

프랙탈을 이용한 전기트리의 정량적 해석

The Quantitative Analysis of Electrical Tree Using Fractal Dimension

임 장 섭*, 김 태 성*, 정 우 성**, 이 진***

* : 전남대학교 전기공학과

** : 광주기능대학 생산자동화기술학과

*** : 목포대학교 전기공학과

Lim Jang-seob*, Kim Tae-sung*, Jung Woo-sung**, Lee Jin***

* : Dept. of Electrical Eng., Chonnam Nat'l University.

** : Dept. of A.P. Eng., Kwang Ju Polytechnic College.

*** : Dept. of Electrical Eng., Mokpo Nat'l University.

<ABSTRACT>

The tree observation technique is being highlighted as a research area for deterioration of insulation because of high-voltage power system.

Many researchers make efforts to develop not only diagnosis of aging state but also detection of defects in the initial stage from preventive diagnosis system.

For the measurement of tree, image processing is actively studied as a experimental technique of electrical tree, because the conventional directed visual impossible to analyze on the tree degradation area, progressed direction, and tree pattern etc.

In this paper, we have developed the tree measuring system using image processing. By using an image processing technique, the tree features which appear immediately after the tree initiation as well as changes in the configuration of the tree patterns can be easily measured and observed than the conventional visual methods. And Fractal dimension has a possibilities to express as insulation stress.

1. 서 론.

전력계통의 전압상승에 따른 새로운 절연재료의 개발 및 열화계측 연구가 진행되고 있지만, 결합에서 발생하는 국부적인 전계집중이 절연재료 내부에 전기트리라는 독특한 열화과정을 동반하게 된다^{1,2)}.

장기간 사용 중에 전력용 설비의 치명적인 절연 파괴 단계로 알려져 있는 전기트리는 열화과정의 재현성이 떨어지고 트리의 패턴이 복잡함으로 기존의 시각적 관측으로는 트리패턴의 정확한 정량화가 불가능하기 때문에 프랙탈 수학을 이용한 새로운 정량화가 제안되고 있다^{3,4)}.

본 연구에서는 전기절연에서 절연파괴 메카니즘으로 제안되고 있는 전기트리를 화상처리를 통한 관측을 하였다. 특히 전력용 케이블에서 이용되고 있는 XLPE를 침-평판의 불평등 전계 하에서 가속 열화 시켰다. 구성된 전기트리 관측시스템은 트리의 실시간 계측 및 정량화, 프랙탈에 의한 정량화를 수행하였다.

상기의 연구 결과, 프랙탈 차원은 시뮬레이션이나 계측이 불가능한 절연 스트레스의 정량화를 표현할 수 있고, 트리패턴의 성장이 자기상사성을 갖는 프랙탈 도형임을 해석할 수 있다.

2. 프랙탈 수학.

특징적인 길이를 가진 도형들은 그것을 길이, 넓이, 부피 등 정량적으로 표현할 수 있다. 그러나 특징적인 길이가 없는 도형들은 프랙탈 차원에 의해 도형들에 대한 정량적인 표현이 가능하게 되었다⁵⁾.

임의의 단위에서 정방형의 면적이 S_a 로 평가되는 것은 스케일을 a 배한 관계이며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$S_a = \frac{S}{a^2} \quad (1)$$

상기 수식을 1에서 a 배까지 적용 가능한 일반화된 수식으로 작성하게 되면 D차원 공간 내에 있는 물체에 적용할 수 있는 다음의 수식이 가능하다.

본 연구에서 사용된 커버법은 D차원의 공간 내에 있는 패턴을 주변거리 r 과 D차원의 입방체로 덮어서 측정하는 방법이다. 그 때 필요한 초입방체의 최소수 $N(r)$ 은 다음의 수식과 같이 된다.

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (2)$$

이러한 수식에서의 D가 프랙탈 차원이다. 상기의 수식에서 프랙탈 차원은 다음과 같다⁶⁾.

$$D = -\frac{\log(N(r))}{\log(r)} \quad (3)$$

이것은 스케일이 $1/a$ 로 될 때의 체적이 V_i 로 된다고 하면 $N(r)=V_a/V$, $r=1/a$ 로 된다.

커버법의 계산은 반투명한 그래프 용지를 이용하여 모형 위에 커버한 후 표시된 점을 체크하고 하나의 마크의 크기에 따라서 프랙탈 차원을 계산하는 것이다. 이 때의 마크의 크기를 변화하면서 여러 지점에서의 값을 구하고 이때 얻어지는 그래프의 마이너스 기울기가 프랙탈 차원이다.

3. 시료제작 및 실험방법

3-1. 시료제작

절연재료는 가교폴리에틸렌(XLPE, 일본, 후지쿠라)을 이용하였으며, 시료는 $12 \times 12 \times 3.5$ [mm]의 평판형을 이용하였다.

본 연구에서의 침전극은 곡률반경 $5[\mu\text{m}]$, 선단각도 30° 의 오키라 트리전극(Okura Treeing-electrode, 일본, 오키라보석정기 공업주식회사)을 이용하였으며, 하부의 평판전극에서의 접촉저항 감소를 위하여 샌드페이퍼(#40,#400,#1000,#3000)를 이용하여 순차적으로 연마하였다. 침전극과 평판전극과의 거리는 $2[\text{mm}]$ 로 하였다.

3-2. 트리관측 시스템.

교류 전압을 인가한 후 광학현미경(SZH-10, 올림프스)을 통하여 트리를 관측하고 비디오테이프에 기록하였다.

연면방전을 방지하기 위하여 실리콘 오일 내에서 시행하였다⁷⁾. 시료에 가해지는 압력은 $15 [\text{kg}/\text{cm}^2]$ 이며 면압의 측정은 프레스-겔법을 이용하였다.

그림 1은 트리관측 시스템의 모형도이다.

광원은 트리부분의 명암을 조절할 수 있는 부분으로 시료의 투명도에 따라 시험초기에 적절히 조절하였다. 트리관측시 현미경의 배율은 40-50배 정도로 하였다. CCD는 현미경 아답타에 부착하여, CCD로부터의 출력을 VTR에서 기록하고, 아날로그 출력을 VTR용 모니터에서 관측한다.

본 연구에서 사용된 화상처리보드(IFM/PC-256)의 해상도는 256×256 이고 흑백단계는 256이다. 컴퓨터 프로그래밍의 의하여 디지털 출력은 적절한 이진화 단계를 결정하고 컴퓨터로 데이터의 샘플링 및 트리관측 프로그래밍을 실행한다.

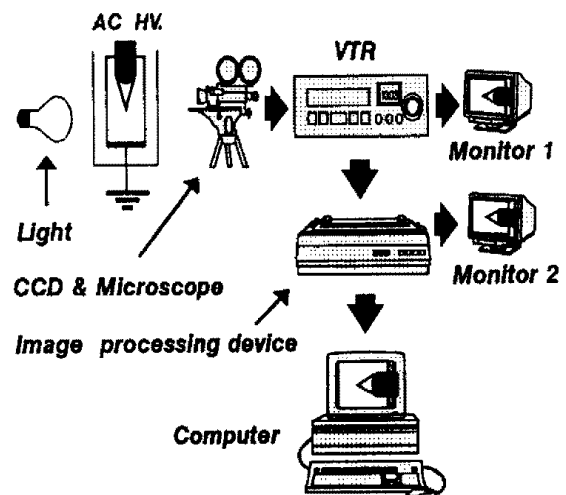


Fig. 1. Tree observation system

4. 화상처리 알고리즘

그림 2는 트리의 화상처리를 위한 프로그램 순서도이다.

상기의 알고리즘의 결과, 트리의 실시간 계측이 가능해졌고, 기존의 프랙탈 불리우는 트리패턴의 정량화보다 빠르고 선형적 표현이 가능해졌다. 이러한 실시간 계측 및 정량화 속도의 증가는 장시간의 트리관측에서는 불가능한 무인 감시시스템이 가능하고 트리관측 실험의 고속화에 효과적이었다.

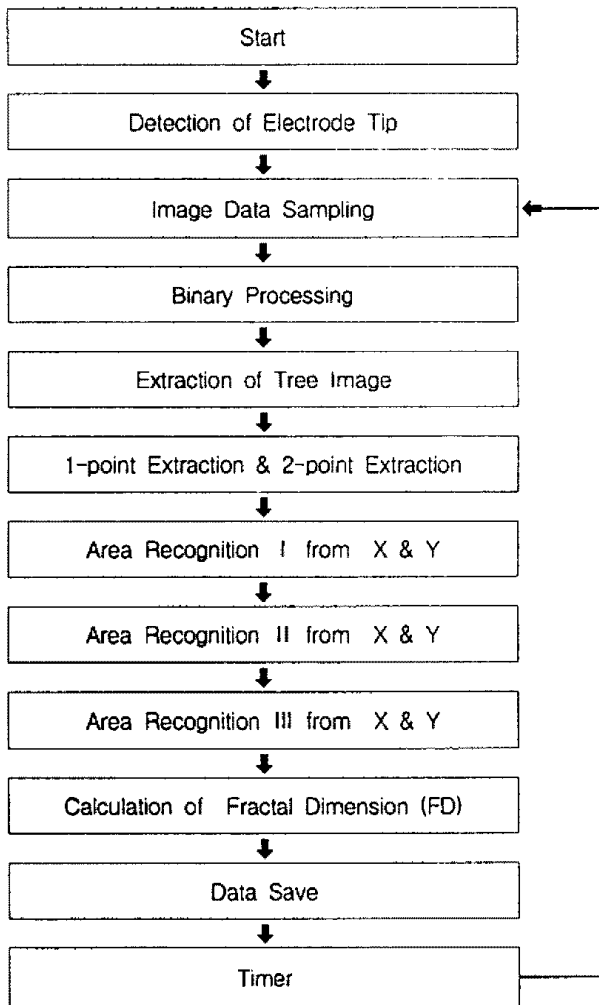


Fig. 2. Flowchart of Image processing

5. 결과 및 고찰

5-1. 화상처리에 의한 트리관측

전 열화과정을 광학 현미경을 통하여 직접 측정하여 화상처리 프로그램의 결과와 비교하였다. 화상처리는 시각적 관측법으로 불가능한 트리진전 등의 정량화 및 정성화가 가능하다⁷⁾.

5-2. 프랙탈 계산 및 새로운 정량화 방법

본 연구에서 채택한 프랙탈 계산법은 현재까지 가장 일반적으로 이용되고 있으며, 입방체의 변환이 가능하여 적용가능성이 우수하고 3차원의 프랙탈화가 가능한 커버법을 채택하였다^{5,6)}.

전술한 수식을 이용하여 본 연구의 화상 데이터에 적용한 결과는 다음과 같다.

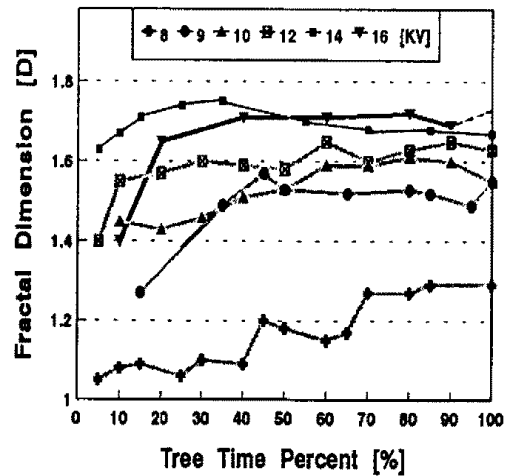


Fig. 3. Fractal dimension

전기트리의 프랙탈 차원은 그림 3에서와 같이 자기상사성이 확인되었다. 자기상사성이란 유한공간 내에서 선의 길이가 무한대로 성장하는 특성에서 같은 모양의 패턴이 반복적으로 생성되는 특성이 있다. 프랙탈 차원은 길이와 같은 정량적인 표현으로 불가능한 정성적인 표현방법을 제시할 수 있다. 초기의 일부를 제외하고는 트리가 일정한 프랙탈 차원이 얻어졌다. 계산된 프랙탈 차원은 트리성장 초기에 증가하는 특성을 알 수 있는데 이는 그림 3에서 나타난 트리성장률이 초기에 증가하는 부분에 대해서 트리의 패턴의 변화, 즉 모든 트리의 발생 초기에는 저차원에 가까운 트리가 발생하여 점차 인가전계에 따른 자기상사영역으로 발전함을 확인하였다. 이것은 체스트너트형의 트리의 경우에도 최초의 트리가 1차원적인 형태로 성장한다는 가정을 할 수 있다.

트리성장 모델⁷⁾에서 관측된 트리의 초기성장의 다른 성장속도는 트리의 정성적인 성장을 의미하는 영역으로 확인되었다.

그림 3에서 8 [KV]는 트리형 트리로 프랙탈 표현으로 1.2차원 정도이다. 트리형의 경우 성장속도가 다른 트리형태에 비하여 일정한 성장속도를 갖고 있으므로 프랙탈도 선형적인 성장이 관측되었다. 이의 확인을 위하여 8 [KV] 이하에서의 결과를 확인한 결과에서도 확연히 확인되었다. 9 [KV]의 트리는 형태상으로는 트리형이나 열화면적의 증가가 트리와 부시의 중간형태이다. 또한 동일 실험의 40% 정도는 기존의 표현으로 설명하기 애매한 경우가 관측된다. 즉 트리 또는 부시 형태의 중간적인 형태가 관측되는 것이다. 또한 부시 형태와 체스트너트형의 중간에서도 이러한 경우가 발생한다.

동일전압의 트리 실험에서도 트리형태를 3가지(Tree, Bush, Chestnut)로 명확히 구분하기가 어려운 영역이 있다. 이러한 중간적인 형태의 트리를 표현하는 경우도 있는데, 즉 Tree, Bush, Chestnut의 표현에 Tree like Bush, Bush like Chestnut의 형태를 쓰는 경우도 있다. 인가전압에 따라서 이러한 구분이 어려운 경우가 존재하는데 이러한 문제를 프랙탈 차원화는 상당히 체계적으로 설명하고 있다. 본 연구에서의 결과로써 트리형은 트리의 차원이 1.2에서 1.5차원 정도이고, 부시형의 경우에는 1.5에서 1.6차원으로 계산되었다. 체스트너트형의 경우에는 1.6차원 이상의 결과가 얻어졌다. 이러한 프랙탈 정량화 범위는 표 1과 같이 계산되어졌다. 프랙탈 차원은 인가전압에 따라서 증가함을 알 수 있었으며, 트리의 정성화에 효과적이다.

Table 1. Calculation Results of Fractal Dimension

Dimension	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	
Expression											
Fractal Dimension			Tree			Bush		Chestnut			

7. 결 론

프랙탈 차원을 이용한 전기트리의 정량적 해석의 결론은 다음과 같다.

1. 프랙탈을 이용한 정량화는 트리진행의 감지 및 프랙탈 차원의 계산에 효과적이다.
2. 모든 트리의 초기성장은 최초 1차원의 트리가 발생하고 초기에 자신의 형태까지 프랙탈 차원이 성장한다.
3. 트리패턴의 형성 후, 일정 전압에서의 트리패턴은 자기상사성을 갖고 있다.
4. 프랙탈 차원은 트리형이 1.2에서 1.5차원 정도이고, 부시형은 1.5에서 1.6차원, 체스트너트형은 1.55차원 이상으로 계산되었다.

참고문헌

1. J.Fuhr, "Detection and Location of Internal Defects in the Insulation of Power Transformers", IEEE. Trans. on Electrical Insulation. Vol.28 No.6, pp.1057-1067, 1993.
2. F.C.Cheng, "Insulation Thickness Determination of Polymeric Power Cables", IEEE. Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol.1 No.4, pp.624-629, 1994.
3. N. Yoshimura, "Diagnosyics of Treeing Degradation by Image Processing" IEEE. Trans. on Electrical Insulation. Vol.26 No.2, pp.314-317, 1991.
4. H.O.Peitgen, "Fractals in the Fundamental and Applied Sciences", Proceedings of the First IFIP Conference on Fractal at Lisbon, Portugal, 1990.
5. 吉野 勝美, "フラクタルと電氣電子現象", 日本電氣材料技術雜誌, Vol.2, No.1, pp.3-17, 1993.
6. 丸山 悟, "電氣トリーのフラクタル次元評價に関する一考察", 日本電氣學會A, Vol.112-A, No.4, pp.332-333, 1992.
7. 김태성, "화상처리에 의한 XLPE의 트리열화 관측", 한국전기전자재료학회지 8(5) : pp.551-557, 1995.