열전냉각소자와 열전발전소자의 발전특성

Characteristics of electric power for thermoelectric cooling & generating module

우병철, 이희웅, 이동윤
(B. C. Woo, H. W. Lee, D. Y. Lee)

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. Developed thermoelectric modules can be expected th have better properties than thermoelectric cooling modules above 70℃ in temperature difference between hot and cold ends.

Key Wards(중요용어) : Thermoelectric(열전), Thermoelectric cooling(열전냉각), Thermoelectric generator(열전발전), Seebeck effect(지벡효과), Peltier effect(펠티어효과)

1. 서론

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. 즉 태양열, 지열 등의 자연에너지와 화석연료를 이용한 가열에너지 및 도시배열, 산업폐열 등의 폐열에너지 등이 모두 열전발전의 주 에너지원으로 사용할 수 있다. 이러한 열전발전기는 구동부가 없어 소

* 한국전기연구소 신소재응용연구그룹
(경남 창원시 성주동 한국전기연구소
Fax: 0551-280-1590
E-mail : bcwoo@keri.re.kr)

음이나 진동이 없으며 수명이 길고 신뢰성이 높으며 회전부가 필요 없다는 장점이 있으나 변환효율이 최고 10%선이고 가격이 높다는 단점이 있다. 이러한 장점과 단점에도 불구하고 선진외국에서는 수십에서 MW급까지 다양하게 개발되어 군용, 산업용, 우주용으로 많이 이용되고 있다.

본 연구에서는 국내에서 생산되는 열전냉각모듈과 설계제작한 열전발전모듈을 사용하여 양단 간의 온도차에 윙서 얻어지는 기전력의 변화와 주어진 온도차에서 전기적 부하의 변화에 따른 발전특성을 비교하였다.

열전발전특성은 온도차에 따른 저항과 전압, 전류와 전력, 저항과 전력의 특성으로 표현하였으며 이러한 관계에서 얻어진 최대 출력을 비교함으로써 양단간의 온도차에 따른 출력을 예상할 수 있다.

2. 장 본 론

2.1 열전현상

열전현상(Thermoelectric effect)은 열과 전기사이의 에너지 변환을 의미하며 변환소자의 양쪽에 온도차이가 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 나눌 수 있으며 Peltier효과를 이용하여 가습기, CPU냉각, 냉정수기, 냉장고가 개발되어 있으며 Seebeck효과를 이용하여 열전대, 열전발전, 센서, 항온조 등에 많이 이용되고 있다.

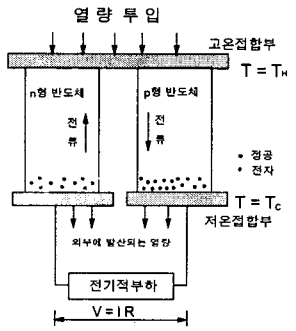

Fig. 1 Appearance of thermoelectric effect

Fig. 1은 Seebeck 효과에 의해서 얻어지는 열전특성을 도식적으로 나타낸 것으로 고온접합부에서 열에너지를 흡수하고 저온접합부에서 저온단을 형성함으로서 온도차를 얻을 수 있으며 이로 인해서 n형과 p형 반도체에서 전공과 전자가 저온단으로 모이게 되며 부하를 걸면 전류가 흘러 전기적인 발전이 얻어진다.

2.2 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 0.15~0.5Ω범위에 해당되어 본 연구에서 그 특성과 유사하게 열전소자를 설계하였다.

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. 다음 Table은 열전모듈의 특성치를 나타내고 있다.

Table 1 Properties of thermoelectric module

property / type	Resistance(Ω)	Figure of merit(Z)
Altec 1011	0.288	1.995×10^{-3}
국산냉각용	2.005	2.550×10^{-3}
발전용	0.380	0.825×10^{-3}

또한 열전냉각모듈에서 사용한 cell의 가로, 세로, 높이의 치수는 1.38x1.38x1.6(mm)였으며 열전발전용 모듈에서 사용한 cell의 치수는 3x3x3(mm)를 사용하였다. 그러나 외부지지 및 절연을 위한 Al_2O_3 평면의 크기는 38x38(mm)의 알루미나 판을 사용하였으며 같은 단면적에 n,p형 열전재료의 크기를 최적화하였다.

열전모듈로 사용된 열전반도체 재료는 Bi-TerP 저온용 재료로써 일방향 응고법에 의해 제조되었으며 p형은 열전능이 $200\mu VK^{-1}$, 전기전도도는 950Ω

m, 열전도도는 14mW/cmK^{-1}이고 n형은 열전능이 195μVK^{-1}, 전기전도도는 1000Ωm, 열전도도는 15mW/cmK^{-1}이다.

2.2.1 열전냉각용 모듈의 예상특성

열전냉각용으로 사용할 경우 열전재료의 특성치로서 얻어지는 최대온도차와 이때 사용해야되는 전류와 전압을 계산할 수 있으며 다음과 같다.

형상팩터 γ=8.16cm^{-1}(γ=h/A=0.16cm/0.14cm x0.14cm)의 127 Couple 일반상용 모듈(CPI 1.4-127-10L, Melcow, USA에 준하는 모듈)을 표준 모델로 하여 다음과 같은 예상 특성지수를 얻었다.

$$\Sigma\alpha_e = N\alpha_e = N(\alpha_p + |\alpha_n|)$$
$$= 127(200\mu VK^{-1} + 195\mu VK^{-1}) = 50.1mVK^{-1}$$

$$R_M = N\rho_e\gamma = N(\rho_p + \rho_n)\gamma$$
$$= 127(d1.05m\Omega^{-1}cm^{-1} + 1.0m\Omega^{-1}cm^{-1})8.16cm^{-1}$$
$$= 2.12\Omega$$

$$K_M = \frac{NK_e}{\gamma} = \frac{n(K_p + K_m)}{\gamma}$$
$$= 127\frac{1.05\mu Wcm^{-1}K^{-1} + 14\mu Wcm^{-1}K^{-1}}{8.16cm} = 0.45\frac{W}{K}$$

$$Z_M = \frac{(\Sigma\alpha_e^2)}{R_M K_M} = \frac{(0.0501WK^{-1})^2}{2.12\Omega 0.45WK} = 2.63\times10^{-3}K^{-1}$$

$$Q_{cmax} = K_M(Z_M T_{Cj}^2/2 - \Delta T_j) = 53.26W$$

$$\Delta T_{\max} = T_{hj} - 1/Z_M((1 + 2Z(T_{hj} - |Q_C|/K_M))^{-1} - 1) = 69.7C$$

$$I_{\max} = \alpha T_{cj}/R_m = 7.08A$$

$$V_{\max} = \alpha_M T_{hj} = 15.3V$$

2.2.2 열전발전용 모듈의 예상특성

마찬가지로 열전발전용 모듈의 특성을 알아보면 다음과 같이 정리된다.

γ=3.33cm^{-1}(γ=h/A=0.3cm/0.3cm/0.3cm)

$$\Sigma\alpha_e = N\alpha_e = N(\alpha_p + |\alpha_n|)$$
$$= 63(200\mu VK^{-1} + 195\mu VK^{-1}) = 24.85mVK^{-1}$$

$$R_M = N\rho_e\gamma = N(\rho_p + \rho_n)\gamma$$
$$= 63(d1.05m\Omega^{-1}cm^{-1} + 1.0m\Omega^{-1}cm^{-1})3.33cm^{-1}$$
$$= 0.425\Omega$$

$$K_M = \frac{NK_e}{\gamma} = \frac{n(K_p + K_m)}{\gamma}$$
$$= 63\frac{1.05\mu Wcm^{-1}K^{-1} + 14\mu Wcm^{-1}K^{-1}}{3.33cm} = 0.547\frac{W}{K}$$

$$Q_{cmax} = K_M(Z_M T_{Cj}^2/2 - \Delta T_j) = 53.26W$$

$$\Delta T_{\max} = T_{hj} - 1/Z_M((1 + 2Z(T_{hj} - |Q_C|/K_M))^{-1} - 1) = 62.5C$$

$$I_{\max} = \alpha T_{cj}/R_m = 17.7A$$

$$Z_M = \frac{(\Sigma\alpha_e^2)}{R_M K_M} = \frac{(0.02485WK^{-1})^2}{0.425\Omega 0.547W/K} = 2.63\times10^{-3}K^{-1}$$

$$V_{\max} = \alpha_M T_{hj} = 7.45V$$

위의 두가지 모듈에서 계산되는 각 온도계수는 일반상용 모듈(CPI 1.4-127-10L,Melcow, USA에 준하는 모듈)을 표준 모델로 하여 특성지수를 얻었다. 열전발전용 모듈과 냉각용 모듈의 특성상 cell의 개수가 작아짐에 따라 더 많은 전류를 입력하고 다소 낮은 전압을 인가했을 경우 주어진 냉각효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

2.3 열전냉각용 소자의 특성

열전소자의 특성측정은 유량의 변화와 온도차에 따른 특성으로 구분할 수 있으나 본 연구에서는 온도차에 따른 기전력의 변화만 측정하였다. 실험은 저온단과 고온단이 거의 같은 온도에서 시작하여 고온단의 온도를 거의 100℃에 가깝게 올렸을 경우에 발생된 기전력이 변화하는 특성을 측정하였으며 다음 그림과 같다.

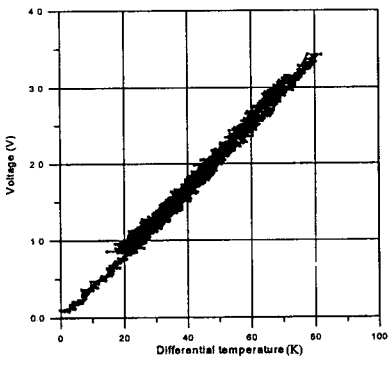

Fig. 2 Electric voltage of thermoelectric cooling module(R=2.156, Z=2.50)

위의 그림은 열전냉각소자 하나의 특성으로서 얻어

위의 그림은 열전냉각소자 하나의 특성으로서 얻어지는 기전력과 온도차의 관계는 다음 식과 같다.

Electric voltage(V) = 0.0425Differential temp.(K)

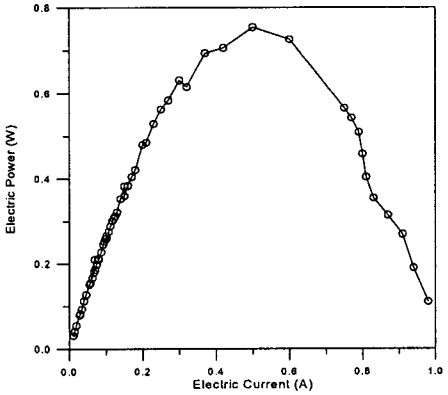

Fig. 3 Electric power of thermoelectric cooling module with electric loading

Fig.3은 열전냉각소자의 부하특성으로 전기저항의 크기를 변화시키면서 전류와 전력사이의 관계를 나타내었다.

2.4 열전발전용 소자의 특성

열전발전소자의 특성도 마찬가지 방법으로 측정하였으며 양단 간의 온도차에 따른 기전력과 부하에 따른 특성을 조사하였으며 다음 그림과 같으며 직선식도 같이 나타내었다.

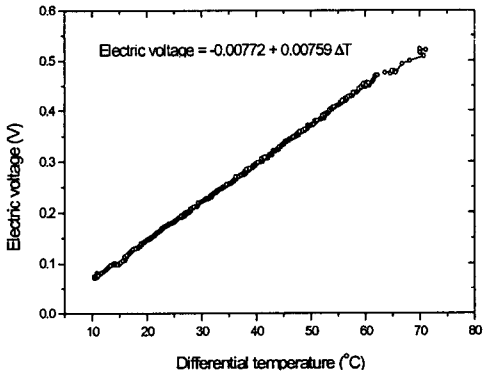

Fig. 4 Electric power of thermoelectric generating module(R=0.38, Z=0.825)

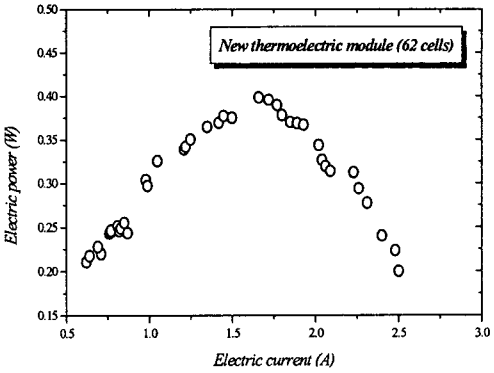

Fig. 5 Electric power of thermoelectric generating module with electric loading

3. 장 결 론

본 연구에서는 열전발전용 소자의 제작과 특성을 냉각용 소자와 비교하였으며 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 열전발전소자의 냉각에서 사용하는 계산특성과 발전에서 측정된 특성을 비교하면 저항치는 거의 유사한 결과이지만 Z값은 측정결과가 낮게 나타났다.

(2) 열전냉각 및 열전발전용 소자의 무부하 특성에서 양단간의 온도차에 의한 기전력의 특성은 거의 선형적으로 나타났으며 그 식은 다음과 같다.

냉각용 : Electric voltage(V) = 0.0425 ΔT

발전용 : Electric voltage(V) = 0.00772 ΔT

참고 문헌

[1] A. F. Ioffe, Semiconductor thermoelements and thermoelectric cooling, Inforsearch Ltd, London, 1957

[2] 우병철, 이희웅, 이동윤, 열전모듈을 이용한 열에너지 변환기술과 응용, 98에너지춘계 p.125, 1998

[3] 우병철, 온도차를 이용한 열전발전기의 sliding에 따른 열응력 특성, 대한전기학회하계학술대회논문집, pp.1904-1906,1999

[4] B.C.Woo, Simulation of thermal stress on thermoelectric generator using constrained aluminum tube as key joints, International Journal of Ocean Engineering and Technology Vol. 2, No 2, pp.26-34, 1999