

400kV Enameled Cu 1C×2500SQ 케이블 접속재 개발 및 실선로 적용

김영택, 김현주, 김한화, 박정기, **한두현**, 최만옥
 대한전선(주)

Development & Practical Installation of 400kV XLPE 1Cx2500SQ Enamel coating Power Cable Accessories

Young-Tek Kim, Hyun-Ju Kim, Han-Hwa Kim, Jeong-Ki Park, Du-Hyun Han, 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 진행되어온 초고압송전계통의 일반적 추세이다. 이러한 경향으로 해외에서는 케이블 도체의 송전용량을 증대시킬 수 있는 방법으로 케이블 도체에 에나멜 코팅을 하여 집합을 한다. 그러므로써 기존 케이블에서 발생하는 표피현상 및 근접효과에 의한 AC 저항 요소를 줄여 요구하는 전류용량을 기존 비소선절연 케이블에 비해 더 많이 송전할 수 있다. 하지만, 소선절연 케이블이 전류 용량을 증대시킬 수 있는 장점은 있으나 접속재의 경우 도체의 에나멜 코팅을 제거해야 하는 문제점이 있다. 당사는 에나멜 코팅을 제거하는 방법을 개발 완료함으로써 본 접속재의 개발을 앞당길 수 있었다.

당사는 쿼웨이트 400kV MEW/C/3931 Project에 400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 초고압송전라인을 적용하였는데 본고에서는 여기에 적용된 400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 케이블 부속재의 신뢰성을 높이기 위한 설계방법, 시험 및 시공에 대하여 요약하였다.

1. 서 론

당사는 기존의 400kV급 XLPE 630SQ(소도체)~2500SQ(대도체) 접속재 개발경험을 바탕으로 본 쿼웨이트 프로젝트에 적용될 400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 케이블 접속재인 PMJ(Pre-Molded Joint, 조립식 접속함), EB-G(가스중 종단접속함), Slip-on type EB-A(기중 종단접속함)의 개발, 인증시험(T/T, PQ) 및 실선로 시공을 하였다.

PMJ 주요절연물인 고무 유닛은 내부절연물 형상의 변경을 통하여 전기적으로 안정적인 모델을 구현하였으며, 공장제조시 품질관리를 엄격히 하는 한편 접속방법을 단순화 하여 시공시에 발생할 수 있는 주변의 불안정한 요소가 최대한 배제되도록 하였다.

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

EB-A(기중 종단접속함)는 기존 접속재와 달리 Slip-on type의 비압축 방식이며, 주 절연물인 스트레스콘을 실리콘 재질을 적용하여 향상된 전기적 특성을 유지하도록 설계되었다.

본 쿼웨이트 납품용 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 케이블 부속재 개발, 시공을 함으로써 400kV급 XLPE 소선절연 케이블에 있어 국내 최초의 케이블 및 접속함의 개발을 완료하였으며 본고에서는 본 제품의 개발 및 실선로 시공의 개요를 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 부속재의 설계조건

400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 케이블 부속재 개발품목은 PMJ(조립식접속함), EB-G(가스중종단접속함), EB-A(기중종단접속함) 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 1Cx2500SQ 소선절연 케이블의 구조

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

<표 2> 400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 케이블의 구조

항 목	단위	재질/형상/치수
도체	재질	-
	형상	-
	외경	mm
내부 반도전층	재질	-
	두께	mm
절연체	재질	-
	두께	mm
외부 반도전층	재질	-
	두께	mm
금속시스	형상	-
	재질	-
	두께	mm
방식층	재질	-
	두께	mm
케이블 최대외경	mm	166
직류최대도체저항(20℃)	Ω/km	0.0072
케이블 중량	kg/km	66,172

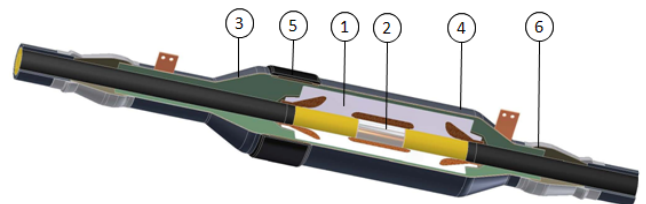
2.1.2 부속재의 설계

쿼웨이트 400kV MEW/C/3931 Project에 적용된 접속함은 가공선 인 가용 EB-A(기중종단접속함), 케이블간의 연결을 위한 PMJ(Pre-molded Joint, 조립식접속함), 종단의 전기기기 연결되는 EB-G(가스중종단접속함) 이들 접속함의 설계내용은 다음과 같다.

2.1.2.1 PMJ(조립식접속함)의 구조 및 설계

중간접속함으로 적용된 PMJ(조립식 접속함)는 케이블 양단 도체를 압축 슬리브로 연결 후 실리콘 재질의 고무 유닛을 케이블 절연체에 삽입하여 실리콘 고무의 자체 탄성에 의한 면압 형성으로 계면의 전기적 스트레스를 흡수하는 원리를 이용한다.

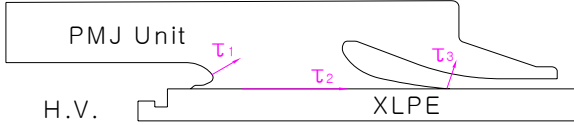
아래<그림 1>와 같이 PMI(조립식 절연접속함)를 도시하였는데 구조가 간단하며, 고무 유닛은 절연체와 반도전체로 구성되어 있다.



- ① 고무 유닛
- ② 코로나 쉴드
- ③ 보호관 (A)
- ④ 보호관 (B)
- ⑤ 절연통
- ⑥ 방식층

<그림 1> 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 PMI의 구조

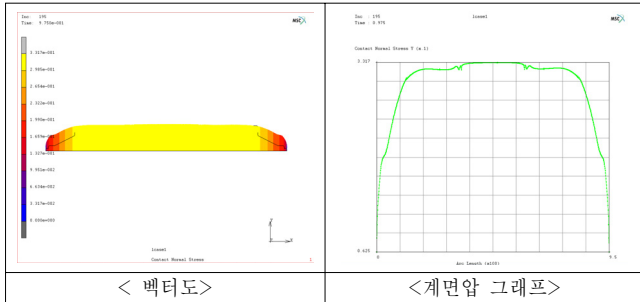
이러한 구조의 특성상 중앙매립전극부 선단의 스트레스(τ_1), 고무절연 물과 XLPE 케이블 절연물 계면간의 연면방향 스트레스(τ_2) 및 반도전 Deflector 입상부의 반경방향 스트레스(τ_3)가 설계에 있어서 중요 관리 부위가 되며, 전계관리부인 $\tau_1 \sim \tau_3$ 에 대하여 전계해석을 실시하여 기준치를 만족하는 결과를 <표 3>과 같이 확인하였으며, 또한 조립시 자체 탄성력에 의한 케이블 절연과 고무 유닛 계면압을 <그림 3>에서와 같이 확인하여 장기사용에 문제없음을 확인하였다.



<그림 2> 400kV PMJ (조립식 접속함) 전계관리부

<표 3> 400kV PMJ (조립식 접속함) 전계강도 기준치 및 해석치

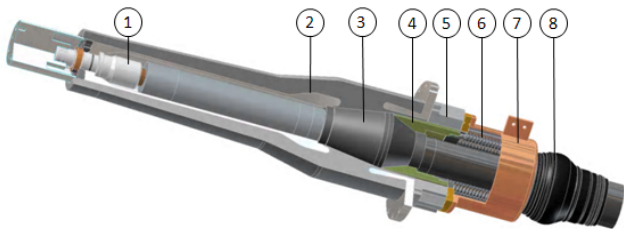
관리부	전계강도(kV/mm)기준치 at 760kV	전계강도(kV/mm)해석치 at 760kV
τ_1	26.3 ↓	19.64
τ_2	7.9 ↓	6.24
τ_3	20.1 ↓	13.62



<그림 3> 400kV PMJ (조립식 접속함) 응력해석 결과

2.1.2.2 EB-G (가스중 종단접속함)의 구조 및 설계

EB-G(가스중 종단접속함)은 GIS에 연결되는 종단접속재로 에폭시 부싱과 SF6가스 계면간의 절연내력이 중요하며, 상부금구와 연결되는 도체슬리브가 충분한 접촉단면적이 가능하도록 설계하였다.



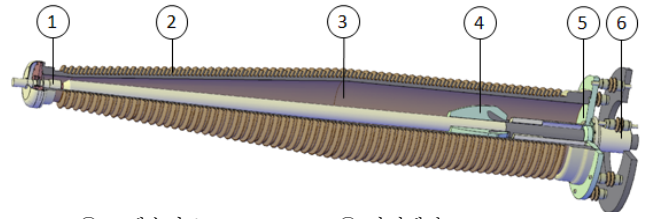
- ① 도체슬리브
- ② 에폭시 부싱
- ③ 스트레스 콘
- ④ 압축 파이프
- ⑤ 절연통
- ⑥ 압축링
- ⑦ 하부동관
- ⑧ 방식층

<그림 4> 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 EB-G의 구조

2.1.2.3 EB-A (기중 종단접속함)의 구조 및 설계

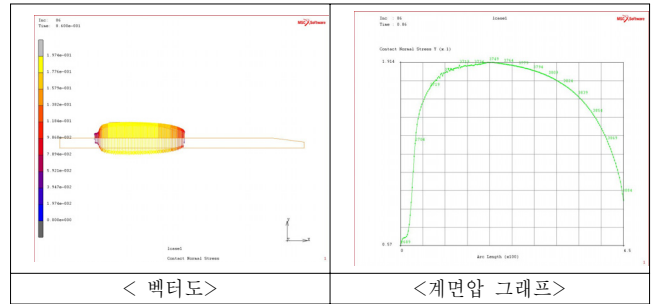
EB-A(기중 종단접속함)는 실리콘 고무 재질의 스트레스콘이 케이블 절연체에 삽입 되면 고무 자체 탄성력으로 케이블 절연과 스트레스콘 계면압을 형성하여 전기적 스트레스를 흡수하는 원리다.

자기애관 내부에는 실리콘 고무의 특성을 저하시키지 않는 절연오일을 사용하였으며, 스트레스콘의 형상 및 크기는 응력 및 전계해석을 통하여 최적의 전계형상을 갖도록 설계하였다.



- ① 도체슬리브
- ② 자기애관
- ③ 절연오일
- ④ 스트레스 콘
- ⑤ 피팅매탈
- ⑥ 하부동관

<그림 5> 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 EB-A의 구조



<그림 6> 400kV EB-A(기중 종단접속함) 응력해석 결과

2.2 시험

PMJ, EB-G, EB-A의 주요절연부품은 전수 전기시험을 실시하였고, 조립상태의 시험으로서 초기성능시험과 인증기관 입회하의 Type Test, PQ Test를 실시하였다.

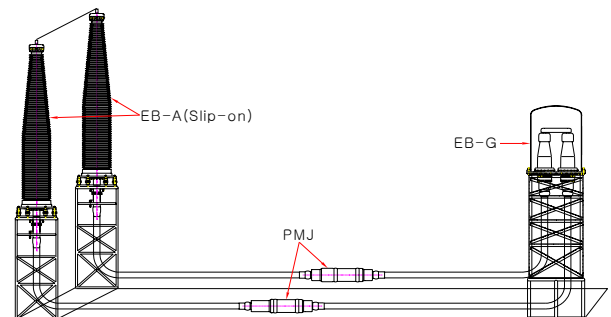
2.2.1 초기성능시험

초기성능시험은 제품의 신뢰성을 검증하기 위하여 시험전압을 높은 상태에서 시험을 실시하며 시험규격을 <표 4>와 같이 정하여 상용주파 내전압시험, 뇌임펄스 내전압시험 및 Heating Cycling 시험을 실시하여 성능을 확인하였다.

초기성능시험회로는 <그림 7>과 같이 전압을 인가하기 위하여 EB-A를 사용하였고 PMJ(조립식 접속함)와 EB-G(가스중 종단접속함)를 연결하여 시험하였으며, EB-A(기중 종단접속함), PMJ(조립식 접속함), EB-G(가스중 종단접속함)의 주절연물은 교체 조립하여 시험하였다.

<표 4> 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 부속재 초기성능시험 규격

No	항 목	초기성능시험규격	비고
1	상용주파 내전압시험	AC680kV/12.5Hr	Pass
2	뇌임펄스 내전압시험	±1,730kV/10회	Pass
3	열싸이클 내전압시험	AC470kV/20cycles	Pass



<그림 7> 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 접속재 초기성능시험 회로

2.2.2 인증시험 (Type Test)

Type Test는 인증기관인 KEMA입회하에 EB-A(기중 종단접속함) 2상, EB-G(가스중 종단접속함) 2상, PMJ(조립식 종단접속함) 1상으로 <그림 8>과 같이 시험회로를 구성, IEC62067규격에 의하여 시험을 실시하여 성능을 확인하였으며 시험규격은 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 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
PD 시험	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
PMIJ수밀 시험	20Cycles(20℃ ↔ 75℃)	Pass



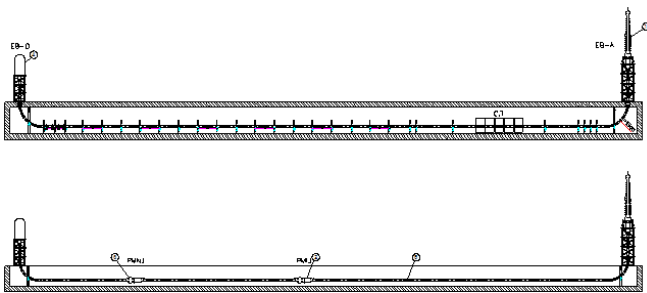
〈그림 8〉 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 접속재 Type Test 회로

2.2.3 장기과동전시험 (PQ Test)

장기과동전시험은 인증기관인 KEMA입회하에 EB-A(기중 종단접속함) 2상, EB-G(가스중 종단접속함) 2상, PMJ(조립식 종단접속함) 2상으로 〈그림 9〉과 같이 시험회로를 구성, IEC62067규격에 의하여 시험을 실시하여 성능을 확인하였으며 시험규격은 〈표 6〉와 같다

〈표 6〉 400kV PQ Test 시험 규격

항 목	규 격	비 고
열싸이클 내전압시험	374kV/180 Heat Cycles	Pass
뇌임펄스 시험	±1,425kV/10times(H/T)	Pass
육안검사	전기적 열화, 습기 침투	Pass



〈그림 9〉 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 접속재 PQ Test 회로

2.3 시공

2011년 400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 케이블 PMJ(조립식 접속함), EB-G(가스중 종단접속함), EB-A(기중 종단접속함)로 구성된 초고압 지중선로를 시공하였다.

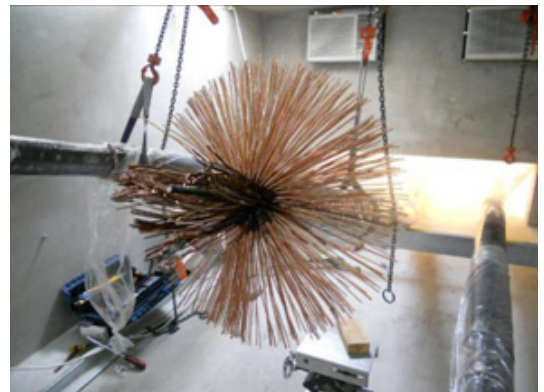
중간접속함은 직매구간이고 EB-G(가스중 종단접속함), EB-A(기중 종단접속함)는 옥외에 설치하는 방식으로 당사는 본 Project에 설치되는 접속함을 시공하는 동안 충분한 관리를 행하여 시공능력을 인정받았다.



〈그림 10〉 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 조립식 접속함 시공



〈그림 11〉 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 기중중 종단접속함 시공



〈그림 12〉 400kV 케이블 도체 에나멜 코팅 제거

3. 결 론

본 400kV XLPE 2500SQ 소선절연 Project의 개발, 시험과정을 통하여 신뢰성을 향상시킨 접속재를 개발하였고 2011년 쿠웨이트 MEW/C/3931 Project에 본 접속재가 시공중이며, 2011년 완료예정 에 있다.

당사는 본 400kV XLPE 1Cx2500SQ 소선절연 케이블 및 접속재 개발을 완료하여 소선절연 케이블 및 접속재에 대한 경험을 바탕으로 보다 적극적인 시장 공략의 발판을 마련하였다.