

압전 재료를 이용한 나무형 풍력 발전 시스템 개발

오승진*, 한현주**, 한수빈***, 임상훈****, 천원기*****

*제주대학교 대학원 에너지공학과(osj2558@cheju.ac.kr), **경희대학교 대학원 건축공학과(hjhan@khu.ac.kr),
한국에너지기술연구원(sbhan@kier.re.kr), *한국에너지기술연구원(shlim@kier.re.kr),
*****제주대학교 에너지공학과(wgchun@cheju.ac.kr)

Development of a Tree-shaped Wind Power System Using Piezo-electric Materials

Oh, Seung-Jin*, Han, Hyun-Joo**, Han, Soo-Bin***, Lim, Sang-Hoon****, Chun, Won-Gee*****

*Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Cheju National University(osj2558@cheju.ac.kr),
**Dept. of Architectural Engineering, Kyung Hee University(hjhan@khu.ac.kr),
***Korea Institute of Energy Research(sbhan@kier.re.kr),
****Korea Institute of Energy Research(shlim@kier.re.kr),
*****Dept. of Nuclear & Energy Engineering, Cheju National University(wgchun@cheju.ac.kr)

Abstract

This paper reports an experimental investigation to design a tree-shaped wind power system using piezo-electric materials. The proposed system is to produce power if wind is strong enough to produce any bending motions in the energy converting elements, i.e., piezo-electric materials. Two different kinds of piezoelectric materials are used in the present study to produce power by scavenging energy from the wind. The soft flexible one made the leaf element while the hard one was applied to the trunk portion of the tree requiring rather strong winds to generate any power. Although small, each leaf deems to play the role of a power producer and currents are continuously trickling down to the storage battery installed at the bottom of the system.

Keywords : 에너지 하베스팅(Energy harvesting), 압전 세라믹스(Piezo ceramics), PZT, PVDF, 풍력발전(Wind power system)

1. 서 론

오늘날 경제사회의 발전과 과학의 발달로

야기된 지구환경문제는 인류생활에 중대한 영향을 주고 있다. 특히 지구 온난화, 오존층의 파괴, 사막화, 산성비, 열대림의 파괴, 생물다

투고일자 : 2008년 5월 19일, 심사일자 : 2008년 5월 19일, 게재확정일자 : 2008년 6월 24일

교신저자 : 천원기(wgchun@cheju.ac.kr)

양성 감퇴 등은 그 영향이 지구적인 규모로 확대되어 전 세계적으로 이를 대응해야 하는 중요한 과제가 되었다. 따라서 이런 문제 해결을 위해서는 대체에너지의 개발 및 이용과 에너지의 효율적 이용기술 개발이 유효한 대책이라고 사료된다.

오늘날 세계에서 사용하는 에너지 중 30~40%가 주거용 및 상업용 건물에서 소비되고 전체 에너지 중 70%를 화석연료가 차지하고 있다. 우리의 건축공간은 환경의 일부이며 이 공간이 결국 환경오염의 주범이 될 수 있고, 반대로 최대의 피해자가 될 수도 있는 것이다. 따라서 환경을 고려한 에너지 활용이 무엇보다도 우선되어야 한다.

에너지 하비스팅(energy harvesting)은 바람, 파도, 태양광, 온도변화, 진동 등 주위로부터 에너지를 얻어내는 에너지 획득방식을 일컫는다. 자연적으로 흩어져 버려지는 에너지를 수집한다는 의미에서 에너지 스카벤징(energy scavenging)이라고도 불린다.⁵⁾

압전 세라믹스를 이용한 에너지 하비스팅 역시 이런 기술의 일부로서 주변에 잠재된 에너지를 획득하는데 큰 역할을 할 수 있으리라 본다.

본 연구에서는 PVDF를 Multi-bundle 형태로 제작하여 출력 전압을 측정하고, 선행 연구에 수행되지 않았던 PZT와 PVDF를 복합적으로 이용하여 나무형 풍력발전시스템의 Prototype을 제작하고 그 가능성을 평가하고자 한다.

2. 압전세라믹스의 원리

그림 1은 압전 직접효과의 설명으로 (a)상태에서는 압전 소자에 외부 응력이 없는 상태로 출력전압이 발생하지 않는다. 그러나 (b)와 같이 F의 압축력을 가하면 상하의 전극에 각각 (+),(-)의 전압이 발생하고 소자 두께는 감소되고, 반대로 (c)와 같이 신장력 F를 가하면 상하의 전극에 각각(-),(+)의 전압이 발생

하며, 이 때 소자의 두께가 초기 무응력 상태보다 증가하며 압축력을 가했을 경우와 반대 현상이 발생한다.

또한, 역 압전효과는 변위발생 기능으로 압전 소자에 외부로부터 전압을 걸어주면 소자가 기계적 변위를 일으키는 현상을 말한다.

즉, 압전세라믹스의 기계적-전기적 상호작용을 이용한 에너지 하비스팅을 통해 얻어지는 전류를 전원으로 사용하여 회로를 구동시키게 된다.

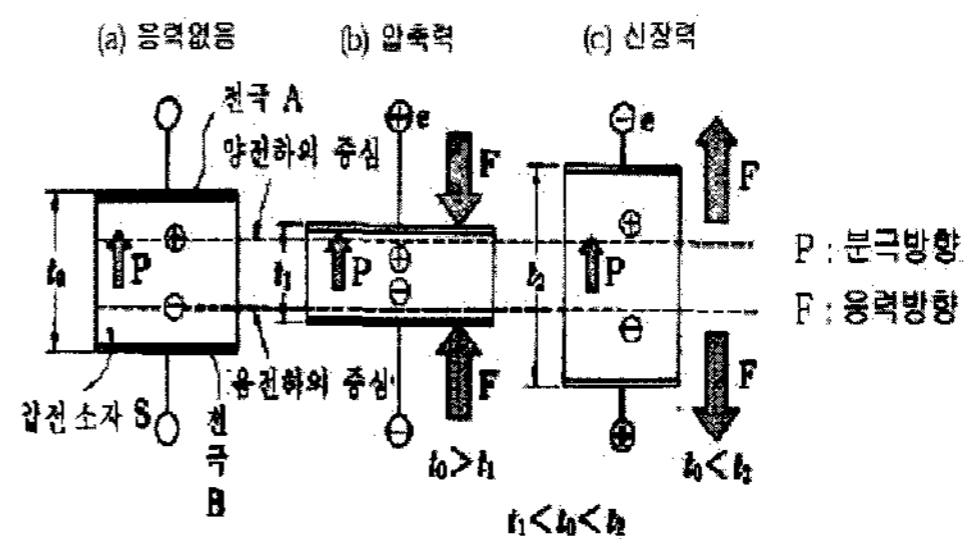


그림 1. 압전 현상

2.1 PZT[Pb(Zr,Ti)O₃]

압전효과를 낼 수 있는 압전세라믹스는 종류가 다양하나 압전특성이 우수하여 가장 널리 사용되어지는 재료는 PZT[Pb(Zr,Ti)O₃]이다. PZT는 PbZrO₃와 PbTiO₃의 완전 고용체(complete solid solution)이고 상전이 온도가 350°C 이상이기 때문에 압전 특성의 온도 안정성이 뛰어나 상업적으로 많이 이용된다.

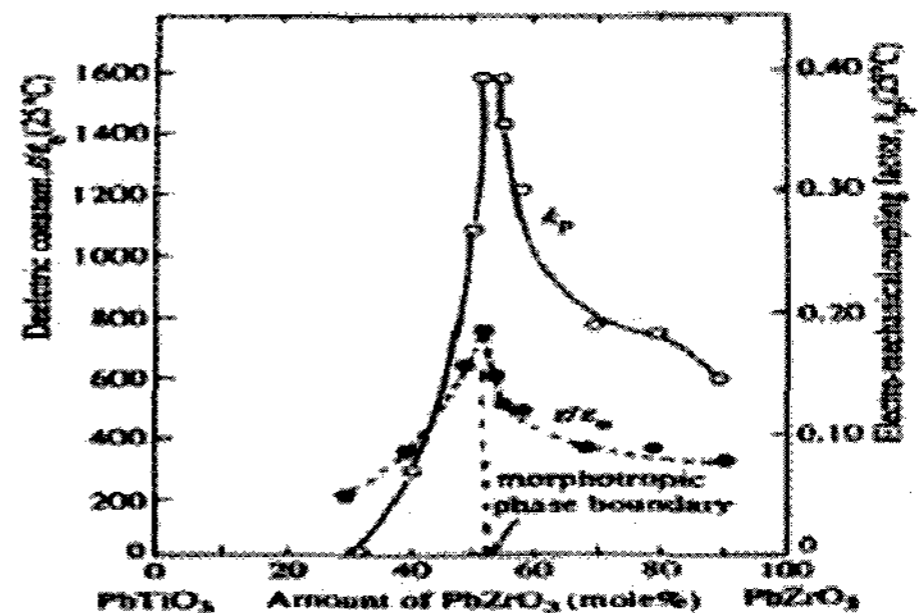


그림 2. PZT 세라믹스에서 유전상수 및 커플링 인자의 조성 의존성

결정구조는 Zr 또는 Ti가 내부에 위치한 산소 팔면체로 구성된 페로브스카이트 (Pervoskite) 구조를 가지고 있다.

PZT 세라믹스는 Zr/Ti의 조성비와 온도에 따라 압전 특성이 달리 나타나는데, 그림 2에 서와 같이 52/28~53/47 부근의 조성에서 유전 및 압전 특성의 피크를 나타내고 있으며, 이 조성을 상경계조성(MPB: Morphotrophic Phase Boundary)이라 불리며 정방(Tetragonal)과 삼방(Rhombohedral)상이 공존하는 것으로 알려지고 있다. 따라서 이 조성의 상업적 가치가 매우 높다.

2.1 PVDF(polymer polyvinylidene fluoride)

PVDF(polymer polyvinylidene fluoride)는 (-CH₂-CF₂-)를 반복단위로 하는 선상고분자로서 기계적 화학적 성질이 우수하고 분자쇄내에 존재하는 강한 C-F쌍극자기에 의해 고분자 재료중 가장 큰 유전율을 나타내어 콘덴서 재료로서 실용화되고 있으며 무기물 압전재료와의 복합화에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.⁴⁾

3. 구성요소 및 제작

3.1 PVDF 및 PZT의 사양 및 특징

본 연구에서 사용된 PVDF는 압전 필름 센서를 전문적으로 생산하는 업체인 Measurement Specialities Inc. 의 LDT4-028K/L을 사용 하였다. 이 제품은 폴리에스테르로 된 얇은 보호막이 piezo film element를 싸고 있는 형태이다.

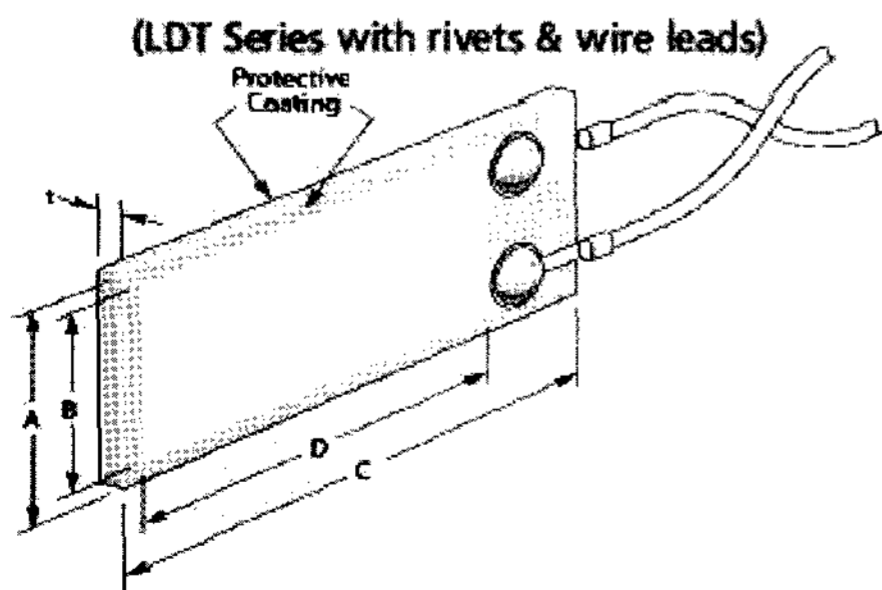


그림 3. Piezo film LDT4-028K/L의 형태

중심축이 piezo film 안에 있지 않고 보호막 안에 있기 때문에, 휨(bending)을 주었을 때 보호막이 없는 piezo film 보다 더 높은 전압을 낼 수 있다. 그림 3은 LDT series의 형태를 보여주고 있고, 표 1은 사양을 나타내고 있다.

표 1. Piezo film LDT4-028K/L 의 사양

A Film	B Electrode	C Film	D Electrode	t (μ m)	Cap (nF)
21	18	170	155.70	205	11.0

또한, 연구에 사용된 PZT는 이를 전문으로 생산하는 PIEZO SYSTEMS, INC. 의 Standard Quick-Mount Bending Generator 모델 중 Q220-A4-503YB를 사용하였다.

표 2. PZT(Q220-A4-503YB)의 특징

Weight (grams)	9.5
Stiffness (N/m)	245
Capacitance(nF) [parallel Operation]	260
Rated Tip Deflection(mm _{peak})	± 1.57
Rated Frequency(Hz)	45
Open Circuit Voltage(V _{peak}) [At rated deflection, parallel operation]	± 18.1
Closed Circuit Current(μ A _{peak} /Hz) [Per sinusoidal cycle, at rated deflection, parallel operation.]	± 46
Rated Output Power(mW _{rms}) [At rated deflection and frequency]	4.7

이 제품은 polarized 된 두 개의 PZT 층으로 구성 되어져 있으며, 한쪽 층이 압축이 되면 다른 쪽은 신축된다(그림 1참조). 이와 동시에 각 층을 가로 질러 전하가 발생되고, 이 전하들이 수집된다. 그림 4는 이 제품의 형

태 및 치수를 보여주고 표 2는 성능을 나타내고 있다.

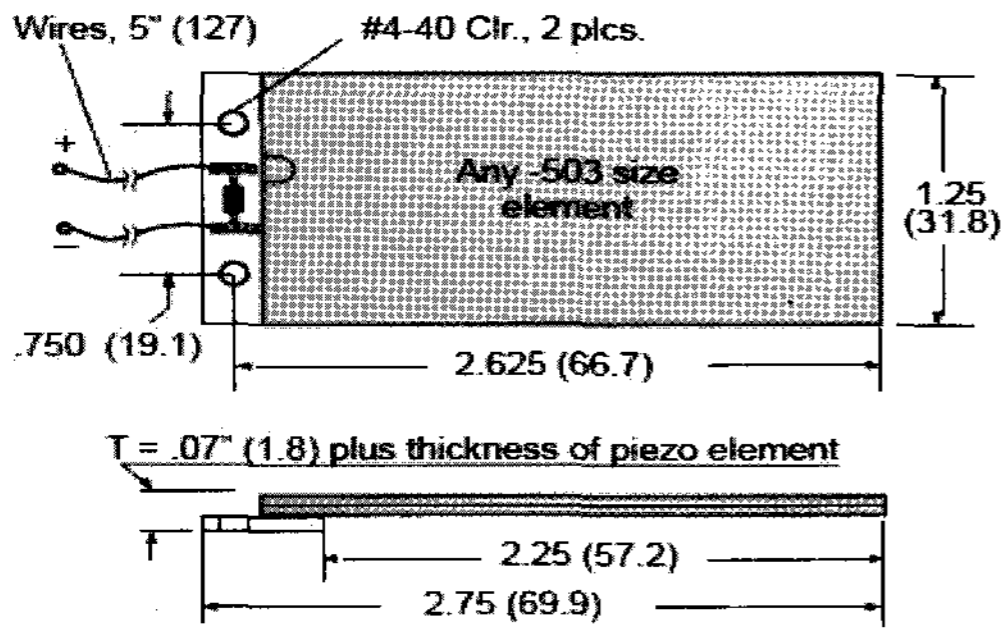


그림 4. PZT(Q220-A4-503YB)의 규격

3.2 Multi-bundle film 제작

본 연구에서는 PVDF의 성능을 분석하기 위해 그림 5와 같이 piezo film 10장을 병렬로 연결하여 이로부터 발생하는 전압을 측정하기 위해 오실로스코프를 사용하였다.

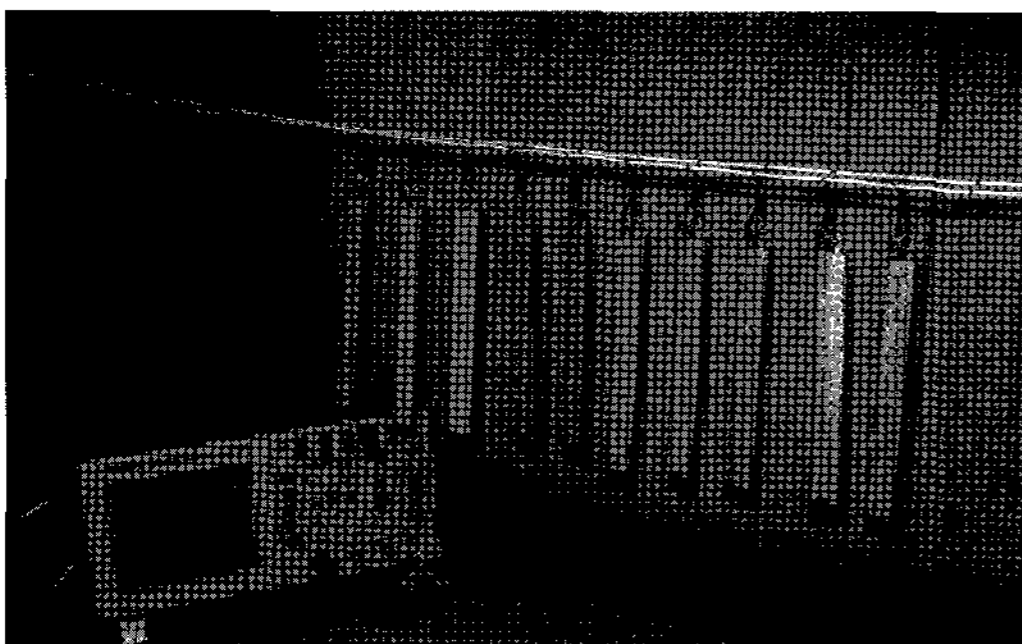


그림 5. Multi-bundle film의 성능분석을 위한 실험장치

3.3 나무형 풍력 발전 시스템의 제작

본 연구는 앞서 소개한 PVDF와 PZT를 병합하여 효율적으로 이들을 구성하고 사용하여 에너지 하비스팅을 하는데 목적이 있다. 이 때 우선적으로 고려해야 할 점은 한 개의 압전소자로부터 발생하는 출력이 미미한 만큼 이를 효율적으로 모을 수 있는 시스템을 설계하는 것이다. 본 연구에서는 다양한 방법 중에서 시스템의 구성상 물리적으로 나무형태로 압전소자를 엮는 것이 비교적 용이할 것으로 판단되어 나무형의 풍력 발전시스

템을 설계·제작하였다.

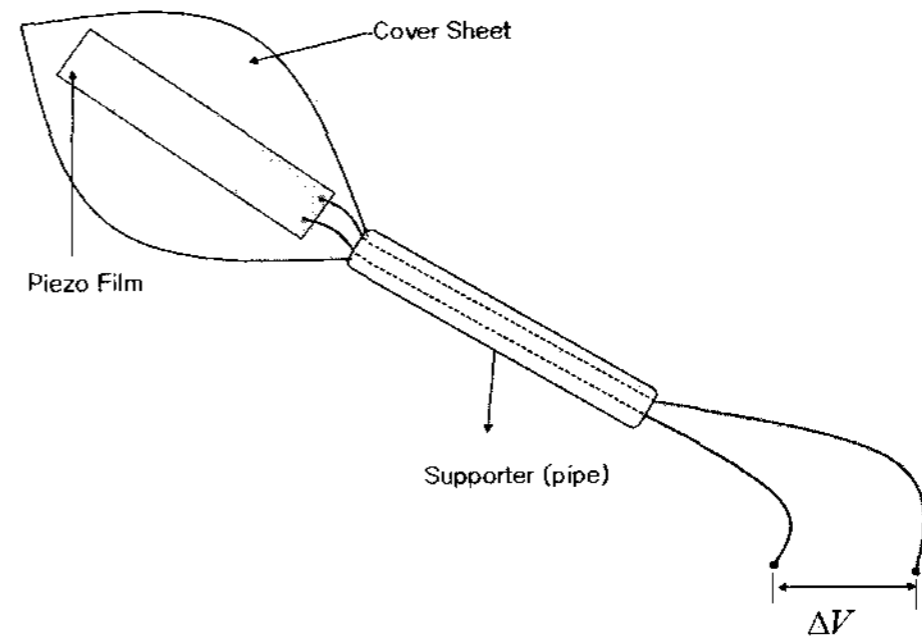


그림 6. 나무형 풍력발전 시스템의 PVDF 응용 부분

이를 위하여, 그림 6과 같이 미세한 바람에도 쉽게 움직일 수 있는 앞부분을 신축성이 우수하고 작은 휨(bending)에 대해 비교적 큰 전압이 발생하는 PVDF(LDT4-028K/L)를 사용하여 제작하였다. Cover sheet에 PVDF를 접착시키고 속이 빈 지지대를 사용하여 (+),(-)의 wire를 밖으로 빼낸다. 앞부분에 사용된 PVDF는 총 18장으로 서로 병렬로 연결이 되어 있다.

PVDF보다 견고하고 출력전압이 높은 PZT는 그림 7과 같이 하중을 가장 많이 받고 움직임이 부드러운 시스템 하부에 위치시킨다.

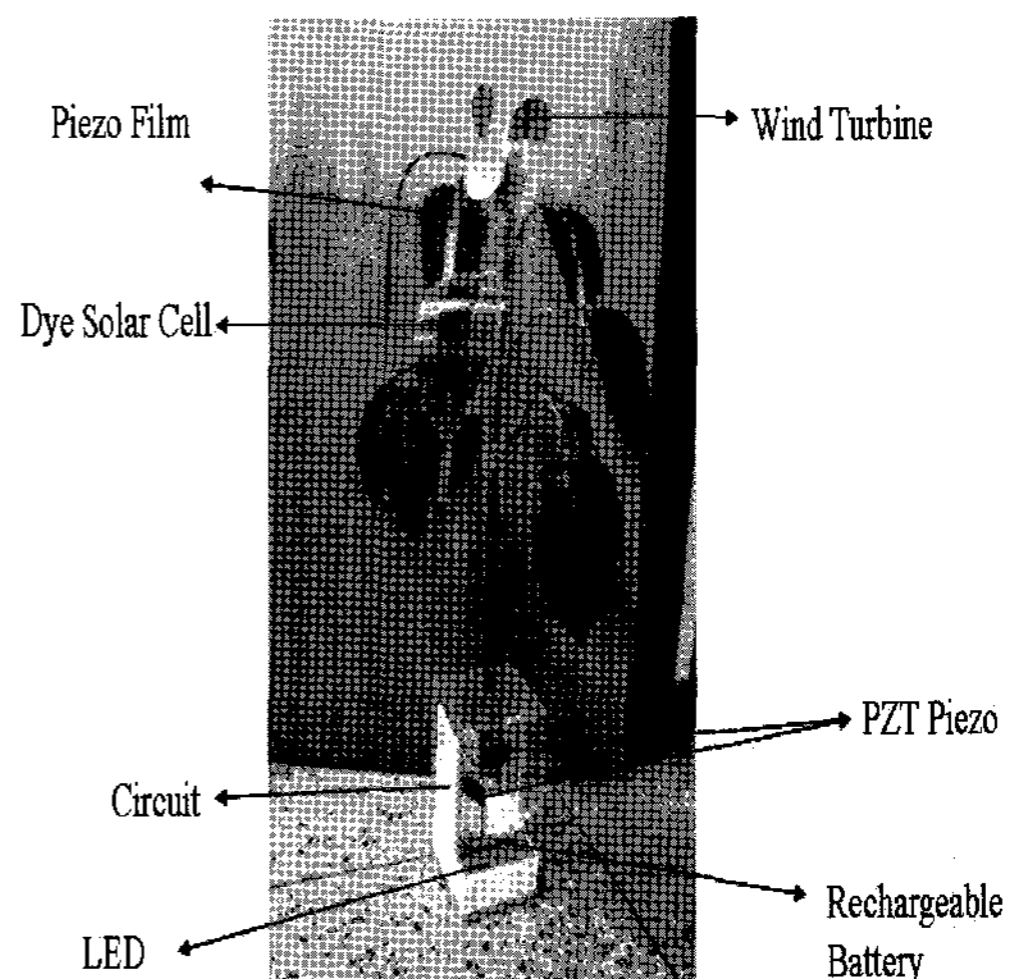


그림 7. Prototype 나무형 풍력 발전시스템 (특허출원 제 2007-75257호)

또한, 추가적으로 염료감응형 태양전지(dye-sensitized solar cell)를 cover sheet 에 접착 시킴으로써 바람이 없는 날에도 전기 에너지를 생산 할 수도 있으며 소형 wind turbine 을 병합하여 구성할 경우 이를 보조동력원으로 사용할 수도 있다.

3.4 회로구성

PVDF와 PZT에서 발생한 에너지는 대부분의 전자기기에 충분한 전력을 공급하지 못하기 때문에 전기를 축적하는 매개물이 필요한데, 충전 가능한 battery가 적절한 매개물로 여기지고 있다. 이를 위해서는 추가적으로 압전 세라믹으로부터 발생하는 신호들을 정류 및 증폭을 하고 안정화시키기 위하여 복잡한 회로 구성이 필요하다.

본 연구에서는 가장 기초적으로 나무형 풍력 발전 시스템에서 발생하는 신호를 측정하고 성능을 분석하는데 목적이 있으므로 그림 8과 같이 간단히 브리지 정류회로(Wheatstone bridge)를 구성하여 오실로스코프를 사용하여 테스트를 수행하였다.

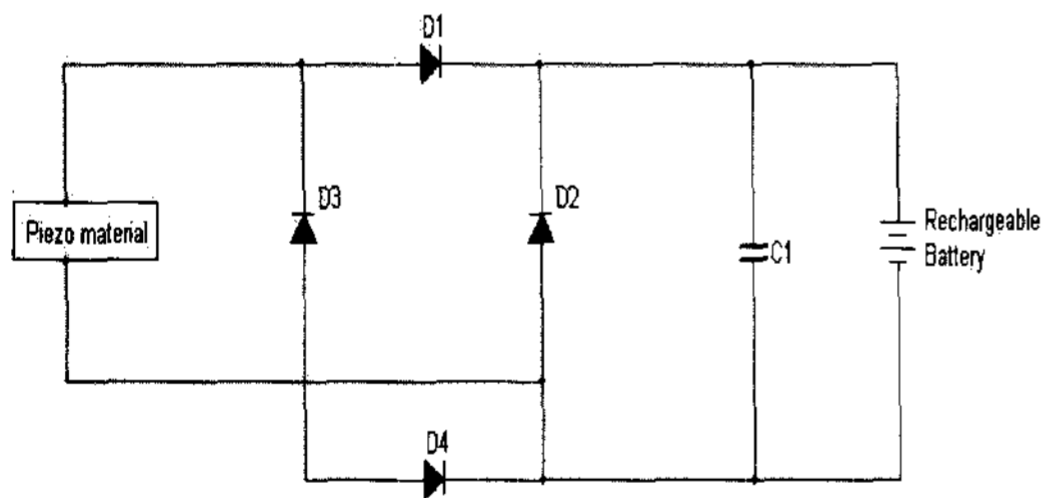


그림 8. 나무형 풍력발전 시스템 출력 측정을위한 회로

4. 결과 및 고찰

4.1 Multi-bundle film test

우선적으로 PVDF 10장의 출력테스트를 위하여 선풍기를 설치하여 uniform flow에 의해 film으로부터 발생하는 전압을 측정하였다. 비교 실험을 위하여 정면(case.1)과 측면(case.2)에 선풍기를 설치하고 각각에 대한

최대 전압을 측정하였다.

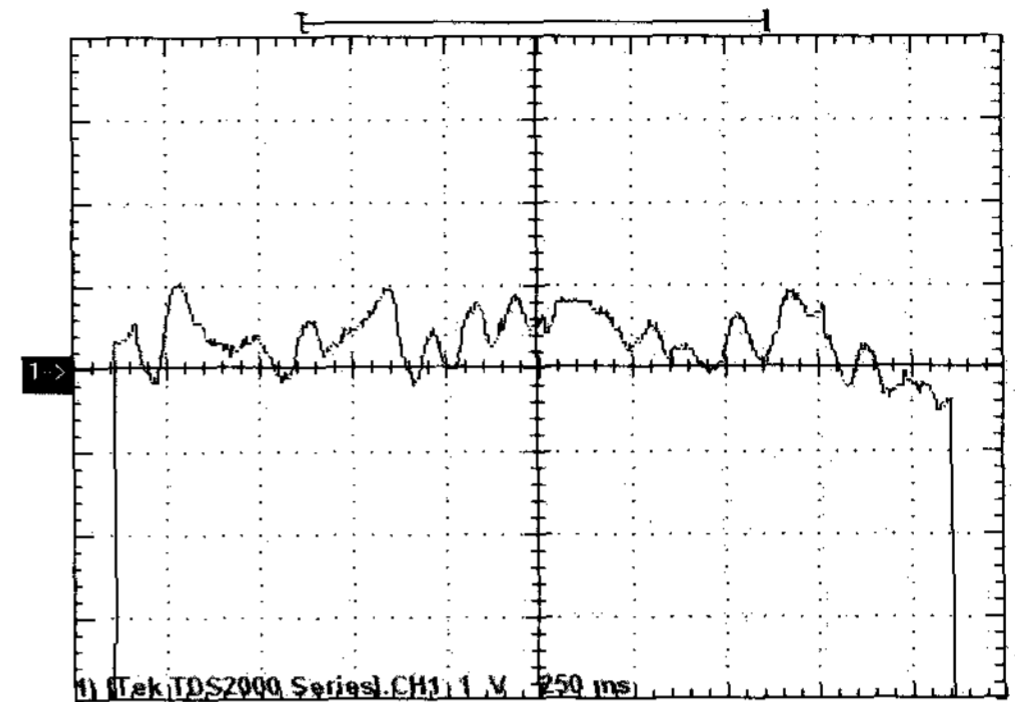


그림 9. Multi-bundle film의 출력 파형(case.1)

그림 9는 측면에서 바람을 공급하였을 때의 multi-bundle film으로부터 발생하는 전압 파형을 보여 주고 있으며, 그림 10은 정면에서 바람을 공급하였을 때의 전압파형을 보여주고 있다.

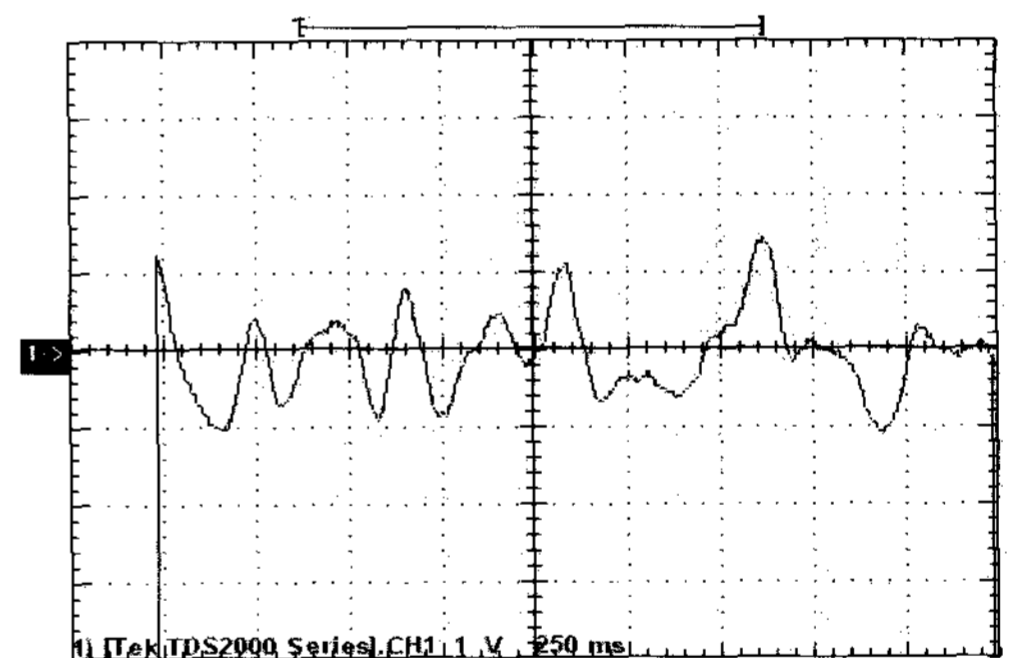


그림 10. Multi-bundle film의 출력 파형(case.2)

측면에서 균일한 바람을 가해졌을 경우에는 최대 $\pm 1.0V$ 가 발생하였고, 정면에서 가해졌을 때는 최대 $\pm 1.2V$ 가 발생하였다.

4.2 PVDF 와 PZT 병합시스템의 출력

Multi-bundle film 과 동일한 방법으로 prototype의 출력을 측정하기위해 선풍기를 이용하여 바람을 인위적으로 공급하였다.

그림 11과 12는 브리지 다이오드 회로를 통하여 시스템에서 정류되어 나오는 전압을 측

정한 것이다.

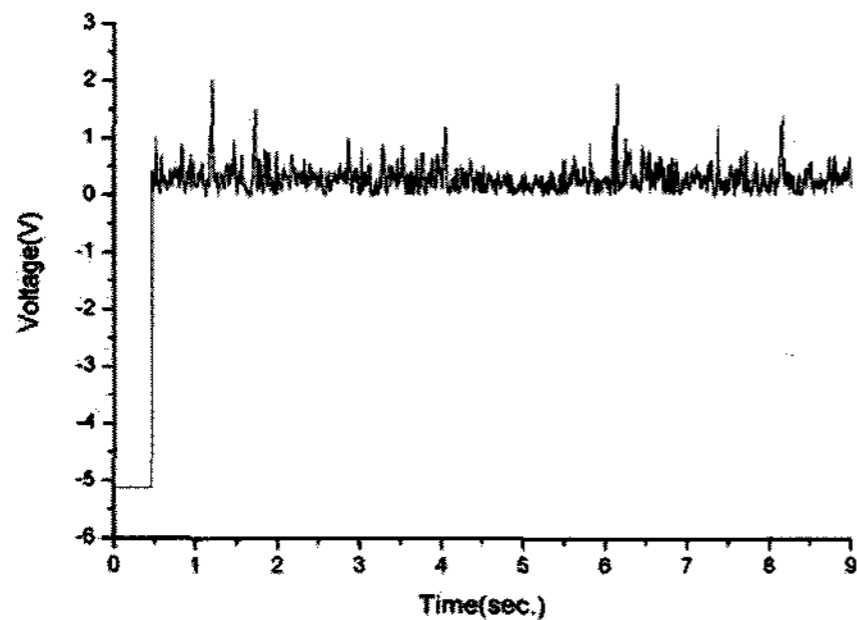


그림 11. Bridge circuit을 거친 출력파형(직렬연결)

그림 11은 PVDF 와 PZT를 직렬 연결하였을 경우 시간에 따른 전압의 변화를 보여주고 있다. 측정된 최대 전압은 2.04V 이다. 이 경우 전류 측정을 위해 1MΩ의 저항을 사용한 결과 최대전류는 2μA였다.

그림 12는 PVDF 와 PZT를 병렬연결 하여 발생하는 전압파형을 나타내고 있다. 이 경우 전류측정을 위해 1kΩ의 저항을 사용하였고 측정된 최대 전압은 0.0472V 이며 최대전류는 47μA이다.

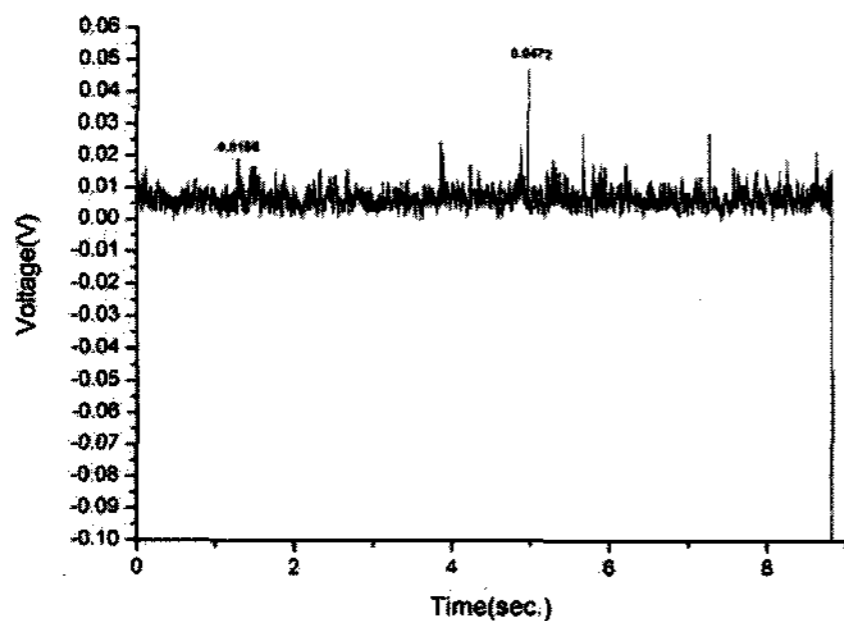


그림 12. Bridge circuit을 거친 출력파형 (병렬연결)

이 두 가지 측정을 비교해 본 결과 PVDF 와 PZT를 직렬연결 하였을 경우에는 전압이 전류에 비해 높으며 병렬연결 하였을 경우에는 전류가 높은 것을 알 수 있다.

하지만, 최소 배터리 충전을 위해서는 NiCd battery의 경우 memory 현상 때문에 fast-charge(충전시간: 약 1시간)를 선호한다. 최대 충전 시간을 1시간으로 제한했을 때, 충전이 가능한 최소 input은 $V_{in(pk)} = V_{in(pk)} = \pm 13.8V$, $I_{in(pk)} = \pm 10.4mA$ 가 되어야 한다.

이를 위해서는 보다 많은 압전 세라믹스를 사용하고 증폭기와 같은 회로를 구성할 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 압전 세라믹스를 이용한 에너지 하비스팅의 일환으로써 바람을 이용한 나무형 풍력 발전시스템을 제작 해보고 그 성능을 테스트 해보았다. 실험실 테스트를 위한 시스템은 작은 규모로 제작되었지만, 실질적으로 규모가 보다 큰 나무형 풍력 발전 시스템을 제작 하였을 경우 사용되는 PVDF 및 PZT의 수를 증가시킴으로서 보다 큰 출력을 얻을 수 있으리라 여겨지고 있다. 또한, battery를 효율적으로 충전하기 위해서는 보다 정교하고 복잡한 회로의 구성이 필요할 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(No. R01-2006-000-10626-0)을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. J. A. paradiso and T.Starner, "Energy scavenging for mobile and wireless electronics", IEEE Pervasive Computing, vol,4, no.1, pp.18-27,2005.
2. N. S. Shenck and J. A. Paradiso, "energy scavenging with shoe-mounted piezoelectrics", IEEE Micro, vol.21,no3,pp.30-42, 200.

3. R, Amirtharajag and A.P. Chandraksan,
"Self powered signal processing using
vibration-based power generation", J.Solid-State Circuits, vol.33, no. 5, pp.687-695,1998
4. 이덕출, 박강식, "PVDF의 결정구조가 압전특성에 미치는 영향" 전기전자재료 학회지 제2권 제2호,1989.6
5. 선호정, 이재형, "진동을 이용한 압전체에너지 하비스팅", 전기전자재료 제 20권 제4호,pp3-13, 2007
6. 유재영, 김기일, 손은화, "압전 세라믹스", KISTI 심층정보분석보고서
7. Piezoelectric Terminology,
<http://www.piezo.com/tech1terms.html>