

400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블 접속재 개발 및 실선로 적용

김화중, 김현주, 김도영, **박정기**, 조장안, 최만옥
대한전선(주)

Development & Practical Installation of 400kV XLPE 1Cx630SQ Optic Fiber integrated Power Cable Accessories

Hwa-Jong Kim, Hyun-Ju Kim, Do-Young-Kim, Jeong-Ki Park, Jang-An Jo, Man-Ok Choi
Taihan Electric Wire Co.,Ltd.

Abstract - 지중송전라인에서 전압등급의 상승은 선로손실을 줄이면서 밀집된 전력수요에 대응하거나 특별히 고전압 수요를 맞추기 위한 것으로 이것은 XLPE Cable의 제조기술이 향상되면서 지속적으로 진행되어 온 초고압송전계통의 일반적 추세이다. 이러한 경향으로 국내에서는 지중송전선로서 최고전압인 345kV가 시공되어 운전중에 있으며 해외에서는 220kV~275kV급을 넘어서 400kV급 초고압케이블라인의 수요가 증가하고 있는데, 이러한 지중송전라인의 초고압화는 높은 신뢰성이 함께 요구되며 특히 접속재 분야에서 매우 높은 신뢰성이 요구된다. 당사는 UAE 400kV AL TAWEELAH Project에 400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 초고압송전라인을 준공하였는데 본고에서는 여기에 적용된 400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블 접속재의 신뢰성을 높이기 위한 설계방법, 시험 및 시공에 대하여 요약하였다.

1. 서 론

당사는 기존의 400kV급 XLPE 1200SQ(중도체)~2500SQ(대도체) 접속재 개발경험을 바탕으로 본 UAE 프로젝트에 적용될 400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블 접속재인 PJ(Pre-fabricated Joint, 조립식 접속합), EB-G(가스중 종단접속합), EB-O(유중종단접속합)의 개발, 인증 시험 및 실선로 시공을 완료하였다.

PJ 주요절연물인 에폭시유니트는 내부절연물 형상의 변경을 통하여 전기적으로 안정적인 모델을 구현하였으며, 공장제조시 품질관리를 엄격하는 한편 접속방법을 단순화 하여 시공시에 발생할 수 있는 주변의 불안정한 요소가 최대한 배제하도록 하였다.

EB-G(가스중종단접속합)의 경우 그 구조가 IEC규격에 부합하도록 설계되었으며 내부 절연물의 구조는 기존 400kV XLPE 1200SQ~2500SQ 접속합 개발시에 성능이 검증된 에폭시부싱과 스트레스콘을 사용하는 방식으로 개발 되었다.

EB-O(유중종단접속합)는 EB-G(가스중종단접속합)와 같이 에폭시부싱과 스트레스콘을 사용하는 방식으로 개발 되었으며 유중에서 충분한 전기적 특성을 유지하도록 설계되었다.

본 UAE납품용 400kV XLPE 630SQ 광복합 케이블 접속재 개발, 시공을 완료함으로써 400kV급 XLPE Cable에 있어 630SQ의 소도체 접속재에서 2500SQ 대도체에 이르는 접속합의 개발을 완료하였으며 본고에서는 본 제품의 개발 및 실선로 시공의 개요를 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 접속재의 설계조건

400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블 접속재 개발품목은 PJ(조립식 접속합), EB-G(가스중종단접속합), EB-O(유중종단접속합) 3종으로 본 제품의 개발에 적용된 케이블 및 접속재의 설계조건은 <표 1>과 같다.

<표 1> 설계조건

No	항 목	설계조건
1	공칭전압	400kV
2	정격전압	220kV
3	최대사용전압	420kV
4	상시 도체최고허용온도	90℃
5	고장순시 도체최고허용온도	250℃
6	기준충격절연강도(BIL)	1425kV

2.1.1 400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블의 구조

케이블은 도체, 절연체, 금속시스 및 방식층으로 구성되며 세부적인 구조 및 특성은 <표 2>와 같다.

<표 2> 400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블의 구조

항 목	단위	재질/형상/치수
도체	재질	-
	형상	-
	외경	mm
내부 반도체층	재질	-
	두께	mm
절연체	재질	-
	두께	mm
외부 반도체층	재질	-
	두께	mm
금속시스	형상	-
	재질	-
	두께	mm
방식층	재질	-
	두께	mm
케이블 최대외경		mm
직류최대도체저항(20℃)		Ω/km
케이블 중량		kg/km

2.1.2 접속재의 설계

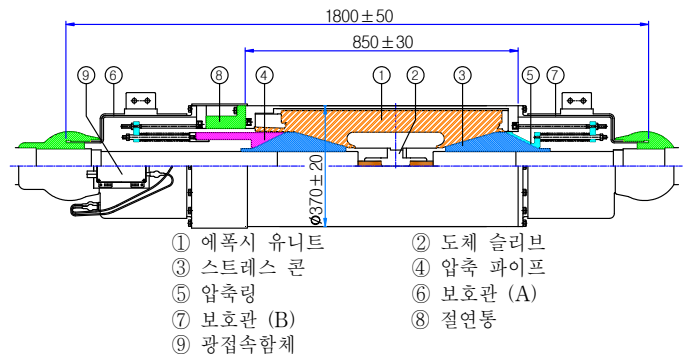
UAE 400kV AL TAWEELAH Project에 적용된 접속합은 케이블간의 연결을 위한 PJ(Pre-fabricated Joint, 조립식접속합), 종단의 전기기와 연결되는 EB-G(가스중종단접속합), EB-O(유중종단접속합)로서 이들 접속합의 설계내용은 다음과 같다.

2.1.2.1 PJ(조립식접속합)의 구조 및 설계

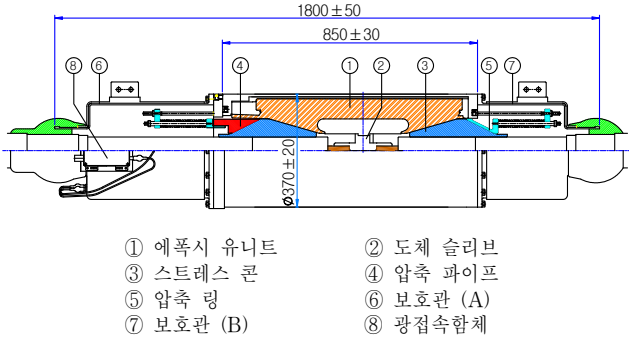
중간접속합으로 적용된 PJ(조립식 접속합)는 케이블 양단 도체를 압축식 슬리브로 연결 후 에폭시수지로 제작된 에폭시유니트 양쪽에 스트레스 콘트롤을 위한 고무스트레스콘을 케이블절연체에 삽입 후 압축력으로 압축하여 이 면압에 의하여 케이블 절연체와 스트레스콘간 계면, 스트레스콘과 에폭시유니트간 계면의 전기적 특성을 만족하도록 하는 구조이다.

아래<그림 1>, <그림 2>와 같이 PIJ(조립식 절연접속합)과 PNJ(조립식 보통접속합)을 도시하였는데 스위스전기전압 분담을 고르게 하기위한 것이 PIJ이고 통상적인 연결만을 목적으로 하는 것이 PNJ이다.

<그림 1> 400kV XLPE 630SQ 광복합 PIJ (조립식 절연접속합)



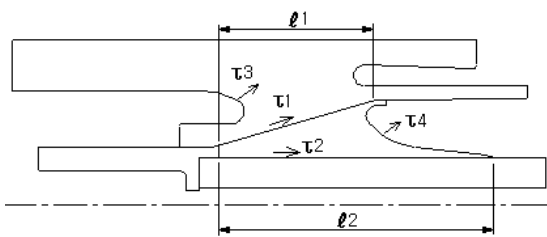
〈그림 2〉 400kV XLPE 630SQ 광복합 PNJ (조립식 보통접속함)



- ① 에폭시 유니트
- ② 도체 슬리브
- ③ 스트레스 콘
- ④ 압축 파이프
- ⑤ 압축 링
- ⑥ 보호판 (A)
- ⑦ 보호판 (B)
- ⑧ 광접속함체

PJ의 전계관리부인 $\tau_1 \sim \tau_4$ 에 대하여 전계해석을 실시하여 기준치를 만족하는 결과를 <표 3>과 같이 확인하였으며 ℓ_1 , ℓ_2 의 거리를 최대한 줄여서 접속함의 사이즈를 최소화 하였다

〈그림 3〉 400kV PJ (조립식 접속함) 전계관리부



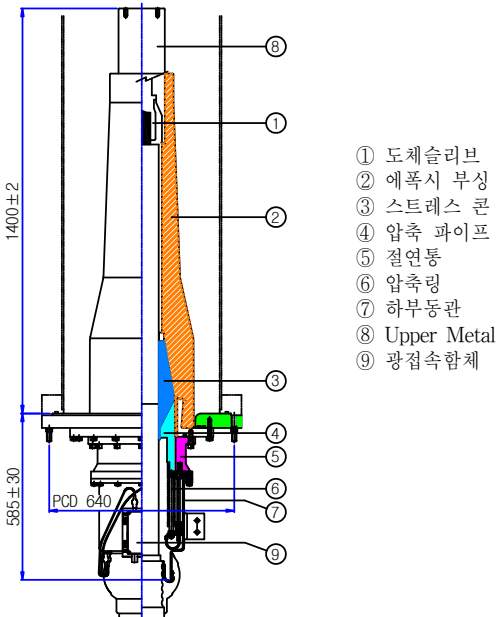
〈표 3〉 400kV PJ (조립식 접속함) 전계강도 기준치 및 해석치

관리부	전계강도(kV/mm)기준치 at 736kV	전계강도(kV/mm)해석치 at 736kV
τ_1	6.5 ↓	6.0
τ_2	3.7 ↓	3.4
τ_3	20.9 ↓	19.1
τ_4	16.0 ↓	15.0

2.1.2.2 EB-G (가스중 종단접속함)의 구조 및 설계

가스중 종단접속함은 GIS에 연결되는 종단접속재로 에폭시부싱과 SF6가스 계면간의 절연내력이 중요하며 절연설계는 중간접속함과 동일한 기준치를 적용하여 설계하였다

〈그림 4〉 400kV XLPE 630SQ 광복합 EB-G의 구조



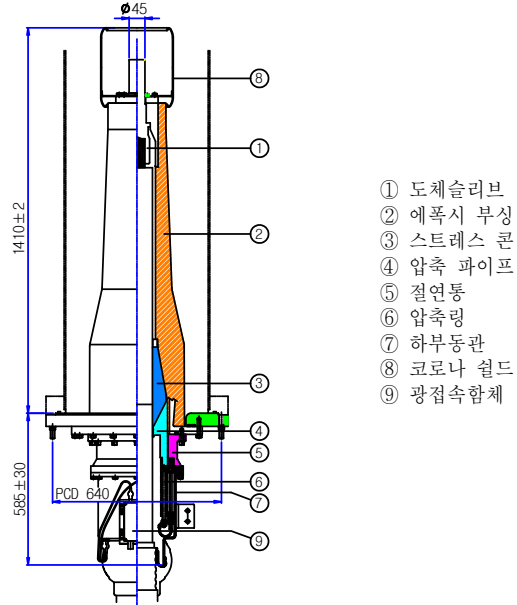
- ① 도체슬리브
- ② 에폭시 부싱
- ③ 스트레스 콘
- ④ 압축 파이프
- ⑤ 절연통
- ⑥ 압축링
- ⑦ 하부동관
- ⑧ Upper Metal
- ⑨ 광접속함체

2.1.2.3 EB-O (유중 종단접속함)의 구조 및 설계

EB-O(유중 종단접속함)는 EB-G와 비슷한 구조이나 Gas대신 오일을 사용하므로 에폭시부싱과 오일계면 간의 전기적 설계가 보다 중요하다.

따라서, 에폭시부싱의 외부 형상을 다양하게 변경시키면서 에폭시부싱과 오일계면 간에 최적의 전계형상을 갖도록 설계하였다.

〈그림 5〉 400kV XLPE 630SQ 광복합 EB-O(유중 종단접속함)



- ① 도체슬리브
- ② 에폭시 부싱
- ③ 스트레스 콘
- ④ 압축 파이프
- ⑤ 절연통
- ⑥ 압축링
- ⑦ 하부동관
- ⑧ 코로나 쉴드
- ⑨ 광접속함체

2.2 시험

PJ, EB-G, EB-O의 주요절연부품은 전수 전기시험을 실시하였고, 조립상태의 시험으로서 초기성능시험과 인증기관 입회하의 Type Test를 실시하였다

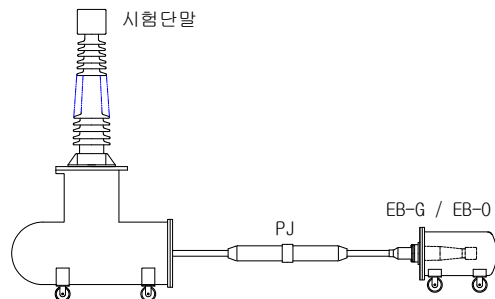
2.2.1 초기성능시험

초기성능시험은 제품의 신뢰성을 검증하기 위하여 시험전압을 높은 상태에서 시험을 실시하며 시험규격을 <표 4>와 같이 정하여 상용주파 내전압시험과 뇌임펄스 내전압시험을 실시하여 성능을 확인하였다 초기성능시험회로는 <그림 6>과 같이 전압을 인가하기 위하여 시험단말을 사용하였고 PJ(조립식 접속함)와 EB-G(가스중 종단접속함)를 연결하여 시험하였으며, EB-G(가스중 종단접속함)부분에는 EB-O(유중 종단접속함)를 교체 조립하여 시험하였다

〈표 4〉 400kV XLPE 630SQ 광복합 부속재 초기성능시험 규격

No	항 목	초기성능시험규격	비고
1	상용주파 내전압시험	AC680kV/12.5Hr	Pass
2	뇌임펄스 내전압시험	±1,730kV/10회	Pass

〈그림 6〉 400kV XLPE 630SQ 광복합 접속재 초기성능시험 회로



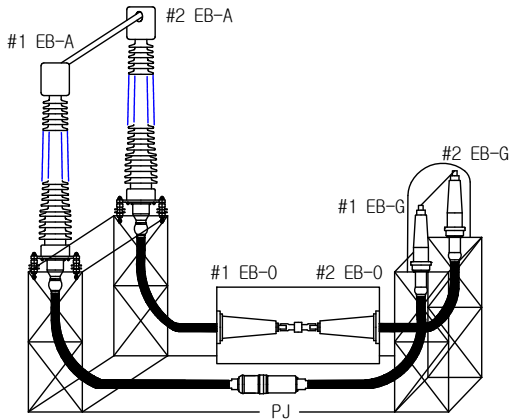
2.2.2 인증시험 (Type Test)

Type Test는 인증기관인 KEMA입회하에 EB-A(기중 종단접속함) 2상, EB-G(가스중 종단접속함) 2상, EB-O(유중 종단접속함) 2상, PJ(조립식 접속함) 1상으로 <그림 7>과 같이 시험회로를 구성, IEC62067규격에 의하여 시험을 실시하여 성능을 확인하였으며 시험규격은 <표 4>와 같다

<표 4> 400kV Type Test 시험 규격

항 목	규 격	비 고
PD 시험	330kV 5pC↓(A/T)	Pass
Heat Cycle 시험	440kV/20 Heat Cycles	Pass
PD시험	330kV 5pC↓(H/T & A/T)	Pass
뇌임펄스 시험	±1,425kV/10times(H/T)	Pass
스위칭임펄스 시험	±1,050kV/10times(H/T)	Pass
AC내전압 시험	440kV/15min.	Pass
PJ수밀 시험	20Cycles(20℃ ↔ 75℃)	Pass

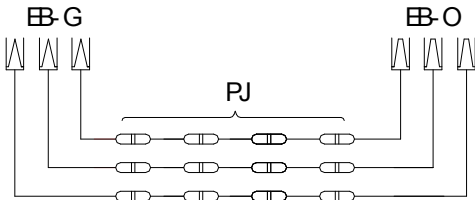
<그림 7> 400kV XLPE 630SQ 접속재 Type Test 회로



2.3 시공

2008년 400kV XLPE 1Cx630SQ 광복합 케이블 PJ(조립식 접속함), EB-G(가스중 종단접속함), EB-O(유중종단접속함)로 구성된 초고압 지중선로를 AL TAWEELAH에 시공 완료하였다
 중간접속함은 직매구간이고 EB-G(가스중 종단접속함), EB-O(유중 종단 접속함)는 옥외에 설치하는 방식으로 당사는 본 Project에 설치되는 접속함을 시공하는 동안 충분한 관리를 행하면서도 단기간에 설치를 완료하여 시공능력을 인정받았다
 AL TAWEELAH에 설치된 접속함의 diagram은 다음과 같다

<그림 8> AL TAWEELAH 선로 Diagram



<그림 9> 400kV XLPE 630SQ 광복합 조립식 접속함 시공



<그림 10> 400kV XLPE 630SQ 광복합 가스중 종단접속함 시공



<그림 11> 400kV XLPE 630SQ 광복합 유중 종단접속함 시공



3. 결 론

본 400kV XLPE 630SQ Project의 개발, 시험과정을 통하여 신뢰성을 향상시킨 접속재를 개발하였고 2008년 UAE AL TAWEELAH에 본 접속재의 시공을 완료하여 현재 운전중에 있다
 당사는 본 400kV XLPE 1Cx630SQ 개발을 완료하여 400kV급 접속재에 있어 630SQ~2500SQ에 이르는 전 규격의 기술을 확보하였고 본 경험을 추후 500kV 접속재 개발에 활용할 계획이다

[참 고 문 헌]

[1] 대한전선(주) “345kV XLPE 케이블 장거리선로 현장 준공 및 운전” (2003)