

## 마찰전기 에너지 수확소자의 출력에 대한 PDMS 두께의 영향

김기홍, 윤광석  
서강대학교 전자공학과

### The effect of PDMS thickness on the output power of triboelectric energy harvester

Ki-Hong Kim, Kwang-Seok Yun  
Department of Electronic Engineering, Sogang University

**Abstract** - 본 연구에서는 유전 물질인 Polydimethylsiloxane (PDMS)의 두께에 따른 마찰전기 에너지 수확소자의 출력 전압을 실험적으로 확인하였다. 동작 범위 5 mm, 주파수 5 Hz를 기준으로 접촉-분리 방식으로 소자를 측정하였으며 PDMS 두께가 440  $\mu\text{m}$ 일 때 peak-to-peak 전압이 131.5 V가 측정되었다. 이는 측정 두께 중 가장 얇은 두께인 115  $\mu\text{m}$ 의 출력 값인 8.47 V와 비교하여 약 15배 증가한 수치이다.

#### 1. 서 론

최근 환경오염과 에너지 고갈 문제를 대체하는 기술로 에너지 수확 소자의 연구가 활발하게 진행되고 있는 가운데 극성이 다른 두 물질을 마찰시켜 전기를 생성하는 마찰전기 에너지 수확소자에 대한 연구가 진행되고 있다 [1]. 마찰전기 에너지 수확소자는 다른 에너지 수확소자와 비교하여 쉽고, 적은 비용으로 공정이 가능하다. 또한, 크기가 작고 가벼우며 출력이 높은 장점을 가지고 있다 [2]. 이러한 마찰전기 에너지 수확소자에서 출력을 증가시키기 위해 많은 연구가 진행되었고 극성이 다른 두 물질 표면에 나노 크기의 structure를 통해 출력을 증가시켰다. 이는 극성이 다른 두 물질의 접촉 면적이 증가함으로써 더 많은 양의 전하가 대전되기 때문이다 [3].

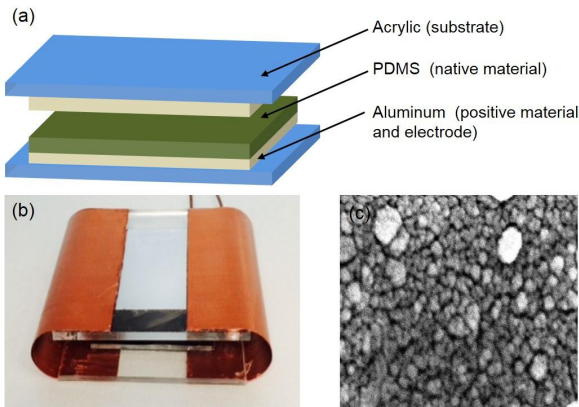
하지만 본 연구에서는 출력을 증가시키는데 있어 접촉 면적을 증가시키는 방법 이외에 다른 방법을 모색하였다. 유전 물질인 PDMS의 두께를 변화시켜가며 출력 전압을 측정하였고 이를 실험을 통해 확인하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 소자 설계 및 제작

###### 2.1.1 소자 설계

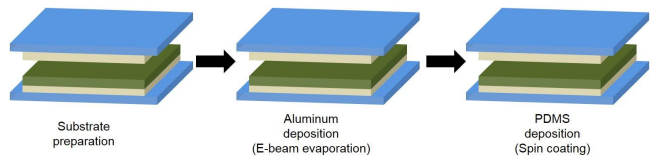
그림 1(a), (b)는 PDMS 두께에 따른 출력 변화를 알아보기 위해 제작한 마찰전기 에너지 수확소자의 모식도와 실제 소자 사진이다. 소자는 두 개의 아크릴 기판 위에 대전 물질로 각각 알루미늄과 PDMS를 사용하여 제작하였다. 알루미늄은 (+) 전하를 얻는 물질과 전극으로 사용하였고, PDMS는 (-)전하를 얻는 물질로 사용하였다. 소자의 크기는 아크릴 기판은 60 mm  $\times$  60 mm, 알루미늄과 PDMS는 50 mm  $\times$  50 mm로 제작하였다.



〈그림 1〉 마찰전기 수확 소자의 모식도 및 실제 소자 사진

###### 2.1.2 소자 제작

그림 2는 마찰전기 에너지 수확 소자의 제작 과정을 보여준다. 우선 두 개의 아크릴 기판 위에 E-beam evaporation으로 알루미늄을 100 nm로 증착하였다. 그리고 한쪽 기판 위에 알루미늄 nanoparticle을 thermal evaporation으로 증착하였으며,  $10^{-7}$  Torr, room temperature 조건에서 진행하였다 [4]. 그 다음으로 base elastomer와 cross-linker의 비율을 10:1로 섞은 PDMS를 vacuum desiccator에 넣어 15분 동안 기포를 제거하였다. 다른 기판 위에 제작한 PDMS를 다양한 spin coating rate로 spin coating 하였다. 각각의 spin coating rate에 대한 PDMS 두께는 <표 1>에 제시되어있다. Spin coating된 PDMS는 oven을 이용하여 80°C에 4시간동안 curing하였고 두 기판의 공간을 두기 위해 OHP film을 spacer로 사용하여 소자를 제작하였다.

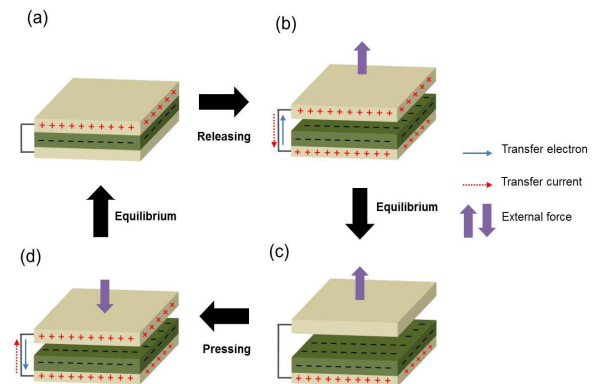


〈그림 2〉 마찰전기 수확 소자의 제작 과정

〈표 1〉 PDMS spin coating rate와 두께

Spin coating (rpm / sec)	thickness ( $\mu\text{m}$ )
1000 / 30	115
500 / 60	160
500 / 30	210
200 / 60	300
200 / 30	380
150 / 60	440
150 / 30	475
100 / 60	490
100 / 30	505

##### 2.2 동작 원리



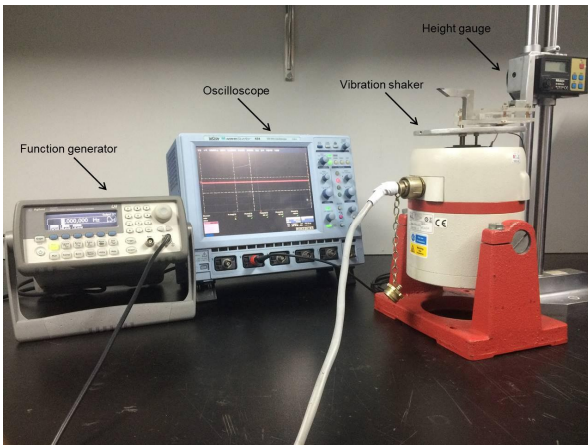
〈그림 3〉 마찰전기 에너지 수확 소자 동작 원리

그림 3(a)~(d)는 마찰전기 에너지 수확소자의 동작 원리를 보여준다. 대전 현상과 정전기 유도 현상에 의해 기계적인 에너지에서 전기적인 에너지로 변환된다. 초기 gap이 있는 상태에서 두 물질을 접촉시키면 대전 현상에 의해 알루미늄에는 (+) 전하가, PDMS에는 (-) 전하가 대전이 된다. 그리고 접촉되어 있던 두 물질이 분리가 되면 중성을 가지려는 물질의 특성에 따라 PDMS 아래에 있는 진극에서 위쪽 알루미늄 진극으로 전자가 이동을 하게 된다. 이 때, 전류는 전자의 이동 방향과 반대 방향으로 흐르게 되고, 다시 두 물질이 접촉하게 되면 전자와 전류의 방향은 반대 방향으로 이동하게 된다.

### 2.3 실험 구성 및 결과

#### 2.3.1 실험 구성

그림 4은 마찰전기 에너지 수확 소자를 측정하기 위한 실험의 구성을 보여준다. 마찰전기 에너지 수확 소자를 vibration shaker 위에 고정하고 function generator와 height gauge를 이용하여 정확한 주파수 ( $f = 5 \text{ Hz}$ )와 운동 거리 ( $z = 5 \text{ mm}$ )를 제어하였다. 소자를 반복적으로 접촉-분리하면서 출력 전압을 오실로스코프로 확인하였다.

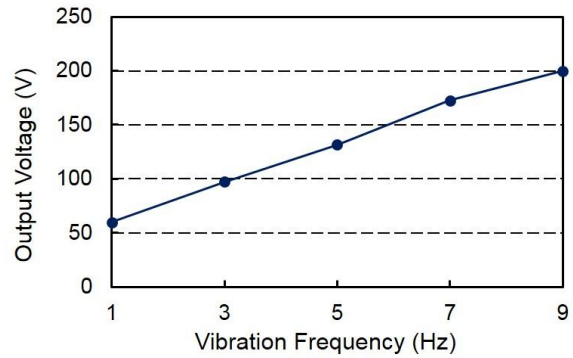
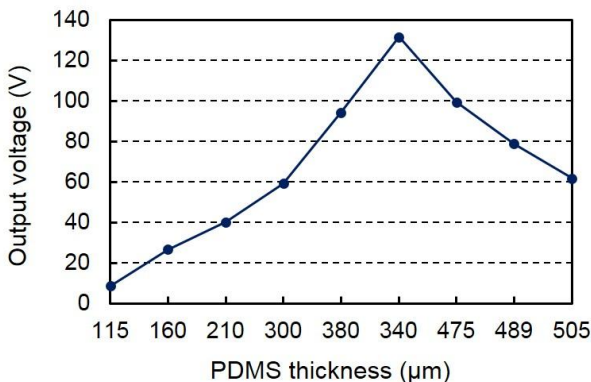


〈그림 4〉 마찰전기 에너지 수확소자를 측정하기 위한 실험 구성

#### 2.3.2 실험 결과

그림 5(a)는 동작 주파수 5 Hz, 운동 거리 5 mm로 고정한 상태에서 PDMS 두께에 따른 peak-to-peak 출력 전압을 보여준다. PDMS 두께가 115  $\mu\text{m}$ 인 소자를 측정했을 때, peak-to-peak 전압은 8.47 V가 측정되었다. PDMS의 두께가 두꺼워질수록 출력 전압은 증가하며, PDMS 두께가 440  $\mu\text{m}$ 일 때 peak-to-peak 전압은 131.5 V가 측정되었다. 이는 초기 값과 비교하여 약 15배 증가한 값이다. PDMS 두께가 440  $\mu\text{m}$  이상이 되면 출력은 감소하게 된다.

그림 5(b)는 PDMS 두께가 440  $\mu\text{m}$ 일 때 저주파수 대역 (1, 3, 5, 7, 9 Hz)별로 출력 전압을 측정된 그래프다. 이 때 동작 거리는 5 mm로 고정시켰다. 1 Hz에서는 59.8 V가 측정되었고 9 Hz에서는 199.98 V가 측정되었다. 즉, 동작 주파수가 증가할수록 출력 전압이 증가한 것을 볼 수 있다.



〈그림 5〉 PDMS 두께별 출력 전압 그래프 / 표면에 따른 주파수별 출력 전압 그래프

### 3. 결론

본 논문에서는 마찰전기 에너지 수확소자의 출력 전압을 높이기 위해 유전 물질인 PDMS 두께를 변화시켜가며 제안하는 소자의 최적의 PDMS 두께를 실험적으로 확인하였다. 동작 범위 (5 mm)와 주파수 (5 Hz)를 고정한 상태에서 PDMS 두께별로 출력 전압을 측정하였다. PDMS 두께가 440  $\mu\text{m}$  일 때 peak-to-peak 전압이 131.5 V가 측정되었다. 이는 측정하기 위해 제작한 PDMS 두께 중 가장 얇은 두께인 115  $\mu\text{m}$ 일 때 출력과 비교하여 약 15배 증가한 수치이다. 또한, 동작 주파수가 증가할수록 출력 전압이 증가한 것을 볼 수 있다.

### [참고 문헌]

- [1] Long Lin, Sihong Wang, Simoao Niu, Chang Liu, Yannan Xie, Zhong Lin Wang, "Noncontact Free-Rotating Disk Triboelectric Nanogenerator as a Sustainable Energy Harvester and Self-Powered Mechanical Sensor", Applied Materials&Interfaces, 6, 3031-3038, 2014
- [2] Jun Chen, Guang Zhu, Weiqing Yang, Qingshen Jing, Peng Bai, Ya yang, Te-Chien Hou, Zhong Lin Wang, "Harmonic-Resonator-Based Triboelectric Nanogenerator as a Sustainable Power Source and a Self-Powered Active Vibration Sensor", Advanced Materials, 25, 6094-6099, 2013
- [3] Wenxi Guo, Xiaoyi Li, Mengxiao Chen, Lu Xu, Lin Dong, Xia Cao, Wei Tang, Jing Zhu, Changjian Lin, Caofeng Pan, Zhong Lin Wang, "Electrochemical Cathodic Protection Powered by Triboelectric Nanogenerator", Advanced Functional Materials, 24, 6691-6699, 2014
- [4] Sanghyo Lee, Wonbae Ko, Yujin Oh, Jongsun Lee, Gwangho Baek, Younhee Lee, Junginn Sohn, Seungnam Cha, Jongmin Kim, Jeagun Park, Jinpyo Hong, "Triboelectric energy harvester based on wearable textile platforms employing various surface morphologies", Nano Energy, 12, 410-418, 2015