

**400kV XLPE 케이블 및 부속재 개발**

신희덕, 남정세, 최영훈, 최봉남, 김화중, 송재혁  
대한전선(주) 전력사업부

**Development of 400kV XLPE Cable and Accessories**

H.D. Shin, J.S. Nam, Y.H. Choi, B.N. Choi, H.J. Kim, J.H. Song  
TAIHAN ELECTRIC WIRE CO., LTD , HT ENERGY CABLE DIVISION

**Abstract** - 전력계통분야에서 송전전압의 초고압화는 꾸준히 연구가 진행되는 과제중의 하나이다. 국내에서는 당사가 참여한 한전(KEPCO)의 영서~영동포 345KV XLPE 지중T/L 건설공사가 2003년 6월 20일 국내 최초로 준공된 이후 현재까지 아무런 문제없이 운전중에 있으며, 향후 그 수요가 꾸준히 증대될 것으로 예상되고 있다. 전 세계적으로 살펴보다라도 400KV급 XLPE 케이블 및 부속재에 대한 수요가 꾸준히 확대되고 있다. 그러므로, 당사에서는 국내에서 345KV 케이블 및 부속재를 개발한 기술력을 바탕으로, 한 단계 업그레이드된 해외시장에서 세계의 업체들과 경쟁하기 위해, 400KV 2500sq.mm XLPE 케이블 및 부속재를 성공적으로 개발하였다. 이에 관해 소개하고자 한다.

선하였다. 절연두께는 Weibull 분포시험을 통해 최적의 두께인 27.0mm로 설계하였다. 금속시스는 절연체를 보호하고 수분의 침투를 방지, 고장전류의 귀로 및 전기적 차폐의 목적으로 기계적 특성 및 전기적 특성이 고루 우수한 알루미늄시스로 선정하였으며, 금속시스의 열신축, 케이블 설치시의 곡률반경등에 의한 금속시스의 왜(歪)를 경감시키는 파부형구조로 설계하였다. 방식층은 금속시스의 외상과 부식의 방지를 목적으로 전기적 특성과 내약품성, 난연성, 내마모성 등의 기계적 특성을 고려하여 6.0mm로 설계하였다.

**1. 서 론**

세계적으로 OF(유입, Oil-Filled)케이블은 수십년 동안 실선로에 적용되어 그 신뢰성이 입증되었지만, 환경적인 문제와 유지보수등의 단점으로 인해 그 수요가 줄어들고 있다. 하지만, XLPE (가교폴리에틸렌, Cross-Linked Polyethylene) 케이블은 전기적특성, 열특성등이 우수하고 설치 및 유지보수의 간편하다는 등의 여러 가지 장점으로 인해 그 수요가 꾸준히 증가되고 있으며, 고전압화 및 대용량화가 급속히 이루어지고 있다.

따라서, 당사에서는 이러한 세계시장의 변화에 대응하기 위해 400kV XLPE 케이블 및 부속재 개발에 주력하였으며, 금년 2005년 1월 해외공인 인증기관인 네델란드의 KEMA와 함께 IEC 62067(2001.10)에 정해진 절차에 따라 400kV 케이블 및 부속재에 대한 인증시험을 성공적으로 완료하여 그 제품의 신뢰성을 인증받았다.

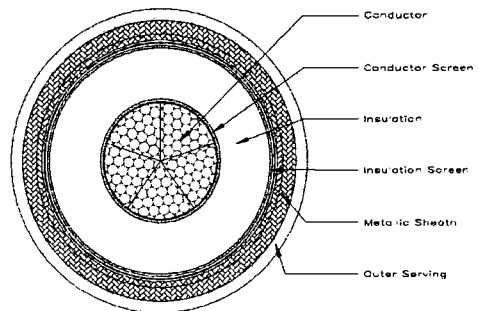
**2. 본 론**

**2.1 케이블 개발**

도체의 단면적은 IEC 60228(2004.11)에 언급된 단면적 중 가장 큰 단면적인 2,500sq.mm를 선정하였으며, 절연체의 경우 Clean Room의 개선, 압출공정까지 공기와의 철저한 차단, 원자재 관리기준의 강화등 제조공정을 개

<표 1> 케이블의 구조

항목	단위	설계치
도체	공칭단면적	sq.mm 2500
	형상	- 5분할 압축
	외경	mm Nom.61.2
내부반도전층 두께	mm	1.5
절연체	재질	- XLPE
	두께	mm Nom.27.0, Min.24.3
	외경	mm Nom.119.2
외부반도전층 두께	mm	1.3
금속시스	재질	- Corrugated Aluminium
	두께	mm 3.1
방식층	재질	- MDPE
	두께	mm Min.5.0
케이블 외경	mm	Approx.162
케이블 중량	kg/m	Approx.39.3



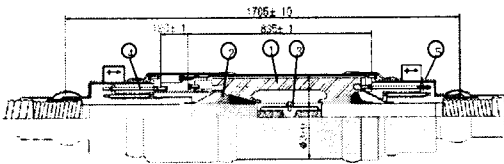
<그림1> 400kV 케이블 단면도

**2.2 부속재 개발**

### 2.2.1 중간접속합(Prefabricated Joint)

중간 접속합은 에폭시 유니트에 EPDM 재질의 스트레스콘을 스프링력으로 밀착하여 전기적 스트레스를 완화시키는 조립형 접속합(Prefabricated Joint, PJ) 방식으로 설계되었다. 조립형 접속합(Prefabricated Joint, PJ) 방식은 에폭시 유니트 및 스트레스콘 등 주요 부속을 공장에서 철저한 품질 관리하에서 생산 출하되어 현장에서 부품의 조립만으로 완성되는 방식으로 다른종류의 중간접속합보다 그 신뢰성이 우수하다는 장점이 있다. 또한, 조립 공정이 비교적 간단하여 숙련된 접속공이 필요하지 않고, 공사기간이 짧아지는 장점이 있다.

기본적인 절연구조는 아래 그림에 표시된 것 같이 주절연물로 에폭시 유니트를, 전계완화장치로 EPDM 재질의 스트레스콘을 채용하였으며, 스트레스콘과 케이블간 및 스트레스콘과 에폭시 유니트 간의 계면압을 보장 유지시키는 역할을 하는 압축 스프링 장치를 사용하였다.

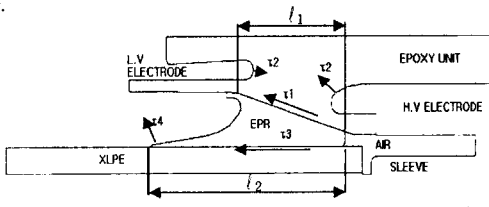


- ① 에폭시 유니트      ② 스트레스콘
- ③ 도체연결슬리브    ④ 압축 스프링 장치
- ⑤ 보호관

<그림2> 중간접속합(Prefabricated Joint)

조립형 접속합의 절연설계는 <그림3>에서 보는 것과 같이 계면길이  $l_1$ ,  $l_2$  및  $t_1$ - $t_4$ 의 각 부위의 전기적 스트레스가 목표 전기성능을 만족하도록 설계되었다. 접속합 자체의 소형화를 피하기 위하여 계면길이  $l_1$ ,  $l_2$ 를 짧게 설계하는 것이 바람직하나, 계면 스트레스인  $t_1$ ,  $t_3$ 와의 상관관계를 고려하여 적절한 길이로 설계하였다. 구체적으로 에폭시 유니트의 전극형상, 전극 위치 및 스트레스콘의 형상을 수차례에 걸친 전계해석을 통해 "Trial & Error"의 방법으로 개선시키며 최적의 전계치를 가지는 구조로 결정하였다. 이렇게 결정된 조립형 접속합의 주요 전계관리부의 전계강도는 다음의 <표2>와 같다.

EPDM 스트레스콘의 케이블 및 에폭시 유니트와의 계면압력과 절연파괴의 관계는 계면압력이  $2\text{kgf}/\text{cm}^2$  이상에서 포화되기 시작하여  $6\text{kgf}/\text{cm}^2$  이상에서는 완전히 포화상태로 되는 특성이 있다. 따라서, 계면의 각 부위에서의 압력이  $2\text{kgf}/\text{cm}^2$  이상을 유지하도록 수치적으로 계산하여 설계하였다.



<그림3> 400kV PJ 내부절연설계 주요 관리부

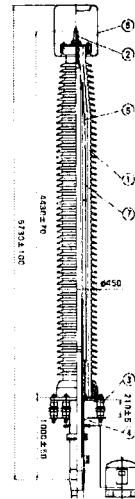
관리부	전계강도[ $\text{kV}/\text{mm}$ ] at AC650kV	비고
t1	6 이하	
t2	19 이하	
t3	3 이하	
t4	16 이하	

<표2> 400kV PJ 주요 전계관리부의 설계치

### 2.2.2 기중 종단접속합(Outdoor Termination)

400kV급 XLPE 케이블용 기중종단접

속합의 경우 기존의 154kV급 이하의 종단접속합에 사용되던 EPDM 재질의 스트레스콘으로는 자기애관의 연면접촉 절연강도의 확보가 어려운 문제가 있다. 따라서, 이의 해결을 위해 OF CABLE용 종단접속합에 사용되고 있는 유침지 방식의 콘덴서콘을 사용하여 전계집중을 완화하는 구조를 채택하였다.

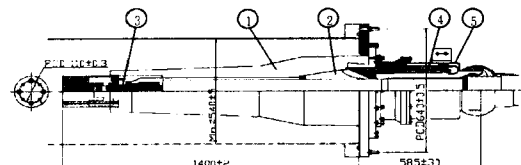


- ① 자기애관
- ② 도체인출봉
- ③ 지지애자
- ④ 하부동관
- ⑤ 실리콘오일
- ⑥ 코로나셸드
- ⑦ 콘덴서콘

### 2.2.3 가스중 종단접속합(SF6 Gas Termination)

가스중 종단접속합의 구조 및 전계완화특성은 중간접속합(Prefabricated Joint)과 유사하므로, 절연설계의 수순 및 관리치는 중간접속합과 동일하다. 하지만, 가스중 종단접속합의 특성상 에폭시 부싱과 SF6 Gas 계면간의 연면접촉내력 및 가스압 등 여러 작용력을 고려한 기계적 강도가 추가적으로 검토되었다.

여기서, 기계적 강도에 대한 검토는 에폭시 부싱의 굽힘 내하중, 인장력 및 내압특성에 대해 수치적으로 산출하였으며, 추가적으로 내부 AL전극과 에폭시 계면간의 열신축에 의한 열응력 특성을 해석하여 절연물의 열화를 예측하는 방법을 채택하였다.



- ① 에폭시애관      ② 스트레스콘
- ③ 도체인출봉      ④ 스프링유닛
- ⑤ 접연통

### 2.3 인증시험

이번 인증시험은 400kV XLPE 케이블과 부속재의 개발을 평가받기 위한 연구개발의 최종단계로, 2001년 10월 IEC에서 150kV( $U_m=170\text{kV}$ ) 이상 500kV( $U_m=525\text{kV}$ )

### 3. 결 론

까지의 XLPE 케이블 및 부속재의 인증시험을 위해 규정한 IEC 62067에 따라 시험절차 및 규정을 적용하였다.

인증시험의 신뢰성을 높이기 위해, 해외공인 인증기관인 네덜란드의 KEMA와 인증시험을 실시하였다. 인증시험은 약 30m정도의 케이블과 부속재로 시험선로를 구성하여 실시한 전기시험과 케이블의 시료에 대한 구조시험으로 분류되어 실시되었다. 전기시험에 대한 시험항목 및 시험결과는 <표3>에 정리하였으며, 케이블의 구조시험은 별도로 언급하지 않지만 결과는 모두 규정치를 만족하였다. 시험선로의 구성은 2sets의 가스중종단접속함, 2sets의 기중종단접속함 그리고 각1sets의 절연접속함과 보통접속함으로 구성하였고, <사진1> 과 <그림4>는 실제 설치된 모습을 보여주고 있다.

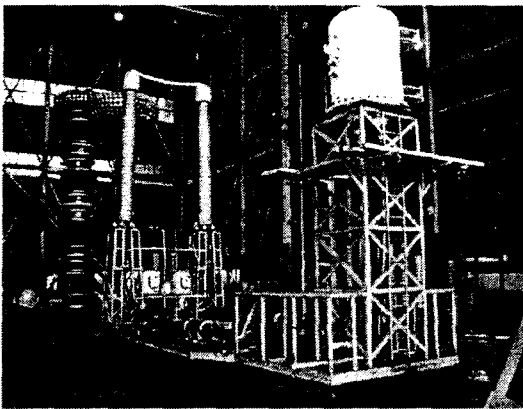
이번 400kV XLPE 케이블 및 부속재에 대한 인증시험을 해외공인인증기관인 KEMA와 함께 성공적으로 개발함에 따라 세계적으로 증가세에 있는 300kV급 XLPE 수요에 대응할 수 있는 기반을 마련하였다. 이는 당사의 초고압 설계 및 제조기술을 한 단계 상승시켜 세계시장에서 선진업체들과 경쟁할 수 있는 토대가 마련되었다는 것을 의미한다. 현재 세계시장은 110~161kV급 전압에서 220~275kV급 전압까지 보편화되었으며, 사우디아라비아나 대만같은 지역을 중심으로는 이미 345kV 및 380kV XLPE 입찰이 나오고 있다. 경쟁이 심한 기존의 100kV급 시장은 이미 출혈상태에 접어들어있다. 따라서, 상대적으로 고부가가치를 창출할 수 있고 경쟁이 심하지 않은 300kV급 이상의 초고압시장은 분명 매력적인 시장이다. 따라서 많은 세계전선업체들이 이 분야에 대한 연구개발에 많은 투자를 하고있다. 당사는 국내를 대표하는 전선업체로서 책임감과 사명감을 갖고 급속히 변화하는 세계시장을 주도하며 높은 부가가치를 창출할 수 있도록 향후 더 많은 노력을 기울여 나갈 것이다.

<표3> 인증 시험 항목 및 시험결과 (전기시험)

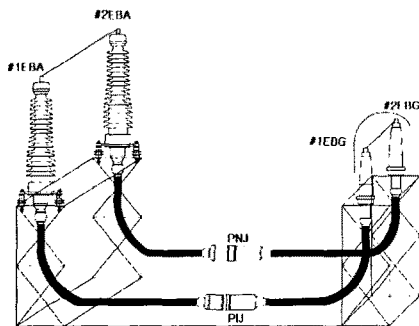
번호	시험항목	규격	시험결과
1	Partial Discharge	330kV, 5pC미만	양호
2	Tanδ Measurement	0.001이하	양호
3	Heating Cycle	440kV, 20cycle	양호
4	Switching Impulse	±1050, 10회	양호
5	Lightning Impulse	±1425, 10회	양호
6	Power Frequency	440kV, 15분	양호
7	Partial Discharge	330kV, 5pC미만	양호
8	Examination		이상없음

### [참 고 문 헌]

- [1] IEC 62067, "Cable with Extruded Insulation and thier Accessories for Rated Voltages Above 150kV(Um=170kV) up to 500kV(Um=525kV)-Test Methods and Requirements", 2001.10
- [2] 신회덕외, "345kV XLPE 케이블 선로의 준공", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, C권, 1815~1817, 2003년도



<사진1> 인증시험용 시험선로 구성



<그림4> 인증시험용 시험선로 구성