

GN이 도입된 에폭시 수지계의 트리 진전의 인가 전압 의존성

안 현 수[○], 심 미 자[′], 김 상 옥
서울시립대학교 화학공학과, '생명과학과

Applied Voltage Dependence of Treeing Growth in GN Introduced Epoxy Resin System

Hyun-Soo An[○], Mi-Ja Shim[′] and Sang-Wook Kim
Dept. of Chem. Eng., 'Dept. of Life Sci., Seoul City Univ.'

Abstract

The growth of tree is affected by voltage, frequency, temperature, mechanical stress, etc.. This paper describes the effect of applied voltage on the growth of tree in DGEBA/MDA/GN(10 phr) system. As applied voltage increased, the time to breakdown of the system reduced. As applied time increased, the tree length of X-axis increased with sigmoid shape, however, the tree length of Y-axis increased sharply at the initial step and then were nearly constant. The phenomena of tree were complicated more and more, as applied time increased.

1. 서 론

에폭시 수지는 다른 절연체들에 비해서 전기적 성질과 기계적 성질이 매우 우수하여 개폐기, 변압기 그리고 다양한 배선 차단기 등의 절연체로 널리 사용되고 있으며, 최근에는 초고전압용 절연체료로도 사용이 가속되고 있다.[1]

절연체료로 널리 사용되는 고분자 재료는 가공 및 사용 중에 크랙 및 보이드, 불순물 그리고 도전체의 돌출부 등과 같은 결함이 내부에 발생한다. 따라서 절연체료가 고전압하에서 장시간 사용될 경우, 내부에 존재하는 결함 주위에서 고전계가 집중되어 불평등 전계가 형성된다. 이로 인해 절연파괴의 주 원인중 하나인 트리가 발생되고, 전계 방향으로 계속 성장하여 결국 절연파괴가 일어난다.[2]

절연체의 설계 또는 향상된 절연체를 개발하는 데 있어서 절연파괴 메카니즘의 연구가 필수적이기 때문에 고분자와 같은 절연체료 내에서의 트리에 관한 연구가 많이 보고되고 있다. 그러나 트리의 생성과 성장 과정은 매우 복잡하고 인가전압, 주파수 그리고 온도와 같은 여러 인

자들에 의해 큰 영향을 받으므로 많은 연구가 필요하다 [1~7].

본 연구에서는 기존의 에폭시 수지의 충격에 대한 취약성을 보완하기 위하여, 반응성 첨가제 GN을 도입한 diglycidyl ether of bisphenol A(DGEBA)/4,4' methylene dianiline(MDA)/glutaronitrile(GN) 계에서 인가 전압에 따른 트리의 진전 특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험재료 및 기구

DGEBA 형의 에폭시 수지(Epon 828)와 내열성과 pot life가 우수한 aromatic amine 계 경화제 MDA를 사용하였다. 그리고 반응성 첨가제인 GN은 nitrile기가 MDA의 amine기와 반응하여 주사슬의 길이를 연장시켜서 내충격성을 향상시키므로 10 phr을 첨가하였다[3]. 본 실험에 사용된 트리 시험 장비는 Fig. 1과 같은 input 220 V, output 0~60 kV, 500 VA, 60 Hz의 고전압 발생장치를 사용하였다.

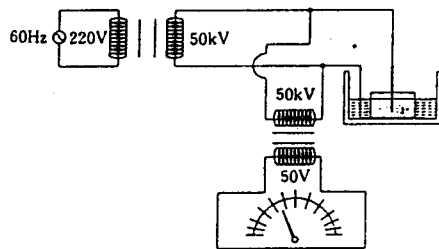


Fig. 1 Schematic diagram of dielectric breakdown test set.

2.2 실험방법

선단의 곡률반경이 5 μm이고 길이가 7 cm인 침전극을 평판 전극의 거리와 1 mm가 되게 몰드에 고정시킨 후 반

용물 DGEBA/MDA(30 phr)/GN(10 phr)을 혼합하여 주형하였다. 반응물을 80℃에서 1.5시간동안 1차 경화시킨 후 확산제한된 반응을 더 진행시키기 위해 150℃에서 1시간 동안 2차 경화시켰다. 고온에서 경화된 에폭시 수지는 급냉시 합침된 침전극과 열팽창 계수의 차이로 인한 기계적 응력으로 발생하는 크랙의 발생을 최소화하기 위하여 -1℃/min의 속도로 실온까지 서냉하여 벌크상의 시편(30×30×8 mm)을 제작하였다. 평판 접지 전극용 알루미늄 박막을 시편하단에 부착한 뒤 리드선을 연결하였다. 10, 12.5, 15 kV의 일정전압을 매 10초간 시편에 인가한 후 광학현미경(×40)을 통하여 성장된 트리의 길이와 진전형상을 관찰하였다. 그리고 고전계 인가시 연면방전을 방지하기 위하여 실리콘 오일을 이용한 유층과피 실험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

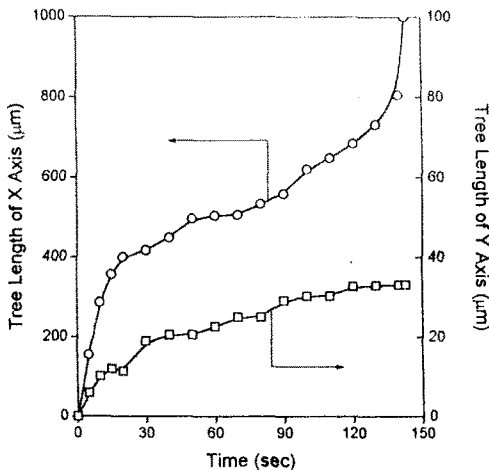


Fig. 2. Tree length of X and Y-axes as a function of applied time at 10 kV.

Fig. 2은 10 kV의 일정전압하에서 시간에 따른 트리의 진전 특성을 나타내었다. 침전단으로부터 평판 전극방향으로 X축, 수직방향으로 Y축이라 할 때, 관찰된 트리는 X축과 Y축 방향 모두 초기에 급격히 성장하였다. 그런데 시간이 경과함에 따라 Y축으로는 점차 포화되었으나, X축은 트리의 성장이 둔화되었다가 120초 후에는 성장속도가 급격히 증가되어 143초에 절연파괴되었다. 초기에는 침전단에서 강화된 불평등 전계로 인하여 재료가 쉽게 열화되어 트리가 빨리 성장하였으나 트리의 길이가 증가함에 따라 트리의 내벽이 부분적으로 탄화된 상태이기 때문에 내벽의 전기 전도도가 감소하여 전계가 완화되므로 트리의 성장속도는 둔화된다. 계속된 전하의 주입으로 재료의 열화가 진전됨으로써, 트리 내벽은 점차 탄화된 전도성 물질로 채워지게 되며, 트리 선단은 침전극 선단과 동일하게 높은 불

평등 전계를 형성하게 된다. 이로 인해 트리성장 속도는 급속히 증가하여 절연파괴에 이르는 것으로 사료된다.

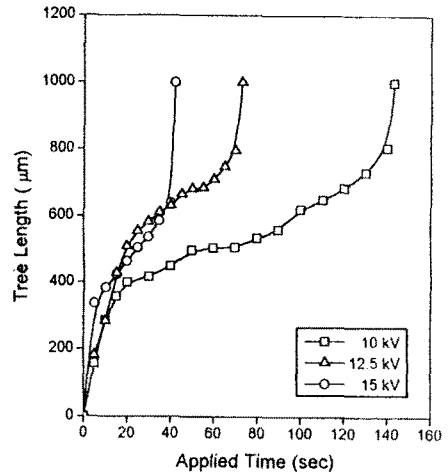


Fig. 3 Tree length as a function of applied time at different voltages

Fig. 3은 시간이 경과함에 따라 인가 전압에 따른 트리 진전특성을 나타내었다. 인가 전압이 증가할수록 트리의 성장속도는 증가하였다. 절연파괴에 이르는 시간은 10, 12.5, 15 kV로 인가전압의 증가에 따라 각각 143, 72 그리고 42초로 감소하였다. 10 kV의 전압을 인가시에는 트리 성장 둔화시간이 약 120초 동안인 반면, 15 kV 전압인가시 트리성장 둔화시간은 약 20초이다. 따라서 전압이 낮을수록 트리성장 둔화시간이 넓은 범위에서 관찰되었으며 트리성장속도의 기울기도 감소하였다. 이는 전압이 낮을수록 보다 낮은 불평등 전계가 형성되므로 재료의 열화정도가 낮기 때문에 트리의 성장이 둔화되는 것으로 사료된다.

12.5 kV의 전압하에서 시간에 따른 트리진전 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 초기에는 트리가 주로 평판전극을 향해 진전하며 가지트리는 거의 생성되지 않았다. 그러나 시간이 경과됨에 따라 평판전극을 향한 트리보다 가지트리가 많이 생성되어 트리의 형상은 복잡해졌다.

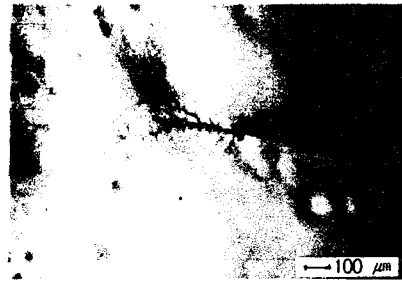
4. 결론

GN을 도입함으로써 충격에 대한 취약성을 개선한 에폭시계의 인가전압에 따른 트리진전특성에 대한 연구의 결과는 다음과 같다.

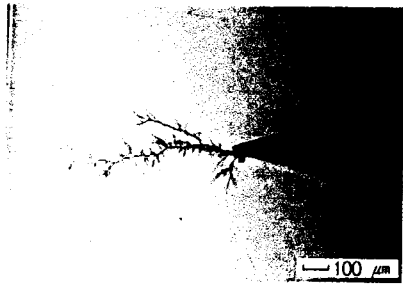
1. 시간이 경과함에 따라 X축의 트리는 S 형태로 성장하였고 Y축의 트리는 초기에 급격히 성장하다가 점차 포화되었다.
2. 인가전압이 증가할수록 트리의 성장속도는 증가했으며, 트리성장 둔화시간은 감소하였다.
3. 시간이 경과함에 따라 가지트리가 증가하며 트리의 형



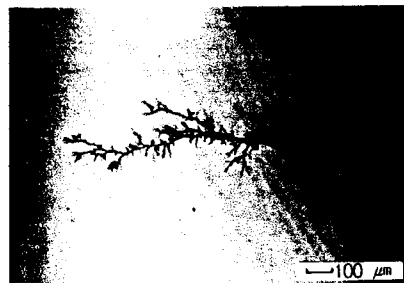
(a) 10 sec



(b) 30 sec



(c) 50 sec



(d) 60 sec

Fig. 4. Phenomena of tree at different applied time under 12.5 kV.

상은 복잡해졌다.

참고문헌

1. R.M. Eichhorn, *IEEE International Symposium on Elect. Insul., Toronto, Canada*, 2(1990).
2. R.J. Densley, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-14, 148(1979).
3. H.S. An, M.J. Shim and S.W. Kim, *96' 대한전기 학회 하계 학술대회 논문집*, 1585(1996).
4. M. Ieda, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-15, 206(1980).
5. N. Yoshimura, S. Fujita and F. Noto, *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-18, 42(1983).
6. R. Patsch, *ibid.*, EI-14, 200(1979).
7. I. Arima and T. Watanabe, *ibid.*, EI-16, 543(1981).
8. K. Nakanishi and S. Hirabayashi, *ibid.*, EI-14, 306(1979).
9. Y.S. Cho, M.J. Shim and S.W. Kim, *J. Kor. Ind. and Eng. Chem.*, 6, 937(1995).
10. 田中良平, "材料利用ハンドブック", 420, 日刊工業新聞社(1983).
11. C.A. Harper and R.M. Sampson, "Electronic materials & process handbook", 2nd, 139, McGraw-Hill, New-York(1993).
12. H. Lee and K. Neville, "Handbook of Epoxy Resins", McGraw-Hill, New-York(1993).