

다공성 폴리프로필렌 박막 일렉트릿의 TSC (Thermally Stimulated Current) 특성 분석

TSC (Thermally Stimulated Current) Characteristic Analysis for Cellular Polypropylene Film Electret

*김필기¹, 김영식², 이주홍¹, #석종원³

*P. Kim¹, Y. S. Kim², J. Lee¹, #J. Seok(seokj@cau.ac.kr)³

¹ 중앙대학교 기계공학부 대학원, ² 현대자동차, ³ 중앙대학교 기계공학부

Key words : Cellular polypropylene film electret, Thermally stimulated current, Homocharge, Heterocharge

1. 서론

일렉트릿 (Electret)은 반영구적 분극에 의하여 열전 (Pyroelectric) 및 압전 (Piezoelectric) 효과를 나타내는 물질로써, 폴리머 박막에 극성을 인가하는 대표적인 방법에는 코로나 방전 (Corona Discharging)을 이용한 방법¹⁾과 유리화 온도에서 물질 표면의 전극을 통하여 전계를 가하는 방법¹⁾이 있다. 이와 같이 형성된 일렉트릿은 제조 방법 및 물질의 종류와 구조에 따라 열전/압전 효과, 열 안정성 (Thermal Stability) 등에 대한 다양한 특성을 지닌다.

폴리머 박막의 뛰어난 유전특성이 밝혀진 이래로 Polytetrafluoroethylene (PTFE), Polyvinylidene fluoride (PVDF), Polypropylene (PP) 등의 폴리머 박막 일렉트릿에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 최근에는 박막 내에 다수의 기공을 포함하는 다공성 폴리머 박막의 압전 효과와 이를 극대화시키는 연구가 활발히 수행되고 있다.²⁾ 한편, 폴리머 박막 일렉트릿은 Charging 특성에 따라 상이한 압전 효과를 나타내기 때문에, 이를 센서 및 액추에이터로 응용함에 있어서 박막 내 전하의 분포 및 안정성 등의 특성 분석은 매우 중요하다고 할 수 있다. 개방형 기공을 갖는 PTFE 박막 일렉트릿의 뛰어난 열 안정성이 보고된 바 있으며,³⁾ 밀폐형 기공을 갖는 PP 박막 일렉트릿의 전하 분포와 열 안정성에 대한 연구에서는 Homocharge 와 Heterocharge 의 안정성 특성을 고찰하여 다공성 PP 박막의 압전 기제를 살펴본 바 있다.⁴⁾

본 연구에서는 다공성 층을 중심으로 5 층 구조의 밀폐형 기공을 갖는 (이하 'Cellular') PP 박막 일렉트릿에 대한 Charging 특성을 평가하기 위하여 Thermally stimulated current (TSC)를 측정하였다. TSC 측정 결과를 바탕으로 Cellular PP 박막 일렉트릿의 전하 분포 및 안정성에 대하여 고찰하였으며, Charging polarity 에 대한 TSC 측정 결과를 비교하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작

본 연구에 사용된 Cellular PP 박막 (Treofan Germany GmbH & Co KG, VHD40)은 5 층 구조의 다층 박막으로 중심층인 Cellular PP 층(두께 약 37 μm)과 이를 보호하는 4 개의 Non-cellular PP 층(두께 0.5 ~ 7 μm)으로 구성되어 있다. Figure 1은 Cellular PP 박막의 단면 사진이다.

이러한 Cellular PP 박막은 코로나 방전에 의해 일렉트릿으로 제작되었다. 20x20 mm 크기로 준비된 각 박막을 Needle 전극에서 약 40 mm 하단에 위치한 평판 전극 위에 고정시키고 60 초간 코로나 방전에 노출시켰다. 이 때, 코로나 방전 전압은 +30kV (Positive charging) 또는 -30kV (Negative charging)으로 일정하게 유지되었다.⁵⁾ 코로나 방전이 일어나면 시편의 표면에는 Needle 전극과 동일한 극성의 전하가 축적된다. PP 박막의 상승한 표면전위(Surface Potential)는 박막 내 기공층의 절연파괴(Internal breakdown)

를 유발하게 되고 각 Cell 의 상하부에 전기 쌍극자와 유사한 형태의 분극이 형성된다.³⁾ Figure 2 는 코로나 방전 장치(a)와 Internal breakdown (b)의 개념도이다.

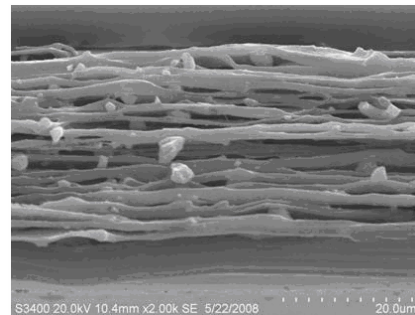


Fig. 1 SEM image of a cross section of the microcellular PP electret

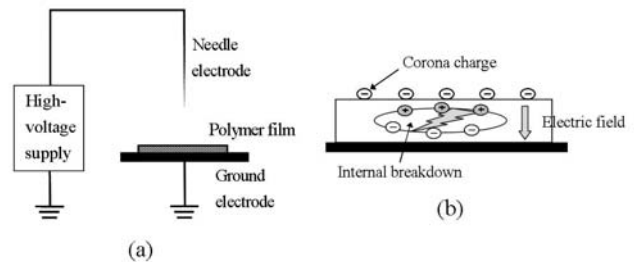


Fig. 2 Schematic diagrams of (a) charging setup using corona discharges and (b) internal breakdown process

2.2 Thermal stimulated current (TSC)

Cellular PP 박막 일렉트릿이 센서 및 액추에이터로 응용되기 위해서는 박막 내 전하의 반영구적인 안정성이 전제되어야 하며, 이는 온도 및 습도 변화 등의 가혹 조건이 존재하는 실제 동작 환경 하에서 충족되어야 한다. Cellular PP 박막 일렉트릿 내에 존재하는 전하는 표면 전하, 공간 전하 등으로 구분될 수 있으며, 전하의 트랩(trap) 메커니즘에 따라 각각 방출되는 온도가 다른 것으로 알려져 있다. 이를 이용하여 일렉트릿 내 전하의 안정성을 평가하는 대표적인 방법으로 TSC method 들 수 있다. TSC method 는 온도에 따른 일렉트릿의 방출 전류를 측정하여 전하의 분포 및 안정성을 단시간에 효과적으로 평가할 수 있는 방법이다.⁶⁾ 본 연구에서는 코로나 방전에 의해 인가된 Cellular PP 일렉트릿 내 표면 전하와 공간 전하 등의 분포 및 안정성을 평가하기 위하여 TSC 를 측정하였다. Figure 3 은 TSC 측정 장치의 개념도이다. 외부로부터 유입될 수 있는 노이즈를 차단하기 위해 접지와 연결된 쉴딩 박스가 사용되었으며, 온도에 따른 일렉트릿의 방출 전류는 Picoammeter 에 의해 측정되었으며,

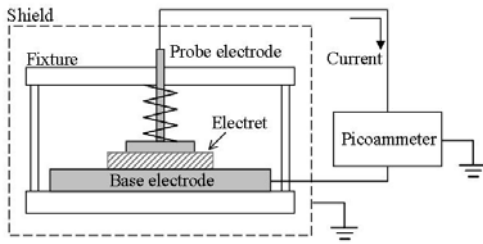


Fig. 3 The sample and probe relationship in the closed TSC measurement system

3. 결과

Figure 4 는 Positive charging 과 Negative charging 에 대한 Cellular PP 일렉트릿의 TSC 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보여지는 바와 같이, 약 60°C에서 처음으로 방출 전류가 확인되었으며, 방출 전류량은 ~70°C에서 첫 번째 Local peak 를 보인다. 약 80°C에 이르러서는 방출 전류의 방향이 바뀌고 ~95°C에서 Global peak 가 나타나며, 약 135°C까지 다시 감소하여 전류량은 거의 0 에 가까워진다. 또한 약 165°C에서는 두번째 Local peak 를 확인할 수 있다.

앞서 기술하였듯이 Cellular PP 박막은 Cellular 층과 이를 보호하는 Non-cellular 층의 다층구조로 구성되어 있기 때문에 방출 전류의 양상은 크게 보호층의 전하와 Cellular 층의 전하에 의한 전류로 나눌 수 있다. 약 60°C에서 박막 표면에 가까운 보호층 내의 Homocharge (표면 전하)와 Heterocharge (전기 쌍극자 형태의 공간 전하) 가 방출되기 시작한 후 Homocharge 의 방출량이 상대적으로 많기 때문에 코로나 방전 전압과 동일한 극성의 Local peak 이 나타난 것으로 사료된다. 하지만 첫번째 Local peak 는 Global peak 와 비교하여 약 1/3 (Positive charging) 또는 약 1/8 (Negative charging)에 불과하다는 사실로 미루어 보면, 보호층으로부터 방출되는 Homocharge 와 Heterocharge 의 양이 비슷한 수준이라는 것을 예상할 수 있다. 또한 약 80°C에서 전류의 방향이 바뀌는 것은 표면으로부터 멀리 떨어져 위치한 Heterocharge 가 방출되는 것을 의미한다.

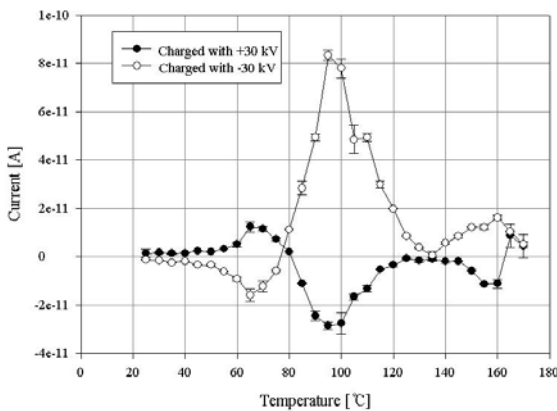


Fig. 4 The TSC characteristics of microcellular PP electrets charged with different polarities. The charging time for each sample was 1 min.

온도가 더 높아지면 Cellular 층 내 기공에 트랩되어 있는 Heterocharge 가 박막 표면으로 이동한다.⁷⁾ 기공의 Heterocharge 가 표면 밖으로 방출되면서 급속도로 전류의 양이 증가하고 Global peak 를 나타낸다. 이러한 경향은 문

헌을 통해 알려져 있는 바와 같이, Cellular PP 박막 일렉트릿의 압전 효과가 주로 Cellular 층 내의 Heterocharge 에 기인하는 것을 의미한다.⁴⁾ Global peak 의 크기가 Negative charging 의 경우 Positive charging 에 비해 약 2.5 크게 나타나는 것은 전자(Electron)를 매개로 하는 Negative charging 에서 PP 박막 표면에 축적되는 전하량이 상대적으로 많고 더불어 강한 Internal breakdown 을 유발하기 때문일 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 코로나 방전을 이용하여 Cellular PP 박막 일렉트릿을 제작하였고 5 층 구조를 갖는 Cellular PP 박막 일렉트릿 내 전하의 분포 및 안정성 특성을 고찰하기 위하여 TSC 를 측정하였다. 실험 결과, Non-cellular 층 내에 존재하는 표면 전하와 공간 전하는 약 80°C 정도에서 대부분 방출되며, 각각의 전하량은 서로 비슷한 수준일 것으로 예상되었다. 그리고 기공 내의 전기 쌍극자 형태의 Heterocharge 가 Cellular PP 박막 일렉트릿의 압전 효과에 있어서 주된 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 Positive charging 을 수행한 시편에 비해 Negative charging 의 폴리머 박막 일렉트릿의 전하량이 약 2.5 배 크게 나타났다. 이는 Cellular PP 박막에 전하를 인가할 때, Negative charging 이 Positive charging 보다 효과적이라는 것을 의미한다. 한편, TSC 측정 결과에서 알 수 있듯이 Cellular PP 박막 일렉트릿의 동작 한계 온도는 Cellular 층의 Heterocharge 가 방출될 것으로 예상되는 약 70°C라고 할 수 있다.

후기

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

참고문헌

- Sessler, G.M., Ed., "Electrets, 3rd ed Vol.1", Morgan Hill, CA : Lplacian Press, 1999.
- Wegener, M., Wirges, W. and Mulhaupt, R.G., "Two-step inflation of cellular polypropylene films: void-thickness increase and enhanced electromechanical properties," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol.37, pp.623-627, 2004.
- Gerhard-Mulhaupt, R., "Less can be more : Voids in Polymers lead to new paradigm of piezoelectricity and to useful electret transducers," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., 9, 850-859, 2002.
- 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.
- Q.Chen, "Negative corona charge stability in plasma treated polytetrafluoroethylene teflon films", J. Phys. D: Appl. Phys., 37, 715-720, 2004
- Jain, V. and Mittal, A., "Charge storage studies of unstretched and stretched polypropylene film electrets using short circuit TSDC technique," J. of Mater. Sci. Lett., Vol.19, pp.1991-1994, 2000.
- Sessler, G.M., Ed., "Electrets," Topics in Applied Physics, Vol.33, 2nd Edition, Springer Verlag, Berlin, 1987.