

**345kV XLPE 소도체 Cable용 접속함의 개발**

김화중, 김기영, \*박정기, 송재혁, 신희덕, 박근룡  
대한전선(주)

**Development of Accessories for 345kV XLPE Cable with Small Size Conductor**

H.J.Kim, K.Y.Kim, \*J.K.Park, J.H.Song, H.D.Shin, K.L.Park  
TAIHAN Electric Wire Co.,Ltd.

**Abstract** - Taihan Electric Wire Co. developed accessories(PJ, EB-G, EB-A, EB-O) for 345kV XLPE 1C×600mm<sup>2</sup> cable as a small size conductor cable, after installed 345kV XLPE 1C×2000mm<sup>2</sup> cable, PJ and EB-G on Youngseo~Youngdungpo project KEPCO planed in 2003. All of 345kV XLPE 1C×600mm<sup>2</sup> cable Accessories are finished the type tests successfully. Straight joint as a Prefabricated Joint(PJ) had shorter the days of assembling than those of TMJ used on the 154kV XLPE Cable. Particularly, the use of clean booth to prevent the dusts and the penetration of water also had made the quality of jointing improved.

**1. 서 론**

당사는 2003년 국내최초로 한국전력공사 영서변전소~영동포 변전소구간에 345kV XLPE 1C×2000SQ 케이블 및 접속함을 시공하여 현재 운전중에 있으며 이러한 기술력을 바탕으로 2004년에는 345kV XLPE 1C×600SQ 케이블 및 부속재(PJ, EB-A, EB-G, EB-O) 한전인정시험을 완료함으로써 국산화에 성공하였다. 중간접속함의 주요 절연물로 사용되는 에폭시유니트와 고무절연물은 공장제조 후 철저한 품질관리에 제조, 검사함으로써 현장에서 조립시 발생할 수 있는 위험을 최소화 하였다. 중단접속함의 내부 절연부품은 이미 실선로에 적용하여 검증받은 방식을 채택하였다. 즉 기중중단접속함은 콘덴서콘방식을 가스중중단접속함과 유중중단접속함은 스트레스콘방식을 채택하였다. 당사는 345kV급 XLPE Cable 부속재의 개발경험을 바탕으로 향후 400kV급 XLPE Cable 부속재의 개발을 앞당기기고자 하며 본고에서는 345kV XLPE 1C×600SQ Cable 부속재의 설계 및 한전인정시험에 대한 개요를 기술하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 부속재의 설계조건**

345kV XLPE 1C×600SQ 부속재 개발품목은 PJ(조립식 접속함), EB-A(기중중단접속함), EB-G(가스중중단접속함), EB-O(유중중단접속함)이다. 부속재 설계에 적용된 규격은 한전의 "345kV 가교폴리에틸렌 절연 알루미늄시스 전력케이블 및 부속재(345kV 1C×600SQmm XLPE Cable)"이며 설계조건은 다음의 [표1. 설계조건]과 같다.

[표 1] 설계조건

No	항 목	설계조건
1	공칭전압(U)	345kV
2	정격전압(Uo)	200kV
3	최대사용전압(U <sub>m</sub> )	362kV
4	주파수	60Hz
5	기중충격절연강도(BIL)	1300kV
6	상시 도체최고허용온도	90℃
7	고장순시 도체최고허용온도	250℃
8	단시간 도체최고허용온도	105℃

**2.1.1 345kV XLPE 1C×600SQ 케이블의 구조**

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.

[표 2] 케이블의 구조 및 특성

항 목	단위	재질/형상/치수
도체	재질	- 전기용 연동선
	형상	- 원형
	외경	mm 29.5
내부 반도전층	재질	- 반도전 PE
	두께	mm 1.3
절연체	재질	- XLPE
	두께	mm 27.0
외부 반도전층	재질	- 반도전 PE
	두께	mm 1.3
Tape 외부 반도전층	재질	- 반도전EPR 동선직입포
	두께	mm 1.0
금속시스	형상	- Corrugated
	재질	- Aluminum
	두께	mm 2.5
방식층	재질	- PVC
	두께	mm 5.6
케이블 최대외경	mm	125
직류최대도체저항(20℃)	Ω/km	0.0308
공칭정전용량(20℃)	μF/km	0.16
최소절연저항(20℃)	MΩ.km	4,000
케이블 중량	kg/km	17,835

**2.1.2 부속재 설계**

XLPE 케이블의 부속재는 중단의 전기기기와 연결되는 가스중중단접속함(EB-G)과 유중중단접속함(EB-O), 가공선으로의 인입인출을 위한 기중중단접속함(EB-A) 그리고 케이블 간에 연결되는 중간 접속함(PJ)등으로 구성되며 이들에 대한 설계 내용은 아래와 같다

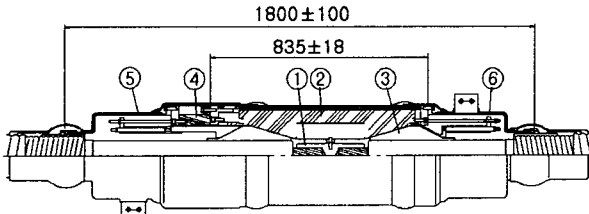
**2.1.2.1 중간 접속함**

절연접속함은 에폭시유니트에 스트레스콘을 스프링력으로 밀착하여 스트레스를 완화하는 Prefabricated Joint(PJ) 방식으로 설계되었다. PJ 유니트는 공장제조 후 현장에서의 별도의 절연테이프권취 및 몰딩과정이 필요치 않는 장점이 있고 기존 TMJ방식에 비하여 숙련된 접속공을 필요로 하지 않는 장점이 있으나 제조시 에폭시 유니트 및 스트레스콘의 공정상의 세심한 관리가 필요하다라는 단점이 있다. 중간접속함은 절연접속함과 보통

접속함으로 나뉘는데 절연접속함은 Sheath를 연가하여 쉬스유기전압의 분담을 고르게 하고 보통접속함은 케이블의 연결을 목적으로 하는 접속재이다.

PJ의 기본 구조는 <그림1>에 표시된 것 같이 공장에서 미리 만들어진 품질 관리된 제품인 에폭시 유니트 1set, 고무 스트레스 콘 2ea와 스프링 압축장치 2set, 보호관 2ea로 구성되어 있으며 해체 가능한 구조로 설계되어 있다.

본 방식은 본체를 에폭시 수지로 절연하고, 케이블 도체의 접속은 도체슬리브로 압축하는 방식이고, 또한 에폭시 유니트의 절연은 고무 스트레스 콘을 스프링의 기계력에 의해 압축하는 것이다.



< 그림1. 중간접속함 >

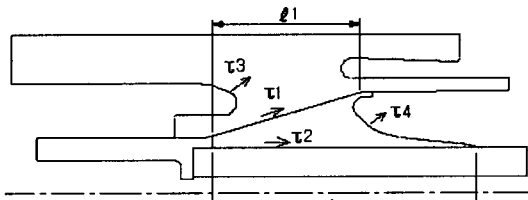
- ① 도체슬리브
- ② 에폭시유니트
- ③ 스트레스 콘
- ④ 절연통
- ⑤ 보호관(A)
- ⑥ 보호관(B)

PJ의 절연설계는 <그림2>에 표시한 계면길이  $l1$ ,  $l2$  및  $\tau1 \sim \tau4$ 의 각 부위의 설계 스트레스가 목표 전기성능을 만족하게끔 설계를 진행했다. 계면길이  $l1$ ,  $l2$ 는 전체 형상 Compact화를 위해 되도록 짧게 설계하는 것이 바람직하나,  $\tau1$ ,  $\tau2$ 와의 상관관계를 고려하여 적절한 길이로 설계했다. 구체적으로 에폭시 유니트의 전극형상, 전극위치 및 스트레스 콘의 형상을 여러 번 Trial & Error의 방법으로 변형시켜 최적의 전계 값을 얻는 구조로 결정했다. 이렇게 하여 결정된 PJ 주요전계관리부의 전계강도는 [표3]과 같다.

고무절연체의 계면압력과 전기특성의 관계는 계면압력이  $2\text{kgf/cm}^2$  이상에서 포화되기 시작하여  $6\text{kgf/cm}^2$  이상에서 완전히 포화상태로 된다. 따라서, 면압을  $2\text{kgf/cm}^2$  이상으로 유지하는 것이 효율적으로 목표하는 계면 전기특성을 얻을 수 있다.

본 PJ는 초기 Setting시의 설계 면압을  $4 \sim 7\text{kgf/cm}^2$ 의 범위로 설정했고, Heat cycle하에 있어서도 각 부위의 면압이  $2.5\text{kgf/cm}^2$  이상을 유지하도록 설계했다.

또한, 스트레스 콘 내경과 케이블 코어 경의 차이를 1mm 이상으로 설정했다.



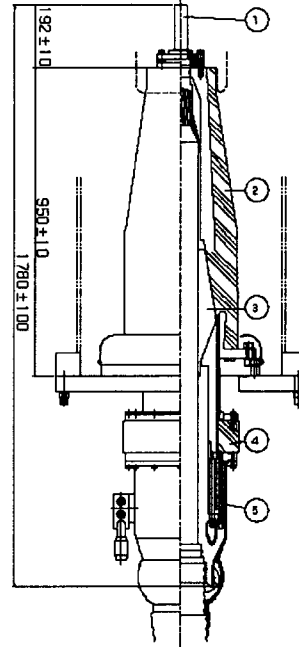
< 그림2. 345kV PJ 내부절연설계 주요관리부 >

[표 3] 345kV PJ 주요 전계관리부의 설계치

관리부	전계강도(kV/mm) at 650kV	비고
$\tau1$	6 ↓	
$\tau2$	3 ↓	
$\tau3$	19 ↓	
$\tau4$	16 ↓	

### 2.1.2.2 가스중 중단 접속함

가스 중 중단 접속함은 변전소내의 GIS에 연결되는 중단 접속재이므로 설계 시 에폭시부싱과 SF<sub>6</sub>가스 계면간의 절연 및 가스압을 고려하여 설계하였으며 에폭시부싱과 스트레스콘 계면간의 절연설계는 중간접속함과 동일한 방법을 택하여 설계하였다.

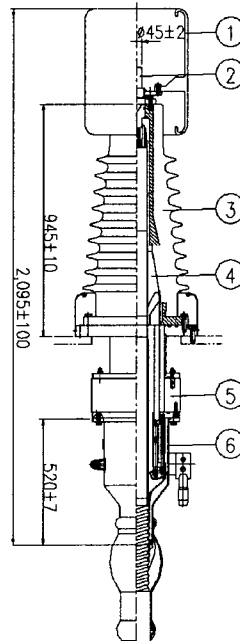


< 그림3. 가스중 중단접속함 >

- ① 도체슬리브
- ② 에폭시부싱
- ③ 스트레스 콘
- ④ 절연통
- ⑤ 보호관

### 2.1.2.3 유중 중단 접속함

유중 중단 접속함은 변전소내의 변압기에 연결되는 중단 접속재이며 설계 시 에폭시부싱과 오일간의 절연거리 및 오일내에서의 전계등을 고려하여 설계하였으며 기타 부위는 가스중중단접속함과 동일하다.

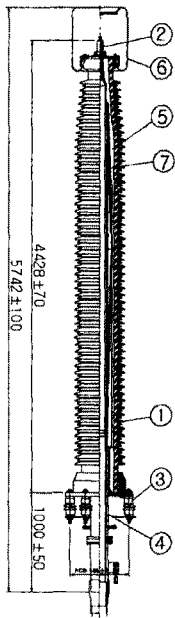


< 그림4. 유중 중단접속함 >

- ① 코로나셴드
- ② 도체슬리브
- ③ 에폭시부싱
- ④ 스트레스 콘
- ⑤ 절연통
- ⑥ 보호관

### 2.1.2.4 기중 종단 접속함

기중 종단 접속함은 가공선과 케이블을 연결하기 위하여 적용된다. 345kV급 XLPE Cable용 기중종단접속함의 경우 기존의 154kV급 이하의 종단접속함에 사용되던 EPDM재질의 스트레스콘으로는 자기애관의 연면섬락 결연강도의 확보가 어려운 문제가 있다. 이의 해결을 위해 OF케이블용 종단접속함에 사용되고있는 콘덴서콘을 전계집중완화 장치로 선정하고, OF케이블용 기중종단접속함의 구조를 기본으로 하여 이에따른 XLPE케이블의 특성을 고려하여 설계되었다..



- ① 자기애관
- ② 도체인출봉
- ③ 지지애자
- ④ 하부보호관
- ⑤ 실리콘오일
- ⑥ 코로나셴드
- ⑦ 콘덴서콘

< 그림5. 기중 종단접속함 >

## 2.2 시험

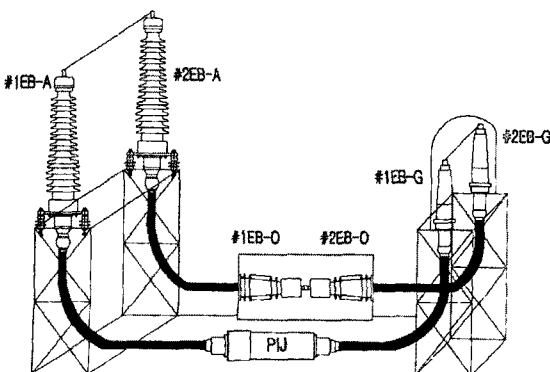
### 2.2.1 초기성능시험

초기성능시험전압은 아래의 [표 4]와 같이 설정하여 시험을 실시 성능을 확인하였다.

[표 4] 초기성능시험규격

시험	초기성능시험규격	비고
교류내전압시험	650kV / 12.6Hr	
충격내전압시험	±1730kV / 10회	

### 2.2.2 시험선로의 구성



< 그림6. 시험선로의 구성 >

시험선로는 EB-A 2Set, EB-G 2Set, PIJ 1Set, EB-O 2set를 조립하여 열사이클시험이 가능한 폐회로를 구성하였다.

EB-O와 EB-G는 시험용 Chamber를 제작하여 시험용 Chamber내에 접속함을 조립 후 각각 OIL 및 Gas를 충전하였다.

### 2.2.3 부속재 조립시험규격 및 결과

[표 5] 부속재 조립시험규격 및 결과

(시험규격 : 한전 송변전건설처 구매시방서)

시험명	규격	결과	비고
부분방전시험	1.5U <sub>0</sub> 5pC ↓ at RT	양호	
Tan δ 측정	U <sub>0</sub> 10x10 <sup>-4</sup> ↓ at HT	양호	
열사이클전압시험	2U <sub>0</sub> 20Cycle at HT	양호	
부분방전시험	1.5U <sub>0</sub> 5pC ↓	양호	
개폐충격내전압시험	±1,045 10회 at HT	양호	
뇌충격내전압시험	±1,300kV 10회 at HT	양호	
교류내전압시험	2U <sub>0</sub> 15분 at RT	양호	

[표 5]과 같이 한전 송변전건설처 구매시방서에 따라 부속재의 조립시험을 실시한 결과 시험규격을 만족하였다.

## 3. 결 론

당사는 345kV XLPE 1Cx2000SQ 케이블 및 접속함을 시공하여 운전중에 있으며 345kV XLPE 1Cx600SQ 케이블 및 접속함을 새로이 개발하여 한국전력의 납품인정을 받은 양양양수발전소 Project에 납품 시공할 예정이다.

당사는 국내에서의 지중송전선로의 최고전압인 345kV급 XLPE Cable 및 부속재까지 개발 납품함으로써 대외적으로 기술력을 인정받았고 이를 바탕으로 해외의 초초고압 지중송전선로 시장에 적극적으로 진출할 계획을 가지고 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 송변전건설처, "345kV/154kV 가교폴리에틸렌 절연 전력케이블 및 부속재 구매시방서"(2001)
- [2] 대한전선(주) "345kV XLPE Cable선로의 준공" (2003)
- [3] 대한전선(주) "345kV XLPE 케이블 장거리선로 현장 준공 및 운전" (2003)