

유전체 장벽에 있어서의 공간전하의 영향에 관한 연구

박인혁 남석현 권윤혁 한민구  
 서울대학교 전기공학부 전기재료 실험실

A Study on Space Charge Effects in Dielectric Barrier Discharge

I.H.Park, S.H.Nam, Y.H.Kwon, and M.K.Han  
 School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

본 연구는 펄스 정전 용력법을 이용하여 공간전하분포를 교류전압 하에서 측정하였다. 이와 동시에 교류고전압에서의 방전발생과 방전패턴의 변화를 측정하고, 공간전하분포와 방전과의 상관관계를 분석하였다.

교류 전압에서의 공간전하는 교류 한 주기를 18° 간격으로 등분하여 각 위상에서 그 분포를 측정하였으며, 공간전하분포와 방전패턴 사이의 관계를 분석하였다. 실험 결과 유전체 장벽 방전이 많이 일어나는 위상에서의 공간전하분포 역시 크게 변하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 사실을 통해 공간전하분포 특성이 유전체 장벽 방전 특성의 연구에 있어서 중요한 부분임을 알 수 있다.

1. 서 론

최근 들어 지은 플라즈마를 이용한 오염물질 분해 방법, 엑시머(excimer)UV소스(source) 그리고 PDP(plasma display panel)등에서 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge)에 관한 관심이 급증하고 있으며 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

유전체 장벽 방전을 이용한 방법은 대부분의 다른 방법에서 사용되고 있는 인가 전압 펄스로 전계의 과도현상을 조절하는 것과는 달리, 유전체층에 축적된 공간전하가 국부전계를 감소시켜 플라즈마가 자체 소멸되는 특성을 응용하여 보다 간단한 전력공급원의 설계가 가능해지는 장점을 가지고 있다. [1] 고전계 영역에서는 유전체에서의 공간전하 형성에 의해 전도특성 및 외부에서의 방전이 상당히 영향을 받는 것으로 알려져 있다. [3][4] 따라서 전도와 방전특성을 이해하기 위해서는 공간전하분포를 전도전류의 측정과 동시에 행해야 할 필요가 있으며, 특히 교류전압 인가 시 전극과 유전체 사이에 공기층이 삽입된 경우에 각 위상에 따른 공간전하분포의 변화를 측정하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 교류전압 인가시의 공간전하분포 및 방전패턴을 동시에 측정함으로써 유전체 장벽 방전에서 공간전하의 축적과 이에 따른 방전특성의 변화에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장비의 설치

최근까지 교류전압 하에서 유전체 내의 공간전하분포를 측정하는 것은 거의 불가능한 것으로 알려져 있었다. 그런데 최근 Ying Li 등에 의해 입력펄스를 교류전압의 임의의 위상에서 중첩시켜, 교류전압 하에서 유전체 내의 공간전하 분포를 측정하는 방법이 제안되었다 [6][7] 그림1은 교류 인가시 측정시스템이다.

기존의 일본의 Takada 등에 의해 제작된 펄스정전압력법에 의한 시스템이 직류전압하에서 유전체 내의 공간

전하분포의 측정만을 목적으로 한 반면에, [5] 본 연구에서의 측정시스템은 직류 및 교류전압 하에서의 유전체 내의 공간전하 뿐만 아니라 하부전극에 가드(Guard) 전극과 스위치를 설치하여 충·방전시에 흐르는 전류를 동시에 측정할 수 있도록 개선한 시스템이다.

공간전하에 변위를 주기 위한 입력으로서는 자체 제작한 펄스발생기를 사용하여 크기가 3kV, 폭이 약 5~20ns인 전압펄스를 사용하였으며, BNC 케이블(특성 임피던스가 50Ω)을 사용하여 150Hz의 비율로 시료에 인가하였다. 이러한 입력신호에 의해 유전체와 전극에서 발생한 압력파는 각각 Delay-line을 통과하여 하부전극 하단에 설치된 검출셀에서 전압신호로 바뀌게 된다. 그리고, 이 출력신호를 광대역 증폭기인 BX-31 (bandwidth : 0~75MHz, Gain:10, R<sub>a</sub>:1MΩ) 또는 HP8447F (bandwidth : 0.1~1300MHz, Gain : 47dB, R<sub>a</sub> : 50Ω)를 사용하여 증폭하였으며, 증폭된 신호는 oscilloscope (TK510A)로 측정된 후 GPIB를 통하여 PC로 data를 저장하였다. 압전소자로서는 두께가 약 9μm인 PVDF를, Ringing 현상을 방지하기 위한 absorber로서는 PE 계열의 고분자를 사용하였으며 압력을 가변시켜가며 정합시키는 방법을 사용하였다.

입력펄스와 동기화를 위한 oscilloscope의 trigger 신호로서 입력신호를 분압하여 사용하였으며, 출력신호의 S/N 비를 향상시키기 위하여 oscilloscope에서 약 1024회의 평균화 처리를 실시하였다. 한편, 전도전류의 측정은 pico 전류까지 측정이 가능한 디지털전류계 (Keithley 617)를 사용하여 측정하며, GPIB에 의해 PC에 data를 기록하였다.

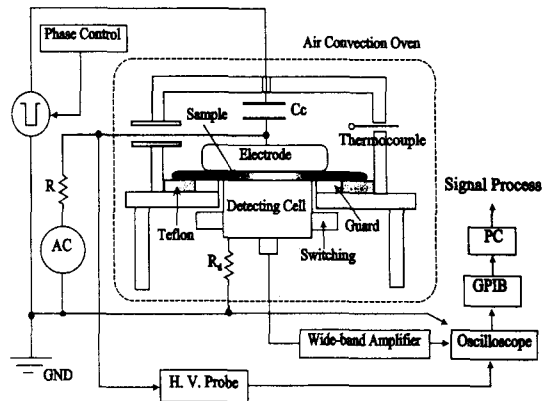


그림1. 교류전압 하에서의 측정시스템의 개략도

2.2 실험 방법

본 실험에서는 교류전압 하에서 유전체장벽 방전시 시료에 쌓이는 공간전하를 측정하여 이들의 유전체 장벽

방전 패턴을 측정하여, 공간전하분포의 특성과 비교하였다. 시료는 XLPE (Cross-linked Polyethylene)를 선정하였고, 두께는 모두 600 $\mu$ m~700 $\mu$ m이다

교류전압 하에서의 공간전하 측정은 그림1에서 보는 바와 같이 펄스정전용력법에 의한 공간전하 측정시스템에 위상제어기를 부착하여 입력펄스를 정현파의 임의의 지점에서 동기적으로 발생 및 중첩하여 교류전압하에서도 시료 내의 공간전하분포 측정하였다. 또한 위상을 0°에서 360°까지 18° 간격으로 변화시켜 가며 3kV, 5~20ns의 입력펄스를 각 사이클당 1회 간격으로 인가하며 각 위상에서의 공간전하분포를 측정하고, 유전체장벽 방전에의 적용을 위하여 실제로 하부 전극 위에 유전체를 부착하고 그 위에 공기층(1mm)을 삽입하여 고전압 하에서의 방전을 측정하고 이와 동시에 각 전압에서의 공간전하를 측정하였다. 그림2에는 교류전압 인가시의 동기펄스와 그에 따른 공간전하 측정 위상을 표시하였다.

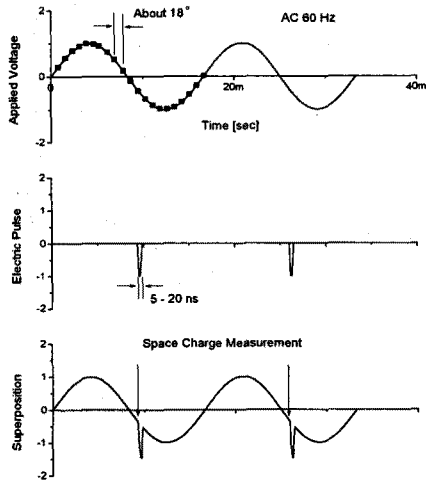


그림2. 교류전압과 입력펄스의 중첩

그림1의 측정시스템의 검출 셀에서 검출된 전압신호는 매우 미약한 신호로서 증폭기를 통하여 약 70dB로 증폭되어 oscilloscope에 전달된다. 이렇게 얻어진 신호는 앞 절에서 언급한 바와 같이 불안정한 차폐에 의한 접지 노이즈뿐만 아니라 압전소자의 H(f), 증폭단의 A(f)와 W(f), 펄스 입력 단계에서의 임피던스 부정합, 콘덴서의 주파수 특성, BNC 케이블에서의 감쇄 및 분산, 압전소자에서의 Ringing 현상 등에 신호의 왜곡이 발생한다. 따라서, 순수한 공간전하에 의한 신호만을 구하는 것은 매우 어렵고, 수학적 처리를 요한다.(8)

본 연구에서는 이러한 측정 전압신호에서 공간전하분포를 구하기 위하여 보정작업을 하였다. 말하자면, 측정 신호에서 S/N 비를 향상시키기 위하여 oscilloscope에서 약 1024회 정도의 Averaging을 하였으며, PC에서 S/W적으로 측정신호에서 불필요한 신호를 필터링에 하여 제거하였다. 또한, 공간전하가 거의 형성되지 않는 기지의 저전계에서 얻어진 측정 전압신호로부터 비례상수 G<sub>0</sub>를 구하여 전압신호를 전하밀도로 보정하였으며, 공간전하신호에서의 왜곡은 deconvolution과정을 통하여 보정하였다. 그리고, deconvolution 처리는 입력파형을 교정하는 방법을 사용하였으며, inverse Fourier 변화 시에는 약간의 weighting을 주는 방법에 의해 변환효율을 향상시켰다.

## 2.3 실험결과 및 분석

시료의 유전체 장벽 방전에서의 방전패턴과 공간전하분포를 측정하여 이를 비교·분석하였다. 유전체 장벽 방전의 조건을 위해서 시료 위에 폴리머 스페이서를 사용하여 1mm의 공기층을 삽입시켰고, 인가전압으로 교류 60Hz, rms 5kV의 전압을 인가하였다. 위상제어기를 통하여 0°에서 360°까지 18° 간격으로 변화시키며 3kV, 5~20ns의 입력펄스를 각 사이클당 1회 간격으로 인가하여 각 위상에서 측정하였다.

방전패턴의 측정은 같은 인가 전압 하에서 인가전압과 방전패턴을 동시에 측정하여 각 위상에 따른 방전의 정보를 얻고자 하였다. 일반적으로 유전체 장벽 방전 시 전계가 높아짐에 따른 영향은 전계가 증가함에 따라 방전전류의 크기가 비례적으로 증가하지는 않으며 일정한 값에 이르러 포화되는 경향을 보인다. 실제로 방전이 일어날 경우 방전이 어느 정도 포화되어 있을 때, 인가전압이 증가해도 그 크기는 더 이상 증가하지 않아 아크로의 진전을 막아주며, 이 때의 방전에너지가 주위분자의 이온화에 기여하게 된다.(2) 여기서 방전전류의 포화는 전압 인가시 유전체에 축적되는 공간전하에 의한 전계감소에 따라 나타나는, 즉 유전체 장벽 방전의 특성을 보이는 것이다.

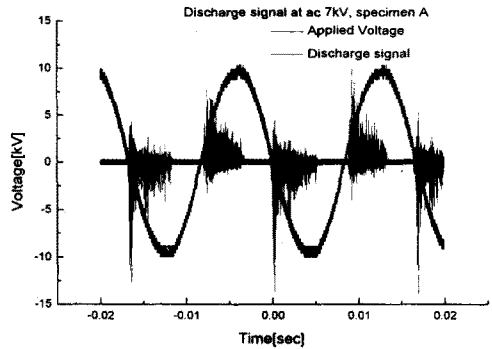


그림3 교류전압 5kV 인가시 방전패턴

그림3은 시료에 rms 5kV, 60Hz의 교류전압을 인가했을 때의 방전패턴을 나타낸 것이다. 양의 반주기에서 방전이 시작하는 위상이 음의 반주기보다 늦은 유전체 장벽 방전의 전형적인 모습을 보인다. 음의 반주기 영역에서는 대체적으로 작은 위상각에서 방전이 끝나며, 좁은 방전 위상영역을 갖고 있음을 알 수 있고, 방전 종료 위상이 큰 것을 알 수 있다. 양의 반주기에서는 방전이 시작된 위상각 부분에 비교적 전류값이 큰 방전이 일어난다. 이러한 특징을 각각의 위상각에서 측정된 공간전하분포의 모습을 통하여 그 관련성을 설명하고자 한다.

그림4,5는 교류인가전압 5kV 시 공간전하분포를 나타냈다. 여기서 그래프의 오른쪽이 시료의 애노드 쪽, 즉 공기층과 닿아 있으며 전압이 인가되는 부분의 공간전하를 나타내고, 그래프의 왼쪽이 시료가 캐소드(cathode)에 접촉된 부분이다.

앞에서 언급한 바와 같이 음의 반주기(negative half cycle)에서 방전 종료 위상이 큰 경향을 갖는다. 이는 그림 5를 통해서 확인할 수 있었다. 198°에서 252° 사이에서 애노드 쪽에 공간전하분포의 변화를 보이고 이러한 사실은 앞의 그림 3에서의 방전패턴과 일치한다. 198°에서 252° 사이에서 애노드 쪽에 공간전하분포의 변화를 보이고 이러한 사실은 앞의 그림 5에서의 방전

패턴과 일치하는 경향을 갖는다. 양의 반주기(positive half cycle)에서는 앞에서 언급한 방전패턴의 특징들을 그림 4를 통해서 확인하였다.

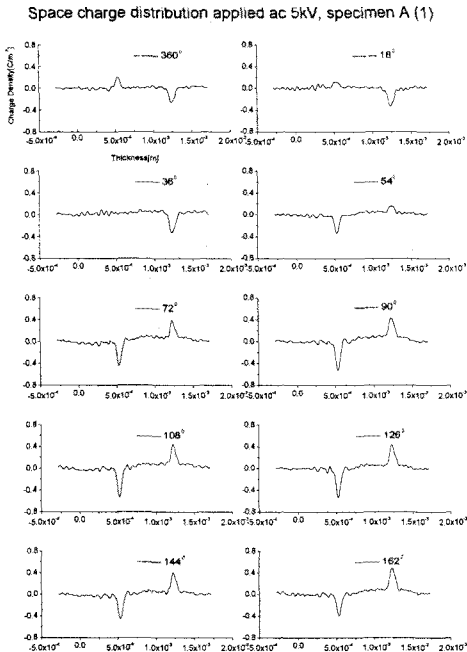


그림4 5kV에서 양의 반주기동안의 공간전하분포

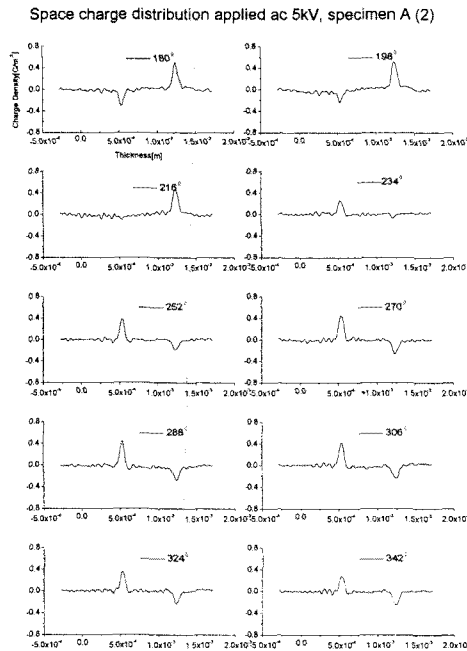


그림5 5kV에서 음의 반주기동안의 공간전하분포

가장 큰 변화를 보이는 곳은 위상각 36°와 54° 사이이고, 다른 방전패턴의 모습을 공간전하분포를 통해 확인하기는 어렵다. 이는 위상각 36°와 54° 사이에서의 여러 위상각에 대한 공간전하분포의 측정을 통해서 확인할 수 있을 것이다.

한 가지 아쉬운 점은 방전패턴에 대한 보다 정확한 분석을 위해서는 방전신호의  $\varphi$ (위상각)- $q$ (전하량)- $n$ (방전회수)의 분석과 다양한 인가 전압하에서 실험이 더 필요하다. 이러한 실험을 통한 보다 정밀하고 분석적으로 공간전하와 유전체 장벽 방전사이의 관계를 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3. 결 론

펄스 정전 용력법을 개선하여 교류 전압 인가시의 공간전하분포를 측정하고, 교류 고전압에서의 방전패턴을 동시에 측정하여 공간전하분포와 방전과의 관계에 대하여 분석하였다. 유전체 장벽 방전에서의 공간전하의 영향은 그 방전특성에 중요한 영향을 미치는 변수지만, 지금까지 교류 전압 하에서의 공간전하분포측정에 관한 어려움으로 그 연구가 매우 미흡한 실정이며, 본 실험은 그러한 의미에서 큰 의의를 갖는다.

방전패턴에 따라서 공간전하분포는 많은 변화를 보이며 이들 사이에는 밀접한 관련이 있음을 실험을 통하여 확인할 수 있었다. 특히, 어떤 위상각에서의 큰 방전이 일어날 경우, 그 위상각에서의 공간전하의 분포 역시 크게 변하는 모습을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 유전체 장벽 방전은 공간전하분포로 분석 가능함을 알 수 있었다. 이를 통하여 유전체 장벽 방전에서 공간전하분포는 그 특성을 좌우할 정도로 중요한 변수임을 확인할 수 있었다.

향후 유전체장벽방전을 이용한 공해물질 분해 또는 PDP 분야에서, 역시 그 효율을 결정하는 데에 있어서 공간전하분포의 측정을 통한 또는 특정한 공간전하분포를 지닌 유전체의 선정에 의하여 그 효율을 최대화 할 수 있을 것으로 기대된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] S. K. Dhali and I. Sardja, "Dielectric barrier discharge for processing of SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>", J. Appl. Phys., Vol. 69, pp. 4409-4417, 1991.
- [2] R. P. Dahiya, S. K. Mishra and A. Veeffkind, "Plasma Chemical Investigations for NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> Removal from Flue Gases", IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol. 21, pp. 346-348, 1993.
- [3] R. Patsch, "Space Charge Phenomena in Polyethylene at High Electric Fields", J. Phys., Vol. 23, pp. 498-505, 1990.
- [4] K. C. Kao, W. Hwang, Electrical Transport in Solids, Chapter 2-5, Pergamon Press, 1981.
- [5] T. Maeno, H. Kushibe, T. Takada, C. M. Cooke, "Pulsed Electroacoustic Method for the Measurement of Volume Charges in E-Beam Irradiated PMMA", Ann. Report CEIDP, pp. 681-687, 1985.
- [6] R. Liu, T. Takada and N. Takasu, "Pulsed Electro-acoustic Method for the Measurement of Space Charge Distribution in Power Cable under DC and AC Electric Field", J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 26, pp. 986-993, 1993.
- [7] Y. Li, J. Kawai, M. Zablan, Y. Ebinuma, Y. Fuziwara, M. Aihara, Y. Tanaka and T. Takada, "Space Charge Distribution in Polyethylene Sheet with Water Tree", 일본전기학회 유전·재료연구회, DEI-95-36, 1995.
- [8] T. Mizutani, "Space Charge Measurement Techniques and Space Charge in Polyethylene", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 1, No. 5, pp. 923-932, 1994.