

# 유전체 탄성중합체 발전기 효율을 높이기 위한 분석

## Analysis for improvement of Dielectric Elastomer Generator's Efficiency

\*강경수<sup>1</sup>, Setiawan Soekamtoputra<sup>2</sup>, Wei Wang<sup>2</sup>, 최규원<sup>2</sup>, 김경수<sup>1</sup>, #김수현<sup>1</sup>

\*Gyungsoo Kang<sup>1</sup>, Setiawan Soekamtoputra<sup>2</sup>, Wei Wang<sup>2</sup>, Ken Choi<sup>2</sup>,

Kyung-Soo Kim<sup>1</sup>, #Soohyun Kim<sup>1#</sup> (soohyun@kaist.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원 기계공학과, <sup>2</sup>IIT electrical and computer engineering

Key words : Dielectric Elastomer Generator (DEG), Electrically Activated Polymer (EAP)

### 1. 서론

개인들이 대부분 사용하고 있는 정보통신 기술 제품에는 이를 구동시키기 위한 전원부가 필요하다. 전원부는 가정의 콘센트에 직접 연결될 수도 있고, 배터리를 통해 공급되기도 하며 배터리는 다시 일회용과 재생 가능한 배터리로 나뉘어진다. 발전기가 필요한 가장 극적인 예는 유사시에 전력공급의 유무에 따라, 생명의 위험까지 영향을 미치는 전투상황에서라고 할 수 있다. 각 시대에 따른 전투의 양상을 보면 과거 칼, 창 등의 재래식 무기를 가진 전투로부터 시작하여 현재 시행되는 군사작전 및 과학기술 무기 중심의 전투를 거쳐, 미래에는 각종 최첨단 기술이 접목된 전투가 될 것으로 예상되고 있다. 실제로 2000년대 이후 미국을 비롯한 소위 국방과학기술 선진국들은 병사 개개인마다 첨단 장비와 무기들을 소지하여 중앙관제소로부터 즉각적으로 정보를 주고받으며, 그들을 전략적이고 효율적으로 활용할 수 있도록 하는 이른바 “첨단 병사” 개념의 연구를 수행하고 있다.

노트북, PDA 등의 휴대용 무선 전자기거나 각종 센서의 동력원으로 Ni-MH 또는 리튬-이온 등 2차 전지가 주로 사용되어 왔다. 그러나 현재 상용 2차 전지는 연속 사용시간이 짧고, 충전하는데 오랜 시간이 걸리는 단점이 있으며, 에너지 밀도 또한 이론한계치(~200Wh/kg)에 근접하여 있는 상태이다. 따라서 휴대용 전자기기의

고성능화가 기존 2차 전지로는 더 이상 진전될 수 없는 상황까지 도달하였으며, 또한 전동외수, 애완용 로봇(Aibo), 인형 로봇(Humanoid robot: Asimo, Hubo 등) 등과 같이 최근 장시간 사용 가능한 휴대용 동력원을 필요로 하는 제품들이 상용화 단계로 진입함에 따라 기존 화학전지를 대체할 새로운 형태의 마이크로 동력발생장치(MPG: Micro or Mobile Power Generator)에 대한 수요가 급증하고 있다. 이 모든 것을 비추어 볼 때 다양한 에너지 발생원으로부터 미래 전투병사에게 적합한 발전기의 발명은 우리에게 중요한 과제이다.

### 2. Efficiency of DEG

사람의 움직임을 이용한 DEG의 기계적 힘 방향과 전기장 방향에 따라 크게 두 가지의 형태로 DEG 구조의 분류가 가능하다. 이 중에서 한가지인 Voigt 조건은 보통 관절에 적용하는 경우로 전기장과 힘의 방향이 수직인 형태이고, Maxwell 조건은 보통 구두 굽 등에 적용하는 경우로 전기장과 힘의 방향이 평행인 경우이다.[1]

Maxwell 조건의 경우는 DEG를 처음 연구할 때 분석했던 케이스로 기계-전기에너지 변환과정이 그리 어렵지 않게 유도된다. 최근 DEG에서 많이 쓰이는 둥근 림(rim) 주위에 엘라스토머와 샌드위치 형태로 엘라스토머 위·아래로 전극이 발려있는 경우는 전기장의 방향과 힘의 방향이 수직인 Voigt 조건으로

이제 이에 대한 기계에너지와 전기에너지 변환과정에 대한 효율을 유도하고자 한다. 동근 립에 구속되어 있는 DEG 중앙에 동근 립 반경보다 충분히 작은 분산 힘이 작용할 때 DEG의 모양은 Fig. 1 (b)와 같이 변화된다.[2]

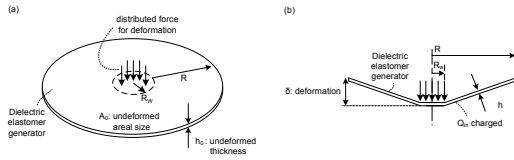


Fig. 1 Mechanical shape of the DE generator used in the efficiency analysis. (a) Before deformation of the DE generator and (b) a side view of a DE generator deformed by a distributed force.

특히 사람의 움직임에 DEG를 적용 시 유효 강성도와 두께가 작으면 작을수록 좋은데 이는 효율도 역시 증가시킨다. 사람의 팔꿈치와 무릎에서 발생하는 변형율이 보통 수십%에 이르는데 위 효율 식에서 보는 것처럼 상대적 변형비( $\delta R$ )가 크면 클수록 효율이 커짐을 확인할 수 있다. Fig. 2 (a)에서 보는 것처럼 가해주는 기계에너지와 발생하는 전기에너지는 변형량이 증가함에 따라 커짐을 확인할 수 있다. 가해진 기계에너지에 대한 전기에너지 변형량의 비로 정의되는 효율은 Fig. 2 (b)에 그려져 있다. 변형량이 증가할수록 효율이 증가함을 확인할 수 있다.

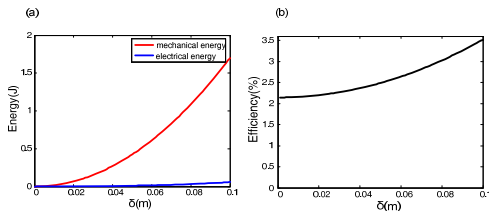


Fig. 2 Simulation results. (a) Mechanical energy and electrical energy vs. deformation at  $V_{in}=1kV$  with an un-deformed DE capacitance of 118nF. (b) Efficiency vs. deformation.

### 3. DEG 성능 개선

현재까지 개발된 DEG는 수백 V의 비교적 고전압을 가해야 한다는 단점이 있어서 이를 실생활에 쓰기에는 불편한 점이 있다. 이런 문제를 해결해야만 DEG를 실생활에 적용할 수가 있다. DEG의 효율 개선을 위해 DEG를 이루는 탄성중합체의 두께와 강성도가 작아지는 게 유리하다는 것을 바탕으로[2] 탄성중합체의 재료를 변경하였다. 초기 두께 500  $\mu m$ 를 가지는 3M VHB™ 4905에서 130  $\mu m$ 의 두께를 가지는 3M VHB™ 9469 모델을 바꾸어 실험을 하였다. 그 결과 201N/m의 강성도를 가지는 4905 필름의 경우보다 9469 필름은 32N/m의 강성도를 가짐으로써 강성도가 매우 작아짐을 확인할 수 있었다. 이와 같이 작아진 두께와 강성도를 바탕으로 1/5 이하의 전압에 대해서 비슷한 기계-전기 변환간 효율을 얻을 수 있었다. 즉, 4905 필름의 경우 2.4 kV의 인가전압에 대해 효율이 약 9% 정도 나왔으나, 9469 필름의 경우 400V의 인가전압에 대해 효율이 약 8% 정도 나왔다.

### 4. 결론

본 연구에서는 DEG의 효율을 유도하였고, 이에 대한 분석을 바탕으로 효율을 개선하기 위한 방안을 제시하였다. 그 방법으로 두께가 얇은 탄성중합체를 이용함으로써 강성도도 낮아지는 효과가 더해져 낮은 인가전압에 대해서도 비슷한 효율이 발생함을 확인하였다.

### 후기

본 연구는 ADD 국제공동연구 프로젝트의 도움을 받아 수행된 것으로 이에 감사를 표합니다.

### 참고문헌

1. Jean-Mistral, C. and S. Basrour. *Scavenging energy from human motion with tubular dielectric polymer*. 2010.
2. Kang, G., K.-S. Kim, and S. Kim, *Analysis of the efficiency of a dielectric elastomer generator for energy harvesting*. REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, 2011. **82**: p. 046101.