

트리잉 열화에 따른 ϕ -AE 분포특성에 관한 연구

A Study on ϕ -AE Distribution Patterns Characteristics due to Treeing Deterioration

朴 材 俊* · 姜 泰 伍** · 金 在 煥***
(Jae-Jun Park · Tae-o Kang · Jae-Hwan Kim)

Abstract - In this paper, characteristics of Acoustic Emission in Low Density Polyethylene were studied from tree initiation to breakdown under long-term inhomogeneous alternative electrical field. The voltage levels used were 9, 11 and 14[kV].

Especially, a newly developed automatic measuring system was used to measure time variations of AE average amplitude, AE pulse number, AE pulse distribution patterns due to polarities. The patterns were specially the variated patterns, when tree propagated. Also, parameters for dielectric breakdown prediction, which were suggested by Okamoto, were calculated. The result was analysed by tree shapes and partial discharge activities in tree channels due to tree initiation and propagation.

Key Words : · Acoustic Emission (음향방출)
Skewness (왜도) Kurtosis (첨세도)

1. 서 론

고분자 절연 재료에 일단 트리가 발생하여 진전

하면 점진적으로 열화가 진행하여 절연체에 치명적인 손상을 가져올 수가 있다. 이런 점에 의해서 트리발생 및 진전에 따른 절연과피 사고를 미연에 방지하는 것은 중요한 과제로 되고 있다[1].

종래에는 트리발생 및 진전 상태를 감시하기 위해서 광학 현미경을 이용하여 트리길이를 측정하거나 부분방전 검출기를 이용하여 어느 일정 시간 내에 방전전하, 평균 부분방전 전류, 그리고 최대

*正 會 員 : 光云大 大學院 電氣工學科 博士課程

**正 會 員 : 大韓電線 技術研究所 研究員

***正 會 員 : 光云大 工大 電氣工學科 教授

接受日 字 : 1992年 2月 10日

1 次 修 正 : 1992年 5月 23日

2 次 修 正 : 1992年 7月 8日

방전 전하를 측정하였지만, 그것만으로는 트리채널 내부의 부분방전 활동을 해석하는데 어려움이 있었다.

최근, 부분방전의 파라미터로서 인가전압 위상각을 도입하는 방식이 소개되고 있으며, 인가전압 위상각과 부분방전 펄스 발생의 상관 관계를 컴퓨터를 이용하여 활선 상태에서 계측기화 하는데 연구가 집중되고 있다[2, 3].

또한, 최근 부분방전시에 방출되는 음향이나, 빛을 검출하여 트리채널 내부의 방전활동을 간접적으로 계측하는 외부측정 기법이 소개되고 있으며, 그 유효성이 입증되고 있다.

특히 음향 방출법의 경우, 여기에 이용되는 음향센서는 유증 고체 절연물 및 변압기의 부분방전 위치[4] 및 재료 물성연구에 이용되고 있으며, 다른 방식에 비해 몇가지 잇점 즉, 불투명한 재료와 복잡한 전극배열, 음향신호 검출시 전기 자기적인 간섭을 받지 않고, 긴 물체내의 트리킹 지점을 찾을 수 있고 트리진전시 실시간과 서어비스 상태의 감시가 용이한 점이 있다[5~8].

이런 음향방출법을 이용하여 본 논문에서는 연구실에서 자체 개발한 음향계측 시스템으로 교류전압 인가하에 있는 저밀도 폴리에틸렌의 전기적인 트리발생 및 진전에 따른 음향방출 특성을 시간 변화에 따라 연구하였다.

첫째로 트리발생 및 진전의 형태와 트리 진전 길이/음향방출 평균진폭, 트리 진전 길이/음향방출 펄스 수의 시간 변화를 측정하였다.

둘째로 트리진전에 따른 인가전압 위상각/음향방출 진폭(이하 ϕ -a분포)의 시간변화를 측정하였다.

그리고 ϕ -a분포를 더욱 정량적으로 검토하기 위하여 Okamoto씨[2]등이 제안한 방전분포의 파라메타인 왜도(S), 첨쇄도(K)의 시간변화를 측정하여 트리진전 양상을 해석하였다.

2. 음향 방출 측정 및 위상각 평가법

2.1 음향방출 펄스 평균진폭의 위상특성 평가법

2.1.1 위상 특성[2, 3]

시료에 인가한 전압의 "0"점을 기준으로 음향방출 펄스의 발생위상각을 ϕ 라 하고 방출펄스의 평균진폭을 a 라 정의한다. 여기서 평균진폭은 컴퓨터계측 프로그램에서 임의로 어느시간 마다 평균

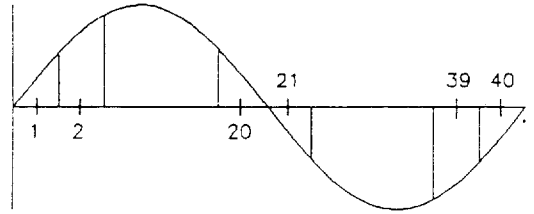


그림 2.1 평균위상
Fig. 2.1 An average phase

한 값이다. 본 논문에서는 펄스 평균진폭의 위상 특성으로써 특정 위상각 범위(9°)마다 펄스 평균진폭을 나타내는 ϕ -a분포특성을 다음식에 의해 구하였다.

$$\phi_i = 2\pi(i - 1/2)/(2N) \quad (2-1)$$

$$(i = 1 \sim 40, N = 40)$$

여기서 ϕ_i 는 그림 2-1에 표시한 바와같이 1사이클을 N 등분한 정의 영점으로부터 i 번째 위상구간의 평균위상이다.

2.1.2 통계처리

ϕ -a분포특성의 실험 데이터는 시료 및 측정시간에 따라서 흐트러짐이 크고, 실험 데이터도 대량이므로 어떠한 객관적인 통계처리를 시도할 수 있다.

본 논문에서는, 통계량인 다차(多次)의 모우먼트 계산을 ϕ -a분포특성에 사용하였다. 여기서 표본횟수 k 차의 모우먼트 m_k 는 다음식으로 주어진다.

$$m_k = \sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^k a_i / ae \quad (2-2)$$

단, ae 는 평균화된 1 사이클중의 펄스 평균진폭의 총합, $\bar{\phi}$ 는 위상분포의 평균값, σ 는 표준편차, a_i 는 i 번째 위상 구간사이에서 발생한 음향방출의 평균진폭이며, 각각 다음식으로 주워진다.

$$ae = \sum_{i=1}^N a_i \quad (2-3)$$

$$\bar{\phi} = \sum \phi_i a_i / ae \quad (2-4)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum (\phi_i - \bar{\phi})^2 a_i / ae} \quad (2-5)$$

k 차의 모우먼트는 k 값에 따라 데이터의 특성값을 구할 수 있다. $k=1, 2, 3, 4$ 는 각각 분포의 평균치(기대치), 분산 σ^2 , 왜도(skewness) S, 첨쇄도(kurtosis) K를 나타낸다. 왜도 S는, 분포의 평균값에 대한 비대칭성의 정도를 나타내고, 첨쇄

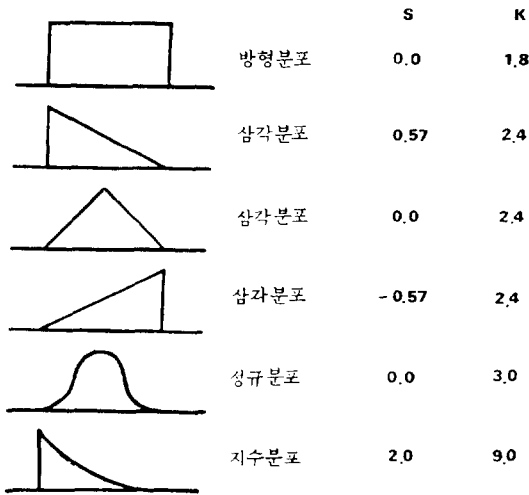


그림 2.2 대표적인 분포형상의 S와 K
 Fig. 2.2 The skewness and the kurtosis of several distribution

도 K는 분포의 집중도를 나타내는 양이다. 일반적으로 왜도와 첨새도의 측도(測度) m_3 와 m_4 는 값이 크기 때문에, 표준편차 σ 의 3승과 4승으로 나누는 것으로 표준화한 값을 왜도와 첨새도의 값으로 이용한다. 표준화한 왜도 S와 첨새도 K를 다음식으로 나타낸다.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^3 a_i / (ae\sigma^3)}{(2-6)}$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^4 a_i / (ae\sigma^4)}{(2.7)}$$

이와같이 분포의 형상은 왜도 S와 첨새도 K의 값으로 나타낼 수 있고, 이것을 이용하여 각 측정시각에 있어서 부분방전의 위상특성을 논하는 하나의 지표를 생각할 수 있다. 그림 2-2는 대표적인 분포형상의 S와 K를 나타내고 있다.

3. 시편제작 및 실험방법

3.1 시편

시편은 밀도 0.92[g/cm³]인 저밀도 폴리에틸렌의 펠릿(Pellet)을 사용하였다. 순수한 폴리에틸렌 펠릿을 자체 제작한 시료 제작기로 제조했다. 완성된 시편은 그림 3-1과 같이 블록 형태이며 규격은 30×40×3[mm³]이다. 침전극의 곡률 반경은 약 5[μm], 선단 각도는 약 30°이다. 전극의 형태

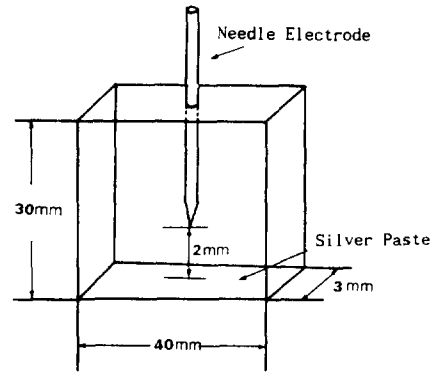


그림 3.1 전극과 시료의 구조
 Fig. 3.1 Arrangement of electrode and sample

는 침대 평판 구조이고 극간 거리는 2[mm]이며, 평판 전극은 실버페이스트(Silver Paste)로 도포하였다.

3.2 실험장치 및 방법

3.2.1 실험 장치

실험장치에 대한 블록선도는 그림 3-2에 표시하였다. 인가전압은 교류 60[Hz]이고, 고전압 회로는 음향방출 검출회로의 잡음을 일으킬수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일(Silicon Oil)에 함침하였다. 음향센서는 공진 주파수 300[kHz]를 갖는 PZT변환기가 사용되었고, 평판 전극 바로 아래(거리 2cm)에 설치하였다. 프리앰프(Pre AMP)와 메인앰프(Main AMP)의 총 이득은 60[dB]이다. 80~450[kHz]의 帶域필터(Band Pass Filter)를 사용하여 증폭기의 잡음을 줄이고 문턱 준위는 0.125[mv]로하여 확실한 음향신호를 얻을 수 있었다. 센서에서 포착된 신호는 증폭된

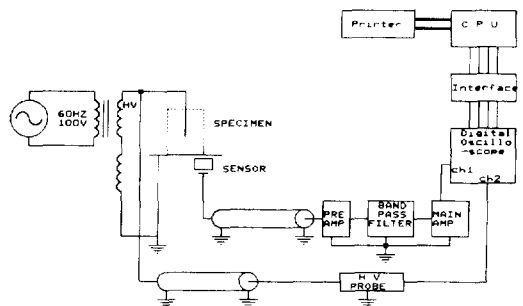


그림 3.2 실험장치의 블록선도
 Fig. 3.2 Block diagram of experimental set-up

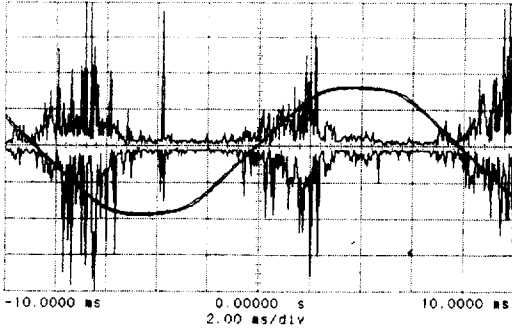


그림 3.3 음향방출 파형
Fig. 3.3 AE waveforms

후 디지털 오실로스코프(HP 54501A)의 채널 1에 입력된다. 그리고 AE펄스의 위상각 특성을 보기 위해 인가전압을 고전압 프로브(HP 34300A)로 전압 강화시켜 채널 2에 입력한다. 오실로스코프에서 디지털화 된 신호는 데이터 통계처리를 위해 인터페이스에서 디지털화 된 신호는 데이터 통계처리를 위해 인터페이스(GP-IB Card)를 통해 컴퓨터에 입력되어 하드메모리에 저장한다.

3.2.2 실험 방법

전압인가 방식은 일정전압까지 인가한 후 트리 개시로 부터 파괴시까지 고분자 열화의 가속을 위해서 5분의 과전을 행한후 6분의 휴지시간을 택하여 인가했으며, 전압의 레벨은 9, 11, 14[KV_{rms}]가 인가 되었고 측정된 자료는 정확성을 기하기 위해서 각 전압레벨당 7개를 평균한 값이다. 트리사진은 광학 현미경(OLYMPUS)에 부착된 카메라로 촬영되었고, 트리형태와 길이의 변화가 실험후에 사진으로 검토되었다.

트리진전과 관련된 음향방출의 파형이 그림 3-3에 나타나 있다. 그림 3-3의 전압의 zero를 기준으로 상부의 펄스만을 데이터로 사용하였다. 시료와 센서는 2[cm] 떨어져 있기 때문에 그림 3-3에 나타난 신호는 실리콘유에서의 음파속도가 1400[m/s]인 것을 고려한다면 원 신호보다 14.3[μs]정도 지연된 신호이다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 인가전압에 따른 트리 형태의 변화

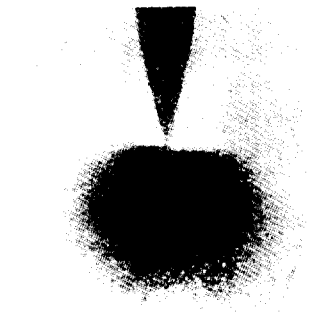
사진 4-1(a), (b)와 (c)는 각각의 인가전압에서 트리형태의 사진을 나타내고 있다. 트리의 형태도



(a) 9[kV]



(b) 11[kV]



(c) 14[kV]

사진 4.1 트리의 사진
Fig. 4.1 Photographs of the tree

인가전압에 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

9[kV]의 전압이 35분 동안 인가되었을 때 트리는 사진 4-1(a)에 나타난 것처럼 가지(branch) 형태였고, 사진 4-1(b)는 11[kV]에서 전압인가 후 56분 만에 작은 가지를 갖는 유사수초(similar-bush) 형태를 나타내고 있으며 사진 4-1(c)에서 14[kV]가 100분 동안 인가되었을 때 트리는 수초(bush)형태로 부풀어 올랐다. 인가전압이 증가함에 따라 트리발생 면적이 커지고 있음을 확인할 수 있었다.

4.2 트리진전에 따른 AE 펄스수와 평균진폭의 시간변화

그림 4-1, 4-2는 9[kV]의 교류전압을 인가했을 때 전극 축방향의 트리의 길이와 AE평균진폭-펄스수의 시간변화를 측정한 결과이다.

AE 펄스수는 처음 5분동안은 58[cps] 정도였지만, 트리의 길이에 따라 증가하여 파괴 직전에는 170[cps] 정도였다. AE 평균진폭도 펄스수와 마찬가지로 축 방향 트리길이에 따라 증가하였으며, 트리발생 초기에는 0.57[mV] 정도, 파괴 직전에는 1.1[mV] 정도였다.

그림 4-3, 4-4는 11[kV]의 교류전압 인가시 트리 축길이와 AE 평균진폭-펄스수의 시간변화를 측정한 결과이다.

AE 펄스수는 21분까지는 트리길이에 따라 급히 증가하였으나, 이후부터는 160~180[cps] 정도를 유지하며 완만하게 증가하였다. AE 평균진폭은 트리의 진전에 따라 증가하였고, 초기에는 0.75[mV] 정도였으며, 파괴 직전에는 1.5~2.7[mV] 정도였다.

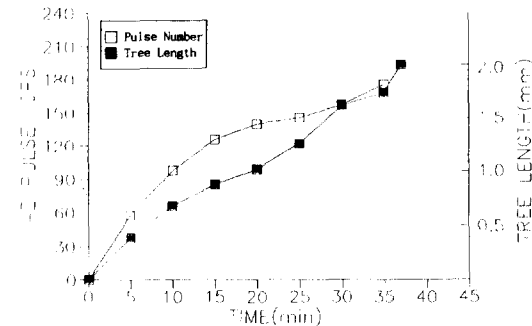


그림 4.1 음향방출 펄스수와 축방향 트리길이의 시간변화(9kV)

Fig. 4.1 Time variation of AE pulse number and axial tree length 9[kV]

그림 4-5, 4-6는 14[kV]의 교류전압을 인가했을 때 트리 축길이와 AE평균진폭-펄스수의 시간변화를 나타내고 있다.

AE펄스수는 40분까지는 급하게 증가하였지만, 그 이후 170~200[cps] 정도의 펄스를 유지하며 완만하게 증가하였다. AE평균진폭은 처음 10분 동안은 1.2[mV] 정도였고, 트리의 진전에 따라 점차 증가하여 파괴 직전에는 2.8~3.2[mV] 정도였다.

결국, 그림 4-1~4-6를 종합해 볼 때 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- (1) AE펄스수와 평균진폭은 트리발생 초기에는 작았지만, 트리가 진전하여 파괴에 가까워짐에 따라 커지고 있는데, 이 사실로부터 트리 채널이 평판전극에 가까워 질수록 트리 채널

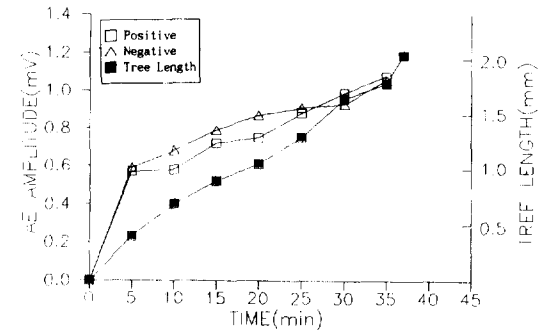


그림 4.2 음향방출 평균진폭과 축방향 트리길이의 시간변화(9kV)

Fig. 4.2 Time variation of AE mean amplitude and axial tree length 9[kV]

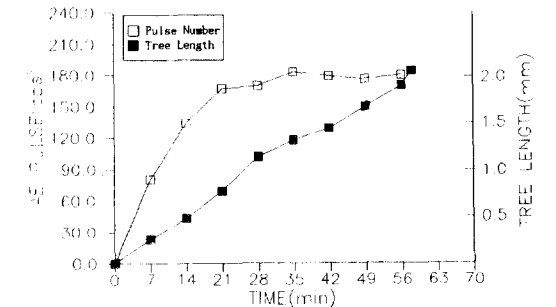


그림 4.3 음향방출 펄스수와 축방향 트리길이의 시간변화(11kV)

Fig. 4.3 Time variation of AE pulse number and axial tree length 11[kV]

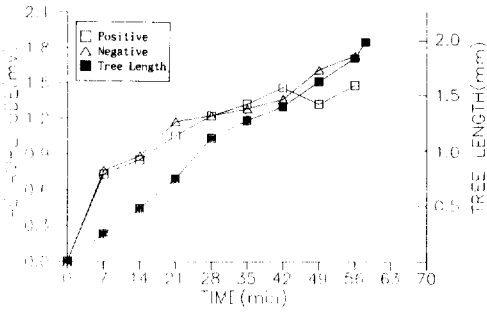


그림 4.4 음향방출 평균진폭과 축방향 트리길이의 시간변화(11kV)
 Fig. 4.4 Time variation of AE mean amplitude and axial tree length 11[kV]

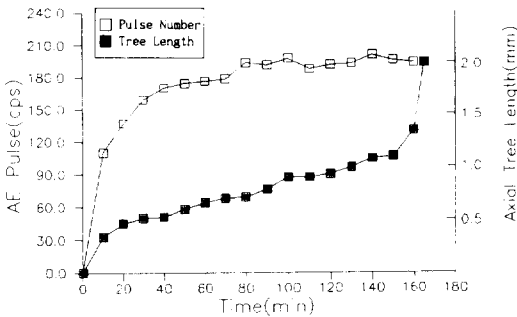


그림 4.5 음향방출 펄스수와 축방향 트리길이의 시간변화(14kV)
 Fig. 4.5 Time variation of AE pulse number and axial tree length 14[kV]

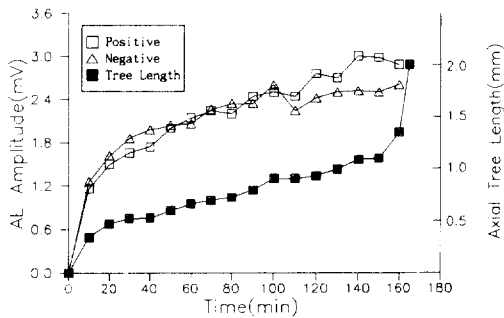


그림 4.6 음향방출 평균진폭과 축방향 트리길이의 시간변화(14kV)
 Fig. 4.6 Time variation of AE mean amplitude and axial tree length 14[kV]

내부의 방전활동이 격렬해지고 있음을 알 수 있다.
 (2) 인가전압이 증가할수록 (9→11→14[kV]) 축방향 트리의 진전은 둔화되었지만, AE펄스수와 평균진폭은 커졌다. 이 사실로부터 인가전압이 증가함에 따라 트리채널 내부에서 많은 부분방전이 발생하고 있고, 그에 따라 많은 트리채널이 형성되고 있지만, 트리가 축방향보다는 일방향쪽으로 많이 진전하고 있기 때문에 축방향 트리의 진전이 억제되고 있음을 알 수 있다.

4.3 트리진전에 따른 ϕ -a 분포 양상의 시간변화

그림 4-7은 인가전압 9[kV]에서 가지형 트리가 진전했을 때, ϕ -a분포의 양상을 시간별로 나타내고 있다. 정 부 펄스 모두 트리발생 초기(5분)에는 거의 전압 위상각에 관계 없이 일정한 크기를 나타냈고, 트리가 진전함에 따라 ϕ -a분포의 중심보다 높은 위상각(75°, 255°) 영역에서 다소 큰 펄스가 발생했다. 트리가 평판전극에 가까워지면서(35분) 피크직전(80°, 260°)의 위상각에서 큰 펄스가 발생했다.

이상의 실험결과로부터 가지형 트리가 진전하여 파괴에 가까워짐에 따라 주로 높은 위상각 영역에서 큰 AE펄스가 발생하고 있음을 알 수 있는데, 이것을 다음과 같이 설명할 수 있다.

Laurent등은 가지형 트리가 진전할 때 방출되는

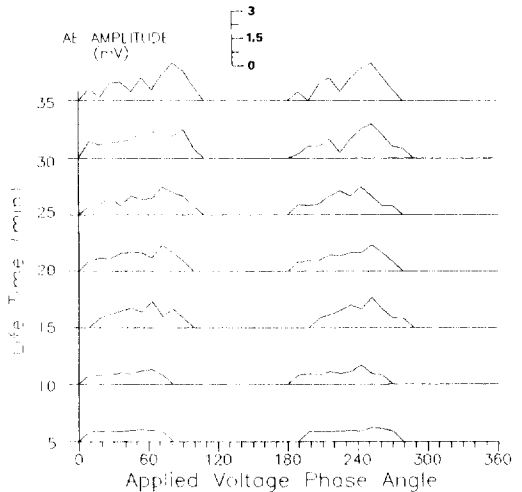


그림 4.7 ϕ -a 분포 패턴의 시간변화(9kV)
 Fig. 4.7 Time variation of ϕ -a distribution patterns(9kV)

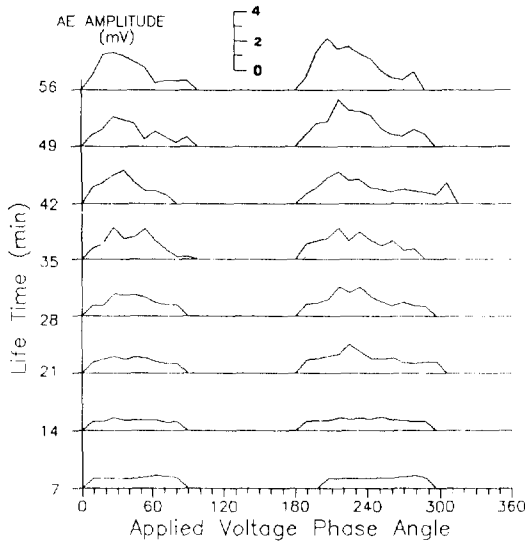


그림 4.8 ϕ - a 분포 패턴의 시간변화(11kV)
 Fig. 4.8 Time variation of ϕ - a distribution patterns(11kV)

빛은 가지 끝에 집중되어 있으며, 그 이유는 바늘 끝과 가지 끝 사이에서 방전이 일어나기 때문이라고 보고한 바 있다[8~10]. 이것으로부터 가지형 트리에서 방전전류는 바늘 끝으로부터 트리채널 끝으로 흐르고 있으며 트리채널 내부의 저항 성분을 고려했을 때 채널 내부에서 전압강하가 발생한다는 것을 알 수 있다. 따라서 가지형 트리가 진전하여 파피에 가까워짐에 따라 트리채널의 내부의 전압강하가 커지게 되어 펄스를 발생하는 실제적인 전압이 낮아지므로 이를 보상하기 위해서 보다 높은 위상각 영역으로 펄스의 피크치가 이동하여 인가전압의 피크 부근에서 큰 방전이 일어나고 그에 따라 큰 AE펄스가 발생하게 된다. 또 ϕ - a 분포의 피크치가 인가전압의 피크에서 발생하고 있지 않는데, 그 이유는 침전극에서 주입된 전자가 가지 말단에 이르게 되면 광학적 천이나 열적 천이를 거쳐 벌크중의 트랩준위나 기저준위에 트랩되어 같은 극성의 공간전하층을 형성하여 전계를 완화시키는 거동을 하기 때문에 피크에서 큰 AE펄스가 발생하지 않는다[10].

그림 4-8은 인가전압이 11[kV]일때 ϕ - a 분포 양상의 시간변화를 나타내고 있다. 정·부 펄스 모두 트리발생 초기(7~14분)에는 위상각에 관계없이 일정한 크기를 나타냈고, 더욱 트리가 진전함에 따라 ϕ - a 분포의 중심보다 낮은 위상각에서 큰 펄스가 발생했다. 파피에 가까워 졌을 때 ϕ - a 분포

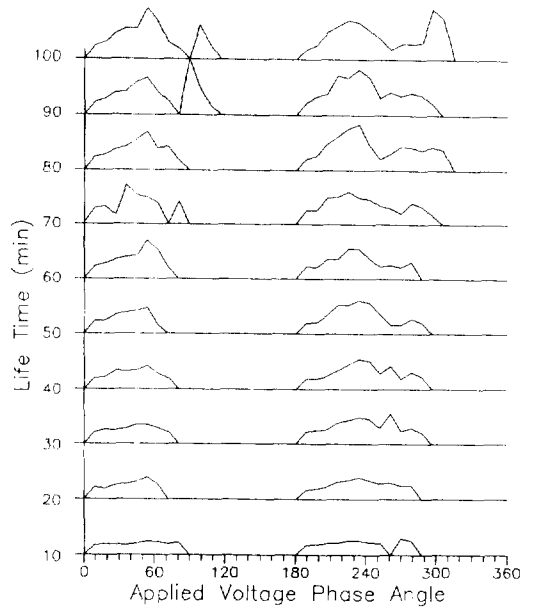


그림 4.9 ϕ - a 분포 패턴의 시간변화(14kV)
 Fig. 4.9 Time variation of ϕ - a distribution patterns(14kV)

는 더 낮은 위상각 영역(30°, 210°)으로 이동했다. 결과적으로 유사 해초형 트리가 진전하여 파피에 이를 때까지 주로 낮은 위상각 영역에서 집중적으로 방전이 일어나고 있음을 알 수 있다. 그림 4-9은 인가전압이 14[kV]에서 해초형 트리가 진전 했을 때 ϕ - a 분포의 양상을 시간변화에 따라 측정된 결과이다.

특정적인 것은 정 펄스의 경우 트리발생초기 ~파괴에 이르기 까지 비교적 낮은 위상각 영역인 30°~60°사이에서 큰 AE펄스가 발생하고 있으며, 파괴에 가까워질수록 ϕ - α 분포의 중심은 더 낮은 위상각 영역으로 이동하고 있다. 부 펄스의 경우 초기(10~40분)에는 분포의 중심 위상각 부분에서 큰 펄스가 발생했고, 트리가 진전함에 따라 ϕ - α 분포 중심 보다 낮은 위상각 영역(210~240°)에서 큰 펄스가 발생했으며, 파괴에 가까워질수록 분포중심은 낮은 위상각 영역으로 이동했다.

위의 실험결과로부터 정·부 펄스 모두 주로 낮은 위상각 영역에서 큰 펄스가 발생하고 있음을 알 수 있는데, 이것을 다음과 같이 설명할 수 있다.

즉 수초형 트리에서는 트리채널 전역에서 광방출이 있었고, 트리가 진전함에 따라 그 영역이 확장되고 있는 사실[8~10]로부터 수초형 트리의 방전은 비늘 전극과 평판 전극 또는 앞선 반주기의 방전에 의해 형성된 반대 극성의 공간전하들 사이에서 일어난다는 것을 알 수 있다.

이 효과는 Densley의 트리가지내에서의 부분방전설을[11] 고려해보면 더욱 명백해진다. 즉, 방전으로 인하여 트리가지내에 생긴 전자들중에서 충분한 에너지를 가진 것들은 벽면에 충돌하여 2차 전자를 방출할 것이고, 보다 낮은 에너지를 가진 전자는 분자를 이온화 시키거나 혹은 벌크내에 트랩되어 음이온을 만들거나 이미 존재하는 양이온이나 전자와의 재결합이 일어날 것이다. 그러므로 트리가지 내부는 양으로 대전되거나 음으로 대전될 수 있다. 이렇게 형성된 공간전하가 충분히 많게 되었을 때 외부전계가 인가되면 그 즉시 비늘 전극과 반대극성의 공간전하 또는 평판전극과 반대극성의 공간전하들 사이에서 방전이 격렬하게 일어날 것이다. 이 때문에 극성 변화 즉시 큰 AE신호가 검출된다.

4.4 S와 K값의 시간변화

본 논문에서는 트리채널 내의 부분방전에 의해 트리가 진전함에 따라 ϕ - α 분포 양상에 특징있는 변화가 나타나는 것을 발견했다. 이 양상 변화를 더욱 정량적으로 간편하게 표현하기 위해 분포의 특성량으로써 왜도 및 첨새도를 도입한다.

이 특성량은 분포의 형상에만 의존하는 양으로, 분포형상을 간편히 정량화 하는 양으로써 적절하다. 왜도 S는 분포의 비대칭성을 표현하는 양으로 좌우대칭이면 S=0, 우하(右下)의 분포이면 $s > 0$,

그리고 우상(右上)의 분포이면 $s < 0$ 으로 된다. 첨새도 K는 방전의 집중도에 관계하며, K가 큰 경우, 즉 위상적으로 집중하여 부분방전이 발생하는 경우에는 공간적으로도 부분방전이 집중하여 발생하는 경우가 많다. 반대로 K가 작은 경우에는 위상적으로 흐트러짐이 크고, 공간적으로도 흐트러짐이 크다고 생각된다.

그림 4-10는 인가전압 9[kV]에서 왜도 S와 첨새도 K의 시간변화를 나타내고 있다. 정·부 펄스 모두 왜도 S는 트리발생 초기(5~10분)에는 -0.1~-0.2정도를 나타냈고, 15분에서 약간 상승하였다가 그 이후 감소하였으며, 파괴직전의 왜도는 -0.5~-0.55정도였다. 첨새도 K는 트리발생 초기부터 파괴까지 점진적으로 증가하였으며,

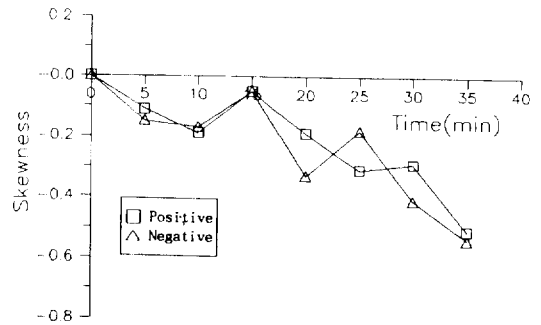


그림 4.10 ϕ - α 분포 패턴의 왜도의 시간변화(9 kV)

Fig. 4.10 Time variation of the skewness of ϕ - α distribution patterns(9kV)

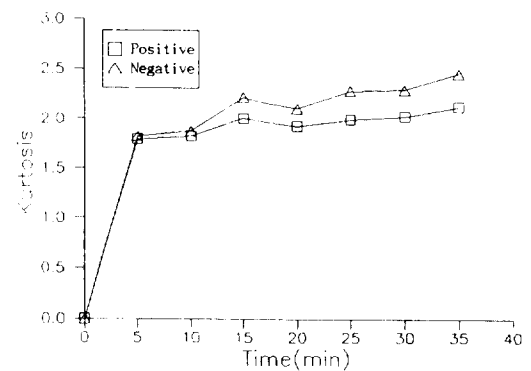


그림 4.11 ϕ - α 분포 패턴의 첨새도의 시간변화(9 kV)

Fig. 4.11 Time variation of the kurtosis of ϕ - α distribution patterns(9kV)

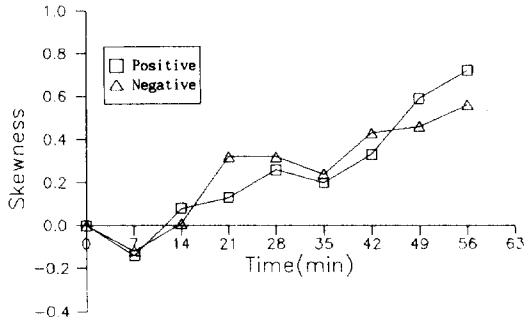


그림 4.12 ϕ - a 분포 패턴의 왜도의 시간변화(11kV)
Fig. 4.12 Time variation of the skewness of ϕ - a distribution patterns(11kV)

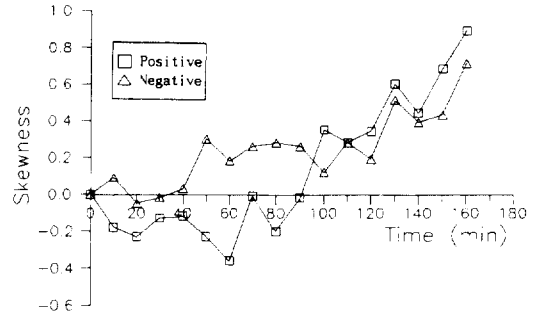


그림 4.14 ϕ - a 분포 패턴의 왜도의 시간변화(14kV)
Fig. 4.14 Time variation of ϕ - a distribution distribution patterns(14kV)

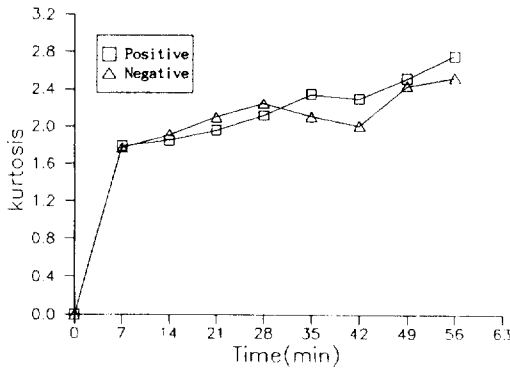


그림 4.13 ϕ - a 분포 패턴의 첨새도의 시간변화(11kV)
Fig. 4.13 Time variation of the kurtosis of ϕ - a distribution patterns(11kV)

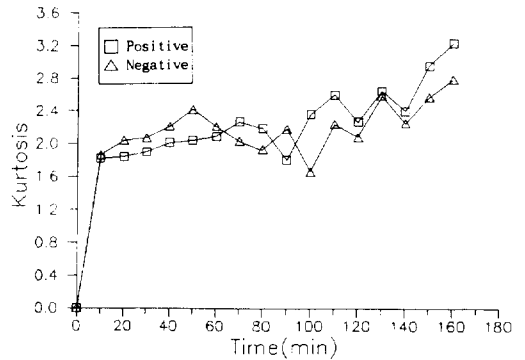


그림 4.15 ϕ - a 분포 패턴의 첨새도의 시간변화(14kV)
Fig. 4.15 Time variation of the kurtosis of ϕ - a distribution patterns(14kV)

트리발생 초기에는 1.8정도, 파괴 직전에는 2.1~2.45정도였다.

그림 4.11는 인가전압이 11[kV]일때, S와 K의 시간변화를 나타내고 있다. 왜도 S는 인가시간 14분까지는 -0.15~0정도의 값에서 변동하다가, 그 이후 증가하였으며, 28~35분 사이에서 약간 감소하였다가 다시 증가하여 파괴에 이르고 있다. 파괴 직전의 왜도는 0.6~0.7정도였다. 첨새도 K는 트리발생 초기~28분 까지는 증가하다가, 28~42분에서 약간 감소하였으며, 42분 이후 다시 증가하여 파괴에 이르고 있다. 파괴 직전의 K값은 2.5~2.8정도였다.

그림 4-12는 인가전압이 14[kV]일 때, S와 K의 시간변화를 나타내고 있다. 정펄스의 경우 트

리발생 초기~60분까지는 왜도 S는 부의 값을 나타냈지만, 70~90분에서 "0"이나 부 값에서 변동하였고, 트리가 진전하여 100분 이후가 되면 정의 값으로 되었고, 파괴 까지 계속 증가하였다.

부펄스의 경우 초기부터 40분까지는 "0"의 값을 중심으로 약간 변동했고, 50~100분에서 0.1~0.3 정도를 일정하게 유지했으며, 그 이후 계속 증가하였다. 첨새도 K는 50~70분까지는 완만하게 증가했으나, 70~100분에서 감소하였고 파괴직전에 K값은 급증했다. 트리발생 초기의 K값은 1.8정도였고, 파괴 직전에는 2.8~3.2정도였다.

그림 4-10~4-12를 종합해 보면 왜도 S는 트리발생 초기에는 "0"부근의 값을 나타냈고, 파괴에 가까워짐에 따라 정의 값으로 증가하거나 부의 값

으로 감소했으며, 침쇄도 K 는 발생 초기부터 파괴에 이르기 까지 점진적으로 증가했음을 알 수 있다. 즉, 트리발생 초기에는 ϕ - a 진폭분포가 위상적으로 흐트러지고 있으나, 파괴에 가까워 질수록 어느 위상각 영역에 집중되고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과에서, 왜도 S 와 침쇄도 K 는 그림 4-4~4-6에 나타난 ϕ - a 분포 양상의 변화를 잘 반영하고 있는 특성량임을 알 수 있다.

5. 결 론

절연파괴의 전구(前驅) 현상인 트리를 감지할 목적으로 자체 개발한 계측시스템으로 트리 발생 및 진전에 따른 AE의 시간변화 특성을 연구, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 9kV의 전압을 인가한 가지형 트리에서 트리 발생 초기 보다 파괴에 가까워 질수록 고 위상각에서 큰 펄스의 발생 원인은 방전전류가 흐르는 트리채널이 길어짐에 따라 채널 내부의 전압강하가 점점 증가하므로 이를 보상 하기 위해 보다 높은 순시 전압값을 갖는 위상각 영역에서 트리가 진전하기 때문으로 사료된다.
- (2) 11, 14kV의 전압을 인가한 수초형 트리에서 절연파괴에 가까워 짐에 따라 펄스 분포가 저 위상각으로 이동됨은 전압이 높아진 결과로 침전극 직하뿐만 아니라 측면 방향으로 절연 파괴 강도에 해당하는 전기력선 밀도가 분포 되어 사망으로 방전이 시작되어 수초형의 트리가 진전되는데 이때 트리채널 전역에 반대 극성의 공간전하들이 방전을 촉진하므로서 펄스의 분포가 이동된다고 사료된다.
- (3) 인가전압이 9kV일때 ϕ - a 분포는 트리발생 초기에서 거의 전압위상각에 관계없이 일정한 크기
 즉 왜도가 좌우 대칭인 상태(왜도가 0)를 나타 내고 트리의 진전이 파괴에 가까워질수록 높은 위상각 즉 우상의 직각삼각형의 분포로 되고(왜도가 負), 점점 인가전압이 증가할수록(11, 14kV) 역시 초기상태에서는 좌우대칭이지만 트리의 열화가 진행할수록 더욱 낮은 위상각 영역 즉 좌상의 직각삼각형의 분포(왜도가 正)로 이동됨을 알 수 있었다.
- (4) 침쇄도는 방전의 격렬도를 말하고 있으므로 각 인가 전압이 증가함에 따라 점진적인 증가를 나타내고 있다.

- (5) 결국 트리길이에 대한 음향펄스수 및 평균진폭은 상호 대칭성이 없고, 방전 파라메타인 왜도와 침쇄도를 상호 보완적으로 이용한다면 트리발생을 상시 감시하여 절연 파괴를 미연에 방지할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Okamoto and T. Tanaka; "Change of Pulse-Mean Distribution Patterns of Partial Discharge due to Treeing Propagation," T. IEE Japan, Vol. 102, No. 12, pp. 37~44, 1982.
- [2] T. Okamoto and T. Tanaka; "Cycle-mean ϕ - q Characteristics of Partial Discharges in Six Electrode System," T. IEE Japan, Vol. 102, No. 7, pp. 7~14, 1982.
- [3] T. Numano, N. Nagaoka and A. Ametani; "Lifetime Estimation of a Composites Insulation Materials Based on its Partial Discharge Characteristics," T. IEE Japan, Vol. 107-A, No. 2, pp. 81~87, 1987.
- [4] R.T. Harrold; "Acoustical Technology Application in Electrical Insulation and Dielectrics," IEEE Trans. Elec. Insul, Vol. EI-20, No. 1, 1985.
- [5] Y. Kagawa and S. Yamazaki; "Acoustic Emission Associated with Tree Growth in Polymeric Materials," IEEE Trans. Elec. Insul, Vol. EI-17, No. 4, pp. 314~318, 1982.
- [6] N. Yoshimura and H. Kudo; "Acoustic Emission Associated with Tree Growth in Polyethylene," JJAP, Vol. 20, No. 11, pp. L775~L778, 1981.
- [7] H. Fugita, T. Nakanishi and K. Yamaguchi; "Correspondence of Acoustic Emission and Partial Discharge Pulses Associated with Electrical Tree Growth in Polyester Resin," T. IEE Japan, Vol. 58-A, No. 5, p. 55, 1983.
- [8] H. Fugita, T. Nakanishi 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.
- [9] C. Laurent et al; "Electrical Breakdown due

to Discharge in Different Types of Insulation," IEEE Trans. Elec Insul, Vol. EI-16, No. 1, 1981.

[10] C. Laurent and M. Mayoux; "Analysis of the Propagation of Electrical Treeing Using Optical and Electrical Method," IEEE Trans.

Elec. Ins, Vol. EI-15, No. 1, pp. 33~42, 1980.
[11] R.J. Densley; "An Investigation into the Growth of Electrical Trees in XLPE Cable Insulation," IEEE Trans. Elec. Insul, Vol. EI-14, No. 3, 1979.



박재준 (朴材俊)

1962년 5월 23일생. 1985년 광운대 공대 전기공학과 졸업(공학사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 광운대학원 전기공학과 박사과정 수료.



강태오 (姜泰伍)

1968년 5월 8일생. 1989년 광운대 공대 전기공학과 졸업(공학사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 대한전선 기술연구소 연구원.



김재환 (金在煥)

1934년 9월 10일생. 1958년 서울대 공대 전기공학과 졸업(공학사). 1975년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1959~1973년 한국전력 주식회사 근무. 1964년 불란서 전력 공사 초청 도불 기술연수. 1973~1975년 홍익 공업 전문 대학 전기과 교수. 1990~1992년 광운대학교 공과 대학장 역임. 1992년 현재 광운대학교 전기공학과 교수.