

펄스 중첩법을 이용한 내부 보이드에서의 부분방전 특성.

강 지훈, 신 두 성, 황 보 승, 한 민 구
서울대학교 공과대학 전기공학부

Partial Discharge Characteristics at a Internal Void Using a Pulse Superimposing Technique

Ji-Hoon Kang, Doo-Sung Shin, Seung Hwangbo, and Min-Koo Han
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - In this paper, a new PD measurement technique of pulse superposition method was proposed in order to investigate both PD mechanism and phase related PD patterns.

From the experimental results, we could find that the polarity and the phase angle of the superposed pulse take great effects on PD characteristics and these method make it possible to get the physical information which statistical approach can not give.

We could conclude that the changes of PD characteristics in the void surrounded by polymers may be attributed to the injection of charge carriers thereby formation of space charge in the surface and/or the bulk of the polymer

적 분석은 공간전하, 통계적 시간지연과 같은 부분방전 현상의 물리적 메카니즘에 대한 정보를 주지 못하는 한계가 있다.

본 연구의 목적은 펄스 중첩법을 이용한 새로운 부분방전 측정법을 보고하는 것이다. 펄스를 교류 전원에 중첩시켜 인가하는 방법은 이전의 몇몇 연구자들에 의하여 시도되어 왔으나, 이들의 목적은 뇌서지나 스위치 서지 등을 모의하여 트리개시 및 파괴전압 특성에 대하여 연구[5]하거나 또는 부분방전을 임의의 시각에 발생시켜 신호 대 노이즈 비를 높이기 위한 목적[6] 등에 제한되었다.

본 논문에서는 1kV의 1 μ s의 펄스폭을 가진 펄스를 ac 교류 전압 파형의 임의의 선택 위상각에 중첩시켜 위상에 관련된 부분방전 분포를 얻을 뿐만 아니라 XLPE(Cross-linked Polyethylene)으로 둘러싸인 보이드에서 발생하는 부분방전의 물리적인 메카니즘을 분석하기 위하여 위상각을 약 21° 씩 이동하여 부분방전 펄스를 측정하여 분석하였다.

1. 서 론

절연물질 내의 보이드와 같은 결함에서 발생하는 부분방전은 절연 시스템의 재료의 물리적, 화학적 및 전기적 열화를 발생시켜 궁극적으로는 절연파괴에 이르게 한다. 따라서 많은 연구자들이 부분방전 개시, 소멸, 다른 방전 모드로의 전이 및 고분자 절연 물질의 산화 및 트리 현상과 같은 부분방전에 의한 열화에 대한 연구를 많이 하여왔다 [1,2]. 또한 부분방전의 측정은 절연시스템의 열화정도를 평가하는 유용한 진단도구이므로 부분방전의 검출, 노이즈 억제, 부분방전 특성의 평가에 대한 다양한 기술[3,4]이 보고되어 왔다.

그러나 부분방전 현상 자체의 복잡한 특성때문에 부분방전 특성을 정확히 평가하기는 어렵다. 최근에 부분방전 펄스 크기 및 발생 빈도 분포와 같은 위상에 관련한 통계적 분석[4]은 부분방전 특성을 평가하는데 비교적 정확한 방법 중의 하나로 생각되고 있다. 그러나 그럼에도 불구하고, 이러한 통계

2. 본 론

2.1 실험

두께 1mm와 100 μ m의 XLPE 쉬트를 준비하여 1mm의 두께의 XLPE에 약 5.6mm의 구멍을 펀치로 뚫고 100 μ m 시료를 교대로 없어서 실린더형 보이드를 함유한 시료를 제작하였으며, 그림 1 (a)에 실험에 사용한 시료의 단면도를 나타내었다. ac 인가전압의 임의로 선택된 위상각에 펄스를 중첩시키기 위하여 고주파노이즈 시뮬레이터(모델명 ENS-24XA, Sanki, Japan)를 사용하였으며 이 시스템은 펄스 크기를 약 2kV까지 변화시킬 수 있으며 폭은 50ns에서 1 μ s까지 50ns간격으로 조절할 수 있다. 반사에 의한 주입 펄스의 왜곡을 막기위하여

임피던스 매칭 회로가 필요한데 50Ω feedthrough 터미네이션을 사용하였으며, 그림 1(b)에 실험 장치도를 나타내었다.

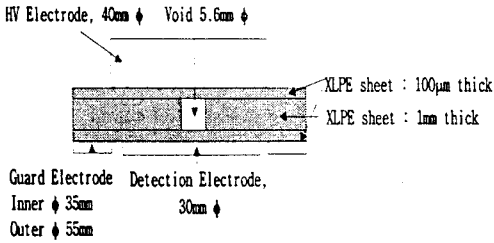


그림 1(a) 측정 전극 및 시료의 구성도

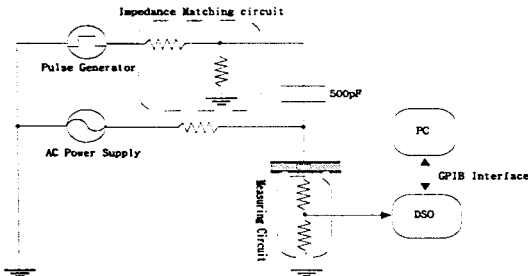


그림 1(b) 부분방전 측정 실험장치도

시료에서 발생하는 부분방전 신호를 측정 임피던스를 통하여 검출하여 디지털오실로스코프(모델명 Lecroy 9362)를 이용하여 측정하였으며 20ms동안의 부분방전 신호(약 1사이클)를 GPIB 인터페이스를 통하여 PC로 전송하였으며 부분방전 신호의 크기와 한 주기동안에 발생하는 부분방전 신호의 피크수와 이에 관련한 위상 정보를 데이터 처리를 위하여 하드디스크에 저장하였다. 이러한 과정에 소요되는 모든 시간은 약 3분 이내로 실험 시간동안 부분방전에 의하여 발생할 수 있는 XLPE 시료의 열화에 의한 영향을 거의 무시할 수 있다.

2.2 실험결과 및 검토

PD가 발생하기 위한 충분조건은 아니지만 필요조건으로서 두가지 조건이 충족되어야 한다는 것은 잘알려져 있는 사실이다 [4]. 즉, 이온화에 의한 전자 사태를 발생시킬 수 있는 최초의 초기 전자가 존재하여야하며, 보이드에서의 전계 E가 부분방전 개시전계를 넘어야한다는 것이다.

따라서 본 연구에서는 부분방전 개시전계를 초과하는 약 5kV의 교류 전압을 인가하였다. 그림 2(a)는 교류 전압 5kV만을 시료에 인가하였을 때 부분방전 신호의 위상에 따른 분포를 나타낸 것으로 각 점은 실제 발생한 부분방전 신호의 크기와 발생 위상을 나타낸다. 따라서 그림에서 진하게 나타나는 것은 부분방전 펄스가 그 위상영역에서 많이 발생하여 중첩되어 밀도가 높다는 것을 의미한다. 그

림에서 보는 바와 같이, 부분방전 펄스가 약 40~130°의 음의 반주기 영역에서 주로 발생하며 양의 반주기 영역에서는 260~300°의 위상영역에서 주로 발생하였음을 알 수 있으며, 이는 고분자 재료

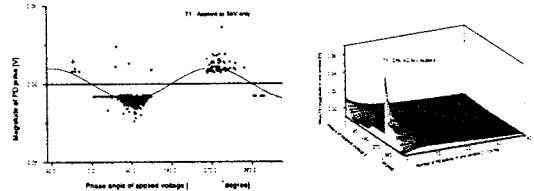


그림 2 교류 5kV를 인가했을 때의 부분방전 패턴

로 둘러싸인 보이드에서 발생하는 전형적인 부분방전 패턴 [4]임을 알 수 있다. 또한 음의 반주기에서 발생하는 부분방전 펄스수가 양의 반주기에 비해서 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 다른 연구자들의 연구 결과와 일치하는 실험 결과로서 3-d PD 패턴을 나타내는 그림 2 (b)에서 보면 보다 명확하게 음의 반주기에서 보다 작은 부분방전 펄스가 자주 발생한다는 사실을 알 수 있다.

펄스를 중첩한 전압을 시료에 인가하였을 때, 인가 위상각이 증가함에 따라 부분방전 거동이 바뀌었다. 인가 펄스의 극성에 따라 두가지 모드를 상정할 수 있으며, 전계 도움 모드와 전계 방해 모드이다 [5]. 전계 도움 모드는 인가전압의 극성과 중첩 펄스 극성이 같은 경우이며, 전계 방해 모드는 인가전압의 극성과 중첩 펄스 극성이 반대인 경우이다.

실험은 인가 위상각을 약 21°씩 바꾸면서 측정을 하였으며, 전계 방해 모드의 경우, 인가 위상각이 각각 22, 43 및 65°인 경우, 양의 반주기에서 발생한 부분방전 펄스의 수가 점차로 감소하여 거의 사라졌으며, 86, 108, 130, 150 및 173°의 위상각 영역에서는, 양의 반주기에서 부분방전이 간헐적으로 발생하였으며 그 수와 분포는 위상각에 따라 약간의 차이를 보였으나 그 경향은 유사함을 보였다. 전계 가속 모드의 경우에서, 130°의 위상각에서 흥미로운 결과가 얻어졌으며, 그 예를 그림 3과 4에 나타내었다. 즉 그림 3은 전계 도움 모드의 경우이며, 그림 4는 전계 방해 모드의 결과이다. 전계 도움 모드의 경우, 위에서 언급한 결과와 마찬가지로 양의 반주기에서 부분방전 펄스가 거의 사라졌으며, 그림 3에서 보는 바와 같이 전계 도움 모드의 경우에는 양의 반주기에서 교류만을 인가하였을때와 비교하여 거의 비슷한 수의 부분방전 펄스가 발생함을 알 수 있다. 이러한 경향의 결과는 150°와 170°의 위상각에서도 동일하게 발견되었으며, 다만 그 정도는 130°의 위상각에 비하여 감소하였을뿐만 아니라 발생하는 위상각의 영역이 현저히 좁아지는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이는,

중첩 위상각에 따라 시료에 인가되는 전체 전계의 크기의 차이에 의한 결과이라고 생각되어진다. 위와 같은 실험 결과로부터, 시료에 인가되는 전계는 위상과 관련한 부분방전 분포에 상당한 영향을 미침을 알 수 있다. 다시 말하면, 일정한 크기 이상의 전계는 일정한 영역의 위상 영역에서 집중적으로 부분방전 펄스가 발생하게 한다고 결론 지을 수 있다.

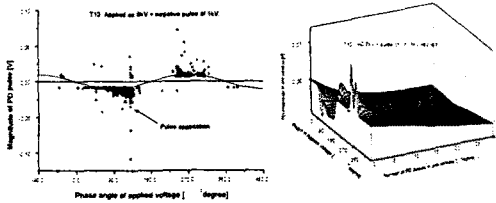


그림3 $\sim 130^\circ$ 의 위상각에서의 교류 5kV에 (-)100kV 중첩

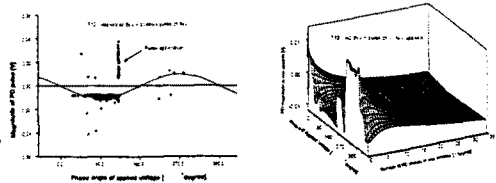


그림 4 $\sim 130^\circ$ 의 위상각에서의 교류 5kV에 (+)100kV 중첩

일단 부분방전 펄스가 발생한 이후에는 부분방전 발생에 필요한 전자사태를 야기할 수 있도록 하는 전자의 주된 공급원은 부분방전 펄스에 의하여 보이드 벽면에 trap되었다가 detrapp에 필요한 에너지를 받으면 다시 detrapp되는 전자이다 [4]. 이러한 전자의 방출율은 부분방전 신호의 통계적 시간지연과 관련이 있으며 따라서 부분방전 현상의 불규칙성 또는 카오스적 거동과도 관련이 있다.

따라서 실험 결과로부터, 인가 펄스의 극성과 중첩 위상각에 따른 이러한 부분방전 특성의 변화는 이전의 부분방전 펄스에 의하여 발생한 공간전하, 혹은 보이드 벽면에 축적되는 이온의 영향 및 부분방전 펄스에 의한 고분자 표면으로의 공간전하 주입 및 인가 펄스의 영향 등으로 해석할 수 있다.

3. 결 론

고분자 표면으로 둘러싸인 보이드를 가진 시료에

서 부분방전 특성을 명확하게 이해하기 위하여 교류 인가 전압에 펄스를 중첩시키는 새로운 부분방전 측정법을 제안하였다. 실험 결과로부터 부분방전 신호가 중첩된 펄스의 위상각과 극성에 따라 현저히 변화함을 알 수 있었으며 따라서 통계적 접근 방법이 제시하지 못하는 부분방전의 물리적 메커니즘에 대한 이해를 높일 수 있었다.

또한 이러한 펄스 중첩법에 의하여 고분자 표면으로 둘러싸인 내부 보이드를 가진 절연체에서 부분방전 특성의 변화는 부분방전에 의하여 보이드 벽면에 전하의 주입 및 이로 인한 공간전하의 형성에 의한 것임을 확인할 수 있었다. 따라서 절연체 내에서 내부 보이드에서 발생하는 부분방전 특성을 명확히 이해하고 이에 따른 절연체의 열화를 평가하기 위해서는 펄스 중첩법을 적용하는 것이 효과적일 수 있으며, 부분방전에 의한 고분자의 열화현상을 이해하기 위해서는 부분방전에 의한 표면으로의 전하의 주입 및 이에 의하여 주입된 공간전하분포를 측정할 필요가 있으며 추후 이에 대한 연구결과를 보고할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Mammeri, C. Laurent and J. Salon, "Influence of Space Charge Buildup on the Transition to Electrical Treeing in PE under ac Voltage", IEEE Trans. Dielect. El. Insul., Vol. 2, No. 1, pp. 27-35., 1995
- [2] C. Mayoux and C. Laurent "Contribution of Partial Discharges to Electrical Breakdown of Solid Insulation Materials", IEEE Trans. Dielect. El. Insul., Vol. 2, No. 4, pp. 641-652, 1995.
- [3] Jarle Sletbak "The Influence of Cavity Shape and Sample Geometry on Partial Discharge Behavior", IEEE Trans. Dielect. El. Insul., Vol. 3, No. 1, pp. 126-130, 1996
- [4] B. Fruth and L. Niemeyer "The Importance of Statistical Characteristics of Partial Discharge Data", IEEE Trans. El. Insul., Vol. 27, No. 1, pp. 60-69, 1992
- [5] Y. Murata, S. Katakai and M. Kanaoka "Impulse Breakdown Superposed on ac Voltage in XLPE Cable Insulation", IEEE Trans. Dielect. El. Insul., Vol. 3, No. 3, pp. 361-365, 1996.
- [6] C. G. Jenkinson and J. P. Reynders "Partial Discharge Measurements using Tailored Excitation Waveforms", IEEE Trans. El. Insul., Vol. 28, No. 6, pp. 1068-1074, 1993