

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol. 18, No. 3, 1998

## 태양열 열전 발전시스템의 실험적 연구

조일식\*, 박영하\*\*, 양윤섭\*

\* 한국에너지기술연구소

\*\* 충남대학교

## An Experimental Study of the Solar Thermoelectric Generation System

Y. S. Cho\*, Y. H. Park\*\*, Y. S. Yang\*

\* *Korea Institute of Energy Research*

\*\* *Graduate School, Chungnam National University*

### ABSTRACT

This project studied a new generator utilizing the Seebeck effect. The major objective of this study was to prove the baseline concept through experimental studies. The important results from this study included design and fabrication of a laboratory scale generating system. The generating capacity of the TE-generator was 50Watt. The preliminary testing results showed the system efficiency of close to 20%.

The experimental testing system has been built to include heating element, circulation pump and the instrumentation system included watt-hour meter, temperature sensor, and data acquisition system by the Hewlett-Packard 75000 Series.

## 1. 서 론

지구 환경오염은 에너지 사용의 증대로 21세기의 최대 과제로 부상하고 있고, 특히 화석 에너지사용에서 오는 탄산가스 발생은 오존층 파괴의 주원인이 되어 지구 온난화 현상을 가속화하게 될 것이며, 이런 물질의 사용을 규제하는 협약(Green Round)이 발효되어 세계 각국은 GR 국제환경 협약으로 화석 에너지사용을 규제받게 되어 태양에너지등 대체에너지의 개발은 더욱더 필연적이 될 것이다.

본 연구는 열전반도체소자 (Thermo electric Semi-conductor)의 펠티에 효과(Peltier effect)와 2종 금속간의 제백 효과(Seebeck effect)를 이용하여 신 개념의 열전변환기술을 응용한 열발전 시스템에 관한 연구로서 최종 목표는 주 열원으로 태양열을 이용하는 "태양열 이용 열전 발전 시스템"의 개발이며, 이를 위해 우선 열전 변환 이론을 고찰하고 실험용 발전 시스템의 제작 및 시스템에 대한 기초 실험으로 성능 및 효율을 측정 분석한 것이다.

## 2. Compound Parabolic Concentrator(CPC)

### 2.1 CPC의 집열구조 및 원리

CPC는 Parabolic Trough나 Cylindrical Trough의 단점을 보완한 것으로 Focus Point (receiver)를 하단부에 두어 별다른 Tracker 없이 집광하는 개념의 집열기로, 1966년 소련의 Baranov와 Melnikov에 의해 고안되었으며, 그 후 1967년 독일의 Ploke, 그리고 1974년 미국의 Winston에 의해 개발되었다.

2차원인 CPC는 일정 범위내의 입사각을 갖는 입사광 모두가 흡수면에 도달하고 이외의 입사광은 방출된다. 집광 가능한 입사각의 영역을 허용각(Acceptance Angle) 이라하고 그의 1/2을 허

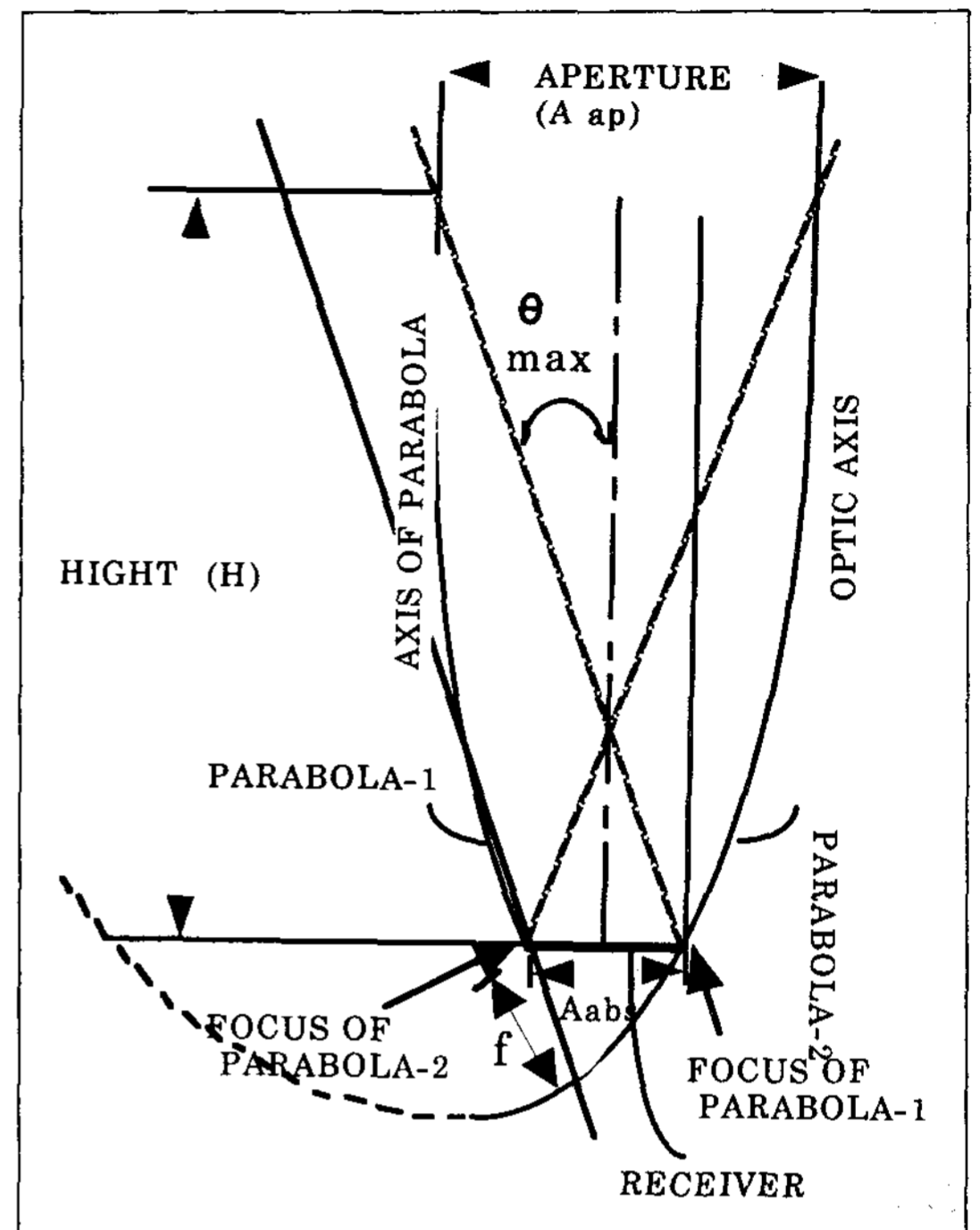


Fig. 1. CPC 집열기 단면도

용반각 ( $\theta_{max}$ )이라고 정의한다.

CPC의 기본적인 형식의 단면형상을 나타낸 것이 Fig. 1이다.

거울면의 형상은 흡수면의 끝점을 초점으로 하고 축이 흡수면의 법선으로 부터  $\theta_{max}$  기울어진 포물면으로 주어진다. 포물선의 성질로부터 포물선의 축에 평행한 입사광은 전부 초점에 집광된다. 따라서 허용각 내의 입사광은 전부 1회 반사후, 흡수면에 도달하게 된다.

이때 기하학적 집광비 C는 다음식으로 이루어진다.

$$C = 1/\sin \theta_{max} \Rightarrow [C = A_{ap}/A_{abs}] \quad (1)$$

여기서 기하학적 집광은 개구부( $A_{ap}$ )와 흡수면(abs)의 면적비로 정의된다. 식(2.1)의 집광비가 이상적인 값이라는 것은 기하학 혹은 열역학 제 2법칙에서 증명된다.

### 3. 열전 변환의 이론적 고찰

Seebeck 효과는 펠티에 효과와 상호 직접적인 관계가 있고, 펠티에효과보다 12년전인 1822년 제백(Seebeck: 독일인)에 의하여 발견된 것으로 이 기본 원리는 Fig. 2와 같다.

이 현상은 Peltier와 정반대로 이종 금속 즉 p, n Type의 반도체로 연결된 회로의 양단간에 온도차를 가하면 n형 반도체의 경우에는 고온부에서의 전자가 평균적으로 Fermi level 보다 에너지 상태가 높게 여기된다.

이와 같이 높은 에너지상태에 있는 전자는 에

너지를 낮추기 위해서 저온측으로 확산하므로 그 결과 저온부는 -로 대전하고 고온부는 +로 대전하여 전계가 형성되는데, 이때에 저온부로 향하는 전자의 Diffusion Flow를 저지함으로써 평형상태를 유지하기 위한 역작용으로 재료의 양단간에 전압(VS)이 발생한다. 이와는 반대로 carrier가 hole인 p형 반도체의 경우에는 저온부가 +, 고온부는 -로 대전되어 기전력(起電力)이 생겨 발전하게 되는 것이며, Fig. 3는 태양열을 이용한 열전 발전 시스템의 구성도이다.

### 4. 발전 시스템의 모델링

#### 4.1. 모듈의 Array

발전모듈인 Hz-14를 이용한 50 Watt의 열전 발전 시스템은 Fig. 4의 TEG모듈 12개를 한조로 Fig. 5와 같이 연결 구성하여 방열면에 방열 Heat sink를 반대의 열원 공급면에는 동으로 된 열교환관을 부착하여 열원을 공급하도록 하였으며 Table 1은 모듈의 사양이다.

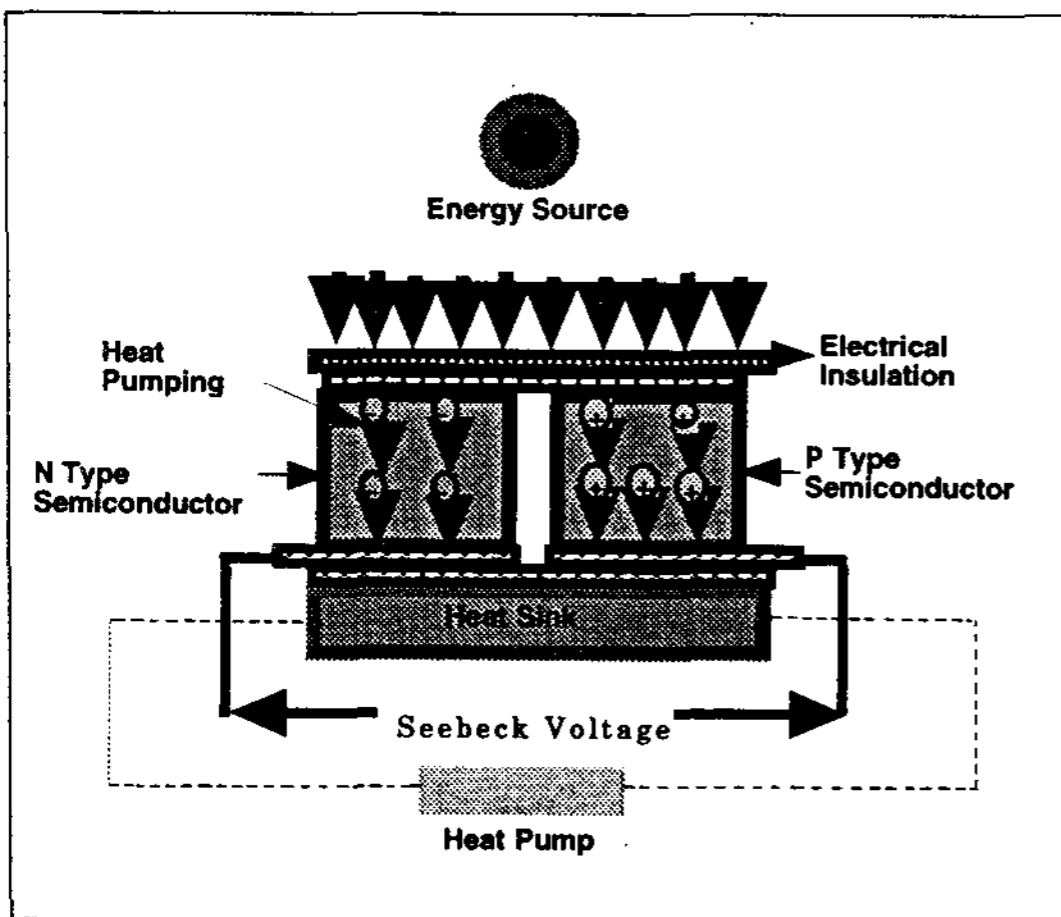


Fig. 2. Seebeck 원리 및 발전 원리도

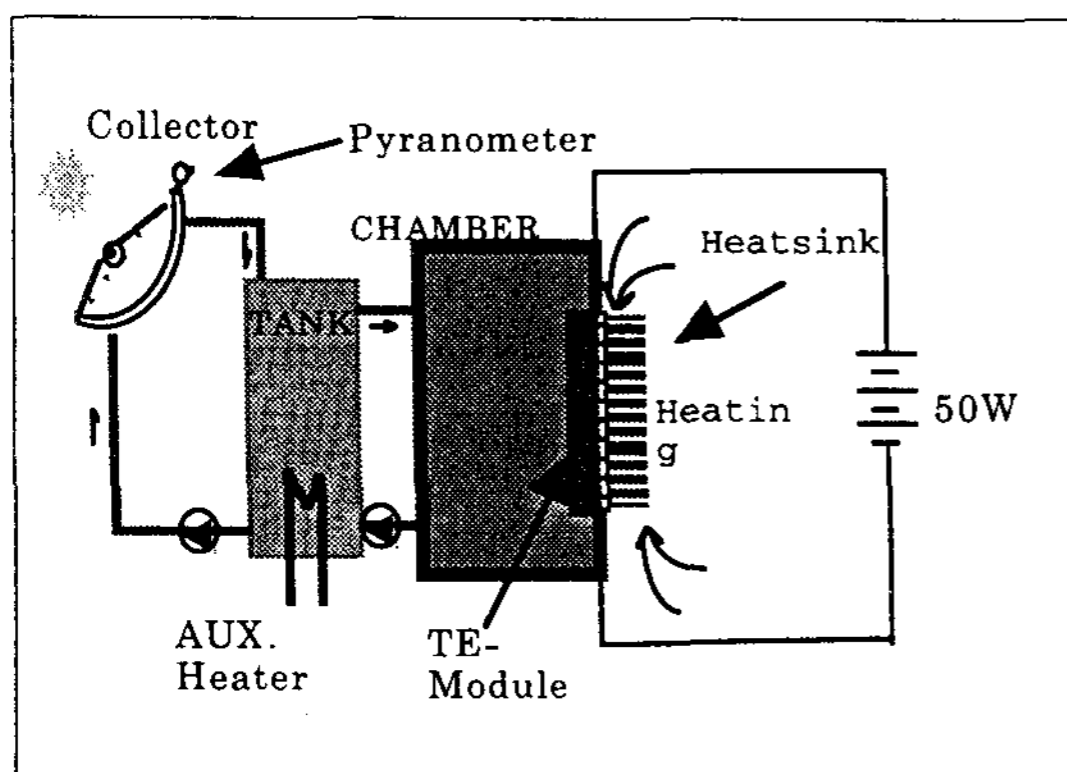


Fig. 3. 태양열 이용 열전 발전시스템 구성도

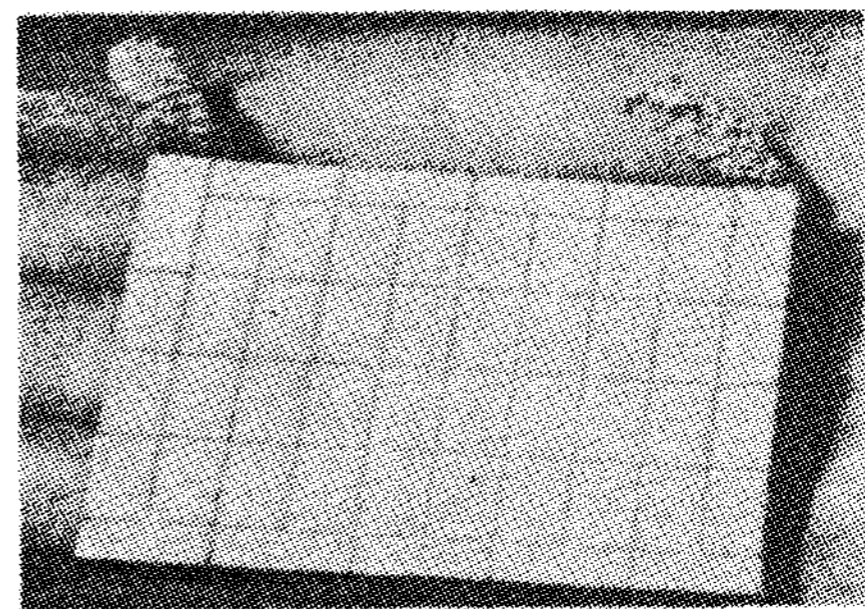


Fig. 4. Hz-14 열전 발전 모듈

Table 1. 열전 모듈의 사양

| Physical Properties |                  |
|---------------------|------------------|
| Width & Length      | : 5.32 × 5.32 Cm |
| Thickness           | : 0.508 Cm       |
| Weight              | : 73grams        |

Compressive Yield Stress : 10kpsi(70MPa)  
 Number of active couples : 49couples

Thermal Properties

Design Hot Side Temperature : 230°C  
 Design Cold Side Temperature : 30°C  
 Maximum Continuous Temperature : 300°C  
 Minemum Continuous Temperature : none  
 Maximum Intermittent Temperature : 400°C  
 Thermal Conductivity : 0.024W/cm\*K  
 Heat Flux : 9.54Wcm

Electrical Properties (as a generator)

Power : 13 Watts  
 Load Voltage : 1.65 Volts  
 Internal Resistance : 0.15Ω  
 Current : 8 Amps  
 Open Circuit Voltage : 3.5 Volts  
 Efficiency : 4.5 %

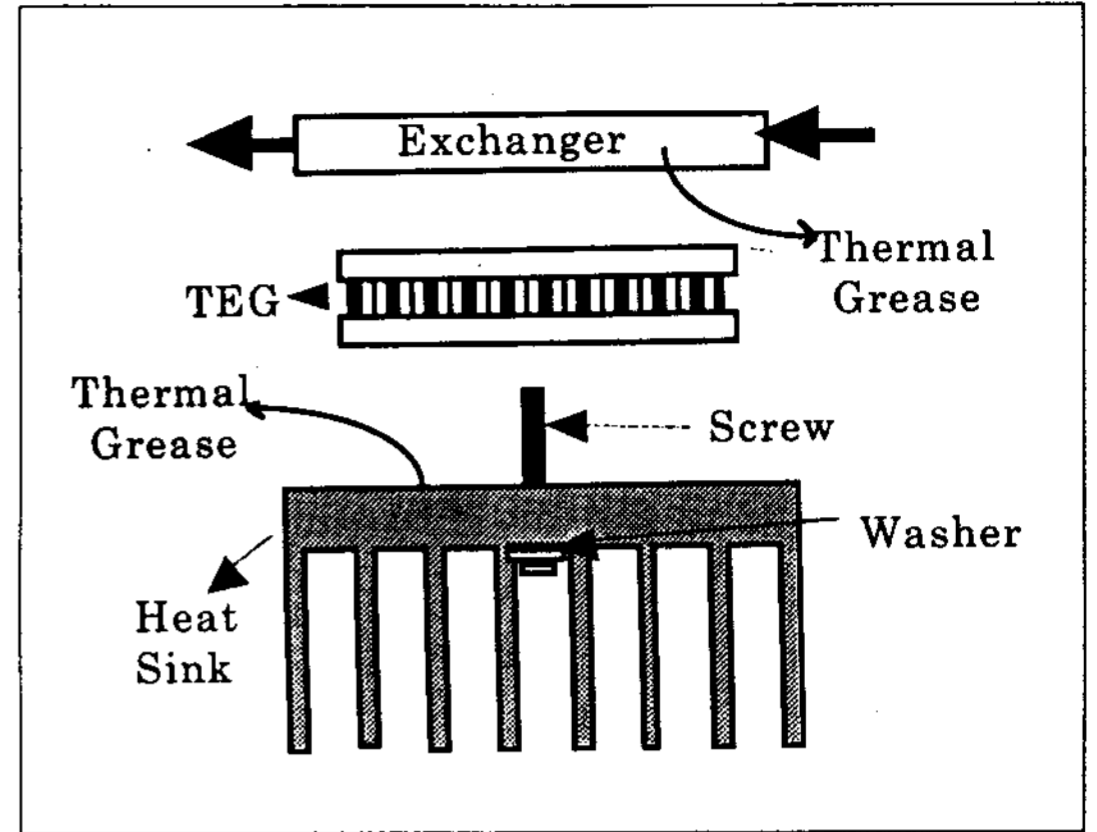


Fig. 6. 열전모듈과 Heatsink의 조립

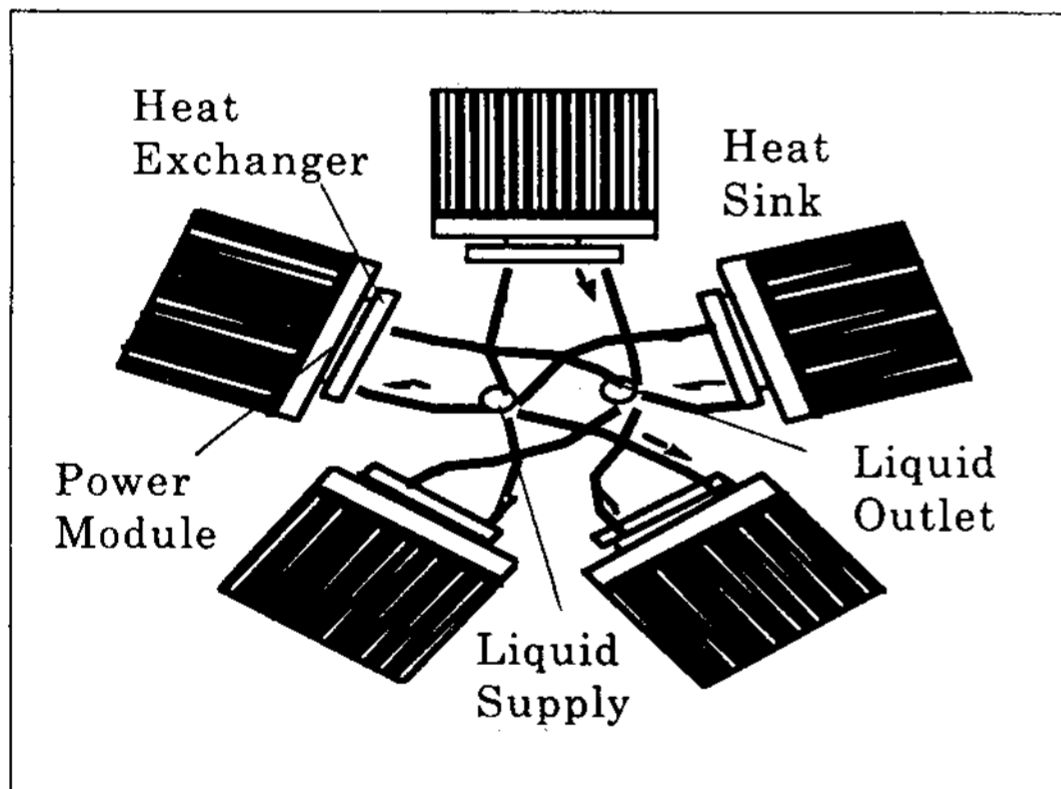


Fig. 5. 모듈의 연결 개념도

4.2. Heat Sink의 설계

이 시스템의 Heatsink 설계는 Fig. 6과 같이 전열성이 높은 그리스를 모듈의 양면에 칠해 접착성 및 열전도율을 높이도록 하고 Screw를 양쪽으로 견고하게 고정 하였다.

Fig. 7은 열공급기에 고온열을 모듈로 열교환시키는 열교환기와 모듈과 이들의 부착시 절연하기 위한 절연용 세라믹 박막의 실제 이다.

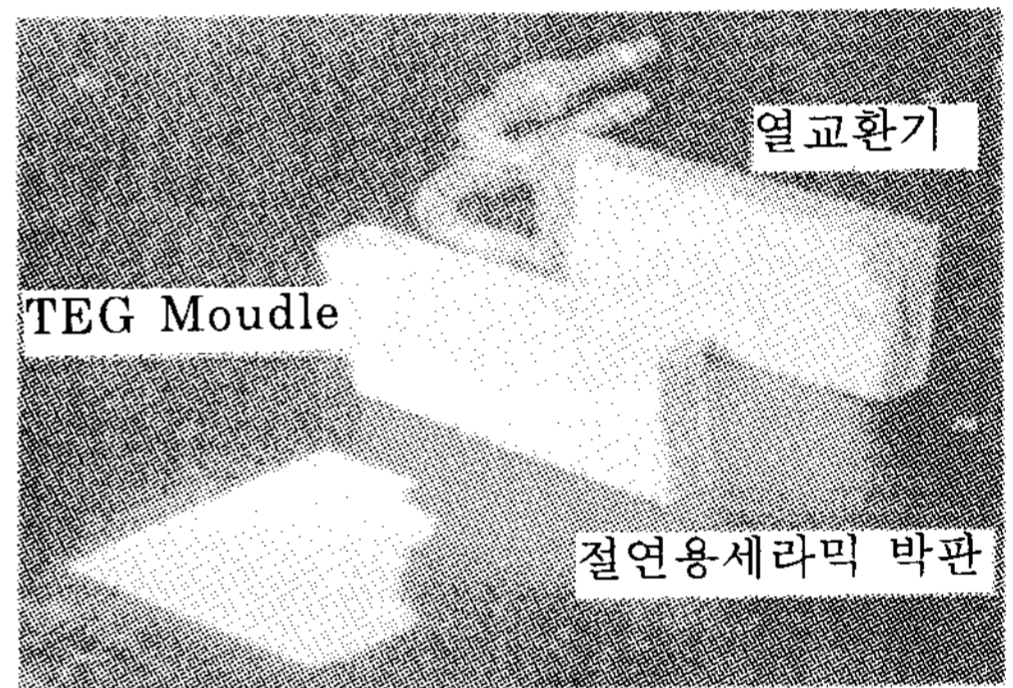


Fig. 7. 열전모듈과 Heatsink의 실제 조립

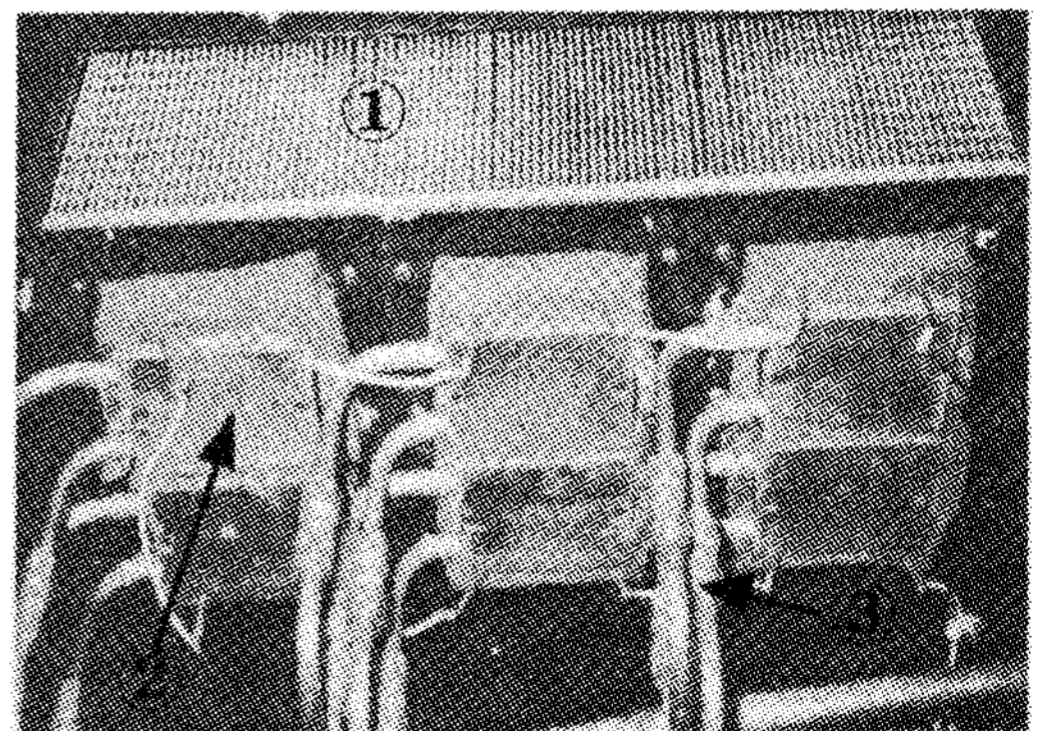


Fig. 8. 열전 발전 시스템의 상세도

Fig. 8은 개개의 모듈에 대한 Heatsink와 열공급측의 열교환기의 실제 제작한 사진이며, 시스템의 각부위의 명칭은 ①Heat sink ② 열전 모듈과

열교환기 ③ 열공급배관이다.

### 5. 열전 발전 시스템의 효율측정

#### 5.1. 효율 측정 시스템의 구성

열전 발전 시스템의 효율을 측정하기 위하여 Fig. 9와 같이 열원공급의 입구 및 출구의 온도 방열측의 온도, 환에 의한 대기중의 방열 입구의 온도 등을 측정하기 위해 K Type의 TC를 설치하였다.

열전 발전시스템의 설계용량의 발전 성능 측정 및 분석을 위해 Fig. 10과 같이 시스템 성능측정 Monitoring 시스템을 구성한 것이다.

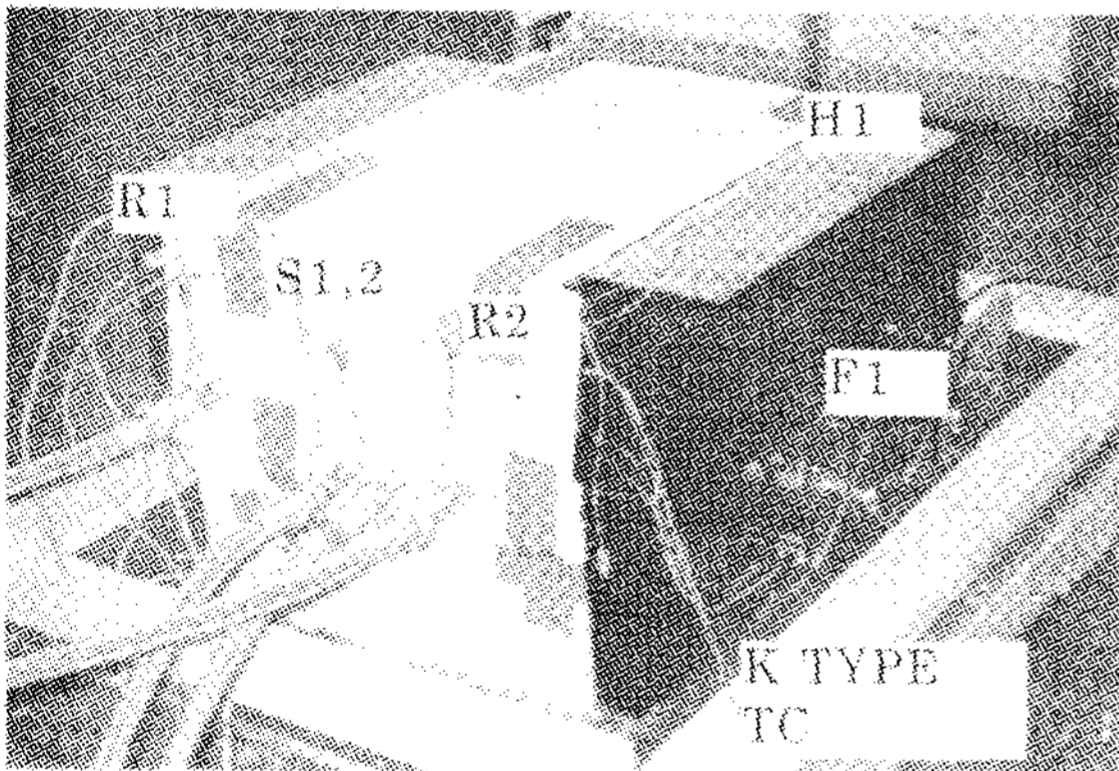


Fig. 9. 열전 Sensor의 설치

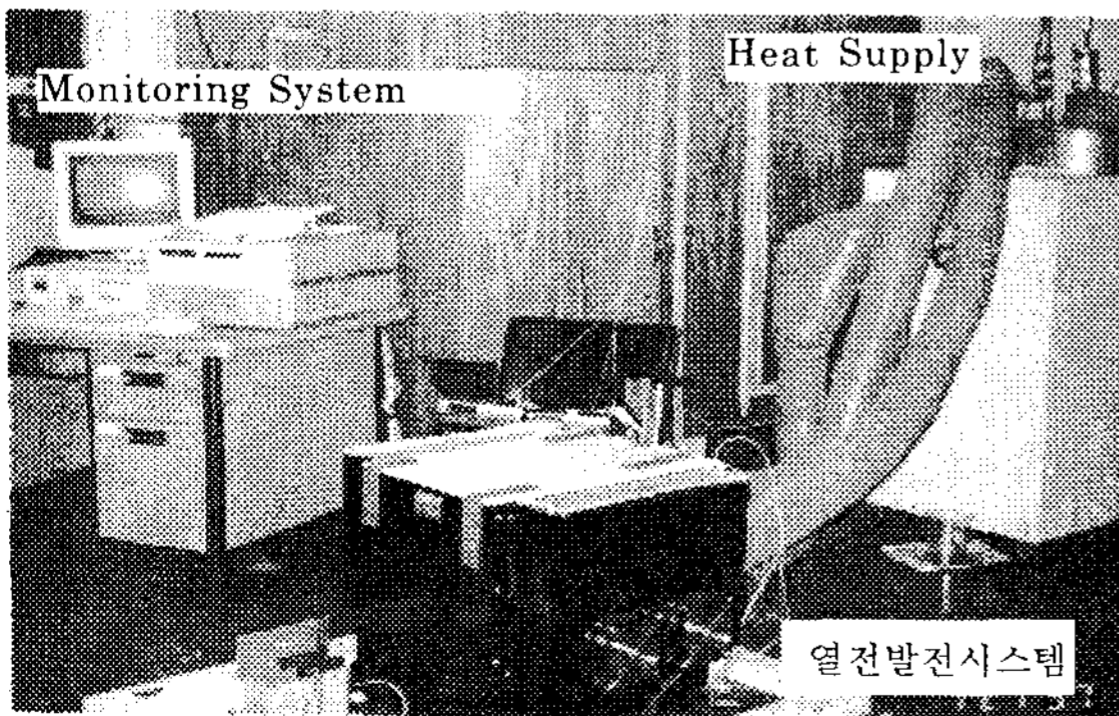


Fig. 10. 열전 발전 성능 측정 Monitoring System

#### 5.2 실험 결과

측정된 시간에 따른 온도 및 발전량을 실측한 결과의 그래프는 Fig. 10과 같았다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 공급온도, 회수온도 및 발전출력의 관계는 열전공급온도가 190.9℃, 방열온도가 57.3℃일때 열전 발전시스템의 발전전력은 51.3W를 나타 냈다. 이때 열전 모듈의 양면간의 온도차는 143.6℃였으며, 설계한 발전 시스템의 최대 용량까지 발전 하는데 걸리는 시간은 80.8분이 있었다.

Fig. 12은 열전 발전 시스템의 열원공급온도와 출력과의 관계를 나타낸 것으로써 Fig. 11에서 보는 바와 같이 열전 모듈의 공급온도가 거의 100℃가 되어야 발전하는것을 알수 있었다.

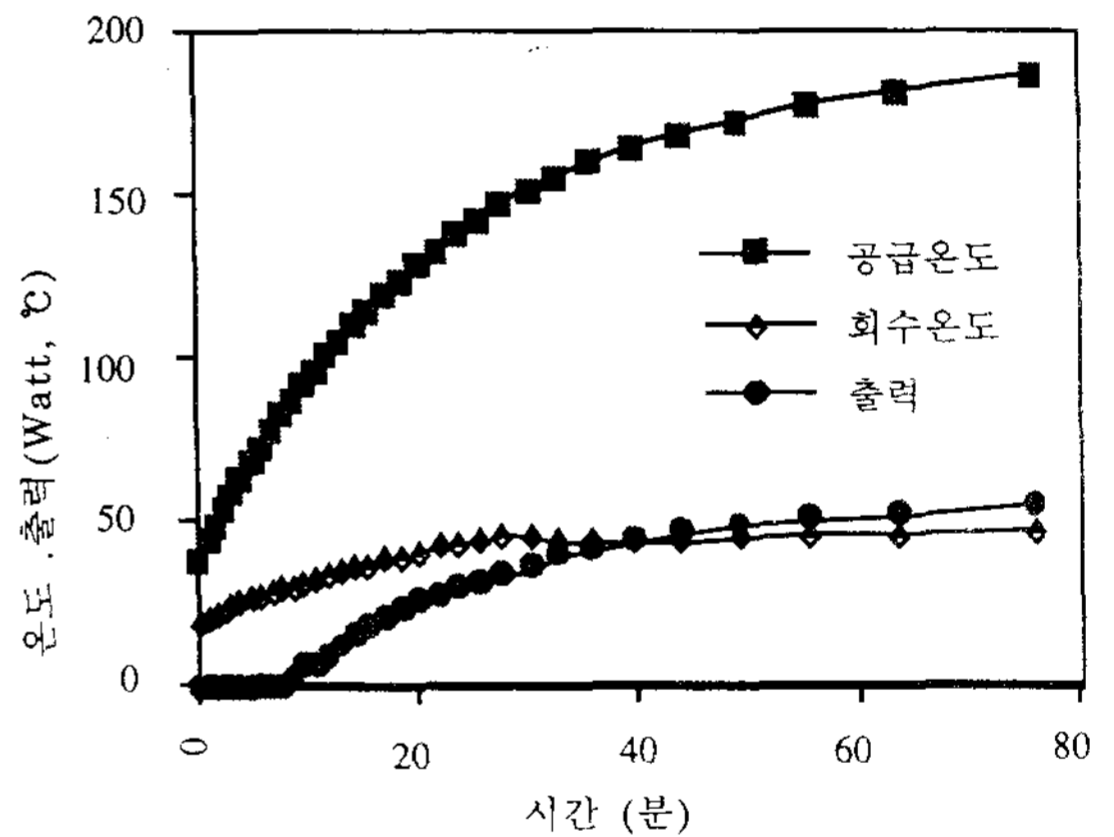


Fig. 11. 온도 및 발전량의 실측 그래프

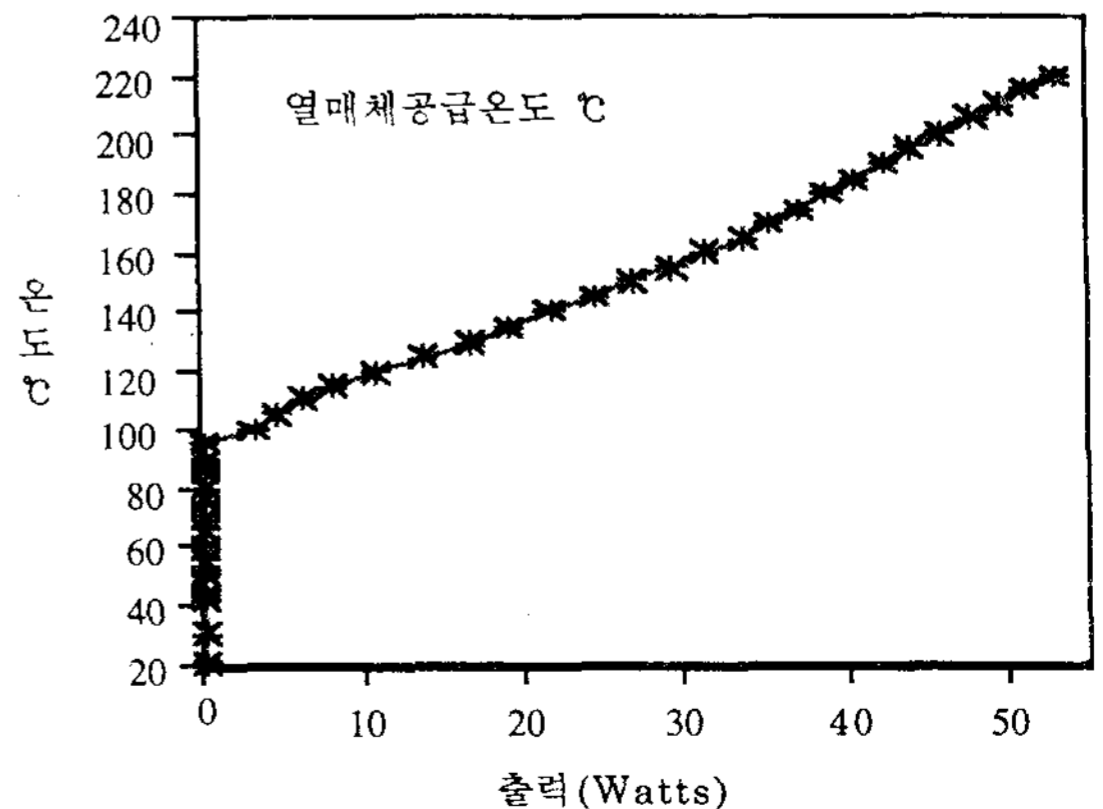


Fig. 12. 열매체 공급 온도에 따른 출력

## 6. 결 론

본 연구의 실험에서 얻은 발전 장치의 시스템 효율은 대략 30%정도로 이 결과는 기존의 발전 시스템에 크게 미치지 못하나 공해 요소를 배제 시키는 물론 대체에너지원으로서 태양 에너지를 이용한 신개념의 발전 시스템의 연구라는 관점에서 매우 획기적이라 할 수 있다. 그리고 수차례 성능 측정을 한 결과 시스템의 효율을 높이기 위해서는 발전시스템 모듈에서 방출하여야 하는 방열량을 가능한한 극대화 시켜  $\Delta T$ 를 높일때 적용 모듈의 용량에 최대로 발전을 할 수 있음을 알았다.

따라서 차후의 연구 방향은 기존의 모듈에 적용할 기존 몸체와 Fin의 조립이나 압출형의 Heat sink보다는 Fin과 Body가 일체형으로 방열을 높일 수 있는 Skyve Heatsink의 Fin의 간격, 높이, 크기 등을 모듈에 적합하게 설계하여 적용하면 현재의 연구 결과보다 장치를 Compact하게 할수 있고, 시스템 효율도 10~20%정도 높일 수 있을 것으로 사료된다.

앞으로 세계 환경 규약에 저축을 받게 되는 우리도 국가적차원의 중 장기 기술개발 프로그램을 세워 정부의 재정적인 뒷받침과 시스템의 부분적인 성능 향상을 통해 선진대열에 서서 앞으로의 수요에 대비하여야 하겠다.

특히 이 신 개념의 열전발전기술의 응용은 무

공해한 시스템으로 각광을 받을 수 있을 뿐만 아니라 태양에너지 및 폐열을 이용 가능하게 되어 태양광만으로 발전하는 태양전지보다 다양하게 적용하고, 대용량의 발전시스템이 가능하게 될 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 양운섭외 2, 1994. 10, 열전변환 기술의 연구 개발에 관한 동향. 공조냉동공학회지 23.5
2. 양운섭외 2, 1994 열전변환현상을 이용한 에너지 절약 기술, 에너지 R/D
3. 에너지 기술 연구소 보고서, '95, '96, '97 태양열이용 열전 Cogeneration 시스템 개발
4. B. Mathiprakasam, P. Heenan, and D. DeMott, Development of a Small Thermoelectric Water Chiller for Medical Instrument Cooling, Proc.12th ICT,1993
5. R. J. Buist, Design and engineering of thermo electric cooling devices, 10th ICT, 1991
6. J Stockholm and D. Stockholm "Thermoelectric modeling of a cooling module with heat exchangers XI Int Conf. on Thermoelectrics, Arlington Texas Oct. 1992.

# An experimental study of the Solar Thermoelectric Generation System

Y. S. Cho<sup>\*</sup>, Y. H. Park<sup>\*\*</sup>, Y. S. Yang<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> *Korea Institute of Energy Research*

<sup>\*\*</sup> *Graduate School, Chungnam National University*

## Abstract

This project studied a new generator utilizing the Seebeck effect. The major objective of this study was to prove the baseline concept through experimental studies. The important results from this study included design and fabrication of a laboratory scale generating system. The generating capacity of the TE-generator was 50Watt. The preliminary testing results showed the system efficiency of close to 20%.

The experimental testing system has been built to include heating element, circulation pump and the instrumentation system included watt-hour meter, temperature sensor, and data acquisition system by the Hewlett-Packard 75000 Series.