

PTFE 일렉트레트의 대전 과정 시뮬레이션

박건호*, 김상진**, 성낙진**, 배덕권***

청강 문화산업 대학, 인천전문대학**, 연세대학교***

Simulation of Charging Process in PTFE Electret

Geon-Ho Park*, Sang-Jin Kim**, Nak-Jin Sung**, Duk-Kwun Bae***

Chungkang College of Cultural Industries*, Incheon City College**, Yonsei University***

Abstract

In this study, the Thermally Stimulated Current(TSC) of corona charged PTFE is studied and the simulation of corona charging process is also calculated by Finite Element Method. The electrets which were formed by applying high voltages(DC $\pm 5 \sim \pm 8$ [kV]) to PTFE, are used to measure TSC in the temperature range of $-100 \sim +200$ [°C] and then the Finite Element Method is performed to examine corona charging process using a obtained physical constants. As a result, it is confirmed that the charging negative corona is profitable as the applications are manufactured, because the time constant of negative corona is much larger than it of positive corona. And it is attempted to estimate the corona charging process in space using simulation.

Key Words: Thermally Stimulated Current(TSC), Corona Charging Process, Finite Element Method

1. 서론

본 연구에서는 우수한 절연 특성을 가지고 있는 PTFE(Poly tetrafluoroethylene)의 하전 입자를 규명하기 위하여, 두께 100[μ m]인 PTFE 필름에 DC $\pm 5 \sim \pm 8$ [kV]의 전압으로 코로나 대전시킨 일렉트레트로부터 온도 범위 $-100 \sim 200$ [°C]에서 열자극 전류(Thermally Stimulated Current)를 측정하였으며^{1),2)}, 코로나로 일렉트레트를 형성할 때에 나타나는 전위 분포의 불균형이 전기적 특성을 일정치 않게 한다는 단점을 극복하기 위하여 코로나 대전 과정을 공간적으로 분석할 수 있는 기술로서, 여러 공학계의 연구 분야에서 비중있게 사용되는 유한 요소법(Finite Element Method)을 이용하여, TSC를 통하여 구한 여러 가지 물리 정수와 코로나 진전 경로의 순환 경계 조건의 재설정법을 고려하여 코로나가 진행되는 경로와 이로 인한 전위 분포의 변화를 예측하는 시뮬레이션을 행하였다.³⁾

2. 실험

2-1. 사용 시료

본 연구에서 사용된 시료는 두께 100[μ m]의 PTFE(Poly tetrafluoroethylene)⁴⁾으로, 이 시료는 열가소성 수지로서 용점은 327[°C]이며, 단량체는 $[-CF_2-CF_2-]_n$ 이다. PTFE는 절연 내력이 좋고 내화학성 및 비접착성도 우수하고 비교적 기계적 가공성도 우수한 특성을 갖는 재료로서, 내침투성이 매우 우수하다.

2-2. 실험 장치

TSC 측정 장치의 구성은 온도 범위(-200 [°C]~ 300 [°C])를 제어할 수 있는 온도 조절 장치, 전위계와 기록계 등으로 구성하였다.

2-3. 실험 방법

DC $\pm 5 \sim \pm 8$ [kV]의 전압으로 코로나 대전시킨 일렉트레트⁵⁾로부터 온도 범위 $-100 \sim 200$ [°C]에서 5

[°C/min]의 일정 속도로 온도를 일정하게 올리면서 TSC를 측정한 후, 전위 분포 시뮬레이션을 위하여 해석 대상인 함수의 분포 영역을 유한개의 요소로 분할하고, 분할된 요소내의 함수 분포를 적당한 근사 함수로 설정한다. 대표 요소(e)의 함수 $\phi^{(e)}$ 를 서로 직교 관계에 있는 형상 함수 $N_{ie}(x,y)$ 와 절점 함수치 ϕ_{ie} 가 선형 연립되어 있는 단순한 함수 형태를 설정하여 근사화 한다.

$$\phi^{(e)}(x,y) = \sum N_{ie}(x,y)\phi_{ie}$$

요소(e)의 미지절점 함수치 ϕ_{ie} 를 구하기 위해서 주어진 지배 방정식과 경계 조건에 등가가 되는 범함수를 구하여 여기에 변분 원리를 적용하거나, 지배 방정식과 경계 조건에 가중치 잔여법을 적용하여 정식화에 의해서 ϕ_{ie} 들을 미지수로 하는 관계식을 구한다. ϕ_{ie} 들을 이에 대응하는 절점 함수치 ϕ_i 로 변환하여 전 영역에서 성립하는 연립 방정식을 구한다. 또한, $[K][\phi] + [F] = [0]$ 의 행렬을 풀어 $\{\phi\}$ 의 계수 ϕ_i 를 구하면, 이에 대응되는 ϕ_{ie} 의 값을 $\phi^{(e)}(x,y)$ 를 결정한다.

한편, 경계치의 재설정을 위하여 본 시뮬레이션에서는 369개의 노드(node)와 x 개의 요소를 사용하였고, Dirich 경계 조건을 갖는 y 개의 노드에 경계치를 설정하여 계산을 수행하였으나 코로나 진전 경로 예측을 위한 반복 계산을 할 때에는 직전의 전개 분포 중 최대치를 갖는 영역에서의 코로나 생성을 가정하여 그 영역에 해당하는 절점에 전극과 같은 크기의 포텐셜을 재설정하였다. 다음의 그림 1에 시뮬레이션 알고리즘을 나타내었다.

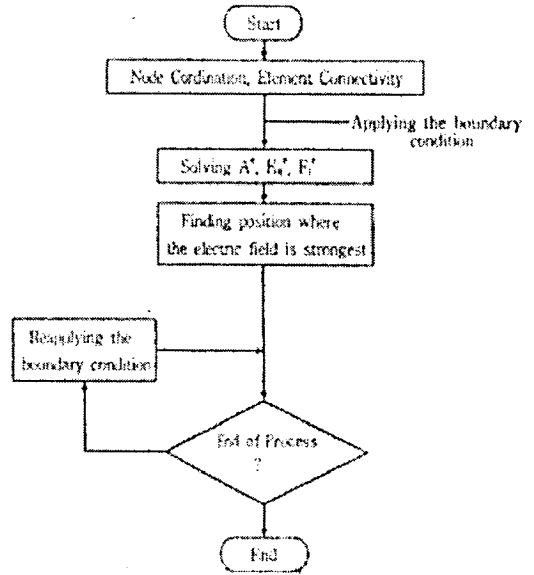


그림 1. 시뮬레이션 알고리즘

3. 실험 결과 및 검토

3-1. 대전 전압에 따른 TSC 스펙트럼

그림 2와 그림 3에 DC -8~+8[kV]의 코로나 전압으로 대전시켜 형성한 일렉트렛로부터 관측한 TSC 스펙트럼을 나타내었다.⁶⁾

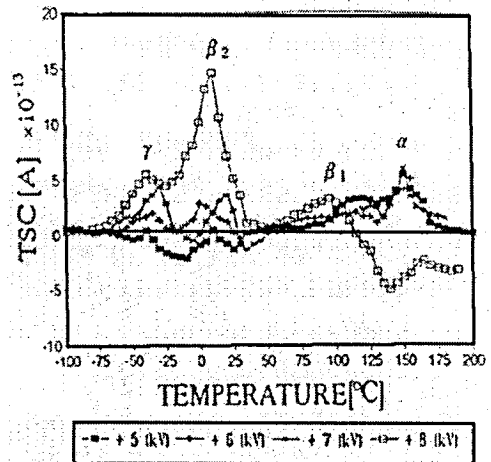


그림 2. 정(+) 코로나 일렉트렛의 대전 전압 의존성

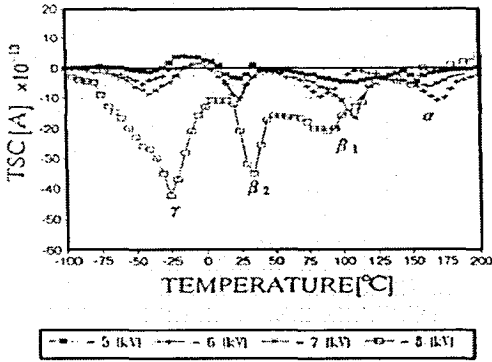


그림 2. 부(-) 코로나 일렉트렛트의 대전 전압 의존성

그림에서 볼 수 있는 것처럼 170, 90, 30 및 -40[°C]의 온도 부근에서 4개의 피크를 얻었으며, 이들을 각각 고온으로부터 α , β_1 , β_2 및 γ 피크라 한다. 이들은 열 일렉트렛트로 형성시켜서 관측한 각 피크들의 온도 영역과 아주 흡사한 영역에서 나타남을 확인할 수 있었는데, 이는 분자쇄의 거동과 밀접한 관계가 있다. 한편, 부(-) 코로나로 대전된 일렉트렛트로부터 관측한 TSC 스펙트라에서, -8[kV]의 전압으로 대전시켰을 때, 각 피크들의 진폭이 월등히 큼을 알 수 있었다.⁷⁾

3-2. 코로나 전진 과정의 공간적 시뮬레이션

그림 4, 그림 5, 그림 6, 그리고 그림 7에 -8[kV]의 정전압이 인가된 코로나 대전 장치에서의 전위 분포 변화와 코로나의 예상 경로를 나타내었다.

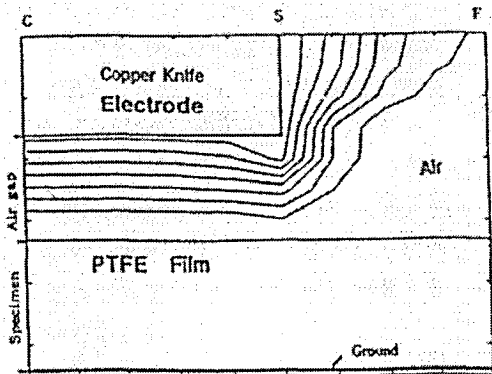


그림 4. 코로나 발생 전의 전위 분포

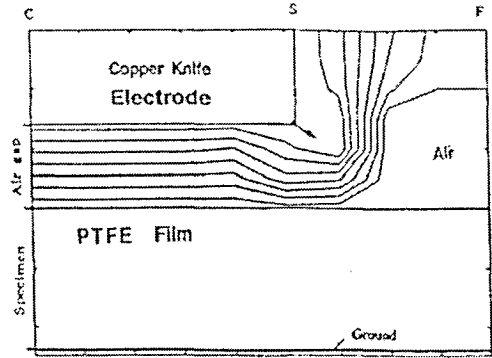


그림 5. 코로나 초기 발생 상태의 전위 분포

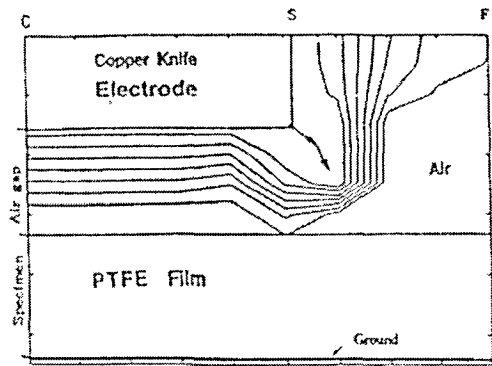


그림 6. 코로나 전진 상태의 전위 분포

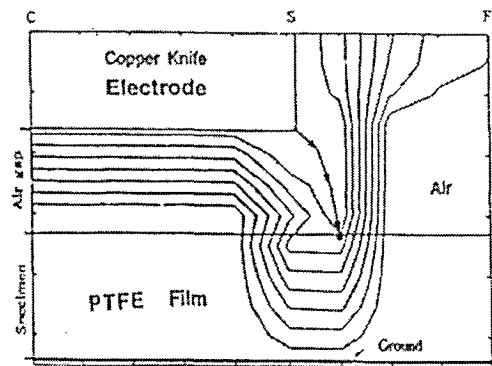


그림 7. 코로나가 시료에 도달 했을 때의 전위 분포

그림 4에서 나타난 전위 분포는 코로나가 발생하기 직전의 상태를 분석한 것인데, Dirich 경계 조건을 칼날 전극과 실린더 전극에만 주었고 공간 전하는 존재하지 않는다는 가정 하에 시뮬레이션

을 수행하였다. 이미 보고된 바¹⁵⁾와 같이, 칼날 전극의 모서리 부분에서 전위의 집중 현상이 심하게 나타났고 전계의 절대값 비교에서도 가장 큰 값이 얻어졌다.

그림 8에서는 칼날 전극의 모서리에서 A 지점까지의 전위 변화가 가장 급격함을 보여주고 있다. 그림 5에 나타난 전위 분포는 그림 4에서 가장 큰 전계값을 가지는 경로에 Dirich 경계 조건을 재설정하여 전체 계산을 순환시킨 것이었으며, 전계에 의해서 공기 중의 절연 파괴가 일어나는 것으로 분석하였다.

그림 5에 나타난 전위 분포는 그림 4에서 가장 큰 전계값을 가지는 경로에 Dirich 경계 조건을 재설정하여 전체 계산을 순환시킨 것이었으며, 전계에 의해서 공기 중의 절연 파괴가 일어나는 것으로 분석하였다.

그림 6에 나타난 전위 분포는 순서도에서 나타낸 바와 같이 Dirich 경계 조건의 재설정에 의한 전위 분포의 변동을 유도하여 과도 상태의 코로나 전진 상태를 나타낸 것이다. 코로나는 최단 경로와 더불어 칼날 전극의 윗부분으로부터의 영향에 의해 방향을 결정하는 것으로 사료된다.

그림 7에 나타난 전위 분포는 코로나가 시료에 도달하여 시료 내부의 전위 분포에도 상당한 영향을 주고 있음을 확인할 수 있고, 이로 인해서 절연 내력 이상의 전계가 유지되면 파괴에 도달할 것으로 사료된다.⁸⁾

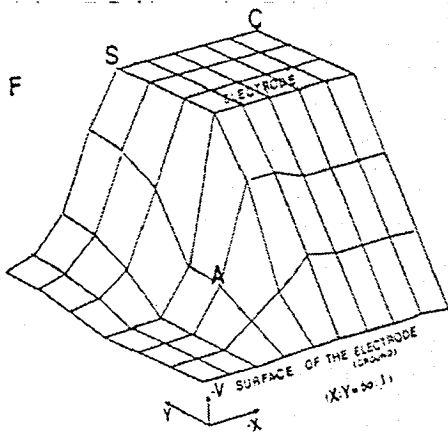


그림 8. 전위 변화

4. 결론

두께 100 [μm]인 PTFE에 DC ±5~±8[kV]의 코로나 전압으로 대전시켜 형성한 일렉트레트로부터 온도 범위 -100~+200 [°C]에서 TSC를 관측한 결과, -40, 30, 90 및 170 [°C]의 온도 부근에서 각각 α , β_2 , β_1 , 및 α 인 4개의 피크를 관측하였으며, FEM 방법을 이용하여 전위 분포를 시뮬레이션한 결과, 코로나의 공간적인 전진 과정을 예측하는 방법의 시도가 이루어졌고 동적 상태에서의 상태 해석을 위한 기초적인 방법을 제시하였다. 또한 시료의 코로나 전진 과정의 시뮬레이션과 이상적인 코로나 대전 장치의 설계를 통하여 시뮬레이션 결과의 효과적인 검증을 하기 위하여 순환 계산형 전극 형상 설계 시뮬레이터와 실험 환경의 이상화가 이루어져야 하며, 전극의 단효과(Edge Effect)로 인한 전계 불균형을 억제하기 위하여 전극의 말단 부분을 최적 공률로 제작하는 것이 필요하다.

참고 문헌

1. Heinz von Seggern : Identification of TSC Peaks and Surface Voltage Stability in Teflon FEP., J.Appl.Phys. 50, 4, pp.2817-2821, 1979
2. R.R. Haering et. E.N. Adams: Theory and Application of Thermally Stimulated Current in Photoconductor., Phys.Rev., 117, p.451, 1960
3. Gouri Dhatt and Gilbert Touzot: The Finite Element Method Displayed., pp.129-162, 1982
4. 里川, 米谷, 山田, 小泉 : ぶつ素樹脂, pp.1-46
5. G.M. Sessler: "Electrets", Springer-Verlog, Heidelberg , 1980
6. Heinz von Seggern : A New Model of Isothermal Charge Transport for Negatively Corona Charged Teflon., J.Appl.Phys. 50, 11, pp.7039-7043, 1979
7. 박건호: 코로나 대전된 PTFE 필름의 열자력 전류 특성에 관한 연구, 광운대 대학원 전기공학과 석사학위 논문, 1990
8. Tai-Yu Chou and Zoltan J. Cends: Tangential Vector Finite Elements for Semiconductor Device Simulation., IEEE Trans. CAD. Vol.10, No.9, pp.1193-1200, 1991