

초고압 XLPE 전력케이블용 Prefabricated Joint 및 접속기술 동향

김 영, 성 정 규\*, 한 창 석  
대한전선 (주)

Trends of Prefabricated Joints and their Jointing Techniques for EHV XLPE-insulated Power Cables

Y. Kim, J.K. Seong\*, C.S. Han  
Taihan Electric Wire Co., Ltd

**Abstract** - An oil-filled paper-insulated power cable and a XLPE-insulated power cable have been mainly applied as an extra-high-voltage underground power cable. But in recent the XLPE cable has been applied more widely than the OF cable, because of its advantages, such as the low-cost and simple installation. In general two types, molded and prefabricated, of straight joints are applied for the XLPE cables. For a tape-molded joint, one of molded joints, its electrical properties are excellent, but it has some disadvantages, such as a long working time, high skill of workers and the high cost of jointing equipments. For a prefabricated joint, developed and applied in Europe and Japan, its working time is short, its jointing procedures are simple, and its quality control is easy, but its prices are very high. In Korea the development of a compression-type PJ will be finished in the near future, and studies of its jointing techniques and equipments is actively going on. This paper describes the design and construction of the PJ, the jointing procedures and techniques for the PJ, and its future trends.

가 용이한 반면에, 접속재의 가격이 매우 비싸다. 국내에서도 XLPE 케이블용 압축형 PJ(Compression-type PJ)의 개발이 완료단계에 있고, 이에 대한 접속 기술 및 접속장비에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 고에서는 PJ의 설계 및 구조, PJ의 접속 및 접속 기술, 그리고 향후 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. PJ의 설계 및 구조

2.1 전력케이블의 중간 접속

초고압 지중 케이블은 제조, 운송 및 설치조건으로 인해 케이블 길이가 제한되어 중간에서 케이블들을 연결하여야 한다. 이때 접속함은 케이블과 동등한 기계적, 열적 및 전기적 성능을 지녀야 한다. 중간접속함은 초기에는 고전압화에 따라 적절한 전기적 성능을 얻기 위하여 개발되었으나, 최근에는 전기적 성능과 더불어 현장에서의 작업성 및 품질관리 등의 관점에서 개발되고 있다. MJ와 PJ는 XLPE 케이블용 중간접속함으로서 전세계적으로 사용되고 있다. MJ는 현장에서 케이블 절연체와 동등한 절연재를 고온·고압에서 가교하여 보강절연체를 성형하는 방식이며, 테이프몰드형(Tape-molded)과 압출몰드형(Extrusion-molded)의 두 형식이 있다. PJ는 공장에서 케이블 절연체와 유사한 절연재로 보강절연체를 미리 성형하고 현장에서 그것을 조립하는 방식이며, 삽입형(Slip-on type)과 압축형(Compression type)의 두 형식이 있다([표1] 참조). 삽입형 PJ는 유럽에서, 압축형 PJ는 일본에서 주로 사용되고 있다.

2.2 PJ의 설계

2.2.1 보강절연체

에폭시 유니트는 주절연체로서 에폭시 절연재를 공장에서 성형하며, 내부와 외부에 매립 금구를 두어 전계의 집중을 방지하도록 설계된다. 에폭시 절연재는 전기적·기계적 성질이 우수하며, 가공성도 좋아 성형이 용이하고, 금속과의 접착성이 우수하여 금속의 피복 및 매립이 용이하다. 스트레스 콘은 반도체부와 절연부가 일체화된 EPR 고무절연체로서 외부 반도체층이 끝나는 부위에 전계가 집중하는 것을 방지하도록 설계된다.

1. 서 론

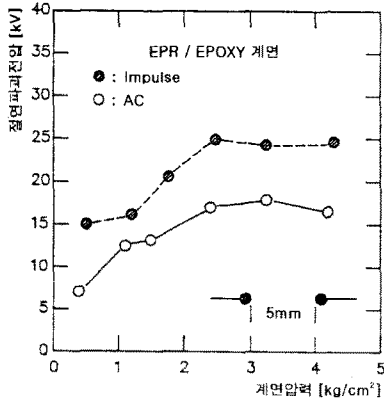
유입(Oil-filled) 케이블과 XLPE, 케이블은 초고압 지중송전용 전력케이블로서 주로 채용되어 왔으나, 최근에는 설치가 간편하고 설치비가 저렴한 XLPE 케이블의 사용이 확대되었다. 초고압 XLPE 케이블의 중간접속함은 세계적으로 몰드형 접속함(Molded Joint)과 조립형 접속함(Prefabricated Joint)이 주로 사용되며, 국내에서는 MJ 접속함중 테이프몰드형 접속함(Tape-molded Joint)이 주로 사용되고 있다. TMJ는 전기적 특성이 우수한 반면에, 작업시간이 비교적 길고, 숙련된 작업자가 필요하며, 고가의 접속장비가 요구된다. PJ는 유럽 및 일본에서 개발되어 주로 사용되고 있으며, 작업시간이 비교적 짧고, 작업절차가 비교적 간단하며, 품질관리

[표1] 중간접속함의 종류

중간접속함 종류		보강절연체		주요비교			
		재질	현장작업	크기	자재비	작업시간	작업기술
몰드형 접속재 (Molded Joint)	Tape-molded	미가교 XLPE	테이핑, 몰딩, 가교	소	저	장	숙련
	Extrusion-molded	미가교 XLPE	압출, 몰딩, 가교	소	저	장	숙련
조립형 접속재 (Prefabricated Joint)	Slip-on type	EPR	조립	대	고	단	보통
	Compression type	에폭시	조립	대	고	단	보통

### 2.2.2 계면압력

PJ 접속함은 구조적으로 이종절연물의 여러 계면들을 가지고 있다. 이러한 계면에서 압력을 증가시키면 계면 방향의 절연파괴강도가 상승하다가 어느 지점에서 포화되는 경향을 보인다([그림1] 참조). 일정한 계면압력을 가하기 위하여 스프링력을 이용하였으며, 스프링은 에폭시유니트와 스트레스 콘사이의 계면에서 3~4kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 유지하도록 설계된다.



[그림1] 계면에서의 압력과 절연파괴강도

### 2.2.3 금속시스의 분리

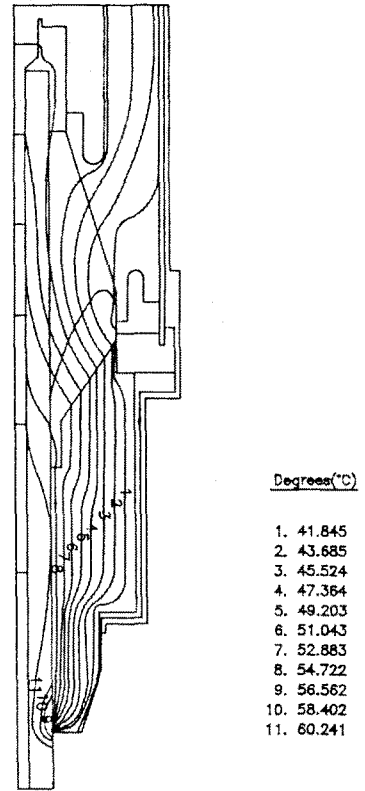
케이블의 손실중 금속시스손을 감소하기 위한 방법으로 금속시스를 분리·연가하여 접지하는 방식을 적용하고 있다. 이를 위하여 에폭시 절연통을 사용하였으며, 절연통은 접속함의 외경 축소를 위하여 접속함의 한 쪽 끝단에 조립하여 케이블의 금속시스는 분리된다.

### 2.2.4 열 분석

케이블의 온도는 송전용량을 결정하는 중요한 요인중 하나이며, 접속함의 내부 온도가 케이블의 온도보다 높지 않아야 한다. [그림2]는 열해석 모델을 이용하여 얻은 접속함 내부의 온도 분포를 보여주고 있다. 접속함 중심부의 전계완화를 위한 매립금구가 방열판 구실을 하여 접속함 도체의 온도가 케이블 도체의 온도보다 낮다.

### 2.2 PJ 접속함의 구조

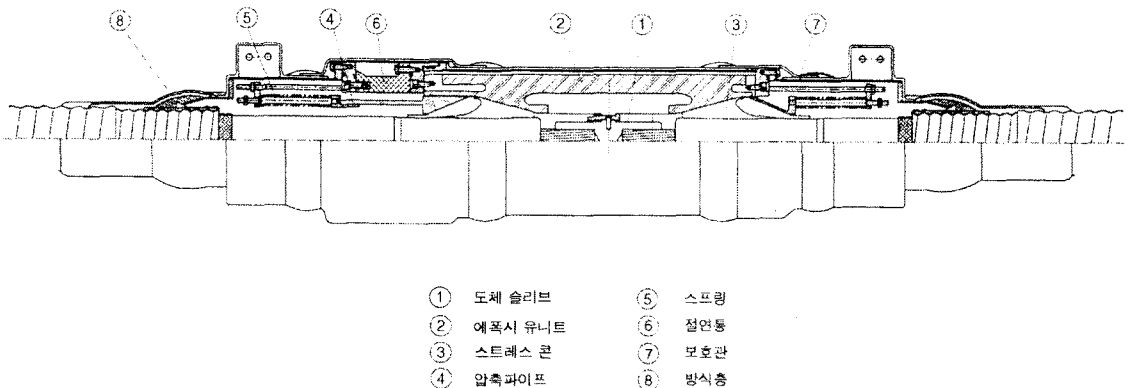
PJ 접속함은 주요 부품이 공장에서 제조되고 현장에서 이를 조립하여 접속되며, [표2]와 [그림3]은 각각 부품의 종류와 PJ의 구조를 보여주고 있다.



[그림2] 열해석 모델

[표2] 부품의 종류

부품	재질	역할
도체 슬리브	동	도체와 도체의 연결
에폭시 유니트	에폭시	접속함의 절연
스트레스 콘	EPR	접속함의 절연
압축 파이프	황동	스트레스콘의 지지
스프링	스테인레스	계면압력의 유지
절연통	에폭시	금속시스의 분리
보호관	동	접속함의 보호
방식층	PVC	방수



- |           |       |
|-----------|-------|
| ① 도체 슬리브  | ⑤ 스프링 |
| ② 에폭시 유니트 | ⑥ 절연통 |
| ③ 스트레스 콘  | ⑦ 보호관 |
| ④ 압축파이프   | ⑧ 방식층 |

[그림3] PJ의 구조

### 3. PJ의 접속 및 접속기술

#### 3.1 PJ의 접속

PJ의 접속은 일반적으로 접속준비, 직선작업, 절연체 및 차폐층 처리, 조립작업과 방수처리의 5단계로 구분된다. [표3]은 1상에 대한 작업절차와 작업시간을 보여주고 있으며, 3상의 경우 공통작업으로 인하여 작업시간이 감소하여 약 7일/3상의 작업시간이 소요된다.

[표3] 접속절차와 작업시간(1상기준)

접속절차		작업시간
접속준비	▶작업대 설치 ▶케이블 정렬	8시간
직선작업	▶준비 ▶직선기 설치 ▶가열 ▶냉각	8시간
절연체/차폐층 처리	▶준비 ▶차폐층 탈피/다듬질 ▶차폐층 몰딩 ▶도체 노출 ▶절연체 다듬질	9시간
조립작업	▶준비 ▶부품 삽입 ▶도체 압축(IJ축) 에폭시유니트 삽입 도체 압축(NJ축) ▶에폭시유니트 조립 스트레스콘 조립 ▶압축금구 조립 집지 처리 보호관 조립	6시간
방수처리	▶방식 처리 ▶작업대 해체	3시간

#### 3.2 접속 기술

초고압 XLPE 케이블의 절연체 내외부에 존재하는 돌기 및 불순물은 케이블의 전기적 성능에 중대한 영향을 미친다. 따라서 접속중에 이들의 발생 및 침입을 방지하는 것이 접속기술의 핵심이다. PJ의 경우, 중요한 접속 절차로는 절연체 차폐층의 탈피, 절연체 및 계면의 평활화와 스트레스콘 삽입 등이 있다.

##### 3.2.1 절연체 차폐층의 탈피 기술

과거에는 작업자가 절연체 차폐층을 유리로 탈피하고 절연체 표면을 샌드 페이퍼로 평활화하였기에 작업품질은 전적으로 작업자의 기술 수준에 의존하였다. 최근에는 절연체 차폐층을 기계적으로 탈피하는 장비가 개발되어 현재 현장에서 이 장비를 사용하고 있다.

##### 3.2.2 절연체 표면 및 계면 검사 기술

과거에는 절연체 표면 및 계면의 손상여부를 검사하는 방법으로 CCD(Charge-coupled Device) 카메라를 이용하여 작업자가 육안으로 손상여부를 확인하였다. 최근에는 CCD 카메라에 얻어진 영상신호를 영상처리장치에서 디지털 신호로 바꾸어 컴퓨터로 보내고, 컴퓨터는 이 신호와 미리 입력된 기준치를 비교하여 손상여부를 검사하는 시스템이 개발되었다.

##### 3.2.3 스트레스콘의 삽입 기술

스트레스콘은 내면의 손상이나 불순물의 침입없이 현장에서 조립되는 것이 품질유지의 관건이다. 과거에는 작업자가 스트레스콘을 인력으로 조립하였기에 품질관리에 어려움이 있었다. 그러나, 최근에 스트레스콘을 삽입하는 특수장비가 개발되어 현장의 품질관리가 개선되었으며, 불순물의 침입을 철저히 방지하기 위하여 부품의 노출을 완전히 방지하는 포장방법에 대한 연구도 진행중에 있다.

### 3. 향후 전망

국내에서도 154kV XLPE 케이블용 중간접속함으로 PJ 접속함이 개발이 완료단계에 있어 중간접속방식의 다양화되었다. 중간접속방식의 선택은 여러 가지 관점에서 검토되어야 한다. 접속 환경에 관한 관점에서는 맨홀의 크기, 기설의 선로 상황과 도로 상황 등이, 설치에 관한 관점에서는 자재비 및 공사비, 작업기간과 현장에서의 품질관리 등이, 성능에 관한 관점에서는 전기적 성능, 기계적 성능, 방수 및 난연 성능 등이 검토되어야 한다. 한국전력공사는 345kV급 지중송전선로에 대한 XLPE 케이블의 적용을 적극 추진중에 있어 345kV XLPE 케이블용 중단 및 중간접속함의 개발이 활발히 진행중에 있다. 345kV급 중간접속방식으로는 EMJ와 PJ가 검토되고 있으나, 현장 작업성과 접속시간등의 장점으로 인하여 PJ 사용이 확대될 전망이다. 앞으로 중간접속함의 PJ화는 가속화될 전망이며, 이에 대한 접속 기술과 접속장비에 대한 연구도 활발히 진행될 전망이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] C.S. Choi 외, "Application of prefabricated joints to 154kV XLPE cables in Korea power transmission system", Jicable 95, p86, 1995
- [2] 한국전력공사, "초고압 XLPE 케이블용 프리몰드 접속함 기술 개발에 관한 연구", 1994
- [3] M. Fujii 외, "Development of Prefabricated Joint for 154kV XLPE cable", Sumitomo Electrical Technical Review, No.29, p213, 1990
- [4] W. Kumai 외, "Development of Jointing Techniques for 275kV Prefabricated Joint", 제5회 전기학회 전력·에너지부문대회 논문집, p702~709, 1993
- [5] CIGRE WG26-06, "Types of Accessories for HV Extruded Cables", 1993
- [6] Electric Power Research Institute, "Underground Transmission Systems Reference Book", 1992