

열전모듈의 발전특성을 이용한 전기저항 변화 측정

우병철 이희웅
한국전기연구원

Measuring method of electric resistance using thermoelectric properties of module

Byung-chul, Woo, Hee-woong, Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Thermoelectric generation is the direct energy conversion method from heat th electric power. The conversion method is a very useful utilization of waste energy because of its possibility using a thermal energy below 150℃

This research objective is th establish the thermoelectric technology on a optimum system design method and efficiency, and cost effective thermoelectric element in order to extract the maximum electric power from a wasted hot water.

This paper is considered in manufacturing a thermoelectric generator and measuring of electric resistance of module a thermoelectric modules. It was found that the electric resistance of thermoelectric modules was defined as a temperature functions. The relationship between electric resistance and temperature characteristics can be a analogized as function of electric current.

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 형상을 한 두 개의 서로 다른 금속으로 이루어진 회로에 직류 전기를 흘리면 한쪽의 접합부에서는 흡열이 일어나고 다른 쪽의 접합부에서는 발열이 일어나며 이때에 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 발생되는 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 전기량이 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 외부지 및 절연을 위한 Al₂O₃ 평면의 크기는 38x38(mm)의 알루미늄이나 판을 사용하였으며 같은 단면적에 n,p형 열전재료의 크기를 최적화하였다.

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

기전도도는 $1000\Omega m$, 열전도도는 $15mW/cmK^{-1}$ 이다. 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.

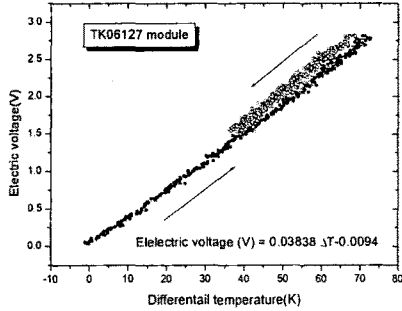


Fig. 1 Variation for electric voltage with temperature difference ($R=2.156\Omega$, $Z=2.5 \times 10^{-3}$)

Fig. 1에서 알 수 있듯이 승온과 하강시 그 기울기는 거의 같지만 승온과 하강시 온도차에 따른 기전력의 크기는 온도차가 $50^{\circ}C$ 의 경우 약 $8^{\circ}C$ 의 차가 발생하고 있는데 이것은 열전모듈의 양단간의 온도차와 실제 Al_2O_3 표면의 온도차가 발생하고 있음을 나타낸다. 만일 저온단의 온도가 일정하다면 일전재료와 Al_2O_3 표면의 온도는 약 $2.6^{\circ}C$ 라는 것을 알 수 있다.

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

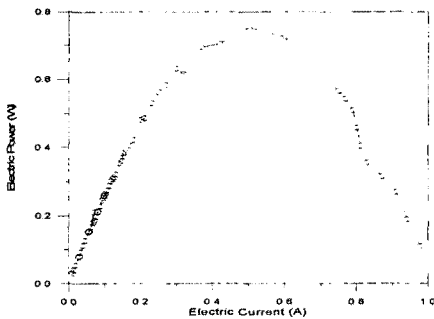


Fig. 2 Variation of electric power and electric current. ($T_H : 90^{\circ}C$, $T_C : 15^{\circ}C$)

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 AI 열전달관을 사용하여 내부에 온수와 냉수를 흘릴 수 있게 제작하여 사용하였

으며 열전관의 두께를 12mm와 23mm 두 종류를 사용하였다.

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

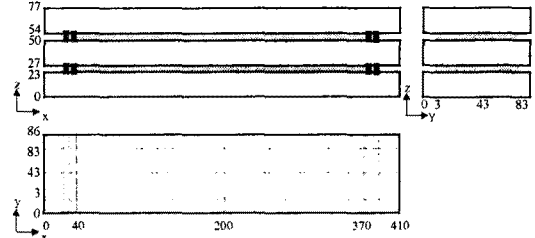


Fig. 3 Fundamental diagram of thermoelectric generator with key joint

이렇게 얻어진 열전달관과 열전모듈사이에는 열전달을 촉진하기 위해서 Thermal grease를 사용하였으며 열전재료의 압축하중이 $5kg/mm^2$ 정도로 가압하여 제작하였다. 가압을 열전관의 상하부에 고강도 FRP판을 사용하고 약 10cm간격으로 볼트로 체결하여 제작하였다.

2.3 열전발전특성을 이용한 열전모듈의 저항특성

2.3.1 양단간의 온도차에 따른 발전특성

열전발전기에 부하가 걸리면 전류에 의해서 주열이 발생하게 되고 이로 인해서 내부의 저항이 커지게 되며 발전된 전기에너지를 더 소모하게 된다. 본 절에서는 열전발전기의 유량을 고정하고 양단간의 온도차에 따른 발전특성을 연구한 결과로서 Fig. 4에 무부하 특성을 나타내었다. 무부하 특성결과에서 알 수 있듯이 양단간의 온도차에 의해 얻어지는 기전력의 특성을 거의 선형적인 관계를 얻을 수 있다. 그러나 이러한 특성을 모듈의 내부저항으로 인한 손실이 없기 때문이며 이로 인해서 선형적인 관계가 얻어진다.

Fig. 5는 양단간의 온도차의 변화에 따른 열전발전 출력과 부하에 따른 전류의 크기사이 관계에서 얻어진 최대 전력의 특성을 각각 얻은 결과이다.

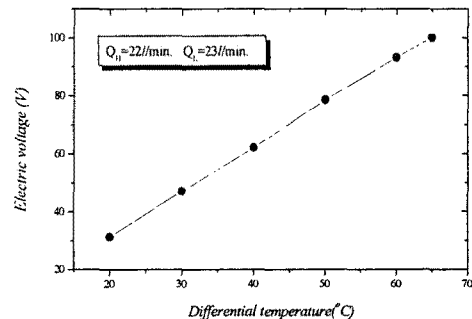


Fig. 4 Thermoelectric generating response with differential temperature using 128 modules

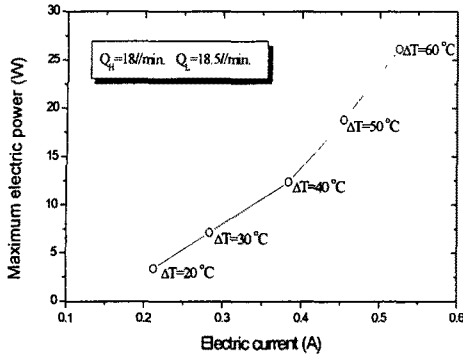


Fig. 5 Relation between maximum power and electric current with temperature difference

그림 5에서 알 수 있듯이 양단간의 온도차를 20°C에서 60°C로 올린 다음 온도차에 따른 출력변화를 알아본 결과 전류와 출력사이의 관계가 완전한 선형은 아니지만 거의 선형적인 특성을 나타내었다.

이것은 열전발전기로 사용한 열전모듈의 내부저항의 변화에 따른 특성으로서 내부와 외부의 저항이 같을 때 최대출력이 얻어지는 원리를 이용하면 내부의 저항의 변화를 측정할 수 있음을 알 수 있다. 즉 내부의 저항변화는 내부의 주유열에 의한 발열로 인해서 온도에 따라 커지게 되며 이론 인한 저항측정은 거의 힘든 상황이지만 열전발전특성을 이용한다면 쉽게 내부저항을 측정할 수 있음을 나타내고 있다.

그림 5에서 전류와 최대출력사이의 관계식을 정리하면 다음과 같다.

$$P_{\max} = 2.898 + 23.966 A + 129.859 A^2$$

P_{\max} : 최대출력, A : 전류

여기서 최대출력이 얻어지는 전류와 양단간의 온도차사이의 관계를 나타내면 다음 그림과 같다.

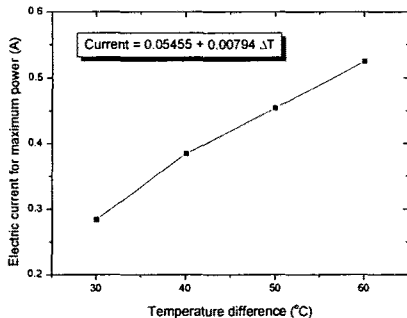


Fig. 6 Relation between electric current and temperature difference on maximum power.

즉 양단간의 온도차가 커지면 최대출력이 얻어지는 전류

가 커짐을 알 수 있으며 그 관계가 선형임을 확인할 수 있다.

또한 열전발전의 에너지관계에서 제백효과에 의한 발열과 주유열에 의한 발열 항이 있으며 이로 인해서 전류의 증가에 따라 최대출력이 얻어진다.

$$P = R_i I^2 = \frac{\alpha \Delta T}{R_i} \cdot \frac{m}{(1+m)^2}$$

P:출력, R_i :외부저항, R_i :내부저항, m:내외부 저항비
최대출력은 내부저항과 외부저항이 같은 경우에 발생하고 최대출력은 저항과 온도차의 함수로 정의할 수 있다.

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \frac{\alpha^2 \Delta T^2}{R_i}$$

위 식은 그림 5의 전류의 2차함수와 동일하고 그림 6의 전류와 온도사이 관계식을 적용하면 다음과 같다.

$$P = 0.00818678(\Delta T + 18.49)^2 + 1.7918$$

위 식을 앞의 식에 적용하여 풀면 온도에 따른 내부저항의 평균치는 2.48Ω이 얻어진다. 이 값은 표1의 2.005Ω과는 다소 차이가 있지만 온도에 따른 저항의 증분과 Al열전달관의 저항과 리드선의 저항을 포함하고 있어 최대출력을 이용한 저항측정이 가능함을 알 수 있다.

3. 결론

Seebeck 효과를 이용한 열전발전기의 특성을 분석한 결과 양단간의 온도차에 따른 열전모듈의 저항변화를 최대출력을 이용하여 측정할 수 있음을 알 수 있었으며 최대출력에 의한 저항은 온도에 따른 저항 증분과 Al 열전달관의 저항, 리드선의 저항에 따라 다소 차이가 있었지만 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. F. Ioffe, "Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling", Inforsearch Ltd, London, 1957
- [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 열응력 해석과 설계, ANSYS user's conference, pp.163-173, 1999
- [6] 온도차를 이용한 열전발전기의 sliding에 따른 열응력 특성, 대한전기학회회계논문집, pp.1904-1906, 1999
- [7] 열전발전용 소자를 이용한 열전발전기의 발전특성, 대한전기학회회계논문집, pp.1614-1616, 2000
- [8] B. C. Woo, "Characteristic of maximum power with temperature difference for thermoelectric generator", XX Inter. Conf. on Thermoelectrics, pp.431-434, 2001