

**유전체장벽방전효과를 이용한 공해물질 제거 효율에 미치는
공간전하의 영향 분석**

남 석현, 전 승익, 이 동영+, 이 준호*, 한 민구
서울대학교 전기공학부, +위덕대학교 전기공학과, *호서대학교 전기공학과

**Analysis of Effects of Space Charge in Removal efficiency of Pollutant
using Dielectric Barrier Discharges**

S.H. Nam, S.I. Jeon, D.Y. Lee+, J.H. Lee*, M.K. Han
School of Electrical Engineering in Seoul Nat' l Univ., +Dep. of Electrical Engineering in Uiduk Univ.
*Dep. of Electrical Engineering in Hoseo Univ.

Abstract - In this work, the effects of space charge was analyzed in removal efficiency of pollutant using dielectric barrier discharges. In order to investigate effects of space charge, two dielectrics(XLPE and TR-XLPE) was chosen which are different in space charge distribution. The simultaneously measurement of space charge and discharge current was carried out in XLPE and TR-XLPE with air gap by Pulsed-Electro-Acoustic Method in ac. Also, the removal efficiency is measured by classical ozone generator(von Siemens 1875).

From the experimental results, we knew that the space charge distribution affects the discharge patterns. The more space charge is in surface, the quickly discharge initiates and the magnitude of discharge is increased when polarity changes. And these affect the removal efficiency of pollutant.

XLPE(약 560 μ m)와 TR-XLPE(약 560 μ m)를 사용하였고, 공기층은 두께가 약 1.3mm정도이다. 또한 공기층에서의 Edge효과에 의한 영향을 제거하기 위하여 Spacer 중앙에 하부전극(2cm)보다 약간 큰 구멍(3cm)을 펀칭(punching)하여 공기층을 형성시켰다. 하부전극으로는 carbon black이 함유된 반도체성 고분자를, 상부전극으로는 알루미늄을 각각 사용하였다. 그 전극구조를 그림2-1에 나타내었다.

1. 서 론

최근 유전체장벽방전(Dielectric barrier discharge)을 통해 방전시 발생하는 가속전자와 공해가스분자 사이의 충돌이온화 작용을 이용한 공해물질 제거에 관한 관심이 국내외적으로 고조되고 있다. 이러한 연구는 온실효과를 초래하는 SOx, NOx등의 공해가스에 유전체장벽방전을 이용한 오존(O₃)을 발생시켜 이들의 물리, 화학적 작용으로 이산화탄소(CO₂)나 수증기(H₂O), 해롭지 않은 다른 가스 또는, 분해되기 쉬운 가스로 만드는 것이다.

그러나, 이러한 연구들에 있어서 유전체 내부에 쌓이는 공간전하(Space charge)로 인한 부분적인 전계감소효과만을 논하고 있을 뿐, 공간전하의 실 측정이나 공간전하와 이에 따른 실제 전계감소량이나 이에 따른 방전 형태의 변화와 이것들이 공해물질제거 효율에 미치는 영향을 규명한 논문은 거의 발표되지 않았다.

본 논문에서는 공간전하 형성이 다른 두 유전체(XLPE TR-XLPE)를 이용하여 이들에 형성되는 공간전하를 교류에서 측정하였으며 이에 따른 전계변화가 방전에 미치는 영향을 고찰하였다. 그리고, 고전적인 오존발생장치(von Siemens 1857)를 통해 공해물질 제거 효율을 측정하고 공간전하의 분포와 방전 형태, 이것이 공해물질 제거 효율에 미치는 영향을 분석하였다. 공간전하는 전극과 유전체 사이에 공해물질이 지나가는 공기층을 두고 펄스정전용력법(PEA)을 이용하여 측정하였다.

2. 본 론

2.1 공간전하와 방전전류 측정셀의 전극구조
본 연구에 사용된 시료는 공간전하 형성이 다른

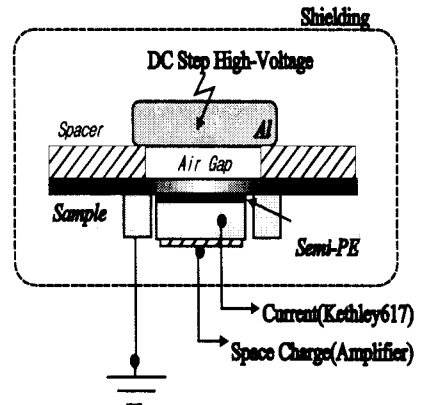


그림 2-1 전극구조의 개략도

2.2 분해가스 측정셀의 구조

분해 가스 측정셀의 구조는 보통 평판 또는 원통형을 쓰며, 유전장벽을 한쪽 혹은, 양쪽 모두 쓴다. 본 실험에서 쓰인 셀의 구조는 그림 2-2에 보는 바와 같이 평판구조에 한쪽에만 유전장벽을 사용한 구조를 사용하였다. 유전장벽으로 사용한 물질은 공간전하분포가 다른 XLPE와 TR-XLPE를 사용하였으며, 전압원으로는 3kV 5kV, 7kV 60Hz 교류전원을 사용하였다.

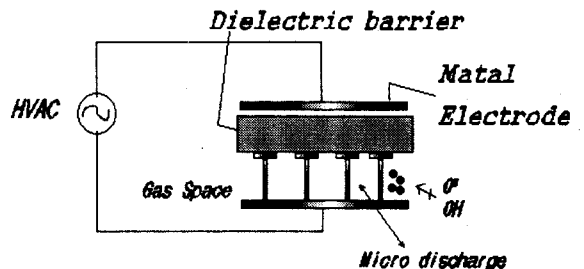


그림 2-2 분해가스 측정셀의 구조

2.3 실험방법

공간전하와 방전전류는 그림 2-1에 보는 바와 같이 Takada등에 의해 제안된 펄스전용력법(PEA)법을 개선했던 측정시스템을 사용하였다. 실험은 상온(25 °C) 및 AC 3kV, 5kV, 7kV의 전압을 인가하면서 방전전류 및 공간전하를 측정하였으며, 공간전하를 측정하기 위한 입력전압펄스의 크기와 폭은 각각 -1kV, 16ns이었다. 공간전하분포는 위상제어기를 통해 0~360°에서 약 18° 간격으로 측정하였으며, S/N비를 향상시키기 위하여 약 1000회의 평균화와 보정처리(deconvolution)를 실시하였다. 분해가스 효율실험은 그림 2-2의 셀을 사용하였고, 가스 분출구에 가스성분측정기를 연결하여 셀 전과 후의 값을 비교하였다. 전원은 역시 같은 조건에서 측정하였다.

2.4 실험결과 및 분석

2.4.1 공간전하분포와 방전 전류와의 관계

그림 2-3은 PD가 개시되기 전인 AC 3kV에서의 XLPE 측정결과로서, 용량성(capacitive) 전압분포를 나타낸다. 즉, PD에 의한 공간전하의 축적이 발생하지 않아 인가전압은 공기와 XLPE의 정전용량(capacitance)성분에 의해 분압된다.

$$\sigma_a = -(\sigma_f + \sigma_n) [C/m^2], E_s = \frac{\sigma_f}{\epsilon_0}, E_a = -\frac{\sigma_n}{\epsilon_0} \dots (1)$$

위 (1)식을 이용하여 측정된 공간전하로부터 전계를 구하여 이를 각 전압분포로 나타냄으로써 이들과 방전과의 관계를 분석할 수 있으며, 또, 이들과 인가전압을 비교함으로써 공간전하를 성공적으로 측정하였음을 증명할 수 있다. 여기서, E_s 와 E_a 는 각각 시료와 공기층에 걸리는 전계를, σ_a 는 상부전극에 유기된 표면전하를, σ_f 과 σ_n 는 시료 하부와 상부의 net 표면전하를 나타낸 것으로 일정구간을 적분하여 구할 수 있다.

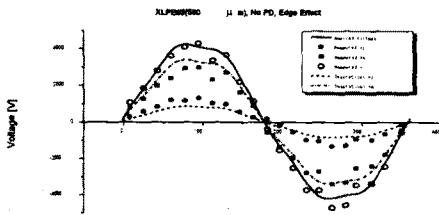


그림 2-3 AC 3kV에서 공간전하에 의한 전압분포

그림 2-3에서 인가전압과 공기층과 시료사이의 전압을 합한 것이 잘 일치되는 것을 볼 수 있다. 이는 공간전하의 축적이 성공적으로 수행됐음을 증명한다. TR-XLPE의 경우도 AC 3kV에서는 PD에 의한 공간전하가 발생하지 않아 그림 2-3과 같은 용량성 전압분포를 나타낸다.

그림 2-4는 AC 5kV에서의 XLPE의 공간전하분포를 나타낸 것이다. 그림에서 오른쪽은 시료의 상부, 즉 공기층과 직접 닿아있는 부분에서의 공간전하를 나타내고, 왼쪽은 하부전극과 접촉된 부분이다. 이 공간전하분포로부터 구한 전압분포는 그림 2-5에 나타난 것으로 PD가 발생하기 전의 용량성 전압분포와는 다른 모습을 갖고 있다. 이는 시료내부에 쌓인 공간전하의 영향으로 볼 수 있다. 즉, 극성방전이 일어나는 부근에서는 절연체 표면에 축적된 공간전하에 의해 공극에 걸리는 초기전압이 증가하게 되고, 다시 이것에 의해 PD를 발생시킴에 따

라 초기 PD는 증가하고, 또한 이것에 의해 다시 절연체 표면에 전하가 축적되어 공극전계를 점차 감소 시켜 PD를 소멸시키게 된다.

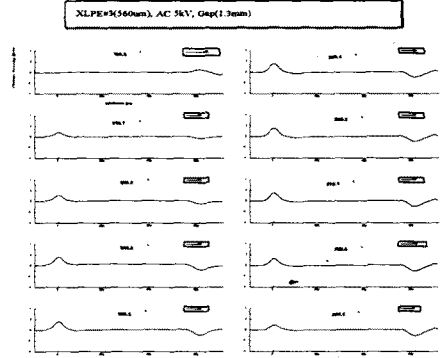


그림 2-4(a) AC 5kV에서 위상에 따른 공간전하분포

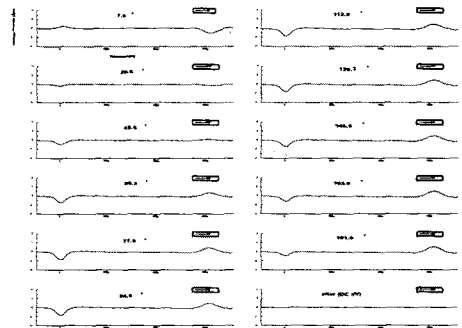


그림 2-4(b) AC 5kV에서 위상에 따른 공간전하분포

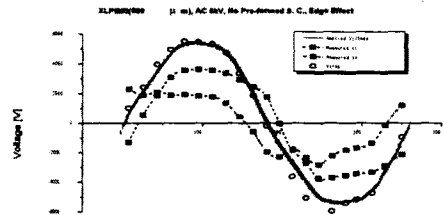


그림 2-5 AC 5kV에서 공간전하에 의한 전압분포

그림 2-6은 공기층에 걸리는 전압과 PD형태를 비교한 것이다. 이 그림을 살펴보면 공극전압과 PD형태는 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 이는 방전 형태가 공극전압에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다.

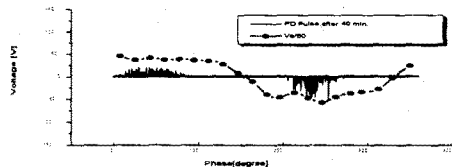


그림 2-6 AC 5kV에서 PD형태와 공극전압 비교

그림 2-7은 AC 7kV에서 PD형태와 공극전압을 비교한 것이다. 여기에서도 역시 알 수 있는 것은 PD형태와 공극 전압은 매우 일치한다는 것을 알 수 있다.

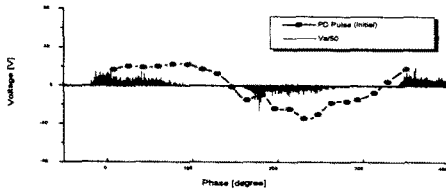


그림 2-7 AC 7kV에서 PD형태와 공극전압 비교

이와 같은 사실은 TR-XLPE에서도 똑같이 확인할 수 있었다. 즉, 유전체장벽방전현상에 있어서 공간전하는 공기층과 시료의 전계에 영향을 미치며 이는 다시 방전 형태에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

2.4.2 XLPE와 TR-XLPE의 공간전하와 방전형태비
실험결과, TR-XLPE의 경우, 공간전하의 분포가 표면뿐 아니라 안으로 넓게 분포한다는 것을 알 수 있었다. 이에 따라, 방전형태 역시 TR-XLPE의 경우, XLPE에 비해 극성이 반전될 때, 방전개시 위상이 작다는 것을 볼 수 있었다. 그림 2-8은 5kV에서의 두 시료의 방전형태를 비교한 것이다. 그림 2-9는 7kV에서의 두 시료의 방전형태를 비교한 것이다.

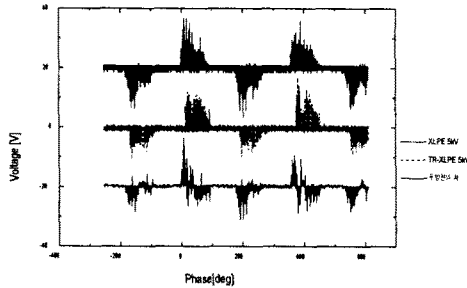


그림 2-8 AC 5kV에서 두 시료의 PD형태 비교

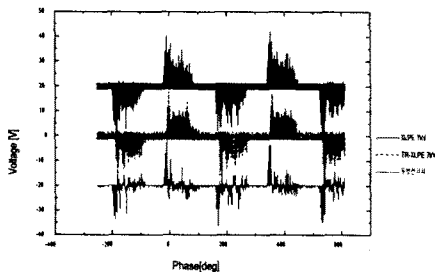


그림 2-9 AC 7kV에서 두 시료의 PD형태 비교

그림 2-8, 2-9는 같은 위상에서 두 시료의 PD형태를 비교한 것이다. 비교의 편의를 위해서 위의 그림은 XLPE의 PD형태이며, 가운데는 TR-XLPE, 그리고, 아래 그림은 XLPE의 PD형태에서 TR-XLPE를 뺀 것을 나타냈다.

2.4.3 XLPE와 TR-XLPE의 오염물질 제거율 비교
앞에서 공간전하가 PD형태에 직접적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 오염물질 제거 실험결과, XLPE와 TR-XLPE 경우 모두, 오염물질 제거율이 너무 낮아서 이를 비교하는 것은 큰 의미가 없었다. 이는 XLPE나 TR-XLPE가 유전체방전효과를 이용한 오염물질제거에 적합치 않은 재료라는 것이 아니라, 60Hz라는 낮은 주파수를 사용하여 방전의 모든 위상에서 일어나지 못하는데 원인이 있다. 앞으로의 실험에 있어서 주파수에 따른 오염물질 제거율을 최적화하고 이에 따라 방전형태의 최적화 노력이 요구된다.

3. 결 론

공간전하와 전도전류의 동시 측정시스템을 이용하여 공극구조에서의 공간전하 및 방전전류실험과 유전체장벽 방전실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 공간전하와 방전전류를 동시에 측정하는데 성공하여 이들의 상관관계를 보다 명확히 할 수 있었다.
- (2) 방전시 시료와 공기층의 전계와 인가전압을 실험적으로 구하여 측정의 신뢰도를 높일 수 있었을 뿐 아니라 공간전하와 전계, 인가전압, 그리고, 방전전류의 상관관계를 실험적으로 증명할 수 있었다.
- (3) 방전시 공간전하의 축적으로 인하여 방전이 일어나지 않는 용량성 전계분포와 매우 다른 전계분포를 갖게 되는 것을 실험적으로 확인하고 검증하여 방전형태를 제어할 수 있는 방법을 제시하였다.
- (4) 방전형태는 방전시 공기층에 인가되는 전계와 밀접한 관계를 갖는다. 따라서, 오염물질제거의 최적화를 위한 방전형태는 공기층의 전계를 조절함으로써 가능하다. 또한 이러한 전계를 갖는 재료의 선정과 개발에 큰 도움이 될 수 있다.
- (5) 오염물질 제거효율을 높이기 위해서는 모든 위상에서 방전이 일어날 수 있도록 높은 주파수를 사용하는 것이 요구된다. 추후 주파수에 따른 오염물질 제거 효율을 최적화 할 수 있는 실험이 요망된다.

(참 고 문 헌)

- [1] R. J. Van Brunt, "Physics and Chemistry of Partial Discharge and Corona: Recent Advances and Future Challenges", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 1, No. 5, pp. 761-784, 1994.
- [2] T. Ishida, M. Nagao, Y. Mizuno, M. Kosaki, "Swarming Pulsive Microdischarge Characteristics of Internal Void Specimen and the Factors Affecting its Occurrence", Trans. IEEE-A, Vol. 113, No.1, 1993.
- [3] F. H. Kreuger, E. Gulski, A. Krivda, "Classification of Partial Discharges", IEEE Trans. El. Insul., Vol. 27, No. 5, pp. 909-923, 1992.
- [4] F. H. Kreuger, Industrial High Voltage, Ch. 9, Delft Univ. Press, 1991.
- [5] F. H. Kreuger, Industrial High Voltage, Ch. 8, Delft Univ. Press, 1992.
- [6] Lutz Niemeyer, "A Generalized Approach to Partial Discharge Modeling", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 2, No. 4, pp. 510-534, 1995
- [7] C. Rodehed, A. Gustafsson, U. W. Gedde, "Electrical Stength and Chemical Surface Analysis of Polypropylene after Exposure to External Partial Discharges", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 25, No. 6, pp. 1066-1076, 1990.
- [8] C. Hudon, R. Bartnikas, M. R. Wertheimer, "Effect of Physico-chemical Degradation of Epoxy Resin on Partial Discharge Behavior", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 2, No. 6, pp. 1083-1094, 1995.