

22.9[kV] XLPE 케이블의 절연성능평가

The Evaluation of Dielectric Capability in 22.9[kV] XLPE Insulated Cables

김충배* 전남대학교 전기공학과,
장동환 전남대학교 전기공학과,
임장섭 목포해양대학교 해양전자·통신공학부,
한재홍 전력연구원 배전자동화 그룹,
김상준 전력연구원 배전자동화 그룹,
김태성 전남대학교 전기공학과.

Abstract

New diagnostic techniques have been tried on the applications of chemical, physical and micro-structural methods because there was a limit to diagnose degradation in Korean Underground Residential Distribution (URD) power cables with the conventional electrical methods.

In this study, non-electrical properties were carried out as such. Characterization of interface layer was analyzed by X-ray, characterization of insulator by water tree, degree of crosslinking, shrinkage as well as μ -FTIR, characterization of semiconductive layer by volume resistivity. Electrical properties were also performed by leakage current.

I. 서론

1973년부터 국내에서 포설되기 시작한 지중전력케이블은 인구증가, 도시화 등에 편승하여 계속적으로 증가하고 있다. 대부분의 지중배전용 전력케이블은 가교폴리에틸렌(XLPE)으로 된 절연층과 전계완화를 목적으로 한 반도체층을 사용하고 있다. 최근의 조사에 의하면, 국내 지중전력케이블은 포설 후 5, 6년 후에 일어나는 사고가 가장 많고, 포설 후 5, 6년 사이에 파괴가 일어나지 않은 자연열화에 의한 파괴도 예상수명에 훨씬 못미치는 10여년 정도로 보고되고 있다¹⁾. 지중케이블의 특성을 평가하는 방법에는 기존의 전기적 방법 이외에도 외국의 경우처럼 화학적, 물리적, 미세구조적 분석 방법을 응용한 새로운 진단기술들을 이용하는 것이 바람직하다¹⁾²⁾. 본 연구에서는 케이블의 절연층과 반도체층에 대하여 여러가지 특성분석과 이와 연계하여 전기적 특성

시험을 실시하였고, 이로부터 결과를 바탕으로 국내에서 사용되었던 지중배전케이블의 특성을 평가하였다.

II. 실험방법

1. 시료의 제작

시료로 사용된 케이블은 국내에서 생산된 22.9[kV]급 CN/CV 케이블 12종으로서 이 중에서 사고경력이 없는 건전케이블은 5종(S1~S5)이었고, 사고경력이 있는 케이블은 7종(F1~F7)이었다. 실험에 사용된 케이블은 특성시험을 위하여 Fig. 1.과 같은 시료로 제작되었다.

2. 실험방법

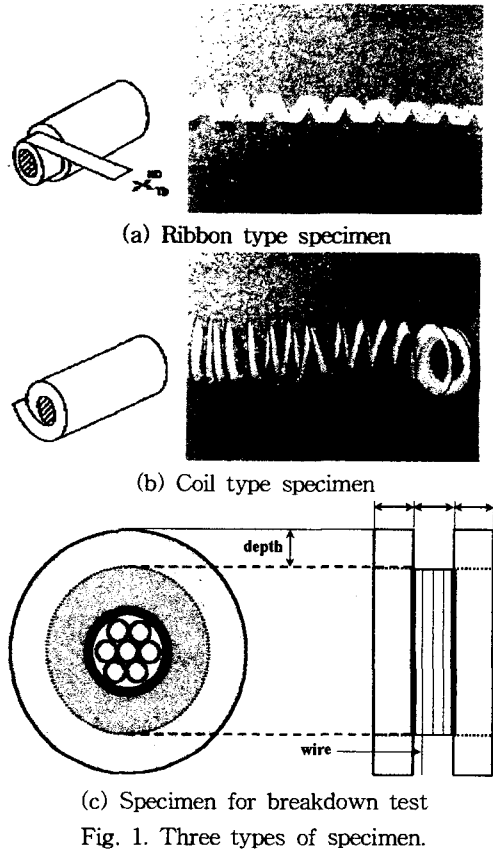


Fig. 1. Three types of specimen.

X-ray(엑스선 발생장치)를 이용하여 케이블에 존재하는 결함을 쉽게 관찰하였다. 절연체의 특성을 알아보기 위해서 수축율, 가교도 측정, μ -FTIR 분석을 실시하였고, 반도체층에 대해서는 체적고유저항값을 측정하였다.

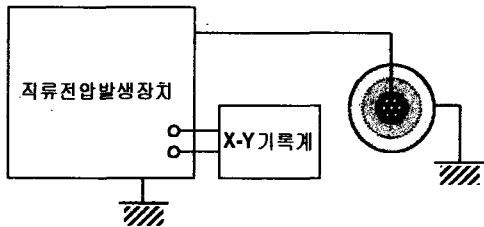


Fig. 2. The Circuit of leakage current test.

또한, Fig. 1.의 (c)와 같은 형태의 시료를 사용

하여 누설전류시험을 실시하였다. Fig. 2.는 실험에 사용된 장치의 회로도이다.

III. 실험결과 및 고찰

케이블 제조 시나 혹은 사용 중에 생길 수 있는 각종 제조결함을 X-ray 촬영을 이용하여 쉽게 발견할 수 있었다. Fig. 3.은 반도체층과 도체 사이의 생기는 계면접착불량과 convolution현상을 보여주고 있다. 이 부분을 절단하여 수트리를 분석한 결과, 이 부분에서 수트리가 성장한 것을 확인할 수 있었다.

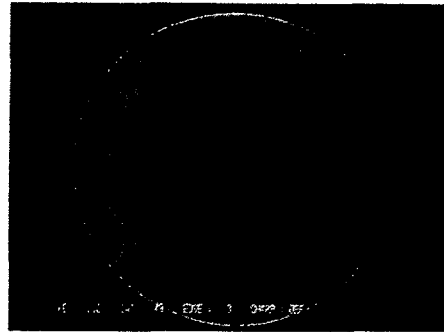
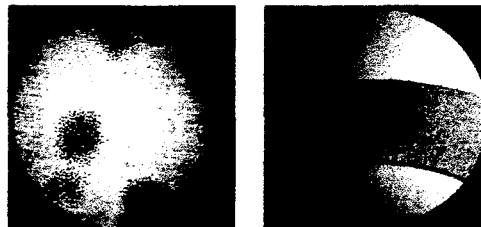


Fig. 3. Photographs of X-ray.

Fig. 4.는 본 실험에서 관찰된 여러 가지 수트리 형태를 보여주고 있다.

(e)에서 가지모양으로 나타난 부분은 수트리가 이미 전기트리로 전이된 형태이다. 일반적으로 수트리 분석에서는 수트리 밀도와 최대 수트리 길이가 주요 파라미터인데, 본 실험에서 F1의 경우 최대 수트리길이는 3[mm], 폭은 약 10[mm]이었고, F4의 경우는 최대 수트리 길이가 6[mm], 폭이 약 13[mm], F6의 경우는 최대 수트리 길이가 5[mm]이며 전체 절연층에 폭넓게 분포하고 있어서 열화정도가 매우 심각한 것으로 추측되었다.



(a) F1 ribbon type

(b) F1 coil type

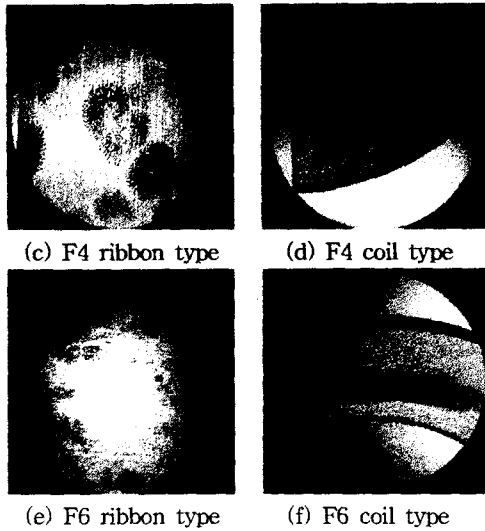


Fig. 4. Photos of water trees.

케이블의 절연층에 사용하는 XLPE는 가교된 정도에 따라서 케이블의 특성이 현저하게 달라진다. 일반적으로 케이블에는 80[%] 이상의 가교도가 요구된다³⁾.

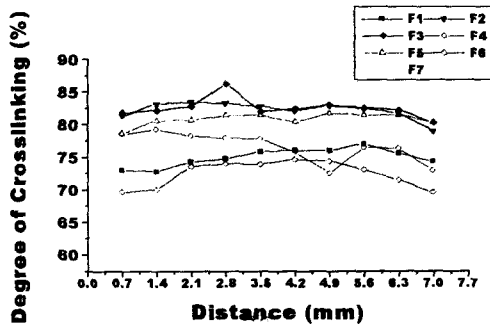
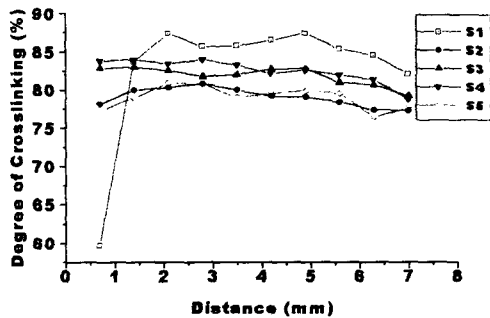


Fig. 5. Analysis on degree of crosslinking.

S1 시료의 경우 내도측의 가교도가 급격히 감소함을 보이고 있는데 이는 케이블 압출시 외부로부터 전달되어야 할 열이 내부로 충분히 전달되지 못하여 가교제의 분해가 충분히 이루어지지 않았기 때문이라고 생각된다¹⁾⁴⁾. 이러한 결과는 μ -FTIR을 이용한 terminal vinyl기의 분석을 통해서도 확인할 수 있었다. terminal vinyl기는 가교반응에 참여하는 성분으로서 이 성분의 정량분석을 통해 가교정도를 확인할 수 있다. 대부분의 시료에서 가교분포는 일정하지 않고 절연체의 두께방향으로 약간씩 차이를 나타냈다.

Table 1에 케이블 압출방향(MD)과 이에 직각방향(TD)에 대한 수축율 분석결과를 나타내었다. 일반적으로 수축율은 매우 양호한 것으로 나타났으나, F3과 S2의 경우는 다른 케이블에 비해 수축율(MD방향)이 약간 높았으며, 전체적으로는 MD방향으로의 수축율이 TD방향보다 더 심했다.

Table 1. Shrinkage percent in insulator

	MD 방향 (%)	TD 방향 (%)
S1	1.84	0.00
S2	4.07	0.11
S3	0.89	0.13
S4	0.96	0.22
S5	0.58	0.11
F1	1.48	0.00
F2	1.88	0.00
F3	5.79	0.11
F4	3.07	0.00
F5	1.91	0.00
F6	2.81	0.00
F7	2.44	0.79

Table 2는 체적고유저항 분석결과가 나타나 있다. Table에서 음영이 진 케이블은 체적고유저항이 높은 케이블을 나타내고 있다.

Table 3에 각각 μ -FTIR을 이용하여 구조분석과 정량분석을 실시한 결과이다. 구조분석 결과, S2, S4, F6는 ester 성분이 거의 없는 것이 확인되었는데, 이는 케이블이 상당 수준 산화가 진행되었음을 뜻한다.

Table 4에 직류누설전류 측정값이 나타나 있다. 누설전류의 경우는 특별한 차이를 나타내지 않았으나, 일반적으로 절연층의 두께가 감소할수록 높은 값을 나타내었다.

Table 2. Volume resistivities of each cable

	외도				내도			
	실온	비고	90[°C]	비고	실온	비고	90[°C]	비고
S1	7.89		9.61		0.43		1.09	
S2	2.09		2.86		1.51		3.23	
S3	1440		1994	2				
S4	1334	1	1802	4	2.58		5.69	
S5	2.40		6.46		2.23		9.51	
F1	2.98		30.92	1	3.71		5.89	
F2	19.16	1	5.07		0.58		1.78	
F3	5.04		4.05		1.89	1	1495	1
F4	1650		2072	1	0.50		2.56	
F5	5.18		9.63		14.7		7.73	
F6	4.67		21.69		2.39		4.47	
F7	4.65		9.10		0.44		1.25	

* 비고는 측정시 overload(∞)가 나타난 횟수임.

Table 3. Quantitative analysis on unsaturation band

	ester	trans vinylene	terminal vinyl
S1	0.304	0.080	0.139
S2	0.041	0.096	0.146
S4	0.069	0.126	0.157
S5	0.115	0.120	0.174
F1	0.046	0.123	0.166
F2	0.925	0.141	0.179
F3	0.924	0.139	0.168
F4	0.591	0.080	0.103
F5	0.745	0.021	0.092
F6	0.048	0.099	0.155
F7	0.350	0.129	0.153

IV. 결론

본 연구에서는 현재 국내에서 사용되거나 사용되었던 케이블의 물리·화학적 특성 및 전기적 특성분석을 수행하였다.

1. X-ray 촬영을 통하여 반도체층과 도체사이의 계면접착불량이나 convolution현상 등 제조시에 발생할 수 있는 결함을 쉽게 발견할 수 있었다.

Table 5. Data of DC leakage current

	23[kV], [nA]		23[kV],[nA]		
	1분	7분	1분	7분	
S2-6	175.2	12.8	F3-4	190.1	25.2
S2-5	178.8	14.1	F3-3	190.3	37.6
S2-4	253.3	22.8	F3-2	198.7	34.0
S2-3	282.7	45.3	F4-6	181.0	35.6
S2-2	243.1	42.2	F4-4	220.1	35.8
S2-1	198.6	35.3	F4-3	196.0	40.0
S4-6	203.2	23.2	F4-2	236.0	34.8
S4-5	213.9	32.6	F4-1	199.4	39.4
S4-4	214.8	31.9	F6-6	214.8	42.0
S4-3	236.2	35.9	F6-5	167.2	29.2
S4-2	222.4	34.5	F6-4	143.7	35.2
S4-1	258.5	28.0	F6-3	160.0	29.7
S5-6	160.1	27.1	F6-2	177.4	29.5
S5-5	218.3	28.7	F6-1	187.0	29.2
S5-4	196.8	22.6	F7-6	165.0	39.1
S5-3	200.2	27.4	F7-5	209.1	36.4
S5-2	225.0	22.4	F7-4	189.0	31.5
S5-1	283.4	46.9	F7-3	208.6	33.0
F3-6	237.4	31.1	F7-2	160.0	23.0
F3-5	173.2	14.0	F7-1	200.7	26.5

* 시료 뒤의 숫자는 전극간 거리[mm]를 나타냄.

2. 절연층의 가교특성을 분석한 결과, 국내 케이블은 제조시 일정하게 가교가 이루어지지 않거나 미가교된 경우가 많았다.
3. 수축율을 측정한 결과, 대부분 양호하였으며, 반도체층의 체적고유저항은 높은 값을 나타냈다.
4. μ -FTIR을 이용한 구조분석으로 산화의 정도를 판단할 수 있었으며, 전기적 시험인 누설전류 측정에서는 절연층의 두께가 얇아질수록 누설전류치가 증가하였다.

참고문헌

- [1] "배전케이블 수명예측 기준결정 및 열화진단 시스템 구축", 전력연구원, 1997.
- [2] EPRI Report EL-5387, "Characterization of Failed Solid Dielectric Cables", 1987.
- [3] "Specification for Crosslinked Polyethylene Insulated Shield Power Cables Rated 5 Through 46kV", AEIC CS5-94, 1994.
- [4] A. M. Bruning, F. J. Campbell, "Aging in Wire Insulation Models and Practical Reality", IEEE, Vol. 28., No. 5. pp729-754, 1993.