

열전관의 두께변화에 따른 열전발전기의 발전 특성

우병철, 이희웅, 이동윤, 김익준
한국전기연구소 신소재응용연구그룹

Characteristics of electric power for thermoelectric generator with tube thickness

B. C. Woo, H. W. Lee, D. Y. Lee, I. J. Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The purpose of this study is to manufacture and test a thermoelectric generator which converts unused energy from close-at-hand sources, such as garbage incineration heat and industrial exhaust, to electricity.

A manufacturing process and the properties of a thermoelectric generator are discussed before simulating the thermal stress and thermal properties of a thermoelectric module located between an aluminum tube and alumina plate.

We can design the thermoelectric modules having the good properties of thermoelectric generation. Resistivity of thermoelectric module for thermoelectric generation consisting of 62 cells was 0.15~0.4Ω. The maximum power of thermoelectric generator using thermoelectric generating modules can be defined as temperature function, and in this case it can be analogized the linear relation between current and voltage characteristics as function of temperature. The thermoelectric generator using 32 thermoelectric modules was assembled with 32 directly connected modules that they constrained for two kinds of heat transfer tube with key joints.

1. 서 론

1821년 독일의 Seebeck은 구리와 Bismuth 또는 Bismuth와 Antimony의 양쪽 끝을 연결하고 접합부의 한쪽을 가열한 결과 회로의 가운데에 위치한 자침의 방향이 바뀌는 특이한 현상을 발견하였다. 또한 Seebeck의 발견으로부터 13년이 흐른 1834년 프랑스의 Peltier는 동일한 현상을 한 두 개의 서로 다른 금속으로 이루어진 회로에 직류 전기를 흘리면 한쪽의 접합부에서는 흡열이 일어나고 다른 쪽의 접합부에서는 발열이 일어나며 이때 전류의 방향을 반대로 하면 흡열이 일어났던 접합부에서는 발열이 일어나고 발열이 일어났던 접합부에서는 흡열이 일어난다는 것을 발견하였다. 일반적으로 전선에 전류를 흘리면 Joule 법칙에 의해서 발열만이 일어나야 하나 전혀 기대하지 못했던 이상한 현상이 발견됨에 따라 Peltier는 이 현상을 독일의 화학물리학회지에 보고하였다. 비록 Seebeck과 Peltier는 그들이 발견한 현상을

각각 Seebeck효과와 Peltier효과라고 칭하고 있다.

Thermoelectric generator는 양단의 온도차에 의해서 발생하는 기전력을 이용하는 발전방법이며 Seebeck 효과에 따른 결과이다. 이러한 열전발전은 기본적으로 온도차를 이용하여 전기를 얻을 수 있기 때문에 경제성을 고려하지 않는다면 지구상에 존재하는 어떤 종류의 열도 열원으로 이용할 수 있다.

본 연구에서는 Al tube를 이용하여 열전달 관을 제작하였으며 두 종류의 열전달 관의 두께에 따른 열전발전 특성을 비교하였다. 또한 유량의 변화에 따른 발전특성을 열전관의 두께에 따라 비교하였으며 두께에 따른 특성의 변화를 검토하였다.

2. 본 론

2.1 열전발전 소자의 특성

본 연구에서는 열전냉각용 소자를 사용하여 열전발전특성을 시험한 결과 예상되는 전기출력의 약 50%정도밖에 얻어지지 않아서 그 원인을 조사하던 중 열전냉각용 소자의 내부저항으로 인해서 소모되는 전기가 상당히 많음을 발견하였다. 그러나 현재 생산되고 있는 대부분의 열전모듈은 냉각용으로 개발되어 있으며 이러한 냉각용 모듈을 이용하여 열전발전기의 제작과정에서 얻어지는 다른 요소의 변화에 따른 특성을 비교하기로 하였다.

본 연구에서 사용한 열전모듈에 대해서 알아보면 열전냉각소자는 127개의 cell을 사용하였고 열전발전소자는 63개의 cell을 사용하였으며 저항치는 2.1Ω, 0.38Ω이었다. 우크라이나에서 생산되는 열전발전용 모듈은 Altec 1011의 저항치는 0.288Ω으로서 저항치가 더 작은 특성을 가지고 있었다. Table 1은 열전모듈의 특성치를 나타내고 있다.

Table 1 Properties of thermoelectric module

형태 \ 특성	Resistance(Ω)	Figure of merit(Z)
국산냉각용	2.005	2.550x10 ⁻³
Altec 1011	0.288	1.995x10 ⁻³

또한 열전모듈에서 사용한 셀의 가로, 세로, 높이의 치수는 1.38x1.38x1.6(mm)였으며 Cu전극은 1.4x4.22x0.42(mm)를 사용하였다. 그러나 외부지지 및 절연을 위한 Al₂O₃ 평면의 크기는 38x38(mm)의 알루미늄 판을 사용하였으며 같은 단면적에 n,p형 열전재료의 크기를 최적화하였다.

열전모듈로 사용된 열전반도체 재료는 Bi-Te계 저온용 재료로써 일방향 옹고법에 의해 제조되었으며 p형은 열전능이 200 μVK⁻¹, 전기전도도는 950 Ωm, 열전도도는 14mW/cmK⁻¹이고 n형은 열전능이 195 μVK⁻¹, 전기전도도는 1000 Ωm, 열전도도는 15mW/cmK⁻¹이다.

열전발전소자의 특성도 마찬가지로 방법으로 측정하였으며 양단 간의 온도차에 따른 기전력과 부하에 따른 특성을 조사하였으며 그림 1과 같으며 가열할 때와 냉각할 때의 온도에 따른 기전력의 직선 식도 같이 나타내었다.

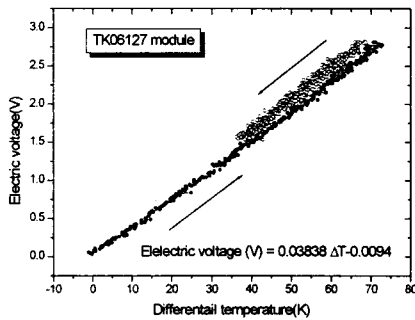


Fig. 1 Variation for electric voltage with temperature difference ($R=2.156\Omega$, $Z=2.5 \times 10^{-3}$)

Fig. 1에서 알 수 있듯이 승온과 하강시 그 기울기는 거의 같지만 승온과 하강시 온도차에 따른 기전력의 크기는 온도차가 50℃의 경우 약 8℃의 차가 발생하고 있는데 이것은 열전모듈의 양단간의 온도차와 실제 Al₂O₃ 표면의 온도차가 발생하고 있음을 나타낸다. 만일 저온단의 온도가 일정하다면 열전재료와 Al₂O₃ 표면의 온도는 약 2.6℃라는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 양단간의 온도차를 일정하게 유지한 다음 열전모듈과 직렬로 저항을 연결하여 부하의 변화에 따른 발전된 DC 특성을 측정하였다.

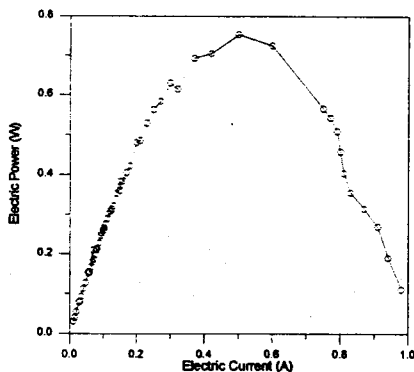


Fig. 2 Variation of electric power and electric resistance. (Hot temp. : 90℃, Cold temp. : 15℃)

2.2 열전발전기의 제작

열전발전기의 구성은 열전모듈, 고온부, 저온부, 열전달부 등으로 구성될 수 있으며 이를 위해서 온수와 냉수를 준비할 수 있게 순환시스템을 부수적으로 장착하였다. 또한 온수는 온수용 보일러를 사용하였으며 냉수는 직수를 사용하였다. 열전달부는 고체, 액체, 기체에 의해서 전도, 대류, 복사로 열을 열전모듈로 전달하게 되며 일반적으로 고온을 제외하고는 강제대류나 전도에 의해서 열전달시키는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 압출로 제작한 Al 열전달관을 사용하여 내부에 온수와 냉수를 흘릴 수 있게 제작하여 사용하였으며 열전관의 두께를 12mm와 23mm 두 종류를 사용하였다.

Fig. 3은 열전달관을 사용한 열전발전기의 구성을 나타내었으며 본 그림은 도식적으로 23mm 두께를 사용한 경우에 대해서 나타내었다.

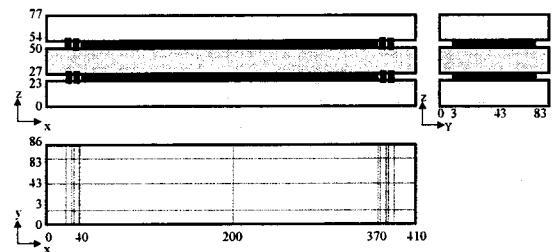


Fig. 3 Fundamental diagram of thermoelectric generator with key joint

이렇게 얻어진 열전달관과 열전모듈사이에는 열전달을 촉진하기 위해서 Thermal grease를 사용하였으며 열전재료의 압축하중이 5kg/mm²정도로 가압하여 제작하였다. 가압을 열전관의 상하부에 고강도 FRP판을 사용하고 약 10cm간격으로 볼트로 체결하여 제작하였다.

2.3 열전관의 두께에 따른 열전발전 특성

2-3-1 23mm의 열전관의 사용한 경우

열전모듈의 무부하 및 부하특성은 열전모듈의 Al₂O₃ 판에 직접 물을 순환시키면서 그 특성을 측정하였고 32개의 모듈을 사용한 열전발전기 특성은 직접 물을 이용할 수 없으므로 열전관을 제작하여 전도에 의한 열전달로 열전모듈에 적용하였다.

Fig. 4는 32개의 모듈을 사용한 결과로서 고온과 저온의 유량이 분당 22, 23리터인 경우 양단간의 온도차에 의해서 얻어지는 기전력의 특성이다. 그림에서 알 수 있듯이 32개의 열전모듈을 사용한 무부하 특성에서 사용한 열전모듈의 열전재료 n, p형 cell 개수는 254개로 구성된 경우이다.

또한 그림에서 알 수 있듯이 양단간의 온도차에 따른 기전력은 거의 직선적인 특성을 보여주고 있으며 32개의 열전모듈을 사용한 경우 온도에 따른 기울기는 1.536V로

서 하나의 모듈에서 0.048V/K의 발전특성을 가진다. 또한 하나의 cell로 계산한다면 1.89×10^{-3} /K의 열전능을 가지게 된다. 앞의 열전재료의 특성에서 2.55×10^{-3} /K의 특성을 가지는 재료를 사용하였지만 접촉부의 전기저항과 각 연결부의 특성변화에 의해서 약 24%의 손실이 발생하였음을 짐작할 수 있다.

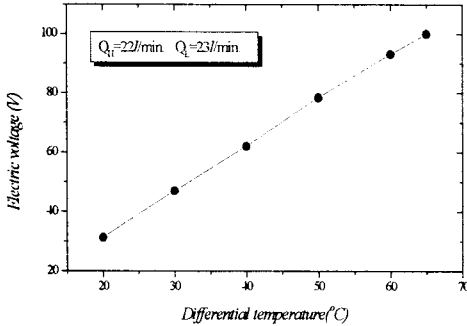


Fig. 4 Thermoelectric generating response under several temperature differences using 32 modules

Fig. 5는 온수와 냉수의 유량을 고정하고 양단간의 온도차를 변화시키면서 외부 부하에 따른 열전발전기의 최대출력이 얻어지는 점의 출력을 측정하고 그 결과를 나타내었다. 본 그림에서 알 수 있듯이 양단간의 온도차가 변화함에 따라 얻어지는 최대출력이 얻어지는 점의 전류값은 선형적이지 않음을 알 수 있으며 2차곡선을 나타내고 있다.

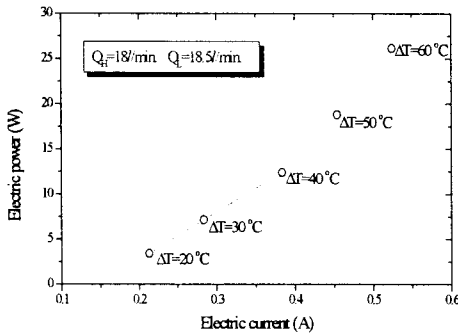


Fig. 5 Relation between maximum power and current under several temperature differences

2-3-2 12mm의 열전관의 사용한 경우

열전발전의 효율 측면에서는 Al tube의 두께를 최대한 줄여야 우수한 특성을 얻을 수 있겠지만 같은 압력에서는 유량이 적어지는 단점을 가지게 된다. 발전 모듈을 사용한 slip형 Al tube를 사용한 결과에서는 우수한 열전발전 특성 측면보다는 효율적인 측면에서 실험하였고 전반적으로 기존 Al tube를 사용한 결과보다 출력면에서는 떨어지고 효율면에서는 우수한 특성을 나타내었다. 그림 6은 12mm의 열전관을 사용한 경우 열전발전 특성을 나타낸 그림으로서 양단간의 온도차를 20, 30, 40, 50°C로 변화함에 따라 얻어지는

출력은 선형적이 아닌 2차 곡선적인 최대출력을 나타내고 있다.

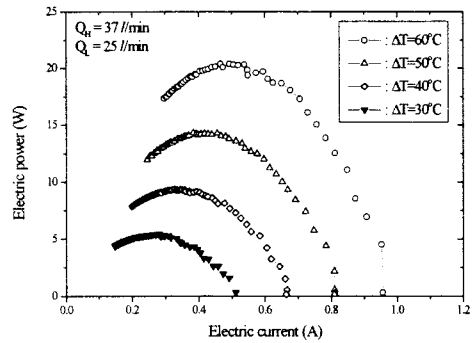


Fig. 6 Relation between electric power and current under several temperature differences

3. 결론

본 연구에서는 열전발전용 소자의 제작과 특성 그리고 32개의 열전소자를 사용한 열전발전기를 제작하여 2종류의 열전관에 대해 실험한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 열전소자의 기전력 특성에서 얻어진 결과를 분석한 결과 승온과 하강시 발생된 열저항은 양단간의 온도차를 2.6°C 유발시켰다.

(2) 32개의 열전모듈을 사용한 열전발전기에서 양단간의 온도차에 따른 발전된 기전력은 열전재료에서 구한 열전능과 비교하여 약 24%의 저항이 발생됨을 확인하였다.

(3) 열전관의 두께에 따른 발전특성에서 두께가 두꺼운 경우에서 더 높은 발전특성을 얻었으며 양쪽 모두 최대출력은 전류의 2차곡선을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) A. F. Ioffe, 1957, "Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling", Inforsearch Ltd, London
- (2) 1. Simulation of thermal stress on thermoelectric generator using constrained aluminum tube as key joints, 한국해양공학회 영문지, 2권 2호, 1999
- (3) Manufacturing & characteristics of thermoelectric generator with peltier module, AMDP 99', Vol.2, pp.782-787, 1999
- (4) Simulation of thermal stress on thermoelectric generator using constrained aluminum tube with key joints, AMDP 99', Vol.2, pp.900-905, 1999
- (5) Thermoelectric generator의 열용량 해석과 설계, ANSYS user's conference, pp.163-173, 1999
- (6) 온도차를 이용한 열전발전기의 sliding에 따른 열용량 특성, 대한전기학회회계논문집, pp.1904-1906, 1999
- (7) 열전발전용 소자를 이용한 열전발전기의 발전특성, 대한전기학회회계논문집, pp.1614-1616, 2000