

## 저밀도 폴리에틸렌에서 전기트리에 수반되는 부분방전의 특성

### Properties of Partial Discharge accompanying with Electrical Tree in LDPE

이광우, 박영국, 강성화\*, 장동욱, 임기조

Kwang-Woo, Lee, Young-Guk, Park, Seong-Hwa, Kang\*, Dong-Uk, Jang, Kee-Joe, Lim.  
Chungbuk National University. \* Chungcheong College.

#### Abstract

The correlation between shape of electrical trees and partial discharge(PD) pulses in low density polyethylene(LDPE) were discussed. We observed growth feature of electrical tree by using optical microscope. On the basis of experimental results of measurements of trees occurring in the needle-plane arrangement with needle shape void and without needle shape void, statistical quantities are derived, which are relevant to PD pulse amplitude and phase. The PD quantities detected by partial discharge detector. we were analyzed q-n distribution pattern and  $\psi$ -q-n distribution pattern.

In this experiment, electrical trees in the needle-plane arrangement with needle shape void propagated branch type tree and in the needle-plane arrangement without needle shape void propagated bush type tree

**Key words(중요용어)** : Electrical tree(전기트리), Partial discharge pulse (부분방전펄스), Average discharge power(평균방전전력), Average discharge current(평균방전전류), Distribution pattern(분포형태)

#### 1. 서론

절연재의 운용중에 일반적으로 일어나는 절연 파괴는 진성 파괴보다는 각종 열화의 점진적 진행에 의한 절연파괴가 대부분인 것으로 알려져 있으며[1], 트리잉 열화에 의한 절연파괴는 전력 케이블과 같은 비교적 두꺼운 고체 절연체에서 가장 중요한 열화 메카니즘의 하나이기도하다[2].

절연체 내에서 발생하는 전기 트리는 국부적인 전계의 집중에 따른 부분방전의 발생에 기인하므로[3], 전기 트리의 진전시 이에 수반되는 부분방전 펄스를 검출하여 특성을 분석함으로써 전기 트리의 발생과 진전양상을 진단하는 것이 가능하기 때문에[4], 많은 연구자들에 의해서, 전기트리와 부분방전의 상관성을 밝히기 위한 연구가 다

양한 방향으로 시도되고 있다[5, 6].

이 논문에서는 저밀도 폴리에틸렌에서 전기 트리의 형상이 다르게 진전을 할 경우에 이에 수반되는 부분방전 펄스를 측정, 통계적으로 처리를 하여, 방전 전하량에 대한 발생 빈도수(q-n)분포 특성과 위상각에 따른 부분방전 펄스에 대한 거의 모든 정보를 갖고 있는 평균 발생위상각 - 펄스 평균 방전전하량 - 발생빈도수의 분포( $\psi$ -q-n) 특성을 비교 검토하여, 전기트리의 형상에 따른 부분방전 특성을 이해하고자 한다.

#### 2. 실험

본 실험에서 사용된 시편은 밀도 0.92[g/cm<sup>3</sup>]인 입자형 저밀도 폴리에틸렌(LDPE) 원료를 사용하였으며, 원료를 150 °C에서 3분간 가압 성형하였

으며, 그림 1에 보이는 것처럼,  $20 \times 30 \times 1.5$  mm의 크기로 제작하였다. 침 전극은 곡률 반경이  $10 \mu\text{m}$ 인 오투라 니들을 사용하였으며, 평판전극은 은 전극으로 처리를 하였다. 전극간 거리는 1 mm로 하였으며, 침상 보이드의 크기는 0.2 mm로 하였다. 또한, 트리의 관측을 용이하게 하기 위해서 시편의 두께를 1.5 mm로 하였으며, 그림 1에 시편의 형상을 나타내었다.

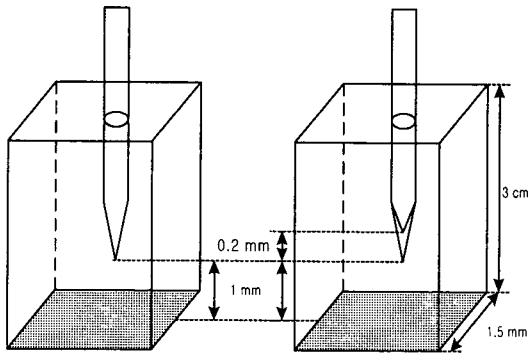
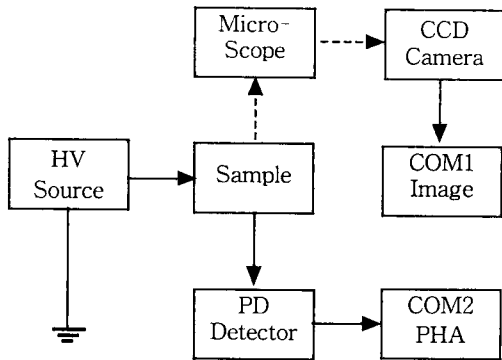


그림 1. 시편의 형상



-----> 광학적 연결

그림 2 실험장치의 블록도 그림

그림 2는 본 실험에서 사용한 실험장치의 Block Diagram을 나타내고있다. 시편에서 발생한 전기트리의 진전양상을 광학 현미경과 CCD 카메라를 사용하여 관측하여 컴퓨터1에서 화상처리를 하였으며, PD 계측기에서 부분방전 신호를 검출하여 컴퓨터2에서 신호를 분석, 저장하여 부분방전 전하량, 발생빈도수, 발생위상각, 부분방전 펄스의 분포특성 등을 계산하였다. 전원으로는 PD

free형 전원 공급 장치를 사용하였으며, 침전극에 인가한 전압은 PD 개시 전압의 1.3배의 전압을 일정하게 유지하면서 전기트리의 발생과 진전 및 이에 수반되는 부분방전 펄스의 경시변화를 관측하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

부분방전의 펄스는  $5\text{pC}$  이상의 펄스만을 계측하였으며, 데이터의 일관성과 정확성을 위하여 300 cycle 동안 부분방전을 측정하여 통계적으로 처리를 하였다. 그리고, 트리의 성장 단계를 성장 초기, 중기 말기로 나누었으며, 성장 초기는 트리가 0.2 mm, 중기는 0.5 mm, 말기는 0.9 mm까지 성장하였을 때의 각 3단계로 정하였다.

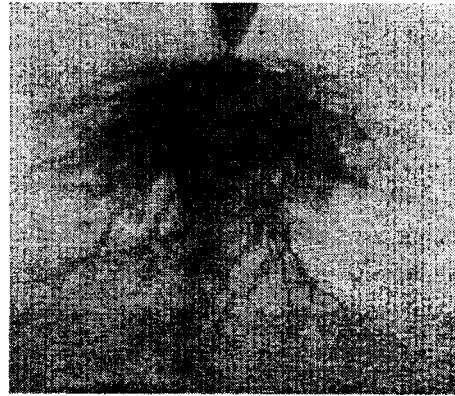


그림 3. 준부시형 전기트리의 형상

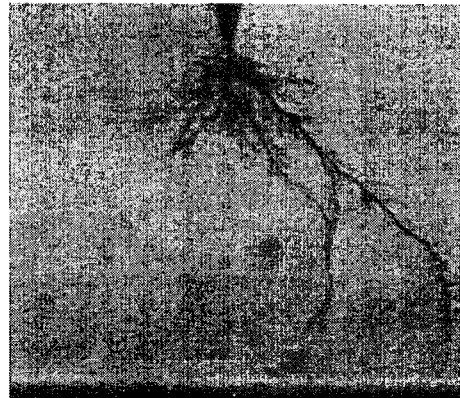


그림 4. 가지형 트리의 형상

그림 3은 침상 보이드가 존재하지 않을 때에

발생된 전기 트리의 형상으로서 준부시형에 가깝게 나타나고 있으며, 그림 4는 침상 보이드가 존재할 경우에 발생된 전기 트리의 형상으로서 가지형의 트리로 진전하고 있는 것을 알 수 있다.

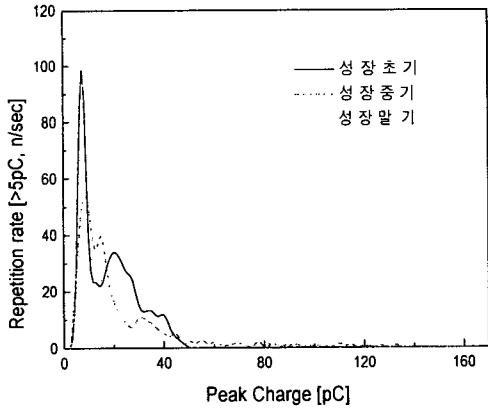


그림 5 가지형 트리의 성장 단계에 따른 q-n 분포 특성

그림 5는 가지형 트리의 성장 단계에 따른 q-n 분포 특성을 도시한 것으로서, 발생하는 방전 전하량은 비교적 크기가 작은 것이 집중적으로 발생하는 것을 보여주고 있으며, 시간이 경과할수록 발생 빈도수가 감소하면서, 방전전하량의 크기가 큰 것이 미약하게 발생하는 것을 알 수 있다.

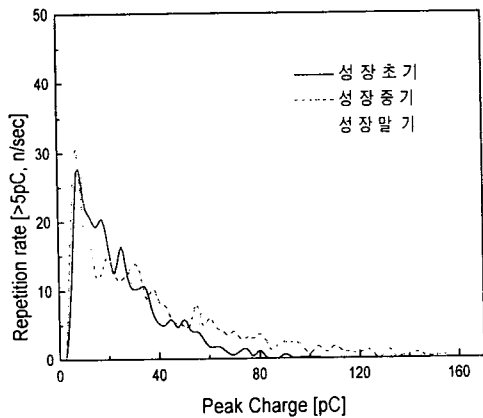
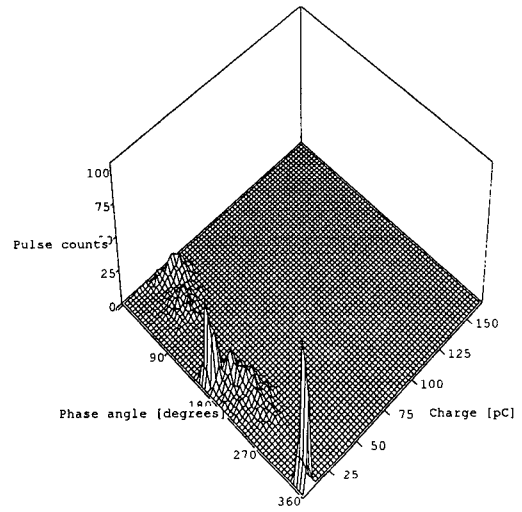
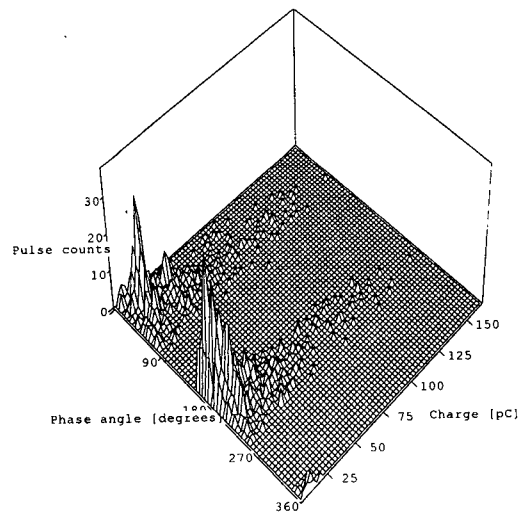


그림 6 준부시형 트리의 성장 단계에 따른 q-n 분포 특성

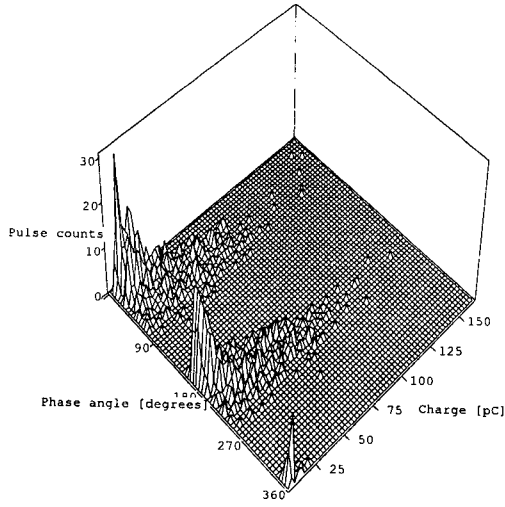
그림 6은 준부시형 트리의 성장 단계에 따른 q-n 분포 특성을 도시한 것으로서, 시간이 경과할수록 발생 빈도수 및 방전전하량의 폭이 증가하는 것을 보여주고 있다. 또한, 가지형 트리의 발생 빈도수에 비해서 작게 나타나는 경향을 보여주고 있지만, 방전전하량의 발생 폭이 가지형 트리에 비해 상당히 크게 나타나는 것을 고려하면, 평균적인 발생 빈도수는 가지형 트리보다 높을 것으로 생각된다.



(a) 성장 초기

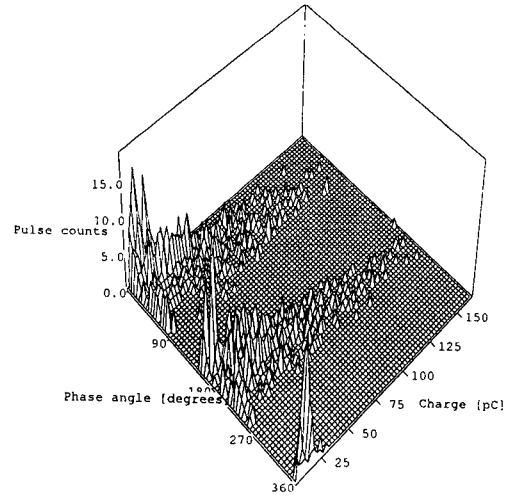


(b) 성장 중기



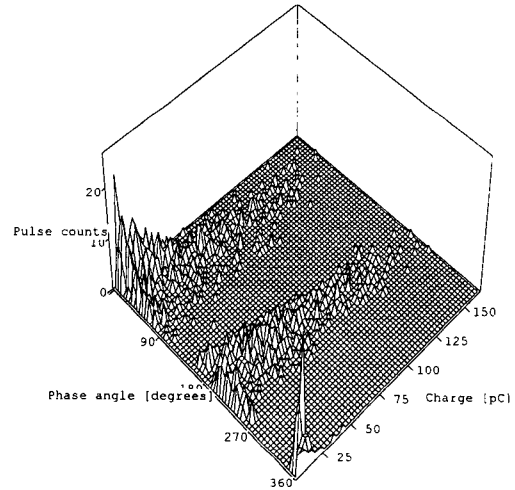
(c) 성장 말기

그림 7 가지형 트리의 성장 단계에 따른  $\psi$ -q-n 분포 특성



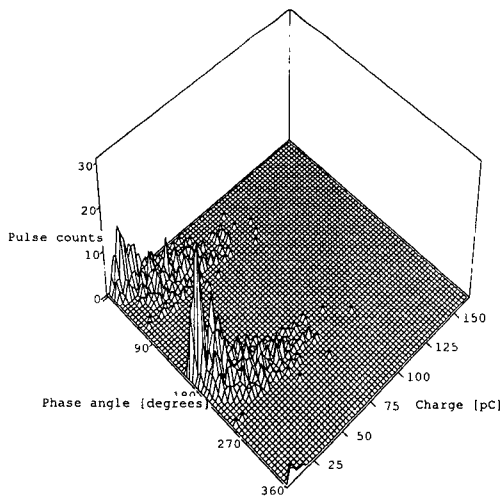
(b) 성장 중기

그림 7은 가지형 트리의 성장 단계에 따른  $\psi$ -q-n 분포의 변화 추이를 나타낸 것으로서, 성장 단계에 따른 부분방전 펄스의 발생 빈도수는 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그리고 전반적인 방전의 발생 위상각은 양의 주기에서는  $90^\circ$ 이전 부분에서, 음의 주기에서는  $180^\circ$ 이전의 부분에서 부분방전이 활발하게 발생하는 것을 보여주고 있으며, 방전 전하량 크기의 폭이 작고 방전 전하량이 작은 것이 집중적으로 발생하는 것을 보여주고 있다.



(c) 성장 말기

그림 8 부시형 트리의 성장 단계에 따른  $\psi$ -q-n 분포 특성



(a) 성장 초기

그림 8은 부시형 트리의 성장 단계에 따른  $\psi$ -q-n 분포의 변화 추이를 나타낸 것으로서, 트리의 성장 단계에 따라서 발생하는 방전 전하량 크기의 폭이 가지형 트리에 비해서 아주 넓게 분포하며, 발생 빈도수는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 또한, 가지형 트리에 비하여, 발생 빈도수가 작게 나타나나, 발생하는 방전 전하량의 크기의

폭을 고려하면, 평균적인 발생 빈도수는 가지형 전기 트리의 발생 빈도수보다 높을 것으로 생각된다.

그리고, 부시형 전기 트리에서의 방전의 발생 위상각은 가지형 전기트리의 방전 발생 위상각과 비슷하게 양의 주기에서는 90°이전의 부분에서 음의 주기에서는 270°이전의 부분에서 방전의 활동이 활발하게 발생하는 것을 보여주고 있으며, 트리의 형상에 따른 패턴이 명확하게 구분되는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 절연재료 내에서 발생하는 전기 트리의 진전형상에 따라 발생하는 부분방전 펄스를 측정·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 침상 보이드가 존재할 경우의 전기트리는 가지형 전기트리의 형상으로 진전하였으며, 침상 보이드가 존재하지 않을 경우의 전기트리는 준부시형 전기트리로 진전을 하였다.

2) 전기트리의 진전 형상에 따른 각각의  $q-n$  분포특성에서는 시간의 경과에 따라서 가지형 트리에서는 발생빈도수가 감소하며 방전전하량이 작은 방전이 주로 일어나는 경향을 보이며, 준부시형 전기트리에서는 발생빈도수 증가하며, 방전전하량의 크기가 폭 넓게 발생하는 것을 알 수 있다.

3) 가지형과 준부시형 전기트리 진전에 수반되는  $\psi-q-n$  분포특성에서 가지형과 준부시형 전기트리의 특성이 명확하게 구분이 되는 것을 알 수 있다. 또한, 방전이 가장 활발하게 발생하는 범위는 가지형과 준부시형 모두 정(+)의 주기에서는 약 90°, 음(-)의 주기에서는 약 180° 이전의 범위에서 방전이 발생하는 것을 보여준다.

4) 위상각에 대한 부분방전의 거의 모든 정보를 가지고 있는  $\psi-q-n$  분포특성은 전기트리의 성장에 따르는 변화의 추이를 명확하게 보여주고 있으며, 더욱 세련된 데이터의 처리 기법을 적용한다면, 전기트리에 대하여 아주 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

#### [참고문헌]

- [1] Eugene J. McMahon, "A Tutorial on Treeing", IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol EI-13 NO 4, pp. 277-288, 1978.
- [2] Tatsuki Okamoto and Toshikatsu Tanaka, "Auto-correlation Function of PD under Electrical Treeing Degradation", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2 No. 5, pp. 857-865, October 1995.
- [3] C. Laurent, and C. Mayoux, "Analysis of Propagation of Electrical Treeing using Optical and Electrical Treeing using Optical and Electrical Methods", IEEE Trans of EI, Vol. 15, no. 1, pp. 33-42, 1980
- [4] C. Mayoux and C. Laurent, "Contribution of Partial Discharges to Electrical Breakdown of Solid Insulating Materials" IEEE Trans. EI, Vol. 2, No. 4, pp. 641-652, 1995.
- [5] N. Shimizu and C. Laurent, "Electrical Tree Initiation", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5 No. 5, pp. 651-659, October 1998.
- [6] John. H. Mason, "Enhancing the Significance of PD Measurements", IEEE, Trans., EI, Vol.2 No.5, pp. 876-888, October, 1995.