

## 장거리 345kV XLPE 케이블 지중송전선로의 준공

신희덕, 박근룡·  
 대한전선(주) 시스템엔지니어링팀

### The first installation of long-distance underground transmission line with 345kV XLPE Cable in Korea

H. D. Shin, K. R. Park  
 Taihan Electric Wire Co., Ltd. System Engineering Team

**Abstract** - Since the first underground transmission line of Korea was installed between Danginri and Yongsan substations in 1974, the two types of underground transmission power cables, oil-filled and XLPE, have been applied for underground transmission lines. As the manufacturing technologies of XLPE cable have been improved and the simplicity of installation and maintenance has been focused on, the installations of XLPE cables have been largely increased since the mid 1990's. For the first time, in Korea, the 345kV XLPE cable was installed between Youngseo and Youngdeungpo substations in 2003, June. So, this paper introduces the project profile, the design of cable and its accessory, the cable system design, installation and site test.

및 실선로 설치기술과 신뢰성에 대한 검증을 위한 장기 과동전시험(Pre-Qualification Test)을 거쳐 제작되었다. 케이블 및 부속재의 설계조건은 [표 1]과 같다.

[표 1] 설계조건

No	항 목	설계조건
1	공칭전압(U)	345kV
2	정격전압(Uo)	200kV
3	최대사용전압(Um)	362kV
4	주파수	60Hz
5	기준충격절연강도(BIL)	1300kV
6	접지방식	중성점 직접접지
7	단락전류	40kA/1.7sec

## 1. 서 론

국내최초의 154kV 지중송전선로가 당인리변전소와 용산변전소간에 1974년 준공된 이후로 초고압 지중송전선로는 154kV 및 345kV OF(유입, Oil-filled)케이블과 154kV XLPE (가교폴리에틸렌, Cross-Linked Poly-ethylene)절연 케이블이 사용되어 왔다. 세계적으로 OF 케이블은 수십 년 동안 실선로에 적용되어 그 신뢰성이 입증되었지만, 환경적인 문제와 유지보수의 필요 등의 단점으로 인해 점차 그 수요가 줄어들고 있는 반면에 XLPE 케이블은 제조기술의 발전과 설치의 간편성 등의 장점으로 인해 그 수요가 증가하고 있다. 이러한 상황에서 2003년 2월에 평택화력발전소에 위치한 옥외변전소에 국내 최초의 345kV XLPE 케이블이 실선로에 적용되었으며, 2003년 6월 영서변전소와 영등포변전소간에 장거리 지중송전선로가 준공, 운전 중이다. 본고에서는 345kV 영서~영등포 지중송전선로의 케이블과 부속재의 설계, 시스템 설계, 공사 설계, 시공 기술 및 준공시험에 대한 개요를 기술하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 프로젝트 개요

본 프로젝트는 영서변전소부터 신설된 345kV 영등포변전소에 전원 공급을 위하여 2002년 11월에 착공, 2003년 6월 운전을 개시하였으며 현재 운전 중이다. 준공선로는 도체 단면적 2000mm<sup>2</sup>의 단심 케이블, 가스중동단 접속합과 조립식 중간 접속함으로 구성되었으며, 전 구간 전력구내에 설치되었다.

### 2.2 케이블 및 부속재

본 프로젝트에 적용된 케이블 및 부속재는 설계 및 제조능력의 검증을 위한 개발시험(Type Test), 절연설계 Parameter에 대한 Data를 얻기 위한 절연체 특성시험

### 2.2.1 케이블 설계

케이블의 설계는 기본적으로 도체, 절연체, 금속시스 및 방식층 설계 등으로 구성된다. XLPE 절연 케이블의 절연체는 폴리에틸렌을 가교(Cross-Linking)하여 형성하며, 케이블의 구조 및 특성은 [표 2]와 같다.

#### 2.2.1.1 도체

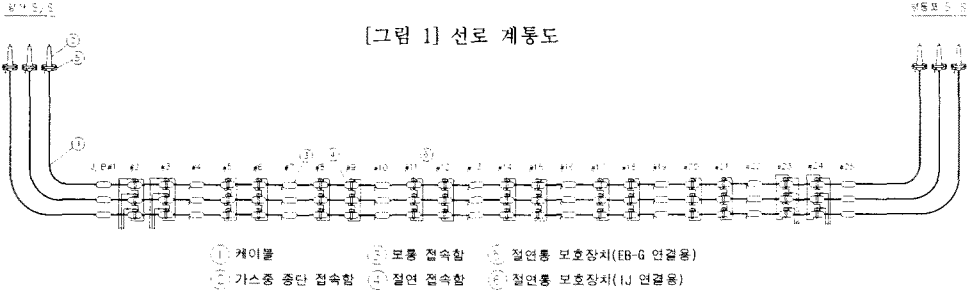
도체는 전기용 연동선 재질의 소선을 연합하고 케이블의 외경을 작게 하기 위하여 압축한 구조이다. 또한 표피효과를 줄이기 위하여 5 분할도체(Segment)로 분할하였다.

#### 2.2.1.2 절연체

1960년대의 절연설계 Parameter에서 출발한 XLPE 절연 케이블은 우수한 전기적 특성에 반하여 이물, 돌기 및 불순물에 취약하다, 그러나 원자재의 관리기준과 케이블 제조공정의 발전으로 이러한 XLPE 케이블의 단점은 크게 개선되었다. 본 프로젝트에 적용된 케이블의 경우, 모델케이블에 대한 절연체 특성시험을 통해 검증된 절연설계 parameter를 적용하였고, 케이블 제조시 Super-clean compound를 사용하였고 압출공정까지 공기와의 접촉이 철저히 차단되었다. 또한 내부 반도전층, 절연체 및 외부 반도전층이 동심원형태로 동시에 압출 형성되는 연속삼중압출(Continuous Triple Extrusion)방식과 가교와 냉각이 건조상태에서 이루어지는 완전건조가교(Completely Dry Curing & Cooling, CDCC)방식으로 제조되었다.

#### 2.2.1.3 금속시스

금속시스는 절연체를 보호하고 수분의 침투를 방지, 고장전류의 귀로 및 전기적 차폐의 목적으로 기계적 특성 및 전기적 특성이 모두 우수한 알루미늄 시스로 설계되었으며 금속시스의 열신축, 케이블 설치시의 곡률반경 등에 의한 금속시스의 왜(歪)를 경감시키는 파부형(Corrugated) 구조로 설계되었다.



### 2.2.1.4 방식층

방식층은 금속시스의 외상과 부식의 방지를 목적으로 전기적 특성과, 내약품성, 난연성, 내마모성 등의 기계적 특성을 고려하여 공칭두께 6.0mm의 PVC 재질로 설계되었다.

[표 2] 케이블의 구조 및 특성

항목	단위	재질/형상/치수
도체	재질	전기용 연동선
	형상	분할압축원형
	외경	55.0
내부반도전층	재질	반도전 PE
	두께	2.0
절연체	재질	XLPE
	두께	27.0
외부반도전층	재질	반도전 PE
	두께	1.3
Tape 외부 반도전층	재질	반도전EPR 동선직입포
	두께	1.0
금속시스	형상	Corrugated
	재질	Aluminum
	두께	3.0
방식층	재질	PVC
	두께	6.0
케이블 최대외경	mm	157
직류최대도체저항(20℃)	Ω/km	0.0090
공칭정전용량(20℃)	μF/km	0.24
최소절연저항(20℃)	MΩ.km	3,000
케이블 중량	kg/km	36,000

### 2.2.2 부속재 설계

케이블의 부속재는 종단의 전기기와 연결되는 종단 접속함, 케이블 간에 연결되는 중간접속재로 분류된다. 본 프로젝트에서는 가스절연개폐기(GIS)와 연결되는 가스중 종단 접속함(EB-G) 및 케이블간의 접속을 위한 보통 접속함(NJ)과 절연 접속함(IJ)으로 구성되었다.

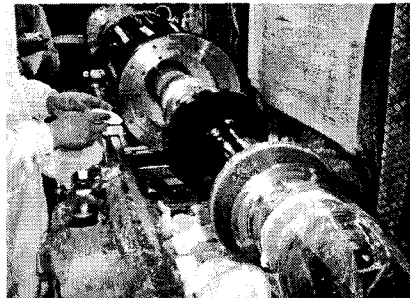
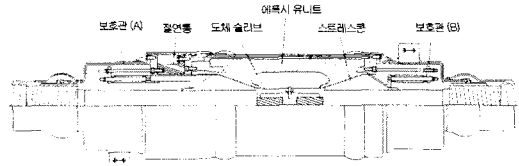
### 2.3.1 가스중 종단 접속함

가스중 종단 접속함은 가스절연개폐기와 지중선을 연결하기 위하여 적용된다. 가스중 종단접속함의 보강절연은 Epoxy재질의 Bushing과 Rubber재질의 Stress-relief Cone으로 구성되었다.



### 2.3.2 중간 접속함

중간 접속함은 케이블간의 연결을 위하여 사용되며, 단순히 케이블간 접속을 위한 보통 접속함(NJ), 좌우측의 금속시스를 전기적으로 분리하여 금속시스의 유기전압과 금속시스의 손실을 저감하는 절연 접속함으로 구분된다. 접속함이 설치되는 현장에서의 작업공정과 작업시간이 단축되고 사전 품질관리가 가능하여 접속함의 신뢰성이 매우 큰 조립식 중간 접속함(Pre-fabricated Joint, PJ)을 적용하였으며 이는 세계적인 추세이다.



### 2.3.3 접지관련 부속재

접지관련 부속재로는 금속시스에 이상전류가 발생한 경우 대지로 방류시키는 산화아연(ZnO)소재의 갭리스(Gapless)형 어레스터로 구성된 절연통 보호장치가 사용되었다.

[표 3] 절연통 보호장치 특성

항목	특성치	
연속운전전압(Uc)	4.0kV	
정격전압(Ur)	5.0kV	
보호 레벨	뇌임펄스(10kA,8/20μs)	13.0kV
	급준전류(10kA,1/20μs)	16.5kV
	개폐임펄스(500A,30/60μs)	12.5kV
선로 방전 등급	2등급	
에너지 흡수능력	22kJ	
공칭 방전 전류	10kA	

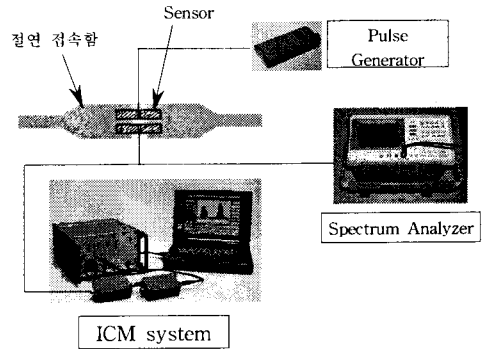
### 2.3 장기과동전시험

345kV XLPE 케이블 개발시 부속재를 포함한 전체 시스템의 장기 신뢰성 확보를 목적으로 적용하는 장기과

동전시험(Pre-qualification Test, PQ Test)은 케이블 접속함으로 시험선로를 구성하여 8760시간에 걸쳐 진행되었다.

[표 4] 장기과동전시험 개요

항 목	내 용
시험선로 구성	케이블 및 접속함 최소 100m 이상(모의전력구:40m이상)
열사이클 전압시험	1Cycle:도체가열(90℃~95℃) 8시간 후 자연냉각 16시간
	시험기간:8,760시간(180회 이상)
	인가전압:1.7Uo 시험기간 도중 또는 완료 후 절연파괴가 없을 것.



[그림 4] 부분방전 측정 장비 결선도

## 2.4 케이블 시스템 설계 및 공사 설계

케이블 시스템 설계는 선로의 구성에 필요한 각종 기술계산 및 기술검토로 이루어지며, 핵심 내용으로는 케이블 송전용량, 케이블 시스접지방식의 선정, 부속재 종류 및 수량의 결정 등이 있다. 공사설계는 선로의 설치에 필요한 각종 기술계산 및 기술검토로 이루어지며, 핵심 내용으로 포설 방안 검토, 케이블 지지 및 고정 방식의 선정, 공사 부속재 종류 및 수량의 결정, 그리고 케이블 열신축 대책의 수립 등이 있다. 현재 345kV XLPE 케이블의 설치는 9m 피치(Pitch)의 스네이크(Snake) 포설로 설치되었다.

[표 5] 선로 구성의 개요

케이블 선종	345kV 1C*2000mm <sup>2</sup> XLPE Cable
회선, 단장	1회선, 9.8km
접속함 수량	가스중 종단 접속함:6set(2개소)
	보통 접속함:27set(9개소) 절연 접속함:48set(16개소)
접지방식	크로스본드(Cross-bond)
포설방식	전력구

## 2.6 준공시험

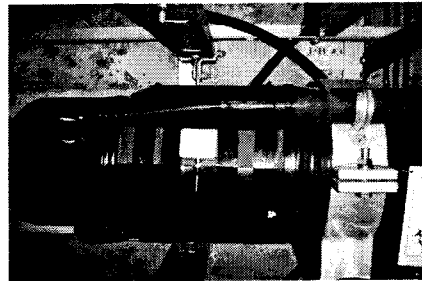
케이블 포설 중 발생할 수 있는 케이블의 이상 유무를 확인하기 위하여 상확인 시험, 절연저항시험 및 직류 내전압시험 등을 시행하였다. 또한 접속함의 신뢰성을 확인하기 위하여 부분방전시험을 행하였다.

### 2.6.1 내전압시험 및 절연저항시험

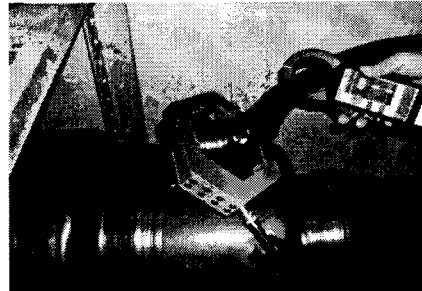
직류 내전압시험은 케이블 도체와 금속시스간에 DC 464kV를 인가하고 절연체로 누설되는 전류를 측정하고, 절연저항시험은 직류 내전압시험 후, 1000V, 2000MΩ급의 메가로 시험한다.

### 2.6.2 부분방전시험

부분방전시험은 운전 중인 선로진단의 가장 효과적인 방법이지만, 센서의 감도와 노이즈영향 등의 문제로 적용이 어려웠다. 그러나, 최근 신호처리 및 측정 기술의 발달로 외부 노이즈 영향을 최소화할 수 있는 고주파대역(수~수백 MHz)에서의 측정법인 고주파 부분방전(High Frequency Partial Discharge, HFPD) 측정법이 개발되어, 345kV XLPE 케이블 선로진단에 최초로 적용되었다. 절연 접속함은 금속박센서(Foil Sensor)를 접속함의 외부에 설치하여 측정하였고, 보통 접속함은 HFCT(High Frequency Current Transformer)와 Spectrum Analyzer를 병용하여 측정하였다. 측정결과, 검출대역으로 선정한 주파수대역에서 부분방전으로 의심되는 신호가 검출되지 않았으며 모든 접속함이 양호한 것으로 진단되었다.



[그림 5] 외장형 금속박 센서 취부도



[그림 6] HFCT 센서 취부도

## 3. 결 론

국내 기술에 의한 최초의 345kV XLPE 장거리 지중 선로가 영서~영등포 변전소간에 준공된 상황에 비추어 국내외에 오랜 역사를 지닌 OF 케이블은 이제 XLPE 케이블에 그 자리를 양보하고 있다. 또한 330kV~345kV급 XLPE 케이블의 수요가 전세계적으로 증가하고 있는 상황에서 국제경쟁력을 한층 더 높일 수 있으며 지속적인 기술개발 노력과 발전으로 현재 500kV급 XLPE 케이블을 개발, 운전 중인 해외 선진기술에 대한 격차 또한 점차 줄어나가 급속히 변화하는 국제사회에서 보다 큰 부가가치를 창출하고 세계적인 기술국가로 발전하는 계기될 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 송변전건설처, "345kV/154kV 가교폴리에틸렌 절연 전력케이블 및 부속재 구매시방서"(2001)
- [2] 한국전력공사 송변전건설처, "345kV/154kV 지중송전케이블용 방식용 및 절연통 보호장치 구매시방서"(2003)
- [3] 김중원, 유인기, 김영, 이기수, 최봉남, 윤덕환, "345kV XLPE 절연 케이블의 장기 신뢰성 평가", 대한전기학회 하계학술대회는논문집, p1727~1729, 2002.