

# 태양 전지와 압전 재료를 이용한 하이브리드 발전시스템 개발

김영민\* · Ahmed Rahate\*\* · Zeeshan\*\* · 천원기\*\*\*\*

\*제주대학교 에너지공학과, 연구교수

\*\*제주대학교 에너지공학과, 석사과정

\*\*\*제주대학교 에너지공학과, 교수

## Development of a Hybrid Power Generation System Using Photovoltaic Cells and Piezoelectric Materials

Kim Yeongmin\* · Ahmed Rahate\*\* · Zeeshan\*\* · Chun Wongee\*\*\*\*

\*Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University, Research Professor

\*\*Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University, Master Course

\*\*\*Department of Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University, Professor

†Corresponding author: wgchun@jejunu.ac.kr

### Abstract

This paper deals with the operation of a hybrid power generation system made with photovoltaic cells and piezoelectric materials. The system can produce power from the wind as well as from the sun subject to their availability. Irrespective of the largeness of their power production, the power developed by both generators (i.e., photovoltaic cells and piezoelectric cells) were combined and stored before it was applied to a load. Especially, the AC power (current) developed from each piezoelectric generator was converted by a full wave bridge rectifier and then combined prior to its storage in a capacitor. It was observed that the system can produce a maximum output power of 6.49 mW at loading resistance of 100  $\Omega$ .

**Keywords:** 태양 전지(Photovoltaic cell), 압전 물질(Piezoelectric material), 하이브리드 시스템(Hybrid system), 에너지 하베스팅(Energy harvesting)

### 1. 서론

산업사회의 발달과 인구증가 등에 따른 지구 온난화, 미세먼지의 증가, 산성비, 전력 사용량 급증 등의 문제는 인류생활에 중대한 영향을 주고 있다. 전 세계적으로 이러한 문제 점에 대응하고자 여러 가지의 방안을 지속적으로 연구하고 있으며 그 중 대체에너지의 개발 및 활용 방안에 대한 연구가 꾸준히 증가하고 있다. 특히 지속적인 개발로 인하여 주변 환경에 피해를 주는 사례가 발생하고 있으며 이러한 문제로 인하여 지역 간 및 주민들과의



Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.39, No.1, pp.51-58, February 2019  
<https://doi.org/10.7836/kses.2019.39.1.051>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 31 December 2018

Revised: 17 January 2019

Accepted: 26 January 2019

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

불화가 발생되고 있다. 따라서 대체에너지를 활용하기 위해서는 무엇보다 주변 환경에 대한 피해를 최소화하는 것을 우선으로 고려해야 한다.

우리 주변에는 태양 및 바람, 파도, 진동 등 대체에너지원으로 활용할 수 있는 자원들이 상존한다. 그러나 활용방안 등의 문제로 인하여 자연적으로 흩어져 버려지고 있다. 에너지 하베스팅(Energy harvesting)은 이러한 에너지를 회수하여 활용하는 방식을 말하며 에너지 스카벤징(Energy scavenging)이라고도 불린다<sup>1)</sup>. 태양 전지와 압전 재료를 이용한 에너지 하베스팅 역시 이러한 기술의 일부로서 주변에 상존하지만 자연적으로 흩어져 버려지는 에너지를 활용하는데 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 생각된다.

태양 전지는 광전효과를 이용하여 광자 에너지를 전기 에너지로 변환하도록 고안되었다<sup>2,3)</sup>. 압전 효과의 경우 작은 기계적 힘을 이용하여 전력 생산이 가능하며 에너지 효율을 높이기 위해 태양 전지와 압전 효과를 연계하여 활용할 수 있는 형태의 장치가 연구되고 있다<sup>4,5)</sup>.

Oh S. J.<sup>6)</sup>는 두 가지의 압전 재료를 이용하여 나무형 풍력 발전 시스템을 설계 및 제작하고 전력을 생산하는 방법을 고안하였다. 압전 재료 중 하나인 PVDF(polymer polyvinylidene fluoride)를 나뭇잎에 부착하고 다른 하나인 PZT[pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub>]를 뿌리 부분에 부착하는 방법으로 이러한 방법은 풍력에 대한 의존도가 높고 뿌리 부분에 부착된 PZT의 경우 실제로 적용하게 되면 활용도가 떨어진다. 따라서 한 종류의 에너지원에 대한 의존도를 줄일 수 있고 적용성에서도 우수한 발전시스템 개발이 필요하다.

본 논문에서는 태양 전지와 압전 필름을 이용하여 에너지 하베스팅의 한 방법으로 주변에서 활용되지 않았던 태양광과 풍력 에너지로부터 전력을 생산할 수 있는 하이브리드 발전시스템의 프로토타입을 제작하고 가능성을 평가하고자 한다.

## 2. 구성요소 및 제작

### 2.1 압전 필름 및 태양 전지의 사양 및 특징

본 연구에서 사용된 압전 필름은 LDT4-028K/L로서 압전 필름 센서를 전문적으로 생산하는 업체인 Measurement Specialities Inc. 제품이다. 이 제품은 폴리에스테르로 된 얇은 보호막이 압전 필름을 싸고 있는 형태이다. 중심축이 압전 필름 안에 있지 않고 보호막 안에 있기 때문에 힘을 가했을 때 보호막이 없는 압전 필름 보다 더 높은 전압을 낼 수 있다. Table 1과 Fig. 1은 각각 압전 필름의 구조 및 사양을 보여준다.

**Table 1** Specification of the Piezo film

Film Thickness(μm)	Film	Electrode	Film	Electrode	Total Thickness(μm)	Cap(nF)
28	22	19	171	156	157	11

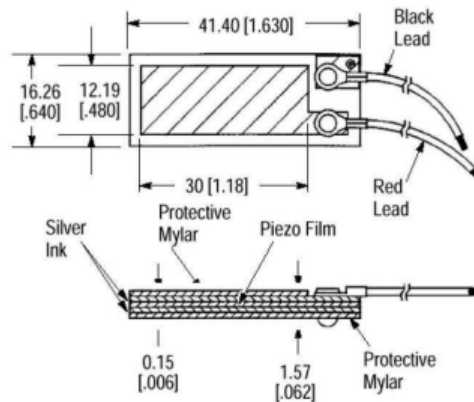


Fig. 1 Structure of a Piezo film<sup>7)</sup>

또한 연구에 사용된 태양 전지는 Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co.의 제품으로 단결정인 Monocrystalline과 다결정인 Polycrystalline으로 모듈이 구성되며 순수한 결정질 실리콘으로 제작되었다. 태양 전지의 면적은  $77 \text{ cm}^2$  ( $5.5 \text{ cm} \times 14 \text{ cm}$ )이고 약 3볼트의 단락 전압과 약 0.37 A의 전류를 생성한다.

## 2.2 하이브리드 발전시스템 제작

본 연구는 앞서 소개한 태양 전지판과 압전 필름을 효율적으로 연계하여 에너지 하베스팅을 하는데 목적이 있다. 한 개의 압전 필름에서 생산되는 출력이 미미한 만큼 이를 효율적으로 적용할 수 있는 시스템을 설계하는 것과 태양 전지판을 어떻게 연계하는 것이 효율적인지 우선적으로 고려되어야 한다. 본 연구에서는 나뭇잎에 두 가지의 발전시스템을 적용하는 것이 효율적이라고 판단되어 나무형의 하이브리드 발전시스템을 설계 및 제작 하였다.

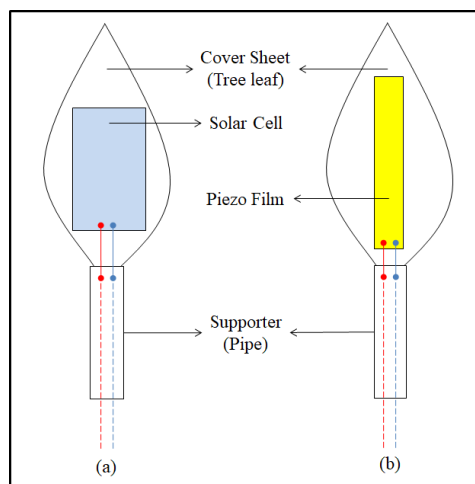


Fig. 2 Photovoltaic cell (a) and piezo film (b) attached on the front and back side of a leaf, respectively

태양 전지판의 경우 태양광을 최대한 이용하기 위하여 나뭇잎의 위쪽에 부착하였으며 압전 필름의 경우는 나뭇잎 아래쪽에 부착하였다. Fig. 2는 본 연구에서 제작한 인공 나무의 나뭇잎에 부착된 태양 전지판과 압전 필름을 보여준다.

하이브리드 발전시스템은 3개의 태양 전지와 10개의 압전 필름이 부착된 잎으로 구성되며 전선의 경우 나무 줄기 안쪽으로 삽입하여 나무 하단에 설치된 전자 회로로 연결된다. Fig. 3은 하이브리드 발전시스템의 프로토타입을 보여준다.

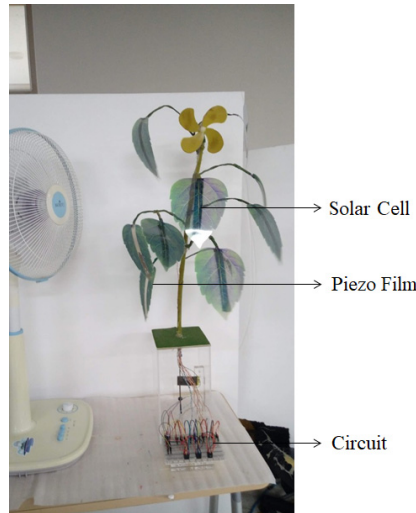


Fig. 3 Prototype hybrid generator<sup>1)</sup>

### 3. 실험방법 및 결과

#### 3.1 실험방법

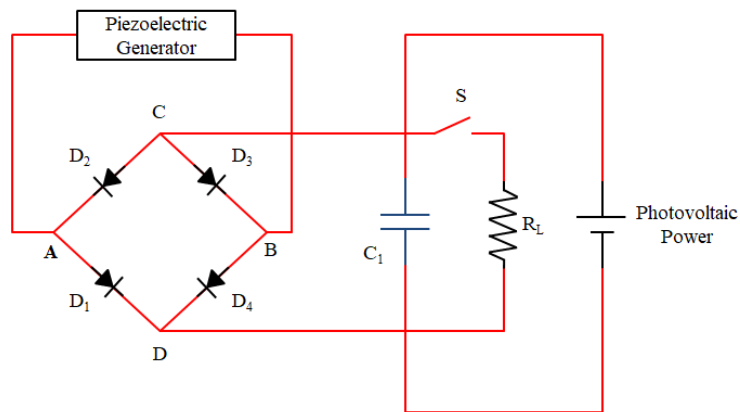


Fig. 4 Circuit for the integration of power out of the system

본 실험을 위해 Fig. 3에서 보는 바와 같이 선풍기를 사용하여 인공 바람을 만들었으며 태양광의 경우 실내조명으로 대체하였다. 인공 바람의 경우 풍속은 약 7m/s이며 실내조명의 조도는 약 700lux로 측정되었다. 발전기 출력은 AC로 브리지 정류기를 통과하여 축전기에 일시적으로 저장된다. DC로 출력되는 태양 전지는 바로 축전기로 저장된다. Fig. 4는 본 실험의 회로도를 보여준다.

### 3.2 실험결과

#### (1) 압전 필름의 기본 출력

본 실험에 앞서 단일 압전 필름에 대한 출력을 측정하였다. Fig. 5는 브리지 정류기를 통과하기전의 AC 출력을 보여주며 Fig. 6은 브리지 정류기를 통과하여 DC로 전환된 출력을 보여준다. 단일 압전 필름에서 최대 개방회로 전압( $V_{oc}$ )은 약 1.4 V로 측정되었다.

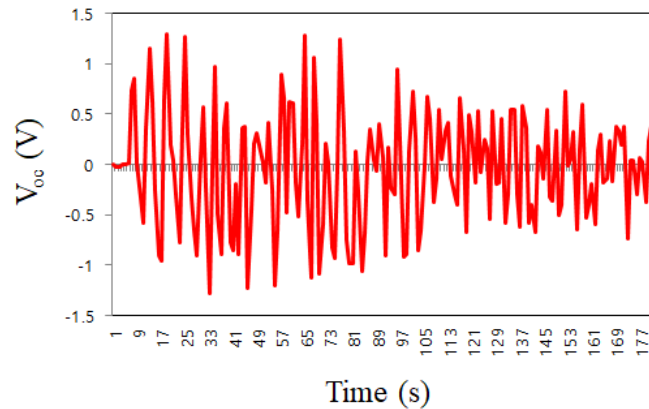


Fig. 5 Output wave patterns of a single piezo film - AC

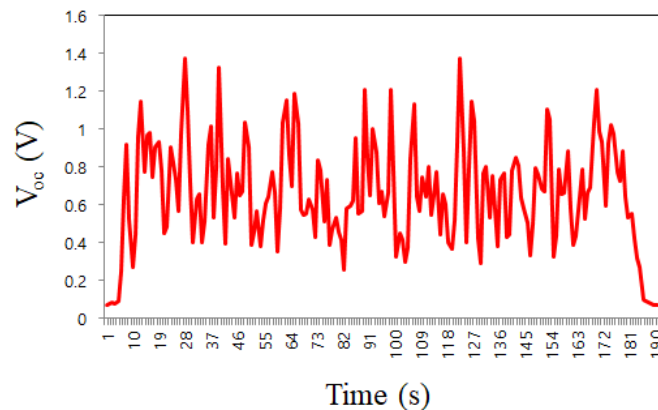


Fig. 6 Output wave patterns of a single piezo film - DC

(2) 압전 필름의 총 출력

압전 필름의 총 출력은 10개의 압전 필름을 직렬로 연결하여 측정하였다. 동일 조건을 위해서 선풍기에서 발생하는 바람을 일정하게 유지하여 압전 필름에 가해지는 풍력 에너지를 일정하게 하였다. 10개의 압전 필름의 최대 개방 회로 전압은 약 4.8 V로 측정되었으며 최대 단락 회로 전류는 약 12  $\mu$ A로 측정되었다. Figs. 7과 8은 각각의 압전 필름의 출력 파형을 보여준다.

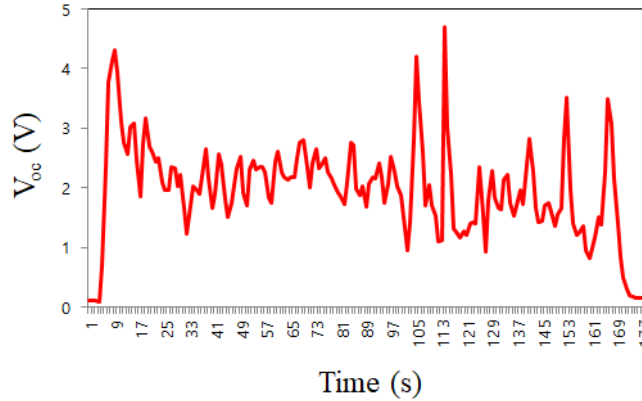


Fig. 7 Combined output wave patterns of a piezo film -  $V_{oc}$

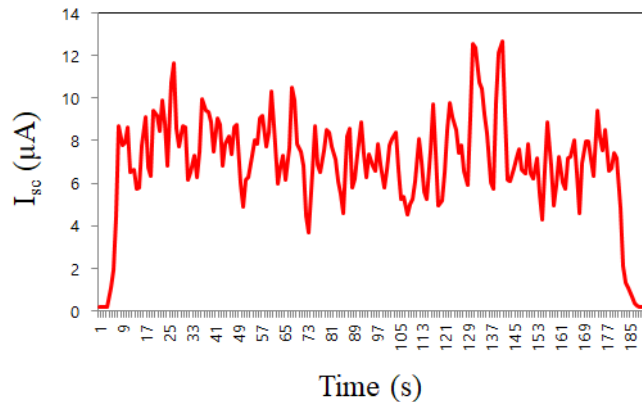


Fig. 8 Combined output wave patterns of a piezo film -  $I_{sc}$

(3) 나무형 하이브리드 발전시스템의 총 출력

태양 전지의 출력은 태양광의 조도에 따라 변화한다. 일정한 조건을 위하여 실험 기간 중 조도계를 이용하여 작업면에서 조도를 측정하였으며 약 700 lux로 일정하게 유지하였다. 태양 전지에서 생산된 출력은 정류되어 압전 필름의 출력과 합산되었다. 하이브리드 발전시스템의 최대 개방 회로 전압은 약 5 V로 측정되었으며, 최대 단락 회로 전류는 약 1.2 mA로 측정되었다. Fig. 9는 하이브리드 발전시스템의 개방회로 전압을 보여주며 Fig. 10은 단락 회로 전류를 보여준다.

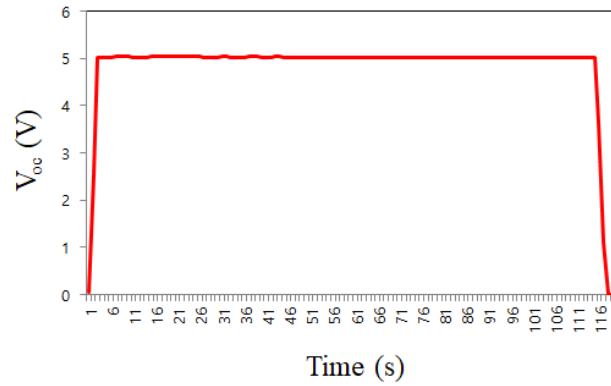


Fig. 9 Output wave patterns of the hybrid system -  $V_{oc}$

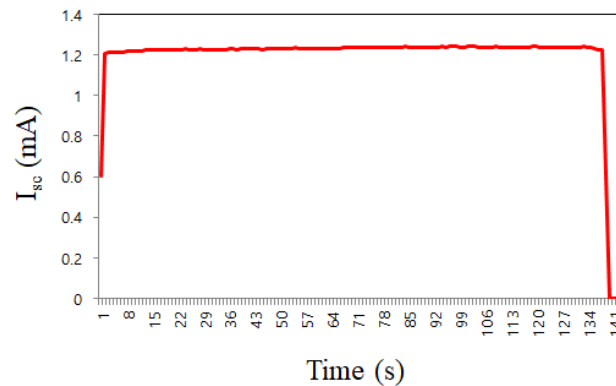


Fig. 10 Output wave patterns of the hybrid system -  $I_{sc}$

#### 4. 결론

본 연구에서는 태양 전지와 압전 재료를 이용하여 소규모의 하이브리드 발전기를 제작하고 그 성능을 테스트 하였다. 압전 필름의 경우 총 10개가 사용되었으며 최대 개방 회로 전압은 약 4.8 V로 측정되었다. 태양 전지의 경우 총 3개가 사용되었으며 최대 개방 회로 전압은 약 5 V로 측정되었다. 압전 필름이 보다 더 많은 수를 사용 했음에도 불구하고 출력을 비교하였을 때 태양전지 보다 작게 측정되었다. 이는 압전 필름의 전류가 태양 전지 보다 매우 낮기 때문이다. 그러나 압전 필름의 경우 태양 전지보다 면적이 적고 적용성이 우수하기 때문에 다양한 방법으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 전류와 비교하여 전압은 높게 측정되므로 다른 발전장치와 연계하였을 경우 보다 높은 출력을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구의 하이브리드 발전기의 경우 실험실 스케일로서 소규모로 제작되었으나 실제 규모에 적용하였을 경우 보다 큰 출력을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

#### 후기

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업의 연구비 지원으로 수행되었음(과제번호: 2017R1A2A1A0-5001461, 2018R1A2B2008542).

## REFERENCES

1. Seon, H. J., Lee, J. H., Energy harvesting of piezoelectric materials Using Vibration, The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 20, No. 4, pp. 3-14, 2007.
2. McEvoy, A., Castaner L., Markvart, T., Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation 2ndEdition, Elsevier Ltd, Oxford, United Kingdom, pp.3-25, 2012.
3. Razykov, T. M., Ferekides, C. S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H. S., and Upadhyaya, H. M., Solar Photovoltaic Electricity: Current Status and Future Prospects, Solar Energy, Vol. 85, No. 8, pp. 1580-1608, 2011.
4. Peng, M., Liu, Y. D., Yu, A. F., Zhang, Y., Liu, C. H., Liu, J. Y., Wu, W., Zhang, K., Shi, X., Kou, J., Zhai, J., Wang, Z. L., Flexible Self-Powered GaN Ultraviolet Photoswitch with Piezo-Phototronic Effect Enhanced On/Off Ratio, ACS Nano, Vol. 10, No. 1, pp. 1572-1579, 2015.
5. Wang, Z. L., Triboelectric nanogenerators as New Energy Technology for Self Powered Systems and as active Mechanical and Chemical Sensors, ACS Nano, Vol. 7, No. 11, pp. 9533-9557, 2013.
6. Oh, S. J., Han, H. J., Han, S. B., Lim, S. H., and Chun, W. G., Development of a Tree-shaped Wind Power System Using Piezo-electric Materials, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 28, No. 3, pp. 53-59, 2008.
7. TE Connectivity, Sensor solutions, [https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=LDT\\_with\\_Riveted\\_Leads&DocType=DS&DocLang=English](https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchtrv&DocNm=LDT_with_Riveted_Leads&DocType=DS&DocLang=English), pp. 1-2, 2017.