345kV XLPE 케이블 선로의 준공

신희덕, 김화종, 김현주, 박근룡*, 송재혁
대한전선(주)

The first installation of underground transmission line with 345kV XLPE cable in Korea

H. D. Shin, H. J. Kim, H. J. Kim, K. R. Park, J. H. Song
Taihan Electric Wire Co., Ltd.

Abstract - Since the first underground transmission line in Korea was installed 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 at Pyungtaek thermal power plant in 2003, February.
So, this paper introduces the project profile, the design of cable and its accessory, the cable system design, installation and site test.

1. 서 론

1974년 국내최초로 154kV 지중송전선로가 준공된 이후로 초고압 지중송전선로는 154kV 및 345kV O.F(유입, Oil-filled)케이블과 154kV XLPE(가교폴리에틸렌, Cross-Linked Polyethylene)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 345kV XLPE 케이블이 국내 최초로 실선로에 적용되어 2003년 2월 준공, 운전 중으로, 본고에서는 345kV 준공선로의 케이블과 부속재의 설계, 시스템 설계, 공사 설계, 시공기술 및 준공시험에 대한 개요를 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 프로젝트 개요

본 프로젝트는 한국전력공사가 안정적인 전력공급을 위하여 변압기를 증설 연계하는 프로젝트로, 경기도 평택시 평택화력발전소에 위치한 옥외변전소구내에서 진행되었다. 준공선로는 도체 단면적 2000㎟의 단심 케이블과 기중 종단 접속함으로 구성되었으며, 콘크리트 트러후 내에 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 및 실선로 설치기술과 신뢰성에 대한 검증을 위한 장기과통전시험(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
8	상시 도체최고허용온도	90℃
9	고장순시 도체최고허용온도	250℃
10	단시간 도체최고허용온도	105℃

2.2.1 케이블 설계

케이블의 설계는 기본적으로 도체, 절연체, 금속시스 및 방식층 설계 등으로 구성되며, XLPE 절연 케이블은 폴리에틸렌을 가교(Cross-Linking)하여 생성되는 가교폴리에틸렌(XLPE)을 절연체로 사용한 케이블로 새로운 절연 Parameter에 따라 설계된 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, Super-clean compound의 사용과 압출공정까지 공기와의 접촉이 철저히 차단되었다. 또한 내부 반도전층, 절연체 및 외부 반도전층이 동심원형태로 동시에 압출 성형되는 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 고루 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 6.0㎜로 설계되었다.

[표 2] 케이블의 구조 및 특성

항 목		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		㎜	157
직류최대도체저항(20℃)		Ω/km	0.0090
공칭정전용량(20℃)		㎌/km	0.24
최소절연저항(20℃)		MΩ.km	3,000
케이블 중량		kg/km	36,000

2.2.2 부속재 설계

XLPE 케이블의 부속재는 종단의 전기기기와 연결되는 종단 접속함, 케이블 간에 연결되는 중간 접속함과 금속시스의 접지를 위한 부속재로 구분된다. 본 프로젝트에는 기중 종단 접속함과 접지관련 부속재가 적용되었다.

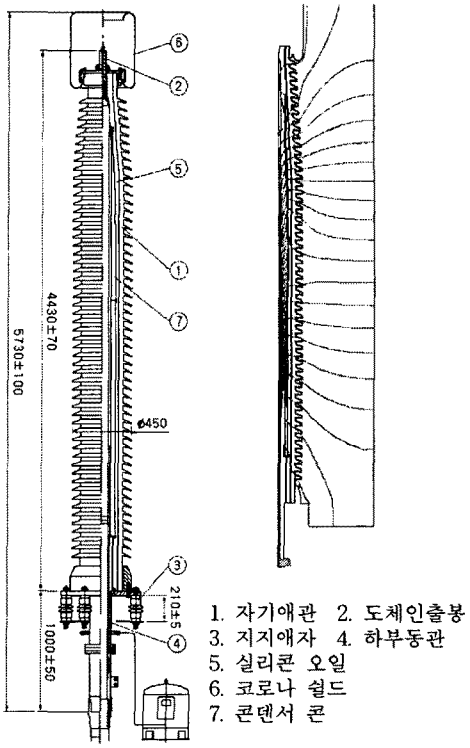
2.2.2.1 기중 종단 접속함

기중 종단 접속함은 가공선과 케이블을 연결하기 위하여 적용된다. 345kV급 XLPE CABLE용 기중 종단 접속함의 경우 기존의 154kV급 이하의 종단 접속함에 사용되던 EPDM 재질의 스트레스 콘으로는 자기애관의 연면섬락 절연강도의 확보가 어려운 문제가 있다. 이의 해결을 위해 OF 케이블용 종단 접속함에 사용되고 있는 콘덴서 콘을 전계집중완화 장치로 선정하고, OF 케이블용 기중 종단 접속함의 구조를 기본으로 하여 이에 따른 XLPE 케이블의 특성을 고려하여 설계되었다

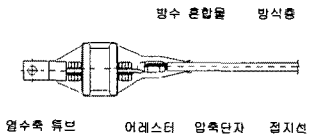
XLPE 절연체의 열화방지를 위해 화학적으로 안정된 실리콘 오일을 선정하였으며, OF 케이블보다 큰 XLPE 케이블의 열팽창의 보상을 위하여 콘덴서 콘과 케이블 심선 간에 특수절연지를 적용하였다. 또한 케이블 내부와 접속함 외부로의 누유를 방지하기 위하여 154kV XLPE TMJ(Tape Mold Joint)의 가류방식으로 상부의 도체 압축부와 하부동관 연결부에 XLPE 테이프를 적층하여 몰딩부를 형성하였다. 기중 종단 접속함 최상부의 실리콘 오일의 압력은 주변온도 변화 및 부하변동에 대하여 일정압력을 유지할 필요가 있어 이를 위해 유압 보상 장치로 압력유조를 사용한다.

2.2.2.2 접지관련 부속재

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



[그림 1] 기중 종단 접속함 및 등전위선 분포



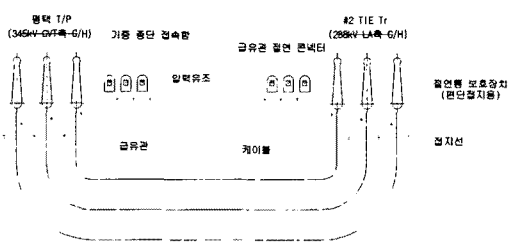
[그림 2] 절연통 보호장치(편단접지용)

2.3 계통설계

본 프로젝트의 금속시스의 접지방식은 편단접지방식을 채용하였으며, 운전조건에 따른 급유계산에 의해 압력유조를 선정하였다.

[표 3] 선로 구성 개요

케이블 선종	345kV 1C*2000㎟ XLPE Cable
회선 및 긍장	1회선, 약 0.3km
종단 접속함	기중 종단 접속함(EB-A) 2개소, 6set
포설 방식	직매, 콘크리트 트러후
접지방식	편단접지(Single-point bond)



[그림 3] 선로계통도

2.3.1 금속시스 접지설계

케이블 방식층 및 절연통을 각종 써지 이상전압으로부터 보호하기 위한 금속시스의 접지방식은 크로스본딩접지와 편단접지방식이 주로 사용된다. 본 프로젝트는 긍장이 약 0.3km로 단구간이면서 중간접속이 없어, 정상운전시에는 개방단의 역할을 하여 시스손실을 감소시키고 이상전압 침입시에는 어레스터(절연통 보호장치 또는 방식층 보호장치)가 동작하여 대지로 방출하여 케이블 방식층을 보호하는 편단접지방식을 채용하였다.

2.3.2 실리콘 오일 급유설계

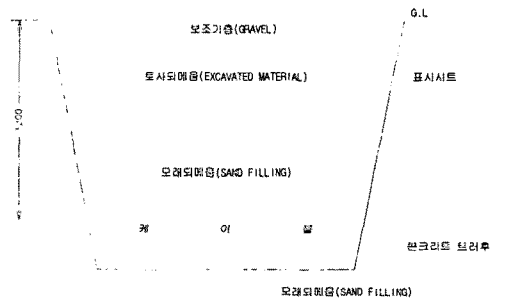
기중 종단 접속함의 경우, 주위 대기의 온도변화와 부하변동에 의한 실리콘 오일의 팽창, 수축으로 압력과 유량의 변화가 발생하는데, 압력유조는 이러한 유량증감을 보상, 흡수하여 자기애관 내부의 실리콘 오일이 일정 범위의 압력과 유량을 유지, 접속함의 절연성능을 유지하도록 한다. 압력유조의 규격은 주위온도변화 조건과 기중 종단 접속함과의 고저차와 거리에 의하여 결정된다.

2.4 공사 설계

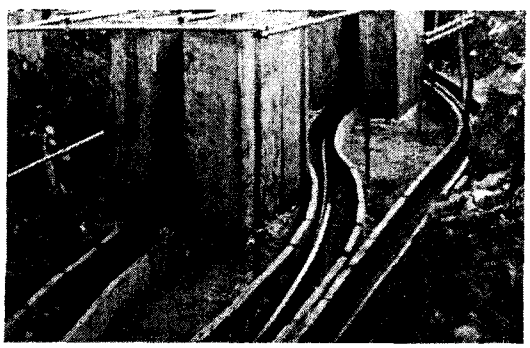
공사 설계는 선로의 설치에 필요한 각종 기술계산 및 기술검토로 이루어졌으며, 주요내용으로는 포설방법과 장비의 검토와 선정, 케이블 지지 및 고정방식의 선정과 설계, 기중 종단 접속함의 지지구조물의 설계, 공사용 자재의 종류 및 수량의 결정, 케이블 열신축 대책수립 등이 있다.

2.5 시공

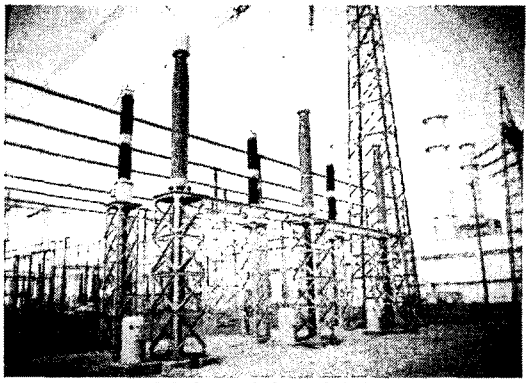
본 프로젝트의 포설방식은 케이블 경과지를 따라 굴착 후 콘크리트 트러후를 설치, 트러후 내에 케이블을 포설한 후 모래를 채우고 트러후 덮개를 덮고 매설하는 직매포설방식을 사용하였다. 케이블의 포설에는 캐터필러와 가이드 로라 등이 사용되었으며, 기중 종단 접속함의 접속은 조립도면에 의거 철저한 품질관리시스템을 확립하여 시공되었다.



[그림 4] 트러후 배치 단면도



[사진 1] 케이블 입상부 트러후 배치

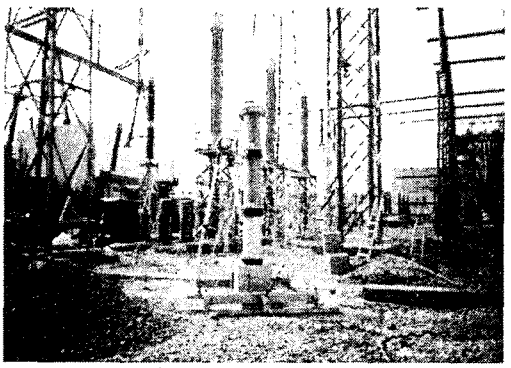


[사진 2] 케이블 입상부

2.6 준공시험

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

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



[사진 3] 내전압 시험

3. 결 론

국내외에 오랜 역사를 지닌 OF 케이블은 이제 XLPE 케이블에 그 자리를 양보하고 있다. 또한 전압수준의 상승으로 XLPE 케이블 사이즈의 대형화, 케이블 고장의 조기진단을 위한 감시 시스템 등의 여러 문제들이 대두되고 있다. 최근 몇 년 해외 선진기술은 500kV급 XLPE 케이블과 부속재의 장거리 송전선로에 적용중으로 국내의 345kV급보다 앞서나가고 있지만, 현재 국내 최초의 345kV XLPE 지중선로가 준공되었고, 영서~영등포 변전소간의 장거리 지중선로의 공사가 금년 6월말 준공을 목표로 진행 중인 상황에 비추어, 국내기술에 의한 345kV XLPE 케이블 및 부속재의 실용화는 500kV이상의 XLPE 케이블과 부속재의 개발 가능성을 확보하였다는 점에서 그 의미가 크다고 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사 송변전건설처,"345kV/154kV 가교폴리에틸렌 절연 전력케이블 및 부속재 구매시방서"(2001)