

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-B.2010.34.4.383

소규모 산업 폐열회수용 열전발전시스템의 출력 특성에 관한 실험적 연구

정재훈* · 김우철* · 이진호*† · 유태우**

* 연세대학교 기계공학과, ** 한국생산기술연구원 산업설비팀

Experimental Study of Power Generation Performance of Small-Scale Thermoelectric System

Jae-Hoon Chung*, Woochul Kim*, Jinho Lee*† and Taeu Yu**

* School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.,

** Industrial Facility Team, KITECH

(Received September 8, 2009 ; Revised February 4, 2010 ; Accepted February 11, 2010)

Key Words: Thermoelectric Generation(열전발전), Waste Heat Recovery(폐열회수)

초록: 본 연구에서는 폐열 회수를 위한 열전 발전 시스템을 구성하였다. 열전 모듈은 스테인레스 스틸 덕트 내부에 부착되고, 뜨거운 공기를 불어넣는 장치가 덕트의 입구에 마주한 형태를 취하였다. 이 때 고온부의 온도가 균일한 상태에서 낼 수 있는 최대 파워를 구해내었다. 결과적으로 모듈에 가해지는 최적화된 압력이 있었다. 또한 열전 발전의 성능을 열전 모듈의 저온부의 열 싱크에 의하여 결정되었다. 자연대류 형식의 열 싱크에서 낼 수 있는 파워가 5배 가량 차이가 났다.

Abstract: In this study, a thermoelectric power generation system was constructed for a waste-heat recovery. Thermoelectric modules were attached to a stainless steel duct, and a hot air blower was set such that it faced the duct inlet. We found that to achieve the maximum power out of the system, the temperature in the hot side of the thermoelectric module should be uniform. The optimum compressive pressure exerted on the module was observed. Further, the thermoelectric power performance was evaluated using the heat sink attached to the cold side of the thermoelectric module. In particular, when using a natural-convection heat sink, the power output difference is approximately five times.

- 기호설명 -

- V : 고/저온부 사이의 전위차
- T_H : 고온부 온도
- T_C : 저온부 온도
- α : 제백계수
- σ : 전기전도도
- κ : 열전도도
- \bar{T} : 고/저온부의 평균 온도
- η_{max} : 열전변환효율

1. 서론

최근 들어 고유가와 지구 온난화 문제로 연료전

지, 지열, 풍력 등의 신재생에너지 개발과 더불어 연료 절감 대책이 시급해지고 있는 실정이다. 이에 따라 시스템의 폐열을 전기 에너지로 재생함으로써 전체 시스템의 유효 에너지를 증가시킬 수 있는 열전발전시스템이 크게 주목받고 있다. 열전발전시스템은 열에너지를 전기 에너지로 직접 변환 가능하며 구동부가 없어 유지 및 관리하기 매우 용이하고 장수명이다. 하지만, 기타 열변환 발전 방식에 비하여 낮은 에너지변환효율을 지니며 고가의 재료 및 생산비로 인하여 현재로서는 응용분야가 제한적이다. 최근에는, 열전발전시스템 자체 운용보다는 화력발전설비, 자동차, 소각로 등의 폐열이 존재하는 기존 시스템에 접목하여 운용하는 방안이 적극 검토되고 있다. 궁극적으로 폐열회수용 열전발전시스템은 연료 절감에 따른 고유가 문

† Corresponding Author, jhlee@yonsei.ac.kr

제를 완화시킬 수 있으며 이산화탄소 배출량 저감에도 크게 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

열전발전시스템의 핵심은 열전소재로서 두 가지 종류의 반도체가 접합된 형태로 구성되어 있다. 이 두 가지 반도체의 양 접점에 온도차를 가하게 되면 고/저온부 간 전위차가 생성되며 이를 제백 효과(Seebeck Effect)라고 한다. 제백 효과는 다음 식으로 표현되며 여기서 전위차는 온도차에 비례함을 확인할 수 있다. α_{AB} 는 두 전도체 A, B간 제백 계수(Seebeck Coefficient)로서 적은 온도차 범위 내에서 상수로 취급 가능하다.

$$V = \alpha_{AB}(T_H - T_C) \quad (1)$$

열전소재는 Fig. 1에 나타나 있듯이 기본적으로 n, p형 반도체 소자의 단위 쌍으로 조합되어 있다.

구체적인 발전 원리에 대해 설명하면 다음과 같다. n형 반도체의 경우 고온부에서 높은 에너지 준위를 지닌 전자들이 저온부로 밀집되면서 고/저온부는 각각 +, -극성을 띄게 된다. 반대로 p형 반도체의 경우 정공들이 고온부에서 저온부로 밀집되면서 고/저온부는 각각 -, +극성을 띄게 된다. 따라서 n, p형 반도체 소자를 조합 시, 전위차가 발생하며 여러 쌍을 직렬로 연결 시, 이러한 전위차가 누적됨에 따라 큰 전력이 생성 가능하다.

다음은 열전소재의 성능을 나타내는 지표로서 열전성능지수와 열전변환효율은 각각 식 (2), (3)과 같이 정의된다.⁽¹⁾

$$Z\bar{T} = \frac{\alpha^2 \sigma}{\kappa} \bar{T} \quad (2)$$

$$\eta_{\max} = \frac{\Delta T}{T_H} \frac{\sqrt{Z\bar{T}+1}-1}{\sqrt{Z\bar{T}+1}+T_C} \quad (3)$$

식 (2)에서 α 는 제백계수, σ 는 전기전도도, κ 는 열전도도, \bar{T} 는 고/저온부의 평균 온도값을 나타낸다. 열전성능지수는 전기전도도와 고/저온부 평균 온도값에 비례하며 열전도도에 반비례함을 확인할 수 있다. 열전변환효율은 고온부에 유입된 열량대비 전기적 출력량을 나타내며 식 (3)에 나타나 있듯이 열전성능지수가 증가할수록 카르노 효율에 근접하게 된다.

열전발전시스템에 관한 연구는 열전소재기술이 발달한 미국, 러시아, 일본 등을 중심으로 활발히

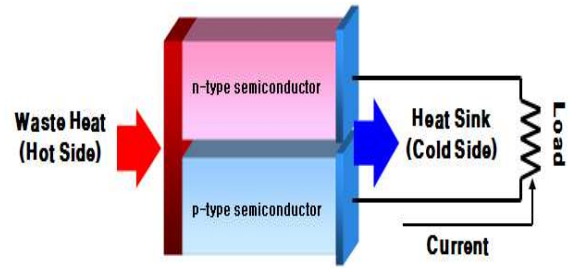


Fig. 1 Basic thermoelectric generation circuit

진행되고 있다. Rowe 등⁽²⁾이 열전발전시스템의 냉각 장치 내 립 형상에 따른 출력 성능에 대하여 연구했으며 실험적 검증을 통해 열교환기의 지그재그형 흰 형상을 제안하였다. Nagao 등⁽³⁾은 내연 기관의 배기가스를 이용한 열전발전시스템에 관한 연구를 통해 1kW급 열전발전시스템을 개발하였다. 국내에서는 이희용 등⁽⁴⁾이 온수와 냉수의 온도차를 이용한 열전발전시스템에 관한 연구에서 시스템 효율 1.04%를 달성하였다.

본 연구에서는 차량 및 중소형 산업설비 적용을 목적으로 폐열회수용 소규모 열전발전시스템을 구축하여 출력 특성을 분석한 한편 출력 성능 향상을 위한 최적의 열교환 조건을 파악하고자 하였다. 구체적으로는 방열판의 형상, 열저항 및 온도분포 등의 다양한 열교환 조건에 대한 고찰을 통하여 열전발전시스템의 출력 특성을 분석하였다.

2. 실험 개요

본 실험은 크게 3단계로 나누어 진행하였다. 첫 번째 단계로서, 열전모듈 자체 성능실험을 통하여 주어진 해당 온도 조건에서 최대 출력 성능을 파악하였으며 둘째, 방열판 형상에 따른 열전모듈 출력성능을 분석하였다. 마지막으로, 열전발전시스템을 구축하여 전체 시스템 출력 특성 및 효율을 분석하였다. 이를 위해, 첫째 및 셋째 실험의 경우 미국산과 국산 열전모듈을 모두 적용하였고 둘째 실험의 경우는 미국산 열전모듈만 적용하였다. 각 열전모듈의 사양은 Table 1에 나타냈다.

2.1 열전모듈 성능실험

본 열전모듈 성능실험에서는 열전모듈 표면 온도를 균일화하기 위해 카트리지 히터를 여러 개

Table 1 Specifications for TE modules

모델명	내열온도	단면치수	전기저항
HZ20(미국산)	230℃	75x75(mm)	0.3Ω
HMG3730(국산)	200℃	30x30(mm)	3Ω

삽입한 동판 플레이트를 열전모듈 고온부에 부착하였다. 히터를 PID 온도 제어기에 연결한 후, HZ20 모델의 경우 고온부 온도를 40~230℃까지 조절을 하였고 HMG3730 모델의 경우 40℃에서 200℃까지 조절을 하였다. 한편, 열전모듈의 저온부에는 알루미늄 재질의 수냉자켓을 부착하여 17~18℃의 냉각수를 지속적으로 공급하였다. 열전모듈 고/저온부 표면의 온도 측정을 위해 열전모듈이 부착된 동판 플레이트에 단면 1 x 1(mm)의 홈을 낸 후 플레이트의 중심부에 열전대를 삽입하였고 마찬가지로 수냉자켓의 중심부에도 비슷한 홈을 낸 후 열전대를 삽입하였다. 고/저온부 온도 측정과 함께 열전모듈의 양 전극에 연결된 리드선을 연장시켜 열전모듈의 온도차에 따른 기전력을 측정하였다. 또한 C형 압착 클램프와 로드셀을 장착하여 압축 하중에 따른 열전모듈의 출력 특성을 분석하였다.

2.2 방열판에 따른 출력특성 실험

본 실험의 경우 전 실험과 마찬가지로 PID 온도 제어기를 통하여 열전모듈의 고온부 온도를 조절하였다. HZ20 모델만을 적용하여 고온부 온도를 50~230℃까지 조절을 하였다. 또한 방열판의 형상에 따라 총 여섯 케이스로 나누어 실험을 진행하였으며 각 케이스별로 방열판만 장착했을 경우와 방열판에 냉각팬을 장착하였을 경우 열전모듈의 출력 성능을 분석하였다. 각 케이스 별 방열판 사양은 Table 2에 나타내었다. 냉각팬의 사양은 소비전력 5W, 풍량 4.72 x 10⁻³ m³/s 이며 방열판의 환과 평행한 방향으로 공기가 통과하게끔 방열판에 장착을 하였다. 전 실험과 마찬가지로 온도 측정을 위하여 방열판의 중심부에 1 x 1(mm)의 홈을 가공하여 열전대를 삽입하였다. 최종 실험 장치 셋업이 마무리 된 후 실험 진행을 위해, 열전모듈의 고온부로 열유입이 된 시점에서 열전모듈의 고/저온부 온도 및 전압이 안정화 되기까지 일정한 시간을 잡은 후 데이터값을 측정하였다. 전 실험을 토대로 출력이 극대화 되는

Table 2 Heat sink specifications

CASE	1	2	3
Shape			
Type	Extruded	Fin-bonded	Pin
Size	125 X 125 X 45(mm)	125 X 125 X 45(mm)	125 X 125 X 45(mm)
Fin Number	13	46	169
Thickness(Fin/Pitch)	3/7(mm)	1/2(mm)	3/7(mm)
CASE	4	5	6
Shape			
Type	Extruded	Extruded	Extruded
Size	125 X 125 X 70(mm)	125 X 125 X 120(mm)	125 X 125 X 120(mm)
Fin Number	12	25	9
Thickness(Fin/Pitch)	4/11(mm)	2/8(mm)	2/10(mm)

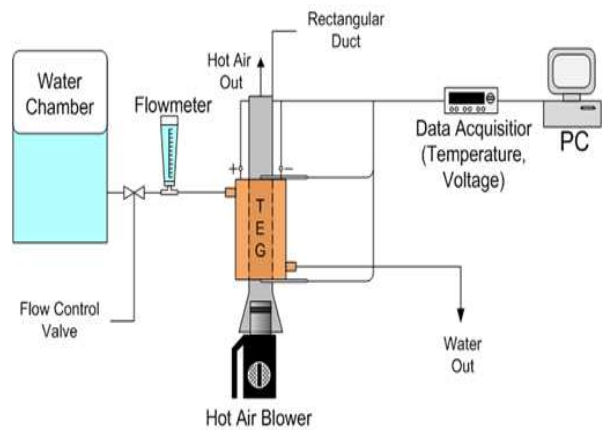


Fig. 2 Schematic of TEG system experimental setup

부하 저항을 회로에 연결하여 전력을 측정하였다.

2.3 열전발전시스템 출력특성 실험

전 실험들과 달리 본 실험에서는 고온 열풍기의 공기 토출온도를 조절하여 배기가스관 내부로 공기를 흘려보내 줌으로서 배기가스관의 외벽에 부착된 열전모듈의 고온부 온도를 조절하였다. HZ20 모델의 경우 고온부 온도를 40~230℃, HMG3730 모델의 경우 40~200℃ 사이로 조절하였다. 또한 열전모듈 성능실험과 마찬가지로 수냉식 냉각방식을 채택하였다. 냉각수는 배기관 내 공기와 반대 방향으로 흐르게 함으로서 열전모듈부와의 열교환 성능을 향상하고자 하였다. 또한 본 실험에서는 열전발전시스템 배기관 내에서의 고온 공기 유입 및 배출 온도도 측정하였

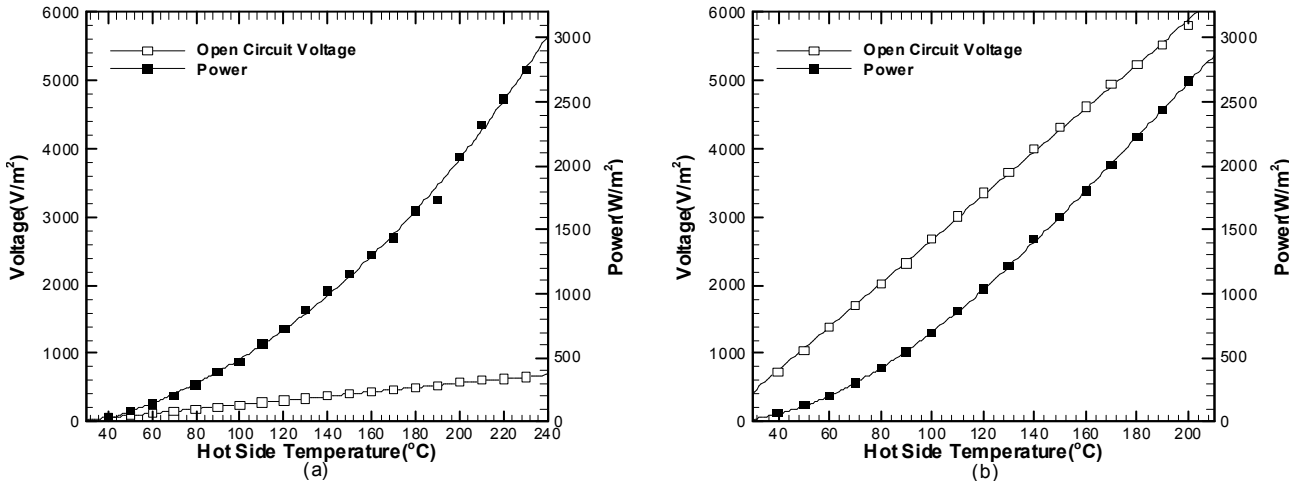


Fig. 3 Hot side temperature versus open circuit voltage and power for (a) HZ20 module and (b) HMG3730 module

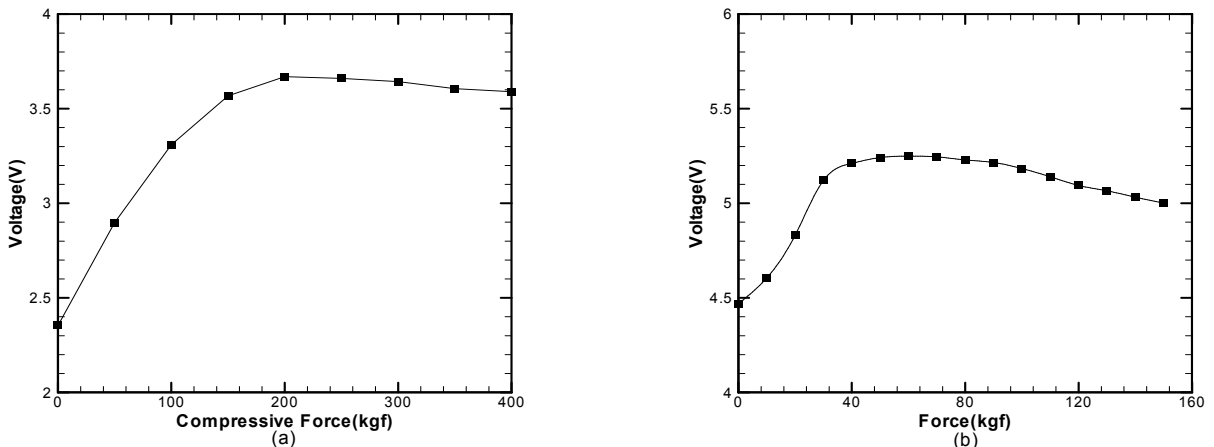


Fig. 4 Compressive force versus open circuit voltage for (a) HZ20 module and (b) HMG3730 module

다. 열전발전시스템의 실험 개요도는 Fig. 2에 나타내었다. 전 실험과 마찬가지로 일정한 안정화 시간 후 데이터 측정을 하였다.

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 열전모듈 출력특성 실험 결과

Fig. 3은 고온부 온도에 따른 단위 면적당 개회로전압(Open circuit voltage)과 전력을 나타낸 그래프로서 (a)는 미국산 HZ20 모델, (b)는 국산 HMG3730 모델을 적용했을 경우이다. 각 모듈 별 최대 고온부 온도 조건에서, 실제 출력은 HZ20 모델은 15.5W, HMG3730 모델은 2.3W 전력 측정치를 나타내었다. 이를 단위면적당 출력으로 환산하면 각각 2745W/m², 2660W/m²와 같다. 한편 최대 고온부 조건에서 임피던스 매칭이 되는 부하저항

을 찾기 위해 폐회로도(closed circuit)를 구성하였다. 여기서 최대전력을 나타내는 부하저항을 찾은 결과 HZ20 모델과 HMG3730 모델이 각각 약 0.3Ω, 3Ω이었다. 이는 Table 1에 제시된 사양과도 거의 유사함을 확인할 수 있었다. Fig. 4(a), (b)는 가압력에 따른 개회로전압을 나타낸 것으로서 양 모델 모두 최대 출력 성능이 나오는 특정 조건이 존재함을 확인할 수 있었다. HZ20 모델의 경우 약 200kgf의 압축하중을 가하였을 시, HMG3730의 경우 약 60kgf의 압축하중을 가하였을 시 최대 출력을 나타냈다. 그 이상의 하중을 가하게 되면 출력이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 이는 지나친 하중을 가함에 따른 내부균열에 의한 성능 저하로 판단된다. 비슷한 방법으로 다른 열전모듈을 적용하여 재실험을 두 번 더 한 결과 위의 하중값과 정확히 일치하지는 않았지만 대략 10kgf의 범위

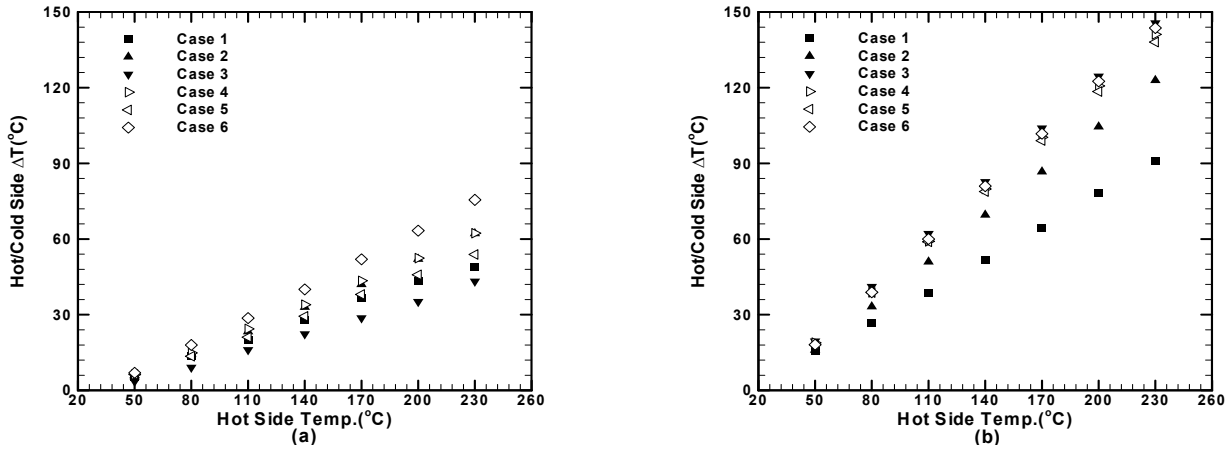


Fig. 5 Hot side temp. vs Hot/cold side temp. difference (a) Natural convection (b) Forced convection

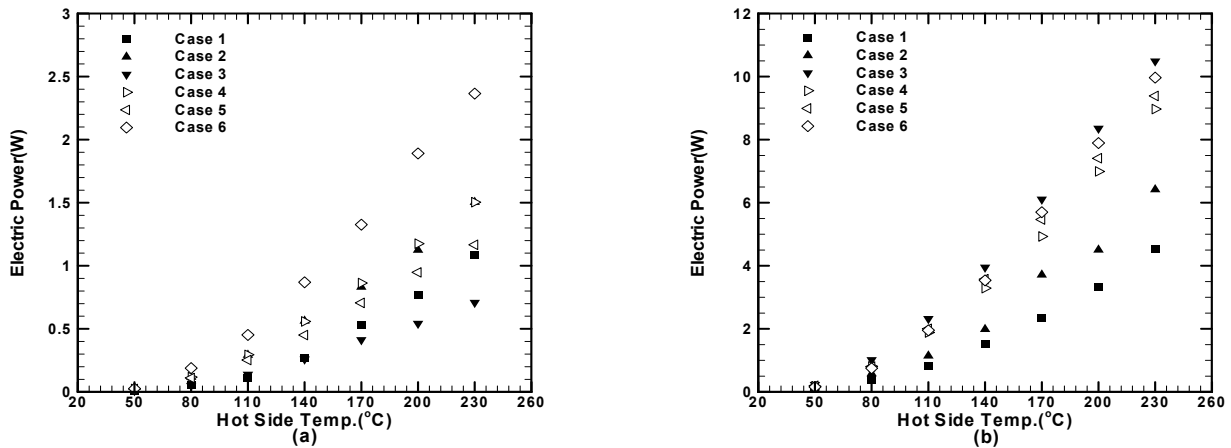


Fig. 6 Hot side temperature versus electric power of (a) natural convection type heat sink and (b) forced convection type heat sink

내에서 최대출력이 나오는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 방열판에 따른 출력특성 실험 결과

다음은 Table 2에 제시된 방열판들을 HZ20 모델의 저온부에 부착 시, 출력 성능을 분석하였다. Fig. 5는 고온부 온도에 따른 케이스 별 고/저온부 온도차로서 여기서 (a)는 방열판만 장착했을 경우(자연대류 냉각방식)이며 (b)는 방열판과 냉각팬을 함께 장착했을 경우(강제대류 냉각방식)를 나타낸다. (단 본 문헌에서는 강제 대류 조건을 공기 흐름 방향이 흰 날개와 평행할 수 있도록 냉각팬(10CFM/5W)을 방열판에 장착 후 팬을 가동함으로써 구현하였다. 따라서 다른 강제 대류 조건을 적용시킬 수도 있다.) Fig. 6은 고온부 온

도에 따른 케이스 별 전력값을 나타낸 것으로서 Fig. 5와 비교적으로 유사한 분포를 띠는 것을 확인할 수 있었다. 이는 열전모듈의 출력성능이 방열성능에 큰 영향을 받고 있음을 나타낸다. 자연대류 냉각방식을 적용하였을 경우 Case 6(압출식 방열판, 흰높이 120mm)가 가장 우수한 방열/출력 특성을 나타낸 반면 Case 3(흰접착식 방열판, 흰높이 45mm)는 매우 낮은 성능을 나타냄을 확인할 수 있었다. 이는 자연대류 냉각방식에서 흰 접착 열저항이 적으며 흰 높이가 큰 방열판이 우수한 방열성능을 지님에 따라 높은 출력성능을 나타낸 것으로 판단된다. 흰접착식 방열판의 경우, 흰 개수는 많지만 이로 인하여 흰 피치가 너무 작으므로 내부에 공기 순환이 잘 안되며 또한 흰

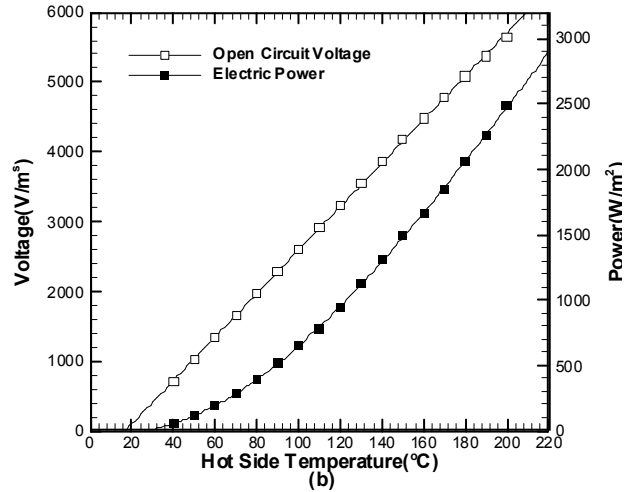
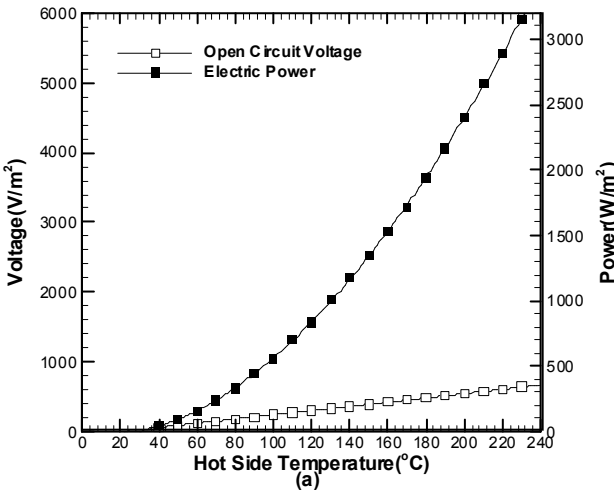


Fig. 7 Hot side temperature versus open circuit voltage and power per unit area for (a) HZ20 module and (b) HMG3730 module

접착에 따른 접촉 열저항으로 인해 낮은 출력 성능을 나타낸 것으로 판단된다. 강제대류 냉각방식에서는 반대로 Case 3가 가장 우수한 방열/출력 성능을 나타냈는데 이에 대한 원인은 외부 수단에 의하여 내부 공기 유동이 상대적으로 원활해졌으며 흰 개수가 많으므로 전열면적이 매우 큼에 따른 것으로 분석된다. 한편 흰 높이가 큰 Case 4, 5, 6도 강제대류 냉각방식에서도 상당히 우수한 출력 특성을 보였으며 흰 높이가 낮은 Case 1, 2의 경우 낮은 출력 특성을 보였다.

3.3 열전발전시스템 출력특성 실험 결과

다음은 HZ20, HMG3730 모델을 열전발전시스템에 각각 적용 시 출력 및 효율 측정 결과를 분석하였다. 각 모델의 단면적이 틀리므로, 단위 면적으로 환산하여 출력을 계산하였다. Fig. 7(a)와 7(b)에 나타나 있듯이, HZ20 모델 장착 열전발전시스템의 경우 열전모듈 고온부의 중심 온도가 200°C일 조건일 때 2486W/m²의 전력을 나타냈으며 HMG3730 모델 장착 열전발전시스템의 경우 고온부의 중심 온도가 200°C일 시, 2404W/m²의 전력을 나타냈다. 이와 같이 각 열전모듈의 출력을 단면적으로 나누어 출력밀도를 분석한 결과 큰 차이가 거의 없음을 확인하였다. 이는 양 모델 모두, 같은 Bi2Te₃계 열전소재로 구성되었으므로 거의 동일한 결과를 나타낸 것으로 추정된다. 한편 양 모델 모두, 열전모듈 성능실험(HZ20:2745W, HMG3730:2660W)에 비하여 낮은 값을 나타냈으며, 이는 배기가스관 내 공기유동

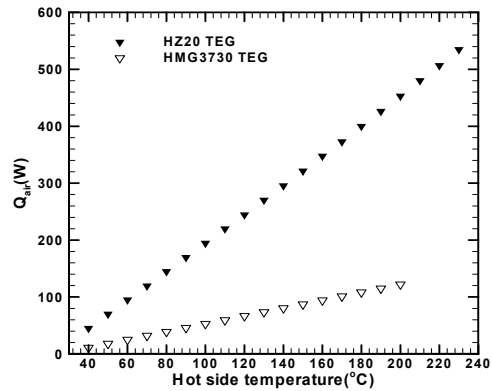


Fig. 8 Hot side temperature versus heat loss through air

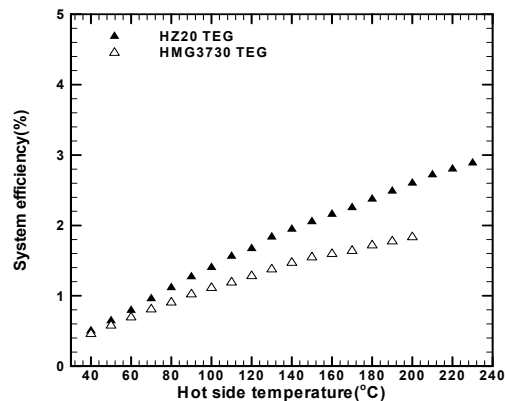


Fig. 9 Hot side temperature versus system efficiency

방향으로 온도구배가 존재함에 따른 표면 내 불균일한 온도분포로 인해 발생한 성능저하로 추정된다. 한편, 배기가스관 내 공기측 열손실량은 Fig. 8에 나타나 있듯이 HZ20 장착 열전발전시스

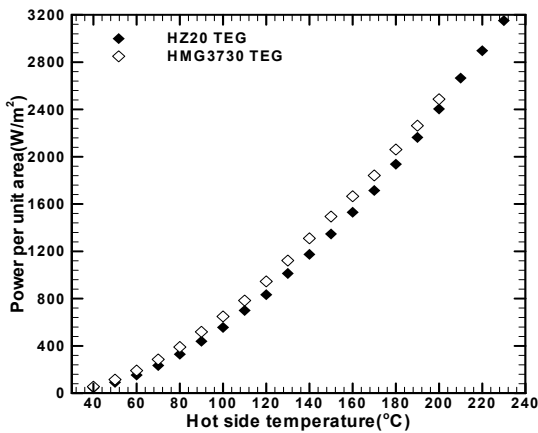


Fig. 10 Hot side temperature versus power per unit area

템이 HMG3730 장착 열전발전시스템에 비하여 전체적으로 매우 컸다. 이는 저온부에서 열방출이 이루어지는 상황에서 HZ20 모델의 단면적이 HMG3730 모델보다 5배 이상 큰 것에 따른 원인으로 분석된다. Fig. 9에 나타나 있듯이 전체 열전발전시스템의 효율 또한 HZ20 모델 장착 열전발전시스템이 전반적으로 더 컸으며 특히 고온부 온도가 증가할수록 HMG3730 모델 장착 열전발전시스템과의 격차가 증가하였다. 여기서 시스템 효율은 아래 식과 같이 열전발전시스템의 전력량, 입출구측 온도차와 공기 유량을 이용하였다.

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{m}c_p(T_{in} - T_{out})} \quad (4)$$

이는 동일한 배기가스관에 열전모듈을 부착한 상태에서 HMG3730 모델의 경우 단면적이 HZ20 모델에 비하여 적으므로, 부착지점 이외의 부분에서 발생한 열손실로 효율 저하가 발생했다고 판단된다. Fig. 10의 경우 각 모델에 대한 고온부 온도 대비 단위 면적당 전력량을 나타낸 것으로서, 비록 큰 차이는 아니지만 HMG3730 모델이 HZ20 모델보다 약간 더 큰 것으로 확인되었다.

3.4 측정오차에 관한 고찰

본 연구에서 실험을 세단계로 나누어 진행한 결과 측정오차에 관하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다. 각 실험별로 3번의 반복 실험을 수행하였고 이에 따른 오차범위는 다음과 같다. 열전모듈 성능실험의 경우, 각 열전모듈의 고온부 온도가 최대 정점에 달할 시(HZ20 : 230°C,

HMG3730 : 200°C), 저온부 온도 및 전압은 HZ20 모델이 각각 0.44°C 및 0.047V, HMG3730 모델이 각각 0.72°C 및 0.12V의 표준편차값을 나타냈다. 1차 실험의 경우, 6개의 실험 케이스에 대한 평균값으로서 HZ20 모델의 고온부 온도 230°C인 조건에서 저온부 온도 1.3°C, 전압 0.745V의 표준편차값을 나타냈다. 2차 실험 또한 열전모듈의 성능실험과 동일하게 각 열전모듈의 고온부 온도가 최대 정점에 달할 시(HZ20 : 230°C, HMG3730 : 200°C), 저온부 온도랑 전압이 HZ20 모델의 경우 각각 0.573°C, 0.21V, HMG3730 모델의 경우 0.43°C, 0.56V의 표준편차값을 나타냈었다.

4. 결 론

본 연구에서는 열전모듈 출력 성능실험, 방열판에 따른 출력 성능실험, 및 열전발전시스템의 출력 특성에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 열전모듈 출력 성능실험을 통하여 각 모델의 제원에 대한 성능을 검증하였다. 또한 최대 출력을 달성하기 위한 최적의 압축 하중값이 존재함을 확인하였으며 이는 하중에 따라 재료 내부에서 미시적으로 발생하는 변화에 의한 것으로 추정된다.

(2) 자연대류 냉각방식과 강제대류 냉각방식에 따라 최적 출력성능을 나타내는 방열판이 각각 따로 존재함을 확인하였다. 자연대류 냉각방식의 경우, 흰높이와 흰피치가 크며, 압축 형태인 방열판이 최대 출력성능을 나타내었다. 반면, 강제대류 냉각방식에서는 흰높이도 중요하나 흰피치가 작으며 큰 전열면적을 지닌 방열판이 비교적 우수한 출력성능을 나타내었다.

(3) 상대적으로 균일한 온도표면 조건에서 진행된 열전모듈 출력 성능실험 결과가 불균일한 온도표면 조건에서 진행된 열전발전시스템 실험 결과보다 출력 성능이 높게 나온 것으로 미루어본 연구에서는 출력성능을 높이기 위한 중요 설계인자 중 하나로서 열전모듈의 표면 온도 균일도를 제시할 수 있었다.

참고문헌

- (1) Rowe, D. M., 2005, *Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano*, CRC Press.

- (2) Esarte, J., Min, G., and Rowe, D. M., 2001, "Modelling Heat Exchangers for Thermoelectric Generators," *J. Power Sources*, Vol. 93, pp. 72~76.
- (3) Nagao, K., Nagai, A., Fujii, T., Sakurai, T., Fujimoto, M., and Furue, T., Hayashida, T., Imaizumi, Y., Inoue, T., 1998, "Design of Thermoelectric Generation System Utilizing the Exhaust Gas of Internal-Combustion Power Plant," *17th Int. Conf. on Thermoelectrics*, pp. 468~472.
- (4) Woo B., Lee, H., and Seo, C., 2002, "Characteristic of Electric Generation along Water Flow on Thermoelectric Generator with Hot Water," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 26, pp. 1333~1340.
- (5) Park, T., 2001, *Research on the Economic Waste Heat Recovery Technology using Thermoelectric Generation*, Korean Institute of Energy Research.
- (6) Leavitt, F. A., Elsner N. B., and Bass, J. C. , "Use, application and testing of Hi-Z thermoelectric modules," *Hi-Z website brochure*, pp. 1~8.
- (7) Crane, D. T., and Jackson, G. S., 2004, "Optimization of Cross Flow Heat Exchangers for Thermoelectric Waste Heat Recovery," *Energy Conversion Management*, Vol. 45, pp. 1565~1582.
- (8) Nuwayhid, R. Y., Shihadeh, A., Ghaddar, N., 2005, "Development and Testing of a Domestic Woodstove Thermoelectric Generator with Natural Convection Cooling," *Energy Conversion Management*, Vol. 46, pp. 1631~1643.
- (9) Ikoma, K., Munekiyo, M., Furuya, K., Kobayashi, M., Izumi, T. and Shinohara, K., 1998, "Thermo- electric Module and Generator for Gasoline Engine Vehicles," *17th Int. Conf. on Thermoelectrics*, pp. 464~467.
- (10) Ota, T., Tokunaga, C. and Fujita, K., 2005, "Development of Thermoelectric Power Generation System for Industrial Furnaces," *24th Int. Conf. on Thermoelectrics*, pp. 323~326.