

열전발전용 Peltier module의 특성 측정

오병철, 이희용, 이동윤, 김봉서, 슈마토크
한국전기연구소 전기재료연구부

Characteristics of peltier module for thermoelectric generator

B. C. Woo, H. W. Lee, D. Y. Lee, B. S. Kim, *Schmatok
Korea Electrotechnology Resaerch Institute, *Russia

Abstract - TEC(Thermoelectric conversion) is direct conversion method between thermal energy and electric energy. We studied on the mechanical, electrical and thermal properties of thermoelectric module, made experimental thermoelectric generator with BiTe material and manufactured module tester for electric-thermal energy conversion.

1. 서 론

Thermoelectric이라고 하면 일반적으로 알려져 있는 열전대를 연상하고 열전대에서도 백금을 사용하는 열전대가 고가지만 정밀도를 가지고 있다고 말한다. 이때 열전대에서 발생하는 기전력의 크기는 $10^{-4} \sim 10^{-5} V/C$ 정도의 미세한 크기지만 온도변화에 따른 편차가 작아서 대부분의 온도측정에 유용하게 이용되고 있다. 여기서 사용되는 이론은 양단에 온도차가 발생하며 기전력이 발생한다는 Seebeck효과이며 이러한 미세한 기전력의 크기를 수백배 정도의 크기로 증가시켜 상품화한 것이 열전냉각 또는 열전발전용 모듈이다. 이러한 열전현상은 구 소련의 Ioffe가 냉각용으로 사용할 수 있는 정도의 성능으로 향상시켰으며 지금도 열전재료의 성능지수인 Figure of merit 값의 향상에 많은 연구가 진행중이다. 현재 사용중인 재료는 약 $2 \sim 4 \times 10^{-3}$ 정도의 값을 가지며 국내에서도 최고수준의 열전모듈이 생산되고 있다.

열전발전기는 회전부가 필요 없고 이동식 발전이 가능하고 개스버너를 이용하거나 화석연료로 가열하여 발전할 수도 있다. 또한 일정한 온도가 아니라도 기전력이 발생하며 소형이고 수명이 길며 한번 설치하면 수십년간 거의 균일한 성능으로 계속 발전할 수 있다. 이러한 열전발전은 현재 군용, 우주용, 극한지에서 많이 이용되고 있으며 우주탐사에서는 solar cell과 함께 우주선의 발전을 돕고 있다.

2. 본 론

2.1 열전현상

열전현상(Thermoelectric effect)은 열과 전기사이의 에너지 변환을 의미하며 변환소자의 양쪽에 온도차가 있을 때 소자 내부의 carrier가 이동함으로 기전력이 발생하는 현상이다. 열전현상은 1900년도 초부터 연구가 시작되어 구소련의 Ioffe가 약 4%의 변환효율을 얻을 수 있게 연구가 진행되어 현재 약 10% 이상의 변환효율을 가지고 있다. 이러한 열전은 양단간의 온도차를 이용하여 기전력을 얻어내는 Seebeck효과, 기전력으로 냉각과 가열을 하는 Peltier효과, 도체의 선상의 온도차에 의해 기전력이 발생하는 Tomson효과로 나눌수 있으며 Peltier효과를 이용하여 가습기, CPU냉각, 냉정수기, 냉장고가 개발되어 있으며 Seebeck효과를 이용하여 열전대, 열전발전, 센서 등에 많이 이용되고 있다.

2.2 열전발전

열전발전은 기본적으로 온도차를 이용하여 전기를 얻을 수 있는 발전시스템이기 때문에 경제성을 고려하지 않는다면 지구상에 존재하는 어떤 종류의 열도 열원으로 이용할 수 있다. 즉 태양열, 지열 등의 자연 에너지와 화석연료를 이용한 가열 에너지 및 도시배열, 산업폐열 등의 폐열 에너지 등이 모두 열전발전의 주 에너지원으로 사용할 수 있으며 -160°C에서 수 백도까지의 온도범위에서 발전할 수 있는 장점이 있다.

다음은 열전발전소자의 발전원리를 나타내고 있으며 P-N반도체간의 온도차에 의한 발전임을 알 수 있다.

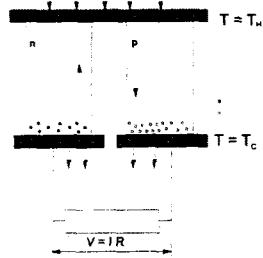


그림 1 열전발전의 원리

2.3 열전재료의 특성 측정

열전재료의 성능을 가장 잘 표현한 방법이 열전성능지수 (figure of merit)라고 말하며 보통 Z로서 칭하며 다음 식과 같다.

$$Z = \frac{s^2}{\rho * x}$$

- s : Seebeck coefficient V/K
- ρ : electrical resistivity $\Omega * m$
- x : thermal conductivity W/(m*K)

여기서 성능지수는 p형 반도체에서는 양의 값을 가지고 n형 반도체에서는 음의 값을 가져 열전모듈의 기본형상을 구성한다. 이러한 p-n형 반도체의 구성은 전기적으로 적절로 구성되어 있으며 열적으로 병렬로 구성되어 있는 양상을 보이고 있으며 외부의 지지부와 절연부 등으로 구성되어 열전모듈이 제조되고 있다.

열전재료는 일반적으로 단결정으로 제조되고 있으나 최근 hot press법을 이용한 다결정 재료도 p형의 특성은 거의 단결정 수준으로 향상되고 있어 제조단가를 낮추는 열활을 하고 있다.

열전재료의 열전능은 열전도도, 비저항, seebeck계수가 측정되어야 하며 측정은 일반적으로 진공중에서 측정하며 방사에 의한 열전도를 방지하여야 한다.

측정된 결과는 외부저항의 크기를 변화시켜 가변저항에 의한 기전력의 변화율로서 측정하는 heat pulse법이 유

용하게 이용되고 있으며 전기비저항과 전기전도도는 Z-meter를 이용한 Harman법이 많이 사용되고 있다. 전기전도도와 비저항의 측정은 직류전원에서 발생하는 열전달량과 Seebeck현상에 의해서 발생하는 열흡수와 방출량의 열평형에 의해서 측정되고 여기서 발생된 전류가 zero가 되게 교류전류를 흘려서 열전도계수를 측정하고 있다. 이러한 분석은 방사열에 의한 항을 무시할 수 있는 정도의 열전달 특성이 필요하며 전류에 의한 주열 열 등도 무시할 수 있어야 한다.

다음 그림은 이러한 측정시스템의 도식도이며 일반적으로 하나의 chamber에서 시험할 수 있고 저온에서 고온 영역에서 사용할 수 있도록 제작되고 있다.

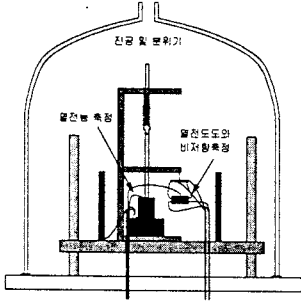


그림 2 열전재료의 특성 측정장치도

여기서 측정되는 값들은 전압으로부터 기전력을 계산하여 Seebeck계수를, 균일한 교류전류로부터 비저항을, 그리고 열전도도를 얻을 수 있다.

이러한 과정에서 얻는 최종식은 다음과 같다.

$$x = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_1 - \Delta V_2} \quad \alpha = x(V_1 - V_2) + V_1$$

$$\rho = \frac{Vl}{AI}$$

$$k = \frac{(\alpha_s - \alpha_{PT})^2 T l}{A(V_{DC}/I_{DC} - V_{AC}/I_{AC})}$$

여기서 α 는 열전도도, V 는 기전력, A 는 단면적, l 은 길이, ρ 는 비저항, k 는 열전도도이다.

2.4 열전모듈의 특성 측정기 제조

열전재료는 근본적으로 표면적에 대한 방사열의 영향이 크기 때문에 대부분 진공중에서 측정되지만 열전모듈은 수백개의 열전재료로 구성되어 있어 방사에 의한 열전달성분이 자체적으로 전달되고 외부로 복사되는 양은 미약하여 대부분의 시험에서 공기중에서 측정되고 있다. 다음 그림과 같은 단위 모듈의 형상에서 얻어지는 열평형형식으로부터 효율까지 측정되는 과정은 다음과 같다.

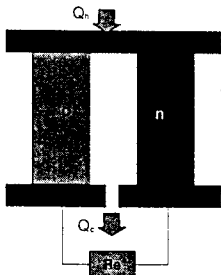


그림 3 열전모듈의 열전달 모델

$$\text{열전도 계수 } k = \frac{1}{T_h - T_c} \int k dT$$

$$\text{Seebeck계수 } \alpha = \frac{1}{T_h - T_c} \int \alpha dT$$

$$\text{비저항 } \rho = \frac{1}{\rho} \int \rho dT$$

열전도계수, Seebeck 계수, 비저항 값은 p.n형 반도체의 평균값을 취해서 계산된다.

여기서 사용되는 열전달 식을 다음식을 이용한다.

$$k \frac{d^2 T}{dx^2} + \dot{C}^2 \rho = 0$$

$$T = T_h + [(\dot{C}^2 \rho / 2k) \delta - (T_h - T_c) / \rho] x - (\dot{C}^2 / 2k) x^2$$

$$Q = -k \frac{dT}{dx}$$

$$Q_{x=0} = f(0) - 0.5 I^2 R$$

$$Q_{x=l} = f(l) + 0.5 I^2 R$$

$$E = \alpha (T_h - T_c)$$

$$m = \frac{R_e}{R}$$

$$I = \frac{E}{R_e + R}$$

$$E = \frac{\alpha \Delta T m}{m + 1}$$

$$\text{power } P = EI = \frac{f \alpha^2 \Delta T^2 m}{\rho \delta (1 + m)^2}$$

$$\eta = \frac{P}{Q_{x=0}}$$

$$= Z \frac{\Delta T m}{(1 + m)^2 + Z T_h (1 + m) - 0.5 Z \Delta T}$$

여기서 열전도도와 비저항 등이 길이에 따른 함수로서 표현될 경우에 대한 값을 정하기 위해서 함수 $f(x)$ 를 사용하였으며 재료의 길이방향을 x 방향으로 정하였다.

다음 그림은 본 연구에서 사용한 측정모듈을 도식적으로 그린 그림이며 세부적인 내용은 생략하였다.

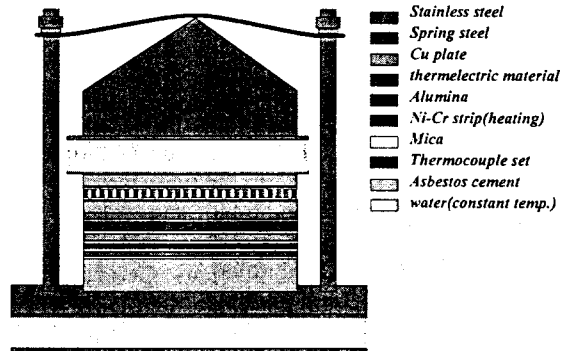


그림 4 열전모듈 성능 측정장치의 모식도

여기서 열전달시 외부로 방출되는 열량을 보정하기 위해서 약 23개의 열전대를 설치하고 직렬로 연결하여 상

부와 하부에서 발생하는 열량의 변화가 없는 조건으로 가열하였다. 열전재료의 특성에서도 발생하는 재료와 열전대 그리고 열전대와 가열부와의 접촉문제는 열량의 변화에 큰 영향을 미치므로 최대한 접촉저항을 없앨 수 있는 방법을 찾아야 한다. 본 연구에서는 알루미늄과 층과 Cu층 사이에서는 thermal greese를 사용하여 보강하였으며 각 층과 층 사이에서는 아주 얇은 온도판을 사용하였다.

또한 열량의 변화를 정확히 측정하기 위해서 열전모듈의 양단에 설치된 동판사이의 열전도도 시 고려되는 면적당 평균치를 고려할 수 있도록 13개의 열전대를 양쪽에 설치하여 면당 평균온도를 측정하였다.

또한 앞의 식에서 열량의 변화를 측정하기 위한 수단으로 냉각수의 양단에서 온도의 변화를 측정하였으며 가압하는 힘에 따른 영향을 고려하기 위해서 스프링강을 사용하고 나사로서 토크를 조절하는 방식으로 모듈의 열전 특성을 측정할 수 있게 제조하였다.

상부와 하부에 설치된 스테인리스 물관도 마찬가지로 면에 순환시키는 방식으로 제조되었으며 다음 그림과 같은 형상으로 제조하였다.

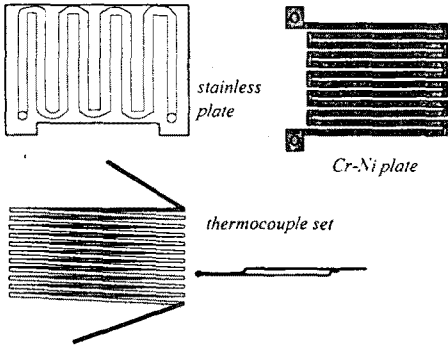


그림 5 열전모듈의 성능 측정기의 개략도

2.5 열전모듈의 열특성 해석

일반적으로 사용되고 있는 열전모듈은 열전재료인 P, N형 반도체를 직렬로 조합하여 제작하는데 전도되는 열량과 열전모듈에 전달되는 온도와의 특성을 조사하기 위해서 열전모듈의 열특성을 조사하였다. 본 특성조사에 사용된 모듈의 국내의 T사에서 제조된 모듈로서 그 치수와 동일하게 설정하여 열특성을 조사하였으며 사용된 재료의 물성치와 그 특성은 다음과 같이 나타내었다..

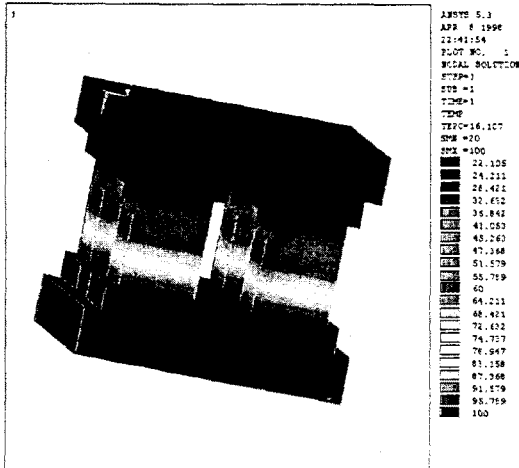


그림 6 열전모듈의 3차원 온도분포

의 특성치를 사용하였으며 1개의 열전재료에서 양단에 20℃, 100℃인 상태에서 자연상태의 정상상태에서 온도분포도와 온도변화율을 나타내었다. 본 그림에서 알 수 있듯이 열전재료에 해당되는 영역에서 거의 대부분의 온도변화가 일어나고 있으며 그에 따라 기전력으로 발생된다.

표 1 열전모듈부의 열특성치

특성치 재료	thermal conductivity	thermal expansion
Al ₂ O ₃	0.026W/mm℃	5x10 ⁻⁶
Al	0.235W/mm℃	23x10 ⁻⁶
Cu	0.401W/mm℃	16.7x10 ⁻⁶
p-type	0.00156W/mm℃	15x10 ⁻⁶
n-type	0.00152W/mm℃	15x10 ⁻⁶

2.6 열전발전기의 제조

앞 절에서 측정된 값을 기본으로 32개의 국산모듈을 사용하여 단위 발전기를 제작하였으며 고온수를 약 95℃, 저온수를 약 25℃로 설정하여 사용한 결과 약 35W를 출력력을 얻을 수 있었다.

다음 그림은 열전발전기의 형상을 나타내고 있으며 열전달 특성을 향상시키기 위한 다각적인 방법을 고려하고 있지만 급격한 효율 향상은 어려움 것으로 사료된다.

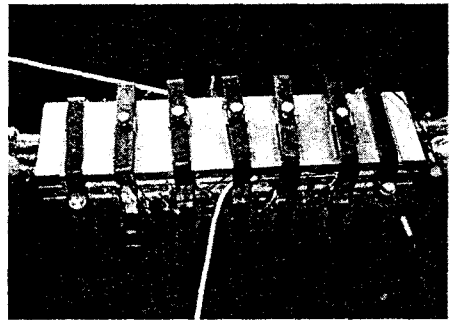


그림 7 개발된 열전발전기의 형상

3. 결 론

Peltier 소자는 일반적으로 전류에 의한 냉각 또는 가열용으로 많이 이용하고 있지만 Seebeck효과를 이용한 열전발전용으로도 충분히 이용할 수 있으며 약 35W의 단위로서 고효율의 DC전원으로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] A.F.Ioffe, "Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling", Inforsearch Ltd, London, 1957
- [2] Karuei Matsubara, "Proc. Energy conversion & utilization with high efficiency, sep. pp.279-280, 1993
- [3] 우병철, 김봉서, 이희용, BiTe계 thermoelectric module을 이용한 발전기 제작과 특성, 97전기학회 하계학술대회는문집, pp.1446-1448, 1997
- [4] 우병철, 이희용, 이동윤, 열전모듈을 이용한 열에너지 변환기술과 응용, 98에너지공학회 춘계학술대회 논문집, pp.125-130, 1998
- [5] D.M. Rowe, Thermoelectrics, CRC Handbook, 1995

여기서 사용된 재료의 특성은 국내에서 생산되는 제품