

# 저밀도 폴리에틸렌에 있어서 공극길이의 변화에 따른 음향방출특성에 관한 연구

최대근<sup>o</sup> 심종탁 김성홍 백관현 박재준 김재환  
강원대학교 공과대학 전기공학과

A Study on the Acoustic Emission Characteristics due to  
the Variation of Void Length in Low Density Polyethylene

Choi Dae guen<sup>o</sup>, Sim Jong Tak, Kim Sung Hong, Baek Kwan Hyun, Park Jae Jun, Kim Jae Hwan  
Dept. of Electrical Eng. Kwang Woon Univ.

## ABSTRACT

In this paper, time variation properties of acoustic emission pulse were studied from low density polyethylene by using the self developed measuring system of auoustic emission.

When AC 15[kVrms] were applied to specimen of needle shape voids (0.5, 1.0, 1.5, 2.0[mm]), the breakdown time of void specimen was quite shorter than that of non-void specimen, thus the quick accuracy of inception discharge were confirmed.

It is observed that the skewness of the phase angle for applied voltage distribution phase, the average pulse of amplitude and the number of pulse are characteristic quantity of discharge.

### 제 1 장 서 론

과학문명의 발달로 전력수요는 날이 증가하고 있으며 이로 인한 송전전압의 초고압화, 설비의 다양화가 이루어지면서 전력기기나 전력케이블의 운전중 절연파괴사고를 미연에 방지하기 위하여 확실한 절연열화진단의 필요성이 증대하고 있다. 그리하여 각종의 비파괴 실험에 의한 절연열화판정이 행하여지고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 전력케이블의 접속부 등 기타 고전압기기의 충전부와 절연부에서의 틈, 즉 공극이 있으면 그곳에서 부분방전이 발생하여 절연파괴의 주요 원인이 되므로, 비파괴 실험을 통하여 부분방전에서 발생하는 음향방출을 검출하여 절연의 양부를 미연에 진단함으로써 절연파괴를 예지하는데 목적을 두고 있다.

대상시료로는 저밀도 폴리에틸렌(이하 LDPE라고 함)에 미세 공극의 존재를 예상하여 만든 인공적 침상 공극시편에 일정한 전압을 인가하여 파괴에 이르기까지 트리진전중에 발생하는 음향을 센서를 이용, 전기적 신호로 바꾼 다음, 이 신호를 분석함으로써 인가전압과 트리진전과 상호관계를 분석하였다. (1)~(4)

이런 음향방출법으로 교류전압을 인가하여 트리발생 및 진전 형태와 음향방출펄스의 분포형상을 방전 파라미터인 왜도(skewness)로 좀 더 정량화된 값으로 나타내었다. 그리고, 정 부극성의 왜도의 값을 이용하여 S-평면상의 열화시간에 따른 개격변화를 통하여 미연에 절연파괴를 예지하도록 하였으며, 이로써 절연조직중에 부공극시와 공극시의 절연파괴시간을 비교, 공극의 유해성 각각의 해석법을 통해 최종적으로 확인하는데 주요한점을 두었다.

### 제 2 장 시편제작 및 실험방법

시료는 한양화학제의 밀도가 0.92[g/cm<sup>3</sup>]인 LDPE pellet을 사용하였다. 성형온도와 압력은 각각 150[°C], 150[kgf/cm<sup>2</sup>]으로 30분간 가압하여 10[°C]의 물에서 급냉하였다. 제작된 시편은 그림 2-1과 같이 일정한 규격으로 5종류의 시편(무공극, 공극길이 0.5, 1.0, 1.5, 2.0[mm])을 제작하였다.(표 2-1) 침전단의 곡률반경은 5[mm], 침전단 각도는 30°이다.

전극의 형태는 매우 높은 전계를 발생시키기 위해 절연물사이에 불평등 고전계를 발생할 수 있는 침대 평판전극구조이며,

	보이드 유무	인가전압[kv]
S1	NO VOID	15 [KVrms]
S2	0.5 [mm]	15 [KVrms]
S3	1.0 [mm]	15 [KVrms]
S4	1.5 [mm]	15 [KVrms]
S5	2.0 [mm]	15 [KVrms]

표 2-1 시편의 종류

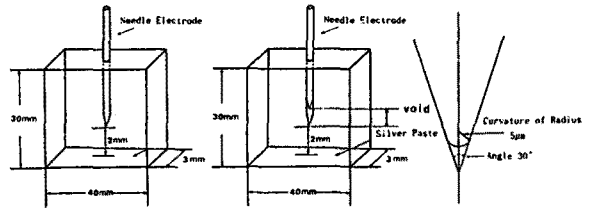


그림 2-1 전극과 시편의 형상

전극간 거리는 2[mm]로, 평판전극에 실버페인트를 도포하였다. 교류(60[Hz]) 15[kVrms]의 일정전압을 침전극에 인가하여 트리개시로부터 파괴까지 일정하게 유지하고 배율 180배의 광학현미경(Microscope, OLYMPUS사)으로 침전단 측방향 트리의 길이를 관측, 기록하였다.

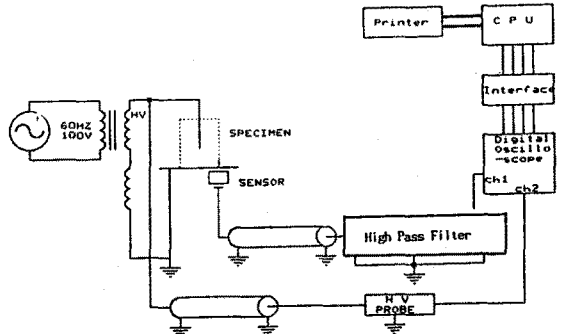


그림 2-2 실험장치의 블록선도

실험장치에 대한 블록선도를 그림 2-2에 표시하였다. 고전압 발생장치는 교류 100[V], 60[Hz]의 단상변압기로서 0~50[kVrms]까지 연속으로 변화시킬 수 있으며, 이중의 한 단자는 고전압 프로브(HP 34300A)를 통하여 전압강하시켜 디지털 오실로스코프(HP 54501A)의 채널 2에 입력된다.

음향방출센서는 공진주파수 300[kHz]를 갖는 PZT변환기로 시료와 함께 silicon oil에 함침시켰고 시료와의 거리를 2[cm]정도로 설치하였으며 유중에서의 음향전달속도는 1400[m/s]로

서 트리진전에 따른 음향방출 신호가 센서를 통하여 총이득이 60[db]인 Pre-AMP와 Main AMP에서 증폭된 후 증폭기의 잡음을 줄이기 위하여 80~450[kHz]의 대역필터를 거쳐 디지털 오실로스코프의 채널 1에 입력된다. 입력된 신호는 인터페이스(GP-1B Card)를 통해 데이터 통계처리를 위해 IBM-PC(AT)에 입력되어 임의의 시간마다 자동계측되어 음향방출펄스수 및 펄스진폭과 방향 파라미터인 S와 K값을 계산하였다.

### 제 3 장 실험결과 및 검토고찰

#### 3-1. 무공극 시편에서의 음향방출특성(6)

그림 3-1은 15[kV]의 교류전압을 무공극 시편에 인가했을 때 트리 축방향길이와 AE펄스수의 시간변화를 나타내고 있다.

AE의 펄스수는 63분까지 급하게 증가하였으며, 그후 급격히 감소하여 90분부터 파괴에 이르기까지 거의 일정한 펄스폭을 유지하였다.

또한 AE 펄스수가 격렬해지는 이유는 트리발생 초기보다 파괴에 가까워질수록 더 증가하고 있는 것은 트리 채널이 평판에 전극에 가까워짐에 따라 시료내의 전계강도가 증가하여 채널내부로부터 방전활동이 격렬해지기 때문이다.

그리고 트리진전이 포화가 되는 것은 인가전압(AC 15[kV])에 의해 생성되는 수초형의 트리로 말미암아 사방으로 많은 트리 채널들이 전극축방향보다는 열방향으로 작은 펄스수가 많이 분산되고 있음을 보인다.

처음 90분까지는 수초형의 생성에 앞서 전극축방향으로 트리가 격렬하게 진전되다가 90분이후에는 사방으로 많은 트리의 채널이 큰 진폭으로 되고 있음을 의미한다. 230분이후 방전관통을 위하여 평균펄스수가 증가되는 경향을 보인다.

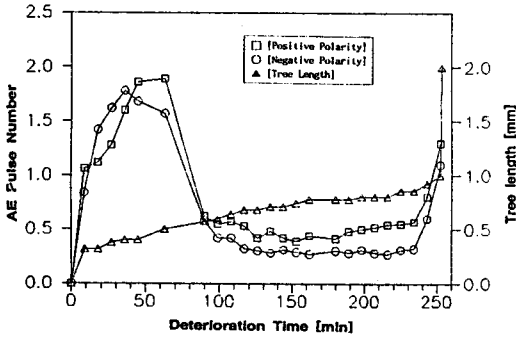


그림 3-1 음향방출 펄스수의 시간변화 (15[kV], 무공극)

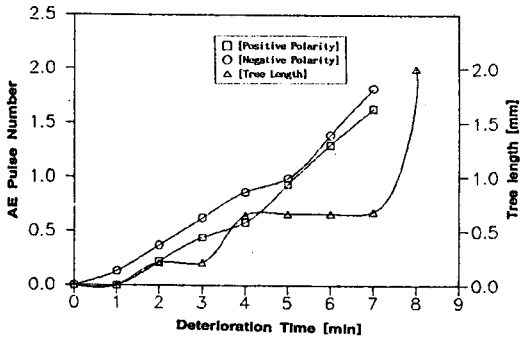


그림 3-2 음향방출 펄스수의 시간변화 (15[kV], 0.5[mm] 공극)

3-2. 인공적 공극이 있을 때 AE펄스수와 펄스크기의 시간변화  
그림 3-2는 초기진전에 따른 0.5[mm] 공극길이를 갖는 AE펄스수의 시간변화를 측정된 결과이다.

트리개시 2분에서 열화초기 펄스수는 정, 부극성이 각각 0.25, 0.4[cps]정도를 나타내고 있음을 볼 수 있다.

그림 3-3~5는 트리진전에 따른 1.0, 1.5, 2.0[mm]의 공극길이를 갖는 AE펄스수의 시간변화를 측정된 결과이다.

트리개시에서부터 파괴시까지 유사한 시간대를 갖으며 펄스수 또한 점진적으로 진전하다가 파괴시에 급상승하여 파괴한다.

과전초기펄스의 발생에 급상승하지만 상대적으로 공극길이가 길어짐에 따라 점진적인 증가를 보이면서 결국, 파괴말기에 이르러 급강하하여 파괴에 이른다.

이상 공극 방전시 방전메카니즘은 다음과 같다. 교류전압 인가시 최대 평판전극간에 부분방전이 일어나고, 전계하에서 급속침전극으로부터 부극성 전자의 주입과 인공적 공극내 공기 분자의 방전개시로 인해 공기의 전리가 누적되어 일어난다.

부분방전영역에서 발생하고 있는 전자나, 정, 부이온, 여기분자 등 방전생성물이 존재하게 된다. 2)

즉, 공기나 산소의 혼합기체중에서 생성되는 분자들은 HNO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 등 여러가지 분해가스의 산물이 많지만 HNO<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>가 수명을 짧게 한다. 그리고 그들의 분석과정에서 생성된 원자상 산소가 고분자의 열화를 촉진하는 결과를 가져온다. 이런 진리된 기체는 에너지를 얻어서 인공적 공극 표면에 전자나 이온이 흡수되거나 누적된다. 2)

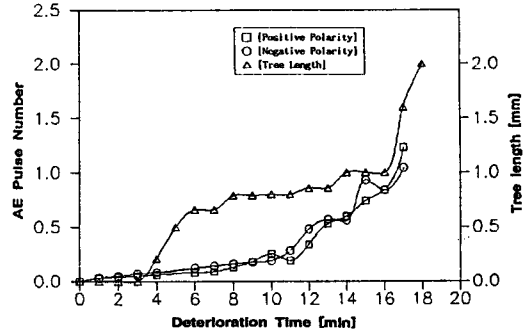


그림 3-3 음향방출 펄스수의 시간변화 (15[kV], 1.0[mm] 공극)

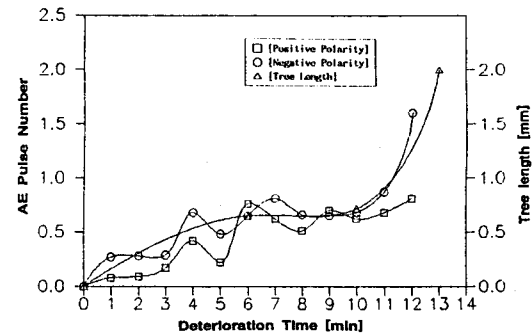


그림 3-4 음향방출 펄스수의 시간변화 (15[kV], 1.5[mm] 공극)

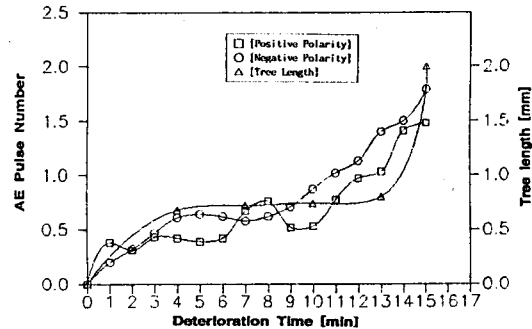


그림 3-5 음향방출 펄스수의 시간변화 (15[kV], 2.0[mm] 공극)

#### 3-3. 무공극 시편에서의 φ-AEA-t 분포특성

그림 3-6, 7에서 공극이 없는 시료에 대한 정, 부극성의 인가전압 위상각-펄스크기-열화시간의 측정결과이다.

정극성의 경우에 있어서, 전압인가 직후부터 63분까지 계속한 결과 10°~40° 위상에서 극히 미약한 펄스크기를 나타내고 있고, 점차 트리가 진전됨에 따라 분포의 중심피크가 점점 작아지면서 더욱 저위상각으로 이동함을 볼 수 있었다. 트리 열화가 점점 가속화되어 열화말기에 이르러서는 펄스크기에 대한 발생분포는 피크 근방인 고위상각영역으로 이르는 범위에서 2개의 분포양상을 나타내고 있다.

부극성의 경우는 정극성에 비해서 트리진전 초기부터 펄스의 발생을 볼 수 있었으며 펄스발생위상영역은 190°~250°의 범

위에서 부극성의 피크를 넘어서까지 발생하고 있고 열화가 진행됨에 따라 분포중심이 약간 높은 위상영역으로 이동하면서 펄스가 점점 감소하는 양상을 띠고있다. 165분정도에 이르러서는 펄스크기가 약간 낮아지면서 평판전극측에 이르러서는 다소 큰 펄스의 크기를 갖는 분포중심이 고위상 영역으로 이동됨을 나타낸 결과이다. 이상의 결과로부터 수초형을 갖는 트리가 전전할 때는 저위상영역에서 발생됨을 볼 수 있지만 열화가 진행되어 파괴에 이르러서는 저밀도 폴리에틸렌의 경우 가지형 트리에서 나타난 결과와 유사하게 분포중심이 이동됨을 알 수 있었다. 이는 파괴말기에 있어서 수초형 트리에서 가지형 트리로 전환되어 트리체널 내부의 전압강하가 크게 되어 펄스를 발생하는 실제 전압이 낮아지므로 이를 보상하기 위해 보다 높은 위상각 영역으로 펄스의 분포중심이 이동되고 분포의 중심이 피크에서 발생하지 않는 이유는 절전극에서 주입된 전자가 파괴말기인 가지형 트리에서 광학적 전이나 열적 전이에 의해서 벌크중에서와 같은 극성의 공간전하 형성에 의해서 전계를 완화시키기 때문이라고 사료된다.

더불어 정극성 및 부극성에 극성말기부근인 정극성의 경우 150° ~ 160° 에서, 부극성인 경우는 350° 에서 또 다른 분포를 갖는 이유는 극성의 변화에 의해서, 정의 피크에서부터 부의 계로 크로스로 전환시에 잔류전하의 영향을 최고로 받아들이기 쉬운 조건이다. 열화진행시 수초형 트리의 표면전하의 퇴적이 증가되어 이 퇴적전하의 영향이 열화시간이 길어짐에 따라 더욱 크게 작용한다.

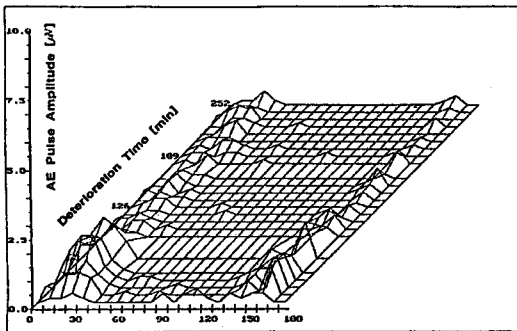


그림 3-6 φ-AEA 분포패턴의 시간변화 (15[kV], 부공극, 정극성)

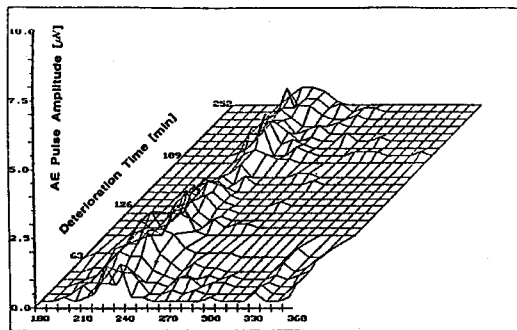


그림 3-7 φ-AEA 분포패턴의 시간변화 (15[kV], 부공극, 부극성)

#### 제 4 장 결 론

저밀도 폴리에틸렌의 트리발생 및 전전에 따른 음향방출펄스의 시간변화특성을 연구검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

##### 1. 공극 유무에 관하여

a. 교류인가 전압 15[kV<sub>rms</sub>]에 대하여 완전파괴시까지 걸리는 시간은 각각 252분(무공극), 7분(공극 0.5[mm]), 17분(공극 1[mm]), 12분(공극 1.5[mm]), 15분(공극 2.0[mm])으로서 공극 시편이 무공극 시편보다는 극히 짧은 파괴시간을 나타내고 있으며, 이는 초기방전이 보다 빨리 일어나고 평균펄스수 및 평균펄스진폭이 시간이 갈수록 큰 값으로 급증하기 때문이다.

b. 공극 0.5[mm] 시편의 파괴시간이 다른 공극 시편의 경우 보다 특히 짧은 것은 공극 공간이 작아서 펄스방전으로 전자주입 및 정공주입에 의한 가스압력의 급증으로 방전을 가속시키기 때문에 파괴강도가 더 크기 때문인 것으로 사료된다.

c. 부공극 시편에서 처음 63분동안은 작은 펄스수를 나타내며 평균펄스수가 급증하는 것은 초기트리 발생시 전자주입이 공극의 시편보다 더욱 어려운 증거이다.

2. 위상각(φ)-평균펄스진폭(a) 분포패턴의 시간적 변화에 대해서는 부공극 시편에서 정극성인 경우 평균펄스진폭이 저위상각 영역에 치우쳐 머물러 있으나 부극성인 경우는 시간의 경과에 따라서 고위상 영역으로 이동하는 바 이는 처음 발생된 수초형 트리가 시간이 경과함에 따라 잔가지가 증가함으로써 트리체널내에 전압강하가 증가되어 이를 보상하기 위해 보다 높은 전압이 요구되기 때문이다.

3. 평균펄스진폭 및 펄스수의 왜도 S의 경시 변화는 절연파괴를 예지하는데 중요한 부분방전의 정보량이라는 것을 알 수 있으며 파괴에 가까워질수록 반시계방향으로 위상이 바뀔 수 있고 원점으로부터 멀어질수록 절연파괴에 근접함을 알았다.

#### 참 고 문 헌

- (1) H. Fugita and T. Nakanishi and K. Yamaguchi: "Correspondence of Acoustic Emission and Partial Discharge Pulses Associated with Electrical Tree Growth in Polyester Resin", JIEE Japan, Vol. 58-A, No.5, pp.55 1983
- (2) T. Tanaka and A. Greenwood: "Effects of Charge Injection and Extraction on Tree Initiation in Polyethylene", IEEE Trans. PAS., Vol. PAS-97, No.5, 1977
- (3) R. M. Eichhorn: "Treeing in Solid Extruded Electrical Insulation", IEEE Trans. Elect. Insul., Vol.12, pp.2~18, 1977
- (4) T. Tanaka and T. Okamoto: "Non-destructive Discharge Pulses at the Inception of Treeing Breakdown in Polyethylene", T.IEE Japan, Vol.104, No.11, pp.613~620, 1984
- (5) B. H. Kim et al: "A Comparative Study on Thermal, Mechanical and Dielectric Characteristics of Low Density Polyethylene Crosslinked by Radiation and Chemical Methods", KIEE, Vol.25, No.2, 1976
- (6) N. Yoshimura, H. Kudo: "Acoustic Emission Associated with Tree Growth in Polyethylene", JJAP, Vol.20, No.11, pp.L775~L778, 1981

※ 음향방출 펄스진폭 및 왜도의 시간변화, 왜도의 궤적변화의 그림은 지면관계상 생략하였음.