

Peltier module의 구조적 안정성 확보에 관한 연구

전 종 훈[†], 김 재 정, 김 인 관*, 김 영 수**

부경대학교 냉동공조공학과[†], 부경대학교 냉동공조공학과*, 부경대 RRC*, 부경대학교 기계공학부

Study on the Peltier Module to Insure the Structural Stability

Jong-Hoon Jun[†], Jae-Jung Kim*, In-Kwan Kim**, Young-soon Kim

[†]Department of Refrigeration and Air conditioning Engineering, Pukyong University, Busan 608-739, Korea

*Regional Research Center, Pukyong University, Buasn 608-739, Korea

**School of Mechanical Engineering, Pukyong University, Busan 608-739, Korea

ABSTRACT: Electric power is generated by Seeback Effect if there is thermal difference in peltier module. Peltier module is composed by alumina, Bi-Te semiconductor and insulation (or air). If load is increased in peltier module, the alumina of module will be destroyed. One of the preventing method of module destruction is using damper between module and heat source. But the electric power is dropped because of decrease of thermal difference, if thermal conductivity of damper was lower than other thermoelectric materials. We design Polymer Pad for enhancing thermoelectric power. As the result of these experiment, Polymer Pad is more superior than the Rubber in the stability and thermal conduction.

Key words: Peltier module, Polymer pad, Rubber

기 호 설 명

- l : 길이 [m]
- S : 단면적 [m²]
- Q : 전열량 [W]
- T : 온도 [K]
- Z : 성능지수
- e : 변형량 [mm]
- a : Seebeck계수
- δ : 위상차
- κ : 열전도계수 [N·s/m²]
- ρ : 전기 비저항 [N·s/m²]

- ω : 각진동수 [N·s/m²]
- σ : 응력 [N/mm²]

하첨자

- h : Heat source
- c : Cooler

1. 서 론

열전 발전이란 열에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 방식이다. 고온부분과 저온부분 사이의 온도차에 의해 발생하는 열이 이동하려고 하는 에너지를 전기에너지로 변환시키는 것이 그 원리

[†]Corresponding author

Tel.: +82-51-620-1503; fax: +82-51-623-8495

E-mail address: silverds@nate.com

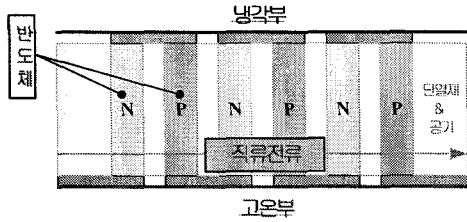


Fig. 1 Fundamental of peltier module.

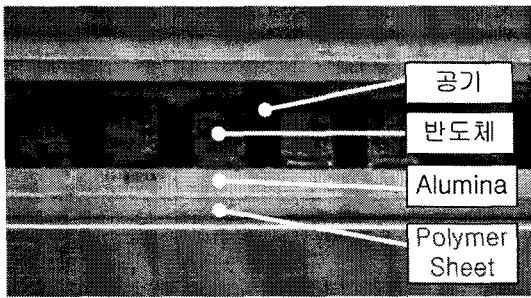


Fig. 2 Schematic of peltier module.

이다. 지구상의 어떤 곳에도 온도차가 존재함으로 무한하다 해도 과언이 아닌데 그 응용분야는 가정용으로부터 지구규모로까지 다양하고, 이용 가능한 열원 온도도 약 200~2000℃(현재 기술 수준)로 범위가 넓은 편이다. Fig. 1은 열전발전의 원리, Fig 2는 펠티어소자의 형상을 나타낸 것으로 그림과 같이 그 발전은 P형과 N형의 반도체를 접합한 단위 소자를 사용해서 발전한다. 그 원리는 소자의 한쪽을 저온으로, 다른 한쪽을 고온으로 유지하면 소자를 통해서 고온측에서 저온측으로 열류가 발생하는데 고온측에서 소자안으로 열에너지가 유입되어 소자를 통과해서 저온측으로 방출된다. 이 때 소자안에 유입된 열에너지의 일부가 방출되지 않고 소자 내부에서 전기 에너지로 변환되어 그림에 나타난 외부 부하에 의해 전력으로서 추출된다. 이러한 단위 소자를 여러 개 접속함으로써 더 큰 전력을 얻을 수 있게 된다.

전자냉각 및 발전 분야에 응용되는 펠티어모듈의 에너지 변환효율은 n형과 p형 소자에 의해 이루어지는 couple의 수와 각 소자들의 열전특성에 의존하며, 우수한 열전특성을 갖는 소자를 사용할 때 모듈의 크기를 줄일 수 있다. 열전 특성은 각 재료의 Seebeck 계수, 전기비저항 및 열전도

도에 따라 달라지며 그 특성은 다음과 같다. 길이, 단면적, Seebeck 계수, 전기 비저항 및 열전도도가 각각 l_A, s_B, a_B, ρ_A 및 κ_B 인 열전재료 A와 B를 이용하여 전기적으로는 직렬로, 열적으로는 병렬로 회로를 구성하여 모듈 양단의 온도차를 $\Delta T (=T_h - T_c)$ 로 유지하였다. 이때 모듈의 고온 단에서 흡수되는 열량 Q_a 와 joule열의 반인 $(1/2)Q_J$ 와의 합이 Peltier 효과에 의한 열 Q_P 와 열전도에 의한 방출되는 열량 Q_K 의 합과 같으므로 식 (1)과 같은 관계가 성립한다.

$$Q_a + \frac{1}{2} Q_J = Q_P + Q_K \quad (1)$$

열전재료의 에너지 변환효율을 최대화 하려면 다음의 3가지 요소를 만족해야만 하며, 식 (2)와 같이 Z를 성능지수(figure-of-merit)라고 하여 열전재료의 양호도를 나타내는데 쓰여진다.

- (1) 소자에 형성된 온도차는 클수록 좋으므로 열전도도(κ)가 작을수록 좋다.
- (2) 출력전압은 클수록 좋기 때문에 Seebeck계수(a)는 클수록 좋다.
- (3) 큰 출력을 내기 위해서 내부저항과 소자의 전기비저항(ρ)은 작을수록 좋다.

$$Z = \frac{a^2}{\rho \kappa} \quad (2)$$

이때 Z는 Seebeck 계수 a , 전기비저항 ρ 및 열전도 κ 의 재료정수만으로 결정된다.

소각로에서 발생하는 폐열을 이용하여 5kW급 TEG 열전발전 시스템을 개발하기 위해 열전발전 시스템의 측정기술 확보 및 DC/AC 전환과 Power matching 기술 개발을 하던 중 펠티어모듈의 파손으로 인한 출력값(Wattage)의 급격히 하락하였다.

기본적으로 열전발전 시스템은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Multi 시스템으로 구성되는데 체결도중 펠티어모듈의 구성 부품인 알루미늄의 파손으로 전력손실을 가져 온 것을 연구도중 발견하였다.

펠티어소자는 2개의 알루미늄 판 사이로 P형과 N형 반도체가 교차로 접합되어 있는데 이러한

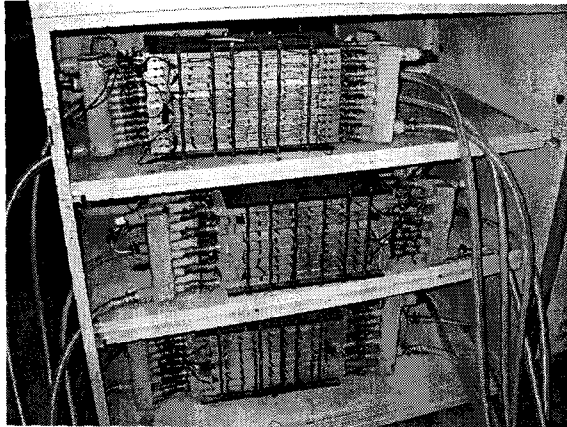


Fig. 3 Multi System.

펄터소자의 경우 열적으로 병렬로 연결되어 있지만 전기적으로는 직렬로 연결되어 있기 때문에 펄터모듈의 국부적인 파손은 시스템의 일부분에만 영향을 미치는 것이 아니라 시스템 전체에 영향을 미치는 치명적인 결과를 초래한다. 특히 알루미늄의 경우 다른 열전재료에 비해 구조적 취성이 크기 때문에 시스템 체결 시 하중으로 인한 압력이 펄터소자의 파손을 야기시키고 그로 인해 출력 또한 매우 취약하게 나타난다. Fig. 4는 파손된 펄터모듈의 형상이다.

구조적 취약성으로 인한 파손을 방지하기 위해 펄터모듈 양단에 Damping 역할을 할 수 있는 고무패드를 장착하였다. 하지만 고무의 낮은 열전도도로 인해 약 64%의 출력손실 초래하여 고무재질에 비해 열전도도가 우수하고 충격완화 작용을 할 수 있는 대체 재료 개발에 필요성을 인식하고 연구를 실시한 결과 열전도성 Polymer Pad를 Sheet Type으로 고안하였다. (본 논문에서는 열전도성 Polymer Pad를 단순히 Polymer Pad로 칭하기로 한다.)

열전도성 패드는 아크릴계 고분자에 열전도도의 개선을 위해 Al_2O_3 를 첨가하여 제조된 자기밀착성 테이프형식을 하고 있다. 본 연구에 사용된 Polymer Pad는 Al_2O_3 첨가도를 50%로 선정하여 사용하였는데, 이것은 Al_2O_3 첨가량이 50%가 넘을 때에 기계적 강도가 저하되고 Al_2O_3 분말이외부로 유출되어 열전발전 시스템에 영향을 주기 때문이다. 하지만 이러한 실험 Data는 펄터모듈양단에 Polymer pad를 장착하였을 때 출력

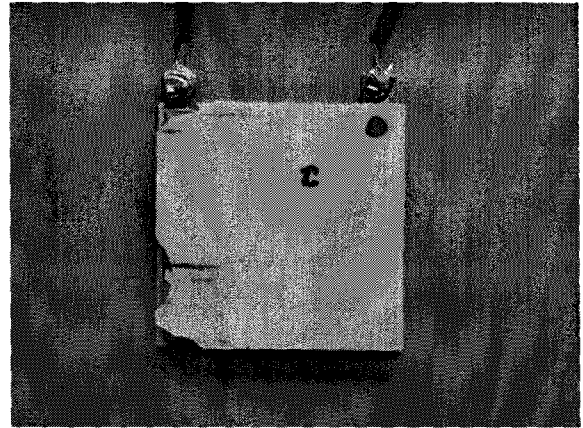


Fig. 4 Damaged Module.

변화 및 구조적 안정성에 관한 정량적인 Data를 확보할 수 없다. 뿐만 아니라 열전발전 Multi System에 적용하기 위한 선행연구가 부족한 상황이다. 따라서 본 연구는 압축시험과 탄성도 측정을 통해 Polymer Pad의 두께변화에 따른 구조적 안정성을 확보함에 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 압축하중 시험

재료에 압축력이 가해졌을 때에 변형저항 및 파괴강도를 구하기 위해서는 압축시험을 행해야 한다. 특히 이는 연성이 큰 금속의 소성가공성의 판정이나 주철, 축재료, 콘크리트와 같은 취성재료의 압축파괴강도의 판정에 공업적으로 이용된다. 재료에 대한 사용응력을 선정할 때 유의해야 할 것은, 그것의 비례한도 이하의 응력에서는 완전탄성체라 볼 수 있으나, 그 한도를 넘으면 변형의 일부가 하중이 제거된 뒤에도 영구변형으로 남게된다. 따라서 본 연구에서는 재료를 탄성영역 내에 머물게 하고 영구변형의 가능성을 배제하여 변형도에 따른 응력의 변화로 실험을 실행하여 Polymer와 Rubber의 탄성도를 비교해석하였다.

2.1.1 실험장치 및 방법

펄터소자 양단에 고무 Pad와 Polymer Pad 부착 시 구조적 특성 평가장치는 Fig. 5와 같고,

실험에 사용된 기기는 LLOYD사의 LR100k 재료 시험기로서 플라스틱, 고무, 식품등 저하중용 인장, 압축, 굴곡, 마찰계수, 집착력, 인열, 신율등의 재료시험이 가능하다. 본 연구에서는 압축에 의한 재료의 변형을 측정하는데 목적을 두고 실시하였으며, 실험은 안정도 0.1% 이하의 정확도와 Load cell 0.005% 이하의 Load resolution을 유지하였고, 작동온도는 일반 상온으로 유지하였다.

시험은 Pad를 장착하지 않은 경우, 1.0mm의 고무 Pad와 0.4, 0.6, 1.0mm의 Polymer pad로 총 5가지 경우의 수로 실험을 하였으며 각 경우에 대해서는 총 10회의 실험을 하여 실험결과와 평균값을 결과값으로 취득하였다. 실험방법은 0.2분간 10 mm/min으로 천천히 압축하여 시험을 하였으며 시간에 따른 펠티어소자가 받는 압축강도를 압력으로 나타내었다.

Pad를 부착하지 않았을 때와 Rubber Pad 그리고 Polymer Pad를 부착하였을 때 구조적 특성평가는 압축을 시작한 후 탄성한도를 넘어 변형이 발생하는 시점을 기준으로 특성을 평가하였으며 이 Data를 이용하여 각 재료에 대한 Damping 작용에 의한 충격완화도를 비교해석 하였다.

2.2 온도변화에 따른 탄성도 측정시험

펠티어소자 양단에 Polymer 및 Rubber Pad를 장착하여 압축하중을 가하여 변형이 발생하기 이전 펠티어소자에 가해지는 강도를 측정하였으나, 소각로에서 발생하는 고온의 열에 의해 재료의 물성이 변하게 되는데 이러한 성질을 비교 해석하기는 힘들다. 따라서 온도에 따른 재료의 탄성에 관한 성질을 규명하기 위해서는 다음과 같은 저장탄성계수(storage modulus) 및 손실탄성계수(loss modulus)의 정의가 필요한 것이다.

재료에 진동적인 변형 또는 응력을 가할 때 이들 양자는 정현적으로 변화하는데 이들 사이에는 위상차가 생긴다.

즉, 변형을 $e=e_0\sin\omega t$ 라 하면, 응력은 $\sigma=\sigma_0\sin(\omega t+\delta)$ 로 나타낼 수 있다. (여기서, ω $e=e_0\exp(i\omega t)$ 는 각진동수, δ 는 위상차) 이때 만일, 의 변형을 부가한다면 이때의 응력은 $\sigma=\sigma_0\exp(i\omega t+\delta)$ 이므로

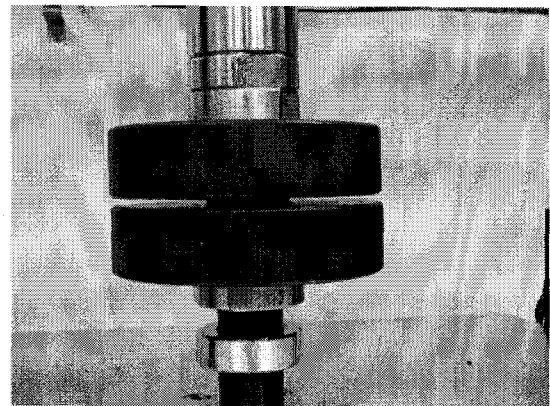
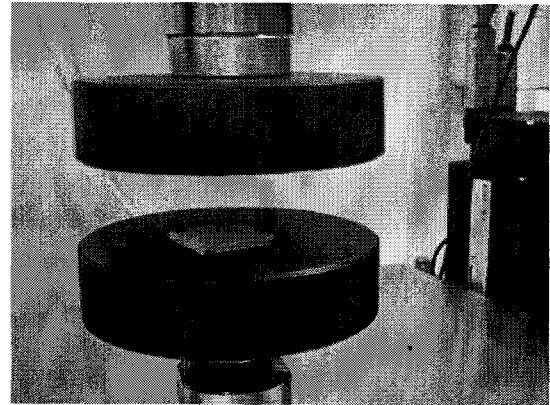


Fig. 5 Compressive force experimental equipment.

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{e} &= G^* = \frac{\sigma_0}{e_0} \exp(i\delta) \\ &= \frac{\sigma_0}{e_0} (\cos\delta + i\sin\delta) = G' + iG'' \quad (3) \end{aligned}$$

로 된다. 이때 식 (3)에 나타난 바와 같이 변형과 같은 위상에서의 탄성계수인 G' 를 동적 탄성계수 또는 저장탄성계수(storage modulus)라고 하는데 그 이유는 변형이 가해졌을 때 시료에 축적된 에너지로 정의되기 때문이다. 한편 변형과 다른 위상에서의 탄성계수인 G'' 는 에너지의 손실로서 정의되므로 동적 손실을 손실탄성계수(loss modulus)라 부른다. storage modulus 및 loss modulus를 정의하는 것은 온도에 따른 재료의 탄성도를 비교해석 할 수 있기 때문이다.

2.2.1 실험장치 및 방법

Fig. 6은 온도조절을 위한 액화질소 그리고 Fig. 7은 storage & loss modulus 측정을 위한 실험장치를 나타내었다. 실험장치는 Dynamic Mechanical Analysis사의 Q-800을 사용하였고, -100℃의 저온영역부터 100℃까지 온도를 변화하면서 storage & loss modulus를 측정하였다.

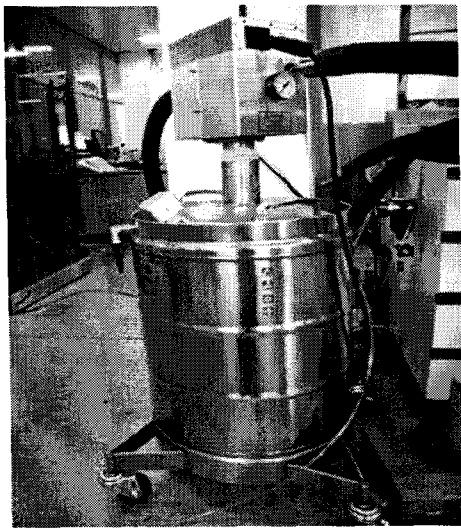


Fig. 6 Liquid nitrogen for adjusting temperature.



Fig. 7 Equipment for measuring storage & loss modulus.

3. 결 과

3.1 압축성 시험결과

펠티어소자의 파손 방지를 위해 설치한 고무 및 Polymer Pad의 두께변화에 따라 압축강도에 대한 구조실험을 실행하였고, 그 결과는 Fig. 8과 같고 그 수치를 Table 1에 나타내었다. 변형이 발생하기 이전 펠티어소자가 받는 응력의 경우 Pad를 장착하지 않았을 경우가 3.18 N/mm²으로 가장 큰 응력을 받는다는 것을 확인할 수 있었고, Polymer Pad의 두께가 0.4, 0.6 그리고 1.0일 경우 2.30 N/mm², 1.80 N/mm² 그리고 1.10 N/mm²의 응력을 받고, Rubber의 경우 가장 작은 0.51 N/mm²의 응력을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 1은 Polymer 및 Rubber Pad를 장착하였을 경우 탄성한도를 벗어나 변형이 일어나기 전 펠티어소자가 받는 압축하중 및 Pad를 장착하지 않았을 경우와 비교한 Damping 효율을 나타낸 것이다. Damping 효율은 Table 1 하단에 정의하였다.

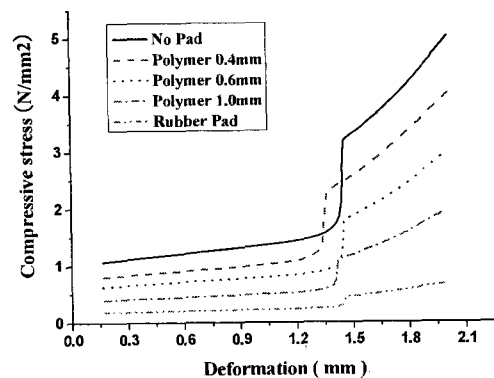


Fig. 8 Compressive stress - Deformation curve of using Polymer and Rubber.

Table 1 Module stress and damping efficiency by compression

Thickness (mm)	No Pad	Polymer 0.4	Polymer 0.6	Polymer 1.0	Rubber 1.0
Compressive Stress (N/mm ²)	3.18	2.30	1.80	1.10	0.51
Damping Efficiency (%)	0	27.5	43.3	65.6	86.2

$$\text{Damping Efficiency} = \frac{(\text{No Pad Force} - \text{Compressible Force})}{\text{No Pad Force}} \times 100$$

3.2 탄성도 시험결과

Fig. 9은 Polymer와 Rubber Pad의 온도에 따른 storage modulus와 loss modulus를 나타내었다. 해석결과 저온영역에서 Rubber의 storage modulus와 loss modulus는 Polymer Pad의 것보다 월등히 높게 나타난다는 것을 확인할 수 있지만, 일반 상온이상에서 storage modulus와 loss modulus의 경우 Rubber가 Polymer에 비해 약 2배정도 높게 나타났다. 이 수치는 최대 수치에 비해 매우 미약한 수치이고, 상온이상에서는 동일한 경향성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 즉, 상온이상 영역에서는 탄성도가 근사적으로 일치함을 의미한다.

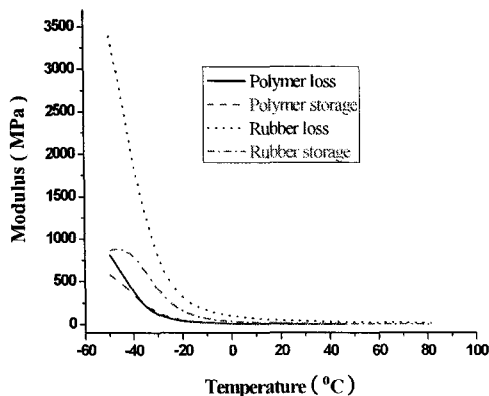


Fig. 9 Storage & Loss modulus of Polymer and Rubber.

4. 결론

펠티어소자 파손을 방지하기 위해 장착한 고무와 Pad를 비교 시험한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 장착하지 않았을 경우에 비해 Polymer Pad를 장착하였을 경우 두께가 0.4 mm일 때 27.5%, 0.6 mm 일 때 43.3% 그리고 1.0 mm 일 때 65.6%의 Damping 효율이 있는 것으로 나타났다.

(2) 압축하중의 효율측면에서 Rubber Pad가 Polymer Pad에 비해 약 20.6% 정도 우수한 것으로 나타났으나, 열전도 측면을 동시에 고려할 때에 Polymer Pad가 열전발전에 적용될 Pad로 적합하다.

(3) 저온영역을 제외 한 일반 상온 이상에서는 Polymer pad와 Rubber가 동일한 경향을 나타내고 있어 대체 Damper로 사용하여도 무방하다.

참고문헌

1. P. Frank, "Heat transfer", P.547~637.
2. Hagen, "Hydrodynamics", P.225~231.
3. L. Helmerls, E. Muller, J. Schilz, W A. Kaysser, "Graded and stacked thermoelectric generators-numerical description and maximisation of output power.", Materials Science and Engineering, 1998, 60~68.
4. 오종윤 외 2명, 1995, 밀폐공간 내부에 발열 전도체가 존재하는 자연대류의 열유동 수치해석, 대한기계학회 추계학술대회논문집(II), pp. 187-192.