

DGEBA/MDA/SN계 트링 열화현상의 프랙탈 특성

조영신 · 심미자* · 김상욱
 서울시립대학교 화학공학과, *생명과학과

Fractal Characteristics of Treeing Deterioration in DGEBA/MDA/SN System

Y. S. Cho · M. J. Shim* · S. W. Kim
 Dept. of Chem. Eng., Dept. of Life Sci., Seoul City Univ.

서론

장시간 고전계 하에 놓여있는 전기 절연재료에서는 과전 열화의 하나인 트링(treeing) 열화가 절연파괴의 주 요인으로 주목되고 있으며 이러한 트리의 발생과 진전 메카니즘에 대한 연구는 학문적인 관심에서 뿐만 아니라, 트리를 억제시키기 위한 근본적인 대책마련을 위하여 지금까지 많은 연구가 진행되어왔다. 그러나 트리의 형상에 대한 연구는 그 현상이 복잡하고 다양하여 아직도 미흡하다. 최근 들어 컴퓨터와 Mandelbrot에 의해 제안된 프랙탈 개념을 도입하여 복잡한 계층적 분기구조인 전기 트리에 대한 정량적 해석이 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 견지에서 본 연구에서는 내충격성을 보완하기 위해 사슬연장제로 작용하는 나이트릴계 반응성 첨가제 SN(succinonitrile)을 도입한 DGEBA-MDA-SN계의 전계 인가방법 등 여러 가지 조건변화에 따른 절연파괴 특성을 프랙탈 차원을 이용하여 정량적으로 해석하였다.

Fractal Dimension(D_f)^(1~7)

프랙탈은 자기유사성(self similarity)을 갖는 도형으로 정의되고, box-counting 차원, Compass 차원, 자기유사성 차원 등을 총체적으로 프랙탈 차원이라 하며 척도(s)의 변화에 따라 주목하는 대상의 어떤 성질이 어떤 방식으로 변하는지를 일종의 power law의 형태로 나타낼 때 관여하는 지수의 형태를 띤다. 그 중에서 box-counting 차원은 격자법이라고도 하는데 피측정도형을 크기(scale)가 s인 정방형 격자(mesh) 즉 box로 피복했을 때, 객체의 일부분을 포함하고 있는 box들의 수를 N(s)라면 다음과 같은 관계가 성립하는 것을 이용하였다.

$$N(s) \propto (1/s)^{-D_f} \quad (1)$$

여기서 D_f 는 프랙탈 차원이다. Box-counting에 의한 프랙탈 차원은 mesh 혹은 grid의 크기(s)를 변화시키면서 각각의 경우에 객체를 포함하고 있는 box의 수 N(s)를 세고 $1/s$ 과 N(s)을 양대수 그래프에 도시했을 때 직선관계가 얻어지면 프랙탈성이며 그 기울기가 프랙탈 차원(D_f)이 된다.

실험

이형제로 피막된 몰드에 직경 1mm ϕ , 선단각도 30°, 선단 곡률 반경 3 μ m인 강철제의 트링시험용 침전극을 삽입하여 고정시키고 80°C로 예열시킨 뒤 반응물들을 전처리 과정을 거쳐 혼합하여 주입하였다. 80°C에서 1.5시간(30분간 진공 탈포시간 포함) 1차 경화시킨 후 150°C에서 1시간 동안 2차 경화시켰다. 고온에

서 경화된 시편의 냉각시 수축응력에 의한 크랙과 보이드 생성을 최소화하기 위하여 오븐 내에서 실온까지 서서히 냉각시키고 제작된 침·평판 전극구성에 의한 불력상 시편들을 광학현미경($\times 100$)으로 관찰하여 보이드가 없는 시료만을 선별하여 실험에 사용하였다.

공기중에서 연면방전을 방지하기 위하여 유리 수조 안에서 유증 파괴 실험을 하였으며 매질로는 고압 트랜스유인 silicon oil을 사용하였다. 일정한 전압을 절연파괴시까지 인가하면서 트리진전에 따른 형상을 광학현미경으로 관찰하여 image analyzer로 화상처리한 후에 기술한 box-counting 법에 의해서 프랙탈차원을 구하였다.

결과 및 토론

15kV와 20kV의 전압을 인가하였을 때 침전극 선단에서 발생하는 트리 형상과 프랙탈 차원을 Fig. 1과 2에 나타내었다. 침전극 선단으로 부터 피트가 형성·성장하여 대향전극을 향해 진전되고 있다. 전압에 따른 트링열화의 프랙탈성을 고찰하기 위하여 grid(s)와 N(s)를 양대수 그래프에 plot한 결과 모두 직선이 얻어졌으므로 프랙탈성이 있음을 확인할 수 있었다. 저전압(15kV)을 인가하였을 때는 가지밀도가 높은 트리가 관찰되었으며 25분동안 인가하였을 때 트리 길이와 Df는 각각 $820\mu\text{m}$ 와 1.51이었다. 그리고 트리 분기구조가 높아짐에 따라 대향전극을 향한 트리의 성장속도가 둔화되었다. 반면에 고전압(20kV)을 인가하였을 때는 Fig. 2와 같이 가지밀도가 낮은 트리가 계속 성장하였으며 트리 진전 속도는 더욱 가속화 되었다. 그리고 40초동안 전압을 인가하였을 때 트리길이는 $355\mu\text{m}$ 그리고 프랙탈차원은 1.11로 저전압에서보다 낮게 나타났다. 이것은 침전극 선단에 고전압이 인가되었을 때 고번전계하에 침전극으로부터 전하가 대향전극과의 수직선상에 시료 깊숙이 트랩 되어 공간전하가 형성됨에 따라 침전극 선단에서 전계완화 영역이 커지고 전위차가 기계적인 탄성파괴 한계치를 넘었을 때 침전극 선단에서는 피트가 형성되고 재료가 침식되어 저 분자량의 전기적 분해 생성물을 발생시킨다. 기상의 분해생성물은 고상의 수지보다 유전율이 낮기 때문에 기상에서 부분 방전이 일어나고 따라서 재료의 열화는 더욱 가속화된다. 기상의 분해생성물로 가득차있는 탄화된 전도성 도관이 대향전극을 향하여 진전됨에 따라 트리 선단에서는 침전극 선단과 동일한 메카니즘에 의해 더욱더 전위차가 커져 트리의 성장속도가 급증하게 된다. 따라서 트리의 분기구조가 잡히지 않고 가지밀도가 낮은 즉 프랙탈 차원이 낮은 트리가 관찰된 것이다. 이와 반면에 저 전압이 인가된 경우에는 전계 진행방향으로 전하가 얇게 트랩 되고 침전극 선단 근처에서만 넓게 공간전하가 형성됨에 따라 프랙탈 차원이 높은 트리가 성장하게 된다. 그리고 분기구조가 더욱 복잡해지면서 실제 재료가 받는 손상은 가속화 되지만 트리 가지의 성장으로 트리의 성장속도가 둔화되어 해초상 또는 부시상의 트리가 관찰되게 된다.

참고문헌

1. J.W.Liu, Pol. Sci and Tech., 5, 479-491(1994)
2. K.Kudo and S.Maruyama, T. IEE Japan, 111-A, 682-683(1991)
3. S.Maruyama, S.Kobayashi and K.Kudo, T. IEE Japan, 113-A, 480-485(1993)
4. S.Maruyama and K.Kudo, T. IEE Japan, 112-A, 332-333(1992)
5. H. J. Wiesmann and H.R. Zeller, J. Appl. Phys., 60, 1770-1773(1986)
6. Y.Katsuno, Z.Kawasaki and K.Matsuura, T. IEE Japan, 111-A, 496-497 (1991)
7. K.Kudo, TIEE Japan, 108-A, 371(1988)

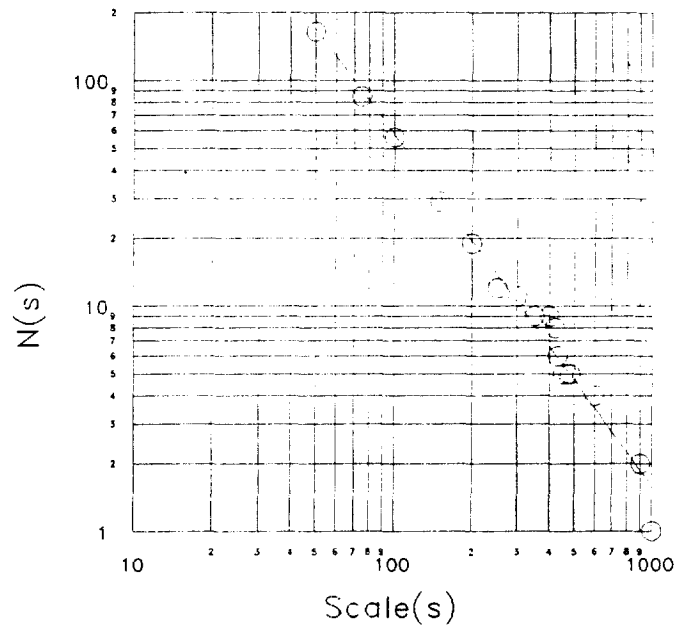
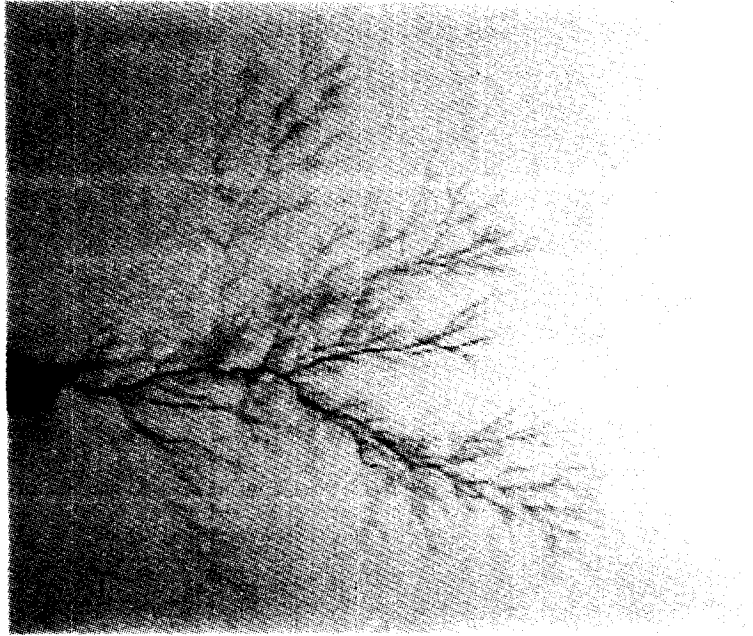


Fig. 1 Pattern(40x) and D_r of tree grown at 15kV.

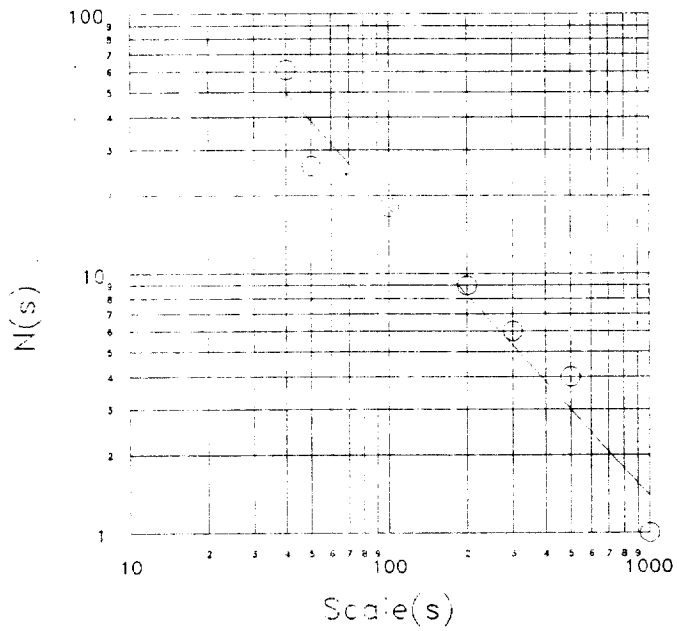


Fig. 2 Pattern(100x) and D_f of tree grown at 20kV.