

## 프랙탈 특성과 음향방출 계측법을 이용한 LDPE 시료에서의 트리링 파괴진단에 관한 연구

윤현주\*, 박재준\*\*, 신승중\*\*, 최재관\*, 김성훈\*, 김재환\*

\*광운대학교 전기공학과  
\*\*중부대학교 컴퓨터과학부

### A Study On the Diagnosis Breakdown Using Fractal Characteristics and the Method of Acoustic Emission in Low Density Polyethylene

H.J. Yoon\*, J.J. Park\*\*, S.J. Shin\*\*, J.K. Choi\*, S.H. Kim\*, J.H. Kim\*.

\*Department of Electrical Engineering Kwangwoon University

\*\*Department of Computer Science Joong Bu University

**Abstract** - Automatic detection system to detect acoustic emission pulse and fractal dimension were developed, to observe tree deterioration phenomena in LDPE.

The purpose of our work are to use acoustic emission system and fractal dimension and to investigate the treeing phenomena in polymeric insulation under applied AC voltage 11[kV] with an artificial needle-shaped void(1.5[mm]) using the above system.

We analyzed and phase angle-acoustic emission pulse amplitude-deterioration time ( $\Phi$ -AEA-t) pattern and phase angle-acoustic emission pulse number-deterioration time( $\Phi$ -AEN-t) pattern using statistical operators such as skewness, fractal dimension.

In this paper show that the correlation of  $\Phi$ -AEA-t,  $\Phi$ -AEN-t, fractal dimension using regression analysis by the method of least squares can be used to predict the breakdown just before the breakdown occurs.

### 1. 서 론

본 논문에서는 전력케이블에서 절연파괴를 미연에 방지하기 위하여 부분방전 및 음향방출 특성의 새로운 정보로서 인가전압 위상각을 도입하여 절연 열화와 이러한 비선형 현상을 프랙탈 개념을 도입, 이용하여 전기적 트리를 침대 평균 전극형태의 시료에 11[kV], 60[Hz]의 고전계를 인가하여 발생시킨 다음, 광학현미경을 이용한 movie camera를 이용하여 트리형상을 확대하고, 촬영하여 프랙탈차원과 음향방출 펄스를 측정하여 변압기 및 케이블 접속부의 절연파괴를 효과적으로 계측할 수 있는 시스템을 구축하여 열화 상태의 진단을 할 수 있고, 불투명한 재료와 복잡한 전극 배열과 실시간의 트리 진전 상태의 감시가 가능하며 음향방출 상호간의 불투명하고 복잡한 전극배열에 적합하며 전

기, 자기적인 간섭을 받지 않는 음향의 장점을 이용하여 절연파괴를 미연에 감지하고, 방지할 수 있으리라고 사료된다.

### 2. 시편제작 및 실험방법

본 실험에 사용된 시편은 저밀도 폴리에틸렌(이하 LDPE)으로서 밀도 0.92[g/cm<sup>3</sup>]인 LDPE의 펠렛(Pellet)을 시료제작기의 주형 위에 올려놓고 120[°C]에서 5분간 예열한 후 시료중앙에 바늘을 꽂고 압력이 100[kg·f/cm<sup>2</sup>]이 될 때까지 5분 동안 단계적으로 가압하였다. 다시 5분 동안 주형 위에 가열한 후, 시료의 투명도를 위해 10[°C]의 물에서 급랭하였다. 시편의 규격은 30×40×3.5[mm]로 제조하였으며, 침 전극은 직경 0.56[mm]인 바늘(스테인레스 스틸)을 예칭 법에 의해 침전단 곡률 반경을 10[μm]로 조정하여 보이드만의 겹 길이는 1.5[mm]의 시편에 1기압의 공기를 봉입하여 극간 거리 2[mm]시편에 주입하였다.

실험 장치에 대한 블록선도는 그림 2-1에 표시하였으며 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위하여 실리콘 오일에 함침하였다. 음향센서는 300[kHz]를 갖는 PZT 변환기가 사용되었고 평판전극 바로 아래 거리 2[cm]에 설치하였고 음향의 원신호 자체는 너무 미약하여 80[dB]의 차동 증폭기로 증폭하고 80[kHz]의 High Pass Filter를 사용하였다.

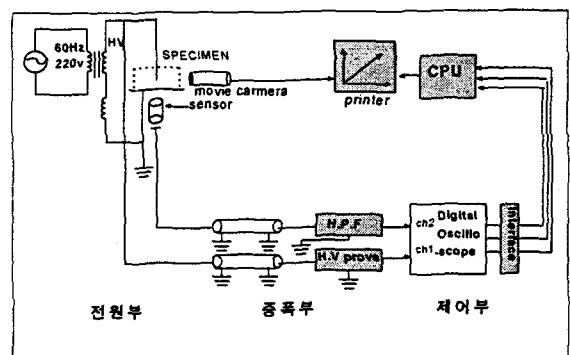


그림 2-1 실험 장치 블록 선도

설계시 최대한의 노이즈를 개선하였고 문턱준위는 증폭된 신호를 0.03[V]로 하여 확실한 음향신호를 얻을 수 있었다. 위상각 특성을 보기 위해 인가 전압을 고전압 Probe(HP 34300A)로 전압을 강하시켜 디지털 오실로스코프(HP54501)의 채널1에 입력시켰다. 증폭된 음향신호는 동기화를 거쳐 인가 전압 한 주기 동안의 펄스를 디지털 오실로스코프 채널2에 입력되어 Interface를 통해 PC로 전송하고 각 펄스의 위상 정보와 펄스크기 정보를 얻는다.

### 3. 실험 결과 및 검토 고찰

#### 3.1 열화 시간에 따른 트리의 길이와 프랙탈 차원의 비교를 통한 회귀분석

인가전압 11[kV]를 보이드 1.5[mm]인 시료에 인가했을 때의 트리는 침전극 축방향으로 성장하는 가지형 트리이며 프랙탈 차원의 값은 1.43의 값을 갖는다.

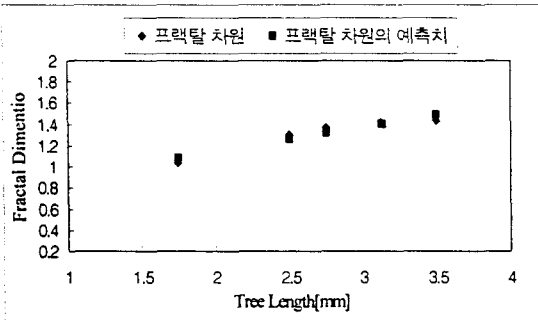


그림 3-1 트리길이와 프랙탈 차원의 회귀분석

트리길이와 프랙탈 차원의 회귀분석을 통하여 상관 계수를 구하여 본 결과 95.1[%]의 통계량을 얻어 자기유사성을 지닌 박스카운팅 방법에 의한 프랙탈 임을 확인할 수 있었고 그림 3-1에 나타내고 있다. 사용하여 구한 방법은 아래와 같이 주어진다..

$$D = \frac{\log a}{\log 1/s}$$

여기에서 D는 자기 유사성 차원을 나타내며, s는 축소인자, a는 축소인자로 나누어진 개체의 수를 나타내며 자기유사성을 지닌 프랙탈 특성의 중요한 점은 축소인자와 개체의 수의 관계에서 크기에 관계없이 일정한 차원을 얻을 수 있다.

#### 3.2 $\phi$ -AEA- $t$ 와 $\phi$ -AEN- $t$ 의 분포 특성

그림 3-2은 인가전압 위상각에 따른 음향 방출의 평균펄스 진폭의 열화시간의 분포 특성을 나타낸 것으로서 겹 길이가 긴 경우인 큰 펄스진폭을 갖는 펄스의 호트러짐이 크다고 볼 수 있다. 정극성시는 열화 초기부터 말기까지 피이크(위상각이  $\pi/2$ )을 넘어선 영역에서 펄스발생을 보이지만 분

포중심( $\pi/6 \sim \pi/4$ )은 영역에서 발생하고, 부극성시는 펄스 발생 위상 분포 중심의 호트러짐이 크고 열화 초기부터 열화가 진전됨에 따라 저위상으로 이동하다 말기에는 고위상에 이른다.

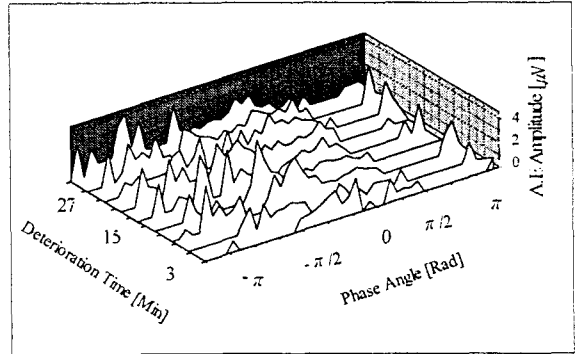


그림 3-2  $\phi$ -AEA- $t$ 의 분포특성

정극성시 저위상각에 머무른 이유는 교류전압 11[kV] 인가시 반사이클 부의 위치로부터 극성이 변화하여 정극성의 피이크는 부극성의 방전에 의하여 잔류 전하의 영향을 최고로 받기 쉬운 영역이 정극성의 위상 초기이며 정극성 피크 근방에서는 잔류 전하의 영향을 받기 어렵기 때문에 피크 근방에서 발생이 둔화된다. 부극성시 파괴말기 고위상으로 이동하는 이유는 Kitamura씨<sup>(1)</sup>등의 연구에서 파괴에 가까울수록 트리 길이가 길어져서 방전시 높은 전압이 필요하기 때문에 고위상으로 이동한다고 사료된다.

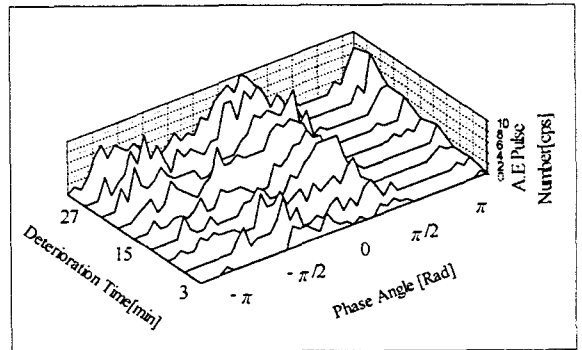


그림 3-3  $\phi$ -AEN- $t$ 의 분포특성

그림 3-3은 인가전압 위상각에 따른 음향 방출의 평균 펄스 수의 열화 시간의 분포 특성을 나타낸 것으로서  $\phi$ -AEA- $t$ 의 분포 패턴과 유사한 형태를 보이지만 정극성시의 발생 펄스는 열화가 진행됨에 따라서 작은 진폭을 갖는 펄스 수가 많음을 보여주고 있으며 부극성시 열화 초기에는 큰 진폭을 갖는 펄스 수가 적었으며 열화가 가속됨에 따라 큰 진폭을 갖는 펄스 수의 증가를 보여주고 있다.

### 3-3. 11 (kV) 인가시 왜도값의 시간변화

트리 채널 내의 부분 방전에 의해 트리가 진전됨에 따라 3차원 분석을 더욱 정량적으로 표현하기 위하여 그림3-5, 그림3-6을 통하여  $\phi$ -AEA-t와  $\phi$ -AEN-t의 분포 특성을 절연 파라메타로 이용하기 위하여 분포의 특성량인 왜도를 도입하기로 한다. 왜도 S는 분포의 비대칭성을 표현하는 양으로 좌우가 대칭이면 S=0, 오른쪽 분포 중심이 낮으면 S>0, 분포 중심이 높으면 S<0으로 된다.

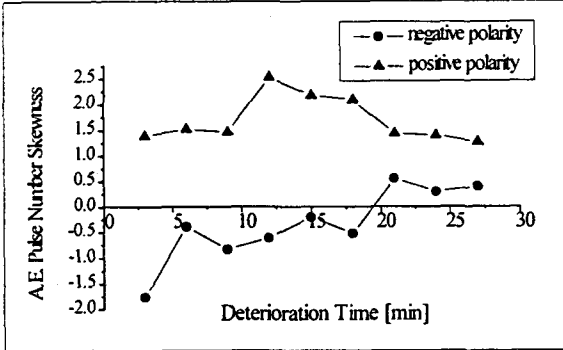


그림 3-5  $\phi$ -AEN의 분포패턴에 대한 왜도의 시간변화

정극성의 왜도는 열화 초기에서 말기까지 점진적으로 위상각분포가 증가하는 정의 값을 갖는 저위상의 분포값을 갖지만 부극성의 왜도는 열화 초기에는 부의 값으로 시작하여 20분 이후에는 정의 값으로 변화하여 파괴에 이른다.

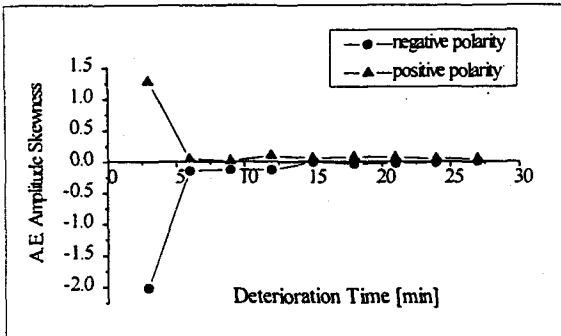


그림 3-6  $\phi$ -AEA의 분포패턴에 대한 왜도의 시간변화

## 5. 결 론

본 논문에서는 음향방출 시스템과 프랙탈 특성을 이용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. AC 11[kV]를 인가시 트리는 자기 유사성을 갖는 프랙탈 이라고 사료되며 트리길이와 대체적으로 비례한다.
2. 위상각 분포특성에 있어서  $\phi$ -AEA-t와  $\phi$ -A

EN-t의 경우 피크를 넘어선 고위상 영역까지 분포중심의 호트리집이 크다는 사실은 절연진단의 정보로 사용되리라 사료되며, 부극성시에는 열화가 진전됨에 따라 저위상으로 이동하다 파괴 말기에는 고위상영역에 도달하며 이는 트리 길이가 길어져서 높은 전압이 필요하기 때문이라고 사료된다.

3. 화상정보를 이용하여 분석한 프랙탈 차원( D : 1.43 )과 음향방출 펄스 수와의 전반적인 경향을 보아 유사함을 보여 파라메타를 이용한 열화 진단의 정보로 이용될 수 있으리라 사료된다.
4.  $\phi$ -AEA의 정극성의 왜도는 열화초기에는 정의 값을 지니지만, 부극성의 왜도는 부의 값에서 시작하여 파괴 말기까지 대칭형의 분포 특성을 지니며 열화 진단의 정보로 이용될 수 있으리라 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Peitgen, Jurgens, Saupe, "Chaos and Fractals", Springer-Verlag, pp.202~216, 1991
- [2] T. Okamoto, T.Tanaka, "Change in Pulse-Mean  $\phi$ -Q Distribution Patterns of Partial Discharge due to treeing Propagation", Trans. Inst. Elect. Eng. Jpn, Vol. 102.A, NO. 12, pp.665~672, 1982
- [3] Tairo et al, "Phase Angle Analysis of discharge Magnitude distribution in a Fine Void", JIEE. Vol. 109, NO. 12, 1989
- [4] Koji Urame, YoshiYasr Ehara, Haruo Kishida, Tairo Ito, "Analysis of Treeing Phenomena by Discharge Luminescence in Each Phase Angle", Musashi Institute of Technology, Trans. Inst. Elect. Eng, Vol. 115. A, NO. 11, 1995
- [5] 김성홍·박재준·김재환, "부분 방전 전하와 음향방출 펄스의 동시측정에 의한 트리잉 파괴 진단," 한국전기전자재료학회지, Vol. 10, No. 3, pp. 247~254, 1997.