

Bi-Te계 열전발전모듈의 발전능에 미치는 불균일 열원의 영향

박수동, 김봉서, 이희웅
한국전기연구원 신소재응용연구그룹

Effects of Heat Deviation on Power Efficiency of Bi-Te Thermoelectric Module

SuDong Park, BongSeo Kim, HeeWoong Lee
Advanced Electrical Materials Group, KOREA ELECTROTHECHMOLOGY RESEARCH INSTITUTE

Abstract - 최근 고유가 시대에 따른 대체 에너지기술 분야에 대한 관심과 함께 저전력 소비형 전자기기의 동력원으로서 열전발전기술이 주목받고 있다. 열전발전 기술을 이용하여 산업폐열원 등에서 전력을 생산하기 위해서는 폐열원의 열적 분포특성이 우선적으로 검토, 평가되어야 한다. 그 이유는 일반적 산업폐열원의 경우 발전 소자가 설치될 열원에서의 열 분포가 실험실 조건에서와 같이 일정면적에서의 균일 열량조건을 만족시키기는 어렵고 국부적 불균일 열 분포를 나타낼 가능성이 매우 높기 때문이다. 이같은 불균일 열원특성은 열전모듈의 직렬연결을 기본으로 하고 있는 열전 발전시스템의 발전능에 직접적 영향을 미치게 되기 때문이다. 따라서 불균일 열원특성에 따른 열전 발전능의 평가는 열전발전기 전체의 발전능을 평가하는 매우 중요한 인자이다.

본 연구에서는 Bi-Te계 열전발전모듈을 이용하여 열편차 조건에서의 열분포 특성 및 열전달 특성변화를 조사하고 이것에 따른 단위발전소자의 발전특성 변화를 규명하고자 하였다.

1. 서 론

양단의 온도차에 의해 발생하는 열기전력을 이용하는 열전발전은 다양한 열원을 이용하여 “전력”을 생산할 수 있다는 장점에도 불구하고 상대적으로 낮은 에너지 변환 효율과 경제성으로 인해 최근까지도 대규모의 실용화 연구는 이루어지지 않았다. 오히려 외부전력에 의해 양단에서 가열과 냉각이 이루어지는 펠티어 효과를 응용한 정밀 냉각기술이 실생활에서의 열전기술 실용화를 선도하고 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고 열전발전은 반영구적으로 사용할 수 있는 장수명성, 무소음 등의 친환경적 잇점과 함께 본격적인 고유가 시대의 신재생 에너지로 점차 각광 받고 있을 뿐만 아니라 미래사회 핵심적 키워드인 유비쿼터스 시대에 만족되어야 할 “도트(Dot)파워” 형 에너지원으로 새롭게 주목받고 있다.

실제 현재 국내외적으로 진행되고 있는 실용화를 위한 열전발전 연구들은 주로 산업설비에서 발생하는 폐열이나 태양열과 같은 자연발생열 등을 전력화하는 응용분야에 집중되어 있고, 국내에서도 소각로와 발전소를 대상으로 한 열전발전 실용화 연구가 진행 중에 있다.

열전기술을 전력화하기 위해서는 단위열전 모듈로 발생되는 미소전력을 가급적 손실 없이 모아 최대화 할 수 있는 Power matching기술이 매우 중요하다.

즉, 열전발전은 기본적으로 P형과 N형으로 구성된 단위 열전체로부터 발생되는 전력의 직렬화를 통해 단위 전력을 구현하고 이를로부터 발생되는 소정의 전류량, I와 전위 V를 적절히 매칭하여 최대 발전 효율을 구현한다. 이와 같은 열전발전의 구현방식과 원리에 따라 열전발전 효율은 소정 열전모듈의 제반성능에 의해 크게 의존하지만 이것과 함께 열전모듈이 설치될 열원의 열적 환경에 따라서도 직접적으로 대응하여 변화하게 된다.

특히 열전발전을 실용화함에 있어 불균일 열원에 따른 단위 모듈당 비등가 발전량의 변화특성은 최종 파워설계 및 파워매칭시의 중요변수 중 하나가 된다.

본 연구에서는 열전소재 중 가장 높은 효율과 범용성을 가진 Bi-Te계 열전발전용 모듈을 대상으로 하여 불균일 열원에 따른 모듈단위 출력특성 변화를 조사하여 열전발전 시스템 설계 시 반드시 수반되어야 할 불균일 열원이 발전효율에 미치는 영향을 조사 평가하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구에 사용된 열전발전용 모듈은 SeePel사에서 발전용으로 설계 제작한 W53(mm)×L53(mm)×H6.4(mm)규격의 Bi-Te계 열전모듈로서 그림 1에 나타내었다.

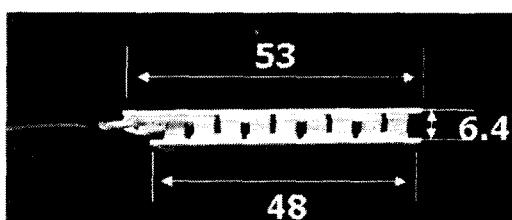


그림 1. SeePel사의 Bi-Te계 열전발전용 모듈

불균일 열원은 Hot plate를 이용하여 50°C, 95°C, 150°C의 3가지 온도조건으로 균일 또는 불균일하게 조합된 온도환경을 조성한 후 발전능을 측정하였다. 냉온부는 20°C로 설정하였고 20°C의 항온을 유지하기 위해 chiller를 통해 항온수를 순환하였다. 불균일 열원에 대한 측정은 소정 온도로 조절된 3개의 hot plate위에 직

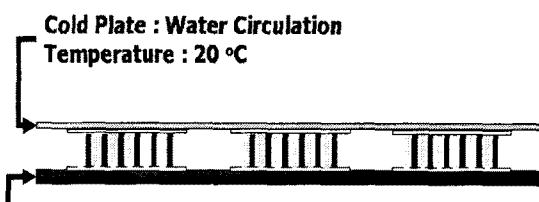


그림 2. 불균일 열원에서의 열전효율 측정을 위한 시험 구성도

별로 연결된 각 2개씩의 발전모듈을 설치하여 총 6개에 대한 출력을 측정하였고 시험방법에 대한 모식도은 그림 2에 나타내었다.

2. 본 론

2.1 균일 열원에서의 발전모듈 성능

그림 3은 균일열원의 조건인 고온부 100°C, 저온부 20°C인 경계조건으로 Ansys를 이용하여 모의한 단위 열전모듈의 높이방향에 따른 온도분포를 나타낸다. 모의

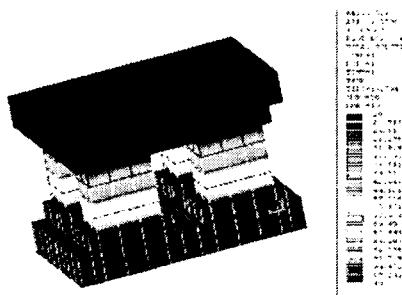


그림 4. 발전용 단위열전소재의 열분포 해석

결과는 상기의 경계조건일 경우 열전모듈의 고온단에서는 97°C에서 98°C로 예측되었으며 저온단에서는 22°C에서 23°C의 온도조건이 형성되는 것으로 모의되었다. 따라서 실제 양단에서의 온도차는 75°C로 예측되었다.

이와 같이 열전모듈 양단에서의 온도가 초기 경계조건의 온도와 다르게 나타나는 것은 이미 잘 알려진 것과 같이 양단의 사이에서 발생하는 열확산이 주원인이다. 열전기술을 응용함에 있어 단위모듈의 구조도 냉각용과 발전용이 차이를 가지게 되는데 발전용의 경우 전기저항이 낮은 형상 또는 재질과 상기 결과와 같이 열확산에 따른 온도차 감소를 고려한 모듈설계가 필요하며 이 같은 이유로 인해 대부분의 발전용 열전모듈은 냉각용 열

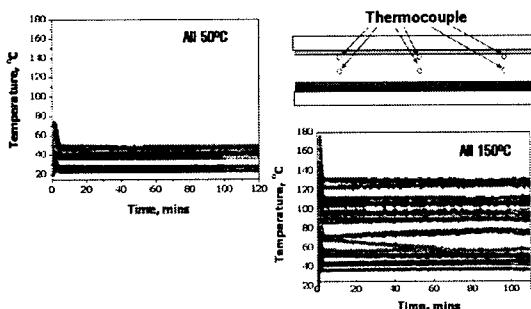


그림 4. 균일온도(50°C, 150°C) 조건에서 측정한 고온부와 저온부 사이의 온도분포

전모듈에 비해 상대적으로 단면적을 가진 형상을 가지게 되며 단면적 변화에 따른 재료의 내부저항과 기전력 및 열확산을 고려하여 최적의 모듈설계가 이루어진다.

그림 4는 hot plate의 온도를 모두 50°C와 150°C로 동일하게 조정한 후 측정한 양단 중심부와 냉각부의 온도를 나타낸 것이다. 50°C의 경우 측정부위에 관계없이 초기 설정온도에 근사한 온도가 측정되었으나 150°C로 승온한 경우에는 특히 고온부의 온도분포가 불균일해지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 실제 열원에 열전모듈을 설치할 경우, 열원의 온도가 고온일수록 열전모듈은 불

균일 열원에 노출될 가능성이 높게 됨을 나타낸다.

그림 5는 각기 50°C, 95°C, 150°C로 조정된 균일열원 조건에서 측정된 직렬 연결된 6개 열전모듈의 출력을 나타낸 것이다. 측정된 결과는 온도상승에 따라 출력이

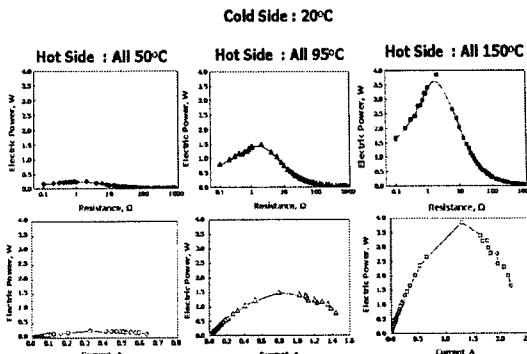


그림 5. 균일열원(50°C, 95°C, 150°C)에서의 열전출력(6개 모듈)특성

증가하는 전형적 열전발전 거동을 나타냈으며 최고온도인 150°C에서는 20, 1.25A조건에서 최대 출력인 3.95W를 나타냈고, 각 온도에서의 최대 발전조건은 온도가 상승함에 따라 저항과 전류량도 증가하였다. 각 온도조건에서의 최대 발전량을 재구성하여 실험식으로 도출하면 $W = -1.667 + 0.036 \times t^{\circ}\text{C}$ 로 나타낼 수 있고 이 결과에 의하면 균일 열원의 조건에서 상기 발전모듈의 발전량은 150°C까지의 온도조건에서 0.036W/°C로 측정되었다.

2.2 불균일 열원에서의 발전모듈 성능

그림 6은 불균일 열원조건에서의 발전출력을 나타내 것으로 각 조건은 좌우는 50°C이고 중심부가 각각 95°C와 150°C이다. 앞서와 같이 발전출력은 중심부의 온도가 높은 경우가 높은 발전량을 나타냈다. 최대발전조건은 저항과 전류에서 온도조건에 따라 각기 다른 특징을 나타

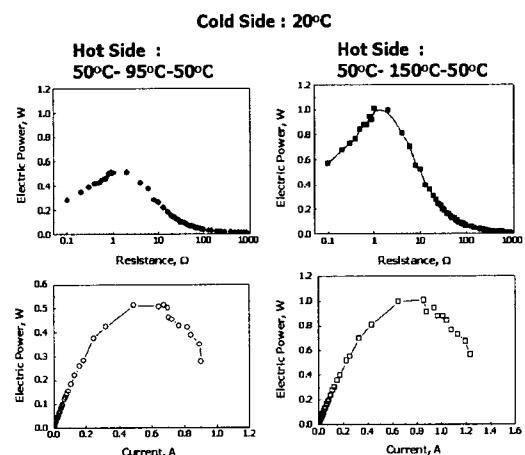


그림 6. 불균일 열원조건에서의 열전출력(6개 모듈) 특성. 50°C-95°C-50°C(좌-중-우), 50°C-150°C-50°C(좌-중-우),

냈다. 즉, 저항의 경우는 좌우측 온도가 낮은 조건임에도 불구하고 최대 발전조건은 중심부 온도에 대응하는 균일

온도조건에서의 저항과 동일하였다. 그러나 발전능 보다 직접적 영향을 미치는 전류량의 경우는 중심부 온도에 직접적으로 대응하지 않고 좌우측의 낮은 온도에 영향을 받아 중심온도에 대응하는 전류보다 낮은 전류조건에서 최대 출력을 나타냈다. 또한, 불균일 열원조건에서의 최대 발전출력은 (좌-중-우) 50°C-95°C-50°C의 경우 0.53W, 50°C-150°C-50°C의 경우에는 1.08W였다. 균일열원조건에서의 실험식을 바탕으로 평균한 각 모듈의 발전량을 각 모듈이 노출된 온도로 대입하여 산술적 합으로 계산한 결과는 50°C-95°C-50°C 조건에서는 0.68W, 50°C-150°C-50°C 조건에서는 1.33W였다. 이것을 실제측정한 발전량의 결과와 비교해 보면 실제 측정한 경우가 산술적 합에 비해 작게 나타났는데 그 원인은 고온부에서의 온도가 상대적으로 낮은 주위온도로 인해 열확산이 일어나고 이것으로 인해 실제 열전모듈의 고온부에 작용하는 온도는 설정된 온도 보다 낮게 되었기 때문으로 판단된다.

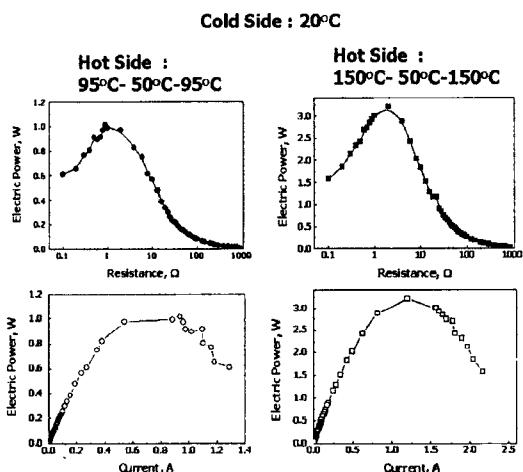


그림 7. 불균일 열원조건에서의 열전출력(6개 모듈)
특성. 95°C-50°C-95°C(좌-중심-우), 150°C-50°C-150°C(좌-중심-우).

그림 7은 좌우온도가 중심온도에 비해 높은 불균일 열원 조건에서 측정한 열전 발전능 변화를 나타낸 것이다. 각 조건에서의 최대 발전량은 95°C-50°C-95°C(좌-중심-우) 조건의 경우 1.0W, 50°C-150°C-50°C(좌-중심-우) 조건에서는 3.6W로 나타났다. 이것을 단위모듈의 발전량으로 산술 합계한 경우와 비교하면 95°C-50°C-95°C 조건의 산술 합은 1.21W, 50°C-150°C-50°C 조건의 산술 합은 2.53W로 95°C-50°C-95°C 조건에서는 실제 발전량이 작고 50°C-150°C-50°C 조건에서는 실제 발전량이 크게 나타났다. 이것은 좌우 온도가 크면 클수록 저온인 중심부로의 열 확산 구동력이 증가하여 열적 이동이 일어나고 따라서 중심부에서의 온도가 초기 설정온도에 비해 크게 상승하였기 때문으로 판단된다. 또한 최대발전 조건은 앞서와 같이 저항의 경우는 중심부에서의 낮은 온도에 영향 받지 않고 열원의 온도 중 최고 온도에 대응한 저항 치에서 최대 발전능이 나타났으며, 전류의 경우에는 저온부의 영향이 반영되어 균일열원시의 최대 발전조건에 비해 낮은 전류 치에서 최대 발전능을 나타내는 특징을 보였다. 이것으로부터 열전발전용 모듈들이 불균일 열원에 노출되었을 경우 저항 또는 전압특성은 노출된 온도 중 최고 온도특성에 대응하여 나타나며 최대 발전량은 각 모듈이 노출된 온도 조건에서의 단위 발전량의 산술적 합으로 평가할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 불균일 열원 환경에 따른 열전 발전능의 변화는 각 단위 열전모듈의 전류량 변화에 직접적으로 대응하는 것으로 판단된다.

3. 결 론

불균일 열원에 따른 열전 발전능의 변화를 Bi-Te계 열전발전 모듈을 이용하여 측정하여 열전발전 특성변화를 조사하였다.

시험결과, 불균일 열원에 열전 모듈이 노출되었을 경우 저항 또는 전압특성은 노출된 온도 중 최고 온도특성에 대응하여 나타나며 최대 발전량은 각 모듈이 노출된 온도조건에서의 단위 발전량의 산술적 합으로 평가할 수 있었다. 또한, 불균일 열원 환경에 따른 열전 발전능의 변화는 각 단위 열전모듈의 전류량 변화에 직접적으로 대응하는 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이희웅, "열전발전기술의 현황과 미래", 한국재료학회 춘계 학술대회 논문집, 2005.
- [2] 한국전기연구원, "1kW급 TEG열전발전 시스템 연구에 관한 최종보고서", 1999.
- [3] Robert W. Diller, Lon E. Bell, "Experimental Results Confirming Improved Efficiency of Thermoelectric power Generation System with alternate Thermodynamic Cycles", 22th International Conference on Thermoelectrics, 2003.