압전 액추에이터를 이용한 에너지 수확

윤소남† ·김동건*·함영복*·박중호*·최상규*

Electric energy harvesting using piezoelectric actuator driven by geared motor

So-Nam Yun, Dong-Gun Kim, Young-Bog Ham, Jung-Ho Park and Sang-Kyu Choi

Key Words: PZT actuator(압전 액추에이터), Energy harvesting(에너지 수확), Wind power(풍력), Energy conversion(에너지 변환)

Abstract

This paper presents the possibility of the electric energy harvesting using piezoelectric actuator which is operated by geared motor. The geared motor consisting of oval shape cam and speed controller was operated in the range of 40~172rpm. The PZT actuator of 36L×13W×0.6H was used for energy harvesting and the results of the theoretical model were verified by comparing it with the measured response of a experimental setup. Experimental study for obtaining the optimal operating conditions , such as displacement variation of the PZT actuator and motor speed variation, was achieved. A power of 0.02㎽ at the geared motor speed of 172rpm and the PZT actuator maximum displacement of 500㎛ was measured. In this study, it was confirmed that the wind power can be used for MEMS based sensor operating and windmill health monitoring one.

1. 서 론

현재 동물의 위치 추적 또는 풍차의 건강 정보를 얻는데 사용되는 센서는 전원으로 배터리를 사용하거나 혹은 직접 외부에서 전원을 공급 받고 있는데, 앞으로 다가오는 유비쿼터스의 시대가 진보하는데 가장 큰 기술적 문제로 지적이 되고 있는 것은 센서와 시스템의 무선전송기술과 영구적인 전원 공급이다[1]. 현재 진동을 이용한 에너지 수확 기술에는 신체진동[2,3,4], 벤더 형이 아닌 심벌즈(Cymbals) 구조를 갖는 압전 액추에이터(Piezoelectric actuator)를 이용하여 에너지를 수확하는 방법[5]등 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히, 압전 액추에이터에 기계적 에너지를 가할 수 있는 에너지원으로 청정에너지인 풍력을 이용한다면, 압전 액추에이터를 쉽게 장착할 수 있고 압전 액추에이터의 개수를 많이 사용할 수 있기 때문에 전술한 방법들보다 쉽게 많은 전력을 얻을 수 있는 특징이 있다[6]. 따라서 이 연구에서는 풍력 발전기의 건강 모니터링 시스템의 독립적인 전원을 얻기 위해, 압전 액추에이터를 이용한 에너지 수확 기술 방법 및 소형 풍차를 이용한 에너지 수확 기술에 대하여 논의되었다. 이 연구에서 소형 풍차를 대신하여 감속기가 내장된 모터를 이용하여 연구를 수행하였고, 이 연구에서 사

† 한국기계연구원, 지능형정밀기계연구본부
E-mail : ysn688@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7155 FAX : (042)868-7176
* 한국기계연구원, 지능형정밀기계연구본부

용되어진 압전 액추에이터의 크기는 36L×13W×0.6H이며, 이 압전 액추에이터를 사용하여 얻어진 결과로써 모터의 속도 40[rpm], 압전 액추에이터가 움직인 길이는 500[㎛]일 때 압전 액추에이터에서 출력전압은 -7.4~5[V]이며, 이때 전력은 0.02[㎽]를 얻을 수 있었다.

2. 모터구동방식 에너지 변환

2.1 에너지 변환 실험 장치 및 에너지 저장부

Fig.1은 실험장치 및 측정 장비의 구성도이다.

에너지 변환 실험 장치는 압전 액추에이터를 이용하여 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하여 압전 액추에이터에서 출력되어지는 전압과 압전 액추에이터의 변위를 측정하기 위한 것으로, 기어드 모터(Geared motor), 모터 제어부(Motor controller part), 변위 제어부(Displacement control part), 압전 액추에이터, 레이저 센서(Laser sensor), 변위 측정 장비(Displacement measuring equipment), DAQ system(DEWETRON5000)로 구성이 되어 있다.

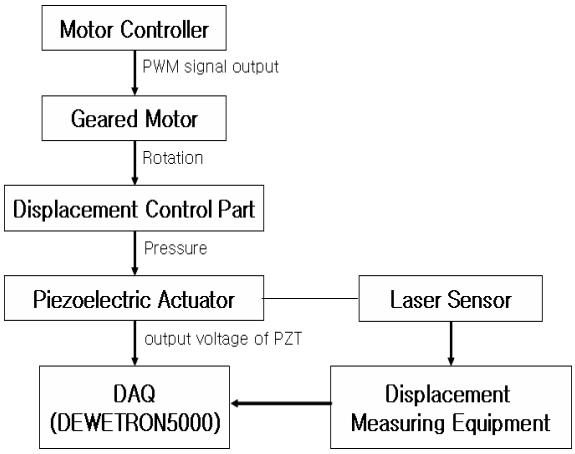

Fig. 1 Block diagram of test system and measuring equipment

2.1.1 에너지 변환 실험 장치

Fig.2는 Fig.1에서 측정 장비를 제외한 부분을 보여주는 사진이다.

에너지 변환 실험 장치에는 36L×13W×0.6H의 압전 액추에이터와 1:36의 기어 비를 갖는 기어드 모터가 이용되었으며, 모터의 속도를 제어하기 위해서 PWM제어 방식을 사용하였다. 압전 액추에이터의 시험범위는 실험 장치에 설치되어 있는 조절기를 사용하여 조절할 수 있으며, 조절 가능한 길이는 0~600[㎛]까지이다.

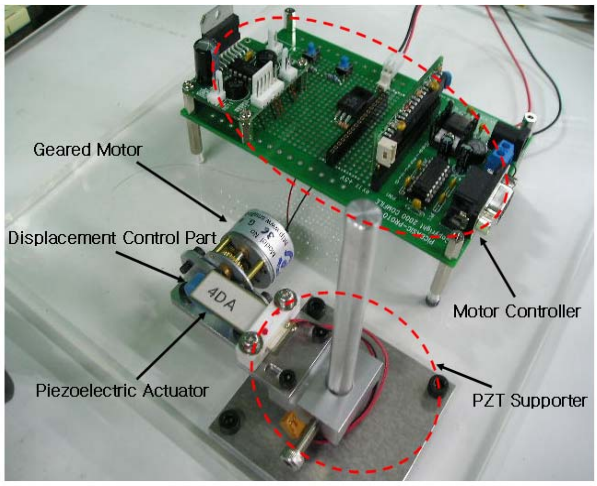

Fig. 2 Energy conversion test system

2.1.2 에너지 저장부

Fig.3은 에너지 저장 회로도를 나타내고 있다.

현재 센서와 시스템에서 사용되어지는 전기 에너지의 성분은 직류를 사용하고 있으나 압전 액추에이터에서 출력되어져 나오는 전기 에너지가 교류로 출력되기 때문에 정류시키기 위해 브리지 다이오드를 사용하여 반파정류 시키는 회로를 꾸몄다. 정류된 전압을 슈퍼 커패시터(Super Capacitor)에 저장할 수 있도록 하였고, 에너지 저장 회로에서는 브리지 다이오드만을 사용하여, 간단한 회로를 구성하였다.

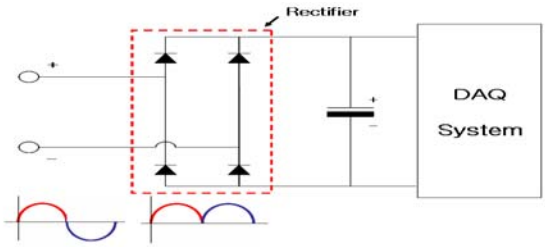

Fig. 3 Schematic diagram of energy storage circuit

2.2 에너지 변환 실험 방법 및 결과

기어드 모터를 이용하여 압전 액추에이터에 기계적 에너지를 가하여 전기적 에너지가 출력되도록 에너지 변환 실험 장치를 설계· 제작하였으며 실험을 통하여 에너지 변환 특성 연구가 이루어졌다.

2.2.1 에너지 변환 실험 방법

실험은 두 가지 방법으로 이루어졌다.

첫 번째 방법은 기어드 모터 축에 고정된 변위 제어부가 회전할 때 압전 액추에이터의 변위 변환 범위를 100~500㎛내에서 100㎛씩 변환하고, PWM제어를 이용하여 모터의 속도를 40, 81, 126, 172[rpm]과 같이 네 가지 모터 속도로 실험을 수행하였다. 압전 액추에이터의 변위 또는 모터의 속도를 고정하고 고정한 조건을 제외한 다른 조건을 변화시켜 압전 액추에이터에 기계적 에너지를 가하도록 하였을 때, 압전 액추에이터의 출력전압을 DEWETRON5000을 이용하여 수집하는 형식으로 각각 두 번의 실험을 수행하였다. 에너지 저장부를 이용하여 압전 액추에이터의 출력전압을 브리지 다이오드를 통과시켜 출력되는 전압을 확인하였다.

두 번째 방법은 Fig.3의 에너지 저장 회로를 브레드 보드(Bread board)에 구성하고 압전 액추에이터에 기계적 에너지를 가하여 생기는 전기적 에너지를 슈퍼 커패시터에 6일간 에너지를 저장하였다. 모터의 속도는 40[rpm]이며, 압전 액추에이터의 변위는 500[㎛]로 고정하여 1일 2회 슈퍼 커패시터와 브리지 다이오드 사이의 연결을 끊어 슈퍼 커패시터의 전압을 디지털 테스트기를 이용하여 측정하였다. 측정한 결과는 수동으로 기록하였다.

2.2.2 에너지 변환 실험 결과

전술한 실험 방법으로 실험을 수행하여 얻은 결과는 Fig.4와 Fig.5에 나타내었다.

Fig.4는 모터의 속도를 고정하고, 압전 액추에이터의 변위 변화에 따른 출력전압을 나타내고 있다. Fig.4에서 볼 수 있듯이 압전 액추에이터의 변위가 100[㎛]일 때 전압은 −3.7~5.7[V]가 출력되어져 나온 것에 비해 500[㎛]일 때 전압은 −17.5~16.9[V]가 출력되어 약 3.6배의 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있듯이 압전 액추에이터의 변위의 변화가 클수록 전압이 상승하는 것을 알 수 있다.

Fig.5는 압전 액추에이터의 변위를 동일하게 두고 모터의 속도를 증가하였을 때의 결과를 나타내고 있다.

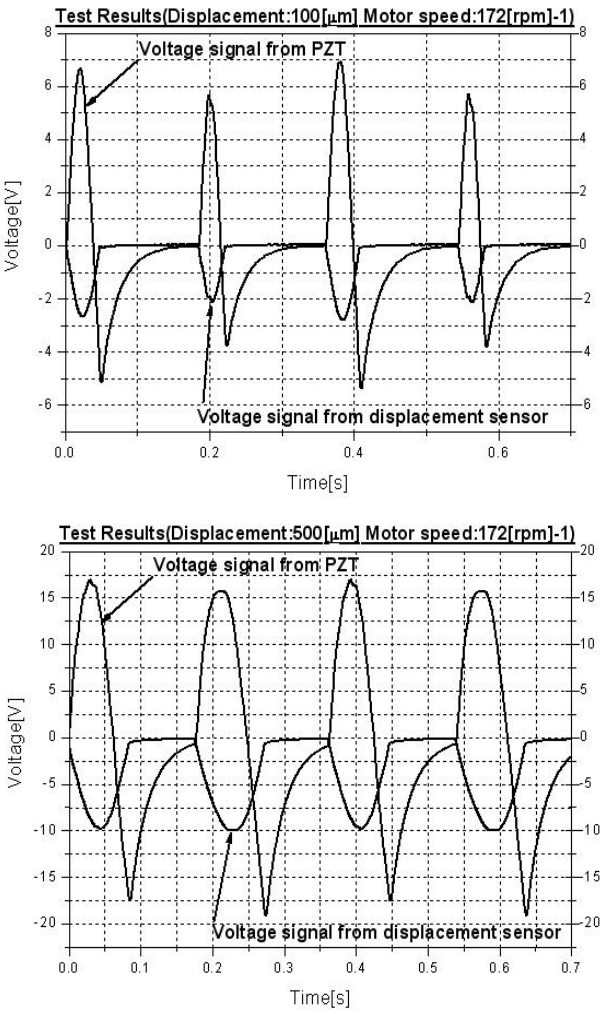

Fig. 4 Output voltage by displacement variation of PZT actuator

이 때의 압전 액추에이터 변위는 100[㎛]로 고정하고, 모터 속도가 40[rpm]일 때와 172[rpm]를 비교하였다. 40[rpm]일 때의 전압은 −2.4~2.5[V]이며, 172[rpm]일 때에는 −3.7~5.7[V]가 출력이 되고 모터의 속도를 고정하였을 때와 동일하게 약 2배 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig.4와 Fig.5에 나타낸 것처럼 압전 액추에이터의 변위 또는 모터속도의 변화에 따라서 출력되어 나오는 전압 차이가 발생하고 있음을 알 수 있고, 이 결과로 변위와 모터속도 두 가지 모두 동시에 증가시킨다면 보다 큰 전압을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

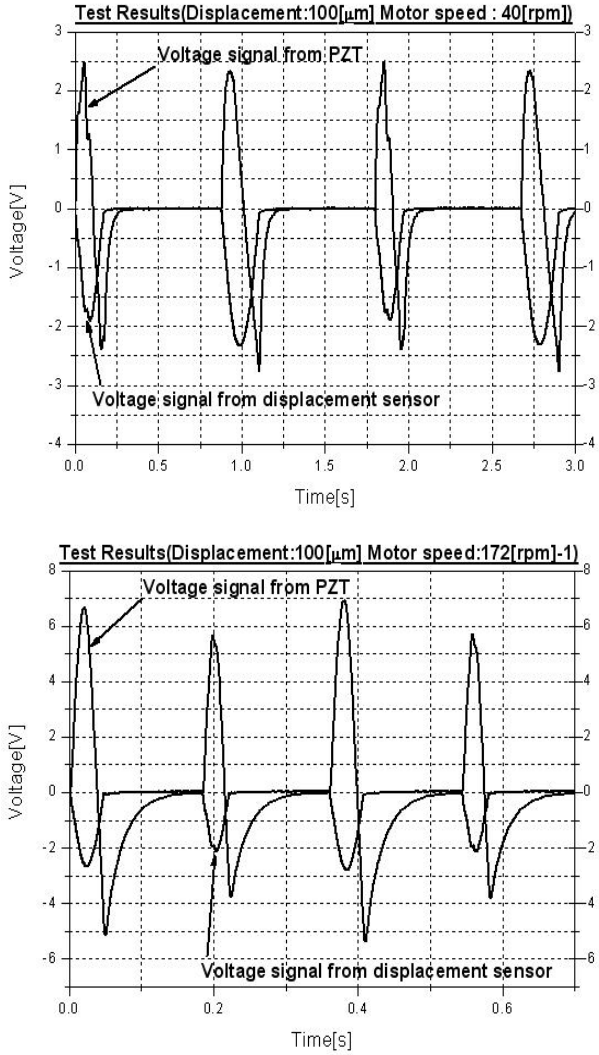

Fig. 5 Output voltage by motor speed variation

Fig.6은 압전 액추에이터로부터 출력되어져 나오는 전압(Voltage signal from PZT)과 브리지 다이오드를 통과하여 정류되어져 나오는 출력전압(Rectified voltage)의 형상을 나타내고 있다.

측정 결과 Fig.6에서 진한 검은 선으로 나타내는 파형은 압전 액추에이터의 출력 전압이며, 이러한 전압을 브리지 다이오드를 통과시켜 음극의 전압이 반파정류된 파형이 연한 검은 선이다. 반파정류되어져 있지만 회전하는 속도가 느려질 때에는 충전하는 시간에 비해 방전되는 시간이 길어지는 것을 알 수 있다.

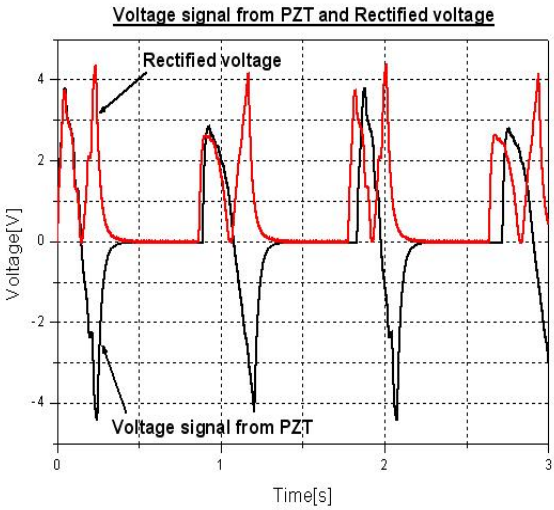

Fig. 6 Output voltage and rectified voltage

압전 액추에이터의 변위 변환 범위와 모터의 속도별 실험을 수행한 결과를 Fig.7에 나타내었다.

Fig.7은 모터의 속도를 변화시켰을 때 압전 액추에이터의 변위와 압전 액추에이터의 출력전압을 절대값으로 합하여 나타낸 것과 압전 액추에이터의 변위를 변화시켰을 때 모터의 속도와 압전 액추에이터의 출력전압을 절대값으로 합한 것을 보여주고 있다. Fig.7의 첫 번째 그래프에 나타낸 것처럼 모터의 속도가 40일 경우와 80일 때를 비교하면 출력전압의 절대값으로 합한 사이가 2배정도 늘어나는 것을 알 수 있고, 두 번째에 나타내어진 그래프에서도 비슷한 현상이 나타난다는 점을 알 수 있다. 압전 액추에이터의 변위가 100[㎛]이고, 모터의 속도가 40[rpm]일 때와 압전 액추에이터의 변위가 500[㎛]이고, 모터의 속도가 172[rpm]일 때를 비교하여 보면 압전 액추에이터와 모터의 속도 두 조건 모두 낮을 때의 출력전압은 약 5[V]가 출력이 되는 반면 두 조건 모두 높을 때의 출력전압은 약 35[V]가 출력되어 두 조건 모두 높을 경우가 약 7배 증가한다는 것을 알 수 있다.

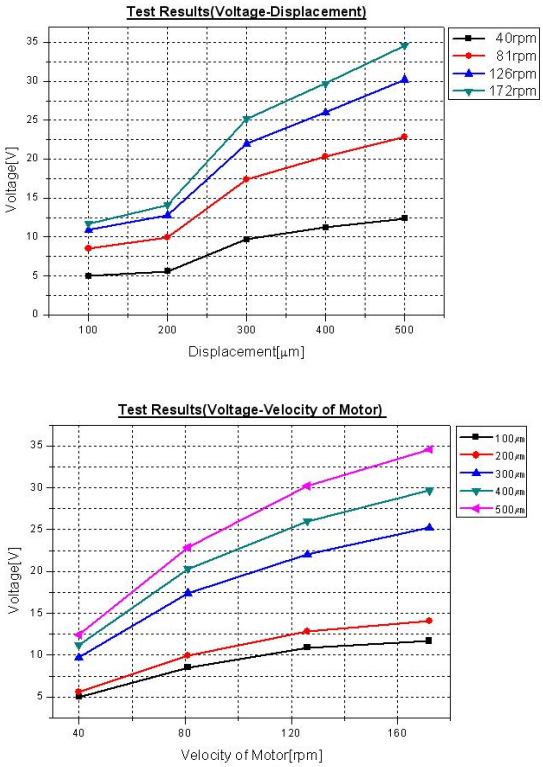

Fig. 7 Output voltage by displacement and motor speed variation

Fig.8은 모터의 속도와 압전 액추에이터의 변위를 모두 고정하였을 때 저장되어지는 에너지의 크기를 알아보기 위하여 실험한 결과를 나타낸 것으로, 6일간 슈퍼 커패시터의 전압을 측정한 결과이다. 매주기마다 출력전압은 -7.4~5[V]이고, 이때 전력은 0.02[㎽]이었으며, 선형적으로 충전되는 것을 확인할 수 있다.

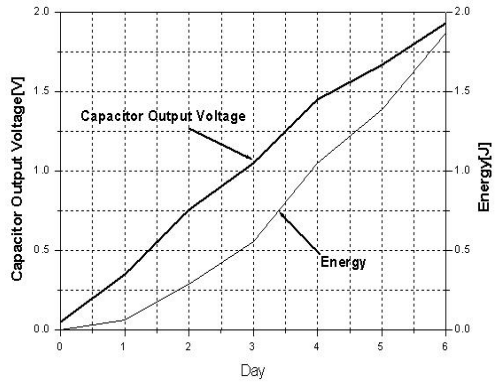

Fig. 8 Energy harvesting characteristics of PZT actuator

Fig.8의 결과에 의하여 에너지의 크기를 식 (1)에 의해 계산하였다.

$$E_e = \frac{1}{2} c_r V_r^2 \quad (1)$$

여기에서, E_e : 슈퍼 커패시터에 충전이 된 에너지, c_r : 커패시터의 용량, V_r : 출력 전압이다. 식(1)로부터 계산된 에너지는 Fig.8에 가는 선으로 표시를 하였다. 6일간 충전된 에너지의 크기는 1866[*mJ*]이었으며, 하루 평균 311[*mJ*]이 충전되었음을 확인할 수 있다.

Table 1은 마이크로프로세서, 센서 및 송신 모듈의 소비 전력을 나타내는 표이다.

Table 1 Consumption power of energy conversion system[1)]

항 목	구동전압[V]	소모전류[㎃]	소비전력[㎽]	비 고
MCU(PIC16F)	5	7	35	Operating
		25	125(10㎳)	Source/Sink
Sensor	5	1	5	Temp. sensor
Tx Module	5	3	15	Supply
		4	20(10㎳)	Transmission
Full load power consumption [㎽]			200	

두 번째 실험 방법을 통하여 얻어진 에너지가 송신 모듈을 통해 얻어진 정보를 한 번 전송하기 위한 최소 필요 전기 에너지는 다음과 같다.

$$U_{min} = 55(mW) \cdot 600(ms) + 145(mW) \cdot 10(ms) = 34.45(mJ) \quad (2)$$

따라서 정보를 한번 송신하기 위한 최소 에너지는 34.45[*mJ*]이므로, 실험 장치에 의해 6일간 얻은 에너지 1866[*mJ*]으로 54번의 정보를 송신할 수 있으며, 하루에 9번의 정보를 송신할 수 있어 모니터링 시스템의 전원으로써의 가능성을 예측할 수 있다.

3. 결 론

이 논문에서는 풍력을 이용한 에너지 수확기술을 통하여 얻어진 에너지를 풍력 발전기의 건강 모니터링 시스템에 사용하기 위하여 기초 연구를 수행하였으며, 다음의 결과를 얻었다.

가) 압전 액추에이터는 크기가 클수록, 변위가 클수록, 진동수가 높을수록, 개수가 많을수

록 많은 전압이 발생하게 되며, 최적 저장 회로의 설계를 통하여 쉽게 에너지화 할 수 있다.

나) 풍력을 이용한 에너지 획득기술은 청정에너지인 동시에 대체에너지를 이용하는 기술이기 때문에 연구의 가치가 있을 것으로 사료된다.

다) 이 연구의 결과는 대전력을 얻기 위하여 설치된 중·대형 풍차의 건강을 체크하는 기술뿐만 아니라, 야생동물의 위치정보시스템, 가축의 건강 모니터링 시스템 등 독립적인 영구전원을 필요로 하는 분야에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

(1) Woo-Hum Lee, Je-Yun Lee, Jae-Geun Oh and Bum-Kyoo Chio, 2006, "A Study on the Energy Conversion System Using Piezoelectric Effect", Sogang University, pp.1~64

(2) John Kymissis, Clyde Kendall, Joseph Paradiso and Neil Gershenfeld, October 1998, "Parasitic Power Harvesting in Shoes", *Proceeding of the Second IEEE International Conference on Wearable Computing, (ISWC)*, pp. 132~139

(3) Joseph A, Paradiso, July 2006, "Systems for Human-Poweres Mobile Computing", *Design Automation Conference, 2006 43rd ACM/IEEE*, pp. 645-650

(4) Stephen R. Platt, Shane Farritor, Kevin Garvin and Hani Haider, August 2005, "The Use of Piezoelectric Ceramics for Electric Power Generation Within Orthopedic Implants", *IEEE/ ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS*, Vol. 10 No. 4, pp.455-461

(5) Hyeoung Woo Kim, Amit Batra, Shashank Priya, Kenji Uchino, Douglas Markley, Robert E. Newnham and Heath F. Hofmann, September 9 2004 , "Energy Harvesting Using a Piezoelectric "Cymbal" Transducer in Dynamic Environment", *International Center for Actuators and Transducers (ICAT)*, Vol. 43 No. 9A, pp. 6178-6183

(6) Shashank Priya, October 2005, "Modeling of Electric Energy Harvesting Using Piezoelectric Windmill", *APPLIED PHYSICS LETTERS* Vol.87, No. 18, pp. 184101-1~3