

### 열전발전용 소자를 이용한 열전발전기의 발전 특성

우병철, 이희용, 이동운, 김봉서, 김병걸  
한국전기연구소 신소재응용연구그룹

#### Characteristics of electric power for thermoelectric generating module

B. C. Woo, H. W. Lee, D. Y. Lee, B. S. Kim, B. G. Kim  
Korea Electrotechnology Resaerch 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  $0.15 \sim 0.4 \Omega$ . 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 128 generating modules was assembled with 4 parallel connected modules sets composed with 32 directly connected modules.

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.

열전발전은 발전시 소음이 없고, 유지비가 적으며, 소형화 및 경량화가 가능하다는 점 외에 열원의 온도범위가 넓다는 점과 용량에 따른 발전효율의 저하가 없다는 점 등을 특징으로 하고 있다.

본 연구에서는 선진외국에서 열전발전용으로 사용되고 있는 모듈의 특성을 분석한 결과 국내에서 사용중인 열전냉각용 열전재료를 사용하여 최적의 열전발전용 열전모듈을 설계, 제작하였으며 양단 간의 온도차에 의해서 얻어지는 기전력의 변화와 주어진 온도차에서 전기적 부하의 변화에 따른 발전특성을 비교하였다. 또한 열전모듈의 직, 병렬의 조합으로 인해서 적절한 용량의 열전발전기를 설계, 제작하였으며 온도차에 따른 특성, 용량에 따른 특성을 측정하였다.

### 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 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

### 2. 본 론

#### 2.1 열전발전용 소자의 설계 및 제작

본 연구에서는 열전냉각용 소자를 사용하여 열전발전특성을 시험한 결과 예상되는 전기출력의 약 50%정도밖에 얻어지지 않아서 그 원인을 조사하던중 열전냉각용 소자의 내부저항으로 인해서 소모되는 전기량이 상당히 많음을 발견하였다. 그래서 열전냉각용 소자와 같은 재료를 사용하면서 열전발전특성을 우수하게 하기 위해서 Altec 및 미국 등 선진외국에서 사용중인 열전발전소자의 특성을 조사하였으며 약  $0.15 \sim 0.5 \Omega$  범위에 해당되어 본 연구에서 그 특성과 유사하게 열전소자를 설계하였다.

본 연구에서 사용한 열전모듈에 대해서 알아보면 열전냉각소자는 127개의 cell을 사용하였고 열전발전소자는 63개의 cell을 사용하였으며 저항치는  $2.1 \Omega$ ,  $0.38 \Omega$ 이었다. 우크라이나에서 생산되는 열전발전용 모듈은 Altec 1011의 저항치는  $0.288 \Omega$ 으로서 저항치가 더 작은 특성을 가지고 있었다. 다음 Table은 열전모듈의 특성치를

나타내고 있다.

Table 1 Properties of thermoelectric module

property type	Resistance( $\Omega$ )	Figure of merit(Z)
Altec 1011	0.288	$1.995 \times 10^{-3}$
국산냉각용	2.005	$2.550 \times 10^{-3}$
발전용	0.380	$0.825 \times 10^{-3}$

또한 열전냉각모듈에서 사용한 cell의 가로, 세로, 높이의 치수는  $1.38 \times 1.38 \times 1.6$ (mm)였으며 열전발전용 모듈에서 사용한 cell의 치수는  $3 \times 3 \times 3$ (mm)를 사용하였다. 그러나 외부지지 및 절연을 위한  $Al_2O_3$  평면의 크기는  $38 \times 38$ (mm)의 알루미늄 판을 사용하였으며 같은 단면적에 n,p형 열전재료의 크기를 최적화하였다.

열전모듈로 사용된 열전반도체 재료는 Bi-Te계 저온용 재료로써 일방향 응고법에 의해 제조되었으며 p형은 열전능이  $200 \mu VK^{-1}$ , 전기전도도는  $950 \Omega m$ , 열전도도는  $14 mW/cmK^{-1}$ 이고 n형은 열전능이  $195 \mu VK^{-1}$ , 전기전도도는  $1000 \Omega m$ , 열전도도는  $15 mW/cmK^{-1}$ 이다.

## 2.2 열전발전용 소자의 특성

열전발전소자의 특성도 마찬가지로 방법으로 측정하였으며 양단 간의 온도차에 따른 기전력과 부하에 따른 특성을 조사하였으며 다음 그림과 같으며 직선 식도 같이 나타내었다.

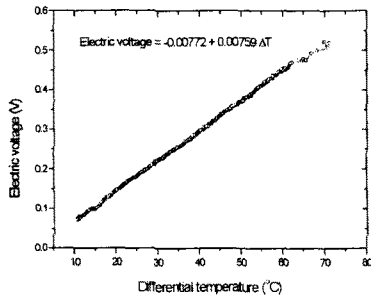


Fig. 1 Electric power of thermoelectric generating module( $R=0.38, Z=0.825$ )

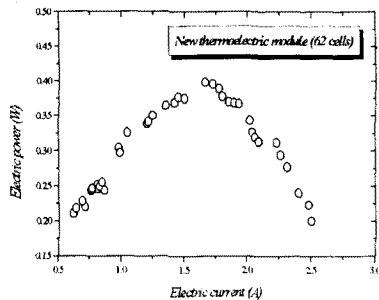


Fig. 2 Electric power of thermoelectric generating module with electric loading

Fig. 2는 양단간의 온도차가  $75^\circ C$ 일 때 부하의 변화에 따른 열전발전량을 측정된 결과이며 HP34970A를 사용하여 온도, 전류, 전압을 측정하여 계산한 결과이다.

## 2.3 열전발전기의 설계 및 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 열전모듈이 고체이고 연속되 판이 아니라  $40 \times 40$ (mm)의 얇은 판으로 구성되어 있는 형상이다. 그래서 다른 열전달 지지물로서 열전달부를 구성하고 그 위에 고온, 및 저온수를 흘리고 고온수와 저온수 사이에서 발생하는 온도차를 이용하여 열전발전기를 제작하였다. 또한 열전모듈과 열전관의 정확한 열전달을 위해서 표면조도특성을 조사하였으며 알루미늄에 비해서 압출로 제작된 알루미늄 열전달관의 조도가 상대적으로 떨어지기 때문에 열전관의 표면조도를 측정하였다. 본 시험에서 사용한 기기는 Mitutoyo사의 Surf test 500모델이며 사용한 특성치는  $R_a$ 를 사용하였으며 다음 식으로 구하여진다.

$$R_a = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |f(x)| dx$$

다음 그림은 열전발전기에 사용된 Al 열전달관의 표면조도특성을 나타내었다.

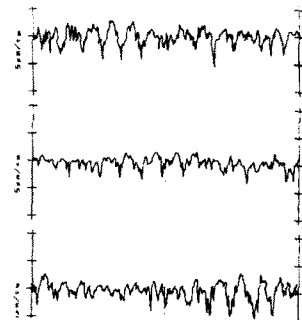


Fig. 3 Surface roughness of Al tube ( $R_a$ )

Fig. 3에서 얻어진  $R_a$  값은 평균 6 정도로서 알루미늄 표면에서 얻을  $R_a$  값인 2와 비교할 때 큰 값이지만 금속표면에서의 열전달을 위한 값으로서는 상당히 우수한 특성치라고 할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 표면조도를 얻기 위해서 먼저 60개 알루미늄을 압출하여 열전달관을 제작하고 표면의 조도를 위해서 Al 전용 연마를 통해서 얻어진 결과이다.

이렇게 얻어진 열전달관과 열전모듈사이의 열전달을

촉진하기 위해서 Thermal grease를 사용하였으며 열전 재료의 압축하중이  $5\text{kg}/\text{mm}^2$  정도로 가압하여 제작하였다. 가압을 열전관의 상하부에 고강도 FRP판을 사용하고 약 10cm간격으로 볼트로 체결하여 제작하였다.

## 2.4 열전발전소자를 이용한 열전발전기의 특성

열전냉각용 소자를 사용한 열전발전기에 비해 열전발전용 소자를 사용한 열전발전기는 내부의 저항으로 인해 소모되는 랑과 cell의 개수에 의해서 얻어지는 기전력의 크기 등 여러 요인으로 인해서 발전량이 정해지게 된다. 본 연구에서는 소형 Al tube를 제작하여 냉수와 온수의 유량과 온도를 변화시키면서 발생하는 발전량을 시험하였다. 다음 그림은 냉수의 유량에 따른 발전특성을 나타내었으며 사용된 열전모듈은 32개이며 직렬로 연결하여 열전발전기를 제작한 결과이다.

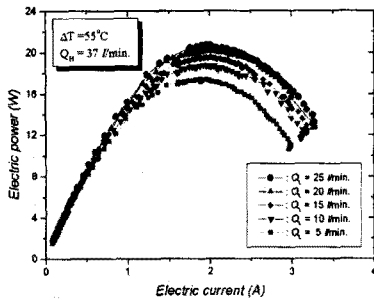


Fig. 4 Electric power with cold water rate on thermoelectric generating module

앞의 그림에서 알 수 있듯이 냉수의 유량변화에 따라 발전된 량은 점점 증가하고 있음을 알 수 있으며 분당 20리터 이상의 유량에서는 거의 유사한 특성을 나타내고 있다.

다음 그림은 온수의 유량변화에 따른 발전특성으로서 냉수의 유량변화에 따른 특성과 달리 유량변화에 따라 얻어지는 발전량의 변화가 냉수의 변화에 비해 다소 작다는 것을 알 수 있다.

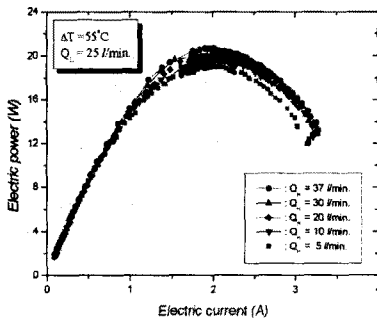


Fig. 5 Electric power with hot water rate on thermoelectric generating module

이러한 결과는 열전냉각모듈을 사용한 결과와 비교할

때 최대출력이 얻어지는 점의 전류값은 높아졌고 전압을 낮아졌으며 전체출력 또한 온도차가 55°C일 경우에는 다소 낮은 결과를 얻을 수 있었다.

다음 그림은 냉수와 온수의 유량을 고정하고 양단간의 온도차를 변화시켰을 때 얻어지는 발전특성을 나타내었다.

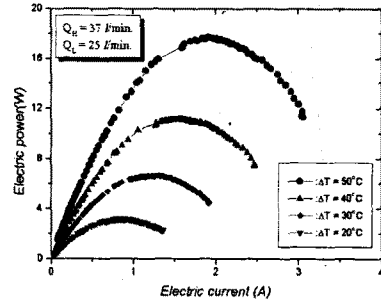


Fig. 5 Electric power with difference temperature on thermoelectric generating module

## 3. 결 론

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

(1) 열전발전소자를 사용한 무부하 실험에서 양단간의 온도차와 얻어진 기전력 사이의 관계는 다음 식과 같으며 양단간의 온도차가 75°C일 때 최대출력은 1.7A에서 0.41W를 얻을 수 있었다.

$$\text{Electric Voltage (V)} = 0.00759 \Delta T + 0.00772$$

(2) 32개의 열전발전소자를 사용한 열전발전기에서 유량변화에 따른 발전특성은 온수의 유량변화보다는 냉수의 유량변화에 더 민감한 반응을 나타내었다.

(3) 양단간의 온도차에 따른 발전특성에서 온도차를 증가시키기에 따라 얻어지는 발전량은 온도차가 커짐에 따라 선형적 특성치보다 더 큰 값을 가짐을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- (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