

# CAD Tool 을 이용한 유전체 폴리머 제너레이터 해석 Dielectric Polymer Generator Analysis using CAD Tool

\*강경수<sup>1</sup>, 권지훈<sup>1</sup>, 최진두<sup>1</sup>, 김진환<sup>1</sup>, 조경호<sup>2</sup>, 김경수<sup>1</sup>, #김수현<sup>1</sup>

\*G. S. Kang<sup>1</sup>, J. H. Kwon<sup>1</sup>, J. D. Choi<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, K. H. Cho<sup>2</sup>, K. S. Kim<sup>1</sup>, #S. H. Kim(soohyun@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계공학과, <sup>2</sup> 국방과학연구소 제 4 기술연구본부

Key words : Dielectric Polymer Generator

## 1. 서론

에너지 수확 기술에는 크게 대용량과 폐에너지를 주로 수집하는 저용량으로 나눌 수 있다. 저용량 에너지 수확 기술에서는 특히 Micro Power Generation(MPG) 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 기존에 많이 쓰이고 있는 기술은 피에조를 이용한 에너지 수확방식인데, 이는 피에조효과를 이용한 즉, 딱딱한 피에조 물질에 bending 의 기계적 진동운동을 가해 전기에너지를 얻는 방법이다. 또한 전자기방법도 많이 쓰이고 있는데, 이는 보통 중력에너지에 이용한 것으로 슬라이더부의 질량으로 인해 부피가 커지고, 부피가 커져야만 에너지를 얻기 쉬운 단점이 있다. 마지막으로 최근 연구가 이제 시작한 Electrically Activated Polymer (EAP) 방법은 유연한 탄성 성질을 지닌 폴리머를 이용하는 방법인데, 바이어스 전압에 대해 기계적 에너지를 추가시켜 더 큰 전기에너지를 얻는 방법이라 할 수 있다. 무소음이고 가벼운 장점이 있어 향후 국방분야 등에도 응용 적합한 분야로 보인다.(1) EAP 는 저밀도로 저단가(Cheap), 저소음(Quiet), 경량성(Light), 고변형가능으로 인한 다점목적성(Versatile), 부드러운 연성(Soft)의 특징으로 대표지어질 수 있다. 이에 반해 단점으로는 낮은 출력밀도와 강성, 내구성과 반복성의 취약이라고 할 수 있다. 본연구에서 쓰이며 앞으로 계속 언급하게 될 EAP 발전기 기술은 이와 같은 사항들에 부합되며 인간이나 동물의 일상적인 움직임과 덧붙혀 자연속의 바람, 파도등의 힘을 이용하여 오염 물질을 배출하지 않는 청정에너지이며, 무한 에너지이며 반영구적인 재료라는 점에서 개발 가치가 매우 높다고 하겠다.

## 2. EAP Generator 구성 방법

변형율이 전기장의 제공에 비례하는 Electrostriction 성질을 보이는 EAP 는 변형율이 단순히 전기장에 비례하는 압전소자(PZT)보다 액츄에이터로 쓰기 유리하다. 이로 인해 매우 큰 변형율을 갖게 되고, 부드러운 EAP 소재 성질로 인해 큰 힘을 출력하는 곳보다 큰 변형율이 기대되는 곳에 쓰기가 좋다. EAP 는 사용하는 재료에 따라 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 건조형으로 고전압인가와 직선형의 큰 변위 특징을 보이는 방법이다. 둘째는 습식형으로 저전압인가의 장점이 있고 주로 bending 형의 변위를 이용하는 방식이며 패키징이 필요한 단점이 있다.(2) EAP 를 연구하게 된 계기는 인공근육을 모사하기 위해 미국 NASA 의 제트추진 연구실의 Bar-Cohen 박사가 인간과 팔씨름을 할 수 있는 액츄에이터를 개발한 것이라고 할 수 있다. 이는 건조형의 EAP 다발을 묶어서 만든 것이다.(3)

건조형 EAP 의 경우 유전형 엘라스토머(Dielectric Elastomer, DE) 라고도 하는데 기본적으로 가운데 엘라스토머에 양 바깥쪽에 변형이 쉬운 전극이 도포되어 있는 구조를 지닌다. 전극에 전압을 가하면 엘라스토머에 전기장이 가해지게 되고, 맥스웰 응력에 의해 두께는 줄어들게 된다.

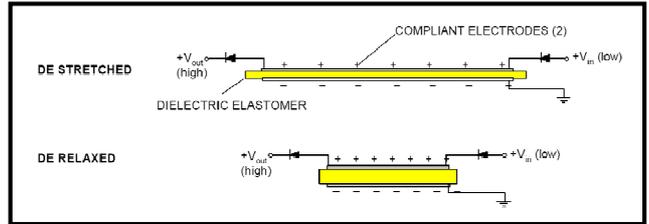


Fig. 1 Operating principle of EAP Generator

이때 엘라스토머는 주로 부피가 변하지 않는 비압축성 물질이므로(포와송비가 거의 0.5 에 해당) 면적은 늘어나게 된다. 이 현상을 이용하는게 EAP 를 액츄에이터로 사용하는 것이다.(4)

반대로 EAP 를 Generator 로 사용하기 위해서는 Fig. 1 처럼 엘라스토머에 인가전압에 먼저 가한후 힘을 가했다 빼서 인위적으로 EAP 의 두께는 줄어들면서 면적은 더 크게 하여 전기에너지를 크게함을 이용한다. 엘라스토머에 힘을 먼저 가한후 인가전압을 가한 다음 힘을 제거하는 순서를 사용하여도 마찬가지로 전기에너지를 얻는다.(5, 6)

## 3. 시뮬레이션 결과

EAP 에 힘을 가했다 줄어들게 하면서 나타나는 전기에너지 정도를 알아보기 위해 Silvaco 회사의 Smartspice 프로그램 을 이용하였다. 이때 EAP 의 저항 성분을 무시하면 단순히 변하는 캐패시터 소자로 간주할 수 있다. 이를 모사하기 위해서 PSpice 로는 힘들어서 Smartspice 를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

전기에너지가 늘어나는 정도를 확인하기 위한 회로로는 다음 Fig. 2 와 같은 회로를 이용하였다. 이 회로는 안전상 전류를 제한하는 저항(1 MΩ), 새로운 전원역할을 하는 캐패시터(C<sub>source</sub>), 변하는 정전용량값을 지니는 EAP, 전기에너지가 쌓이는 정도를 확인하는 배터리 역할을 하는 C<sub>battery</sub> 와 전기에너지의 방향성을 결정하는 다이오드 두 개로 이루어져 있다.

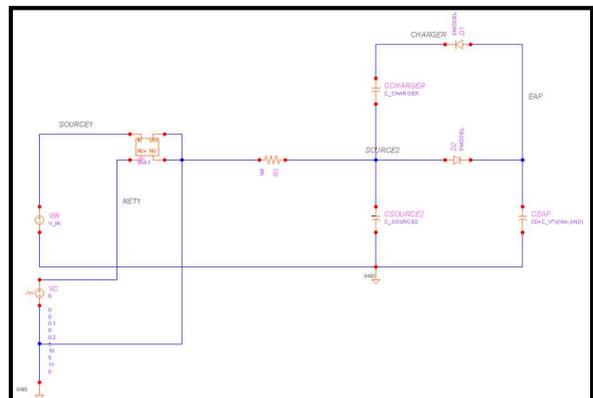


Fig. 2 Proposed energy harvesting circuit

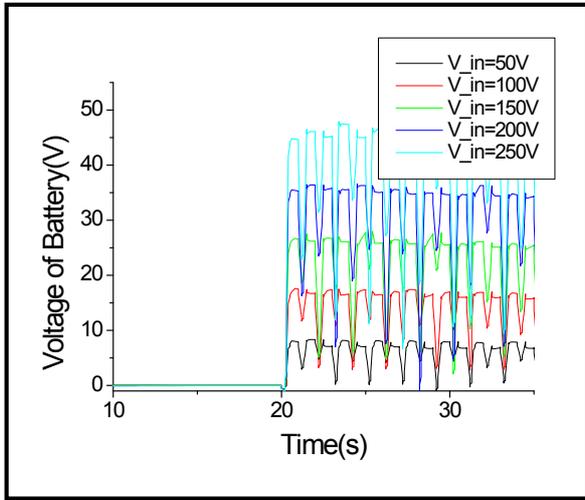


Fig. 3 Effect of various input voltage

시뮬레이션은 크게 세가지로 나누어 수행했다. 인가전압( $V_{in}$ )에 따른 특성, 사용한 EAP의 정전용량과 그 변화량에 따른 특성, 마지막으로 인가주파수에 따른 특징이 그것이다. 회로상에서 배터리 캐패시터의 전압 최대값은 EAP의 전압 최대값과 같고, 새로운 전원 역할을 하는 캐패시터에서 전압 변동이 적으므로 배터리 캐패시터의 전압에 따른 전기에너지가 전체적인 전기에너지 특성을 보여준다고 할 수 있다. 첫째로 인가전압에 따른 배터리 캐패시터에서의 전압상승은 다음과 같다. 조건은 1Hz의 인가주파수에 대해,  $C_s=20nF$ ,  $C_e=0.1nF$ , 초기 EAP의 정전용량=2 nF, EAP를 누르는 팁의 깊이변화=25 mm 일 때이다. 그래프에서 보는 것과 같이 어찌면 생각할 수 있는 것처럼 인가전압이 클수록 배터리부 전압이 커짐을 확인할 수 있었다.(Fig. 3)

둘째로 EAP의 정전용량 변화에 대한 전기에너지 특성을 살펴보겠다. 조건은 초기인가전압=200V, 5Hz의 인가주파수에 대해,  $C_s=20nF$ , 초기 EAP의 정전용량=10 nF 일 때이다. EAP의 정전용량 변화는 1 nF부터 1 nF씩 증가하여 최종적으로 5 nF까지 변화시켰다. 즉, 본래 정전용량값에 비해 10%부터 50%까지 증가시켰을 경우에 대해 Fig. 4에 보는 것처럼 배터리부의 전압에 대해서 살펴보면 전압이 매우 커짐을 확인할 수 있다.

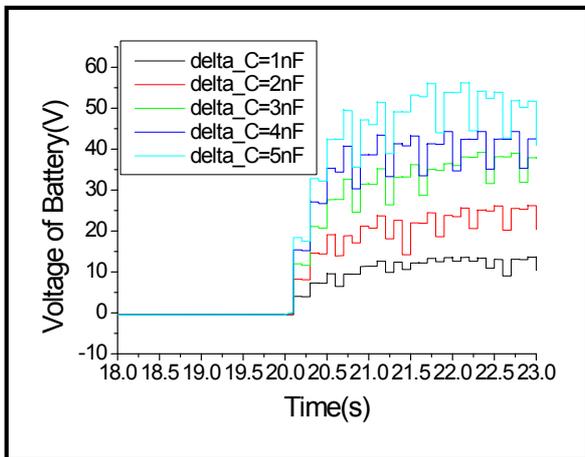


Fig. 4 Effect of various ratio of EAP's capacitor change

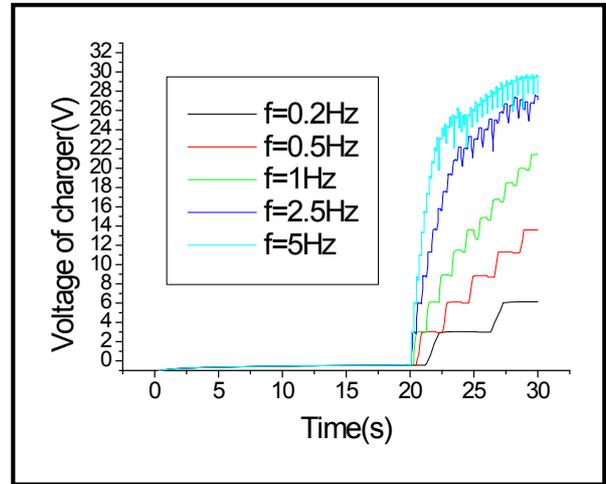


Fig. 5 Effect of various frequency

마지막으로 EAP를 누르는 인가주파수의 변화에 대한 결과를 살펴보겠다.(Fig. 5) 인가주파수를 크게할 때 매우 작은 범위가 아닌 이상 어느정도 커지면 배터리부 전압이 올라가는 것은 한계가 있음을 확인할 수 있다. 물론 어느정도 커질때까지는 주파수가 증가할수록 배터리부 전압이 커진다.

#### 4. 결론

여기에 결론을 입력하시오. 본 연구에서는 에너지 하베스팅 기술중 하나인 EAP Generator 기술에 대해 설명하였다. 또한 여러 인자에 대해 시뮬레이션을 통해 전기에너지획득에 대한 경향을 나타내었다. 그 결과 EAP의 정전용량의 변화량이 크고, 인가 전압이 클수록 인가주파수가 큰 것보다 중요한 요인임을 밝혔다. 큰 전압을 가하는 것은 최근 EMCO 회사등에서 성냥갑크기의 소형 고전압출력기가 많이 나와 있으므로 이로 해결 가능하다. 향후 이를 바탕으로 정성적인 방정식을 통해 기계-전기에너지간 효율 변환을 최대로 끌어올리는 방법에 대한 모색이 필요하다.

#### 후기

본 연구는 ADD 국제공동연구 프로젝트의 도움을 받아 수행된것으로 이에 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

1. Pelrine R, Kornbluh R, Pei QB, Joseph J. High-speed electrically actuated elastomers with strain greater than 100%. Science. 2000 Feb 4;287(5454):836-9.
2. Carpi DR, Kornbluh, Pelrine, Sommer-Larsen. Dielectric Elastomers as Electromechanical Transducers. first ed: Elsevier; 2008.
3. Bar-Cohen. Electroactive Polymer(EAP) Actuators as Artificial Muscles. second ed: SPIE Press; 2004.
4. Kofod G. Dielectric Elastomer Actuators: The Technical University of Denmark; 2001.
5. Ron Peirine RK, Joe Eckerle, Phil Jeuck, Seajin Oh, Qibing Pei. Dielectric Elastomers: Generator Mode Fundamentals and Applications. In: Bar-Cohen Y, editor. Proceedings of SPIE; 2001; 2001. p. 148-56.
6. Roy Kornbluh RP, Qibing Pei, Richard Heydt, Scott Stanford, Seajin Oh, Joe Eckerle. Electroelastomers: Applications of Dielectric Elastomer Transducers for Actuation, Generation and Smart Structures. In: McGowan A-MR, editor. Smart Structures and Materials; 2002: Proceedings of SPIE; 2002. p. p.254-70.