

유한요소법을 이용한 폴리프로필렌 일렉트레트 셀의 코로나 대전과정 시뮬레이션에 관한 연구

이수길*, 박건호, 정일형, 장경욱, 이준웅
광운대학교 전기공학과

A Study on the Simulation of the Corona Charging Process of Polypropylene Electret Cell Using Finite Element Method

Su-Kil Lee*, Geon-Ho Park, Il-Hyung Jung, Kyung-Uk Jang, Joon-Ung Lee
Dept. Electrical Eng. Kwangwoon Univ.

Abstract

In order to estimate space charging process in the corona charging apparatus which has been used to make polymer electret cell, the electrical properties of 30[μ m] thick polypropylene film were obtained from TSC measurement after corona charging between copper knife electrode and aluminum cylinder electrode with the voltage of -8, -7, -6, -5 [kV].

And, the electrostatic contour and the electric field vector were calculated using Finite Element Method with the electrical properties obtained from TSC spectra analysis.

The edge effect around the edge of knife electrode affects electrostatic contour on the surface of specimen and the electric field concentration inside the polymer.

As a result, the uneven charging state in the electret cell due to the mistake of design was calculated, and the optimal design of corona charging apparatus appropriate to various specimen was come to be practicable.

1. 서 론

고분자 필름을 센서 재료로 사용하기 위해서 코로나 대전장치로 시료에 전하를 대전시키는 방법은 열대전 방법보다 대전 시간이 짧고 제반적인 장치나 대전 공정 등이 간단하다는 장점이 있다.

그러나, 코로나 발생 양상에 따라서 시료에 축적되는 전하의 량이 일정치 않거나 에너지의 집중현상으로 빚어지는 절연파괴 현상으로 말미암아 일렉트레트 셀의 전기적 특성이 일정치 않게 되는 등의 단점이 있었다.

이 때문에 코로나 대전장치를 이용하여 시료를 대

전시키는 과정을 공간적으로 상세히 분석하는 기술이 필요하게 되었다.

상기의 이유로 본 연구에서는 코로나 대전장치의 최적 형상화를 피하기 위해서, 여러공학계의 연구분야에서 사용하고 있는 유한요소법(Finite Element Method)을 이용하여, 코로나 대전시킨 시료의 공간적인 대전 과정을 계산하고자 하였고, 유한요소법을 사용하기 위해서 필요한 전기적인 물성정보를 얻고자 TSC (Thermally Stimulated Current) 분석법을 이용하였다. 이렇게 얻어진 시료의 전기적인 물성을 고려하여 코로나 대전 장치를 가동시킬때 나타나는 전위의 분포를 인가전압의 상승에 따라서 분석해보고, 코로나가 발생하여 시료에 닿을때까지의 공간적인 진행경로를 예측해 보았으며 이와같은 현상이 시료에 미칠 영향도 함께 분석하였다.

2. 실험 방법

2-1. 코로나 대전

코로나 대전은 코로나를 시료에 대전시켜서 일렉트레트를 형성하는 장치를 사용하며, 그 구성을 그림 1에 나타내었다.

2-2. TSC 방전

본 실험에서는 두께 30 [μ m]인 폴리프로필렌 필름을 코로나 방전으로 대전시킨 후 액체질소를 사용하여 급냉시킨 후 온도 -200[$^{\circ}$ C]에서 300[$^{\circ}$ C] 까지 제어할 수 있는 온도 조절 장치 (Toyo Seiki 社, UTPP-137-340), 전위계 (Electrometer, USA, Keithley 602)를 사용하여 시료로부터의 방전 전류를 측정하였다. 실험장치는 그림 2에 나타내었다.

3. 전위·전계분포 시뮬레이션

3-1. 요소분할

본 연구에서는 단순 3절점 삼각형 요소를 사용했으며 해석 대상 영역이 수직면으로 대칭인 점을 감안하여 전체 대상 영역의 반쪽면만을 해석 대상으로 삼았다. 그리고, 컴퓨터의 메모리와 수렴시간을 고려하여 요소의 수를 가감하였다. 해석 영역의 요소분할도를 그림 3에 나타내었다.

3-2. 전도기구의 지배방정식과 정식화

일반적으로 고분자 절연체에 흐르는 전도전류는 전계의 세기에 따라서 Ohmic 영역, Poole-Frenkel 영역, Schottky 영역으로 구분되는데 본 연구에서 사용한 코로나 대전법은 극소부분에 집중적으로 전계를 인가하는 방법을 사용하므로 Schottky 영역에 해당하는 전도라고 볼 수 있으며, 시료 내부에서의 Schottky 전도기구는 다음과 같이 프아송의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{eN_d}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad (3.1)$$

여기서 e 는 전자의 전하량, N_d 는 도너밀도, ϵ_s 는 비유전율을 나타내는데, Schottky 영역에서 폴리프로필렌의 ϵ_s 는 2.23으로 알려져 있다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 인가전압에 따른 TSC 스펙트라

그림 4는 그림 2의 실험장치를 이용해서 상부전극(Knife Electrode)과 시료사이에 0.5[mm]의 공극을 유지하면서 상온에서 상부전극과 시료 하부전극사이에 -8 ~ -5 [kV]의 전압으로 시료에 코로나를 대전시켜 형성한 Electret로부터 관측한 TSC 스펙트라인데, -30, 40, 100[°C]의 온도부근에서 피크를 보이며, 본 연구에서는 저온으로 부터의 피크를 γ , β 및 α 피크라 칭하였다.

-30 [°C] 부근에서 나타난 γ 피크의 진폭은 다른 피크에 비해서 작은 폭으로 나타났으며, 40 [°C] 부근에서 나타난 β 피크의 진폭은 -8 [kV]의 전압으로 대전시켰을때, 다른 전압으로 대전시켰을 때보다 현저

히 큰것을 확인할수 있었다.

4-2. 전위분포와 전계집중

그림 5에 나타난 전위분포는 B 지점에서 절대치가 크게 나타난 원인은, 그림 7에 나타난 시료내의 전계분포가 B 지점을 중심으로 집중되어 시료 표면의 전위를 높이는 요인으로 작용한다고 생각된다.

그림 6에 나타나 있는 전극의 모서리부분에 집중된 전계가 시료 표면의 전위를 그다지 크게 높여주지 못하는 이유도 이 부분의 시료내에 전계 벡터의 분산현상이 공기중에서와 마찬가지로 일어나서 전위를 감소시키는 요인으로 작용하기 때문으로 사료된다.

5. 결론

이상의 연구로부터 코로나 대전장치의 칼날전극의 모서리 부분 때문에 발생하는 전위의 불균등 분포 문제와, 전계의 집중현상을 해결하기 위해서는 모서리 부분의 설계조장과 센서로 쓰여질 부분외에서의 절연강도 강화가 필요하다는 결론을 얻었다.

본 연구에서 발견한 코로나 대전장치의 결함을 보완하기 위해서는 최적설계를 위한 순환계산형 시뮬레이터를 제작할 필요가 있다고 사료된다.

6. 참고 문헌

- 1) J. Van Turnout : Thermally stimulated discharges of polymer electrets. Ph. D Thesis (Elsevier Amsterdam, 1975)
- 2) Gouri Dhatt and Gilbert Touzot, "The finite element method displayed" pp129-162 (1982)
- 3) E. L. Washpress. "Two-Level Finite Element Grid Optimization by Direct Energy Search". Appl. Math. Model. 1, (1977)
- 4) 이수길, 김도영, 김충혁, 이준용 : "유한요소법을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션과 그 응용", 전기전자재료학회지, 제 5권, 제 1호, (1992)
- 5) J. G. Simmons and G. W. Taylor, "High-Field Isothermal Currents and Thermally Stimulated Currents in Insulators Having Discrete Trapping Levels", Physical Review B, Vol. 5, No. 4, (1972)

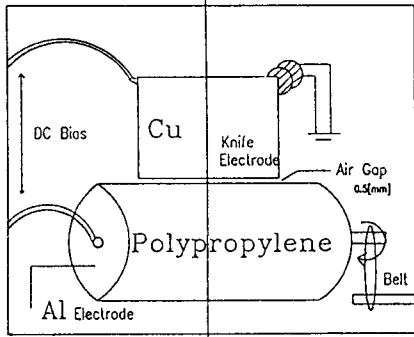


그림 1 코로나 대전장치의 구성
Fig. 1 Configuration of corona charging apparatus

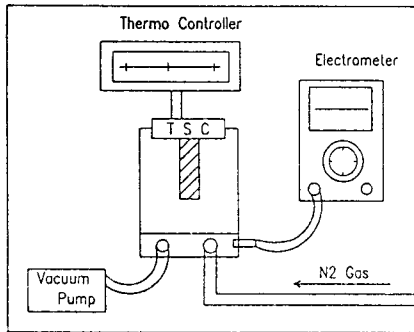


그림 2 TSC 측정장치
Fig. 2 TSC Apparatus

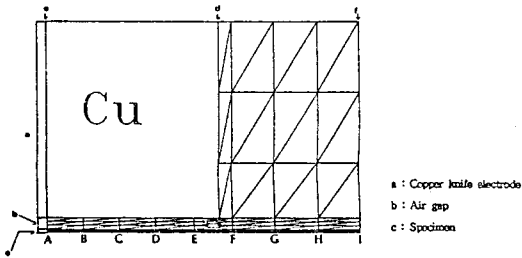


그림 3 해석영역의 요소분할도
Fig. 3 Diagram of essential element for analytical domain

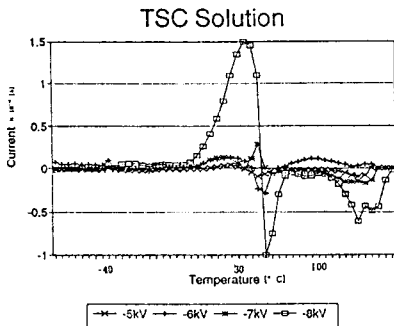


그림 4 형성 전위에 따른 TSC 방전곡선
Fig. 4 TSC Spectra as a function of forming voltages

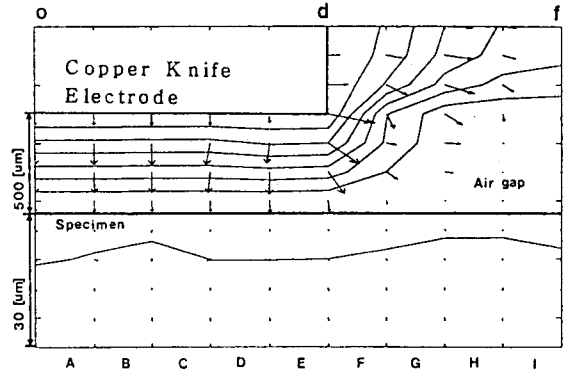


그림 5 등전위, 전기분포도
Fig. 5 Electrostatic contour and Electric Field Distribution (→:Electric field)

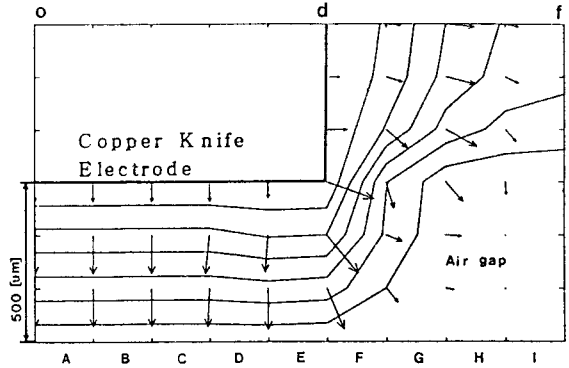


그림 6 칼날전극과 시료표면 사이의 전위, 전기분포도
Fig. 6 The electrostatic contour and electric field distribution between knife electrode and the surface of specimen (→:Electric field)

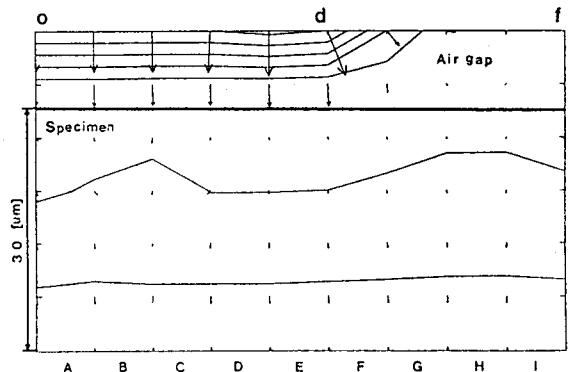


그림 7 시료 내부에서의 전위, 전기분포도
Fig. 7 The electrostatic contour and electric field distribution inside the specimen (→:Electric field)