

345kV XLPE 장거리 지중송전선로 준공

이인호 이승현 허희덕 진용국 이진선
LG전선(주)

COMPLETION OF 345kV LONG DISTANCE XLPE CABLE

I. H. LEE S. H. LEE H. D. HEO Y. K. JIN J. S. LEE
LG Cable Ltd.

Abstract - 345kV XLPE Cable system was constructed between Yeongseo-Yeongdeunpo at first in Korea. XLPE cable have the advantage of OF cable. it is to raise the power transmission capacity and reduce the power loss and expenses. We also applied many new technology in this project at first. One is pre-fabricated joint which can be easily assembled in the field without any hand-skill, another is PD(Partial Discharge) test for after laying test. Especially, PD measurement for after-laying test was performed to evaluate the quality of the cable joint and termination. Through the good experience of this project, we have gotten the international competitiveness of power business.

2003년 9월 20일 준공하였다. 총 26구간으로 대부분 터널식 전력구에 포설되었다. 총 포설구간은 26개소이며, 양쪽 단말은 GIS와 연결하는 가스중 종단 접속함으로 연결 하였다.

<표1> 영서-영등포 선로개요

케이블	집속함
공칭전압 345kV	집속개소 27
도체단면적 2,000mm ²	보통집속함 27
선로공장 9.8km	절연접속함 48
허용전류 1599 A	가스중종단집속함 6
송전용량 955 MVA	시스접지 방식 크로스본딩 (교락비접지)
정전용량 0.24μF/km	

1. 서 론

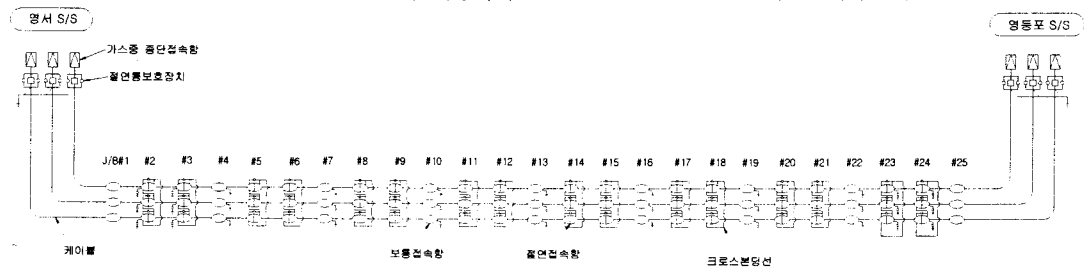
국내 최초로 영서-영등포간 345kV XLPE 장거리 지중 송전선로로 2003년 9월 20일 준공되었다. XLPE 케이블은 기존의 OF케이블에 비해 전력손실은 줄이면서 송전용량을 증대시킬 수 있으며, 토목비용 절감, 공기단축, 유지보수 간략화, 친환경성 등 여러 가지 장점이 있다. 또한 이 구간에 적용된 케이블과 접속함은 새로운 신기술이 많이 적용되었다. LG전선 독자기술로 개발된 조립식 접속함(Prefabricated Joint)이 적용되었으며, 특히 준공시험으로 부분방전 시험기술을 국내 최초로 적용하여 선로의 신뢰성을 높였다.

이번 논문에서는 본 선로에 대한 개요, 사용기자재 및 신기술등에 대해서 소개하였다.

2. 본 론

2.1 선로개요

본 선로는 <그림1>과 같이 영서 변전소에서 영등포 변전소를 연결하는 공장 9.8km의 345kV XLPE 케이블 선로로서 2회선중 1회선을 2002년 11월 8일 착공하여

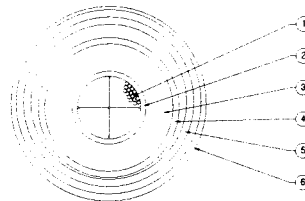


<그림1> 선로계통도

2.2 적용 기자재

2.2.1 케이블

적용 케이블의 구조는 <그림2>와 같으며, 고품질의 케이블을 생산하기위해 전 절연공정내 Clean Room의 청정도 크게 향상 시켰다. 또한 신규 적용되는 제품의 신뢰성을 확보하기 위해 기존의 인증시험 외에 장기 과동전 시험을 실제 현장과 동일한 조건으로 1년간 실시하였다.



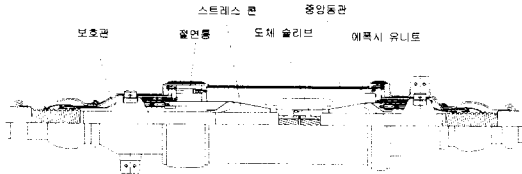
No.	종명	재질	두께
1	도체	연속선	-
2	내부연도선	폴리에틸렌	약 1.5mm
3	절연체	가스중 종단접속함	20mm
4	외부연도선	폴리에틸렌	약 1.5mm
5	구조시스	알루미늄	2mm
6	받침층	폴리에틸렌	6.0mm

* 케이블 최대 외경: 157mm

<그림2> 케이블 구조

2.2.2 중간 접속함

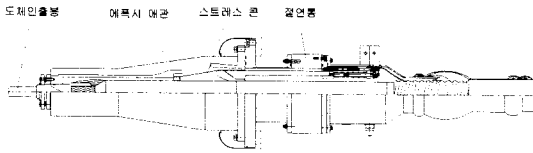
중간 접속함의 경우, 국내 최초로 조립식 접속함 (Prefabricated Joint)을 적용하였는데 기존의 테이핑물딩 접속함에 비해 공장에서 모든 부품을 생산하여 품질검사를 하게 되므로 품질의 신뢰성을 향상시킬 수 있고, 현장에서 몰딩하는 시간을 단축시킬 수 있어 경제적 효과도 거두게 되었다. 중간 접속함은 보통 접속함과 절연 접속함이 있는데 <그림3>은 절연접속함의 구조이다.



<그림3> 조립식 절연접속함 구조

2.2.3 종단 접속함

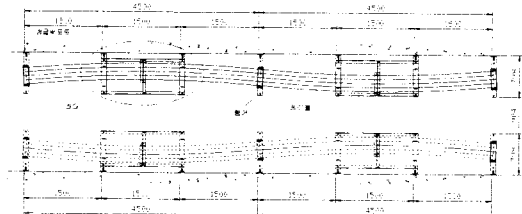
가스중 종단접속함은 기존의 접속재 내부에 오일을 넣는 방식에서 Dry Type으로 변경 적용하였다. 기존 방식은 수직으로만 접속이 가능했지만, Dry Type 개발로 수평 및 역방향으로도 접속이 가능하게 되었다. <그림4>는 Dry Type 가스중 종단접속함 구조도이다.



<그림4> 가스중 종단접속함 구조

2.3 포설 및 접속

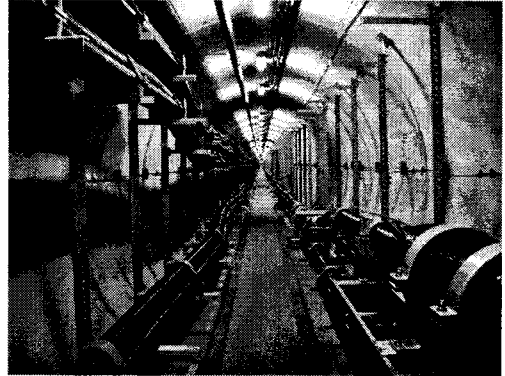
본 구간에 적용된 케이블은 최대외경이 157mm로 기존의 OF케이블 또는 154kV XLPE 케이블에 비해 외경이 상당히 크기 때문에 스테이크 폭과 피치간격을 새로 설계했다. 스테이크 폭은 1.0Ds(시스평균외경)에서 1.5Ds로, 피치간격은 6m에서 9m로 변경 설계했는데, 기존의 피치와 간격차이로 앵글써포트 간격의 차이가 발생되었다. 이런 차이로 인한 손실을 줄이기 위해 기존의 앵글 써포트 간격 1.5m를 활용 하여 케이블 변곡부 마다 라다를 설치하였다. <그림5>는 라다를 설치한 표준 도면이다.



<그림5> 라다설치도면

포설작업은 새로 개발한 345kV XLPE 전용 포설장비를 이용하여 포설하였으며, 포설완료 후 접속작업은 접속 공정 중 항상 청정 공기를 유지하기 위해 항온, 항습 장치가 내장된 공조기와 무정전 비닐 등을 이용하여 클린부스를 설치하였다. 또한 토목비용을 절감하기 위해 별도의 확폭구간 없이 분산 접속하였다.

포설과 접속이 완료되면, 절연저항을 측정하고 10kV Tester로 누설전류를 측정 기록한다. <그림6>은 포설과 접속이 완료된 구간이다.



<그림8> 전력구 내부 전경

2.4 준공시험

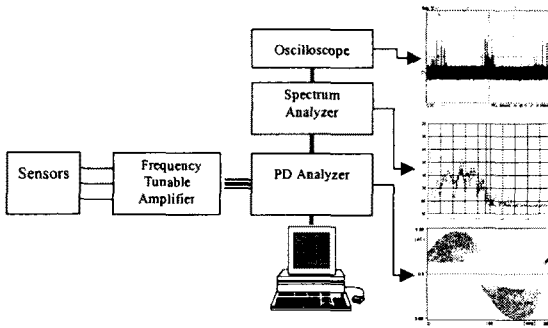
준공시험은 DC 내전압시험, AC 무부하시험, 부분방전 시험 3가지를 실시하였다. DC 내전압 시험의 시험전압은 $0.72 \times U_m(\text{선간최고 전압}) \times 2$ 로 562kV를 10분간 인가 하였다. DC 내전압시험 후 AC 무부하시험을 실시하였으며, 무부하시험 중 부분방전 시험을 병행하였다. 부분방전시험의 경우 국내에서 최초로 시행되었으며, 자세한 시험방법 및 절차는 다음에서 소개하겠다.

2.4.1 부분방전시험의 개요

부분방전시험은 운전 중인 초고압 실 선로에서 진단할 수 있는 가장 효과적인 방법이지만 그 동안 부분방전 측정 시스템 구성의 어려움과 외부 노이즈 등의 문제로 그동안 적용하지 못했다. 최근 디지털 신호처리 기술과 고주파 설계기술의 향상으로 외부 노이즈의 영향을 최소화시키는 측정법이 개발 되었으며, 1996년부터 꾸준한 기술 투자로 실제 케이블과 접속함을 진단할 수 있는 기술을 확보하게 되었다.

2.4.2 부분방전 측정 시스템

<그림9>는 부분방전 측정 시스템 개략도이다. 센서는 절연접속함 절연통 좌,우 양쪽에 한쌍의 금속막 센서를 설치하여 측정하였다. 센서에서 검출된 1~50MHz의 광대역 신호는 저주파 대역의 큰 노이즈로 인하여 부분방전 패턴 분석이 어렵기 때문에 앰프에서 S/N 비가 가장 우수한 고주파 대역의 협대역(Narrow band)의 신호를 선택하여 증폭한다. 부분방전 신호의 분석은 $\Phi-q-n$ 부분방전 패턴 분석과 주파수 분석을 수행하였고 오실로스코프, 스펙트럼 분석기와 PD 분석 프로세서를 이용하였다. PD가 발생되어 PD 패턴이 측정되면 실험실과 현장에서 모의실험과 많은 현장측정을 통해 구축한 DB(Data base)와 PD패턴과 비교분석을 통해 결함의 종류 및 위험도를 추정하게 된다[1-3]. 이와 같은 방법으로 포설된 전 구간 부분방전 측정하여 이상 없음을 확인하였다.



<그림9> 부분방전 측정 시스템 개략도

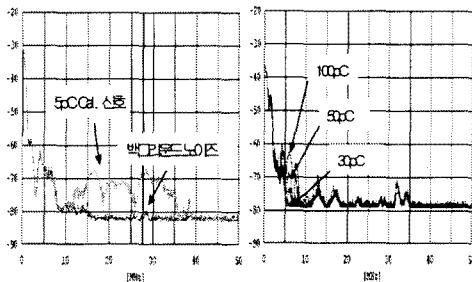
2.4.3 부분방전 측정 결과

절연접속함(IJB)

IJB의 경우, <그림 10(a)>와 같이 백그라운드 노이즈의 크기가 작아 캘리브레이션 신호를 주입한 경우 5pC 이하의 고감도 측정감도를 가진다. 총 48개소의 접속함을 진단하였지만 부분방전은 없는 것으로 판정하였다.

보통접속함(NJB)

NJB의 경우 접지와 연결되어 금속막 센서를 설치할 수 없기 때문에 인접한 접속함에서 측정하는 간접 측정 방식을 적용하였다. 이 경우 부분방전 신호는 케이블을 따라 전파되면서 감쇄되므로 <그림10(b)>와 같이 신호의 크기가 작고 30pC의 측정감도를 가진다. 따라서 측정의 신뢰성을 높이고자 이 방법과 병행하여 HFCT 센서를 적용하였고, 28개소를 측정하였지만 부분방전은 없는 것으로 판정하였다.

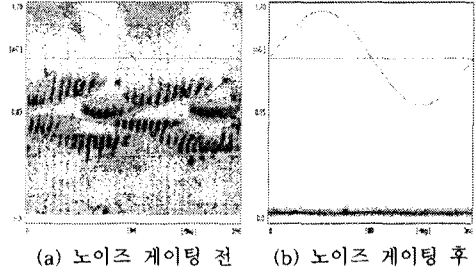


(a) 절연접속함 (b) 보통접속함

<그림10> IJB/NJB에서 백그라운드 노이즈와 Calibration 신호의 주파수 스펙트럼

중단접속함(EBG)

중단접속함은 변전소 내부에 설치되기 때문에 변압기나 GIS와 같은 각종 전력기기와 가공으로부터 <그림 11(a)>와 같이 상당히 큰 코로나 노이즈가 유입된다. 본 시험에서는 안테나를 이용한 노이즈 게이트법을 적용하여 코로나 노이즈의 영향을 제거하였다. <그림 11(b)>는 노이즈 게이팅 후의 PD패턴으로 중단 접속부의 내부에서 발생하는 부분방전은 없는 것으로 판단하였다.



<그림11> 중단 접속함 부분방전 측정

3. 결 론

국내 최초 345kV XLPE 케이블과 접속함을 순수 독자 기술로 개발 적용하여 영서-영등포 구간에 포설하였으며, 좀더 높은 신뢰성을 확보하기 위해 부분방전 시험을 준공시험으로 국내 최초로 실시하였다. 본 선로를 준공하므로써 다음과 같이 그 의미를 요약할 수 있다.

- 1) 400kV급 XLPE 개발 및 적용
세계적으로도 실적이 적은 400kV급 345kV XLPE 케이블을 독자기술로 개발 시공함으로써 글로벌 기술력과 경쟁력을 갖추게 되었으며, 국내 전력사업의 경제성 향상이 큰 기여를 하게 되었다.
- 2) 국내 최초 조립식 접속함 적용
조립식 접속함을 국내 최초 적용 접속함으로서 선로의 품질향상과 공기단축에 큰 역할을 하게 되었다.
- 3) 국내 최초 실 선로 부분방전 시험
꾸준한 연구 투자로 국내 유일의 실 선로 부분방전 시험 기술을 확보하였으며, 앞으로 지속적으로 늘어나는 고품질의 전력공급에 대한 고객의 요구에 증대에 적절히 대응할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Su-Kil Lee, et al. "Characteristics of high frequency partial discharge for artificially defected extra high voltage accessories," IEEE conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp.682-685, 2000
- [2] Chang-Young lee, Seok-Hyun Nam, Su-Kil Lee, Dong-Wook Kim, Myung-Kyu Choi, "High frequency partial discharge measurement by capacitive sensor for underground power cable system", IEEE transaction, pp.1517-1520, 2000
- [3] J.S.Lee, J.Y.Koo, J.T.Kim, "A study on the correlation between the PD pattern and the aspect of electrical trees propagation in the XLPE insulation of the underground power transmission cable", ICPADM Xian 2000, June, 2000