'99 춘계학술대회 논문집/PB-63(pp. 712-715) 한국전기전자재료학회

프랙탈을 이용한 전기트리의 패턴분석

Analysis on Pattern of Electrical Tree Using Fractal

김덕근* 전남대학교 전기공학과,
임장섭 목포해양대학교 해양전자·통신공학부,
오수홍 광주기능대학교 전기과
민용기 광주대학교 전자공학과
이 진 목포대학교 전기공학과,
김태성 전남대학교 전기공학과.

Kim Duck-Keun* Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University,
Lim Jang-Seob Faculty of M.E and Communi. Eng., Mokpo National Maritime Uni.,
Oh Soo-Hong Faculty of Electrical engineering, Kwang-ju Polytechnic college,
Min Young-Ki Dept. of Electronic Eng. Kwang-ju University,
Lee Jin Dept. of Electrical Eng. Mokpo National University,
Kim Tae-Sung Dept. of Electrical Eng. Chonnam National University.

<Abstract>

Treeing has a profit to observe processing of electrical breakdown because it gives degradation steps of insulation material by optical method. But, reappearance property of treeing is not so good and precise quantization of tree growth is not so easy because tree patterns are very complicate. The study on tree growth using image processing is predicted to precision of tree degradation and possible to quality measurement of tree pattern.

In this paper, degradation steps are analyzed by image processing, therefore precision and realiability of tree growth are increased. Also, processing of tree degradation is quantized by fractal.

Ⅰ. 서 론

절연물질 내부에서 발생되는 부분방전 및 전기트리 현상은 지속적인 상호작용을 통해 절연내력을 저하시켜 최종적인 절연 파괴에 이르게 한다.

전기트리 현상은 절연파괴의 직접적인 원인이 되며, 특히 전력 케이블과 같은 고체 절연물질의 파괴 메카니즘을 설명하는데 가장 적절한 모델로 여겨지고 있다. 따라서 전력 케이블 절연층 같은 고체 절연물질의 전기적인 특성을 파악하기 위해 전기트리 현상에 대한 연구는 본질적인 수단이며 그 중요성은 날로 높아져 가고 있다. 절연성능을 저하시키는 요인으로는 전기적, 화학적, 기계적, 열적 스트레스 등이 있으며, 이러한 스트레스들이 복합적이고 지속적으로 작용하여 최종적인 전기적 절연파괴에 이르게 한다. 전기트리는 절연재료의 열화단계를 시각적으로 제공하지만 시각적 관측만으로는 열화의 단계를 정량화 할 수 없다.

따라서, 본 연구에서는 절연재료에서 발생하는 전기트리를 화상처리 보드를 통해 입력받아 본 연구에서 새롭게 개발한 화상처리 알고리즘을 이용하여 정량화 하였다. 또한 각각의 인가전압에서 발생하는 전기트리의 형태를 프랙탈을 이용하여 프랙탈 차원(Fractal Dimension)화 하였다.

II. 프랙탈 수학과 자기상사성

복잡한 형태를 정량적으로 표현할 수 있는 방법은, 여러 복잡한 형태의 성질들 중에서 공통적인 성질을 추출해 내면 복잡한 형태는 쉽게 해석할 수 있다.

유클리트 기하학적 차원이라는 개념을 생각할 때 경험적으로 점은 0차원, 직선은 1차원, 평면은 2차원, 그리고 우리주변의 공간은 3차원이라는 것을 알고 있다. 즉 경험적인 차원은 정수값으로 표현되고 있다.

그러나 자연계의 모든 형상들은 정수치의 차원을 갖지 않는다. 따라서 수많은 차원의 정의가 고안되었는데 그 중 이해하기 쉽고 프랙탈과 밀접하게 관련되어 있는 것이 상사성 차원이다.

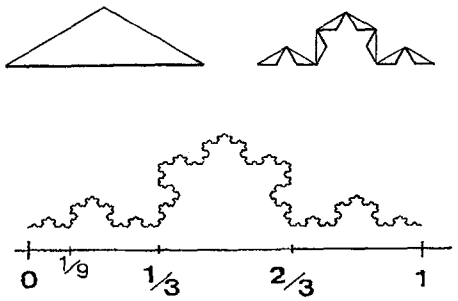


Fig. 1. Koch curve.

그림 2-1은 자기상사성을 갖는 코호곡선이다. 프랙탈 도형으로 널리 알려진 Koch 곡선의 일부분을 확대해서 보면 전체 또는 더 큰 부분과 같은 모양이 된다. 이것이 바로 자기상사성이다.

자기상사성을 갖는 임의의 패턴은 가정한다. 모형의 크기를 1/a로 축소한 후 자기상사성을 측정한 경우 패턴의 상사성은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$N(a) = a^D \qquad (2\text{-}1)$$

이것을 상기에서 서술한 코호곡선에 적용한다. 구간의 3등분을 4회 반복한 경우와 9등분을 16회 반복한 경우를 식 2-1에 적용하면 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$4 = 3^D \quad (16 = 9^D) \qquad (2\text{-}2)$$

이때의 D는 다음과 같이 얻어진다.

$$D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.26 \qquad (2\text{-}3)$$

D차원의 공간내에 있는 패턴을 주변거리 r과 D차원의 입방체로 덮어서 측정하는 커버법을 이용해 프랙탈 차원을 구하면 다음과 같다.

$$D = -\frac{\log(N(r))}{\log(r)} \qquad (2\text{-}4)$$

이때의 D의 성질을 고찰하여 보면, 만들어지는 도형은 자기상사성을 갖는 선형 모형, 삼각형 모형, 사각형 모형 등을 생각할 수 있다. 이와 같은 결과는 식 2-3에서의 D의 도형의 차원이다.

III. 실험방법

3. 1 시료제작

전기트리의 화상계측을 하기 위하여 크기 2[㎝]×2[㎝], 두께 1[㎜]의 XLPE 시료를 제작하였다.

시료의 두께를 줄이기 위해 직경 180[㎛], 선단 곡률반경 1[㎛]인 침전극을 전기 에칭법을 이용하여 새롭게 제작하였다.

침전극에서 평판전극 까지의 거리는 2[㎜]이다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 시료의 모형이다.

3. 2 전기트리의 화상계측

침전극에 6~14[kV]의 전압을 인가하여 각각의 전압에서 발생하는 트리의 형태를 현미경(Olympus SZA10, Japan)과 CCD 카메라(Olympus CS330, Japan)를 이용해 시각적으로

관측하면서 발생한 트리의 화상을 VTR에 녹화하고, 화상을 화상처리 보드(Coreco BANDIT, Canada)를 통해 컴퓨터로 입력받는다.

입력된 화상은 본 연구에서 새롭게 개발한 프랙탈 프로그램을 이용해 각각의 전압에서 발생한 트리의 형태를 열화 면적과 프랙탈 차원으로 정량화 하였다.

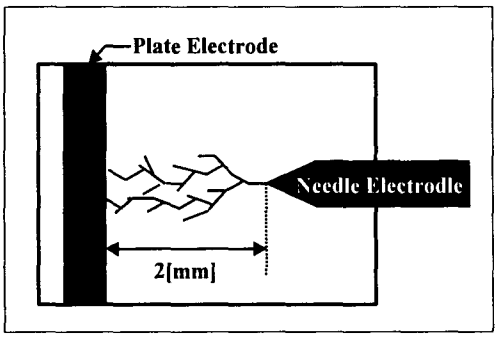


Fig. 2. The structure of specimen.

Ⅳ. 실험결과 및 고찰

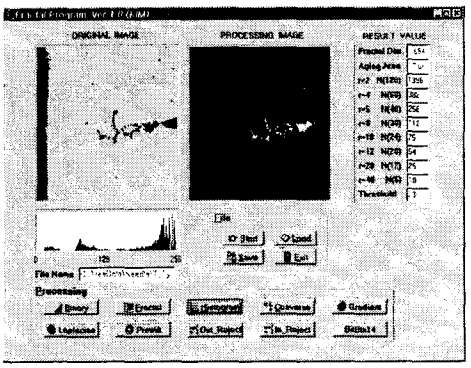
4. 1 화상처리에 의한 트리계측

전기 절연체에서 발생하는 전기트리를 기존의 시각적 관측방법과 화상처리 후의 결과를 비교하였고, 트리의 성장길이, 성장면적 및 트리형태에 대하여 분석하고 프랙탈 차원해석과 새로운 정성적인 해석법을 이용하였다.

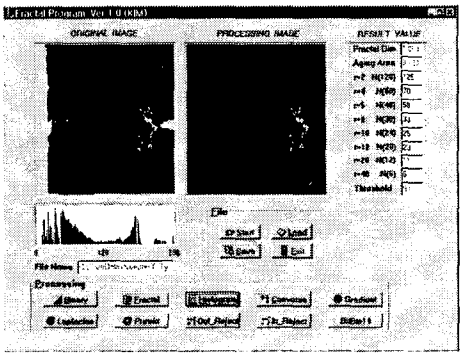
트리관측 실험은 6[kV]에서 14[kV]까지 전압을 인가해 각각의 전압에서 발생하는 트리패턴을 분석한 결과 트리패턴이 인가된 전압에 의존하는 독특한 특성이 관측되었다.

일반적인 트리 열화진단 방법은 시료의 트리를 시각적으로 관측하거나 사진을 이용하여 열화과정을 해석하였으나 전기적 트리현상은 재현성이 낮고 정성적인 기준이 정확하지 않다. 따라서 명확한 트리의 발생시각 및 성장을 관측하기 위해서는 화상처리를 이용한 연속적인 기록과 데이터 처리가 필수적이다.

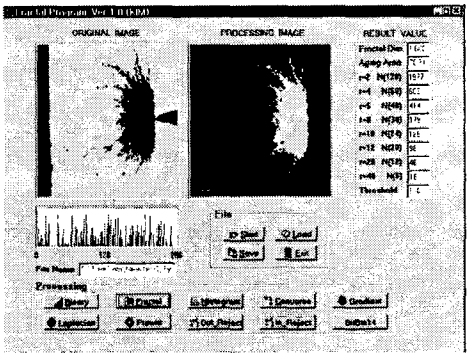
이와 같은 문제를 해결하기 위해 화상처리 프로그램을 이용하여 트리의 화상 데이터로부터 트리의 성장특성을 계산하였다. 화상처리에 의한 트리 성장연구는 열화진단의 정확성을 기대할 수 있으며, 기존의 시각적 관측법에서는 불가능한 트리패턴의 정성적 성장특성도 계측할 수 있다. 따라서 화상처리에 의한 트리 관측은 트리 성장 관측의 정확도, 재현성 및 신뢰성을 높이는데 효과적이다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. The result of image processing
(a) 6[kV], (b) 8[kV], (c) 11[kV]

그림 3은 각각의 인가전압에서 발생한 트리 패턴을 본 연구에서 새롭게 개발한 화상처리 프로그램을 이용해 트리형 트리, 부시형 트리, 체스터너트형 트리의 화상계측 결과를 보여준다.

4. 2 프랙탈 차원을 이용한 트리의 정량화

식 2-4를 화상 데이터에 적용한 결과는 그림 4와 같다. 전기트리의 프랙탈 차원은 그림 4에서와 같이 자기상사성이 확인되었다.

인가전압이 6[kV]일 때 전기트리의 형태는 그림 3의 (a)와 같은 패턴으로 나타나고 프랙탈 차원은 1.2차원 정도이다. 그림 3의 (b)는 인가전압이 8[kV]일 때이며, 프랙탈 차원은 1.35차원 정도이다. 그림 3의 (c)는 11[kV]를 인가했을 때 트리패턴이고 프랙탈 차원은 1.7차원이다.

초기의 일부를 제외하고는 트리가 일정한 프랙탈 차원이 얻어졌다. 모든 트리의 발생초기에는 저차원에 가까운 트리가 발생하여 점차 인가전압에 따른 자기상사영역으로 발전한다.
트리형 트리의 프랙탈 차원은 1.1차원에서 1.4차원 정도이고, 부시형 트리의 프랙탈 차원은 1.4차원에서 1.6차원으로 계산되었고, 체스터너트형 트리의 프랙탈 차원은 1.6차원 이상의 결과가 얻어졌다.

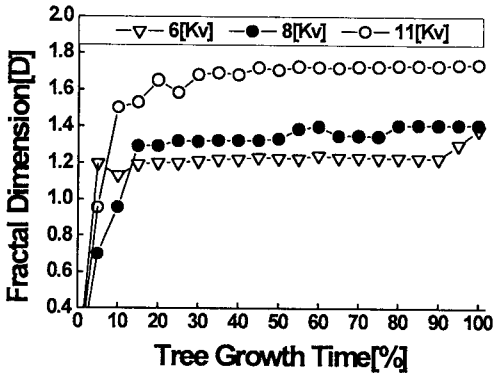


Fig. 4. The fractal dimensions at applied voltages.

V. 결 론

본 연구에서는 절연체에서 발생하는 전기트리를 화상처리를 이용해 프랙탈 차원으로 정량화한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 프랙탈을 이용해 각각의 인가전압에서 발생한 트리 패턴을 분석하면 트리패턴은 인가전압에 대해 고유한 프랙탈 차원을 가지고 있다.

2. 전기트리는 트리열화가 진행되는 동안에 자기상사성을 가지고 있다.

3. 프랙탈 차원으로 전기트리의 패턴을 분석한 결과 트리형 트리는 1.1차원에서 1.4차원 정도의 값을 갖고, 부시형 트리는 1.4차원에서 1.6차원의 값을 가지며, 체스트너트형 트리는 1.6차원 이상의 값으로 계산되었다.

VI. 참고문헌

1. L.A. Dissado, S.J. Dodd, J.V. Champion, P.I. Williams, J.M. Alison, "Propagation of Electrical Tree Structures in Solid Polymeric Insulation", IEEE Trans. on Dielectrics and Elect. Insul. Vol. 4 No. 3, June 1997.

2. Ning Lu, "Fractal Imaging", Academic Press, Boston U.S.A. 1997.

3. 임장섭, 이진, "프랙탈과 준프랙탈의 응용 및 개발", '99 한국전기전자재료학회 영호남학술대회 논문집, p218-221, 1999.

4. N. Yoshimura and F. Noto, "Effect of Electrode Materials on Tree Initiation in Polyethylene under Switching Surge Condition", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol EI-18, No. 2, April 1983.

5. M. Abou-Dakka, S.S. Bamji, A.T. Bulinski, "Space-charge Distribution in XLPE by TSM Using the Inverse Matrix Technique", IEEE Trans. on Dielectrics and Elect. Insul., Vol. 4, No, 3, June 1997.