

# Cellular Electret 박막의 전기적 기계적 특성 Study for the Electro-Mechanical Characteristics of Cellular Electrets

\*김영식<sup>1</sup>, 김필기<sup>1</sup>, 이주홍<sup>1</sup>, #석종원<sup>1</sup>  
\*Y. S. Kim<sup>1</sup>, P. G. Kim<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>1</sup>, #J. W. Seok(jwseok@cau.ac.kr)<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>중앙대학교 기계공학부

Key words : Cellular Structure, Direct Method, Inverse Method, Piezoelectric Coefficients, Polymer Electrets, Young's Modulus

## 1. 서론

일렉트릿의 압전특성은 물리적 신호를 전기적 신호로 변환하는 척도인 정 압전효과와 그 반대 관계를 갖는 역 압전효과를 들 수 있다[1]. 정 압전효과와 역 압전효과는 각각 센서와 액추에이터로서의 기능성을 평가하는 척도라고 할 수 있다[2]. 압전특성 평가 방법에는 정 압전효과를 측정하는 Dynamic method 와 역 압전효과를 측정하는 Inverse method 가 있다[3]. Dynamic method 는 잘 알려진대로 인가된 압력에 대해 발생하는 전하량을 측정함으로써 쉽게 얻어진다. 또한 Inverse method 는 일렉트릿 박막의 양단에 전압을 인가하여 역 압전효과에 의해 발생하는 변위를 측정하여 얻을 수 있다. 그러나 기존의 Inverse method 는 일렉트릿 박막의 전극의 질량을 고려하지 않고 일렉트릿 고유의 특성만을 측정해 왔다. 따라서 액추에이터로 사용될 경우에 사용 환경에 따라 외부 압력을 무시할 수 없을 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 박막을 구속하는 전극의 질량에 따른 새로운 역 압전계수 관계식을 제안하고 이를 이론식과 실험 결과를 통해 증명하고 기존의 방법과 비교하였다. 이를 위해서 일렉트릿 박막의 탄성률을 실험적으로 측정하고 이를 이론식과 비교하여 최소의 오차를 갖는 조건을 도출하였다 이를 토대로 탄성률을 계산하여 역 압전효과를 측정하였다. 또한 정 압전효과와 비교하였다.

## 2. 이론

역 압전효과의 원리는 다음과 같다. 먼저 전기적 구성요소를 포함하는 구성방정식으로부터 다음을 얻을 수 있다 [4].

$$\epsilon_{33} = d_{33}E_3 + s_{33}^E\sigma_3 \quad (1)$$

식 (1)을 표기상 편리를 위해 간단히

$$S = dE + \frac{1}{Y}\sigma \quad (2)$$

으로 표현할 수 있다. 여기서  $d, E, Y, \sigma, l_0$  는 각각 압전상수, 전기장, 탄성률, 응력, 박막의 두께를 나타낸다.

또한 두께방향의 변형만 존재한다고 가정하면

$$S \approx u/l_0, \quad E \approx V/l_0 \quad (3a,3b)$$

의 관계를 얻을 수 있다.

먼저 기존의 측정 방법과 같이 박막 표면에 응력이 존재 하지 않는 경우 ( $\sigma = 0$ ) 에 대해서 식 (2)는

$$S = dE \quad (4)$$

와 같게 되고 이를 압전계수  $d$  에 대해 정리하면

$$\therefore d = \frac{S}{E} = \frac{u/l_0}{V/l_0} = \frac{u}{V} \quad (5)$$

를 얻을 수 있다.

그러나 본 연구에서는 박막을 질량이 구속하고 있기 때문에 외부 응력을 무시 할 수 없다 ( $\sigma \neq 0$ ). 따라서 압전계

수  $d$  를 얻기 위해 식 (2)로부터 박막의 탄성률을 얻어야 한다. 이를 위해 일렉트릿 박막 양단의 전극을 통전시키면 박막 내부의 전기장의 크기는 0 이 되고 이를 정리하면 다음과 같다.

$$S_{se} = \frac{\sigma_{se}}{Y} \quad (6)$$

여기서 변형률은  $S_{se}(\omega, m, u) = u_{se} / l_0$  와 같으므로 이때의 탄성률은

$$Y = \frac{\sigma_{se} l_0}{u_{se}} \quad (7)$$

과 같다.

이렇게 구한 탄성률을 식 (2) 대입하고 압전계수에 대해 정리하면 다음을 얻을 수 있다.

$$\therefore d = \left( \frac{u}{l_0} - \frac{\sigma}{Y} \right) / E = \left( u - \frac{\sigma l_0}{Y} \right) / V \quad (8)$$

## 3. 실험 및 결과

### 2.1 실험 재료

실험을 위해 Treofan Germany GmbH & Co KG 의 5층으로 두께 40  $\mu\text{m}$ 의 cellular polypropylene 이 사용되었다. 이 박막은 양면에 각각 두 개의 0.5~7  $\mu\text{m}$  두께의 보호 층과 가운데 27 $\mu\text{m}$  의 cellular 층으로 구성되어 있다. 각각의 샘플은 가로 세로 20mm 의 크기로 제작하고 30kV 에서 60 초 동안 코로나 방전을 통해 분극시켰다.

### 2.2 측정 방법

역 압전효과를 고찰하기 위하여 Sample chuck, 함수발생기, 고전압 증폭기(A800, FLC) 그리고 레이저 변위 센서(8337, B&K)를 구성하였다. Sample chuck 하단의 구리 평판 위에 Cellular PP 박막 일렉트릿을 고정시키고 박막 상단에

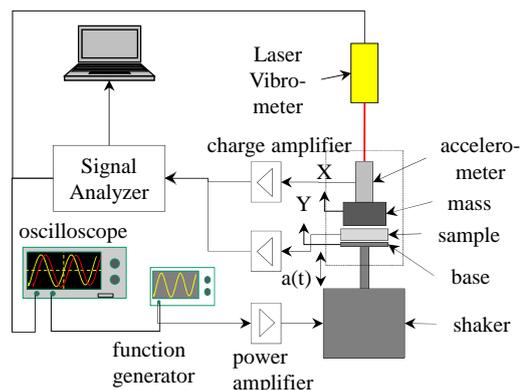


Fig. 1 schematic illustration of the setup for the dynamic measurements of the  $d_{33}$ -constant

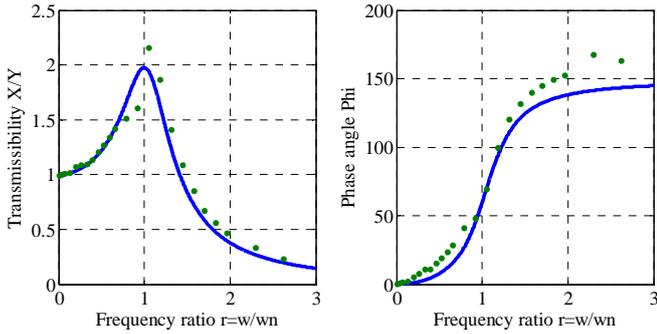


Fig. 2 Response of a damped system under the harmonic motion of the base (point - experimental data, line - curve fit, mass 7.27g)

실린더 형태로 제작된 알루미늄 질량(m)을 위치시켰다. 구리 평판과 알루미늄 실린더는 Cellular 박막 일렉트릿의 전극 역할을 하도록 하였으며, 함수 발생기와 진압 증폭기를 이용하여 높은 정현파 구동 진압을 인가 하였다. 알루미늄 실린더의 상단은 경면 가공하여 레이저 변위 센서를 통하여 미소 진동량을 측정할 수 있도록 하였다. 또한 정 압전효과를 측정하기 위해 역 압전효과 측정에 사용된 구리 평판을 shaker (B&K, type4389)에 연결하여 주기적으로 가진시킨다.

2.3 결과

알루미늄 실린더의 압력에 의해 발생한 전하를 charge amplifier 를 통해 측정하였다. 탄성률을 얻기 샘플 양단의 변위를 레이저 변위 센서를 이용해 측정하였다(Fig. 1). 그리고 질량의 변화에 대해서 두 변위 신호의 변위 전달률과 위상차를 얻었다. 모든 데이터는 3 회 반복하여 평균값을 사용하였다.

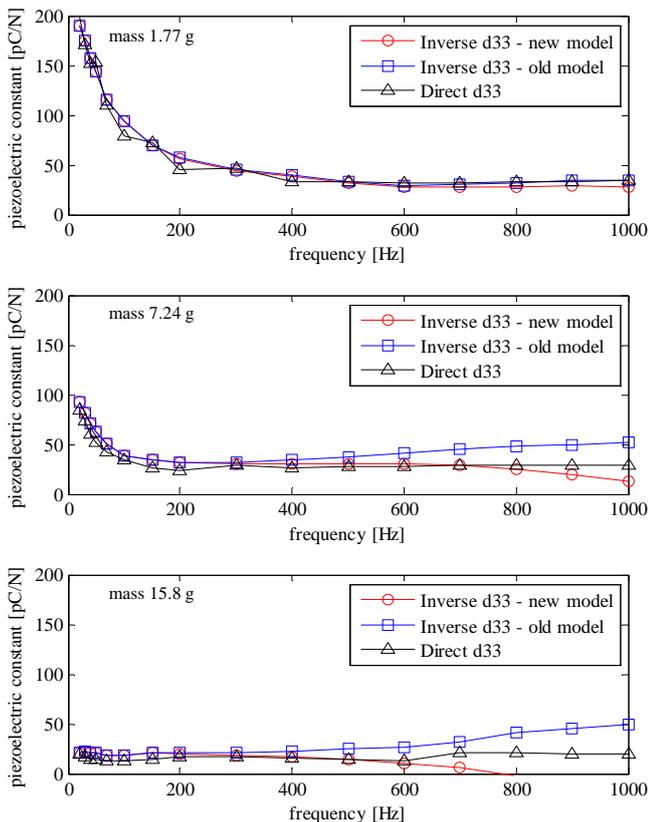


Fig. 3 Piezoelectric constant  $d_{33}$  of corona charged cellular PP electrets with various masses

Fig. 2. 는 질량 7.27g 에 대해 박막 양단의 변위 전달률과 위상차를 나타낸 것이다. 실험을 통해 얻은 값과 이론적으로 가능한 값을 비선형 최소 제곱법을 이용해 curve fitting 을 하였고, 모든 주파수 대역의 응답을 만족하는 탄성계수와 두 가지 damping (viscous damping, hysteresis damping) 상수를 결정하였다.

각각의 질량에 대한 결과를 모두 만족하는 탄성계수와 viscous damping, hysteresis damping 은 각각 86.91kPa, 6.35E-8, 2.95E+5 이다. 이를 이용하여 각각의 질량에 대한 정 압전계수와 역 압전계수를 측정하였다(Fig. 3).

4. 결론 및 고찰

이론적으로 정 압전효과와 역 압전효과는 동일한 값을 갖는다[3]. 액추에이터로 사용되는 폴리머 일렉트릿의 경우 기존의 모델에서는 외부 압력을 고려 할 수 없어 두 압전특성 사이의 오차가 발생하게 된다. 그러나 본 연구에서 제시한 모델은 그림에서와 같이 약 700Hz 이하의 주파수 대역에서 질량에 대한 영향으로 발생하는 inverse  $d_{33}$  와 direct  $d_{33}$  를 줄여주는 것을 확인 할 수 있다. 이때 최대 오차 감소 비율은 53%이다. 따라서 이를 활용하면 외부 압력에 대하여 압전특성을 예측할 수 있고 보다 정밀한 제어가 가능하리라 판단된다. 그러나 주파수가 증가할수록 오차가 오히려 증가하는 경향은 고주파 대역에서 발생하는 탄성률의 비선형성에 기인하는 것으로 사료된다.

후기

이 논문은 2008 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-10358-0)

참고문헌

1. G. M. Sessler, Ed., "Electrets, 3rd ed Vol.1", Morgan Hill, CA: Laplacian Press, 1999.
2. Schwödäuer, R., Graz, I., Bauer, S., "Charging and Switching of Ferroelectrets. How much can Ferroelectrets Behave Like Ferroelectric?", 2004 IEEE International Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control 50th Anniversary Joint Conference, Aug., 134-137, 2004
3. Hillenbrand, J., Sessler, G. M., "Piezoelectricity in Cellular Electret Films,", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 7(4), 537-542, 2000
4. Kamlah, M., "Ferroelectric and ferroelastic piezoceramics - modeling of electromechanical hysteresis phenomena," Continuum Mechanics and Thermodynamics, 13, 219-268, 2001.
5. Hillenbrand, J., Sessler, G. M., "Quasi-static and Dynamic Piezoelectric Coefficients of Polymer Foams and Polymer Film Systems", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul, 7, 72-79, 2004