

가교폴리에틸렌 수지의 가교온도변화에 따른 전기트리의 진전과정에 관한 연구

A Study on Growing Process of Electrical Tree According to Crosslinked Temperature Variation in XLPE

김상기* 전남대학교 공과대학 전기공학과
 김덕근 전남대학교 공과대학 전기공학과
 임장섭 목포해양대학교 전자·통신공학부
 오무송 조선대학교 공과대학 컴퓨터공학과
 김태성 전남대학교 공과대학 전기공학과

Abstract

Crosslinked Degree is an important factor to determine dielectric property of crosslinked polyethylene(XLPE) used for the insulation material in power cables.

Recently, though it is necessary to investigate electrical properties according to crosslinked degree as a part of the whole characterization of cable, it is not examined closely.

In this study, crosslinked degree of samples were measured according to temperature and holding time of crosslinking, electrical tree characteristics of these samples were analyzed by crosslinked degree and applied temperature that was changed from normal temperature to operating temperature of power cables.

As a result, when the crosslinked degree was low, dielectric properties were decreased and influence of temperature was increased, but the crosslinked degrees were high, initiation voltages of treeing were increased and dielectric properties were improved. It is proved that the optimum, crosslinked degree was one of most important factor for aging time and residual lifetime of power cable.

1. 서론

최근 사고케이블의 원인을 분석하기 위한 일반적인 방법으로 가교도를 측정하고 있다. 사고 케이블의 경우에는 절연층 일부가 전혀 가교되지 않거나 가교도의 분포가 일정하지 않다. 가교도 불균일은 케이블 절연층의 구조적 불균일을 초래하여 케이블의 사고를 유발하는 요인이 된다¹⁾. 사고케이블의 가교도 분포특성을 분석하기 위하여 코일형태로 Cable을 절단하여 가교도를 측정한다.

결과 세가지 분포 경향을 보이고 있다. 가교도가 80[%]내외에서 특별한 증감없이 균일한 분포를 보이는 경우, 반도체층으로 갈수록 감소하는 경우, 절연체의 가교도가 전체적으로 낮은 경우이다. 그러나, 가교도 분포가 케이블의 전기적 열화 및 절연특성에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구는 미진한 상태이다. 즉, 케이블에서 가교도 분석은 재료적, 화학적 방법이 이용되고있다²⁾.

따라서, 본 연구에서는 가교온도와 가교유지시간에 대한 가교도 분포를 분석하고, 가교도가 전기적 열화에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

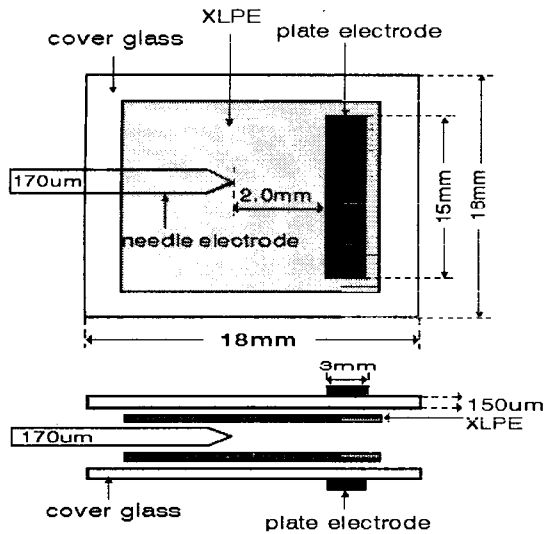


Fig. 1. The type of specimen.

2. 실험 및 방법

2.1 시료 제작

가교도에 따른 트리 진전특성을 현미경으로 관측하기 위하여 pellet 형태의 시료를 그림 1과 같이 제작하였다. 두께가 150[μm]인 XLPE(일본:후지쿠라) 필름을 10×10[mm]의 크기로 절단한 후 크기 18×18[mm], 두께 150[μm]인 커버글라스(독일:Mariefeld) 사이에 4장씩 적층하여 쌓고, 가교 온도와 가교 유지 시간에 대한 오차 범위를 최소화하기 위하여 200×200[mm], 두께 3[mm] 유리판 사이에 넣고, 항온조에서 미리 예열된 시료 홀더에 넣어 가교온도 140~180[$^{\circ}\text{C}$] 범위와 가교 유지시간 0~150[min]에 걸쳐 시료를 제작하였다. 시료는 온도별, 가교유지 시간별로 각각 제작하여 가교도를 측정하였다. 침전극은 pellet 형태의 얇은 시료를 제작하여 화상관측이 가능하도록 에칭법을 이용하여 두께 170[μm], 곡률 반경 1~2[μm], 침 선단각도 30[$^{\circ}$]인 침전극을 제작하였다.

2.2 가교도 측정

가교온도, 가교유지시간에 따라 제작된 시료를 10⁻⁴[g]까지 측정 가능한 저울을 이용하여 무게(W₁)를 측정한다. #120의 스텐인레스 스틸 20×20[mm] 메쉬에 시료를 넣고 다시 무게(W₂)를 측정한다. 1000[ml] 삼각 플라스크에 자일렌

(용융지수 : 106.16, 끓는점 : 138~141[$^{\circ}\text{C}$]) 500[ml]를 채우고 시료를 넣고 24시간 동안 끓여 미가교분을 추출하고, 24시간 진공 건조후 미가교 성분이 추출된 후 시료의 무게(W₃)를 측정하여 가교도를 계산하였다.

2.3 전기적 특성 실험

가교도가 전기적 특성에 미치는 영향을 시험하 전기트리의 개시전압, 진전시간, 전기트리의 진전특성, 절연파괴 시험등을 하였다. 전압이 인가하기 위해, 가교도가 0, 30, 60, 70, 80[%]의 시료에 교류전압 8~20[kV]의 전압을 인가하여 된 시료를 현미경과 이에 부착된 CCD카메라를 통해 관측하고, VTR로 녹화해 컴퓨터를 이용하여 전기적 특성을 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 가교 특성

가교도를 조절하는 기본 인자는 온도이며 가교 반응을 완결시키기 위해서는 가교 온도에서 유기 과산화물이 나타내는 반감기의 5~10배의 시간이 필요하다.

Table 1. Half-lives of Initiators

Initiator	Half-Life time(°C)					
	100	115	130	145	155	175
Azobisisobutyronitrile	7.2 min					
Benzoyl peroxide	19.8 min					
s-Butyl peracetate	12.5 hr	1.9 hr	18 min			
Cumyl peroxide		13 hr	1.7 hr	16.8 min		
s-Butyl peroxide	218 hr	34 hr	6.4 hr	1.38 hr		
s-Butyl hydroperoxide	338 hr				44.9 hr	4.81 hr

표1에서와 같이 Cumyl Peroxide는 150[$^{\circ}\text{C}$]에서 반감기가 수 분을 나타내고 가교특성을 5~10배의 시간을 고려하면 150[$^{\circ}\text{C}$]에서 90~120[min]일 때 가교도가 높게 나타난다³⁾. D-Cumyl Peroxide의 Half Life Time을 고려하여 150[$^{\circ}\text{C}$]를 기준으로 시료를 제작하였다.

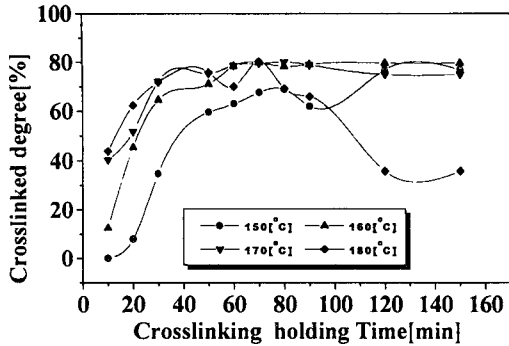


Fig. 2. Crosslinking characteristics according to crosslinking temperature and holding time.

150(°C) 가교도는 가교유지시간에 따라 그림 2와 같이 특성변화가 크므로 가교도 제어에 적합하다. 가교도의 가장 큰 특징은 재현성과 반복성이 좋지 않다는 점이다⁴⁾. 동일한 조건과 환경에서 가교도는 결과적으로 많은 차이를 나타내므로, 오차를 줄이기 위해서 그림 2와 같이 반복 실험을 통하여 각 온도별 가교도를 측정하였다.

그 결과, 온도와 가교유지 시간에 따라 가장 선형적인 값을 나타내는 150(°C)를 기준으로 시료를 제작하여 실험하였다.

3.2 전기적 특성

시료를 절연유에 넣고 침전극에 AC 8~20 [kV]까지 승압속도 500[V/sec]로 인가하였다. 가교도 및 전압에 따라 발생하는 전기적 열화현상은 현미경과 CCD카메라를 이용하여 video로 녹화한 다음, 얻어진 결과를 분석하였다.

그러나, 가교도에 따라 파괴전압, 트리의 진전 형태, 트리의 개시시간, 절연파괴 시간 등에서 다음과 같이 차이를 나타내고 있다. 그림 3는 가교도와 파괴전압과의 관계인데, 가교도가 높을수록 파괴전압이 높아지는 것을 알 수 있다.

파괴 전압 분포는 가교도가 높을수록 높게 나타났다. 30[%] 가교도에서는 10[kV]범위에서 breakdown이 발생하고 80[%]에서는 17~18 [kV] 범위에서 발생한다. 인가되는 전압에 따라

표 2에서와 같이 11~13[kV]범위에서 30[%] 가교도에 bush type의 tree가 발생했으나 60[%]에서는 bush와 branch가 80[%]는

branch type의 tree가 진전해 나간다.

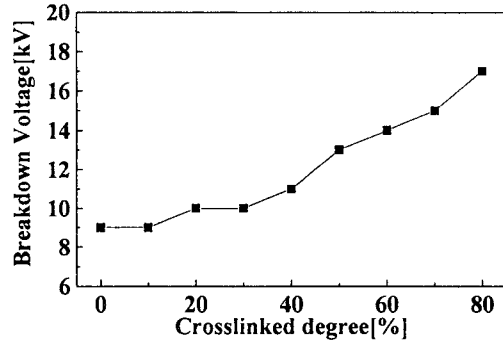


Fig. 3. Breakdown voltage distribution 150(°C) according to crosslinked degree.

Table 2. Tree growth type according to crosslinked degree.

Applied voltage[kV]	30[%]	60[%]	80[%]
9	Branch	Branch	Branch
10			
11			
12	Bush	Bush	Bush
13			
14	Chestnut	Chestnut	Chestnut
15			
16			
17			
18			

동일 전압을 인가할 경우 가교도에 따라 각각 tree의 성장시간, type, 길이 등이 각각 다르게 나타났다. 그림 4은 동일한 온도 150(°C)에서 제작된 가교도가 30[%], 60[%], 80[%]일 때 트리의 진전 특성을 나타낸다.

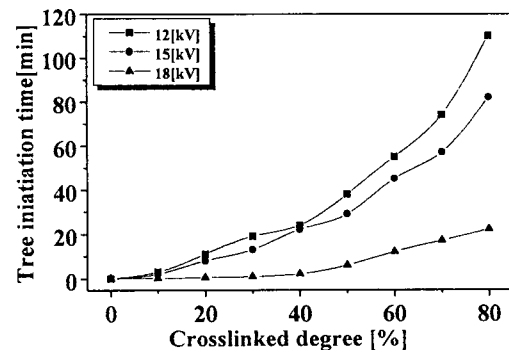


Fig. 4. Tree initiation time.

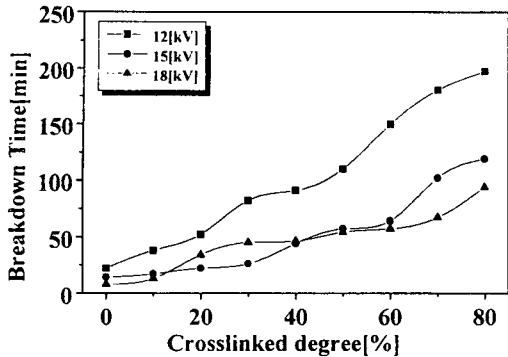


Fig. 5. Tree growth time.

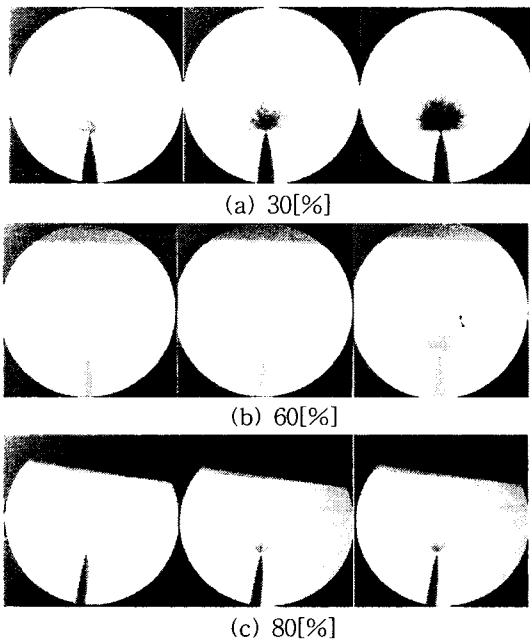


Fig. 6. The growth characteristics of electrical tree at 150[°C], 14[kV].

인가전압 13~14[kV], 가교도 30[%]에서 chestnut type으로 진전되지만, 60[%]에서는 bush형 chestnut type, 80[%]에서는 bush type의 tree가 진전되는 것을 볼 수 있다. 즉 동일한 전압 범위에서 가교도에 따라 트리의 진전형태가 다른 특성을 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 온도, 가교유지시간별 제어를

통하여 인가전압에 따라 10~19[kV]의 절연과 피전압의 차이를 나타내고, 전기트리의 진전형태, 개시 및 성장 시간, 발생하는 tree type 등의 고찰을 통해 다음의 결론을 얻을 수 있다.

1. 가교도가 높을수록 XLPE의 내트리잉성이 크고, 전기트리의 발생시간 및 성장이 늦어지며, 절연파괴 강도가 높아진다.
2. 가교도는 절연체의 전기적 열화현상이 중요한 요소가 되며 전기적 특성에 영향을 미침을 알 수 있다.
3. 불균일한 가교도 분포는 절연성능의 불평형을 초래하여 비정상적인 전계 분포를 유발한다.
4. 가교도 기준은 현재의 기준 이상으로 세분화 되는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

본 연구는 시료상의 결과로서 케이블에 적용할 수 있기까지는 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

(참 고 문 헌)

- [1] "가교폴리에틸렌 절연지중 배전케이블의 특성 분석", 대한전기학회논문지, 45(6), PP.882-889, 1996.
- [2] Jean-Pierre Crine, Serge Pelissou, Yvon Mcnicoll, and Hugues St-Onge, IEEE Trans. Electr. Insul., EI-26, PP.131, 1991.
- [3] R. D. Naybour, "Water Treeing," IEEE Electrical Insul. Magazine, Vol. 6, PP.20-26, 1990.
- [4] Diagnostic Techniques for Cable Characterization, EPRI Report, EL-6207, 1989.
- [5] R. Patch, "Electrical and Water Treeing. A Chairman's View," IEEE Trans. Electrical Insul., Vol. 27, PP.532-542, 1992.
- [6] H. R. Zeller, P. Pfluger and J. Bernasconi, "High Mobility States and Dielectric Breakdown in Polymer Dielectrics," IEEE Trans. Electrical Insul., Vol. 19, PP.93-97, 1993.