

# EAP 액추에이터를 이용한 해양 정보 취득용 무선 전원 발생에 관한 연구

## A study on wireless power generation for marine information acquisition using EAP actuator

정은아 · 이기윤 · 정황훈 · 윤소남  
Eun-A Jeong, Kee-Yoon Lee, Hwang-Hun Jeong and So-Nam Yun

(접수일 : 2011년 01월 18일, 수정일 : 2011년 06월 07일, 채택확정 : 2011년 06월 13일)

**Key Words** : Electroactive Polymer(전기활성 고분자), Energy Harvesting(에너지 수확), Electric Conductivity(전기전도율), Wireless Power Generation(무선 전원 발생)

**Abstract** : This study concerns about wireless power generation that uses the energy harvester with EAP actuator. The UWSN(Underwater Wireless Sensor Network) has been considered many times by many researches. Because the information of underwater is getting important to secure the resource or to predict the meteorological phenomena. But the sensor node in the UWSN is driven by the acoustic wave to communicate with other sensor node. And this acoustic wave usually spends a 100 times energy than the RF(Radio Frequency) wave due to transformation medium(sea water). Therefore the power source of the sensor node is very important that is needed to improve in the UWSN. For this purpose, the energy harvester is made by the acrylic elastomer in this study. And the electrode is modified with an aluminum impurity to improve the efficiency of energy harvester. After that, the modified energy harvester is experimented to confirm the improvement of the energy efficiency.

### 1. 서 론

해양 환경에 대한 모니터링은 해양 자원의 확보, 군사 목적의 정보 취득 및 기후 예상을 위한 자료의 확보를 위해 다각도로 연구되고 있는 대상이다.<sup>1)~3)</sup> 하지만, 해수의 매질 특성 상 기존의 RF를 응용한 지상 중심의 센서 네트워크 기술을 적용하기가 힘들다. 이는 전파의 진동을 전달하는 매질이 해수이기 때문에 전파의 에너지가 산란, 굴절, 흡수 등을 통해 감쇠를 일으키고, 이에 따라 통신을 위한 전송거리가 감소되며, 긴 통신거리와 높은 통신 에너지를 유발하기 때문이다. 수중에서 발생하는 RF파의 단점을 보완하면서 해양 환경을 모니터링하기 위한 수중 통신 및 해양 센서 네트워크를 구현하는 가장 실용적인

방법은 음파를 이용한 통신 방법을 사용하는 것이다. 하지만, 음파를 이용한 통신 방법은 RF파를 이용한 기존의 통신 방법에 비해 약 100배정도의 에너지를 소비하기 때문에 해양 센서 네트워크 내에서 센서 노드의 전원 공급은 가장 중요한 문제가 된다.

해양 센서 네트워크에서 연·근해에 설치되는 센서 노드의 경우 일반적으로 유선을 통해 전원을 공급 받으며, 심해에 설치되는 센서 노드의 경우 부표를 이용하여 회수하거나 AUV (Automatic Under Vehicle) 혹은 UUV(Unmanned Underwater Vehicle)를 통해 회수하고 있다. 따라서, 심해에 설치되는 센서의 가격이 낮을 경우 센서의 회수와 배터리 교체에 필요한 경비가 센서 가격보다 훨씬 커지는 일이 발생하게 되며, 이에 따라 수명을 다한 저가 센서는 버려지게 된다. 만약, 이러한 센서의 전원을 자체적으로 공급할 방법이 생긴다면, 해양 센서 네트워크의 구현과 운영에 있어 기존 시스템에 비해 훨씬 큰 환경적인 이점과 경제적인 이점을 가질 수 있다고 판단된다.<sup>4)</sup>

윤소남(교신저자) : 한국기계연구원 에너지기계연구실  
E-mail : ysn688@kimm.re.kr, Tel : 042-868-7155  
정은아 : 충남대학교 대학원  
이기윤 : 충남대학교 고분자공학과  
정황훈 : 한국기계연구원 에너지기계연구실

일반적으로 에너지 수확에 사용되어지는 에너지는 크게 태양에너지와 진동에너지 지열 등이 있으나, 센서의 설치환경 상 진동에너지의 수확이 보다 적합한 방식이라 생각할 수 있다. 진동에너지의 수확은 사용 재료의 관점에서 기존의 PZT(lead zirconate titanate, 압전소자)를 이용한 방법과 EAP를 응용한 방법으로 나뉠 수 있다. 진동에너지로부터 수확되는 에너지량은 재료적인 한계에 의해 아주 작기 때문에 이를 운용하기 위해 Wake Up 회로, 전원관리 회로, 정류기 및 MOSFET(Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, 금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터)등이 연구되어져 왔다.<sup>5)~8)</sup>

본 연구에서는 EAP를 이용한 진동에너지 수확의 효율을 향상시키기 위해 전극으로 사용되어지는 카본 그리스에 불순물을 첨가하여 에너지 수확 특성을 살펴보는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 먼저 아크릴릭 필름과 카본 그리스를 이용하여 에너지 수확기를 구성하고, 불순물의 양에 따른 출력 전압과 전류 출력량을 측정하여 에너지 수확량의 관계를 확인하였다.

## 2. 실험 장비의 구성

### 2.1 에너지 수확의 원리

Fig. 1은 전도성 고분자를 발전의 용도로 사용하였을 때, 전기를 생산하는 원리를 나타낸 그림이다. Maxwell stress를 고려하지 않을 때, 전기장의 에너지 밀도  $u$ 는 식(1)과 같다.

$$u = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 \quad (1)$$

여기서,  $\epsilon$ 은 비유전율을 의미하며,  $\epsilon_0$ 는 자유공간에서의 유전율( $8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ )을 의미한다.  $E[\text{V/m}]$ 는 전기장을 의미한다.

Fig. 1에서 전도성 고분자가 만들어내는 정전용량  $C[\text{C}]$ 는 식(2)와 같다.

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{z} \quad (2)$$

여기서,  $z$ 는 두 전극간의 거리,  $A[\text{m}^2]$ 는 전극 사이의 단면적이다.

또한, 전기장  $E$ 는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{V}{z} \quad (3)$$

여기서,  $V[\text{V}]$ 는 정전용량에 의해 발생하는 전압강하이다.

전도성 고분자로부터 출력되는 에너지  $U[\text{W}]$ 는 식(4)와 같다.

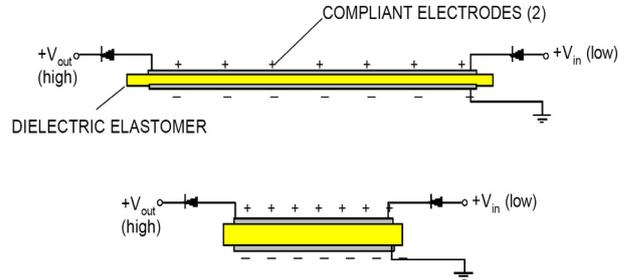


Fig. 1 Energy generated from dielectric elastomer when has pressure on compliant electrodes

$$U = uAz \quad (4)$$

식(1)에서 식(3)에서의 관계를 식(4)에 대입하면, 식(5)를 구할 수 있다.

$$U = \frac{1}{2} CV^2 \quad (5)$$

즉, 전도성 고분자가 이루는 정전 용량의 변화에 따라 에너지가 출력됨을 의미한다.<sup>9)~10)</sup> Fig. 1은 실제 외력에 의해 변동되는 정전용량 변화에 의한 에너지발생을 나타내는 그림이다. 정전용량이 표면적에 반비례하고, 전극사이의 거리에 비례한 특성을 가지기 때문에 외력에 의해 변형된 양 전극사이의 거리와 전극의 단면적이 변화하게 되면, 정전용량이 변화하게 된다.

### 2.2 시험장비의 구성 및 시험 방법

에너지 수확에 사용될 수 있는 EAP에는 HS3 Silicone, Polyurethanes, Silicone NuSil CF 19-2186, Acrylic Elastomers 등이 있으나, 본 연구에서는 큰 변형이 가능하면서도 동작 압력 및 밀도가 높은 Acrylic Elastomers를 에너지 수확용 재료로 선정하였다. 본 연구에서 사용한 Acrylic Elastomers는 시중에서 판매되고 있는 VHB4905 film(3M)로 선정하였다. 전극은 유연한 Acrylic Elastomers의 특성상 충분한 변형이 일어나는 형태로 선정하여야 하며, 시중에서 판매되고 있는 전도성 카본 그리스(MG chemical)를 사용하였다.

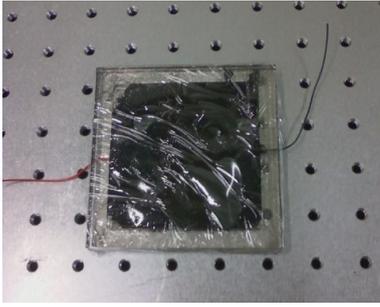


Fig. 2 A fabricated energy harvester using EAP

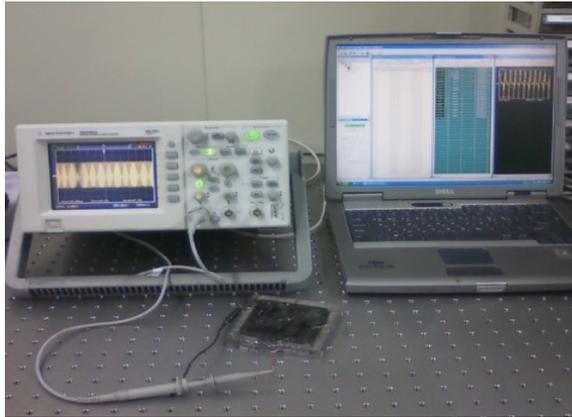


Fig. 3 Experimental equipment

본 연구에서는 전극으로 사용되는 카본 그리스에 알루미늄 파우더를 불순물로 첨가하여 전극의 전기 전도도를 변경하여 에너지 수확량을 증가시키는 것을 목적으로 한다. 따라서, 불순물로 사용될 알루미늄 파우더를 전극의 질량비에 따라 0%wt, 5%wt, 10%wt 단위로 혼합하여 전극으로 사용하였다.

진동에너지를 발생하기 위하여 75.5g의 질량체를 40mm 높이에서 떨어뜨려 그때 발생하는 전압과 전류를 측정하여 에너지 수확량을 계산하였다. 진동에너지로부터 얻는 총에너지량은 실험을 통해 얻은 전압 신호와 전류 신호를 6초간 수치적분한 값을 곱해 얻는 방식으로 구하였다.

Fig. 2는 EAP를 이용한 에너지 수확장치의 사진이다. 에너지 수확장치는 Acrylic Elastomers를 가운데에 위치시키고, Acrylic Elastomers의 양면에 카본 그리스를 일정 높이(5mm)로 바른 후, 카본 그리스를 고정하기 위해 다시 Acrylic Elastomers를 바른 형태이다. 이 때, 카본 그리스에 전선을 연결하여 에너지 수확장치의 출력을 측정할 수 있게 하였다. 이러한 Acrylic Elastomers와 카본 그리스의 고정은 투명 아크릴 판(100mm×100mm×5mm)을 이용하였다.

Fig. 3은 진동에너지를 수확하기 위한 실험장치의 사진이다. Fig. 2와 같은 에너지 수확장치의 출력을

측정하기 위한 오실로스코프(DSO3202A, agilent)와 측정된 자료를 저장하기 위한 노트북으로 구성되어 있다.

### 3. 시험 결과 및 고찰

Fig. 4에서 Fig. 6은 상온에서 전극에 알루미늄을 각각 0%, 5%, 10% 질량비로 섞은 상태에서 75.5g의 질량체를 40mm 높이에서 떨어뜨렸을 때의 에너지 수확기의 출력을 나타낸 그래프이다.

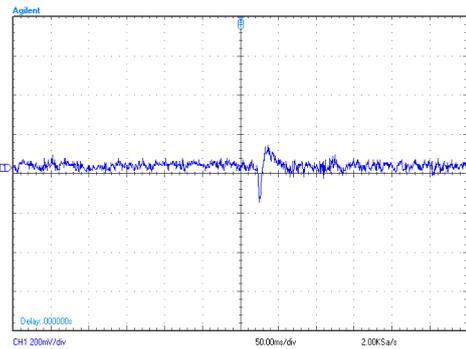


Fig. 4 Output voltage from energy harvester without impurity

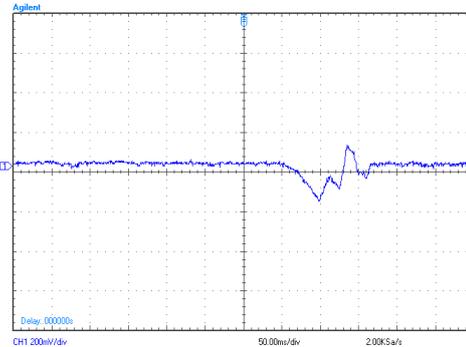


Fig. 5 Output voltage from energy harvester with 5% aluminum impurity

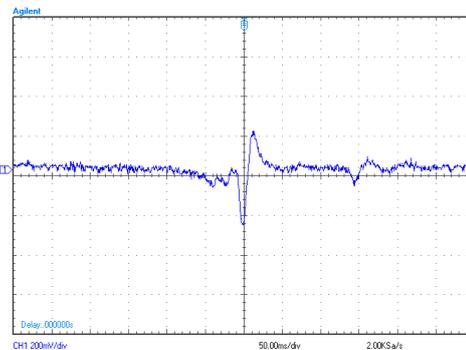


Fig. 6 Output voltage from energy harvester with 10% aluminum impurity

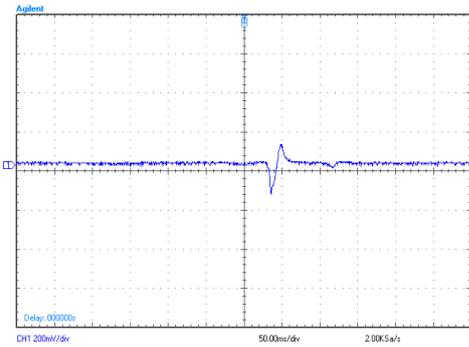


Fig. 7 Output current from energy harvester without impurity

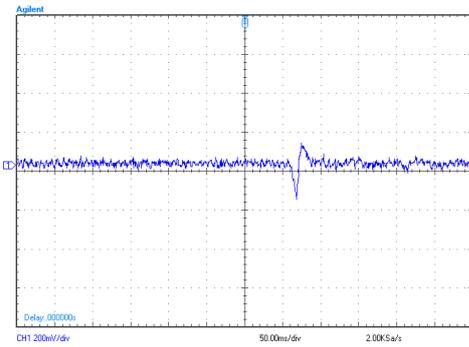


Fig. 8 Output current from energy harvester with 5% aluminum impurity

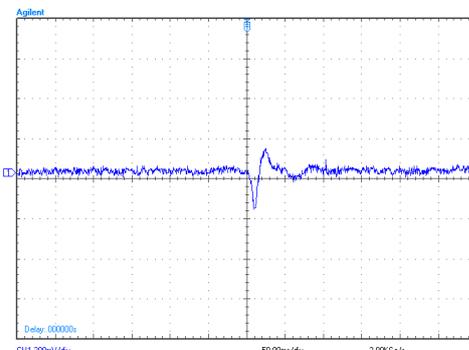


Fig. 9 Output current from energy harvester with 10% aluminum impurity

Fig. 7에서 Fig. 9는 Fig. 4에서 Fig. 6과 동일한 조건에서 진동에너지로부터 수확되는 에너지의 전류를 측정하기 위해 에너지 수확기의 양단에 10MΩ의 저항을 달아 저항에 걸리는 전압을 측정한 그래프이다. 이 때, x축의 스케일은 50.00ms/div이며, y축의 스케일은 200mV/div이다.

Fig. 4에서 Fig. 9까지의 실험결과를 수치적분하고, 이를 곱할 경우, 질량체의 진동에너지로부터 출력된

에너지 수확량을 상대적으로 비교할 수 있다. 각 실험에서의 에너지 수확량을 상대적으로 비교하기 위해 오실로스코프로부터 샘플링된 1200개의 데이터에 대해 수치적분을 실시하였다. 이 때, 오실로스코프의 샘플링 시간은 0.005s이며, 식(6)의 관계를 이용하여 수치적분하였다.

$$S_{sum} = \sum_{i=1}^{1199} \left( \frac{s(i+1) + s(i)}{2} \Delta t \right) \quad (6)$$

여기서,  $S_{sum}$  는 6초동안 에너지 수확기에서 나온 전압 혹은 전류 신호의 수치적분 값이며,  $s(i)$  ( $i = 1, 2, \dots, 1200$ )는 전압 혹은 전류 신호 행렬의 각 데이터를 의미한다.

Table 1은 상온에서 75.5g의 질량체를 40mm 높이에서 떨어뜨렸을 때, 알루미늄 불순물 농도에 따른 전압과 전류의 최대치 및 각 신호의 적분치를 곱하여 얻은 에너지 수확 총량을 나타낸 표이다. 전극에 알루미늄 불순물을 첨가함으로써 에너지 수확이 증가함을 알 수 있다.

Table 1 Experiment results by vibrational energy

	Maxium Voltage[V]	Maxium current[mA]	Power [W·s]
0%wt	0.147	0.343	0.0024
5%wt	0.140	0.097	0.0065
10%wt	0.230	0.153	0.0078

#### 4. 결 론

본 연구에서는 EAP를 이용한 에너지 수확장치의 효율 향상을 위해 전극으로 사용되는 카본 그리스에 알루미늄 불순물을 첨가하여 그 영향을 확인하였다. 그 결과, 알루미늄 불순물의 농도가 높을 수록 수확되는 에너지량이 증가하였으며, 이는 알루미늄이 포함된 카본 그리스 전극이 기존의 카본 그리스 전극의 전기전도도보다 높기 때문이다. 향후, 전기전도도 특성 향상이 포화되는 지점에서의 알루미늄 불순물의 농도를 확인해보는 것도 좋은 연구가 될 것이라 판단된다.

#### 참고 문헌

1. 한송희, 조병기, 2008, “나노기술과 해양용 센서 개발에 관한 연구”, 해양환경안전학회, Vol. 14,

- No. 1, pp. 39-43.
2. 최홍용, 박수현, 2006, “그룹베이스드 서브싱크 해양 센서 네트워크 라우팅”, 한국시물레이션학회 2006 춘계학술대회논문집, pp. 149-156.
  3. 유영호, 강용수, 이원부, 2009, “해양환경 모니터링을 위한 표류부이 개발”, 한국마린엔지니어링학회지, Vol. 33, No. 5, pp. 705-712.
  4. 박성준, 박수현, 김상경, 김창화, 2010, “수중통신과 해양센서 네트워크 기술”, 정보과학학회지, Vol. 28, No. 7, pp. 79-88.
  5. 김도원 외 7명, 2009, “진동에너지 획득 기술을 이용한 자기유지 센서노드 시스템 성능 향상 기법 연구”, 대한전기학회 2009년 전기물성 응용부문회 추계학술대회 논문집, pp. 97-98.
  6. 박경진 외 4명, 2010, “MEMS/MOSFET 하이브리드 스위치를 이용한 자기전원 무선센서”, 대한전기학회 2009년 하계학술대회 논문집, pp. 1179-1180.
  7. 강성목, 박경진, 김호성, 박준석, 2009, “태양전지를 전원으로 사용하는 무선센서 노드를 위한 전원관리회로”, 대한전기학회 2009년 하계학술대회 논문집, pp. 1925-1926.
  8. 장형관, 김대중, 박정열, 2010, “유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 압전효과 기반의 무구속 휴대용 풍력 전원 장치”, 대한기계학회논문집 B권, Vol. 34, No. 6, pp. 623-628.
  9. Perlin, R. et al., 2000, “High-Speed Electrically Actuated Elastomers With Strain Greater than 100%”, Journal of Science, no. 287, pp. 836-839.
  10. Kofod, G., 2001, “Dielectric elastomer actuators”, the Technical University of Denmark, Lyngby, pp. 2-20.