

## 냉각조건변화에 따른 폴리에틸렌의 트리잉 파괴 예지에 관한 연구

박세화, 심종탁, 김성홍, 백관현, 박재준, 김재환, 박창욱\*  
 광주대학교, 상지전문대\*

### A Study on the Treeing Breakdown Expectation due to Variation of Quenching in Polyethylene

S. W. Park, J. T. Sim, S. H. Kim, K. H. Baek, J. J. Park, J. H. Kim, C. O. Park\*  
 KwangWoon Univ, Sangji Junior College\*

#### ABSTRACT

In this study, when AC voltage is applied to block type treeing specimen which is fabricated with polyethylene which dielectric characteristics is excellent, from initial tree to final breakdown, Using acoustic emission method, we take statistically on parameter, which is skewness.

We experimented on quenching condition and illustrated skewness locus plane so that studied interrelation of life expectation and parameter.

를 형성하는 비정질부분은 절연파괴의 약점부로 작용한다고 보고하고 있다.<sup>(6)(7)</sup>, 또한 시료의 서냉 및 급냉의 냉각속도의 변화는 구경의 크기와 결정성을 변화시킨다고 주장하고 있다.<sup>(8)</sup>

본 연구에서는 이상과 같은 이론을 기초로 하여 기구의 급변에 따른 저밀도 PE를 사용하여 내후성을 검토할 목적으로 시료제작 과정에서 시편을 냉각조건에 따라 서냉, 액체질소 냉각을 시켜 결정화도를 변화시킨 후 제작한 트리시편에 교류전압을 인가하여 음향방출 특성을 검토하였다.

#### 제 1장 서론

최근, 합성 고분자 재료중 폴리에틸렌(Polyethylene: 이하 PE라 함)은 저온에서도 유연하며 내후성이 우수할 뿐만아니라 화학적으로 대단히 안정하기 때문에 배전용 케이블, 특고압 전력 케이블 등의 절연재료로서 이용되며, 특히 유전손실이 작기 때문에 고주파용 성형 절연물, 전선과 케이블에서부터 고주파용 통신 케이블에 이르기까지 광범위하게 이용되고 있다.

중래, 절연파괴 현상에 대한 연구는 절연파괴강도의 온도의존성, 두께의존성 및 전극의존성 등의 결과를 통하여 절연파괴기구가 연구되어 왔으나,<sup>(1)(2)</sup> 선형 고분자인 PE의 결정질 부분과 비정질 부분과의 전기적 절연파괴에 대한 역할에 대해서는 아직도 불명확한 점이 많다. 예를 들면, PE와 같이 반복 구조단위를 가진 핵사아이콘탄(C<sub>36</sub>H<sub>74</sub>)의 단결정의 절연파괴강도는 일반적으로 사용되고 있는 PE에 비하여 상당히 낮은 것으로 보고되어 있다.<sup>(3)</sup>

이들의 결과는 단결정에서 전자사태가 전진하기 쉽다는 것을 말해주고 있으나, 트리(Tree)가 전진하는 파괴경로는 구경계면(Spherulites Interface)으로 전진한다는 보고도 있으며<sup>(4)</sup>, PE의 절연파괴에 대한 결정질과 비정질의 역할도 구경이외에 고차구조에 대해서 상세히 검토할 필요가 있다.

용해법에 의한 PE박막을 작성하여 얼չ리도 얻어진 큰 2차원 구경을 가진 PE박막을 만들어 절연파괴강도와 고차구조와의 관계를 검토한 바에 따르면 절연파괴가 거의 구경경계에서 발생하여 구경경계의 절연파괴강도는 구경자체보다도 낮은데<sup>(5)</sup>, 이는 구경경계의 두께가 구경에 비하여 약간 얇은 정도이므로 구경경계

#### 제 2장 시편제작 및 실험방법

시료는 한양화학제의 밀도가 0.92[g/cm<sup>3</sup>]인 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) pellet을 사용하였다. 성형온도와 압력은 각각 150[°C], 150[kgf/cm<sup>2</sup>]으로 30분간 가압하여 서서히 냉각시킨 시료(서냉 시료)와 액체질소로 급냉한 시료(급냉 시료)를 성형제작하였다.(표 2-1) 제작된 시편은 그림 2-1과 같이 일정한 규격으로 시편을 제작하였다. 침전단의 곡률반경 5[μm], 침전단 각도는 30°이다.

시편의 종류	냉각조건	인가전압
S1	서냉	AC 11[kV <sub>rms</sub> ]
S2	급냉	AC 11[kV <sub>rms</sub> ]

표 2-1 시편의 종류

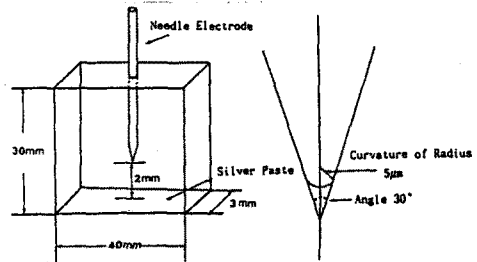


그림 2-1 전극과 시편의 형상

전극의 형태는 매우 높은 전계를 발생시키기 위하여 절연물 사이에 불평등 고전계를 발생할 수 있는 침대 평판전극구조이며, 전극간 거리는 2[ $\mu$ m]로 평판전극에 실버페인트를 도포하였다.

교류(60[Hz]) 11[kV<sub>rms</sub>]의 일정한전압을 침전극에 인가하여 트리 개시로부터 파괴까지 일정하게 유지하고 배울 40배의 광학현미경(Microscope, OLYMPUS사)으로 침전단 축방향 트리의 길이를 관측, 기록하였다.

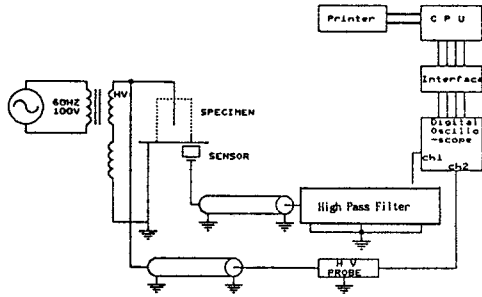


그림 2-2 실험장치의 블록선도

실험장치에 대한 블록선도를 그림 2-2에 표시하였다. 고전압 발생장치는 교류 100[V], 60[Hz]의 단상변압기로서 0~50[kV<sub>rms</sub>]까지 연속적으로 변화시킬 수 있으며, 이중의 한 단자는 고전압 프로브(HP 34300A)를 통하여 전압강하시켜 디지털 오실로스코프(HP 54501A)의 채널 1에 입력된다.

또, 음향방출센서는 공진주파수 300[kHz]를 갖는 PZT 변환기로 시료와 함께 silicon oil에 함침시켰고 시료와의 거리 2[cm]정도가 되도록 설치하였으며 유중에서의 음향전달속도는 1400[m/s]로서 트리진전에 따른 음향방출 신호가 센서를 통하여 총이득이 60[db]인 Pre AMP와 Main AMP의 대역필터를 거쳐 디지털 오실로스코프의 채널 4에 입력된다. 입력된 신호는 인터페이스(GP-IB card)를 통해 데이터 통계처리를 위해 IBM-PC(AT)에 입력되어 임의의 시간마다 자동계측되어 음향방출펄스수 및 펄스진폭과 방전 파라미터인 왜도(skewness)를 계산하였다.

### 제 3 장 실험결과 및 검토고찰

#### 3-1 각 시편에서의 음향방출특성

그림 3-1과 2는 11[kV]의 교류전압을 각각 서냉 시편 및 급냉 시편에 인가했을 때 트리 축방향길이와 AE펄스수의 시간변화를 나타내고 있다.

서냉 시편의 AE의 펄스수는 전압인가후 15분부터 파괴에 이르기까지 유사한 시간대를 갖으며 점진적으로 증가한다.

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

또한, 펄스수가 격렬해지는 이유는 트리발생 초기보다 파괴에 가까워질수록 더 증가하고 있는 것은 트리 채널이 평판에 전극에 가까워짐에 따라 시료내의 전계강도가 증가하여 채널내로부터 방전활동이 격렬해지기 때문이다. 그리고 트리진전이 포화가 되는 것은 인가전압(AC 11[kV<sub>rms</sub>])에 의해 생성되는 수초형의 트리로 말미암아 사방으로 많은 트리 채널들이 전극축방향보다는 열방향으로 작은 펄스수가 많이 분산되고 있음을 보인다.

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

결국, 파괴말기에 이르러 급상승하여 파괴에 이른다.

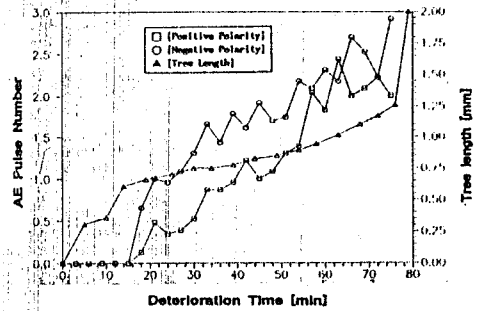


그림 3-1 음향방출 펄스수의 시간변화 (서냉)

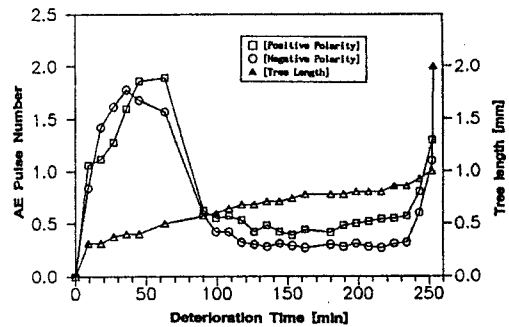


그림 3-2 음향방출 펄스수의 시간변화 (급냉)

#### 3-2. 각 시편에서의 $\phi$ -AEA-t분포특성

그림 3-3과 4는 서냉 시료의 정, 부극성의 인가전압 위상각-펄스주기-열화시간의 측정결과이다. 정규성의 경우는 10°~45°의 저위상각 범위에서 30분이후 점차 상승하여 파괴말기에는 정규성 피크점까지 근접하면서 증가하는 것을 볼 수 있으며, 부극성의 경우에는 과전초기에 200°~250° 분포의 범위에서 점차 증가하여 중기 및 말기에 이르러서는 점차 부극성 전압의 피크를 훨씬 넘어선 300°까지 이르는 분포를 이루면서 격렬히 증가함을 볼 수 있었다.

그림 3-5와 6은 급냉한 시료에 대한 정, 부극성의 인가전압 위상각-펄스주기-열화시간의 측정결과이다. 정규성의 경우에 있어서, 전압인가 직후부터 63분까지 계속한 결과 10°~40° 위상에서 급상승한 펄스주기를 나타내고 있고, 점차 트리가 진전됨에 따라 분포의 중심피크가 점점 작아지면서 더욱 저위상으로 이동함을 볼 수 있었다. 트리 열화가 점점 가속화되어 열화말기에 이르러서는 펄스주기에 대한 발생분포는 피크 근방인 고위상각영역으로 이르는 범위에서 2개의 분포양상을 나타내고 있다.

부극성의 경우는 190°~250°의 펄스발생위상 영역의 범위에서 트리진전 초기부터 펄스의 발생을 볼 수 있었으며 이영역에서 부극성의 피크를 넘어서까지 발

생하고 있고 열화가 진행됨에 따라 분포중심이 약간 높은 위상영역으로 이동하면서 펄스가 점점 감소하는 양상을 띠고 있다. 165분 정도에 이르러서는 펄스크기가 약간 낮아지면서 평판전극측에 이르러서는 다소 큰 펄스의 크기를 갖는 분포중심이 고위상 영역으로 이동됨을 나타낸 결과이다. 이상의 결과로부터 수초형을 갖는 트리가 진전할 때는 저위상 영역에서 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 트리 채널 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 침전극에서 주입된 전자가 파괴말기인 가지형 트리에서 광학적 전이나 열적 전이에 의해서 벌크중에서와 같은 구성의 공간전하 형성에 의해서 전계를 완화시키기 때문이라고 사료된다.

더불어 정극성 및 부극성에 극성말기부근인 정극성의 경우  $150^\circ \sim 160^\circ$  에서 부극성인 경우는  $350^\circ$  에서 또 다른 분포를 갖는 이유는 극성의 변화에 의해서, 정의 피크에서부터 부의 제로 크로스로서 '변환시'에 잔류전하의 영향을 최고로 받아들이기 쉬운 조건이다. 열화진행시 수초형 트리의 표면전하의 회적이 증가되어 이 회적전하의 영향이 열화시간이 길어짐에 따라 더욱 크게 작용한다.

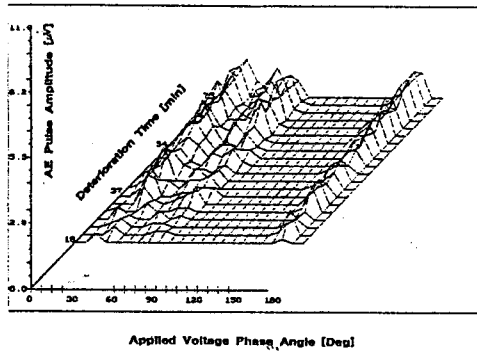


그림 3-3  $\phi$ -AEA-t 분포패턴의 변화(서냉시료, 정극성)

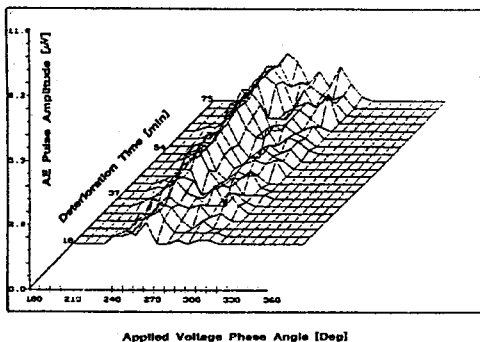


그림 3-4  $\phi$ -AEA-t 분포패턴의 변화(서냉시료, 부극성)

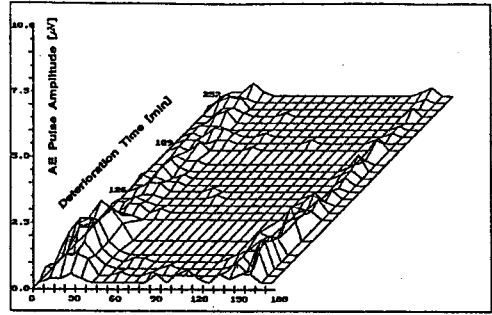


그림 3-5  $\phi$ -AEA-t 분포패턴의 변화(급냉시료, 정극성)

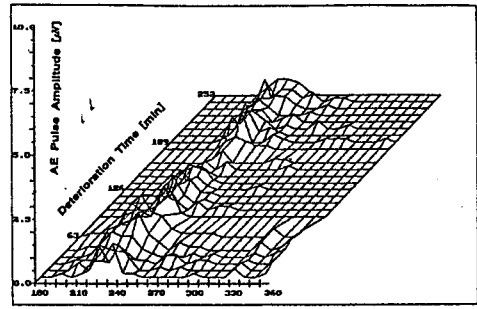


그림 3-6  $\phi$ -AEA 분포패턴의 변화(급냉시료, 부극성)

#### 제 4장 결론

1. 교류인가 전압  $11[kV_{rms}]$ 에 대하여 완전파괴시까지 걸리는 시간은 각각 75분(서냉시편) 252분(급냉시편)으로서 서냉 시편이 역채질소로 처리한 급냉시료가 급히 짧은 파괴시간을 나타내고 있으며, 이는 초기방전이 보다 빨리 일어나고 평균펄스수 및 평균펄스진폭이 시간이 갈수록 큰 값으로 급증하기 때문이다.
2. 위상각( $\phi$ )-평균펄스진폭(a)분포패턴의 시간적 변화에 대해서는 서냉시편에서는 정부극성 모두 시간이 진전되면서 격렬하게 발생하며, 급냉시편에서는 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 트리채널내에 전압강하가 증가되어 이를 보상하기 위해 보다 높은 전압이 요구되기 때문이다.

#### 참고 문헌

- (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