

# 자가발전 건전성 모니터링을 위한 에너지 하베스팅 스킨

## Energy Harvesting Skin for In-situ Health Monitoring

정병창<sup>1</sup>, 조철민<sup>2</sup>, \*#윤병동<sup>2</sup>

B. C. Jung<sup>1</sup>, C. M. Cho<sup>2</sup>, \*#B. D. Youn(bdyoun@snu.ac.kr)<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>메릴랜드 대학교 기계공학과, <sup>2</sup>서울대학교 기계항공공학부

Key words : Energy Harvesting Skin, Wireless Sensor Networks

### 1. 서론

무선 모니터링 시스템은 전원을 공급할 와이어나 정보를 전송할 케이블이 필요 없기 때문에 기존의 유선 모니터링 시스템보다 유연하다는 장점이 있다. 또한, 무선 시스템은 유선 시스템에 비해 센서 노드의 설치에 제약이 없으므로 많은 데이터를 얻을 수 있고, 유지보수와 관련된 문제에 신속하게 대응하여 예방할 수 있게 해준다. 이와 같이 신속한 대응을 통해 얻을 수 있는 이익은 데이터 측정에 드는 비용과 비교해 볼 때 상당하다. 이러한 이유로 무선 네트워크 구축을 위해 무선 센서들의 사용이 점점 증가하고 있다. 현재 무선센서 동작을 위해 배터리를 사용하고 있는데, 배터리는 주기적으로 교체해주어야 한다. 무수히 많은 무선 센서 배터리의 교체는 쉬운 일이 아니며, 교체 비용도 상당하다. 이러한 단점을 극복하고 지능형 유지 보수를 가능하게 하는 핵심 원천 기술이 바로 에너지 하베스팅 (Energy Harvesting)이다. 최근 유럽과 미국에서 각광받는 혁신적 기술인 에너지 하베스팅은 주변에서 쉽게 버려지는 에너지인 바람 진동 온도차이 등을 재수집하여 센서 및 소형 전자기기의 전력원으로 활용하는 기술로, 반영구적인 발전이 가능하여 구조물 건전성 모니터링, 건물자동화 등에 사용되는 무선 센서 유지/교체 비용을 혁신적으로 절감하고, 접근이 어려운 장소에 설치된 무선센서를 지속적으로 작동시킬 수 있게 하는 기술이다. 본 연구에서는 스킨(skin) 형태의 최신의 에너지 하베스팅 장치를 설계 및 개발하고 이를 무선 센서의 전력원으로 사용하여 에너지

하베스팅 스킨의 건전성 모니터링을 위한 에너지원으로서의 가능성을 확인하였다.

### 2. 통계적 해석 모델

캔틸레버 구조의 에너지 하베스터에 대한 수치 모델과 유한 요소 모델로부터, 해석 모델의 예측 능력을 향상시키기 위해 모델 변수에 대한 통계적 모델 보정(Statistical Model Calibration)을 수행하였다<sup>(1)</sup>. 10 개의 하베스터 샘플을 이용하여 고유 진동수 시험 결과로 압전 소자 PCI-5A5E<sup>(2)</sup>에 대한 compliance( $s_{11}$ )를, 전압 시험 결과로 piezoelectric strain constant( $d_{31}$ )와 permittivity( $\epsilon_{33}$ )를 보정 하였다. Table1 은 모델 보정 결과이다.

Table 1 Statistics of material property

모델 변수	$s_{11}$ (m <sup>2</sup> /N)	$d_{31}$ (m/V)	$\epsilon_{33}$ (F/m)
확률 분포	Lognormal	Lognormal	Lognormal
통계량	(4.10,0.103)	(0.576, 0.2)	(2.85,0.061)
평균	1.67e-11	1.81e-10	17.4e-9

### 3. EH Skin 설계

통계적 모델 보정을 통해 만들어진 해석 모델을 이용하여, 조화 해석을 수행한 후 에너지 소멸(energy cancelation) 효과를 최소화하기 위해<sup>(3)</sup> 전압의 위상이 (+)에서 (-)로 변화하는 Inflection Line 을 찾았다(Fig. 1). 그리고 통계적 해석 모델을 이용하여 수확 가능한 전력량을 예측하여 에너지 하베스팅 스킨이 무선 센서 동작에 충분한 전력원임을 확인하였다(Fig. 2).

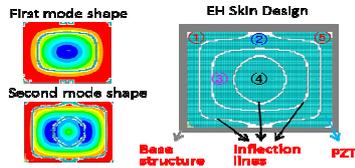


Fig. 1 Energy harvesting skin design

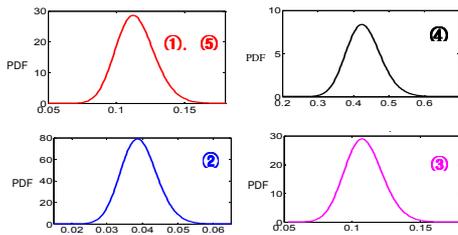


Fig. 2 Prediction of producing electric power

#### 4. EH Skin 제작 및 시연

Inflection Line 을 spline curve 로 근사화하고, laser 를 이용해 압전소자를 가공하였다. PZT 를 laser 로 가공하는 guideline 이 없기 때문에 trial and error 방식으로 최선의 방법을 찾았다. 가공된 압전소자는 conductive epoxy 를 이용해 박판에 접착하여 에너지 하베스팅 스킨을 완성하였다(Fig. 3). 에너지 하베스팅 스킨의 무선 온도/가속도 센서의 구동 시연을 위하여 진동 박판과 가진계로 구성된 testbed(Fig. 4)를 제작하였다. 진동 박판은 두께 1mm 의 철판 제작하였으며, 구속조건은 모서리의 완전 고정이다. 무선 센서<sup>(4)</sup> 작동 시연 (Fig. 5) 또한 확인하였다. 시연 결과 열린 공간에서는 장애물에 상관없이 100 m 정도 정보 송수신이 가능하였고, 철문이 닫힌 공간에서는 25 m 정도가 한계거리였다(Fig. 6).

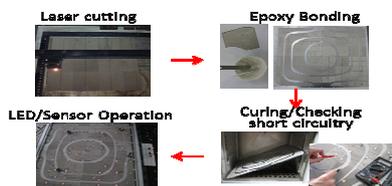


Fig. 3 Manufacture process of energy harvesting skin

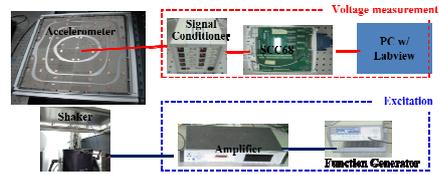


Fig. 4 Testbed of energy harvesting skin



Fig. 5 Demonstration of functioning LED module and temperature wireless sensor



Fig. 6 Verification of wireless sensor distance (red circle: transmission; blue circle: receiver)

#### 후기

The research was partially supported by the POSCO Genesis Program.

#### 참고문헌

1. Youn, B.D., Jung, B.C., Xi, Z., Kim, S.B. and Lee, W.R., 2011, "A hierarchical framework for statistical model calibration in engineering product development," Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol.200, pp. 1421-1431
2. Piezo electricity material systems product catalog. (cited 2011 8 April) Available from <http://www.piezo.com/catalog7C.pdf>
3. Lee, S., Youn, B.D., and Jung, B.C., 2009, "Robust segment-type energy harvester and its application to a wireless sensor," Smart Material and Structures, Vol. 18, 095021.
4. <http://www.ambiosystems.com> (cited 2011 8 April)