

400kV XLPE 케이블 시스템의 해외 인증시험

김지환, 강채홍, 백승엽, 최수걸, 허근도, 박완기
LG 전선 전력연구소

Type Test at KEMA for 400kV XLPE Cable and Accessories

J.H. Kim, C.H. Kang, S.Y. Baik, S.G. Choi, G.D. Huh, W.K. Park
LG Cable Electric Power Research & Technology Center

Abstract - 전 세계적으로 송전 용량의 증대 요구에 따라 송전 시스템이 초고압화 되어 가고 있으며 환경친화성 및 여러 특성에 있어 OF(Oil filled) 케이블에 비하여 우수한 성능을 지닌 XLPE(Crosslinked Polyethylene) 케이블의 사용이 급속하게 증가하고 있는 추세이다. 최근 345kV급 이상의 XLPE 케이블 시스템 개발이 해외 선진업체들에 의해 활발히 진행되고 있으며 이의 평가를 해외공인 인증기관에서 수행하여 개발된 제품의 디자인 검증 및 장기간 신뢰성을 입증하고 있다. 이러한 추세에 맞추어 LG 전선은 400kV 케이블 및 접속함의 사내 개발시험후 해외공인 인증기관인 네덜란드의 KEMA에서 IEC 62067에 따른 인증시험을 완료하여 개발된 제품의 높은 신뢰성을 인증 받았으며, 자사의 초고압 기술을 한 단계 상승시켜 세계 선진업체들과 경쟁할 수 있는 발판을 마련하였다.

1. 서 론

XLPE(Crosslinked Polyethylene) 케이블은 OF(Oil filled) 케이블 대비 방열 특성, 송전 손실 특성 등이 우월하고 설치 및 보수가 용이하여 세계적으로 적용 선로의 확장 및 고전압화가 급속히 진행되고 있다. 현재까지 국내 지중 송전 선로에서는 154kV급이 주로 사용되고 있으나 점차 345kV급으로 바뀌어 가고 있는 추세이다. 그러나 아직은 전 세계적으로 300kV급 이상의 XLPE케이블 사용 실적이 부족하여 345kV 시스템으로 OF케이블을 사용하고 있으나 머지않아 XLPE 케이블을 적용하게 될 것이다. 자사에서도 이러한 국내의 추세에 맞추어 400kV급 케이블과 접속함을 개발 하였다.

새롭게 개발된 400kV급 초고압 XLPE 케이블은 제조공정의 개선을 통하여 절연 파괴 강도를 10kV/mm에서 13.1kV/mm로 향상 시켰다. 접속함은 케이블과 절연체 조가 가능하도록 최적의 구조로 설계하였으며, 직선 접속함의 경우 조립시간의 단축 및 이물 혼입 가능성을 줄이기 위하여 조립형 접속함(Prefabricated Joint)를 개발하였다. 본 논문에서는 400kV케이블 및 접속함의 구조와 사내 개발 시험과 PQ(prequalification) 시험 그리고 KEMA 인증 시험에 관하여 소개한다.

2. 본 론

2.1 케이블의 개발

400kV급 XLPE 케이블 개발을 위해 Clean Room 개선, 원료 공송시스템 구축, In-line 이물검출 시스템 구축 및 고밀도 Screen mesh 사용 등을 통해 절연층의 제조공정을 개선하였으며, Super clean & smooth type의 반도체 컴파운드를 적용하여 절연 파괴 강도를 10kV/mm에서 13.1kV/mm로 향상 시켰다.

또한, Weibull 분포시험을 통하여 최적의 절연두께(29mm)를 산출 하였다.

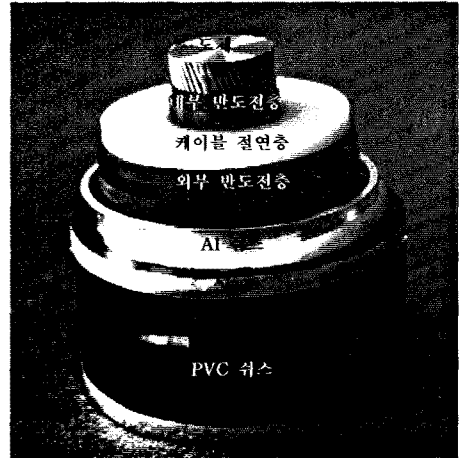


그림 1. 400kV 케이블

표 1. 400kV 케이블의 구조

| 항목 | 단위 | 규격치 | |
|--------------|-------|-----------------|--------|
| 도체 | 공칭단면적 | mm ² | 1200 |
| | 형상 | | 4분할 압출 |
| | 도체외경 | mm | 41.8 |
| 내부 반도체층 두께 | mm | 1.5 | |
| 절연체 두께 | mm | 29 | |
| 절연체 외경 | mm | 104.26 | |
| 외부 반도체층 두께 | mm | 1.3 | |
| AL sheath 두께 | mm | 2.8 | |
| PVC 두께 | mm | 6 | |
| 전체 케이블 외경 | mm | 140.6 | |
| 케이블 중량 | kg/m | 25.93 | |

2.2 접속함의 개발

2.2.1 직선 접속함(PJB)

직선 접속함의 구조는 그림 2와 같이 케이블 외부 반도체층 끝단의 전계집중을 완화시키는 고무절연체(스트레스콘)를 에폭시 절연체와 케이블 절연체 사이에 밀착시킨 후 절연체간 접촉 계면에 스프링력을 통해 충분한 압력이 유지되도록 설계되었다.

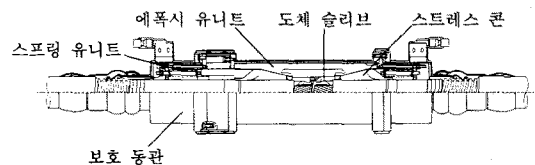


그림 2. 직선 접속함(Prefabricated Joint)

2.2.2 SF6 가스중 중단 접속함(EB-G)

SF6가스중 중단 접속함은 그림 3과 같이 에폭시 애관과 스트레스콘 및 스프링 압축장치를 사용하였고 내부 케이블 연면 방향으로의 전기적 스트레스는 실리콘 오일을 이용하여 분산하는 안정한 구조로 설계되었다.

2.2.3 기중 중단 접속함(EB-A)

기중 중단 접속함의 절연구조는 그림 3과 같이 OF 구조에서 많이 사용되고 있는 유침지 방식의 콘덴서콘을 사용하여 전기적 스트레스를 분산하는 구조를 채택하였다. 애관하부의 에폭시 좌와 스트레스 콘은 oil sealing 및 절연 역할을 한다.

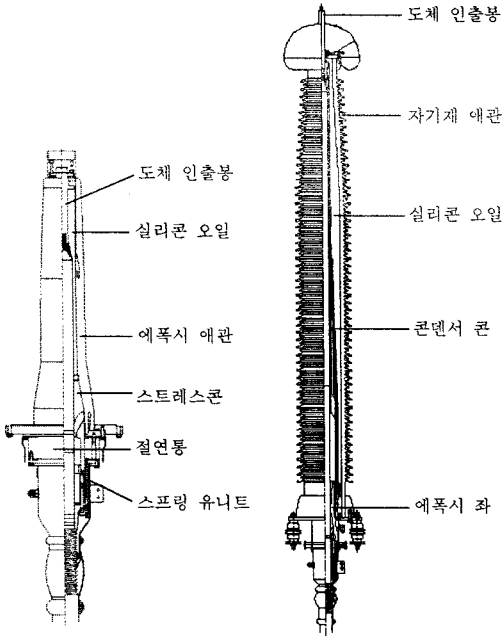


그림 3. SF6 가스중 중단 접속함과 기중 중단 접속함

2.3 평가 시험

2.3.1 부품의 평가

에폭시 및 고무로 제조된 주요 부품에 대하여 조립전 부품 상태에서 성능을 평가하는 시험을 실시하였다. 시험 항목 및 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 부품시험 결과

| 구분 | 시험 항목 | 규격 | 결과 |
|------------------|------------|----------------------|-------|
| 에폭시 유니트 및 에폭시 애관 | 외관 및 구조치수 | 도면과 부합 | 양호 |
| | Heat cycle | -30℃~90℃ 각 1시간 5회 | 양호 |
| | Heat shock | 5℃~95℃ 각 1시간 10회 | 양호 |
| | 보이드 및 이물 | 20μm 이하 | 양호 |
| 고무 스트레스콘 | 부분방전 | 330kV 5pC 미만 | No PD |
| | 외관 및 구조치수 | 도면과 부합 | 양호 |
| | 보이드 및 이물 | 20μm 이하 | 양호 |
| | 부분방전 | 330kV 5pC 미만 | No PD |

2.3.2 사내 Type Test

사내개발 시험에는 IEC 840과 CIGRE Recommendation을 확장 적용하여 시험을 진행하였다. Type

test는 기중 중단 접속함, SF6 가스중 중단 접속함 그리고 직선 접속함 각 2개씩으로 구성된 시험 선로에 대하여 연속적인 시험을 실시하였고 완료 후 추가적으로 케이블과 접속함에 대해 AC파괴 및 Impulse파괴시험의 잔존 평가를 실시하여 그 결과를 표 3에 나타내었다.

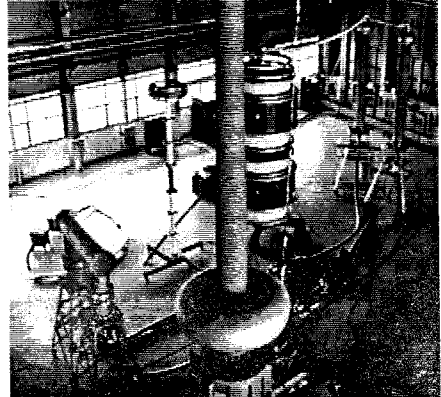


그림 4. 사내 Type test 시험 선로

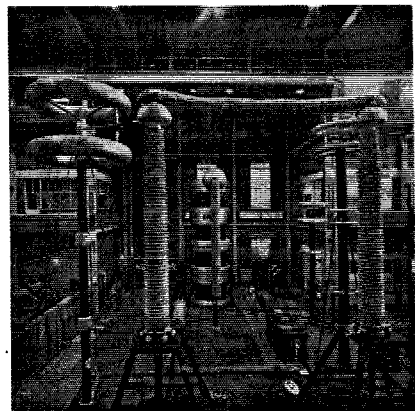
표 3. 사내 Type test 결과

| 시험 항목 | 규격 | 결과 |
|---------------------|----------------------------|-------------|
| 1 부분방전 | 330kV 5pC미만 | No PD |
| 2 Heat Cycle | 440kV/20 Cycle 도체온도 95℃ | 양호 |
| 3 부분방전 | 330kV 5pC미만 | No PD |
| 4 Switching Impulse | ±950kV/10회 | 양호 |
| 5 Lightning Impulse | ±1425kV/10회 | 양호 |
| 6 AC 내전압 | 550kV/15분 | 양호 |
| 7 AC 파괴 | 50kV/3hr step | 1250kV ↑ |
| 8 Impulse 파괴 | -50kV/3회 step | -2725kV(1회) |

2.4 해외 인증 시험

400kV XLPE 케이블과 접속함을 평가하기 위한 연구 개발의 최종 단계로서 해외공인 인증기관(KEMA)에서 인증 시험을 실시하였다.

현재 400kV급 XLPE케이블 및 접속함의 시험 사양은 세계적으로 사양화 되어 있지 않으나, 1997년 IEC에서 150kV(Um=170kV) 이상 500kV(Um=525kV)까지의 XLPE power cable system의 시험 규정이 초안(Draft)으로 제정되었다. 본 개발품의 해외 인증 시험은 IEC draft 20A/407/CD 에 명시된 IEC 62067의 시험 규정을 적용하였다



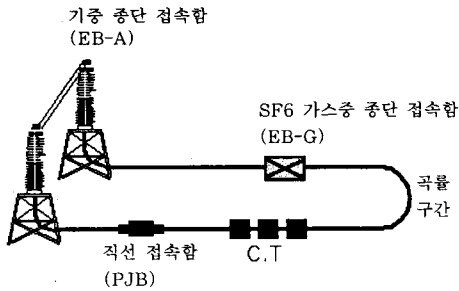


그림 5. KEMA 시험 시료의 구성

표 4. 해외 인증 시험의 결과

| 시험 항목 | 규격 | 결과 |
|---------------------|----------------------------|-------|
| 1 부분방전 | 330kV 5pC미만 | No PD |
| 2 Tan δ | ≤10×10 ⁻⁴ | 양호 |
| 3 Heat Cycle | 440kV/20 Cycle 도체온도 95℃ | 양호 |
| 4 부분방전 | 330kV 5pC미만 | No PD |
| 5 Switching Impulse | ±1050kV/10회 | 양호 |
| 6 Lightning Impulse | ±1425kV/10회 | 양호 |
| 7 AC 내전압 | 440kV/15분 | 양호 |

2.5 사내 Prequalification Test

400kV system의 장기적인 신뢰성 확보를 위해 1년 이상의 장시간이 소요되는 PQ시험을 사내에서 진행 중에 있다. PQ장의 시험 선로 구성은 그림 6 과 같이 실제 포설조건을 그대로 모의하여 설치하였다.

표 5. 요구 성능

| 시험 항목 | IEC Draft (IEC62067 1999) |
|-------------------|---|
| Heating cycle | 90~95℃ 2h, 16h on/32h off 400kV/183cycle (1year) |
| Switching Impulse | ±1050kV/10회 |
| Lightning Impulse | ±1425kV/10회 |

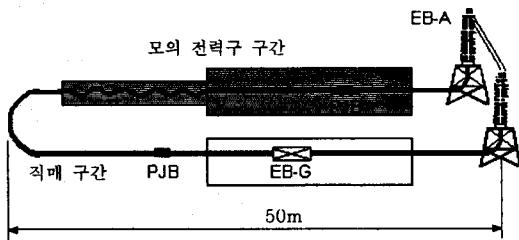


그림 6. 사내 PQ 시험 선로

또한 장기간의 시험중 케이블의 열신축 변화를 측정하기 위해 그림 7과 같이 slider설치부와 off-set부 변곡 부위에 변위 센서를 설치 하였다. 또한 광케이블을 통해 전선로 구간에서 실시간으로 온도를 측정하고 각 접속함 부분에는 내장형 고주파 센서를 설치하여 시험중 지속적으로 부분방전을 monitoring 할 수 있는 시스템을 구축하였다.

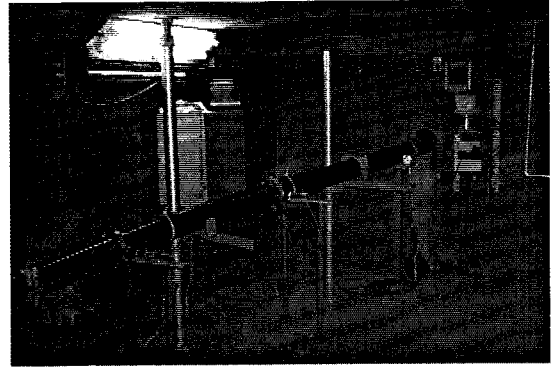


그림 7. Monitoring 시스템의 설치

3. 결 론

In-line 이물검출 시스템 구축 등의 제조 공정 개선과 Super clean compound의 적용을 통하여 절연 성능을 향상 시킨 400kV XLPE 케이블을 개발하였다.

접속함은 현장에서의 조립시간 단축 및 사고시 빠른 복구를 위해 조립형 접속함을 개발하였으며, 각 부품의 전기적 및 물리적 시험을 통하여 품질이 확인된 제품을 현장에서 조립 할 수 있게 하여 제품의 성능을 향상 시켰다.

400kV XLPE케이블 및 접속함은 사내 type test를 통하여 제품의 성능을 충분히 확인하였으며 system의 장기적인 신뢰성 확보를 위해 PQ장을 건설하여 현재 PQ 시험을 진행 중에 있다. 또한 해외 공인 인증 시험 기관에서의 인증 시험을 통과함으로써 자사의 초고압 기술 수준을 세계에 알릴 수 있었으며 해외 시장에서 선진 업체들과 경쟁할 수 있는 발판을 마련하였다.

[참 고 문 헌]

- [1]Cigre Working group 21.03, "Recommendation for Electrical tests Prequalification and Development on Extruded Cables and Accessories at voltages >150(170)kV and ≤ 400(420)kV", Electra 1993.
- [2]Cigre Working group 21.03, "Recommendation for Electrical tests Type, Sample and Routine on Extruded Cables and Accessories at voltages >150(170)kV and ≤400(420)kV", Electra 1993.
- [3]IEC Publication 840, "Test for Power Cables with Extruded Insulation and their accessories for rated voltages above 30kV up to 150kV"
- [4]IEC Draft 62067, "Cable with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV (Um=170kV) up to 500kV(Um=525kV) -Test methods and requirements", 1999
- [5]M.K.Choi et. al., "Development of 400kV XLPE carenable and accessories in Korea", CIGRE 21-107, 1998