

## 열전도율 변화에 따른 Bi-Te계 열전모듈의 열전특성

김봉서, 정현욱, 박수동, 한동희, 이희웅  
한국전기연구원

### Thermoelectric Characteristics of Bi-Te Module with Thermal Conductivity Change

Bong-Seo Kim, Hyun-Uk Jeong, Su-Dong Park, Dong-Hee Han and Hee-Woong Lee  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - Thermal conductive polymer film was adopted to reduce the fracture of module during the fabrication of thermoelectric generator. We investigated the thermoelectric output power of module with the change of thickness of polymer film, direct contact and thermal-conductive grease. It is measured that thermoelectric output power is decreased with the increasing thickness of thermal-conductive polymer film. And

힘기를 구성하였다. 이 모듈 시험기는 모듈 양단의 온도와 모듈에서 발생하는 전압, 저항에 따른 전류를 동시에 측정할 수 있는 장치로 구성되어 있고, 모듈 양단의 온도를 일정하게 유지한 후에 실시간으로 컴퓨터를 이용하여 측정하였다.

#### 1. 서 론

열전발전은 Seebeck효과를 이용한 것으로, 모듈 양단에 온도차를 가해 주면 전위차가 발생하여 발전하는 원리이다. 열전발전에 사용하고 있는 열전모듈은 사용온도와 재료에 따라 여러 종류로 분류할 수 있다. 범용으로 사용할 수 있는 저온용 모듈의 대표적인 것으로 Bi-Te계 모듈이 있다.

열전모듈은 일반적으로 p형과 n형의 열전반도체 재료가 직렬로 연결되어 있고, 그 위에 수십 $\mu\text{m}$ 의 열응력 완화층이 있고, 외부에는 알루미늄 판으로 구성되어 있다. 이 알루미늄 판이 열전도율을 낮추기 위해 사용되어 진다.

실제 열전 모듈이 열전발전기에 적용되는 경우에는 여려 개의 모듈이 직·병렬로 연결되고, 열전모듈의 양단에 온도차를 가하기 위해 알루미늄 판을 이용하여 온수와 냉수를 강제 유동시킨다. 고온과 저온의 알루미늄 판 사이에 열전모듈이 놓이고, 열전발전기를 구성할 때, 기계적인 구성을 위해 양단에 물리적으로 힘을 가하게 된다. 이 때 필요 이상의 힘이 가해지게 되면 그림 1과 같이 열전모듈의 파괴를 불러일으키게 된다. 파괴된 모듈은 열전발전기 전체로 문제를 일으킬 수 있기 때문에 개선이 요구된다.

이러한 문제점을 해결하고, 열전발전기의 기계적 안전성을 항상시키는 방법 중의 하나로, 열전모듈의 양단에 물리적 힘을 완화할 수 있는 완충재를 삽입하는 방법이 취해지게 된다. 본 연구에서는 이와 같이 열전발전기 제조시 사용되는 열전모듈의 안정성을 확보하기 위해 양단에 고분자 필름을 사용하였고, 이때 사용되어지는 고분자 필름의 열전도 변화에 따른 열전모듈의 출력 특성 변화를 파악하고자 하였다.

#### 2. 실험

사용된 열전모듈은 러시아 RIF사 제품을 사용하였고, 40x40x7 $\mu\text{m}$ 의 치수를 가지고 있는 것으로 그림 1에 나타내었다. 모듈의 양단에 사용될 고분자 필름은 0.1, 0.4, 0.6, 1.0 $\mu\text{m}$  그리고 고분자 필름을 사용하지 않은 것과 열전도 그리스를 사용하였다.

열전도 필름이 부착된 모듈은 그림 2와 같이 모듈 시

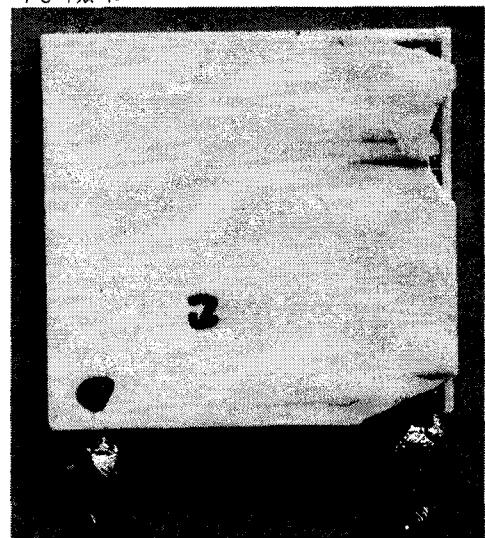


그림 1 열전발전기 제조시 파손된 열전모듈 형상

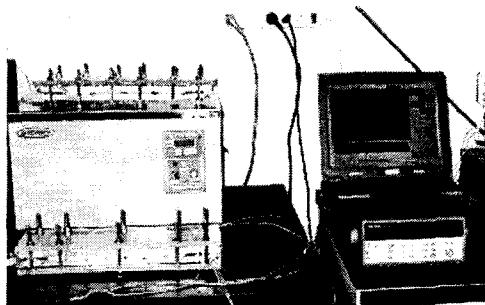


그림 2 열전모듈 특성 평가 시험 시스템의 구성도

#### 3. 결과 및 고찰

열전모듈의 양면인 알루미늄 판에 열전도성 고분자 필름을 부착하여 양단에 온도차를 가하고, 이때 모듈의 양단에 발생하는 전압과 전류를 측정함으로서 계산된 모듈의 출력 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 나타

낸 결과에서 알 수 있듯이, 열전도성 고분자 필름의 두께가 증가할수록 출력이 낮아지는 것으로 측정되었다. 그리고 열전도성 고분자 필름을 사용하는 것과 사용하지 않는 경우를 비교하면, 열전도성 고분자 필름을 사용하는 것이 출력 특성이 낮았다. 또한 열전도성 그리스를 사용한 모듈과 열전도성 고분자 필름을 사용하는 경우를 비교해 보면, 열전도 그리스를 사용하는 모듈의 출력 특성이 가장 우수한 것으로 나타났다.

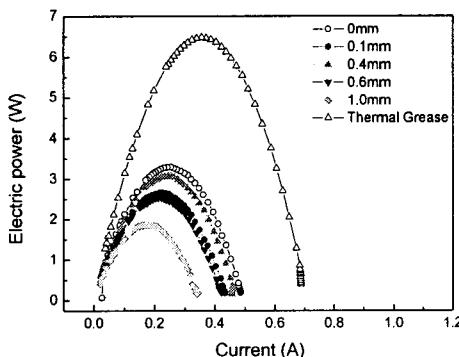


그림 3 열전도율 차이에 따른 열전모듈의 출력변화  
(RIF 14 module)

먼저, 열전도성 고분자 필름을 사용한 경우, 필름의 두께에 따른 출력 특성은 필름의 두께가 증가할수록 출력이 낮게 나타났다. 본 연구에 사용된 열전도성 고분자 필름 속에는 고분자 물질 뿐만 아니라 열전도성이 우수한 알루미늄이나 분말이 체적비로 50% 포함되어 있다. 고분자 재료는 열전도도가 낮지만, 기계적인 충격을 견딜 수 있는 땜평성이 우수하다. 고분자 필름의 두께가 증가하면 상대적으로 열전도도가 낮은 고분자 필름 층의 두께가 증가하여 고온측으로 열전도가 어렵게 되어 고온측의 온도 유지 및 열전달이 어렵게 되어 고온과 저온의 양단에 걸리는 온도차가 낮아지게 된다. 이와 같은 이유로 인해 고분자 필름의 두께가 증가할수록 온도차가 감소하게 되어 열전모듈에서 발생하는 전압이 낮아지고, 전류 특성도 낮아져서 출력이 감소하게 된다.

열전도성 고분자 필름을 부착한 열전모듈과 열전도 그리스가 도포된 모듈의 특성을 비교해 보면, 고분자 필름을 부착한 모듈보다 열전도성 그리스가 도포된 모듈의 특성이 월등히 우수함을 알 수 있다. 이것은 고분자 필름이 모듈과 알루미늄 판 사이에서 상대적으로 열전도 효율을 감소시키기 때문이고, 또한 열전도성 그리스를 사용하게 되면 모듈과 알루미늄 판 사이의 빈 공간 부분에 열전도성 그리스가 충진되어 다양한 열전도 경로가 생생될 뿐만 아니라 열전도 효율도 개선되어 출력 특성이 향상되는 것으로 판단된다.

또한 열전도성 그리스가 도포된 모듈과 알루미늄 판이 직접 접촉한 것을 비교해 보면, 열전도성 그리스를 도포한 모듈의 특성이 우수한 것으로 나타났다. 이것은 그림 4 (a)에 나타낸 것과 같이, 직접 접촉한 모듈은 열전도 경로가 한곳으로 집중하게 되어 열전도 경로에 병목현상이 발생하게 되어 열전도 특성이 감소하게 된다. 반면에 열전도 그리스를 사용하게 되면 이 알루미늄 판과 열전모듈 사이의 접촉면을 보면 일부에서는 직접접촉하게 되고, 나머지 공간 부분에 열전도 그리스가 충진되어 고온측으로부터 공급되는 열전달이 효과적으로 진행 할 뿐만 아니라 모듈에서 저온측 알루미늄 판으로 열이 효과적으로 냉각되어 모듈 양단의 온도차 형성이 용이하게 되어 모듈의 출력 특성이 우수한 것으로 판단된다.

열전모듈 양단과 알루미늄 판의 표면을 미시적 관점에서 보면 그림 4과 같은 상태로 예상할 수 있다. 알루미늄 판과 열전모듈의 알루미늄이나 판이 직접 접촉하면 그림 4의 (a)와 같은 상태로 되고, 두 판 사이에 고분자 필름을 삽입하면 그림 4 (b)와 같은 형상이 된다. 그림 4에서도 알 수 있듯이 두 판이 직접 접촉하게 되면 열전도 경로가 제한된 접촉점으로만 진행되어 병목현상이 발생하지만, 고분자 필름이 열전모듈과 고온측과 저온측의 알루미늄 판 사이에 부착된 경우는 열전도 경로는 왜곡되지 않지만, 열전도율이 나쁜 고분자 물질로 인해 전체적인 특성이 나쁘기 때문에 직접 접촉한 모듈의 출력 특성이 고분자 필름을 사용한 모듈보다 우수한 것으로 나타나게 된다.

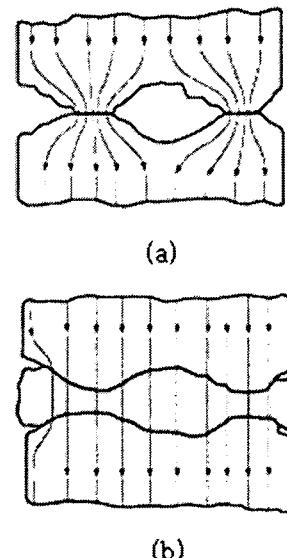


그림 4 두 접촉면 사이의 열 흐름도 분석 (a) 두 접촉면사이에 air gap이 존재할 경우, (b) 두 접촉면사이에 열전도성 필름이 삽입된 경우

그림 5는 사용된 고분자 필름의 열전도성 필름의 열전도 메커니즘을 나타낸 것으로, 고분자 물질 내에 알루미늄이나 분말이 50%의 체적비로 균일하게 분포되어져 있다고 가정하면, 분말 하나를 기준으로 볼 때, 한개의 분말에 열이 전달되면 일정범위까지 열전도가 가능하게 되고, 이 범위 내에 다른 알루미늄이나 분말이 존재하게 되면 위의 열전도 기구가 연속적으로 작동하여 고온측에서 저온측으로 열전달이 이루어지게 된다.

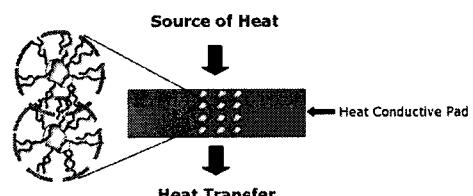


그림 5 열전도성 패드의 열전도 메커니즘

그림 6은 본 연구에 사용된 열전도성 고분자 필름의 알루미늄 함량에 따른 열전도도의 변화를 나타낸 것이다. 고분자 재료 자체는 열전도 특성이 나쁘지만, 고분자

필름 내에 첨가된 알루미나의 열전도도가 다른 산화물에 비해 우수한 특성을 가지기 때문에 알루미나가 포함된 고분자 필름의 열전도도가 개선되는 것을 알 수 있다. 또한 본 연구에 사용된 알루미나의 체적비가 50%이고, 이때 고분자 필름의 열전도도는 약 1.0W/mK를 가지고 있었다.

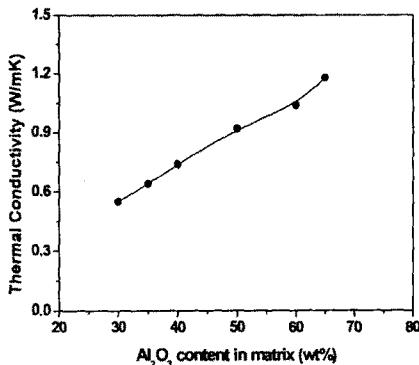


그림 6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량에 따른 열전도성 패드의 열전도도

#### 4. 결 론

열전발전기 제조시 발생할 수 있는 모듈의 파손을 방지하기 위한 방법 중의 하나로 열전모듈과 고온측과 저온측의 알루미늄 판 사이에 열전도성 고분자 필름을 사용하는 경우에 있어서, 고분자 필름의 사용에 따른 열전모듈의 출력 특성을 조사한 결과 다음과 같다.

고분자 필름을 사용한 열전 발전기의 출력은 필름의 두께가 증가할수록 감소하였다. 열전발전기의 출력은 열전도성 그리스를 사용한 모듈의 출력 특성이 가장 우수하였고, 다음으로 모듈과 알루미늄 판이 직접 접촉한 모듈, 열전도 고분자 필름을 부착한 모듈 순으로 출력이 나타났다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] H. Glosch, M. Ashauer, U. Pfeiffer and W. Lang, "A thermoelectric converter for energy supply", Sensors and Actuators, Vol. 74, pp.246-250, 1999.
- [2] C. Wu, "Analysis of waste-heat thermoelectric power generators", Applied Thermal Engineering, Vol. 16, No. 1 pp.63-69, 1996
- [3] R. Y. Nuwayhid, A. Shihadeh and N. Ghaddar, "Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling", Energy Conversion and Management, Vol. 46, pp.1631-1643, 2005
- [4] R. Y. Nuwayhid and R. Hamade, "Design and testing of a locally made loop-type thermosyphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators", Renewable Energy, Vol. 30, pp.1101-1116, 2005
- [5] J. Esarte, G. Min and D. M. Rowe, "Modelling heat exchangers for thermoelectric generators", Journal of Power Sources, Vol. 93, pp.72-76, 2001.