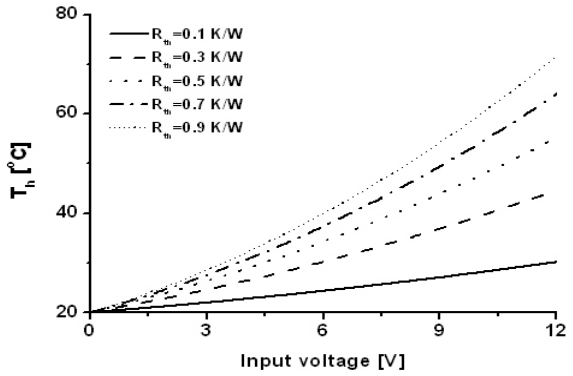


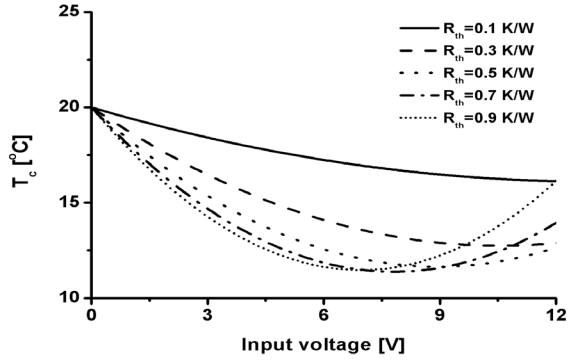
Fig. 11 Optimum input voltage according to thermal resistance.

로 구성되며, 이중 전도열저항과 접촉열저항은 실험조건 변화의 영향을 거의 받지 않으므로 대류열저항이 냉각성능 향상의 지배적인 인자임을 알 수 있다. 그리고 각 열저항마다 흡열량이 최대가 되는 최적입력전압이 존재하는 것을 알 수 있으며, 열저항이 증가할수록 최적입력전압은 감소함을 Fig. 11로부터 확인할 수 있다. 입력전압이 증가함에 따라 흡열량은 증가하여 최적입력전압에서 최대가 된 후 감소하는 반면, 성능계수는 입력전압이 증가할수록 감소하고 있다.

열저항과 입력전압에 따른 열전모듈의 고온부, 저온부 표면온도 변화를 Fig. 12에 나타내었다. 입력전압과 열저항이 증가하게 되면 발열량의 증가 때문에 열전모듈 고온부 온도의 상승으로 이어지는 것을 Fig. 12(a)에 나타내었다. 또한 각 열저항의 저온부 온도는 입력전압이 증가함에 따라 점차 감소하여 최적입력전압에서 최소가 된 후 다시 증가하는 것을 Fig. 12(b)에 나타내었다. Fig. 10(a)에 나타난 결과와 같이 입력전압이 증가함에 따라 열전모듈의 흡열량도 증가하기 때문에 저온부 온도는



(a) Hot side surface temperature



(b) Cold side surface temperature

Fig. 12 Surface temperature variations of the thermoelectric module.

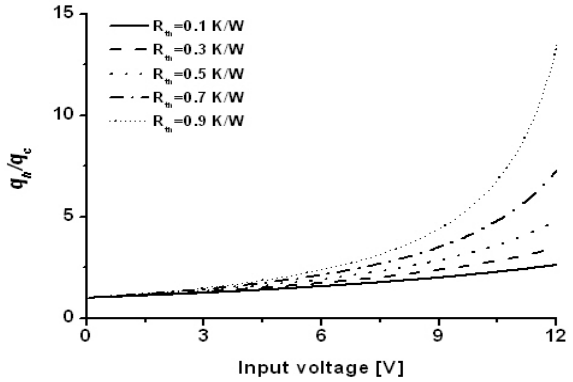


Fig. 13 Ratio of heat dissipated rate and heat absorbed rate.

낮아지며, 최적입력전압 이후에는 흡열량의 감소로 인해 저온부 온도는 다시 상승함을 알 수 있다. 그리고 고온부 온도와 달리 저온부 온도에서는 열저항 사이의 온도역전 현상을 볼 수 있으며, 이는 최적입력전압 부근에서 일어나고 있다. 이러한 저온부 온도의 역전현상은 열저항마다 각기 다른 최적입력전압을 가지고 있으며, 그 부분에서 흡열량 차이도 최대가 되기 때문이다. 위의 해석결과를 통하여 시스템 열저항의 증가에 따른 열전모듈 양단의 온도차 ΔT의 상승으로 인해 냉각성능이 낮아지는 것을 확인하였으며, 이는 Astrain et al.[18]의 결과와 잘 일치하고 있다.

열전모듈 시스템의 흡열성능에 대한 발열량의 비를 Fig. 13에 나타내었으며, 입력전압과 열저항이 증가할수록 시스템은 냉각성능보다는 발열성능이 높아지는 것을 알 수 있다. 이를 통해 시스템의 냉각성능 향상을 위한 히트싱크의 최적설계 및 적정 운전조건의 예상이 필수적으로 고려되어야 함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 실험 및 해석을 통하여 평행유동에서 2-유로 공랭식 열전모듈 냉각시스템의 냉각성능에 관한 연구를 수행하였으며, 열저항과 작동온도가 열전모듈의 냉각성능에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

(1) 열전발전 원리를 이용하여 열전모듈의 물성치 측정 실험을 수행하였으며, 이를 통해 작동온도의 영향을 확인하였다. 물성치 측정결과를 이용하여 열전모듈 시스템의 냉각성능을 정확하게 예측할 수 있는 모델을 제시하였으며, 해석결과를 실험데

이터와 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

(2) 작동온도의 상승에 따라 열전모듈의 물성치 또한 온도의 1차 함수로서 선형적으로 증가함을 보였으며, 이는 작동온도가 열전모듈의 성능에 지배적인 인자로 작용하는 것을 보여준다.

(3) 열전모듈 냉각시스템에서 동일한 입력전압 인가시 열저항의 감소에 따라 열전모듈의 냉각성능이 향상되는 것을 해석 모델 및 실험적 방법에 의해 확인하였다. 그리고 각 열저항마다 흡열량이 최대가 되는 최적입력전압이 존재하며, 이 최적입력전압은 열저항이 증가함에 따라 낮아지는 경향을 보였다. 또한 열저항에 따른 최적입력전압의 차이로 인하여 열전모듈의 저온부에서 온도 역전 현상이 발생하였다.

참고문헌

1. Riffat, S. B. and Ma, X., 2007, Thermoelectrics : a review of present and potential applications, Applied Thermal Engineering, Vol. 23, pp. 915-935.
2. Sofrata, H., 1995, Heat rejection alternatives for thermoelectric refrigerators, Energy Conversion and Management, Vol. 37, pp. 269-280.
3. Xu, X., Dessel, S. T. and Messac, A., 2007, Study of the performance of thermoelectric modules for use in active building envelopes, Build and Environment, Vol. 42 pp. 1489-1502.
4. Chen, L., Sun, F. adn Wu, C., 2005, Thermoelectric-generator with linear phenomenological heat-transfer law, Applied Energy, Vol. 81, pp. 358-364.
5. Chang, Y. W., Chang, C. C., Ke, M. T., and Chen, S. L., 2009, Thermoelectric air-cooling module for electronic devices, Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 2731-2737.
6. Lineykin, S. and Ben-Yaakov, S., 2007, Modeling and analysis of thermoelectric modules, I IEEE Transaction on Industry Application, Vol. 43, pp. 505-512.
7. Lineykin, S. and Ben-Yaakov, S., 2007, User-friendly and intuitive graphical approach to the design of thermoelectric cooling systems, Int. J. Refrigeration, Vol. 30, pp. 798-804.
8. Min, G., Rowe, D. M., and Kontostavlakis, K., 2004, Thermoelectric figure-of-merit under large temperature differences, J. Physics, Vol. 37, pp. 1301-1304.
9. Gorodetskiy, S. M., 1999, Determination of TE module parameters, Proceedings of the 18th Int. Conference on Thermoelectrics, pp. 266-269.
10. Solomon, M., 1998, Determination of TE module parameters, Proceedings of the 18th Int. Conference on Thermoelectrics, pp. 519-524.
11. Xuan, X. C., 2002, Optimum design of a thermoelectric device, Semiconductor Science and Technology, Vol. 17, pp. 114-119.
12. Attey, G. S., 1998, Enhanced thermoelectric refrigeration system COP through low thermal impedance liquid heat transfer system, Proceedings of the 18th Int. Conference on Thermoelectrics, pp. 519-524.
13. Haung, B. J., Chin, C. J. and Duang, C. L., 2000, A design method of thermoelectric cooler, Int. J. Refrigeration, Vol. 23, pp. 208-218.
14. Yamanish, M., 1996, A new approach to optimum design in thermoelectric cooling system, J. Appied Physics, Vol. 80, pp. 5494-5512.
15. Chein, R. and Chen, Y., 2005, Performances of thermoelectric cooler integrated with microchannnel heat sinks, Int. J. Refrigeration, Vol. 28, pp. 829-838.
16. Lee, K. H. and Kim, O. J., 2007, Analysis on the cooling performance of the thermoelectric micro-cooler, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 50, pp. 1982-1992.
17. Luo, J., Chen, L., Sun, F., and Wu, C., 2003, Optimum allocation of heat transfer surface area for cooling load and COP optimization of a thermoelectric refrigerator, Energy Convertsion and Management, Vol. 44, pp. 3197-3206.
18. Astrain, D., Vian, J. G. and Albizua, J., 2005, Computational model for refrigerators based on Peltier effect application, Applied Thermal Engineering, Vol. 25, pp. 3149-3162.
19. Saini, M. and Webb, R. L., 2002, Heat rejection limits of air cooled plate fin heat sinks for computer cooling, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 26, pp. 71-79.