

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 일렉트레트 센서의 최적 전계 해석과 응용

A Study of Optimum Electromagnetic Field Analysis and Application of the Electret Sensor Using Computer Simulation

정동희	광운대학교 전기공학과
김상걸	광운대학교 전기공학과
김성렬	광운대학교 전기공학과
김용주	충주산업대학교 전기공학과
김영천	서울산업대학교 전기공학과
심상홍	삼척대학교 전기공학과
이준웅	광운대학교 전기공학과

Dong-Hoe jung	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Sang-Gul Kim	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Song-Yol Kim	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.
Yong-Ju Kim	Dept. of Electrical Eng., Chungju Industrial Univ.
Yong-Chun Kim	Dept. of Electrical Eng., Seoul National Polytechnic Univ.
Sang-Heung Shim	Dept. of Electrical Eng., Samchok National Univ.
Joon-Ung Lee	Dept. of Electrical Eng., Kwangwoon Univ.

Abstract

In this paper, Electret is formed to range voltage -5[kV] to -8[kV] by corona charging in PTFE film and sensor is manufactured by method of moments in sensing infra sonic.

Charges of charged film are calculated also TSC measurement and induced potential of sensing electrode according to the charges is become aware of computer simulation.

Electret Infra Sonic Transducer, which is designed and manufactured according to the potential and electric field simulation in using method of moments, is proved as it is effectively.

Because sensitivity that measured under 10[Hz] is that average value of sensitivity rising rate is 6.34 [dB/oct] as average value is ± 1 [dB/oct] range -5[kV] to -8[kV] in corona charging film.

As a result, it is believed that characteristic of acquired transducer can be application of medical treatment, industry, and animal life researches and the study of noise elimination, what's more, is required.

1. 서 론

본 논문에서 연구한 고분자 재료¹⁾는 학명 PTFE(Polytetrafluoroethylene)로써, 이 재료는 폴리머이다. 아직도 전하운동, 전하분포 그리고 전하 안정성에 관한 많은 연구²⁾가 진행되고 있다. 이 재료는 우수한 전하 저장 특성 때문에 일렉트레트의 응용, 즉 일렉트레트 필터, 초소형 마이크로 폰, 일렉트레트 정전기 릴레이³⁾ 등으로 많이 연구·이용되고 있다. 이 재료의 하전 입자를 규명하기 위하여 코로나로 대전 시킨 일렉트레트를 열자극 전류

(Thermally Stimulated Current) 방법을 이용하여 측정 하였으며, 주파수를 인가하여 초저주파 센서로써의 응용면에 관해서도 시도하였다. 이를 통하여 구한 여러 가지 물리적인 정수와 코로나 대전으로 인한 PTFE 필름의 양표면에서의 전하밀도가 균일하다는 가정하에 재료에 트랩된 전하량에 따른 유도 전위를 모우먼트법(Method of Moments)을 사용하여 공간적으로 분석하고 전위 분포도를 시뮬레이션 하였다.

2. 실험 방법

2-1 사용할 시료

본 논문에서 사용된 시료는 두께 100[μm]인 PTFE 필름인데, 이 시료는 열가소성 수지로서 용점(Melting Point)은 327[$^{\circ}\text{C}$]이며, 단량체는 $[-\text{CF}_2-\text{CF}_2-]_n$ 이다.

PTFE는 절연내력이 좋고 내화학성 및 비접착성도 우수하고 비교적 기계적 가공성도 우수한 특성을 갖는 재료로써 C-F 결합력(114.76 [kcal/mole])이 크고, F원자가 C-C 결합 (6~79.8[kcal/mole]) 주위에서 공간을 회전하면서 조밀하게 충전되어 있기 때문에 내침투성도 매우 우수하다.

2-2 측정 시스템

초저주파 진동을 측정하기 위해서는 Chamber를 사용해야 하는데 이는 저주파 진동의 특성상 모든 면을 동일한 압력으로 작용하므로 오차가 클수 있다. 따라서 본 실험에서는 이런 오차를 최소화 하기 위하여 Chamber를 두고 스피커와 센서를 그림 1과 같이 구성 하였다.

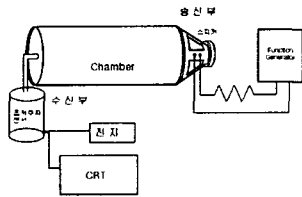


그림1. 측정 시스템

Fig 1. Measurement System

Function Generator는 출력 임피던스가 매우 낮기 때문에 스피커에 직결하는 경우 주파수에 따라 스피커에 흐르는 전류가 변한다. 즉 주파수가 낮은 경우에 임피던스가 0[Ω]에 접근 하므로 100[Ω]무유도 저항기를 직렬로 연결하면 낮은 주파수에서 Function Generator에서 정전류 형태로 스피커를 구동 시킬수 있다.

초저주파 센서는 낮은 주파수의 경우 Pipe를 통하여 초저주파 진동을 센싱 할수 있으며 특히 외부의 높은 진동에 대하여 감도가 저하된다. 그러나 초저주파 센서의 전면판을 제거시킨 경우 직접 진동파를 센싱할수 있으므로 주파수 특성이 매우 넓어진다.

2-3. 실험 방법

1) 코로나 대전

- ① 시료와 칼날 전극간의 거리를 0.5[mm]로 유지시킨다.
- ② 원통형 Al 전극에 시료를 장착한다.
- ③ 슬라이더의 출력 전압을 94.5[V]로 조정한다.
- ④ 원통형 Al 전극을 3[cm/sec]의 속도로 회전시킨다.
- ⑤ 암실에서 -5 ~ -8[kV]의 직류 전압을 인가한다.

2) TSC 측정

- ① 일렉트레트로 형성된 시료를 항온조내의 상부 전극과 하부 전극 사이에 고정 시킨다.
- ② 항온조내를 진공으로 유지한 후 질소 가스를 넣어서 대기압을 만든다.
- ③ 액체 질소를 이용해서 온도를 급냉 시킨다.
- ④ 5[$^{\circ}\text{C}/\text{mir.}$]의 일정 속도로 온도를 일정하게 올리면서 TSC를 측정한다.

3) 초저주파 감지

- ① 일렉트레트로 형성된 시료를 초저주파 센서에 고정 시킨다.
- ② 초저주파 센서와 Chamber를 연결한다.
- ③ Chamber에 초저주파를 인가한다.
- ④ 감지된 초저주파를 오실로 스코프를 이용하여 측정 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 실험결과

1) TSC 측정

3[cm/sec]의 속도로 각각 -5[kV], -6[kV], -7[kV], -8[kV]로 코로나 대전 시킨 경우 각각의 전체 전하량을 Q_{-5kV} , Q_{-6kV} , Q_{-7kV} , Q_{-8kV} 이라고 하면 전체 전하량은 다음과 같다.

$$Q_{-5kV} = 0.562 \times 10^{-9} [C]$$

$$Q_{-6kV} = 1.293 \times 10^{-9} [C]$$

$$Q_{-7kV} = 1.771 \times 10^{-9} [C]$$

$$Q_{-8kV} = 5.288 \times 10^{-9} [C]$$

2) α , β , γ 피크 분석

코로나 대전장치⁴⁾를 이용하여 상부의 칼날 전극과 시료(PTFE) 사이에 0.5[mm]의 공극을 유지 하면서 실온에서 상부 전극과 시료의 하부 사이에 -5[kV]에서 -8[kV]의 코로나 전압으로 시료에 대전시켜 형성한 일렉트레트로로부터 TSC를 측정 한 결과

α , β_1 , β_2 그리고 γ 파크의 4개의 TSC 스펙트럼이 각각 170[°C], 90[°C], 35[°C] 및 -20[°C]의 온도 부근에서 관측되었다.

3-2. 저주파 응답특성 비교

1) 응답특성곡선

그림2는 코로나 대전 전압별 응답 특성 곡선을 구한 것으로 코로나 대전에 의한 전하량이 큰 시료에서 센싱 출력전압이 높게 나타남을 보여주고 있다.

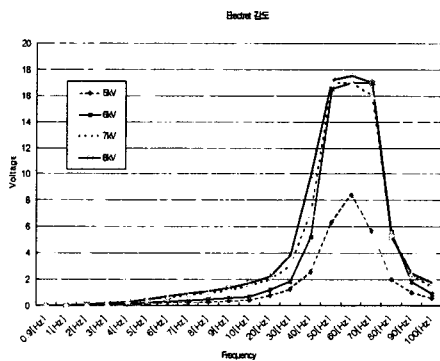


그림2. 코로나 대전 전압별 응답 특성 곡선
Fig 2. Response Curve for Each Corona Charge Voltages

검출기의 검출 감도는 코로나 대전 전압에 비례하여 그 감도가 높아 지는데 이는 대전 전압이 높을수록 시료에 트랩된 전하량이 많기 때문이다.

10[Hz] 이상의 특성은 매우 가파른 감도 증가를 하다가 65[Hz] 부근에서 최대가 되고 이어서 급속히 감도가 하강하는데 이는 특성 측정을 위한 챔버 및 시료의 공진 특성에 의한 것으로 판단된다.

그림3은 인간의 감지 범위에서 벗어난 저주파 영역의 일렉트렛트의 감도를 나타내고 있다.

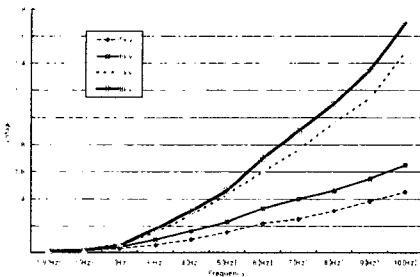


그림3. 저주파 영역의 감도측성
Fig 3. Sensitivity of Low Frequency

10[Hz] 미만에서는 완만한 특성을 가지는데, 이는 저주파 및 초저주파 특성을 유효하게 측정할수 있음을 보여주고 있다.

또한 10[Hz] 미만에서는 감도 상승률이 평균 6.34 [dB/oct] 로서 -5 [kV]에서 -8[kV]까지 코로나 대전후 측정된 값들은 평균값에서 ± 1 [dB] 이내 이므로 초저주파 검출기로서 유효함을 입증하였다.

2) 공진 주파수 및 감도의 측정 결과

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P_0}{SM}} \quad [\text{Hz}] \quad (\text{식 1})$$

(식1)에서 P_0 의 크기는 약 $10^5 [P_a]$, $S=11.5 [cm]$, $M=0.04842 [g/cm^2]$, 를 대입하여 계산한 공진 주파수 f_r 를 구한 결과 67.4[Hz]로서 실험에서 구한 측정된 공진 주파수는 65[Hz]에서 최대가 되어 거의 일치하며, 주파수가 계속 증가하여도 출력 감도는 감소한다.

전기적 공진 주파수와 기계적 주파수의 차이는 시료의 실제적인 두께, 실제 시료의 유효 면적 등에서 발생되는 오차로 추정된다.

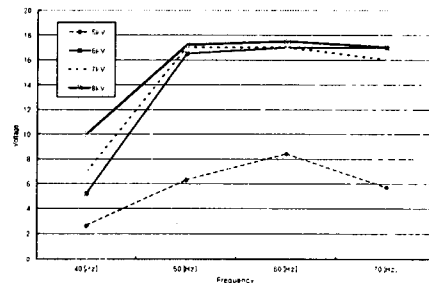


그림4. 공진 주파수 부근에서의 감도
Fig 4. Sensitivity of Resonance Frequency

3-3. 컴퓨터 시뮬레이션

1) 코로나 대전상태의 시뮬레이션

그림 5는 코로나 대전시의 등전위선 분포를 나타내고 있다. 칼날 전극의 전압을 -8[kV]의 전위로 대전시켰다.

물질의 특성값으로는 PTFE 필름의 비유전율 $\epsilon_{PTFE}=2.5$, PET 필름의 비유전율 $\epsilon_{PET}=3.3$, 공극의 비유전율 $\epsilon_{air}=1$, 로 하였다.

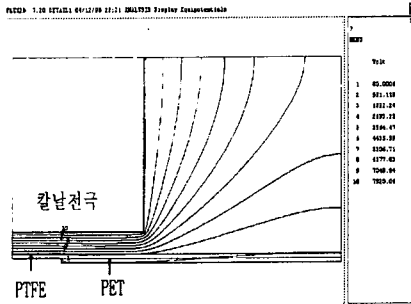


그림5. 코로나 대전시의 등전위선
Fig 5. Potential Lines of Corona Charging

그림6은 칼날 전극과 PTFE 필름 사이의 전력선을 나타내고 있다.

또한 전력선의 방향으로 보아서, PTFE 필름에 보이드(Void)가 없다고 가정하면 일렉트렛 형성용 PTFE 필름 아래 부분의 전극과 절연용 PET 필름 사이에서 시료의 파괴가 일어남을 알 수 있다.

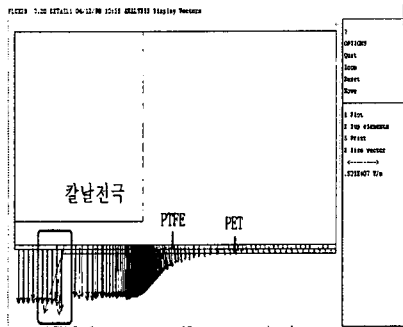


그림6. 코로나 진전 과정의 시뮬레이션
Fig 6. Simulation of Corona Charging

그림7은 전하량에 따른 센서 내부의 전력선 분포를 나타내고 있다. 전하량 Q[C]을 가진 PTFE 필름이 진동하므로써 감지 전극에 유도되는 전위차를 얻을 수 있다.

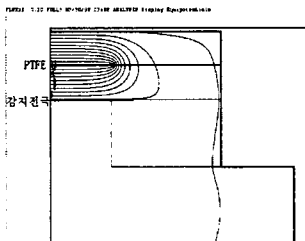


그림7. 센서 내부의 등전위선 분포
Fig 7. Distribution of Sensor Internal Equipotential Line

4. 결론

PTFE 필름을 소재로 한 코로나 대전 및 감도 측정과 전위·시뮬레이션을 하여 설계 제작한 Electret 초저주파용 변환기의 인가 음압에 대한 주파를 측정 한 결과,

- 1) 3[cm/sec]의 속도로 각각 -5[kV], -6[kV], -7[kV], -8[kV]로 코로나 대전시킨 경우에 각각의 전체 전하량을 Q_{-5kV} , Q_{-6kV} , Q_{-7kV} , Q_{-8kV} 이라고 하면 전체 전하량은

$$Q_{-5kV} = 0.562 \times 10^{-9} [C]$$

$$Q_{-6kV} = 1.293 \times 10^{-9} [C]$$

$$Q_{-7kV} = 1.771 \times 10^{-9} [C]$$

$$Q_{-8kV} = 5.288 \times 10^{-9} [C] \text{ 이었다.}$$

- 2) TSC 스펙트럼 분석 결과 170[°C], 90[°C], 35[°C], -20[°C]의 온도 부근에서 α , β_1 , β_2 및 γ 인 4개의 TSC 피크가 관측 되었다.

- 3) 10[Hz] 미만에서는 완만한 특성을 가지는데, 이는 저주파 및 초저주파 특성을 유효하게 측정할 수 있음을 보여주고 있다. 또한 10[Hz] 미만에서는 감도 상승률이 평균 6.34 [dB/oct] 로서 -5[kV]에서 -8[kV]까지 코로나 대전후 측정된 값들은 평균값에서 ± 1 [dB] 이내 이므로 초저주파 검출기로써 유효함을 입증하였다.

- 4) 전하량에 따른 센서 내부의 전력선 분포를 구하였다. 전하량 Q[C]을 가진 PTFE 필름이 진동하므로써 감지 전극에 유도되는 전위차가 수 [mV] 임을 확인할 수 있었다.

- 5) 본 변환기의 특성을 이용하여 의료, 공업, 동물 등의 연구에 응용이 가능 하리라고 사료되며, 잡음의 제거를 위한 연구가 더욱 필요하다고 사료 된다.

5. 참고 문헌

- 1) 田島守隆; “高分子科學教科書”, 東京電機大學出版局, 昭和53, 日本.
- 2) IEEE”, Vol. 3 No.5, pp.612~ 619, October 1996.
- 3) THE IEEE DIELECTRICS AND ELECTRICAL INSULATION SOCIETY; “8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRETS”, pp.955~ 960, pp.961~966, 1994.
- 4) 이준웅; “코로나 대전된 폴리에틸렌 일렉트렛의 열자격 전류”, 대한전기학회, 32, pp.239~ 246, 1983.