

# 열전소자의 열전성능지수 평가시스템 개발

## Evaluation of figure of merit of thermoelectric devices

\*권수용, #김용규, 이상현

\*Su Yong Kwon, #Yong-Gyu Kim(dragon@kriss.re.kr), Sanghyun Lee  
한국표준과학연구원 기반표준본부 온도센터

Key words : Figure of merit, Thermoelectric device, Seebeck coefficient

### 1. 서론

열전(thermoelectric)이란 두 종류의 서로 다른 금속을 접촉한 소자에 온도차를 주면 기전력이 발생하는 지벡(seebeck)효과와 전류를 흘려주면 소자의 냉각과 가열이 가능해지는 펠티어(peltier)효과를 의미한다. 이중 지벡효과는 최근 새로운 에너지 기술개발 경쟁에 따라 연구개발이 매우 활발해지고 있는 기술 중 하나이다. 열전소자는 친환경적으로 가정, 산업, 항공, 우주, 군사, 의료용에 폭넓게 활용되고 있으며, 특히 차량 및 산업체의 폐열을 이용한 발전소자 및 태양열을 이용한 에너지 생산측면에 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 열전소자의 에너지발전성능과 에너지발전효율을 측정하고 평가하기 위해서는 무차원지수인 열전성능지수(figure of merit)  $ZT$ 에 의해 표시되며 아래와 같다[1].

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa} \quad (1)$$

여기에서  $S$ ,  $\sigma$ ,  $\kappa$  그리고  $T$ 는 각각 열전계수(seebeck coefficient), 전기전도도, 열전도도, 그리고 절대온도이다. 식 (1)에 따라, 열전성능지수를 측정, 평가하기 위해서는 열전계수, 전기전도도, 열전도도를 각각 측정해야 한다. 하지만 열전도도의 정밀한 측정이 어려워 같은 재료나 소자임에도 불구하고 측정자 간  $ZT$  측정값에 큰 편차를 보이고 있다. 따라서 열전도도를 측정하지 않고  $ZT$ 값을 측정하고자 하였으며, 이러한 이유로 Harman 법이라는 방법을 사용하여  $ZT$ 값을 측정하여 오고 있다[2]. Harman 법에서는 열전재료 및 소자의 열전도도를 측정하는 대신 시편의 상하 양단에 wire를 연결하여 양단에 걸리는 전압을 측정하여  $ZT$ 값을 측정한다. 하지만 이 방법은 시편의 adiabatic 조건이 필요하고 wire 효과를

보정하기가 쉽지 않다는 단점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 열전소재나 소자의 열전성능지수를 측정함에 있어 식 (1)의 4개 물리량( $S$ ,  $\sigma$ ,  $\kappa$ ,  $T$ )을 동시에 직접 측정하여 정확한  $ZT$ 값을 측정하고, 이를 바탕으로 열전소자의 발전효율(power generation efficiency,  $\eta$ )을 평가하는 시스템을 개발하고자 하였다.

### 2. 측정방

식(1)의 열전계수의 경우, 열전변환효율 측정시와 동일하게 소자의 입력과 출력점 사이에 걸리는 전압과 소자의 양단의 온도편차를 측정하면 다음과 같이 얻을 수 있다[3].

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2)$$

여기에서  $\Delta T$ 는 소자양단의 온도편차이고,  $\Delta V$ 는 소자 양단에 온도편차가 주어졌을 때, 소자에 발생하는 전압이다.

전기전도도는 기존에 나와 있는 통상적인 방법으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\sigma = \frac{IL}{aV} \quad (3)$$

여기에서  $I$ ,  $V$ ,  $L$ , 그리고  $a$ 는 각각 열전소자에 흘러가는 전류, 열전소자에 걸린 전압, 전류가 흘러간 총 길이, 그리고 전류가 흘러가는 단면적이다.

열전소자의 열전도도 측정은 보호열판법(guarded hot plate method)이라는 원리를 이용하여 측정한다. 보호열판법은 가장 정확하게 열전도도를 측정할 수 있는 방법이다[4].

$$\kappa = \frac{Qd}{A\Delta T} \quad (4)$$

여기에서  $Q$ 는  $\Delta T$ 를 유지하기 위해 열전소자

에 흘러들어가는 열에너지이고,  $d$ 와  $A$ 는 각각 열전소자의 두께 그리고 열전소자에 열에너지가 흘러들어가는 면적을 나타낸다.

### 3. 측정시스템

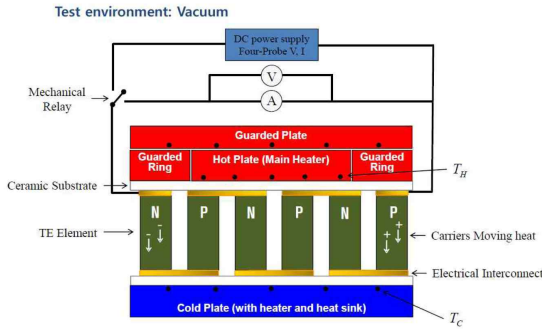


Fig. 1 Block diagram of main measurement unit

Fig. 1은 개발된 열전성능지수 평가장치의 주 측정 unit의 모식도이다. 4개의 열판(cold plate, hot plate, guarded ring, 그리고 guarded plate)을 이용하여 열전도도를 정확히 측정하고 전기전도도와 열전계수를 측정하기 위한 전기회로가 구성되어 있다. 열전소자의 전기전도도를 DC current법에 의해 측정된 후, mechanical relay를 이용하여 회로를 전환하여 자동으로 열전계수를 측정함과 동시에 열전도도 측정할 수 있도록 측정 시스템이 구성되어 있다. 이를 통해 구해진 측정량들은 열전소자를 이루고 있는 p-n 쌍의 개수로 normalization이 된 값으로 측정이 되고, 측정된  $ZT$  (per pn pair)를 이용하여 다음과 같이 열전발전 효율을 평가할 수 있다[5].

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_H} \frac{\sqrt{1+Z\bar{T}}-1}{\sqrt{1+Z\bar{T}}+T_c/T_H} \quad (5)$$

여기에서  $T_H$ 와  $T_c$ 는 각각 hot plate와 cold plate의 온도이다.  $\bar{T}$ 는  $T_H$ 와  $T_c$ 의 평균값이다.

### 3. 열전발전효율

상기에서 기술된 방법에 따라 열전소자를 평가하였다. 측정에 사용된 열전소자는 119개의 pn pair로 이루어진 상온용 소자였으며 20 °C에서의 열전소자의 발전효율을 평가하였다. 평가된 발전효율은 Fig. 2에 나타내었다.

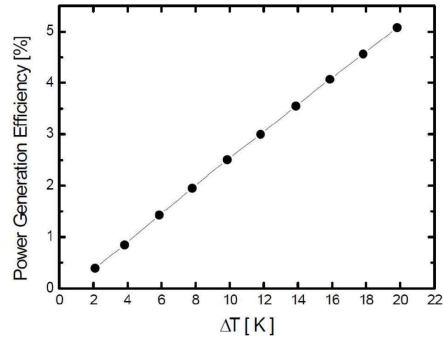


Fig. 2 Power generation efficiency of the thermoelectric device measured at several temperature differences at 293 K

### 4. 결론

본 연구에서는 열전소자의 열전성능지수와 발전효율을 평가하는 측정시스템을 개발하였다. 기존의 방법과 달리 열전계수, 전기전도도, 열전도도를 직접, 동시에 측정하여 열전소자의 열전성능지수와 발전효율을 정밀하게 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다.

### 참고문헌

1. Ioffe, A. F., Izv. Akad. Nauk SSSR, 20, 7, 1956.
2. Harman, T. C., J. Appl. Phys. 29, 1373, 1958.
3. Rowe, D. M., Thermoelectric Handbook: Macro to Nano, CRC Press, 2006.
4. Salmon, D., Meas. Sci. Technol., 12, R89, 2001.
5. Snyder, G. J., Uresell, T. S., Phys. Rev. Lett., 91, 148301, 2003.