

XLPE 절연 전력케이블의 절연체 가교도에 따른 인장강도 및 신장특성

김위영, 윤대혁, 박태곤*
 한국전기연구원 산업협력부 창원대학교 전기공학과*

Tensile strength and Elongation Characteristics for Insulation Crosslinking of XLPE Insulated Power cable

We-Young Kim, Dae-Hyuk Yun, Tae-Gone Park*
 KERI, Changwon Nat'l University*

Abstract - Degree of crosslinking of insulation is very important factor that is determined characteristics of XLPE insulated power cable.

Increase of degree of crosslinking is closely related to increase of mechanical characteristics of XLPE insulated power cable.

In this study, mechanical characteristics of XLPE insulation for degree of crosslinking was analyzed tensile strength and elongation of insulation.

As the result, mechanical characteristics of insulation for degree of crosslinking was divided three cases.

1. 서 론

국내에서 사용하고 있는 지중 배전용 전력케이블의 거의 대부분은 저밀도폴리에틸렌(low density polyethylene: LDPE)을 화학가교제로 가교시킨 가교폴리에틸렌(crosslinked polyethylene: XLPE)을 주절연체로 사용하는 CV 케이블이다.

가교폴리에틸렌은 절연내력 및 고유체적저항이 높고, 유전정접이 매우 작으며, 연속최고허용온도가 높으며, 물리적, 기계적 특성이 우수하며, 화학적으로 매우 안정된 특성을 가진다. 이러한 이유로 가교폴리에틸렌은 고압 전력케이블의 절연체로 널리 사용되고 있다. 가교폴리에틸렌을 절연체로 사용하는 전력케이블은 구조가 간단하고, 전력전송을 위한 부대설비가 필요 없는 장점을 가지고 있다.

가교란 선형 고분자 사슬과 사슬 사이를 화학 가교제로 결합시켜 1차 선형구조의 폴리에틸렌을 3차원 망목구조(3 dimensional network structure)가 되도록 하는 것이다. 이와 같이 폴리에틸렌이 3차원 망목구조가 되면 고분자의 기계적 강도 및 열 안정성이 증가하고 solvent에 용해되지 않는 특징이 있다.

절연체의 가교도는 전력케이블의 특성을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나로서 가교도의 증가는 기계적 특성의 증가와 밀접한 관계가 있다. 또한 가교도가 높을 경우 각종 열화반응에 대한 저항성이 증가하며 반대로 가교도의 감소는 전력케이블의 특성감소를 의미하기도 한다.

본 논문에서는 가교도에 따른 절연체의 기계적 특성을 인장강도와 신장특성으로 분석하였다.

2. 본 론

절연체의 가교도 분석을 위한 시편의 제작은 한전구매시방서를 따라 준비하였고, 시험방법은 한국공업규격 KS C 3004에 따라 실험하였다. 그리고 인장강도 및 신장율 측정은 한전구매시방서에 따라 실험하였으며, 열화 전과 고온 열화 후의 특성에 대하여 분석하였다.

2.1 실험방법

2.1.1 가교도 측정방법

가교도의 분석은 절연체 내의 중간부위, 내부 및 외부 반도전층에서 약 0.5 mm 지점에서 각각 0.5g의 시료를 채취하여 xylene으로 미가교된 폴리에틸렌을 추출하는 방법으로 측정하였다.

- 1) 시편의 질량(m₁)을 mg 단위까지 측정한다.
- 2) 시험관에 50g의 xylene을 넣고 1)에서 무게를 측정 한 시편을 넣는다.
- 3) 110±2℃에서 24시간 가열한다.
- 4) 시편을 시험관에서 꺼내어 100±2℃, 진공도 1.3 kPa 이하의 진공 오븐에서 24시간 건조시킨다.
- 5) 건조 후 시험편의 질량(m₂)을 mg 단위까지 측정한다.
- 6) 가교도는 아래의 식에 의해서 산출된다.

$$X = \frac{m_1}{m_2} \times 100[\%]$$

여기서 X : 가교도(%)

m₁ : 시험 전의 질량(mg)

m₂ : 시험 전의 질량(mg)

2.1.2 인장강도 및 신장측정

인장강도 및 신장을 측정하기 위한 시편은 ASTM D 412 C형 담벨 시편을 사용하여 절연체의 중간 부위에서 열화 전과 열화 후 각각 3개의 시편을 채취하여 실험하였다.

열화 후 인장강도 및 신장 측정 시편은 121±1℃에서 168시간 가열하여 상온에서 18시간 방치 한 후 20~25℃에서 측정을 실시하였다. 측정의 정확성을 위하여 제

조사별 열화 전과 열화 후 인장강도 및 신장 측정을 동일한 시간과 동일한 온도에서 측정하였다.

중간부위의 가교도는 82~83% 수준을, 외도부분의 가교도는 83% 수준을 나타내었다.

2.2 결과분석

2.2.1 가교도 결과분석

표 1 제조사별 절연체 가교도

제조사	규격	내부부위	중간부위	외도부위
A사	60mm ²	78.37	83.41	80.83
	200mm ²	80.06	84.52	82.64
	325mm ²	79.85	83.91	83.54
	600mm ²	80.77	83.37	83.87
	평균	79.76	83.80	82.72
B사	60mm ²	81.37	82.14	82.80
	200mm ²	80.22	82.30	82.72
	325mm ²	80.73	82.25	83.09
	600mm ²	80.12	82.57	83.19
	평균	80.61	82.31	82.95
C사	60mm ²	80.23	81.48	82.34
	200mm ²	81.98	83.35	82.03
	325mm ²	81.20	81.55	86.23
	600mm ²	80.30	81.76	82.53
	평균	80.93	82.04	83.28
D사	60mm ²	79.73	82.25	83.79
	200mm ²	79.51	82.25	83.79
	325mm ²	80.37	82.14	83.53
	평균	79.87	82.21	83.70
	E사	60mm ²	75.51	82.07
200mm ²		79.51	82.96	83.65
325mm ²		81.01	84.77	82.60
평균		78.68	83.27	82.84
F사		60mm ²	80.98	82.77
	200mm ²	81.01	82.07	83.13
	325mm ²	81.84	82.64	82.38
	평균	81.28	82.49	82.68

제조사의 공통된 특징으로는 내도 부분의 가교도가 전체적으로 가장 낮은 특징을 나타내었다.

A사와 E사의 경우는 절연체의 중간 부분의 가교도가 가장 높게 나타났으며, 양 반도체층으로 갈수록 가교도가 낮아지는 경향을 나타내었다.

또한, B사, C사, D사, F사는 내도 부분의 가교도가 가장 낮았으며, 절연체 바깥부분으로 갈수록 가교도가 증가하는 특성을 나타내었다.

전체 평균으로 가교도 특성을 살펴보면 A사와 E사의 가교도가 가장 낮았으며, 두 제조사의 특징은 내도 부분의 가교도가 79% 수준으로 전체 제조사 중 가장 낮은 특성을 나타내었다. 또한 중간 부분의 가교도는 전체 제조사 중에서 가장 높은 83% 수준을 나타내었다. 그리고 F사의 가교도 특성은 전체적인 가교도의 분포가 일정하였으며, 내도 부분이 81%로 각 제조사 중에서 가장 높았고 외도부분은 82.68%로 가장 낮은 특성을 나타내었다.

일반적으로 내도 부분의 가교도는 79~81% 수준을,

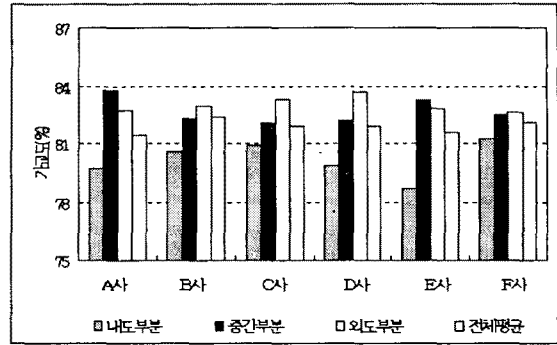


그림 1 제조사별 평균값에 의한 가교도

2.2.2 인장강도 및 신장 결과분석

표 2 제조사별 도체 크기에 따른 인장강도 및 신장특성

제조사	규격	인장강도(kgf)		신장(time)	
		열화 전	열화 후	열화 전	열화 후
A사	60mm ²	2.055	2.464	5.133	5.347
	200mm ²	2.050	2.495	5.400	5.747
	325mm ²	2.030	2.342	5.133	5.480
	600mm ²	2.078	2.315	5.467	5.400
	평균	2.053	2.404	5.283	5.493
B사	60mm ²	2.446	2.336	5.427	5.787
	200mm ²	2.350	2.460	5.480	5.349
	325mm ²	2.484	2.628	5.453	5.200
	600mm ²	2.507	2.223	5.813	5.653
	평균	2.447	2.412	5.543	5.497
C사	60mm ²	2.310	2.090	5.680	5.653
	200mm ²	2.352	2.177	5.427	5.373
	325mm ²	2.384	2.123	5.533	5.773
	600mm ²	2.213	2.138	5.537	5.746
	평균	2.315	2.132	5.544	5.636
D사	60mm ²	2.339	2.427	5.467	5.640
	200mm ²	2.449	2.359	5.600	5.907
	325mm ²	2.549	2.310	5.633	5.893
	평균	2.446	2.365	5.587	5.813
	E사	60mm ²	2.600	2.493	5.773
200mm ²		2.579	2.649	5.826	5.946
325mm ²		2.305	2.391	5.293	5.733
평균		2.495	2.511	5.630	5.848
F사		60mm ²	2.558	2.151	5.960
	200mm ²	2.599	2.564	6.027	6.140
	325mm ²	2.336	2.442	5.920	5.200
	평균	2.498	2.386	5.969	5.758

전체적으로 A사의 인장강도와 신장이 가장 낮은 특성을 나타내었으며, 반대로 E사와 F사가 가장 높은 특성을 나

타내었다.

각 제조사별 특성은 A사와 E사가 열화 전보다 열화 후의 인장강도 및 신장이 높아진 특성을, 반대로 B사와 F사는 열화 전보다 열화 후의 인장강도 및 신장이 낮아진 특성을 나타내었다.

또한, C사와 D사의 인장강도는 열화 전보다 열화 후가 낮아진 특성을 나타내었으며, 신장은 열화 전보다 열화 후가 높아진 특성을 나타내었다.

각 제조사의 공통된 특성을 분석하여 보면 열화 전의 인장강도는 평균을 중심으로 밀집된 형태를 보이나 열화 후의 인장강도는 열화 전에 비하여 평균을 중심으로 분산된 결과를 나타내었다. 그러나 신장의 경우는 열화 전과 열화 후 모두가 평균을 중심으로 분산된 정도가 거의 비슷한 특성을 나타내었다.

인장강도와 신장은 재질의 물리적 특성값으로서 각 제조사별로 큰 차이는 나지 않는 것으로 보인다.

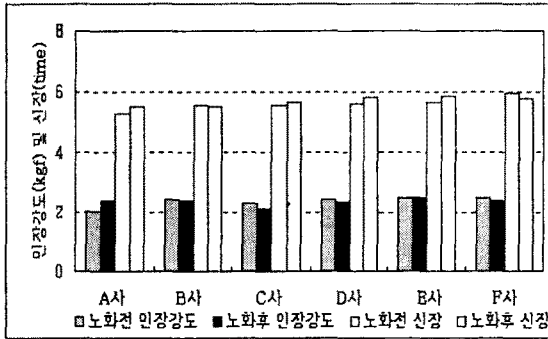


그림 2 제조사별 평균값에 의한 인장강도 및 신장

2.3 결과분석

가교도와 인장강도 및 신장을 연관하여 분석하여보면 A사와 E사의 가교도는 중간부분의 가교도가 가장 높게 나타났고 양 반도체층으로 갈수록 가교도가 떨어지는 경향을 나타내었으며, 내도 부분의 가교도가 전체 제조사 중 가장 낮은 특성을 나타내었다. 또한, 중간 부위의 가교도는 전체 제조사 중 가장 높은 특성을 나타내었으며, 외도 부분의 가교도는 비교적 낮은 특성을 나타내었다.

인장강도는 두 제조사가 열화 전에 비하여 열화 후의 인장강도가 높아진 특성을 나타내었다. 그리고 신장 또한 두 제조사가 열화 전에 비하여 열화 후의 신장이 높아진 특성을 나타내었다.

B사와 F사의 경우는 인장강도와 신장특성 모두가 열화 전에 비하여 열화 후가 낮아진 것을 알 수 있다.

또한 B사와 F사의 가교도 특성은 내도 부분의 가교도가 80~81%로 각 제조사 중 높은 특성을 나타내며, 중간 부분의 가교도는 전체 제조사의 중간 값을 가지는 것을 알 수 있다.

C사와 D사의 경우 인장강도는 열화 전에 비하여 열화 후의 특성이 낮아진 반면, 신장은 열화 전에 비하여 열화 후의 값이 높아진 특성을 나타내었다. 또한 C사와 D사의 가교도는 내도 부분이 약 80%, 중간 부분이 82%, 외도

부분이 83%로 전체 제조사의 중간값을 가지는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

가교도에 따른 절연체의 기계적 특성을 나타내는 인장강도와 신장 특성이 열화 전보다 열화 후의 특성이 모두 높아진 경우, 열화 전보다 열화 후의 특성이 모두 낮아진 경우, 인장강도는 열화 전보다 열화 후의 특성이 낮아진 반면 신장은 높아진 경우로 3가지 부류로 나누어졌다.

인장강도와 신장 특성이 열화 전보다 열화 후의 특성이 모두 높아진 경우의 가교도 특성은 내도 부분의 가교도가 낮은 특성을 나타내었고, 중간 부위의 가교도는 높은 특성을 나타내었다. 즉, 중간부분의 가교도가 가장 높게 나타났고 양 반도체층으로 갈수록 가교도가 떨어지는 “^”자 형태의 가교도 특성을 가진다.

인장강도와 신장 특성이 열화 전보다 열화 후의 특성이 모두 낮아진 경우의 가교도 특성은 내도 부분의 가교도가 80~81%로 높은 특성을 나타내며, 외도 부분으로 갈수록 가교도는 높아지는 특성을 보이나 기울기의 경사는 완만한 특성을 나타내었다.

인장강도는 열화 전보다 열화 후의 특성이 낮아진 반면 신장은 높아진 경우의 가교도 특성은 외도 부분으로 갈수록 가교도가 높아지는 특성을 보이며, 그 기울기의 경사도 가파른 특성을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 구매시방서, “22.9kV 동심중성선 전력 케이블”, 2000.
- [2] 한국공업규격 KS C 3004 “고무 플라스틱 절연 전선 시험방법”, 1998
- [3] 김종화, “22.9kV XLPE 케이블의 절연재료 및 가교방식에 따른 열화특성 연구”, pp 10 26, 1992
- [4] 홍진웅 외 2명, “Effect of Treatment on Polyethylene Film for Power Cable Insulation”, 1997 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1566-1568.
- [5] 홍진웅, Yasuo SUZUOKI, Teruyoshi MIZUTANI, “Effect of Treatment on Polyethylene Film for Power Cable Insulation”, 1997 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp1566-1568.
- [6] A. Barlow, “The chemistry of Polyethylene Insulation”, IEEE Elect. Insul. Magazine, Vol.7, No.1, pp8-19, 1991