

가지형 트리의 열화진단을 위한 방전통계량에 관한 연구

신성권*, 김경민**, 김탁용**, 이덕진**, 박창옥***, 김재현**

* : 동해대학 정보통신과 ** : 광운대학교 전기공학과 *** : 상지카톨릭대학 전기과

A Study on Discharge Statistics Quantities for Deterioration Diagnosis of Branch-type Tree

S. K. Shin*, K. M. Kim**, T. Y. Kim** D. J. Lee**, C. O. Park***, J. H. Kim**

* : Donghae college ** : Kwangwoon Univ. *** : Sangji catholic college

Abstract - Existing ψ -AEA-t (phase-AEA-time) characteristic in polymer materials for power cable is good in general deterioration characteristic according to time variation ,but it is difficult to clearly distinguish from deterioration state and diagnosis of deterioration is not enough to some extent.

This paper is interpreted AE discharge statistics quantities measuring phase-amplitude variation of acoustic emission characteristic obtained from treeing breakdown experiment. Besides it can know useful discharge statistics quantities (AE average inception phase/amplitude, AE average maximum phase/amplitude)about so many for diagnosis of treeing deterioration .

계 방전량을 이용하여 열화상향 판정에 유용한 즉, 열화초기, 중기,말기단계를 구분이 가능한 유용한 방전 통계량을 제시하고 절연진단에 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 시 료

본 실험에 사용된 시료는 밀도 0.92(g/cm³)인 한양 화학제 LDPE 펠릿(Pellet)을 사용하였다. 이 LDPE을 자체 제작한 시료제작기로 120[°C]에서 5분 동안 예열한 후 시료 중앙에 에칭한 바늘을 놓고 압력이 100(kgf/cm²)이 될 때까지 5분동안 단계적으로 가압하였다. 다시 5분동안 주형을 가열한 후 시료의 투명도를 향상시키기 위하여 10[°C]의 물에서 급냉하였다. 완성된 시료의 형태는 블록 형태로 그림 2-1에서 나타낸 바와 같다. 시료의 규격 30×40×3[mm]로 제조하였다.

1. 서 론

최근 전력 수요가 나날이 증가에 따라 송전전압의 초고압화, 각종 전력 기기의 소형화, 고성능화, 고 신뢰성화가 진행됨에 따라 전기절연재료에 대한 절연특성, 기계적 특성, 화학적 특성, 내열성이 엄격하게 요구된다. 절연재료에 보이드(void)나 크랙(crack) 등의 결함이 존재하면 부분방전이 발생하여 전기절연재료를 열화시켜 최종적으로 절연파괴에 이른다. 따라서 부분방전특성과 부분방전 메카니즘 사제는 아직까지 애매하게 남아 있다. 부분방전특성은 펄스 발생과 펄스 형태 자체의 통계적 특성의 관점으로부터 연구되어왔다.[1,2]

최근에는 컴퓨터를 이용한 측정 기술은 위상각 정보와 더불어 부분방전 펄스크기(진폭)를 측정할 가능하게 하였다.[3,4] 이 방식에 의하여 얻어진 위상분해-PD펄스 진폭분포는 PD현상에 대한 확실한 정보가 포함되어 있다고 확신한다. 그리고 이 컴퓨터를 이용한 PD 측정 시스템은 측정펄스 데이터를 시간순서대로 정확하게 재생산할 수 있어서 복잡한 PD현상을 이해하는데 상당한 도움을 되고 PD현상의 통계적 분석을 이용하여 PD열화에 대한 이론적 고찰하는데 있다.

본 연구에서는 컴퓨터를 이용한 PD측정을 음향펄스법을 도입하여 전기절연재료로서 널리 사용되고 있는 저밀도 폴리에틸렌으로 트리잉 파괴 시험에 대하여 PD 펄스데이터의 시간순서에 따른 위상각-진폭분포에 의한 방전방전량 (AE펄스수, AE개시위상각/진폭, AE최대위상각/최대진폭)을 제시하여 이 통

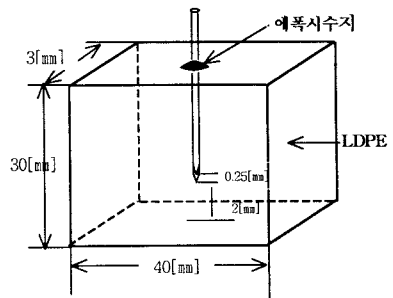


그림 2-1 전극배열

침전극은 직경 0.56[mmφ]인 일본제 바늘(스테인레스 스틸재질)을 에칭법에 의해 침전단 곡률반경 5~6[μm]으로 조정하여, 시료에 사용하였다. 전극의 형태는 침대 평판전극이고 극간 거리는 2[mm]로 하였고 접지측 전극은 실버 페이스트(Silver Paste)로 도포하였다.

2.2 실험장치

음향방출 측정 및 파괴실험과 실험장치에 대한 블록선도는 그림 2-2에 표시하였다. 인가전압은 교류60(Hz)이고,50(kV rms)까지 연속으로 변화시킬 수 있다. 고전압 회로는 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘오일(silicon Oil)에 침적하였다.

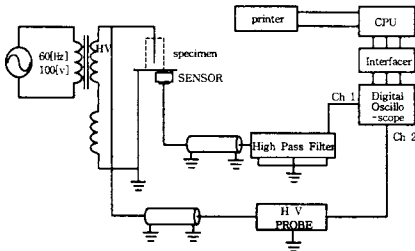


그림 2-2. 실험장치의 블록선도

음향탐촉자(Acoustic transducer)는 공진주파수 300(kHz)를 갖는 PZT탐촉자가 사용되었고, 평판전극 바로 아래 거리 1(mm)에 설치하였다. 음향의 원신호 자체는 너무 미약해서 신호는 이득이 60(dB)인 차동증폭기로 150~450(kHz)의 대역 필터(band pass filter)를 사용하였다. 실험용 유조(oil tank)외부를 0.3(mm)동판으로 감싸고 이것을 접지시켜 최대한의 노이즈를 제거하였고, 문턱준위(threshold level)는 증폭된 신호를 5(mV)로 하여 확실한 음향신호를 얻을 수 있었다. 탐촉자(transducer)에서 포착된 신호는 증폭된 후, 디지털 오실로스코프(Tektronix Co. TDS210 샘플링 시간 1(nS))의 채널 1에 입력된다. 그리고 AE펄스의 위상각 특성을 보기 위해 인가전압을 고전압 프루브(HP 34300A)로 전압강하(1000:1)시켜 채널 2에 입력된다. 오실로스코프에서 디지털화된 신호는 인터페이스(RS-232C)케이블을 통해 컴퓨터의 입력되고 디지털 신호를 취득하였다.

2.3 실험방법

전압인가 방식은 승압속도 1(kV/S)로 트리개시로부터 파괴시까지 일정전압에서 인가했으며, 무보이드/보이드 시편에 각각 교류(60(Hz)) 전압 8(kV)을 인가하였다. 측정 시 매 5분마다 기준 파형(60(Hz))의 10주기 단위로 데이터를 받아서 디지털 신호의 취득을 위한 프로그램인 Wstar을 이용하여 파형 형태로 저장한다. 저장된 데이터는 통계처리를 위해서 마이크로소프트사의 엑셀파일로 변환하여 각종 통계방전량을 파악하였다. 또한 트리개시 및 진전시 트리형태의 관찰은 광학현미경에 부착한 CCTV를 통하여 관찰하고 사진 촬영을 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 보이드의 유무에 따른 트리의 길이

그림 3-1은 인가전압(8(kV))에 의한 무보이드와 보이드 시료의 트리의 길이를 나타낸 것이다. X축은 열화시간(분)이고 Y축은 트리의 길이(mm)를 표시하였다.

그림 3-1에서 보듯이 무보이드 시료는 트리개시부터 파괴까지 일정하게 증가하지만 보이드 시료는 열화초기(1영역), 중기(2영역)까지는 무보이드 시료보다는 완만하게 증가하다가 열화말기(3영역)에 급격히 증가하면서 파괴에 이른다.

이것은 보이드 시료는 시간이 경과함에 따라서 무보이드 시료보다 많은 미소채널이 발생하여 가지형 트리로의 진전을 둔화되어 성장하기 때문에 전체 방향의 진전을 어렵게 되어 열 방향으로 진전이 크게 됨이라고 생각된다. 그러나 열화말기(3

영역)에서 트리의 성장이 아주 빠르게 나타남을 알 수 있다.

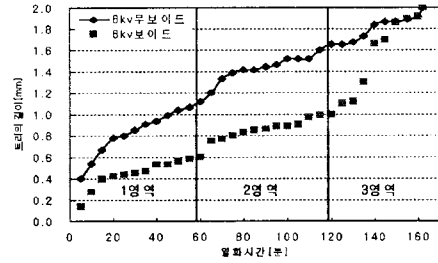


그림 3-1 무보이드/보이드 시료의 트리길이

3.2. 무보이드 AE펄스수의 시간 변화

그림3-2는 열화초기에서 절연파괴까지 열화시간에 대한 AE펄스수(개)를 측정된 결과이다.

X축은 열화시간(분)이고 Y축은 AE펄스수(개)를 나타낸다. AE펄스수는 정극성(+)의 경우 열화초기(1영역) 40~60(개)로 일정하게 요동하다가 열화중기(2영역)에서 75(분)(68(개))을 정점으로 감소하여 95(분)에 최저 펄스수(23(개))로 감소하다가 열화말기(3영역)에서 125(분)에서 펄스수 82(개)로 펄스수를 나타내며 절연파괴까지 감소함을 알 수 있다. 또 부극성(-)도 정극성과 비슷한 형태를 나타내고 있다. 이것은 절연파괴 전에 AE펄스가 강하게 나타나고 큰 트리개시가 생기면서 진폭이 큰 방전이 생기고 점차 파괴로 이른다. 이것은 그림3-6에서 열화말기(3영역)에서 AE평균최대진폭이 나타나는 것이 실험과 잘 일치한다. 또 그림 3-1의 트리길이를 보면 무보이드시료에서 트리의 길이가 급격히 증가하는 1영역에서는 AE펄스수가 열화초기(1영역) 전체에서 왕성하게 펄스가 발생함을 알 수 있다.

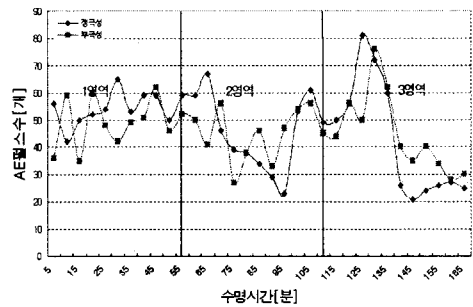


그림 3-2 무보이드 시료의 AE펄스수의 시간변화

3.3 무보이드 시료의 AE평균개시위상각 ($\overline{\theta}_{inc}$)의 시간 변화

그림 3-3은 열화개시부터 파괴까지 무보이드의 AE평균개시위상각 ($\overline{\theta}_{inc}$)의 시간변화를 나타낸 것이다. AE평균개시위상각 ($\overline{\theta}_{inc}$)은 정극성(+)과 부극성(-)의 경우 과전초기 5(분)은 거의 97.56° 와 291.0° 으로 고위상각에서 AE펄스가 발생하지만 열화초기(1영역)에서는 정극성(+)은 20° 내외로, 부극성(-)은 19° 내외로 일정하게 유지한다. 열화중기(2영역)에

서 열화중기의 초반에 75[분]에 약 100° (부극성(-)의 경우 270°)의 피크가 나타나고 다시 감소하여 200°로 유지하다가 열화중기(2영역) 후반부에서 다시 한번 피크가 나타난다. 열화말기(3영역)에서는 100° (부극성의 경우 270°)에서 감소하다가 150[분]에서 정극성(+)은 110°이고 부극성(-)은 320°에서 피크를 이루고 그 후에서 열화초기(1영역)의 위상각으로 되돌아가면서 파괴에 이른다. AE평균개시위상각($\overline{\theta}_{inc}$)이 열화초기에서 열화중기까지 일정함은 시간에 따른 열화진단에 유용한 방전 통계량이 될 수 있다는 가능성을 제시한다.

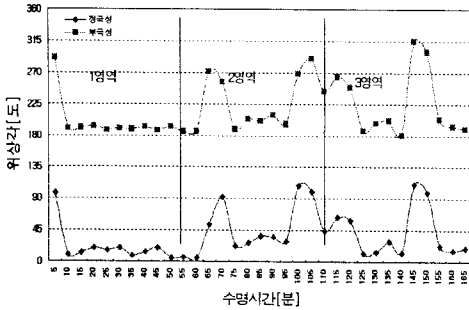


그림 3-3 무보이드 시료의 AE 평균개시위상각의 시간변화

3.4 무보이드 시료의 AE평균최대위상각($\overline{\theta}_{max}$)의 시간변화

그림 3-4는 무보이드 시료의 AE평균최대위상각($\overline{\theta}_{max}$)에 대한 측정결과를 나타낸 것이다.

AE평균최대위상각($\overline{\theta}_{max}$)은 열화초기(1영역)에서 처음 5[분]은 정극성(+)은 121°이고 부극성(-)은 321°로 상당히 높게 나타난다. 15분부터 60분까지 열화초기(1영역)에서 20°~68° 범위의 저위상각에서 AE평균최대펄스가 발생함을 알 수 있다. AE평균최대펄스의 발생위상각이 흐트러짐이 있으므로 평균최대위상각을 도입하면 열화 초기단계의 진단에 유효한 파라메타가 될 수 있다.

그림 3-3의 무보이드 AE평균개시위상각에서 보듯이 65[분]에는 AE평균개시위상각($\overline{\theta}_{inc}$)과 더불어 AE평균최대위상각($\overline{\theta}_{max}$)이 일치함을 알 수 있다. 이것은 일단 트리의 진전이 초기에 빨라지면서 저위상에서 진폭이 높게 나타난다고 생각된다. 또 열화초기(1영역)에서 AE평균최대위상각($\overline{\theta}_{max}$)은 정극성(+)에서는 45°~70° 사이에서 나타나고 부극성(-)은 220°~250° 사이에서 나타나고 있다. 열화초기(1영역)는 H.Fugita씨[6] 등의 연구에 의하면 진폭/위상분포가 정극성(+)인 경우 $\phi=65^\circ$ 이고 부극성(-)인 경우 $\phi=240^\circ$ 에서 최대가 되는 것은 실험결과와 잘 부합한다. 열화중기(2영역)에서 요동하면서 70[분]과 95[분] 및 105[분]에서 피크를 나타내고 있다. 열화말기(3영역)에서 115[분]부터 145[분]까지 감소하다가 155[분]에서 피크를 나타내고 위상각이 급격히 감소하면서 파괴에 이른다.

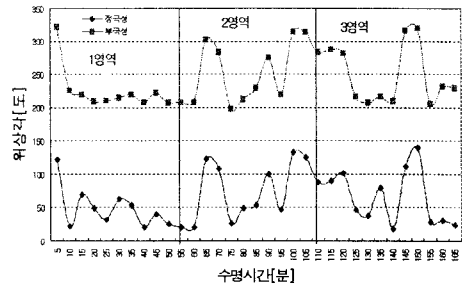


그림 3-4 무보이드 시료의 AE평균최대위상각의 시간변화

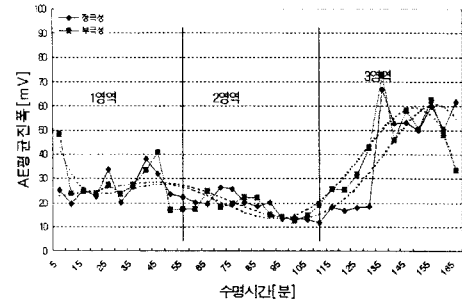


그림 3-5 무보이드 시료의 AE평균개시진폭의 시간변화

3.5 무보이드 시료의 AE평균개시진폭(\overline{AEA}_{inc})의 시간변화

그림 3-5는 열화시간에 대한 무보이드 시료의 AE평균개시진폭(\overline{AEA}_{inc})을 나타낸 것이다. AE평균개시진폭(\overline{AEA}_{inc})은 열화초기(1영역)에서 정극성(+)의 경우는 5[분]부터 40[분]까지 요동하면서 서서히 증가하지만 45[분]부터 서서히 감소하여 열화중기(2영역)에서는 감소가 완만하게 지속되고 열화말기(3영역)에서 130[분]까지(18[mV]) 감소하다가 급격히 증가하면서 그 후 약간 감소하다가 파괴에 이른다. 부극성(-)의 경우도 이와 비슷한 양상이다. AE평균개시진폭(\overline{AEA}_{inc})이 열화말기(130[분]~155[분])에서 최대 진폭이 나타남으로 이것은 열화말기를 진단하기 위하여 유용한 방전 통계량을 알 수 있다. 이것은 트리가지에서의 부분방전은 트리 가지의 미소 채널마다 독립적으로 일어난다고 가정했을 때 전압분담에 의하여 큰 가지는 큰 방전전압이 필요하지만 적은 가지는 더욱 작은 전압을 필요로 할 것이다. 열화초기부터 열화중기까지 비교적 작은 트리 가지가 존재하므로 AE평균개시진폭(\overline{AEA}_{inc})이 저위상각에서 낮게 나타나고 열화말기에서 파피 직전까지는 고위상각에서 크게 나타남을 알 수 있다. 결과적으로 큰 방전 펄스만이 고위상각 영역에서 일어날 수 있고 작은 펄스만이 저위상각 영역에서 일어날 수 있다. [7.8]

3.6 무보이드 시료의 AE평균최대진폭(\overline{AEA}_{max})의 시간변화

그림 3-6은 열화시간에 대한 무보이드 시료의 AE평균최대진폭($\overline{AEA_{max}}$)을 나타내었다. 열화초기(1영역)부터 열화중기(2영역), 열화말기(3영역)의 125[분]까지는 정극성(+), 부극성(-) 모두 AE평균최대진폭($\overline{AEA_{max}}$)이 60[mV]이내로 일정하지만 130[분](열화말기)에서 최대값(160[mV])을 나타내고 그 후에서 감소하면서 파괴에 이른다. 이것은 큰 가치가 고위상각에서 큰 진폭을 갖고 있음과도 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. AE평균최대진폭($\overline{AEA_{max}}$)도 열화말기를 진단하는데 유용한 방전통계량을 알 수 있다.

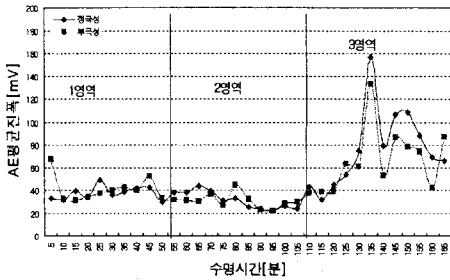


그림 3-6 무보이드 시료의 AE평균최대진폭의 시간 변화

4. 결 론

무보이드 시료의 방전통계량에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

가. 무보이드의 AE펄스수의 시간특성은 열화말기영역(3영역)에서 피크값을 나타낸다.

나. AE평균개시위상각($\overline{\theta_{inc}}$)은 열화초기(1영역)에서 저위상각에서 일정하게 유지하고 열화중기(2영역)에서 2개의 피크와 열화 말기(3영역)에서 1개의 피크가 발생한다.

다. AE평균최대위상각($\overline{\theta_{max}}$)은 열화초기(1영역)에서 저위상각에서 일정하게 유지하고 중기(2영역)에서 2개의 피크와 열화 말기(3영역)에서 1개의 피크가 발생한다.

라. AE평균개시진폭($\overline{AEA_{inc}}$)은 열화말기(3영역)에서 피크가 나타난다.

마. AE평균최대진폭($\overline{AEA_{max}}$)은 역시 열화말기(3영역)에서 피크가 나타난다.

이상의 결과로 무보이드의 시료에서는 트리잉열화초기를 진단하기 위해서 유용한 방전통계량은 AE평균개시위상각($\overline{\theta_{inc}}$)과 AE평균최대위상각($\overline{\theta_{max}}$)임을 알 수 있고 트리잉 열화말기를 진단하기 위해 유용한 방전통계량은 AE펄스수와 AE평균 개시진폭($\overline{AEA_{inc}}$)과 AE평균최대진폭($\overline{AEA_{max}}$)을 알 수 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] I. Megahed , A Nossier, " Measurement of the Auto-Correlation function and Power Spectral Density of Prebreakdown Conduction Current Pulses Inliquid Dielectrics ",J. of Physics E, Series 2 ,Vol.2, pp.880~884,1969
- [2] J. C Bapt , Bui Ai and C. Mayoux , " Corona Frequency Analysis in Artificial Cavaties in Epoxy Resins", CEIDP, pp.282~288 . 1973
- [3] 例えは, 「部分放電劣化」, 電氣學會 技術(Ⅱ部),No.164 (昭59)
- [4] 例えは, 「絶縁材料による部分放電(コロナ)による劣化 [Ⅳ]」, 同上(Ⅱ部),No.43(昭51)
- [5] M. Hikita et al , " Phase-resolved and time-sequential Partial Discharge Pulse measurements in a metal-void-insulator system
- [6] H. Fugita, T. Nakanish and K. Yamaguchi : " Acoustic Emission Distribution and Types of Electrical Tree in Polyester Resin" ,IEEE Trans. Elec .Insul, Vol. Ei-18 ,No.5 , pp.520~527 , 1983
- [7] 絶縁材料 微小放電劣化 調査 専門委員會 : "日本 電氣學會 技術報告(Ⅱ),部分放電 劣化",1984
- [8] Tairo et al : " Phase Angle Analysis of Discharge Magnitude Distribution in a Fine Void " , JIEE, VOL. 109,No.12,1989