

방전 전하와 음향 방출 펄스의 동시 측정에 의한
트리 신장의 위상각 해석

Phase Angle Analysis of Treeing by Simultaneous Detection on
Charge of Partial Discharge and A.E Emission Pulse

김성홍^{*○}, 최재관*, 심종탁*, 박계준, 김계환**

*:광운대학교 전기공학과 **: 광운대학교 전기공학과 교수

S. H. Kim^{*○}, J. K. Choi*, J. T. Sim*, J. J. Pak*, J. H. Kim**

1. 서 론

고전압하에서 사용되는 저밀도 폴리에틸렌(이하 LDPE 이라고 부른다.) 절연 케이블이나 전기기기 등 고체 절연 조직의 내부에 미소한 결함 즉, 미세 기포(microvoid), 갈라진 금(crack), 이물질 및 들기 등이 존재하면 고전계 영역에서 부분파괴의 원인으로 인해, 절연 수명에 가장 유해한 전기적 트리가 발생하게 되며, 이로 인하여 부분방전을 일으켜서 절연 수명을 현저히 짧게 한다.⁽³⁾

이런 문제에 대해서 지금까지 많은 연구가 있었고, 여러 가지 대책이 강구되었지만, 이들의 대책 역시 아직 완전하다고는 말할 수 없다.

절연 조직 내에서 부분방전이 발생되지 않는 것이 바람직하나, 발생되면 치명적인 문제에 이른다. 이런 절연파괴 사고를 미연에 방지하기 위해서는 확실한 트리잉 열화진단 측정법(measuring method of treeing deterioration diagnosis)을 개발하여 연구할 필요가 있다.

부분방전시 방출되는 방전 전하량 및 음향 방출 펄스를 동시 측정하여 인가 전압·위상각 정보를 도입하여 상관관계를 연구하였다.⁽⁴⁾ 그렇게 하므로써 활선 상태에서 측정하기 힘든 방전 전하량을 음향 방출 펄스를 측정하므로써

변압기 및 케이블 접속부의 부분방전을 효과적으로 계측할 수 있는 시스템을 구축하는데 기반을 준다.

2. 실험 절차

1) 시편 및 전극 구성

본 실험에 사용된 시편은 저밀도 폴리에틸렌(이하, LDPE) 시료로는 밀도 $0.92[g/cm^3]$ 인 한양화학제 저밀도 폴리에틸렌의 펠릿(Pellet)을 사용하였다. 순수한 폴리에틸렌 펠릿을 자체 제작한 시료 제작기의 주형 위에 올려 놓고 $120[^\circ C]$ 에서 5분간 예열한 후 시료 중앙에 바늘을 꽂고 압력이 $100[kg \cdot f/cm^2]$ 이 될 때까지 5분 동안 단계적으로 가압하였다. 다시 5분 동안 주형 가열한 후, 시료의 투명도를 위해서 $10[^\circ C]$ 의 물에서 급냉하였다.

시편의 블록 형태는 그림 2-1에서 나타낸 바와 같다. 시편의 규격 $30 \times 40 \times 3.5[mm^3]$ 로 제조하였으며, 침전극은 직경 $0.56[mm\phi]$ 인 일본제 바늘(스테인레스 스틸제질)을 예칭법에 의해 침전단 곡률반경 $10[\mu m]$ 조정하여, 시편에 주입하였다. 삽입시 시료의 변형을 없애기 위하여, 다시 $110[^\circ C]$ 에서 10분간 가열한 후 서냉하여 트

리전극 시편으로 사용 하였다. 또 다른 인공적 침상 보이드 시편은 주입된 전극을 다시 빼어서 보이드 겹 길이는 1.5[mm]의 시편을 제작 하였으며, 이때 1기압의 공기를 봉입하였다. 전극의 형태는 침대 평판 전극이고 극간 거리는 2[mm]로 하였다.

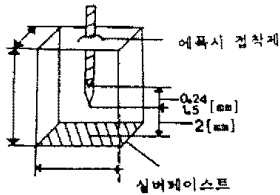


Fig. 2-1 Electrode Arrangement

2) 실험 장치 및 방법

실험장치에 대한 블록선도는 그림 2-2에 표시 하였다. 인가전압은 교류 60[Hz]이고, 고전압 회로는 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일(silicon oil)에 함침하였다.

음향 센서는 공진 주파수 300[kHz]를 갖는 PZT 변환기가 사용되었고, 평판 전극 바로 아래 거리 2[cm]에 설치 하였다. 음향의 원신호 자체는 너무 미약 해서 신호는 이득이 80[db]고 대역 필터(High pass filter)를 사용 하였다.

설계시 최대한의 노이즈를 제거하였고, 문턱 준위(threshold level)는 증폭된 신호를 0.03[V]로 하여 확실한 음향신호를 얻을 수 있었다. 센서에서 포착된 신호는 증폭된 후, 디지털 오실로스코프(HP 54501A)의 채널 4에 입력된다. 그리고 AE 펄스의 위상각 특성을 보기 위해 인가 전압을 고 전압 프루브(HP 34300A)로 전압을 강하 시켜 채널 1에 입력된다.

오실로 스코프에서 디지털화된 신호는 데이터 통계처리를 위해 인터페이스 카드 (GP-IB Card)를 통해 컴퓨터에 입력되어 하드 메모리에 저장된다.⁽⁶⁾

부분 방전 검출은 AVO 회사 제품인 Partial discharge detection system(BIDDLE instruments)로서 증폭 밴드폭은 40~200[kHz], 시스템 정격은 100[kV], 7.5[kVA] continuous, 10[kVA] 30 min on 30 minutes off, 일차 측 전력은 220[V], 50/60 [Heriz]이다.

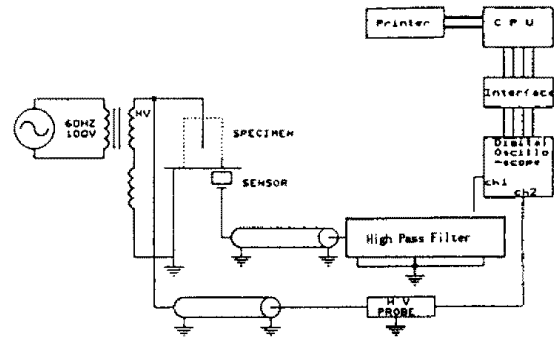


Fig.2-2. Block Diagram of Experimental Set Up

3. 검토 및 고찰

LDPE 시료를 이용한 인공적 침상 보이드 겹 길이 2[mm]의 시편을 이용하여 측정된 방전 개시 전압은 8.5kV 이었고 2.5kV를 초과한 교번 전압 11[kV]을 인가 하였다. 보이드 방전 시 트리 형태는 잔가지가 존재하는 가지형 트리 형태 이었고, 파괴에 이르는 시간은 30분의 짧은 파괴 시간을 얻을 수 있었다.

트리 진전 시 발생하는 방전 전하량과 음향 방출 펄스를 동시에 계측하였습니다. 그림 3-1은 트리 진전에 따른 부분 방전 전하량과 열화 시간의 그래프를 나타내고 있다. 전압 인가 직후 트리 개시로부터 6분 동안 부분 방전 전하량은 급증하였다. 트리가 진전함으로써, 부분 방전 전하량은 점진적으로 증가하여 결국 파괴에 이른다. 측정된 부분 방전 전하량은 20pC ~ 140pC이다. 이처럼 초기에 급증하고 그 이후 점진적으로 증가함은 가지형 트리의 발생 밀도가 점차 높아져 하나의 주 트리 채널이 형성되어 트리 관내에 잔류전하의 퇴적과 방전 면적의 확대로 점진적으로 방전 전하량이 증가 한다고 사료된다.

그림 3-2는 트리 진전에 따른 음향 방출 펄스 평균 진폭과 열화 시간의 관계를 나타내고 있다. 음향 방출 펄스는 부분 방전 전하량의 크기와 거의 유사한 그래프 형태를 나타내고 있다. 단지 트리 발생 초기로부터 파괴에 이르기까지 증가와 감소를 이루는 특징이 있다.

이는 부분 방전 전하량의 계측과 음향 방출 펄스 계측은 상이한 형상이 있음을 보여주고 있고 Fujita, Yoshimur 등의 보고도 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그림 3-3, 그림 3-4는 트리 진전에 따른 부분 방

전 전하량의 $\phi-Q-t$ 특성을 나타내고 있다. 그림 3-3은 정 극성 시 $\phi-Q-t$ 의 특성을 나타내고 있다. 트리 개시초기로부터 23분까지는 부분 방전 전하량 발생은 급격한 증가를 보여주고 있다. 파괴에 가까워져서 부분 방전 전하량은 크게 감소하여 파괴에 이르고 있다. 트리 발생 초기로부터 파괴 시 까지는 정 극성 시 피크 영역 부근까지의 영역에서는 부분 방전 펄스가 발생됨을 계속할 수 있었다.

그림 3-4는 부 극성 시 $\phi-Q-t$ 의 특성을 나타내고 있다. 정 극성 시 경우처럼 부분 방전 펄스 발생 위상 영역도 광범위하게 분포하고 있고, 트리 열화가 가속화됨으로써 파괴 말기에 이르러서는 부 극성 피크의 영역을 넘어선 영역까지 부분 방전 전하량이 계속 증가함을 보여주고 있다. 그림 3-5 ~ 그림 3-6는 음향 방출 펄스의 $\phi-AEA-t$ 의 특성을 보여 주고 있다. 그림 3-5는 정 극성 시 $\phi-AEA-t$ 의 분포 특성으로 트리 개시로부터 3분까지 음향 방출 펄스 진폭 이 크게 발생하였고 트리의 진전에 따라서 증가와 감소의 반복된 변화를 가져 왔지만 전반적으로 트리 개시로부터 파괴시 까지 증가하는 경향을 나타내고 있다. 위상각의 경우에 있어서도 트리의 열화가 가속됨으로 음향 방출 펄스의 위상 분포 영역은 점차 넓어지고 분포 중심은 저위상 영역으로 이동됨을 알 수 있었다.

그림 3-6은 부 극성 시 $\phi-AEA-t$ 분포 특성을 나타내고 있다. 트리 개시로부터 파괴 시 까지 음향 방출 평균 진폭은 과도적인 증가와 감소를 반복하다가 파괴에 이른다. 펄스 발생 위상도 부 극성의 피크를 훨씬 넘어선 광범위한 영역에서 발생되고 있음을 보여주고 있다. 결과적으로 그림 3-2 ~ 그림 3-6까지의 위상 각에 대한 고찰은 정,부 극성 시 트리 개시로부터 파괴에 이르기까지 저위상 영역에 분포 중심을 갖게 되고 파괴에 가까워지면 고위상 영역으로 나타나게 되는 이유는 트리 가지에서의 부분 방전에서는 가지의 미세 채널마다 독립적으로 일어나지만 전압 분담에 의해 큰 가지는 방전에 큰 전압을, 작은 가지는 낮은 전압을 필요로 하기 때문이라 사료된다.

4. 결 론

본 연구 상에서 자체 개발한 음향 방출 계측 시스템과 부분 방전 전하량 탐지 장치를

이용하여 인공적인 침상 보이드 시편에 11kv 전압을 인가하여 동시 계측함으로써 부분 방전 전하량과 음향 방출 펄스 평균 진폭 및 위상과의 관계를 연구하였다.

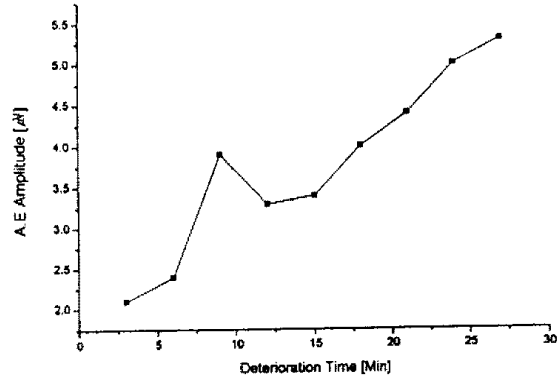


Fig.3-2 A.E Amplitude and deterioration time by treeing

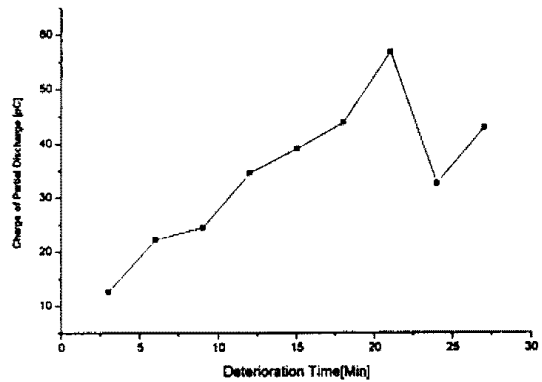


Fig.3-1 Charge of partial discharge and deterioration time by treeing

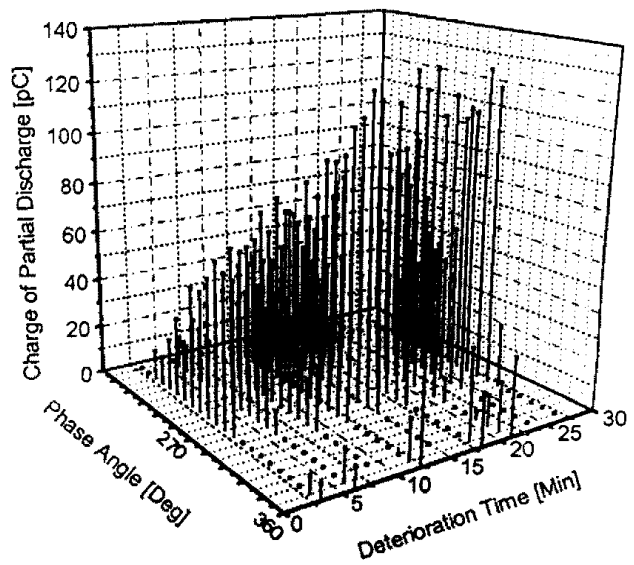


Fig.3-4 Characteristic of $\phi-q-t$ Distribution(negative polarity)

참고 문헌

- [1] T. Okamoto, T.Tanaka, "Change in Pulse-Mean ψ - q Distribution Patterns of Partial Discharges due to treeing Propagation", Trans. Inst. Elect. Eng. Jpn. Vol. 102.A, NO. 12, pp. 665-672, 1982
- [2] Koji Urano, Yoshiyasu Ehara, Haruo Kishida, Tairo Ito, "Analysis of Treeing Phenomena by Discharge Luminescence in Each Phase Angle", Musashi Institute of Technology, 전 학논 A, 115 권 11 호, 1995
- [3] L. A. Dissado, J.C.Fothergill, "Electrical Degradation and Breakdown in Polymer"
- [4] Tairo et al, "Phase Angle Analysis of Discharge Magnitude Distribution in a Fine Void", JIEE. VOL. 109, NO.12, 1989
- [5] Park Jae Jun, "A Study on the Diagnosis of Treeing Breakdown using the Method of Acoustic Emission" Kwangwoon Uni. Ph.D,1993

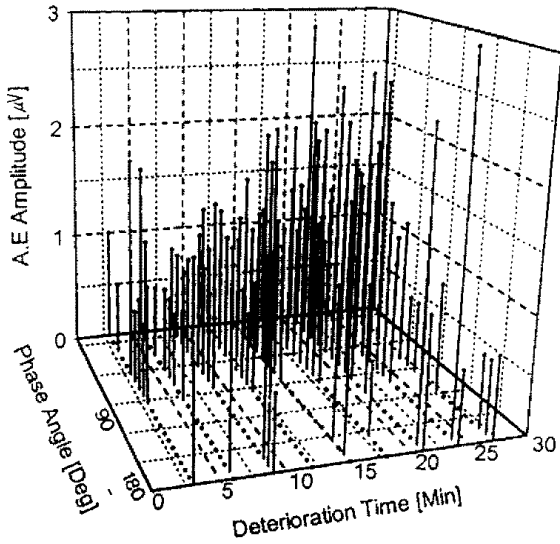


Fig.3-5 Characteristic of ψ -AEA-t Distribution(positive polarity)

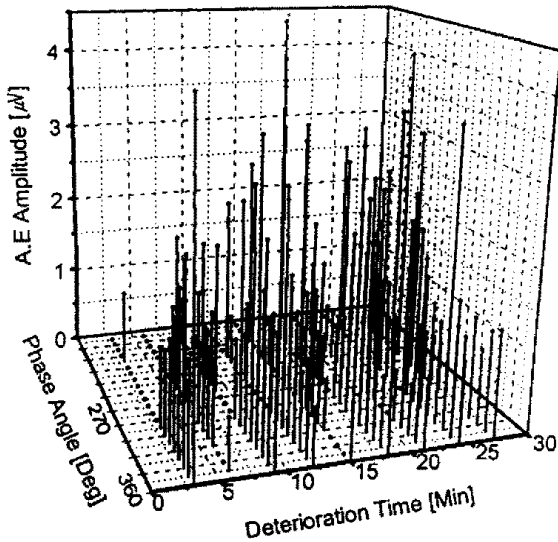


Fig.3-6 Characteristic of ψ -AEA-t Distribution (negative polarity)

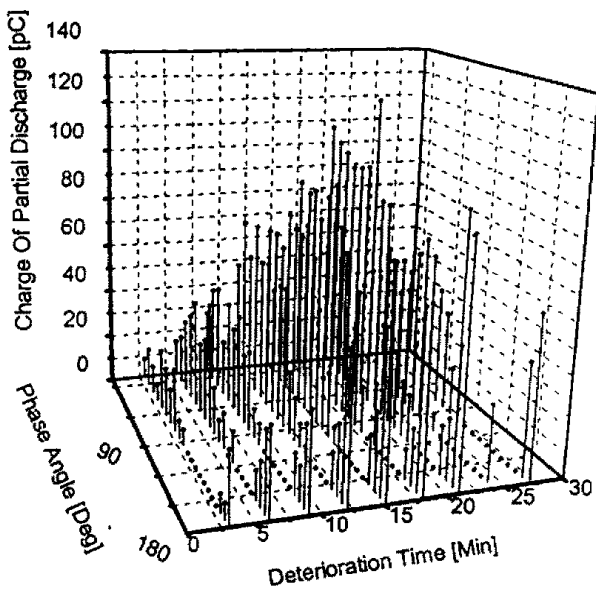


Fig.3-3 Characteristic Of ψ -q-t Distribution (positive polarity)