

대용량 XLPE 케이블 고찰

최 창수, 이 갑중, 권 병일*, 남 정서
대한전선 주식회사

Progress in Technology of Ultrahigh-voltage XLPE Cable

CHANG-SOO CHOI, KAB-JOONG LEE, BYUNG-IL KWON*, JEONG-SE NAM
TAIHAN ELECTRIC WIRE CO., LTD

Abstract

About 20 years have passed since cross-linked polyethylene(XLPE) came into practical use for power transmission cables.

In 1969, We were the first to product 33kV XLPE insulated cables, and in 1984 produced XLPE cable for 154kV.

To meet the increasing demand for electric power in large cities, and to improve reliability of the power supply, plans are being made to introduce ultrahigh-tension power cable for long distance underground lines in urban areas.

Studies are currently under way to develop more than 154kV XLPE cables to meet increasing demand.

In this paper presents the progress in the production and design of XLPE cables, and describes ways in which further improvements seems likely.

I. 서론

전력수요의 증대에 맞춰 XLPE 케이블에 대한 기술은 지속적으로 성장하였고 양질의 초고압 케이블 사용이 생산공정의 개선을 통해 가능해졌다.

특히 O.F 케이블에 비해 유지보수가 용이하고 환경보존적인 측면에서도 장점이 있으며 XLPE 특유의 우수한 전기적 특성 및 취급의 용이성으로 인해 XLPE 케이블의 수요는 더욱 증가하리라 예상된다. 또한 전력수요의 폭발적인 증가로 인하여 초고압 케이블의 경향이 대도체화 및 대용량화를 요구하고 있는 실정이다.

이러한 초고압 XLPE 케이블의 대용량화 추세에 맞춰 많은 연구 및 생산기술의 향상을 이루고 왔고 본고에서는 이러한 기술력을 기초로 한 앞으로의 동향에 대해 논하고자 한다.

I. 본론

1. 생산 기술

지금까지 XLPE 케이블의 주 재료로 사용되어온 Compound는 비중 약 0.92 및 MFR(Melting Flow Rates)범위가 1~3인 저밀도 폴리에틸렌을 사용하고 있으며, 주 절연재료인 XLPE의 고순도성 및 이물관리가 생산에 있어서 가장 중요한 요소이며 이를 관리하기 위한 조건은 아래와 같다.

- 1) 생산공정에서의 청결성
- 2) 압출공정까지의 품질관리
- 3) 금속 이물의 제거
- 4) 완제품 이물관리의 철저

절연재료의 고순도성을 개선시키는 노력과 더불어 첨가제를 사용해서 절연특성을 향상시키는 다양한 기술노력이 진행되어 왔으며, 그중에서도 전기트리 및 수트리를 감소시키는 첨가제에 대한 연구도 병행되어 트리억제형 XLPE의 출현을 가져왔다.

또한 삼중 동시압출과 건식가고 및 냉각방식은 지금까지의 어떤 방식보다도 Void 및 수분함유량의 최소화를 가져올수 있는 방법으로 잘 알려져 있다.

그림 1.은 습식 및 건식가고 방식에서의 Void 비교 그래프이다.

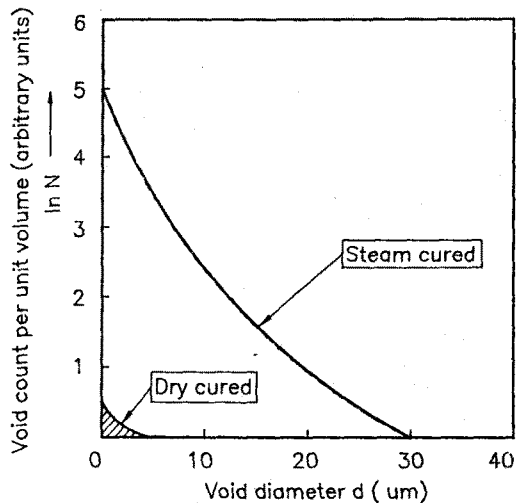


그림 1. 습식 및 건식가고 방식에서의 Void 분포

2. 설계 기술

앞에서 언급한 생산기술의 향상은 케이블 설계의 진일보를 가져오는 획기적인 전기가 되었다. 특히 XLPE 케이블의 약점으로 지적되어온 절연 두께의 감소를 가능하게 하고 있다.

2-1. 절연 두께

절연 두께의 결정은 AC 내전압과 충격 내전압에 의하여 결정되어지고 있다.

(1) AC 전압으로 결정되는 절연두께

$$t_{ac} = \frac{V_{ac}}{E_L(ac)} \quad \text{①}$$

V_{ac} : AC 내전압
 $E_L(ac)$: AC 전압에 대한 통계상의 최소 파괴 강도(kV/mm)

(2) 뇌 Impulse 전압으로 결정되는 절연두께

$$t_{imp} = \frac{V_{imp}}{E_L(imp)} \quad \text{②}$$

V_{imp} : Impulse 내전압
 $E_L(imp)$: 뇌 Impulse 전압에 대한 통계상의 최소 파괴 강도(kV/mm)

절연 두께를 결정하는 중요한 요소는 ①식에서 최소 파괴 강도 $E_L(ac)$ 와 일회계수, ②식에서 $E_L(imp)$ 와 온도계수이다.

2.1.1 최소 파괴강도

XLPE 케이블의 절연 파괴강도는 방정식 ③으로 표현되는 Weibull식에 의한다.

$$F(E, t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{E - E_L}{E_0} \right)^a \left(\frac{t}{t_0} \right)^b \right] \quad \text{③}$$

여기서, $F(E, t)$: 전계 E와 시간 t에서의 케이블 파괴 빈도
 E_L : 전계 위치 계수(최소 파괴강도)
 E_0 : 전계 척도 계수
 t_0 : 시간 척도 계수
 a : 전계 형상 계수
 b : 시간 형상계수

그림 2.는 66kV 이상의 건식가교 공정의 Weibull 분포를 나타내고 있다.

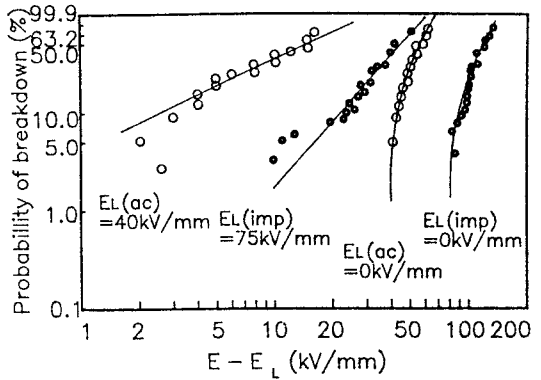


그림 2. 66kV 이상의 건식 가교 Weibull 분포

E_L 값은 생산기술의 발전으로 향상되고 있으며 표 1.은 현재까지 적용하고 있는 66kV, 154kV의 E_L 값 및 최근 케이블의 실적 수준의 진보로 E_L 값이 향상되고 있음을 보여주고 있다.

표 1. 최소 파괴강도

	공칭전압 (kV)	E_L (kV/mm), 상온		비 고
		$E_L(ac)$	$E_L(imp)$	
적용치	66	20	50	습식 및 건식
	154	20	50	가교
실적치	154	35	75	건식가교 방식

2.1.2 V-t 특성

V-t 특성은 절연두께를 결정하는데 있어서 매우 중요하다. V-t 특성은 전압 V와 수명 t의 관계를 나타내고, 일반적으로,

$$V^n \times t = \text{Constant} \quad \text{④}$$

로 표현된다.

여기서 Lifetime exponent "n"은 방정식 ③에서 얻어진

$$n = a/b \quad \text{⑤}$$

n은 지금까지 Kreuger의 9승법칙을 적용하였다.

앞절에서 서술한바와 같이 철저한 공정관리, 건식 가교방식으로 제조되는 케이블에서의 3μm 이하의 Void 관리 등으로 n치의 향상을 가져오고 있다.

그림 3.은 케이블의 절연 및 도체차폐위의 불순물 모의실험으로 반도체성 전극을 사용하여 얻어진 V-t특성의 초기 Tree 발생을 보여주고 있으며 이는 9보다 큰 값을 알수있고 모든 전압에 걸쳐 적용될수 있을 것이다.

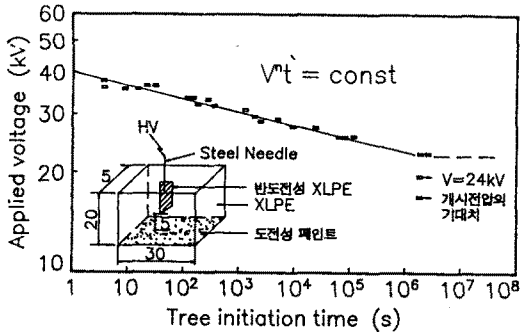


그림 3. V-t 곡선상의 Tree 발생 분포

절연두께를 감소시킬 수 있는 요인에 대한 검토결과 열화계수 K_1 과 Lifetime exponent "n"과의 관계는 표 2.의 같다.

표 2. Lifetime Exponent "n" 과 AC 열화계수

n	AC 열화 계수
9	4.0
12	2.83
(15)	(2.3)

이를 기초로한 E_0 은 상승되어 500kV 케이블 실용화를 눈앞에 둔 선진국에서는 $E_{L(AC)}$ 및 $E_{L(imp)}$ 을 40kV와 80kV로 적용하여 절연두께를 25.0 ~ 27.0mm 수준으로 하고 있다.

2.1.3 기 타

Void, 이물 및 불순물의 크기는 E_0 및 V-t 특성과 밀접한 관계가 있으나 실제 어느정도의 해가 있는지 정확하게 규명되고 있지않으나 목표관리 측면에서 표 3.은 AEIC 및 154kV와 일본 275kV의 규격에 규정된 값이다.

표 3. 규격 비교

공칭전압		154kV	275kV	5~35kV(AEIC)
Void		50	30	75
불순물	Amber	250	250	1250
	Metal, Black	100	100	125
이물 (반도전층 위)		250	250	125

2-2. 금속차폐층

금속차폐층이 지녀야 할 조건은 ① 충분한 고장용량을 가질것 ② 열적, 기계적 Stress에 견딜것 ③ 설치시 굴곡특성이 좋을것 등이다.

특히, 전압이 상승될수록 절연 두께는 두꺼워져 절연체의 팽창, 수축에 따른 기계적 Stress가 중요한 요인이다. 또한 수분 침투방지나 외부 충격에 대한 보호 기능과 더불어 고장시 금속차폐층 전류를 고려하여 직접 접지방식에서는 Tape, 연동선 차폐가 아닌 금속 Sheath로 금속차폐층을 구성한다.

표 4.는 금속차폐층의 비교를 보여주고 있으며, 일본의 경우 직접접지 방식이 아닌 154kV 연동선차폐 케이블의 경우 11.5kA / 1 초를 기준으로 되어 있다.

표 4. 금속차폐층 비교

구분	장점	단점
Tape	- MV급에서 범용	- 대도체에 사용시 주름발생 찢어짐
Wire	- 열적 안정성 - 굴곡특성 우수	- Tape 치폐에 비해 외경증가 - 차폐층 고장전류 작다
AL Sheath	- 충분한 고장용량 - 우수한 차수효과 - 외부 충격에서 절연체 보호 - 150kV 이상에서 범용	- 굴곡특성이 Wire 치폐에 비해 좋지 않다
Stainless Sheath	- 용량증가 - 우수한 차수효과 - 외부 충격에서 절연체 보호 - Sheath damage기 최소	- 고가 - 고장용량이 그다지 크지않다

I. 결 론

본고에서는 대용량 XLPE 케이블을 위한 생산, 설계 측면에서 검토 하였으며 특히 345kV 시대를 맞이하고있는 우리나라에서의 케이블 구조에 대해서도 기술하였다.

대용량 XLPE 케이블의 적용을 위해서는

- 1) 설계 Stress E_0 의 향상
- 2) Lifetime Exponent "n"의 증대
- 3) 생산공정에서의 자동조사 System
- 4) 장기과전시험을 통한 초기 수분 및 이물함유량의 영향분석
- 5) 우수한 고장용량 및 저손실형 금속차폐층

등에 대한 충분한 평가가 수반되어야 하리라 사료된다.

IV. 참고 문헌

1. 飯塚 喜八郎 監修 ; "電力ケーブル技術 핸드ブック"
2. M. Ichihara, M. Yamamoto, et al ; "Development of Bulk-power 275kV XLPE Cable System", Sumitomo Electric Technical Review Number 31
3. 한국 전력공사 기술 연구원 ; "배전용 ON-CV 케이블과 접속재의 열화시도 방지대책에 관한 연구 (최종년도 보고서)"
4. T. Kubota, et al ; "Fundamental Characteristics of 500kV XLPE Cable", Sumitomo Electric Technical Review Number 38
5. T. Suzuki, et al ; "Study on V-t Characteristics for XLPE Cable" on IEEE 1994 PES TMD
6. Underground Transmission Systems Reference Book (1992 Edition)