

Cellular Polypropylene Electret 의 외부 전기장에 따른 aging 특성 분석 An Analysis on the Aging Characteristics of a Cellular PP Electret using External Electric Fields

*임세라¹, 김필기¹#석종원²

*S. R. Lim¹, P. Kim¹, #J. Seok(seokj@cau.ac.kr)²

¹ 중앙대학교 기계공학부 대학원, ² 중앙대학교 기계공학부

Key words : Cellular polypropylene film electret, Aging, Piezoelectric constant

1. 서론

일렉트릿(Electret)은 반영구적 분극에 의하여 열전(Pyroelectric) 및 압전(Piezoelectric) 효과를 나타내는 물질로 Kawai에 의해 PVDF(Polyvinylidene fluoride)의 압전특성이 발견된 이후 폴리머 박막 일렉트릿에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 다공성 폴리머 박막 일렉트릿의 압전특성은 PZT와 같은 세라믹스와 동등하거나 더 우수하다고 알려져 있으며 이러한 특성으로 많은 응용분야에서 사용된다. 폴리머 박막에 전기쌍극자 성질을 유도하기 위해 분극시키는 대표적인 방법에는 코로나 방전(Corona Discharging)을 이용하는 방법과 유리화 온도에서 물질 표면의 전극을 통하여 전계를 가하는 방법 등이 있다¹⁾. 이와 같이 형성된 일렉트릿은 제조 방법 및 물질의 종류와 구조에 따라 열전 및 압전 효과, 열안정성(Thermal Stability) 등에 대한 다양한 특성을 지닌다.

Cellular Polypropylene (PP) 일렉트릿이 센서 및 액추에이터로 응용되기 위해서는 박막 내 분극된 전하의 반영구적인 안정성이 전제되어야 한다. 이전의 연구에서는, Cellular Polypropylene (PP) 일렉트릿의 압전효과를 나타내는 등가 d_{33}^* 상수는 시간이 지남에 따라 급속히 감소하다가 일정 시간이 지난 뒤에 수렴되는 현상을 관찰하였다. 한편, 폴리머 박막 일렉트릿은 분극과 충전특성에 따라 상이한 압전 효과를 나타내기 때문에 Aging 현상의 규명 및 해결방안은 매우 중요하며 일렉트릿을 사용하기 전에 압전 효과를 안정화시키는 과정이 필수적인 것으로 판단된다.⁴⁾

이에 따라 본 연구에서는 외부 전기장에 따른 aging이 Cellular PP 박막 일렉트릿 등가 d_{33}^* 상수의 안정성에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

2. 실험

2.1 코로나 방전에 의한 일렉트릿 제작

본 연구에 사용된 Cellular PP 박막(Treofan Germany GmbH & Co KG, VHD40)은 5층 구조의 다층 박막으로 중심층인 Cellular PP 층(두께 약 37 μm)과 이를 보호하는 4개의 Non-cellular PP 층(두께 0.5~7 μm)으로 구성되어 있다. 이러한 Cellular PP 박막에 코로나 방전을 가해 일렉트릿을 제작하였다. 지름 15mm 크기로 준비된 원형박막을 Needle 전극에서 약 40mm 하단에 위치한 평판 전극 위에 고정시키고 60초간 코로나 방전에 노출시켰다. 이 때, 코로나 방전 전압은 -30kV (Negative charging)으로 일정하게 유지되었다.⁴⁾ 코로나 방전이 일어나면 시편의 표면에는 Needle 전극과 동일한 극성의 전하가 축적된다. 표면에 축적된 전하를 탈트랩시키기 위해서 알루미늄 포일로 감싸 Cellular PP 일렉트릿 박막의 상하면을 단락시킨 상태로 24시간 동안 24 $^{\circ}\text{C}$, 습도 30~40%인 항온 항습조에서 보관하였다. Figure 1은 코로나 방전 장치(a)와 -30kV 전압으로 충전된 cellular PP 박막 일렉트릿의 내부에 대한 개략도이다.

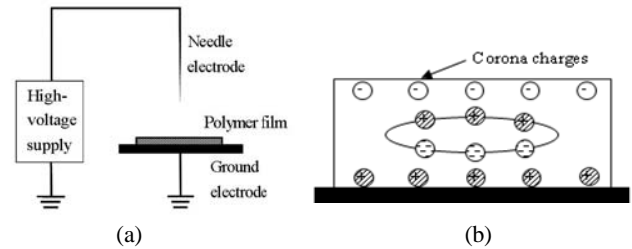


Fig. 1 Schematics of (a) charging setup using corona discharges and (b) cellular PP electrets charged to -30kV

2.2 실험 방법

Cellular PP 일렉트릿의 압전 특성을 평가하기 위한 방법으로 Figure 2와 같이 실험장비를 구성하고 역 등가 d_{33}^* 상수를 측정하였다. 이 실험장치에는 전압, 주파수와 인가 파형을 변경할 수 있는 장치인 함수발생기(Tektronix, AFG3000)와 발생된 전압을 증폭 시킬 수 있는 전압증폭기(FLC Electronix A800)가 일렉트릿의 안정된 작동을 위해 사용된 질량이 있는 상부 전극과 평판형 하부 전극에 연결되어 있다. 한편, 전압을 인가하였을 때 필름에 의해 발생하는 상부 전극의 변위는 Laser Vibrometer (OMETRON, VQ-500-D-V)를 이용하여 측정하였다. 상부전극의 질량은 1.77g을 사용하고, 주파수는 13.5Hz로 가진하였으며, 이때 400V의 전압을 인가하였다. 상부전극의 질량으로 인한 외부 하중의 영향을 고려한 역 등가 d_{33}^* 상수는 다음 식을 통하여 계산하였다.⁴⁾

$$d_{33}^*|_{\text{Inverse}} = - \left(u_3^{(h)} - \frac{r_3^{(h)}h}{Y_3} \right) / V_e$$

여기서 영틀은 $Y_3 = \frac{k \cdot A}{h} = \frac{(m \cdot \omega_n^2) \cdot A}{h}$ 의 관계식을 이용하여 계산하였다.⁴⁾ 이 때 구해진 고유진동수는 15.2 krad/sec이다.

본 실험연구에서 압전상수의 측정 외 시간에는 전극 사이에 5kV로 일정 전압을 가해줌으로써 외부 전기장에 따른 aging의 특성을 살펴보았다. 초기에는 2시간 간격으로 측정하다가 점차 시간을 늘려 측정하였으며 일정시간이 경과한 이후에는 외부 전기장이 없는 상태에서 항온 항습조에서 보관하면서 역압전 상수를 측정하였다.

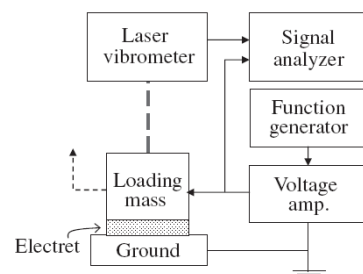


Fig.2 Schematics of the experimental setups for the evaluation of inverse d_{33}^*

3. 결과

3.1 외부 전기장에 따른 aging

Cellular PP 박막 일렉트릿 내에 존재하는 전하는 표면

전하, 공간전하 등으로 구분될 수 있으며, 시간이 지남에 따라 표면 근처에 있는 전하가 주로 탈 트랩되면서 압전 상수가 낮아진다고 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 압전상수가 안정되기까지 걸리는 시간을 단축시키기 위해서 일렉트릿에 외부 전기장을 가하여 표면에 있는 전하를 상온에서 보관했을 때보다 빠르게 탈 트랩시키는 효과가 나타나도록 고안하였다. 두 평행한 평판을 전극으로 이용하여 이들 사이에 DC 5kV의 전압을 인가하였다. 상부전극에는 (+)전압을 가하고 하부전극은 접지시켰다. Figure 3는 두 평판 사이의 전기장을 해석 프로그램인 Maxwell 을 이용하여 나타낸 그림이다. 각각의 평판 높이를 Table 1과 같이 변화시켜 전기장의 세기에 변화를 주었다. 이때 Table 1에 나타낸 전기장 값은 일렉트릿이 놓일 위치에서의 평균값이다.

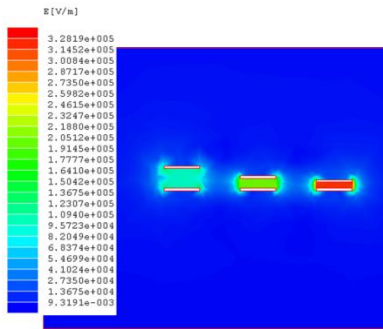


Fig.3 electric field strength by the Maxwell

Table 1 electric field of plate (5kV)

전극사이의 간격[cm]	5	2.5	1.6
전기장 [V/m]	100139	200000	302502

3.2 압전 상수

Figure 4 는 DC +5kV 의 전기장에 장시간 노출된 Cellular PP 박막 일렉트릿의 역 등가 d_{33}^* 상수를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 약 150 시간까지 일렉트릿에 전기장을 가하면서 aging 시켰으며 그 이후에는 외부 전기장을 가하지 않은 상태로 항온 항습조에서 보관하였다. 각 실험 결과는 3 개의 샘플로부터 측정된 결과의 평균값을 사용하였다. 아래 Figure 4 의 그래프에서 보는 바와 같이 역전압 상수는 시간에 대해서 비교적 큰 변화를 보였다. 그러나 150 시간이 지난 이후에는 3 가지 전기장 조건의 모든 경우에서 Cellular PP 박막 일렉트릿의 역압전 상수가 유사한 경향을 보이며 일정한 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다. 일정한 값으로 수렴되는 시간은 평균적으로 인가된 전기장의 세기와 비례하여 짧았다. 반면 동일한 조건으로 충전시키고 aging 시키지 않은 일렉트릿의 경우는 역압전 상수가 불안정하고 수렴성이 매우 떨어짐을 확인할 수 있었다.

한편, 상기 3 가지 전기장의 조건에서 일렉트릿을 살펴

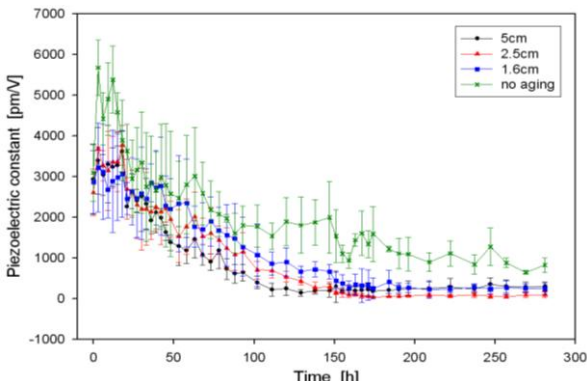


Fig.4 Aging trends of the inverse d_{33}^* with the electric field

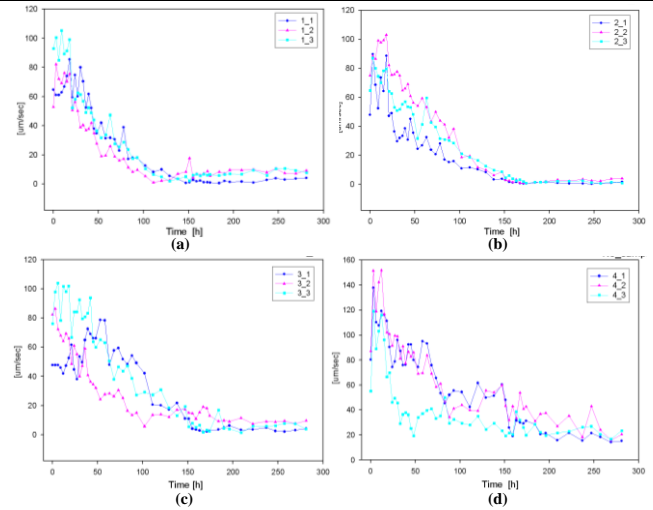


Fig.5 Experimental equivalent d_{33}^* data with respect to applied external electric field (a) 100 kV/m (b) 200 kV/m (c) 300 kV/m

보았을 때, 100 kV/m 의 전기장 내에 위치한 일렉트릿의 오차가 가장 작았으며 인가 전기장이 커질수록 오차가 커짐을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구는 Cellular PP 박막 일렉트릿의 압전 특성은 시간의 함수로 나타나는 외부 전기장에 따른 aging 효과를 고찰하였으며 이를 평가하기 위하여 역 등가 d_{33}^* 상수를 측정 한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 역압전 상수를 측정된 결과를 통해, 본 실험에 사용한 샘플들은 약 150 시간이 지난 이후부터는 역 등가 d_{33}^* 상수가 일정하게 수렴함을 알 수 있다.
2. 각 조건에 따른 샘플들을 비교해 볼 때 100 kV/m 와 300 kV/m 의 전기장이 인가된 샘플들은 150 시간이 지난 후 약간 증가하는 현상을 볼 수 있고 200 kV/m 사이의 샘플들은 비교적 일정한 경향을 나타내고 있다.
3. 본 연구를 통해 외부 전기장을 이용하여 Cellular PP 박막 일렉트릿의 압전특성을 안정화 시킬 수 있는 사실은 확인 되었으나 샘플의 수를 늘려 보다 신뢰할 수 있는 통계적 유의성을 확보하고 전기장에 대한 조건을 좀 더 세분화 하여 최적의 조건을 도출하는 과정이 필요하다.

후기

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다(2008-P-EP-HM-E-05-0000).

참고문헌

1. Sessler, G.M., Ed., "Electrets, 3rd ed Vol.1", Morgan Hill, CA : Lplacian Press, 1999.
2. Gerhard-Multhaupt, R., "Less can be more : Voids in Polymers lead to new paradigm of piezoelectricity and to useful electrets transducers," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., **9**, 850-859, 2002
3. Turnhout, J. van, Staal, R.E., Wubbenhorst, M. and Haan, P.H. de, "Distribution and Stability of Charges in Porous Polypropylene films," 10th International Symposium on Electrets, pp.785-788, 1999.
4. Youngsik Kim, Pilkee Kim, and Jongwon Seok, "Piezoelectricity of a Microcellular Polypropylene Electret under an External Inertial Load", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.48, pp.8, 2009