

Fractal 이론을 이용한 전기 트리 시뮬레이션

신태수, 신달우, *강성화, 이배연, 임기조

충북대학교 전기공학과 *충청전문대학 산업안전과

Electrical Tree Simulation by Fractal Theory

T.S.Shin, D.W.Shin, *S.H.Kang, B.Y. Lee, K.J.Lim,

Dept. of Electrical Eng., Chungbuk Nat'l Univ.

*Dept. of Industrial Safety Eng., Chungcheong College

abstract

This paper describes a electrical tree simulation by fractal theory. Tree patterns produced by computer simulation with random numbers were studied from the point of view of fractal dimension. Tree patterns have a variety of shapes such as branch-like, bush-like, and quasi-bush-like trees. The patterns are determined by origins and probability ratio. The fractal dimensions have been measured a function of discharge number.

1. 서론

현재 생활 수준의 향상에 따라 전력 사용이 급증하고 있다. 이에 송전 손실을 줄이기 위해 초고압송전을 하는데 있어 절연 내력이 높은 재료의 개발과 그 특성 개발이 크게 필요한 때이다. 그런데 절연 내력이 높은 재료에 있어 부분방전에 의한 열화 현상으로 절연수명이 단축된다는 것이다. 부분방전에 의한 열화로서 코로나방전과 트리잉 현상이 주목을 끌고 있다. 1951년 Mason씨의 인공보이드를 가진 폴리에틸렌의 코로나 열화실험에서 트리라는 현상이 발견된 이래 이 트리잉 현상에 대한 생성원인 및 진전과정에 대하여 많은 연구가 행해지고 있다. 트리잉 현상은 장시간 파괴의 일종으로 고체 절연물의 내부 보이드등의 내부적 결함에서 국부고전

계의 존재로 인하여 발생되고 수지상의 트리라 불리는 비전도성판이 부분적 파괴로가 되어 대전극에 도달 전로 파괴가 일어나는 현상이라 한다.

현재는 Tree 발생구조와 그 진전구조에 관해 근본적 요인을 확실히 설명하지 못하였고 단지 현상적 관찰만이 행해지고 있는 실정이다. 이에따라 우리는 근본적 요인에 대해 계속적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 전기트리의 경우 프랙탈 특성을 가지므로 Horton의 이론에 따라 트리를 시뮬레이션 하였다. 전기트리의 형상은 조건에 따라서 수지상, bush상 등으로 변화한다. 이 전기트리의 형상은 random 한 패턴이므로 정량화 시킨다는 것은 용이한 것이 아니다. 그러나 이러한 random한 패턴은 자연계에서 잘 나타나는 현상이다. 그러므로 전기트리의 진전과 형상특성을 자기 상사성 성질을 가진 프랙탈 이론을 적용하여 절연체에서 발생하는 전기트리를 모델링하여 정량화하고 트리 형상에 미치는 인자를 검토하였다.

2. 본론

절연 파괴의 통계적 모델로서 경험적으로 제시되어 있는 모델에는 유동 모델, 프랙탈 모델등이 있다.

절연 파괴는 일종의 자기 가속 과정이기 때문에 국부적인 과정을 설명하기 위한 이론

들에 의하면 파괴로는 파괴가 용이한 통로를 따라 트리와 같이 분기되는 가지가 없이 단일로가 형성될 것이다. 그러므로 대부분의 절연파괴에 보이는 트리형상의 파괴로 형성은 결정론적 이론에서는 설명이 불가능하다. 최근에 프랙탈 개념을 도입하여 파괴로 형성을 이해하려는 시도가 있다.

2.1 프랙탈의 기본개념

Fractal 이란 분수차원을 갖는 기하학적 도형이다. 분수로 나타낸 차원을 프랙탈 차원(d_f)이라 하며 트리와 같은 형상에서 d_f 는 식(1)로 정의된다.

$$S = \sum_i S_i \propto L^{d_f} \quad (1)$$

여기서 S는 개개 가지의 원호의 길이 S_i 의 합이며 총트리의 길이는 L이다.

프랙탈은 자기 유사형 구조로서 총 트리길이의 절반인 L/2까지를 대상으로 하고 단위셀에 의해 측정된 S의 값은 총 트리길이 L을 대상으로 하고 앞의 경우에 비하여 크기가 2배되는 단위셀에 의해 측정된 S값, 또는 총 트리길이의 2배인 2L를 대상으로 하고 첫번째 경우에 비하여 크기가 4배되는 단위셀에 의해 측정된 S값은 서로 같다.

따라서 식(2)은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$S \propto \left(\frac{L}{a}\right)^{d_f} \quad (2)$$

여기서 a는 단위셀의 길이이다.

식 (2)에서 S는 총길이 L인 트리를 구성하는 기본 단위 (길이a)의 개수가 됨을 알 수 있다. 결정론적 프랙탈은 그림1에서 보듯이 동일한 확대율로 기본형상을 반복함으로써 만들어지는 구조이다.

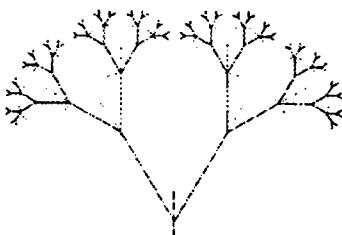


Fig.1 Deterministic tree-like fractals

분기되는 가지의 수가 n_b 일 때 프랙탈 차원의 일반적인 표현은 다음과 같다.

$$d_f = \frac{\log n_b}{\log a} \quad (3)$$

2.2 전기트리의 fractal 성

Neimeyer등은 표면방전 도형(Lichtenberg figure)들이 프랙탈 구조를 갖는다는 사실에 기초하여 이 현상을 시뮬레이션 할 수 있는 통계적 모델을 제시하였다. 그후 많은 연구자들이 전기트리의 형상을 모의하려는 시도가 있었다. 이와같은 연구들의 목적은 트리의 성장을 해석적으로 이해하기 위한 것이라 볼 수 있다.

프랙탈이란 용어는 앞에서 언급한 바와 같이 분수(정수가 아닌)차원을 갖은 도형을 의미하며, 무질서의 흐름을 그래프로 나타낸 것이다. 전기트리는 1차원, 2차원, 3차원 공간 중 3차원 공간에 걸쳐 가지가 분기된 구조로 성장되므로 전기트리의 프랙탈차원(d_f)은 3보다 작은 값이 될 것이다. 특히 트리를 평면에 투사하여 얻어지는 사진에서는, 만약 bush형 트리로서 평면을 완전히 채웠다면 $d_f=2$ 가 된다. 즉 2차원 공간이 되는 것이다.

2.3 실험방법

전기트리를 퍼스널컴퓨터를 사용하여, 확률적 랜덤 패턴을 이용하여 시뮬레이션 하는 방법, 지배 요인 및 시뮬레이션 결과 얻어진 트리의 프랙탈 차원에 대하여 검토하였다.

2.3.1 컴퓨터에 의한 전기트리 시뮬레이션 방법

2차원 정방형 격자에서, 원점을 중심으로 반원상에 난수(random number)를 사용하여 random walker를 발생시킨다. 이 walker를 발생시킨 지점에서 walker를 원점으로 향하도록 random walk시켰다. 다음의 walker를 발생시켜 앞의 과정을 따라 수행을 하는 식으로, 방전 패턴을 확대하여 나간다. 이 경우, walker는 그림 2와 같은 확률 비로 원점

을 향하여 진전하도록 프로그램 하였다. 원점 위치walker가 random walk하여 향하는 위치인 원점위치로서는, 침전극 침단 및 트리 침단부 2 지점으로 했다.

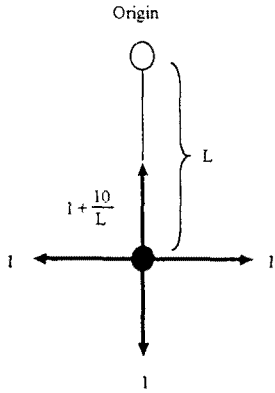


Fig.2 Probability of random walker

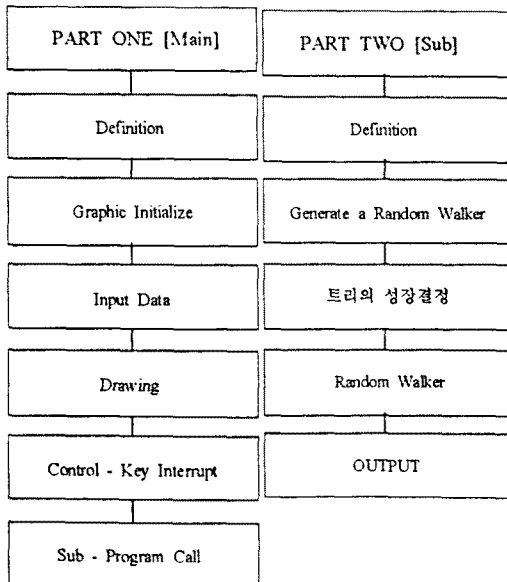
2.3.2 프랙탈 차원 구하는 방법

프랙탈 차원은 (4)식으로 정의되는 box cover법을 사용해서 구한다.

$$N(r) \propto r^{-D} \quad (4)$$

여기서, $N(r)$ 은 길이 r 인 box로 피복할 수 있는 수, D 는 프랙탈 차원이다.

2.3.3 시뮬레이션 프로그램 구조



2.4 시뮬레이션 결과 및 검토

그림 3은 random number를 사용해서 random walk시켰을 때 나타난 수지형 트리의 일 예이다. 이 경우, 원점은 트리 침단부이다. 트리 침단부를 원점으로 한 경우, 트리는 침침단 수직축 방향으로 주로 진전되고 있다. 실제의 트리에 있어서 횡방향으로 넓게 나타나지 않고, 침 침단 수직축 방향으로 우선적으로 진전하는 것은, 교류 트리보다는 임펄스 트리나 직류 트리에서 주로 나타난다.

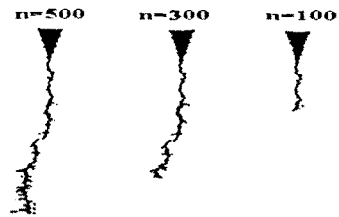


Fig.3 A computer simulated branch type tree (n: discharge number)

그림 4는 역시 random number를 사용해서 random walk 시켰을 때 나타난 일 예이다. 이 경우 원점은 침 침단부였다. 트리 형상은 수지형이라기보다 bush형으로 되며, 분지도 많은 횡방향으로 넓게 나타난다.

실제의 트리에 있어서, 이와같은 bush상의 트리는 주로 교류트리에서 많이 나타난다. 그런데, random walker에 의한 시뮬레이션 결과 즉, 그림 3과 그림 4의 수지형 트리와 bush형트리에서 그림 4의 bush형 트리로의 이행하는 요인은, 원점의 선택방법에 의존한다. 즉, 침 침단 근방에 원점을 선정하면, 횡방향으로 넓어지는 것이 보이며, 분지도 많은 bush형의 트리가 나타난다.

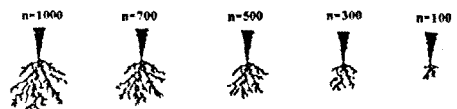


Fig.4 A computer simulated bush type tree (n: discharge number)

그림5 (a), (b), (c)는 원점을 일정하게 하고 확률비를 변화시킨 경우의 시뮬레이션 결과이다. 각 경우 확률비가 증가 될 수록 트리의 형상은 bush형으로 이행되고 있다.

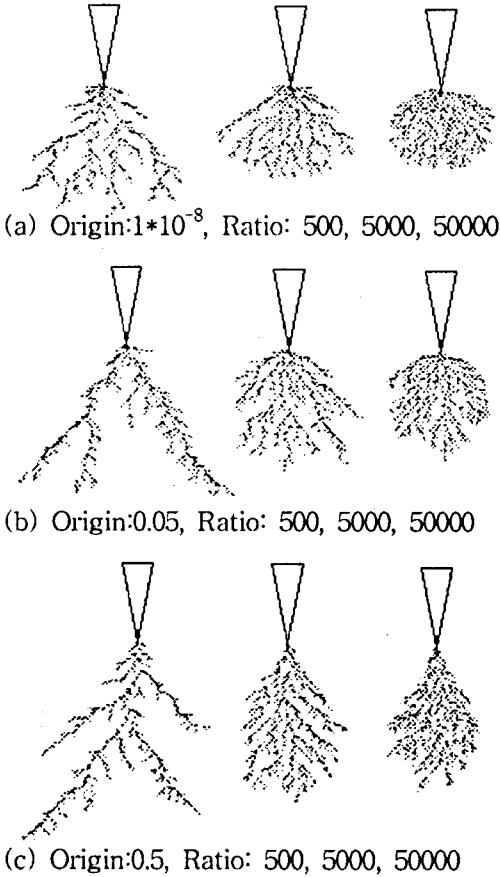


Fig.5 Computer simulated trees with various origins and various probability ratio

3. 결론

Fractal 개념을 도입하여 전기트리의 시뮬레이션 한 바로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Origin과 확률비에 의하여 트리 형상이 좌우됨을 확인하였다.
2. Origin이 침전극 침단부나 이곳에 매우 가깝게 선정되면 부시형 트리가 된다.
3. 확률의 비를 높게 선정하면 부시형 트리가 된다.
4. 확률비와 Origin이 일정시 방전수의 증가에 관계없이 프랙탈차원은 거의 변화가 없다.

앞으로 실제전기트리의 형상인자와 전기트리시뮬레이션 지배인자와의 관계 및 물리적 해석에 대한 계속적인 연구가 요구된다.

본 연구는 한국전력공사와 기초전력공동연구소의 지원에 의하여 수행되었으며 감사드립니다. (과제번호:94-지-10)

참고 문헌

- [1] L.A.Dissado, J.C.Fothergill, "A Discharge-Avalanche Theory for the Propagation of Electrical Trees", IEEE Trans. Elec. Insul., Vol.1 No.3, pp.474-486, June 1994
- [2] S.Kobayashi, S.Maruyama, H.Kawai, and K.Kudo, "3D Fractal Dimension Estimation of Real Electrical Tree in Polymeric Insulating Materials by Sectioning Method", Proc. Int. Workshop Elect. Insul. 25th Symp. Elect. Insul., pp.241-244, 1993
- [3] J.H.Mason, "Breakdown of solid Dielectric in Divergent Fields", Proc. IEE, Vol. 102C, pp.254-263, 1995
- [4] K.Wu, Y.Suzuoki, T.Mizutani, "Computer Simulation of Tree Growth when Considering the Effect of Space Charge" ACDE, pp.73-76, 1996
- [5] H.Uehara, S.Kobayashi, K.Kudo "Fractal Analysis of 3-Dimensional Propagating Patterns of AC Electrical Tree" ACDE, pp.65-68, 1996
- [6] M.Fujii, H.Tanaka, K.Arii, K.Yoshino, "Three Dimensional Measurement of Impulse Tree in Polymeric Insulator and its Fractal", in Proceedings of the 8th International symposium on High Voltage Engineering, pp. 195-198, 1993