

저밀도 폴리에틸렌에 있어서 트리잉 진전에 따른  $\phi$ -a 분포양상의 시간적 변화에 관한 연구

강 태오\*, 백 관현, 김 명호, 김 경환, 박 재준, 김 재한  
 광주대학교 공과대학 전기공학과\*

A Study on Time Variation of  $\phi$ -a Distribution Patterns due to Treeing Propagation in Low Density Polyethylene

Tae-o Kang\*, Kwan-Hyun Baek, Myung-ho Kim, Kyung-Hwan Kim,  
 Jae-Jun Park, Jae-Hwan Kim  
 Dept. of Electrical Eng. Kwang Woon Univ\*

ABSTRACT

In this study, in order to observe treeing of prebreakdown phenomena, time variation of acoustic emission properties due to initiation and propagation of tree in LDPE was investigated under AC voltage.

The experimental results were as following. pulse number and average amplitude of AE were increased along with near breakdown rather than tree initiation. also, according to increasing of applied voltage, tree propagation was blunted, while pulse number and average amplitude of AE was promoted. In each applied voltage,  $\phi$ -a distributions during propagation of tree were changed to special patterns. skewness S and kurtosis K reflected well time variation of  $\phi$ -a distribution patterns. It is thought that initiation and propagation state of tree can be easily monitored, so long as time variation of pulse number and average amplitude of AE, skewness S and kurtosis K of  $\phi$ -a distribution are always monitored.

1. 서 론

지금까지는 고분자 절연재료내의 트리의 발생·진전의 정도를 측정하기 위해서 광학 현미경을 이용하여 트리의 길이를 측정하거나, 방전전하 검출기를 통해 평균 부분방전 전류나 최대방전 전하등을 측정하여 왔으나, 이것들로는 트리채널 내부의 부분방전 특성을 충분히 대응시킬 수가 없었다. 그러므로 이들을 대응시키기 위한 노력중의 하나로 인가전압 위상각과 부분방전 펄스 발생 상황을 관계시키는 노력을 하고 있다. 또한, 최근 외국에서 개발되어 실용화 된 것을 보면 음향센서를 이용하여 트리채널내의 부분방전을 측정하는 외부 측정법이 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 연구실에서 자체 개발한 음향 계측 시스템을 이용하여 AC 전압 인가하에 있는 저밀도 폴리에틸렌에서 전기적 트리의 발생 및 진전에 따른 AE 펄스수, AE 평균진폭, 위상각-AE 평균진폭 분포(이하,  $\phi$ -a 분포)의 시간변화를 측정하였다. 그리고  $\phi$ -a 분포를 더욱 정량적으로 검토하기 위하여 왜도 S와 첨채도 k의 시간변화를 측정하여 Tree 진전 양상을 해석하였다.

2. 음향방출 펄스 평균진폭의 위상특성 평가법

2-1 위상 특성

음향방출 펄스의 평균진폭을 a, 시료에 인가한 전압의 Zero-Cross점을 기준으로한 음향방출 펄스의 발생위상을  $\phi$ 로 정의한다. 여기서 평균진폭은 디지털 오실로스코프를 이용하여 어느시간(5분, 7분, 10분)마다 평균한 값이다. 본 논문에서는 펄스 평균진폭의 위상특성으로써 특정 위상각 범위( $9^\circ$ ) 마다 펄스 평균진폭을 나타내는  $\phi$ -a 분포특성을 구하였다.

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

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

여기서  $\phi_i$ 는 그림 2-1에 표시한 바와같이 1사이클을 N등분한正的 영점으로부터 i번째 위상구간의 평균위상이다.

2-2 통계처리

본 논문에서는, 통계량인 다차의 모우먼트 계산을  $\phi$ -a 분포특성에 사용하였다. 여기서 표본횟수 k차의 모멘트  $m_k$ 는 다음식식으로 주어진다.

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

단, AE는 평균화된 1 사이클중의 펄스 평균진폭의 총합,  $\bar{\phi}$ 는 위상분포의 평균값,  $\sigma$ 는 표준편차,  $a_i$ 는 i번째 위상 구간 사이에서 발생한 음향방출의 평균진폭이며, 각각 다음식으로 주어진다.

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

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

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

왜도 S는, 분포의 평균값에 대한 비대칭성의 정도를 나타내고, 첨채도 K는 분포의 집중도를 나타내는 양이다. 일반적으로 왜도와 첨채도의 측도(測度)  $m_3$ 와  $m_4$ 는 값이 크기 때문에, 표준편차  $\sigma$ 의 3승과 4승으로 나눈 것으로 표준화한 값을 왜도와 첨채도의 값으로 이용한다. 표준화한 왜도 S와 첨채도 K를 다음식으로 나타낸다.

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

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^4 a_i / (AE\sigma^4)}{\dots \dots \dots} \dots \dots \dots (2-7)$$

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

3. 시편제작 및 실험방법

3-1 시편제작

시료로는 밀도 0.92g/cm<sup>3</sup>인 안양화학제 저밀도 폴리에틸렌의 펠릿(Pellet)을 사용하였다. 순수한 폴리에틸렌 펠릿을 자체 제작한 시료제작기의 주형위에 올려 놓고 120°C에서 5분간 예열한 후 시료 중앙에 바늘을 꽂고 압력이 100kgf/cm<sup>2</sup>이 될때까지 5분 동안 단계적으로 가압하였다. 다시 5분동안 주형 가열한 후, 시료의 주형도를 위해서 10°C의 물에서 급냉하였다. 완성된 시료는 그림 3-1과 같이 불록 형태이며 규격은 30×40×3[mm<sup>3</sup>]이다. 바늘 끝의 곡률반경은 약 5 $\mu$ m, 선단각도는 30°이다. 전극의 형태는 침대 평판 구조이고 극간거리는 2[mm]이며, 평판전극은 실버페인트(Silver Paint)로 도포하였다.

3-2 실험장치와 방법

실험장치에 대한 블록선도는 그림 3-2에 표시하였다. 인가전압은 교류 60Hz였고, 50kV<sub>rms</sub>까지 연속으로 변화시킬 수 있다. 고전압 최후는 음향방출 검출회로의 감응을 일으킬 수 있는 코로나 방전을 억제하기 위해 실리콘 오일(Silicon Oil)에 함침되었다. 음향방출 센서는 공진 주파수 300kHz를 갖는 PZT변환기가 사용되었고, 평판전극 바로 아래(거리 2cm)에 설치되었으며, 알루미늄 호일로 정전처해 되었다. 프리앰프(Pre AMP)와 메인앰프(Main AMP)의 총 이득은 60 dB이다. 150~450kHz의 대역필터(Band Pass Filter)가 증폭기의 감응을 줄이기 위해서 사용되었다. 센서에서 포착된 신호는 증폭된후 디지털 오실로스코프(HF 54501A)의 채널 1에 입력된다. 그리고 AE 펄스의 위상각 특성을 보기 위해 인가전압

을 고전압 프로브(HP 34300A)로 Voltage Down 시켜 채널 2에 입력한다. 오실로스코프에서 디지털화 된 신호는 데이터 통계처리를 위해 인터페이스(GP-1B Card)를 통해 IBM-PC(AT)에 입력된다. IBM-PC(AT)에서 음향방출 펄스수, 평균진폭과 방전 파라미터인 S와 K값을 시간변화에 따라 어느 시간(5.7, 10min)마다 자동 계속한다. 세가지 레벨의 전압 9, 11, 14 kVrms.이 인가되었고 트리개시로부터 파괴까지 일정하게 유지되었다. 트리사진은 광학면미경(OLYMPUS)에 접속된 카메라로 촬영되었고, 트리형태와 길이의 변화가 실험후에 사진으로 검토되었다. 트리진전과 관련된 음향방출의 파형이 그림 3-3에 나타나 있다.

4. 실험결과 및 검토

4-1 인가전압에 따른 트리길이와 형태의 변화

그림 4-1은 전극 축방향 트리길이의 전압의존성을 나타낸다. 그림 4-1에서 낮은 전압이 인가되었을 때 트리의 진전은 빨랐고, 파괴에 걸리는 시간은 짧았다. 인가전압이 증가함(9→11→14 kV)에 따라 트리의 진전은 둔화되었다. 그림 4-2 (a), (b)와 (c)는 각각의 인가전압에서 트리형태의 사진을 나타내고 있다. 트리의 형태가 인가전압에 따라 변화하는 것을 알 수 있다.

9kV의 전압이 35분 동안 인가되었을 때 트리는 그림 4-2 (a)에 나타난 것처럼 가지(branch) 형태였다. 그림 4-2(b)는 11kV에서 전압인가 후 56분만에 작은 가지를 갖는 유사수초(similar-bush)형태를 나타내고 있다. 그림 4-2(c)에서 14kV가 100분 동안 인가되었을 때 트리는 수초(bush)형태로 부풀어 올랐다. 인가전압이 증가함에 따라 트리발생 면적이 커지고 있음을 알 수 있다.

4-2. 트리진전에 따른 AE 펄스수와 평균진폭의 시간변화

그림 4-3은 9kV의 교류전압을 인가했을 때 전극 축방향의 트리의 길이와 AE 펄스수의 시간변화를, 그림 4-4는 AE 평균진폭을 측정한 결과이다. AE 펄스수는 처음 5분동안은 58 cps(count per second) 정도였지만, 트리의 길이에 따라 증가하여 파괴 직전에는 170 cps 정도였다. AE 평균진폭도 펄스수와 마찬가지로 축 방향 트리길이에 따라 증가하였으며, 트리발생 초기에는 0.57mV 정도, 파괴직전에는 1.1mV 정도였다. 그림 4-5는 11kV의 교류전압 인가시 트리 길이와 AE 펄스수의 시간변화를, 그림 4-6는 AE 평균진폭의 시간변화를 측정한 결과이다. AE 펄스수는 21분까지는 트리길이에 따라 급히 증가하였으나, 이후부터는 160~180 cps 정도를 유지하며 완만하게 증가하였다. AE 평균진폭은 트리의 진전에 따라 증가하였으며, 초기에는 0.75mV 정도, 파괴직전에는 1.5~1.7 mV 정도였다. 그림 4-7는 14kV의 교류전압을 인가했을 때 트리 길이와 AE 펄스수의 시간변화를, 그림 4-8은 AE 평균진폭의 시간변화를 나타내고 있다. AE 펄스수는 40분까지는 급하게 증가하였지만, 그 이후 170~200cps 정도의 펄스수를 유지하며 완만하게 증가하였다. AE 평균진폭은 처음 10분 동안은 1.2 mV 정도였고, 트리의 진전에 따라 점차 증가하여 파괴 직전에는 2.8~3.2 mV 정도였다. 결국, 그림 4-3~4-8를 종합해 볼 때 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

(1) AE 펄스수와 평균진폭은 트리발생 초기에는 작았지만, 트리가 진전하여 파괴에 가까워짐에 따라 커지고 있는데, 이 사실로부터 트리 채널이 평판전극에 가까워질수록 트리 채널내부의 방전활동이 격렬해지고 있음을 알 수 있다. (2) 인가

전압이 증가할수록(9→11→14kV) 축방향 트리의 진전은 둔화되었지만, AE 펄스수와 평균진폭은 커졌다. 이 사실로부터 인가전압이 증가함에 따라 트리채널 내부에서 많은 부분방전이 발생하고 있고, 그에 따라 많은 트리채널이 형성되고 있지만, 트리가 축방향 보다는 열방향쪽으로 많이 진전하고 있기 때문에 축방향 트리의 진전이 억제되고 있음을 알 수 있다.

4-3 트리진전에 따른  $\phi$ -a 분포 양상의 시간변화

그림 4-9는 인가전압 9kV에서 가지형 트리가 진전 했을 때,  $\phi$ -a 분포의 양상을 시간별로 나타내고 있다. 正 負 펄스 모두 트리발생 초기(5분)에는 거의 전압 위상각에 관계 없이 일정한 크기를 나타냈고, 트리가 진전함에 따라  $\phi$ -a 분포의 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 AE 펄스가 발생하고 있음을 알 수 있는데, 이것을 다음과 같이 설명할 수 있다. Laurent et al은 가지형 트리가 진전할 때 방출되는 빛은 가지 끝에 집중되어 있으며, 그 이유는 바늘 끝과 가지 끝 사이에서 방전이 일어나기 때문이라고 보고한바 있다. 이것으로부터 가지형 트리에서 방전전류는 바늘끝으로부터 트

리채널 끝으로 흐른다는 것을 생각할 수 있다. 즉, 그 트리채널 내부에서의 전압강하로 인하여, 인가전압의 피크 부근에서 큰 방전이 일어날 수 있다. 이러한 이유 때문에 인가전압의 피크부분에서 큰 AE 펄스가 발생하고 있다.

그림 4-10은 인가전압이 11kV일 때  $\phi$ -a 분포 양상의 시간변화를 나타내고 있다. 正 負 펄스 모두 트리발생 초기(7~14분)에는 위상각에 관계없이 일정한 크기를 나타냈고, 더욱 트리가 진전함에 따라  $\phi$ -a 분포의 중심보다 낮은 위상각에서 큰 펄스가 발생했다. 파괴에 가까워졌을 때  $\phi$ -a 분포는 더 낮은 위상각 영역(30°, 210°)으로 이동했다. 결과적으로 유사 해초형 트리가 진전하여 파괴에 이를 때까지 주로 낮은 위상각 영역에서 집중적으로 방전이 일어나고 있음을 알 수 있다. 그림 4-11은 인가전압이 14kV에서 해초형 트리가 진전했을 때  $\phi$ -a 분포의 양상을 시간변화에 따라 측정한 결과이다. 특징적인 것은 正 펄스의 경우 트리발생초기~파괴에 이르기 까지 비교적 낮은 위상각 영역인 30°~60° 사이에서 큰 AE 펄스가 발생하고 있으며, 파괴에 가까워질수록  $\phi$ -a 분포의 중심은 더 낮은 위상각 영역으로 이동하고 있다. 負 펄스의 경우 초기(10~40분)에는 분포의 중심 위상각 부근에서 큰 펄스가 발생했고, 트리가 진전함에 따라  $\phi$ -a 분포 중심보다 낮은 위상각 영역(210~240°)에서 큰 펄스가 발생했으며, 파괴에 가까워질수록 분포중심은 낮은 위상각 영역으로 이동했다. 위의 실험결과로부터 正 負 펄스 모두 주로 낮은 위상각 영역에서 큰 펄스가 발생하고 있음을 알 수 있는데, 이것을 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉 수초형 트리에서는 트리채널 전역에서 광범위하게 방전이 있었고, 트리가 진전함에 따라 그 영역이 확장되고 있는 사실로부터 수초형 트리의 방전은 바늘 전극과 평판 전극 또는 앞선 반구기의 방전에 의해 형성된 반대극성의 공간전하들 사이에서 일어나는 것을 알 수 있다. 이 효과는 Densley의 트리가지내에서의 부분방전설을 고려해보면 더욱 명백해진다. 즉, 방전으로 인하여 트리가지내에 생긴 전자들은 충분한 에너지를 가진 것들은 벽면에 충돌하여 2차 전자를 방출할 것이고, 좀 낮은 에너지를 가진 전자들은 분자를 이온화 시키거나 혹은 벌크내에 트랩되어 음이온을 만들거나 이미 존재하는 양이온이나 정공과의 재결합이 일어날 것이다. 그러므로 트리가지 내부는 양으로 대전되거나 음으로 대전될 수 있다. 이렇게 형성된 공간전하가 충분히 많게 되었을 때 외부전계가 인가되면 그 즉시 바늘 전극과 반대극성의 공간전하 또는 평판전극과 반대극성의 공간전하 또는 벽면내의 반대극성의 공간전하들 사이에서 방전이 격렬하게 일어날 것이다. 이 때문에 극성변화 즉시 큰 AE 신호가 검출된다.

4-4 S와 K값의 시간변화

본 논문에서는 트리채널내의 부분방전에 의해 트리가 진전함에 따라  $\phi$ -a 분포 양상에 특징있는 변화가 나타나는 것을 발견했다. 이 양상 변화를 더욱 정량적으로 간편하게 표현하기 위해 분포의 특성량으로써 왜도 및 첨도도를 도입한다.

그림 4-12과 그림 4-13은 인가전압 9kV에서 왜도 S와 첨도 K의 시간변화를 나타내고 있다. 正 負 펄스 모두 왜도 S는 트리발생 초기(5~10분)에는 -0.1~0.2 정도를 나타냈고, 15분에서 약간 상승하였다가 그 이후 감소하였으며, 파괴직전의 왜도는 -0.5~-0.55 정도였다. 첨도 K는 트리발생 초기부터 파괴까지 점진적으로 증가하였으며, 트리발생 초기에는 1.8정도, 파괴직전에는 2.1~2.45 정도였다.

그림 4-14와 4-15은 인가전압이 11kV일 때, S와 K의 시간변화를 나타내고 있다. 왜도 S는 인가시간 14분까지는 -0.15~0 정도의 값에서 변동하다가, 그 이후 증가하였으며, 28~35분 사이에서 약간 감소하였다가 다시 증가하여 파괴에 이르렀고 있다. 파괴 직전의 왜도는 0.6~0.7 정도였다. 첨도 K는 트리발생 초기~28분까지는 증가하다가, 28~42분에서 약간 감소하였으며, 42분 이후 다시 증가하여 파괴에 이르렀고 있다. 파괴 직전의 K값은 2.5~2.8정도였다.

그림 4-16과 4-17은 인가전압이 14kV일 때, S와 K의 시간변화를 나타내고 있다. 正 펄스의 경우 트리발생 초기~60분까지는 왜도 S는 眞의 값을 나타냈지만, 70~90분에서 "0"이나 負 값에서 변동하였고, 트리가 진전하여 100분 이후가 되면 眞의 값으로 되었고, 파괴까지 계속 증가하였다. 負 펄스의 경우 초기부터 40분까지는 "0"의 값을 중심으로 약간 변동했고, 50~100분에서 0.1~0.3정도를 일정하게 유지했으며, 그 이후 계속 증가하였다. 첨도 K는 50~70분까지는 완만하게 증가했으나, 70~100분에서 감소하였고 파괴 직전에 K값은 급증했다. 트리발생 초기의 K값은 1.8정도였고, 파괴 직전에는 2.8~3.2 정도였다.

그림 4-12~4-17를 종합해 보면 왜도 S는 트리발생 초기에는 "0" 부근의 값을 나타냈고, 파괴에 가까워짐에 따라 眞의

그림 4-12~4-17를 종합해 보면 왜도 S는 트리발생 초기에는 "0" 부근의 값을 나타냈고, 파괴에 가까워짐에 따라正的 값으로 증가하거나 負의 값으로 감소했으며, 첨쇄도 K는 발생 초기부터 파괴에 이르기 까지 점진적으로 증가했음을 알 수 있다. 즉, 트리발생 초기에는  $\phi$ -a 진폭분포가 위상적으로 흐트러지고 있으나, 파괴에 가까워질수록 어느 위상각 영역에 집중되고 있음을 알 수 있다. 결론적으로, 왜도 S와 첨쇄도 K는 그림 4-9~4-11에 나타난  $\phi$ -a 분포 양상의 변화를 잘 반영하고 있는 특성량임을 알 수 있다.

5. 결 론

저밀도 폴리에틸렌에서 절연파괴의 전기현상인 트리를 감시할 목적으로 트리발생 및 진전에 따른 AE의 시간변화 특성을 연구, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) AE 펄스수와 평균진폭은 트리발생 초기 보다 평판전극에 가까워질수록 더 커지고 있다. 이는 전계강도가 점점 증가한 결과이다. 또한, 인가전압이 증가할수록 침전단 直下 뿐만 아니라 옆방향의 전계강도가 절연파괴 강도에 도달하여 수초형의 트리가 되어 트리의 진전은 혼화되었지만, AE 펄스수와 평균진폭은 커지고 있다.

(2) 각 인가전압에서 트리가 진전함에 따라  $\phi$ -a 분포가 낮은 인가 전압(9kV)에서는 높은 위상각영역으로, 그리고 높은 인가전압(11,14kV)에서는 낮은 위상각영역으로 집중하고 있음을 알 수 있었다.

(3) 따라서 왜도 S와 첨쇄도 K는  $\phi$ -a 분포 양상의 시간변화를 잘 반영하고 있는 특성량임을 알 수 있었다.

결국, AE 펄스수, AE 평균진폭,  $\phi$ -a 분포의 왜도 S와 첨쇄도 K의 시간변화를 감시하면, 손쉽게 트리의 발생 및 진전 상태를 감시할 수 있다고 생각한다.

관계 문헌

- (1) T.Okamoto and T.Tanaka; "Cycle-mean  $\phi$ -q Characteristics of Partial Discharges in Six Electrode System", T.IEE Japan, Vol.102, No.7, pp.7~14, 1982
- (2) 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.81~8, 1987
- (3) N.Yoshimura, H.Kudo; "Acoustic Emission Associated with Tree Growth in Polyethylene", JJAP, Vol.20, No.11, pp.L775~L778, 1981
- (4) H.Fugita, T.Nakanishi and K.Yamaguchi; "Acoustic Emission Distribution and Types of Electrical Tree in Polyester Polyester Resin", IEE Trans.Elec.Insui, Vol.EI-18 No.5, pp.520~527, 1983

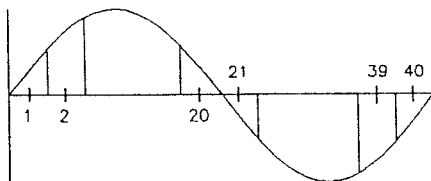


그림 2-1. 평균위상

Fig 2-1. An average phase

	s	k
방형분포	0.0	1.8
삼각분포	0.57	2.4
삼각분포	0.0	2.4
삼각분포	-0.57	2.4
정규분포	0.0	3.0
지수분포	2.0	9.0

그림 2-2. 대표적인 분포형상의 S와 K

Fig 2-2. The Skewness and the Kurtosis of several distribution

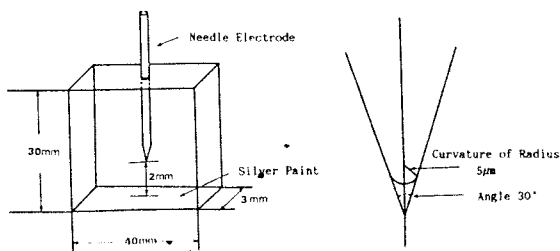


그림 3-1. 전극과 시료의 구조

Fig 3-1. Arrangement of electrode and sample

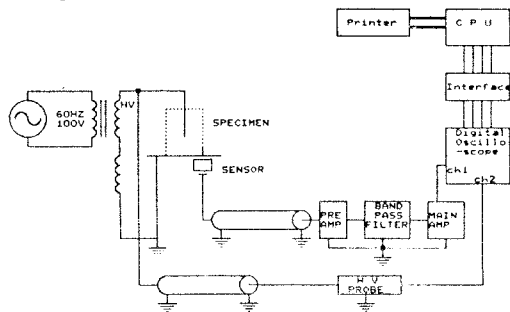


그림 3-2. 실험장치의 블록선도

Fig 3-2. Block diagram of experimental set-up

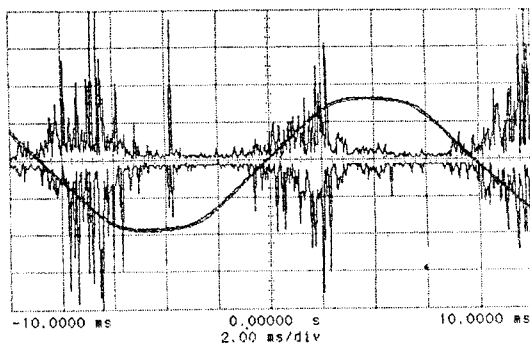


그림 3-3. 음향방출 파형

Fig 3-3. AE waveforms

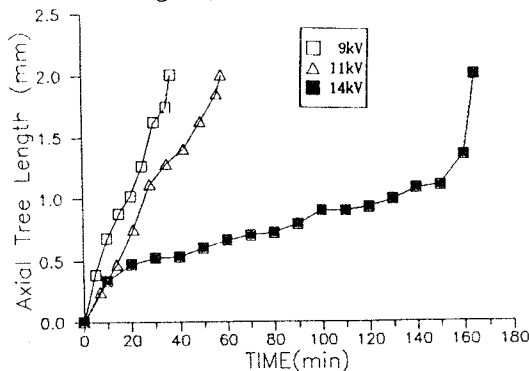


그림 4-1. 전구 축방향 트리길이의 진전 의존성

Fig 4-1. Voltage dependence of tree length in the direction to the electrodes axis

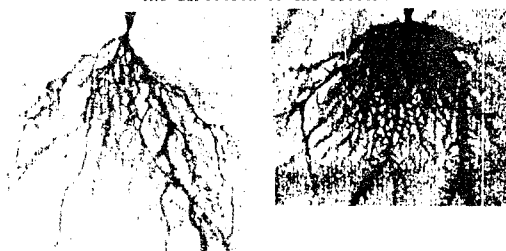




그림 4-2. 트리형태의 사진  
Fig 4-2. Photographs of the tree shape

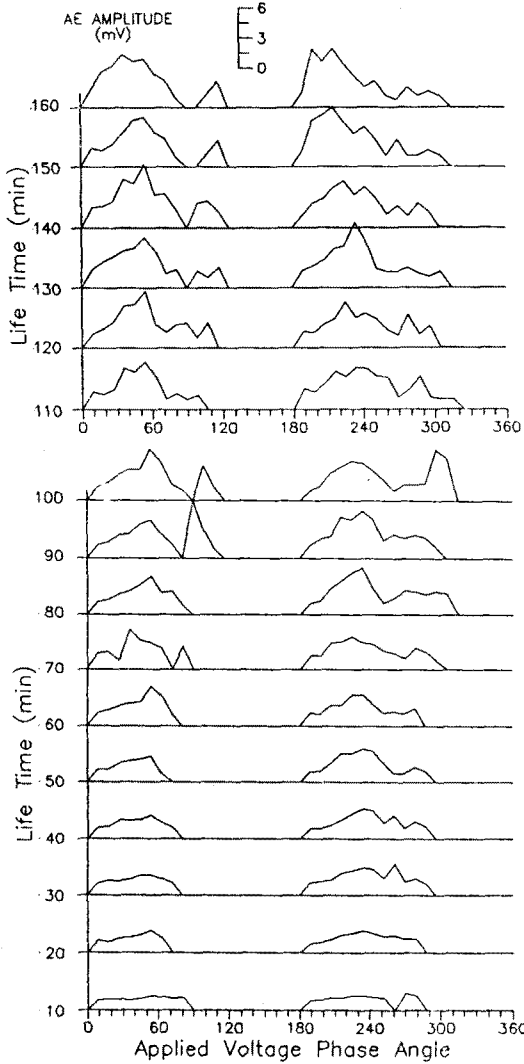


그림 4-11.  $\phi-\alpha$  분포 패턴의 시간변화(14kV)  
Fig 4-11. Time variation of  $\phi-\alpha$  distribution patterns(14kV)

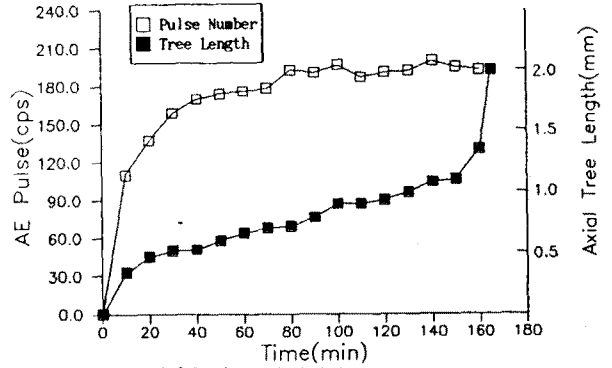


그림 4-7. 음향방출 펄스수와 축방향 트리길이의 시간변화 (14kV)  
Fig 4-7. Time variation of AE pulse number and axial tree length(14kV)

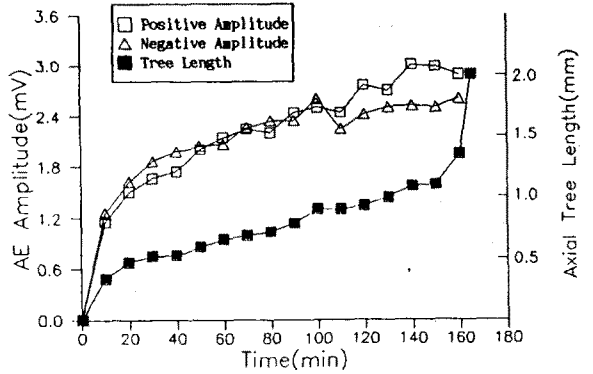


그림 4-8. 음향방출 평균진폭과 축방향 트리길이의 시간변화 (14kV)  
Fig 4-8. Time variation of AE mean amplitude and axial tree length(14kV)

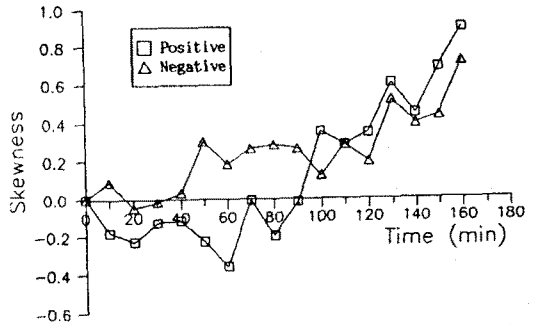


그림 4-16.  $\phi-\alpha$  분포 패턴의 왜도의 시간변화 (14kV)  
Fig 4-16. Time variation of the skewness of  $\phi-\alpha$  distribution patterns (14kV)

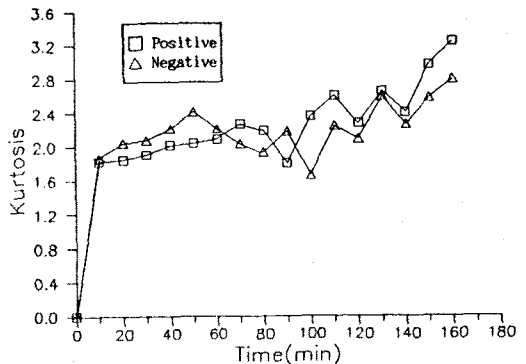


그림 4-17.  $\phi-\alpha$  분포 패턴의 첨도도의 시간변화 (14kV)  
Fig 4-17. Time variation of the kurtosis of  $\phi-\alpha$  distribution patterns (14kV)