

태양열집열기를 이용한 발전장치 연구

전태규*, 양영준**

Study on Power Device Using Solar Collector

Taekyu Chun* and Youngjoon Yang**

Abstract

The thermoelectric generator using solar heat was applied to the device (heat-electricity conversion device) to produce small-scale electricity. The purpose of this study was to investigate the characteristics and performance of the device, which equipped with heat pipe as heat source. The experimental results showed that efficiency of circular single evacuated solar collector was higher 2.7 times than that of rectangular solar collector. Furthermore maximum power of 5 watt was obtained when 2 devices with series array were used and it could be more improved by increasing the number of device or measurement time.

Key words

Heat-electricity conversion(열전변환), Thermoelectric generator(열발전소자), Solar collector(태양열집열기), Heat pipe(히트 파이프), Small-scale electricity(소규모전기)

(접수일 2014. 9. 30, 수정일 2014. 11. 28, 게재확정일 2014. 11. 28)

* GSE 태양열에너지연구소 (Research Institute of GSE Solar Heat Energy)
■ E-mail : gse_2010@hanmail.net ■ Tel : (055)755-3256 ■ Fax : (055)755-3518

** 국립경남과학기술대학교 자동차공학과 (Dept. of Automotive Engineering)
■ E-mail : yangyj@gntech.ac.kr ■ Tel : (055)751-3646 ■ Fax : (055)751-3649

1. 서론

태양에너지를 이용한 발전기술에는 크게 태양광과 태양열을 이용하는 방식으로 분류된다. 그동안 태양광에 대한 연구는 매우 활발하여 셀라셀을 활용한 발전장치가 개발되어 왔으나^(1,2), 태양열을 이용한 연구는 상대적으로 활발하지 않았다. 열발전소자(Thermoelectric generator)는 1821년 제벡(Seebeck)이 두 개의 서로 다른 전도체의 접합부에 열을 가하면 양단에 전위차가 발생한다는 실험 결과로부터 유래되었다. 또한 1833년에 펠티에(Peltier)는 서로 다른 물질에 전류를 통과시켰을 때 접합부 근처에서 온도차가 생긴다는 것을 발견하였다. 근래에 들어 위의 두 원리를 이용하여 실제 생활 제품에 적용하기 위한 연구들이 수행되어 왔다. 제벡효

과를 이용한 연구로서, 한훈식 등⁽³⁾은 열전모듈(TEM)의 열적 조건이 열전발전 성능에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였으며, 인병덕 등⁽⁴⁾은 자동차에서 연료로 공급되는 에너지의 30~40%만 동력에너지로 전달되고 나머지 60~70%는 손실 에너지와 배기에너지로 버려지는 것을 막기 위해 열발전소자와 고온의 엔진 배기가스를 이용하여 전기를 생산하는 연구를 수행하였다. 펠티에 효과를 이용한 연구로서, 최형식 등⁽⁵⁾은 열전소자를 이용하여 카 시트의 냉난방 효과를 극대화하기 위한 냉난방 카 시트의 설계와 온도 제어에 대한 연구를, Mathiprakasam 등⁽⁶⁾은 열전냉동기에 반도체 열전체를 이용하여 냉난방 제어를 시도하였다. 그 외에 열전소자를 이용한 차량용 헤드라이트 제습장치⁽⁷⁾, 열전소자를 이용한 활어 수송용 무수 컨테이너의 개발⁽⁸⁾ 등 실생활과 밀접한 제품들에

활용되어지고 있다. 위에서와 같이 대부분의 연구들은 제백 및 펠티에 효과를 이용하여 각각 열발전소자 또는 열전소자에 의해 전기를 생산하거나 또는 전기를 투입하여 목적하는 바를 얻어내는 것이 주류를 이루며, 태양열 에너지를 이용하여 전기를 생산하고자 하는 연구사례는 많지 않다. 태양에너지를 이용한 연구의 예로서, 김대호 등⁽⁹⁾은 태양에너지를 이용한 열발전장치를 제작하여 그 성능에 미치는 요인들을 분석하였으며, 김종수 등⁽¹⁰⁾은 열전소자와 PF Type 진동형 히트파이프를 이용하여 이를 냉·난방기에 적용하고자 하였다. 모의 전기를 생산할 수 있는 열발전소자 전력변환장치(이하 "전력변환장치"라 칭함)를 연구·개발하여 그 특성 및 성능을 조사하였다. 이를 위해 원형의 단일진공관식 태양열집열기, 직사각형 태양열집열기 등을 제작하여 태양열 흡수부의 여러 형태에 대해 실험을 수행하여 전력변환장치의 성능 향상 가능성에 대해 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

열발전소자(Thermoelectric generator)를 이용하여 태

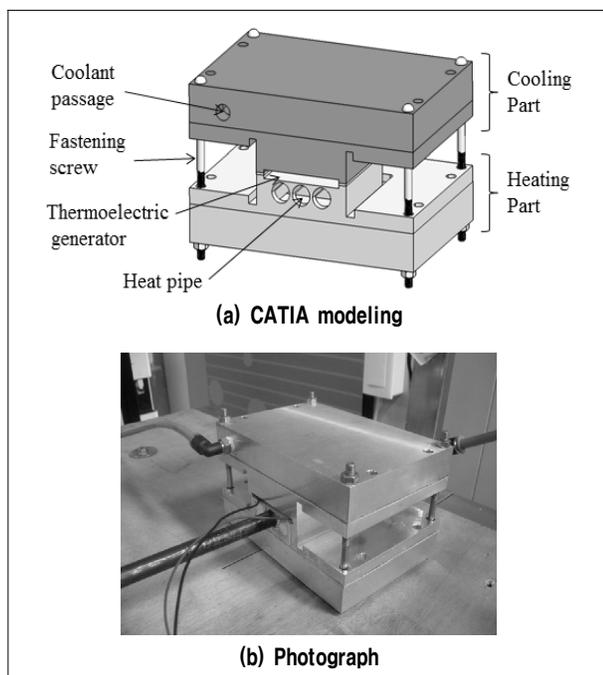


Fig. 1 Structure of heat-electricity conversion device

양열을 전기로 변환하기 위해 연구·개발한 전력변환장치의 CATIA 모델링을 Fig. 1(a)에, 실물 사진을 Fig. 1(b)에 나타내었다. 전체 크기는 (가로×세로×두께) 165×100×110mm이며 고온부(Heating part)와 저온부(Cooling part)로 나뉜다. 고온부에 가열원으로서 태양열을 받는 히트파이프(Heat pipe) 헤드부의 삽입부(1개 또는 3개 장착 가능)가 있으며, 저온부에는 냉각수(Coolant)가 통과하도록 되어 있다. 고온부와 저온부 사이에 열발전소자를 삽입하여 열발전소자의 양면에 온도차가 발생하도록 하여 전기를 생산하는 구조로 되어 있다. 이때 고온부와 저온부는 체결나사(Fastening screw)로서 열발전소자와의 간극을 조절하도록 되어 있다. Fig. 1(b)는 히트파이프 1개만을 장착한 경우의 사진이다.

Fig. 2 및 Table 1에 본 연구에서 사용한 열발전소자의 사진 및 사양(PTC product, HMG7055)을 나타내었다. 시중에서 쉽게 구매 가능한 제품을 사용하였다.

자체 연구·개발한 히트파이프가 내부에 장착된단일 진공관식 태양열집열기의 모습을 Fig. 3에 나타내었다. 좌측 그림은 히트파이프가 1개인 경우($\Phi 70 \times 780$ mm), 우측 그림은 3개인 경우($\Phi 95 \times 780$ mm)이다. 히트파이프는 동(Cu)으로 제작하여 태양열흡수율을 높이기 위한 표면처리(Surface treatment)를 수행한 흡수판(Absorber plate)에 의해 둘러싸여 있다.

Fig. 4는 Fig. 3과 같은 원형 태양열집열기 외에 다른 형

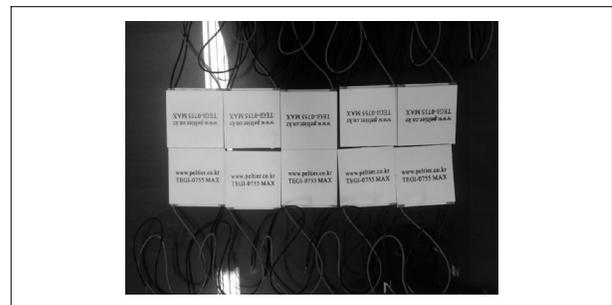


Fig. 2 Thermoelectric generator

Table 1. Specification of thermoelectric generator

Item	Value
Heat resisting temperature (°C)	300
Size (mm)	40×40
Max. voltage (V)	12.5
Max. current (A)	0.59
Power (Watt)	7.4

상을 시험해 보기 위해 제작한 직사각형의 태양열집열기 (Rectangular solar collector, 150×100×2000mm이다. 스텐레스 스틸로 외각 케이스를 만든 후 우레탄으로 열흡수부 (Heat absorber)와 열흡수부와 밀착시킨 히트파이프(3개)를 단열시켰다. 온도 및 전압 측정은 각각 데이터 로거(Data logger, midi LOGGER GL220)와 전압계(Voltimeter, FLUKE 177)를 사용하였다. 인공태양으로서 할로겐램프를 사용하여 광량측정기(Solar Power Meter, TES-1333)로 인공태양의 방출 광량을 측정하였다.

태양열흡수율을 높이기 위하여 동(Cu)의 표면에 표면처리

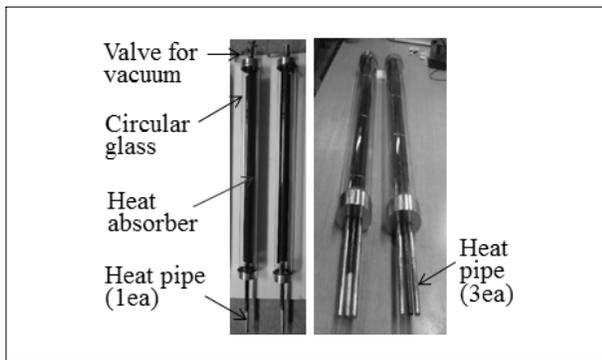


Fig. 3 Solar collector with circular single evacuated tube-type

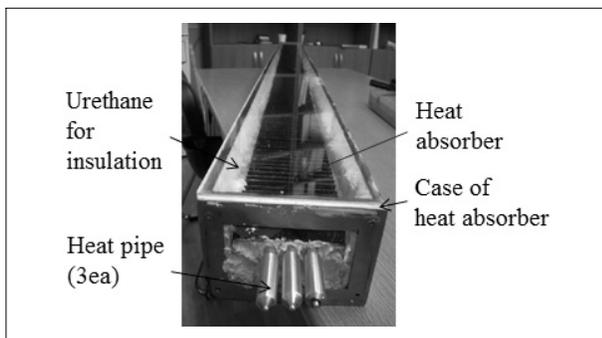


Fig. 4 Solar collector with rectangle-type

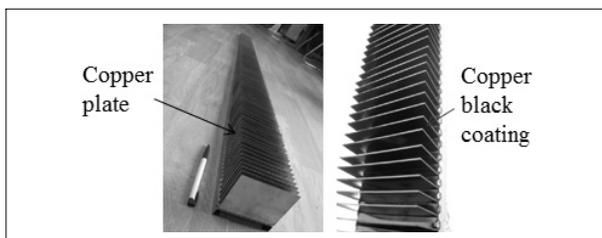


Fig. 5 Surface treatment of heat absorber

를 수행하였다. Fig. 5는 Fig. 4의 열흡수부의 모습(T1×85×1500mm, 187개)이다. 표면처리의 공정은 탈지, 수세, 에칭, 디옥다이징, 아노다이징, 흑색염료처리, 실링, 수세 등을 수행하였다. Fig. 5의 좌측은 표면처리 전, 우측은 표면처리 후의 모습을 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 제작한 전력변환장치의 특성 및 성능 등을 조사하기 전에 먼저 열발전소자의 특성을 파악하고자 한다. Fig. 6은 Fig. 3의 좌측의 단일진공관 태양열집열기 1개의 히트파이프 헤드부에, Fig. 2의 열발전소자 1개를 서로 밀착시킨 후, 열원으로서 할로겐램프를 가하여 이때의 온도 및 전압의 출력변화를 나타낸 것이다. 그림에서 “Compound”는 히트파이프 헤드부와 열발전소자 사이에 열전도성이 양호한 물질

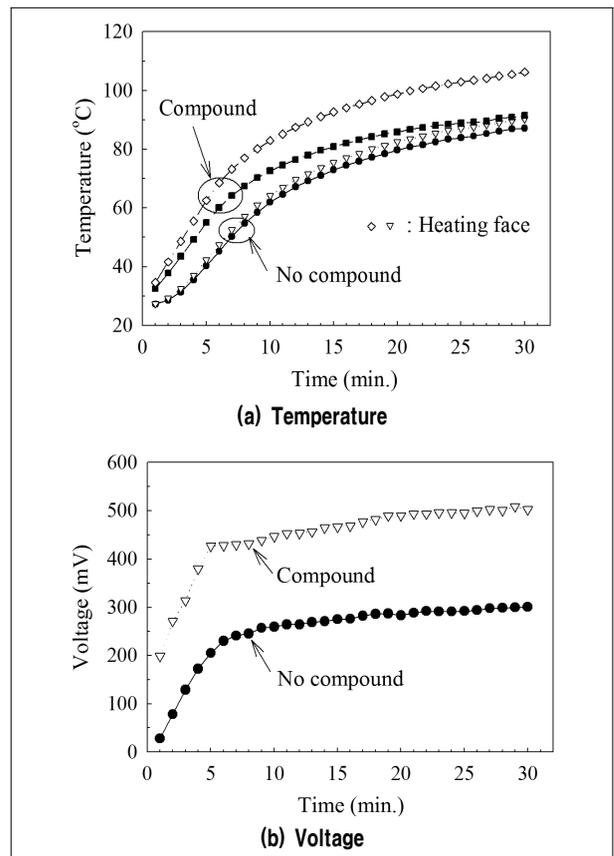


Fig. 6 Comparison for effect of compound

(컴파운드라 칭함)를 도포했을 경우이고, “No compound”는 컴파운드를 도포하지 않은 경우이다. 또한 “Heating face”는 히트파이프의 헤드부와 접하는 열발전소자 면(즉 가열면)이며 반대 면(즉 냉각면)은 자연냉각 상태이다. 그 결과를 관측하면, 약 30분의 측정에서 컴파운드를 도포한 경우는 최대 약 500mV, 컴파운드를 도포하지 않은 경우는 최대 약 300mV로서 컴파운드를 도포한 경우가 최대 약 66% 증가하는 것으로 관측되었다. 이것은 컴파운드를 도포한 경우에는 히트파이프 헤드부와 열발전소자의 접촉면에서 발생하는 공극 등과 같은 접촉저항이 최소화되기 때문인 것으로 판단된다.

전력변환장치의 고온부와 저온부 사이의 간극에 따라 전압 출력이 영향을 받을 것으로 예상되어 다음과 같은 실험을 수행하였다. Fig. 7에 전력변환장치의 고온부와 저온부를 체결 나사 1개로 결합시킨 경우(Case of 1 set)와 고온부와 저온부를 각각 별개로 체결한 경우(Case of 2 sets)의 결과를 나타내었다. 즉 Case of 2 sets는 전력변환장치와 열발전소자와의 접촉저항을 최소화하기 위하여 열발전소자를 전력변환장치의 고온부 상부에 열발전소자의 자중만에 의하여 접촉하도록 하였다(■는 컴파운드를 도포한 경우, ▽는 도포하지 않은 경우). 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 약 30분 측정에 고온부와 저온부의 체결을 별개로 한 경우가 약 10배 정도 전압 출력이 높았다. 따라서 본 연구와 유사한 실험을 수행할 경우, 전력변환장치와 열발전소자와의 접촉저항을 줄이는 것이 매우 중요한 요소라는 것을 확인할 수 있다.

접촉저항의 영향을 더 자세히 알아보기 위하여 열발전소자에 일정한 압력이 주어진 경우에 대해 조사하였다. Fig. 8에 열발전소자 상면에 일정한 하중을 가한 상태(W=1, 2, 3kg, W=0kg : 하중을 가하지 않은 상태)에서, 히트파이프를 이용

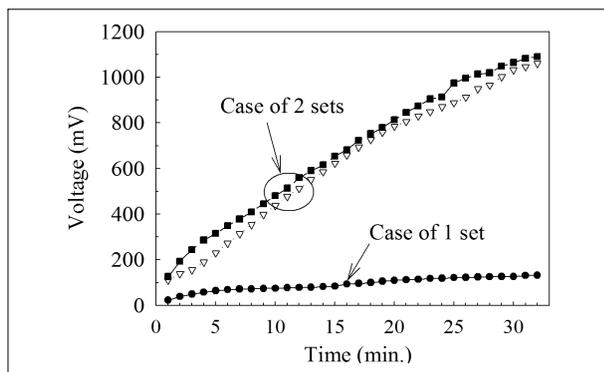


Fig. 7 Influences of fastening method

하여 고온부에서 열원을 공급하고 저온부를 자연냉각을 시킨 경우(a)와, 저온부를 강제냉각(수냉식)을 시킨 경우(b)의 결과를 나타내었다. (a)에 관측되는 바와 같이, 저온부를 자연냉각시키는 경우는 하중을 가하지 않은 경우(W=0kg)보다 높은 전압을 나타내지만 하중의 증가에 따른 전압의 영향이 불명확함을 알 수 있다. 그러나 강제냉각을 시킨 경우에는 하중의 증가에 따라 전압의 증가가 뚜렷이 관측된다. 이 이유는 저온부를 자연냉각시키는 경우, 열발전소자의 고온면의 열이 전도(Conduction)에 의해 열발전소자 내의 연결금속을 따라 저온면까지 전달되어 결과적으로 하중의 영향이 적게 되어 양면의 온도차가 크게 나타나지 않는 것으로 판단된다. 따라서 큰 출력을 얻기 위해서는 강제냉각을 시키고 열발전소자의 내구성을 고려한 한계 내에서 전력변환장치와 열발전소자를 최대한 밀착시킴으로서 큰 출력을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

여기까지의 실험은 고온부의 히트파이프가 1개인 경우이었으며 강제냉각을 시킬 때 최대 약 1V를 얻을 수 있었다. 이

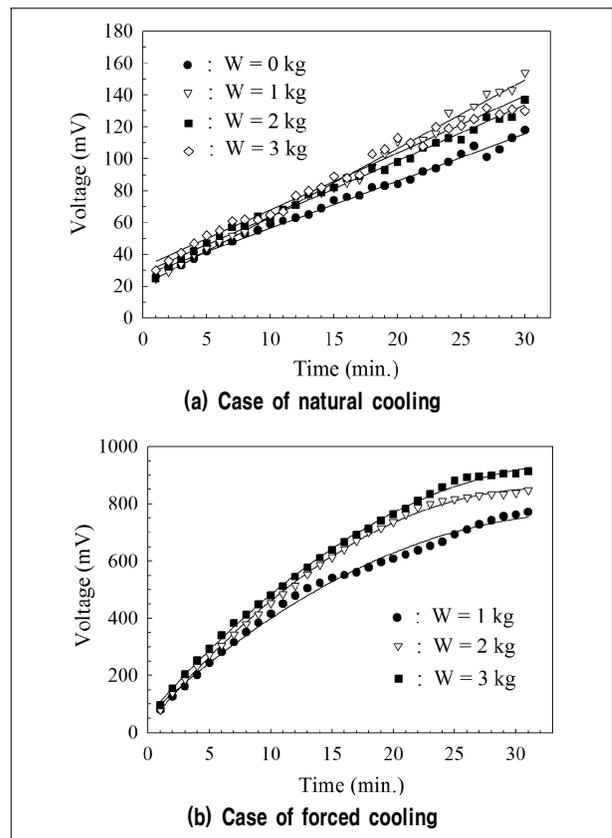


Fig. 8 Influence of load (W)

것보다 더 큰 출력을 얻기 위하여 히트파이프가 3개인 경우에 대한 실험을 수행하였다. Fig. 9(a)는 직사각형의 태양열 집열기(Fig. 4)를 장착한 경우의 전력변환장치의 온도분포를 나타내었다. T1은 히트파이프 헤드부의 표면온도, T2는 냉각수의 온도, T3는 열발전소자 고온부의 표면온도, T4는 열발전소자 저온부의 표면온도를 나타내었다. T3와 T4의 온도차가 클수록 전압출력은 상승되어진다. 여기서 T1과 T3의 온도차가 큰 것으로부터 히트파이프에서 발생한 열이 열발전소자에 충분히 전달되지 못하고 손실되는 열이 큰 것을 알 수 있다. 따라서 이 손실열을 가능한 줄일 수 있는 방안이 필요하다. 이에 관한 방안으로서는 히트파이프 헤드부의 직경과 열발전소자 내의 히트파이프 헤드부가 삽입되는 구멍 직경 사이의 간극을 최소화하여 제작하거나, 히트파이프의 헤드부를 원형이 아닌 열손실을 최소화할 수 있는 형태로 변형시키거나 또는 열전도율이 좋은 컴파운드를 충분히 도포하는 등 더 세부적인 방안이 필요할 것으로 판단된다. Fig. 9(b)에 전압출력의 결과를 나타내었다. (I)은 직사각형의 태양열 집열기

인 경우의 전압출력이며, 최대 약 2V를 나타내었다. (II)는 원형의 단일진공관 태양열 집열기(Fig. 3의 우측의 태양열 집열기)의 결과이며, 최대 약 5.5V를 나타내었다. 이 결과로부터 원형의 단일진공관 태양열 집열기가 직사각형 태양열 집열기보다 약 2.7배 효율이 양호한 것을 알 수 있다. 이 이유는 여러 많은 원인이 고려되어지지만 직사각형의 경우는 날개의 직사각형의 동판(Copper plate)에서 히트파이프까지 열 손실이 큰 반면, 원형의 태양열 집열기 경우는 태양열 흡수판(Absorber)의 구조가 상대적으로 간단하여 열 손실이 적기 때문인 것으로 판단된다.

위의 결과보다 더 큰 출력을 얻기 위하여 전력변환장치 2개를 직렬로 연결하였으며 그 형상을 Fig. 10에 나타내었다. 또한 그 측정결과를 Fig. 11에 나타내었다. 인공태양으로 사용된 할로겐램프로부터 방출되는 광량을 측정하였다. 할로겐램프와 태양열 집열기와의 거리인 약 100mm 지점에서 측정된 광량은 평균 약 $1,986\text{W/m}^2$ 이었다. 그림에서 관측되는 바와 같이 약 1시간의 측정 결과, 가열부인 히트파이프 표면의 온도(T1)는 최대 196°C , 냉각수의 온도(T2)는 최대 30°C 로서 온도차가 160°C 이상을 나타내었다. 또한 전력변환장치의 가열부와 냉각부의 온도차도 최대 약 60°C 이며 측정시간을 늘리면 더 큰 온도차를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 발전능력으로서 약 1시간의 시험 측정 결과, Fig. (b)에서 관찰되는 바와 같이 최대 약 13V의 전압을 얻었다. 이때 전류는 약 0.4A를 나타내었다. 따라서 전력은 $0.4\text{A} \times 13\text{V} = 5.2\text{W}$ 로서 약 5 Watt의 전력을 얻을 수 있었다. 본 실험에서는 히트파이프를 3개 삽입한 단일진공관식 태양열 집열기를 이용하고 전력변환장치 2개를 직렬로 연결한 경우가 최대 출력을 나타내었다. 따라서 전력변환장치의 개수를 증가시키고 또한 측정시간을 더 늘림에 의해 5W 이상의 전력을 얻을 수 있을 것으로 예상된다

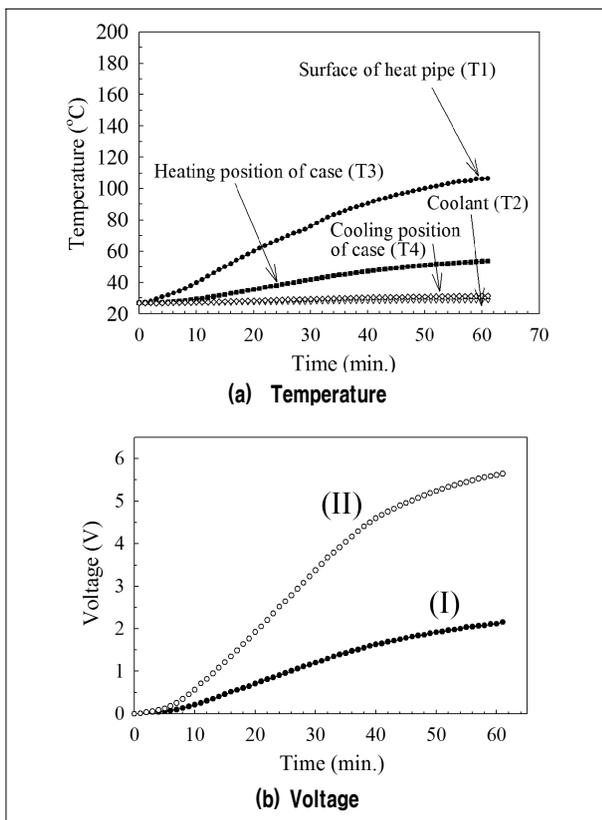


Fig. 9 Results of 1 device

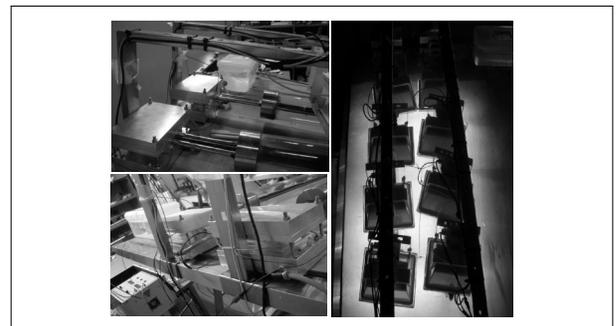


Fig. 10 Electrical series array and experimental apparatus

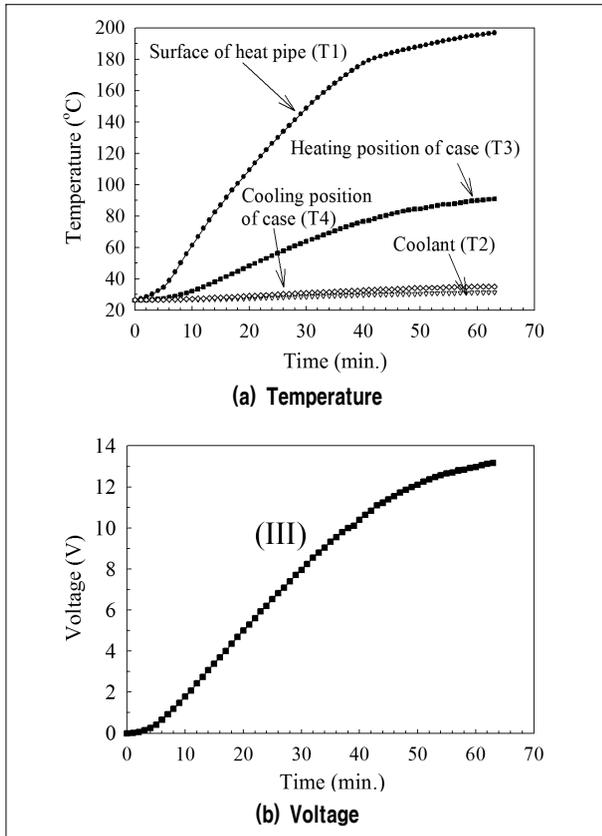


Fig. 11 Results of 2 devices with series array

다. 본 연구는 개발한 히트파이프가 장착된 여러 형태의 태양열집열기와 열발전소자를 결합하여 전력을 생산할 수 있는 전력변환장치를 개발하여 그 특성을 파악하고자 하였다. 본 장치에서 최대 5 Watt까지 출력 가능의 확인에 의미가 있으며, 차후 성능 개선에 관한 연구가 필요하다. 본 연구는 전력을 얻기 위한 연구로서 대부분 태양광에너지 분야가 많지만, 난방 및 온수를 얻기 위해 많이 사용되는 태양열에너지도 전력을 생산하기 위해 이용될 수 있는 있다는 점과 이것에 도움이 될 수 있는 전력변환장치의 개발에 의미가 있는 것으로 예상된다. 즉 본 연구는 전기를 생산할 수 있는 방법으로 기존의 태양광이 아닌 태양열을 이용하는 것으로서 연구·개발한 히트파이프를 장착한 여러 형태의 태양열집열기와 열발전소자를 결합시켜 주는 전력변환장치를 이용하여 소규모의 전기를 생산할 수 있는 기술적 범위의 확대에 의미가 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

태양열을 이용하여 소규모의 전기를 생산할 수 있는 전력변환장치와 원형의 단일진공관식 태양열집열기 및 직사각형 태양열집열기 등을 제작하여 그 특성 및 성능을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열발전소자와 열원과의 접촉저항을 최소화시키기 위해서는 열전도성이 양호한 물질을 도포할 필요가 있다. 본 실험에서는 전압이 최대 약 66%의 증가 효과가 관측되었다.
- 2) 전력변환장치에서 자연냉각의 경우에는 전력변환장치와 열발전소자의 밀착정도를 나타내는 하중 증가의 효과는 관측되지 않는다. 그러나 강제냉각의 경우에는 하중 증가에 따라 전기 생산량은 비례하여 증가한다.
- 3) 본 실험 장치에서 원형의 단일진공관 태양열집열기가 직사각형 태양열집열기보다 약 2.7배 효율이 양호하였다.
- 4) 본 실험 장치에서 각각 히트파이프 3개를 장착한 전력변환장치 2개를 직렬로 연결하여 최대 약 5W의 전력을 얻을 수 있었다. 또한 전력변환장치의 개수 또는 측정시간의 증가에 의해 더 큰 출력을 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 2013년 산학연협력 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 김의환, 강승원, 김재연, 2011, "태양광발전시스템의 장기운전에 의한 성능특성 분석", 한국신재생에너지학회지, Vol. 7, No. 2, pp. 28-35.
- [2] Dr. F. Lasnier, 1998, Tony Gan Ang, "Solar Photovoltaic Handbook", Energy Technology Division Asian Institute of Technology, Vol. 1, pp. 10-50.
- [3] 한훈식, 김명기, 엄석기, 김서영, 2010, "열전소자의 열전조건 변화에 따른 발전특성", 설비공학논문집, Vol. 22, No. 3, pp. 165-170.

- [4] 인병덕, 이기형, 2013, “수치해석을 통한 엔진 배기가스의 조건 변화에 따른 열전소자 발전특성에 관한 연구”, 대한기계학회지 B, Vol. 37, No. 3, pp. 243-248.
- [5] 최형식, 김유신, 전창훈, 윤상국, 2004, “열전소자를 이용한 카시트의 냉난방 제어”, 대한기계학회지 B, Vol. 28, No. 5, pp. 518-525.
- [6] Mathiprakasam, B., Fiscus, B. and Glauz, W., 1986, “Performance of Cross-Flow Thermoelectric Liquid Coolers”, Proc. of 6th Int. Conf. of Thermoelectric Energy Conversion, The University of Texas at Arlington, pp. 69-73.
- [7] 남상엽, 강동균, 한훈식, 이근희, 2012, “열전소자를 이용한 차량용 헤드라이트 제습장치”, 대한기계학회 춘계학술대회논문집, pp. 96-97.
- [8] 윤태복, 김남진, 이재용, 김종보, 2000, “열전소자를 이용한 활어 수송용 무수 컨테이너의 개발”, 설비공학논문집, Vol. 12, No. 5, pp. 519-524.
- [9] 김대호, 한승우, 2013, “태양에너지를 이용한 열전발전장치의 성능에 미치는 영향 분석”, 한국태양에너지학회, Vol. 33, No. 1, pp. 41-46.
- [10] 김종수, 임용빈, 조원호, 2004, “열전소자와 PF Type 진동형 히트파이프를 이용한 냉난방기에 관한 연구”, 설비공학논문집, Vol. 16, No. 8, pp. 741-747.

전 태 규



2002년 부산대학교 건축공학과 공학석사
2014년 부산대학교 건축공학과 공학박사

현재 GSE태양열에너지연구소 소장, 가람 건축사사무소 대표(건축사),
국립경상대학교 건축공학과 겸임교수
(E-mail : gse_2010@hanmail.net)

양 영 준



1991년 동아대학교 기계공학과 공학사
1996년 부산대학교 기계공학과 공학석사
2002년 일본오사카대학교 기계물리 공학박사

현재 국립경남과학기술대학교 자동차공학과 부교수
(E-mail : yangyj@gntech.ac.kr)