

전력케이블에서 발생하는 전기트리의 Chaos/Fractal 해석

임장섭, 김진국, 김현종, 이 진*

목포해양대학교, 목포대학교*

The Analysis on the Chaos/Fractal of Electrical Tree Generated at Power Cable

Jang-Seob Lim, Jin-Gook Kim, Hyun-Jong Kim, Jin Lee*

Mokpo National Maritime University, Mokpo National University*

Abstract

Growth of Electrical Tree Under 50Hz~60Hz high electric stress has been studied on the Occurrence of a Pattern, to the Progression Speed at Y axis of electrical Tree. CCD Images of evolving tree structures could be obtained in both systems. Electrical Treeing was found to occur reproducibly, but in a markedly different manner in the two morphologically different but chemically identical materials.

For the measurement of Electrical Tree, a visual measurement with an optical microscope has been used to explain breakdown mechanism in High-voltage systems.

Key Words : Electrical Tree, Chaos/Fractal, PD(partial discharge)

1. 서 론

산업의 발전과 더불어 전력량의 증가추세에 있어 전력산업의 고전력화와 병행하여 케이블, 전기기기등의 소형화, 신뢰성 향상 및 사용 환경조건의 복잡화를 극복하기 위해 절연재료의 역할이 점점 강조되고 있다. 전력설비의 제작도중에 많은 주의와 정밀제어가 시행되고 있지만 작은 결함 등에서의 국부적인 전계집중이 절연재료 내부에 전기적 트리라는 독특한 열화과정을 동반하게 된다. 트리 열화 관측은 열화단계를 시각적으로 제공하기 때문에 절연파괴 단계를 진단하는데 뛰어난 강점을 가지고 있으나, 트리열화 과정의 재현성이 떨어지고 트리의 패턴이 복잡함으로 기존의 시각적 관측으로는 전기트리의 정량적인 관측이 불가능하기 때문에 실시간처리에 의한 방법이 제안되고 있다.

트리열화 진단기술은 트리의 발생으로부터 진전되는 열화과정을 고찰함으로써 절연체의 절연파괴 메카니즘을 해석하고 각 트리의 단계별 진전을 트리의 패턴과 성장으로 판단하는 진단기술이다. 본 논문에서는 트리의 정량적 해석뿐만 아니라 정

성적 분석이 시도되어 Chaos/Fractal 수학을 이용한 트리의 패턴을 수식화에 관한 연구가 진행되었다.

2. 본 론

2.1. Chaos/Fractal 수학

자연계에서 존재하는 패턴은 유한크기를 갖고 있기 때문에 그 크기에 대한 상한과 하한을 갖고 있다. 전술한 단순한 정으로는 현실의 패턴의 프랙탈을 구하는 것이 어렵기 때문에 실제적으로는 대상 패턴으로부터 자기상사성(Self-similarity), 즉 도형의 둘레를 적당한 방법을 이용해서 구하여, 프랙탈 차원을 구하고 있다.

프랙탈은 자기상사성(Self-similarity)을 갖고 있지만, 이 방법은 임의의 스케일 이하의 미소한 변화를 무시하는 것에서 차원을 구하는 방법이다. 어떤 물체의 길이, 면적 또는 체적 등의 크기는 측정에 이용하고 있는 스케일의 기본단위가 변화하게 되면 따라서 변화하게 된다. 1차원의 경우, 어떤 스케일에서 측정된 L_1 이라는 것을 스케일의 단위

를 a배하여 측정하면 선분의 길이는 다음과 같다.

$$L_a = \frac{L_1}{a} \tag{1}$$

자기상사성(Self-Similarity)을 갖는 임의의 패턴은 가정한다. 모형의 크기를 1/a로 축소한 후 자기상사성을 측정한 경우 패턴의 상사성은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

이와같은 관계를 고차원의 경우로 확장한다면 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$M(r) = r^D \tag{2}$$

$$D = \frac{\log M(r)}{\log r} \tag{3}$$

일반적으로 유클리드 기하학에서의 차원은 정수 값을 표현되지만, 위 식에서의 차원은 비정수 값을 가질 수 있다.

3. 실험 및 방법

3.1. 트리관측실험

교류 전압으로 인가한 후 광학현미경을 통하여 트리잉을 관측하고 비디오테이프에 기록하였다. 전압을 가하는 전극부분은 그림 1과같이 동일한 압력을 가하기 위하여 스프링 압력을 이용하였으며, 연면방전을 방지하기 위하여 실리콘오일 내에서 시행하였다. 시료에 가해지는 압력은 15 [Kg/Cm²]이며 면압의 측정은 프레스-겔법을 이용하였다.

원화상의 입력을 위하여 최초 1분간은 전압을 인가하지 않았고, 승압속도 500 [Volt/Sec]로 전압을 목적한 전압까지 상승하였다.

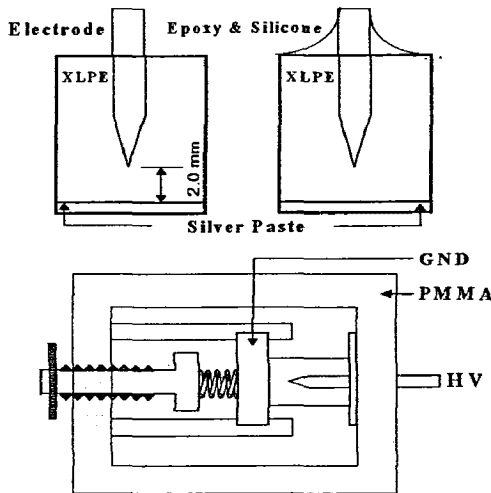


그림 1. 트리관측 시료

그림 2는 트리관측 모형도이며, 광원은 트리부분의 명암을 조절할 수 있는 부분으로 시료의 투명도에 따라 시험초기에 적절히 조절하였다. 일반적인 광원이 어두운 경우 트리부분과 배경부분의 구분이 어려워지고 너무 밝은 경우에는 트리의 선단부를 관측할 수 없는 단점이 있다.

실험에 사용된 XLPE는 시료의 두께가 5 [mm]인 경우에는 시료를 투과하는 광량이 적기 때문에 관측이 어려워 XLPE의 두께를 3.5[mm]로 제작하여 관측하고, CCD로 부터의 출력을 VTR에서 기록하고, 아날로그 출력을 VTR용 모니터에서 관측한다.

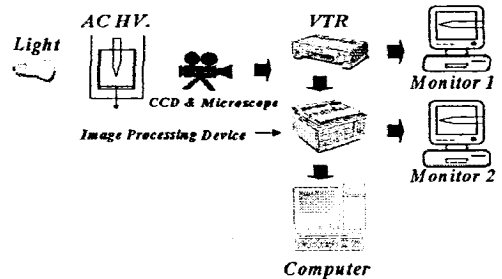


그림 2. 트리관측 모형도

4. 결과 및 고찰

4.1. 트리관측실험

트리관측 실험은 8 [kV]에서 16 [kV]까지 트리 패턴이 인가된 전압에 의존하는 독특한 특성이 관측되었다. 일반적인 트리열화진단 방법은 시료의 트리를 시각적으로 관측하거나 사진을 통하여 열화고정을 해석하였으나 전기적 트리현상은 재현성이 낮고 정상적인 기준이 애매모호하다. 따라서 명확한 트리의 발생시각과 성장을 관측하기 위해서는 화상처리를 이용한 연속적인 기록과 데이터 처리가 필수적이다. 화상처리에 의한 트리관측은 트리성장 관측의 정확도, 재현성, 신뢰성을 높이는 데 대단히 효과적이다. 트리관측 결과는 인가전압의 크기에 따라 발생하는 트리패턴의 형태가 다르다는 것이다. 특히 트리발생전압 이하에서는 트리형의 트리가 관측되고 트리발생전압 이상에서는 부시나 체스트너트형 트리가 발생하였다. 그림4-8은 인가된 전압에 따른 트리형태를 보여주고 있으며, 인가된 전압에 따라서 트리형태가 다르고 절연 파괴 시간이 다르므로 절연파괴시간의 100% 기준으로 하여 비교한 결과, 트리의 초기진행과정에서는 체스트너트형의 트리가 가장 빠른 성장속도를 갖고 있지만, 후반부의 트리진행은 부시형이나 트

리형 트리가 성장률이 빠르다. 그 이유는 트리형의 트리가 침전극의 X축 방향으로 성장인 반면 부시형이나 체스트너트형 트리는 Y축 방향으로의 성장 및 면적의 증가가 일어난다. 10[kV]를 인가한 트리 성장은 트리의 개시전압이 9.5[kV]이며, 초기 영역의 급격한 트리성장 특성은 전압인가 후 3분 까지로 관측되고 그후에는 트리 성장의 기울기가 줄어드는 것이 관측되었다. 그림 10은 본 실험에서 측정된 화상 데이터에 프랙탈 차원에 적용한 결과 다음과 같다.

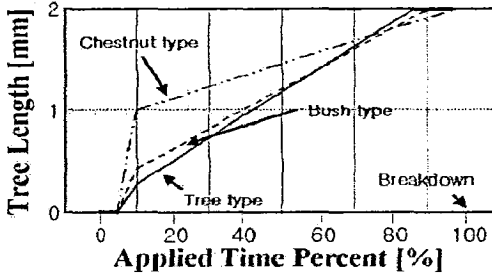


그림 3. 트리진전 모델

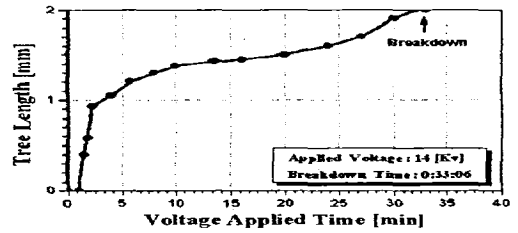


그림 7. 14[kV]에서의 트리성장관측

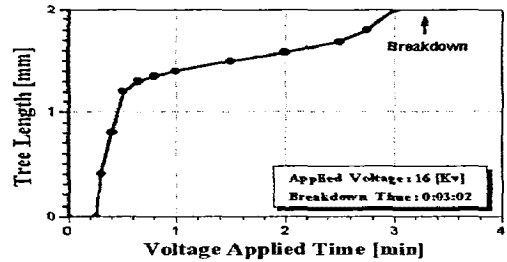


그림 8. 16[kV]에서의 트리성장관측

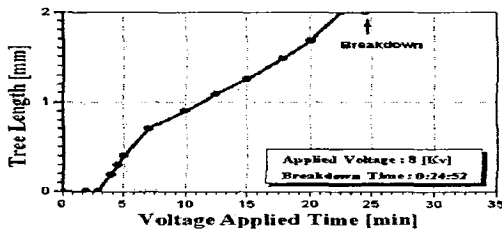


그림 4. 8[kV]에서의 트리성장관측

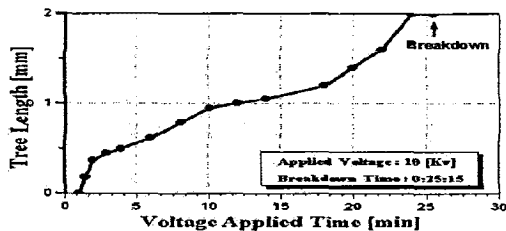


그림 5. 10[kV]에서의 트리성장관측

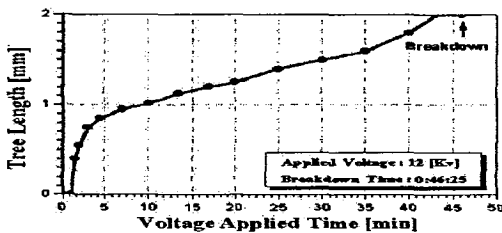


그림 6. 12[kV]에서의 트리성장관측

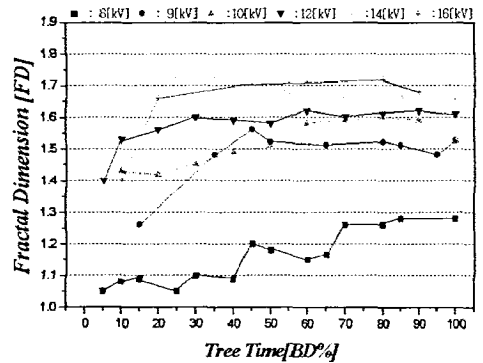


그림 9. 프랙탈 차원

프랙탈의 자기상사성은 그림 9에서 잘 나타나 있으며, 초기의 일부를 제외하고는 트리가 일정한 프랙탈 차원이 얻어졌다. 계산된 프랙탈 차원은 트리성장 초기에 증가하는 특성을 알 수 있으며, 모든 트리의 발생초기에는 저차원에 가까운 트리가 발생하여 점차 인가전계에 다른 자기상사영역으로 발전함을 확인할 수 있었다. 8[kV]는 트리형 트리로 프랙탈차원은 1.2차원정도이며, 성장속도가 다른 트리형태에 비하여 일정한 성장속도를 갖고 있으며, 프랙탈 차원도 일정한 차원증가율을 가지고 있었다. 또한 프랙탈차원을 통한 3가지 트리형태의 분석이 가능하였다.

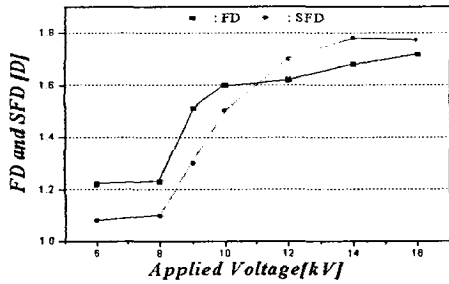


그림 10. 인가전압에 따른 프랙탈과 준프랙탈

트리의 프랙탈화에서는 화상의 노이즈 문제, 미세한 트리의 손실 및 트리-부시형과 부시-체스트너트형의 트리관측에서 명확한 프랙탈 표현이 어렵게 되는 것이다. 결과적으로 컴퓨터를 이용한 프랙탈화의 고찰에서 어느정도 성장한 트리의 정성화는 가능하였다. 그러한 정성화 값이 기존의 방법에서 불가능한 수식화가 되었지만 수식화된 프랙탈 차원에서 기존의 개념으로 역추정하는 것은 어려운 영역이 존재하였다. 상기의 문제점에서 프랙탈 모델을 변형한 새로운 정성화 모델을 착안하였으며 먼저 시각적 관측에서의 기준을 고려하였다.

프랙탈과 새로운 프랙탈화에 대한 인간전압에 따른 변화는 그림 10에서 잘 나타나 있다. FD의 경우에는 열화시간 퍼센트의 50%이상에서의 평균값을 취하였고, SFD의 경우에는 열화시간 퍼센트 20%이상에서 평균값을 구하였다. 왜냐하면, 프랙탈은 트리성장 초기영역에서 불안정한 값을 갖고 있다. 작은 트리 화상에서 프랙탈 차원을 구하는데서 편차의 범위가 크게 계산되기 때문에 성장한 트리의 프랙탈값만을 취하여 평균한 것이다. 그에 반하여 제안된 SFD의 경우에는 인가 시간 퍼센트 20%부터서는 상당히 일치하고 있으므로 그 이후의 값에서 평균치를 구하였다. 그림 10에서 FD의 결과와 SFD의 결과는 유사한 부분을 갖고 있다. 즉 8[kV]이하에서의 FD는 1.2차원으로 유지하고 있으며, SFD의 경우에도 1.1차원으로 유지하고 있다. 이것은 어느 전계 이하에서 발생하는 트리의 차원은 어느정도 일정하게 유지된다는 고찰이며, 14[kV]이상에서 FD와 SFD가 포화되는 특성을 얻을 수 있었다. 또한 SFD 차원 해석법이 포화영역을 제외하고 직선적인 표현을 하고 있으므로 보다 효과적이라는 결론이 가능하다.

5. 결 론

전력케이블에서 발생하는 전기트리의 Chaos/Fractal 해석을 통한 결론은 다음과 같다.

1. 트리의 성장은 트리패턴에 따라서 전반부와 후반부로 구분되며, 특히 트리진행의 후반부에서는 트리형 트리의 성장률이 가장 빠르다.
3. 트리형 트리의 진전 방향이 X축이 반면 부시형이나 체스트너트형 트리의 경우 Y축방향으로의 성장과 면적의 증가가 일어났다.
4. 부시형 및 체스트너트형 트리의 X축방향 성장 패턴이 초기에 급격히 증가하다가 후반부의 X축방향의 진전속도가 낮은 고전계가 트리의 선단부보다는 트리의 전영역에 집중되어 있기 때문에 Y축방향으로의 진전과 열화면적의 증가가 일어난다고 판단된다.
5. 화상처리를 이용한 화상데이터를 정성적인 평가가 가능한 FD를 계산하였고, 이에 대한 문제점을 고찰한 후 새로운 정량적 평가 관측법으로 사용할 수 있었다. 프랙탈을 이용한 트리관측은 기존의 방법보다 전기트리의 패턴분류에 있어 우수함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Liu Ziyu, "Space Charges and Initiation of Electrical Trees" IEEE. Trans. On Electrical Insulation. Vol. 24 No. 1, pp. 83-89, 1989.
- [2] H. Borsi, " Digital Location of Partial Discharge in HV Cable", IEE Trans. Electrical Ins., Vol. 27. No. 1. 1992.
- [3] R.Patsch. "Electrical and Water Treeing", IEEE. on Electrical Insulation. Vol.27 No.3, pp532-542, 1992.
- [4] N. Shimizu, "Electrical Tree and Deteriorated Region in polyethylene", IEEE Trans. on Electrical Insulation. Vol. 27 No.3, pp.513-518, 1992.
- [5] Lim Jang-Seob. CIGRE WG15-108, 1998.
- [6] Lim Jang-Seob. Aging Recognition of Partial Discharge Patterns Using Neural Network and Semi-Fractal Dimension" Proceedings of the 5th ICPADM, Vol.1, pp290-293, 1997.