

154kV OF-XLPE 이중케이블 접속함의 개발

김화중, 강병국, 송재혁
대한전선(주) 초고압 기기기술팀

Development of Transition Joint for 154kV OF Cable and XLPE Cable

H.J.Kim, B.K.Kang, J.H.Song
Taihan Electric wire Co., Ltd. EHV cable Accessories Engineering Team

Abstract - 최근 XLPE 케이블의 신뢰성 향상을 위한 지속적인 연구 및 기술개발이 성과를 나타내면서, 지난 한세기동안 세계적으로 실선로에 적용되어 그 신뢰성을 인정받던 OF 케이블이 XLPE 케이블의 상대적으로 낮은 송전 손실, 높은 방염 특성 및 유지보수와 설치의 편의성에 밀려 그 수요가 급격히 감소하고 있는 추세이다. 이러한 추세에 따라 기존의 OF 케이블 선로의 증설 또는 이설 공사의 경우, 기설 OF 케이블 선로에 XLPE 케이블을 연결하여 사용하는 경향이 많아지며, 이 이중의 케이블을 상호간 연결하는 중간접속함의 필요성이 대두되었다.

이 이중케이블 접속함은 각 케이블의 제반 특성을 최대한 유지하는 동시에 장기적인 신뢰성 확보가 최대 과제이며, 기설의 전력구에 사용하기 위한 경량화 또한 요구된다.

1. 서 론

현재 전세계적으로 초고압 지중전력케이블로 유입(O.F, Oil Filled)케이블 및 가교폴리에틸렌(XLPE)케이블이 실선로에 주로 적용되고 있다. 국내의 경우 10여년전까지는 154kV급 이상의 지중전력케이블로 OF케이블이 주종을 이루었다. 그러나, XLPE케이블의 제조기술의 점진적인 진보로 파생된 신뢰성 향상 및 설치의 편리성이라는 장점이 부각되면서 점차적으로 XLPE케이블의 비중이 커지게 되었다. 2002년에 이르러 345kV급 XLPE케이블 및 접속함의 개발에 성공함으로써 현재는 154kV급 및 345kV급 지중전력케이블을 신설공사의 대부분이 XLPE케이블로 이루어지고 있다.

이러한 추세에 맞추어 기설의 OF케이블 선로의 증설이나 이설공사의 경우 XLPE케이블로 대체되고 있다. 이에 OF케이블과 XLPE케이블 상호간을 연결하는 이중케이블 접속함의 필요성이 대두되었다. 당사에서는 이러한 추세에 맞추어 345kV OF, XLPE 부속제 개발경험을 바탕으로 154kV급 이중케이블 접속함을 개발하였다. 본고에서는 이중케이블 접속함의 구조, 설계 및 전기적 검증 시험에 대해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 설계기준

2.1.1 전기적 설계기준

이중접속함의 설계에 적용된 시험전압 및 적용규격은 한전의 "154kV OF-XLPE 케이블 이중접속함" 구매시방서를 참조하였으며, 당사의 154kV, 345kV급 OF, XLPE 케이블 접속함 설계기준을 설계목표전압치로 산정하였다. 케이블은 154kV OF 단심 2000mm²케이블과 154kV XLPE(절연두께 17mm) 단심 2000mm²케이블을 기준으로 설계하였다. 전기적 설계기준은 다음의 표1과 같다.

[표 1] 전기적 설계기준

No.	항목	설계기준
1	공칭전압(U)	154kV
2	정격전압(U ₀)	87kV
3	최대사용전압(U _m)	161kV
4	BIL	750kV
5	상용주과장시간내전압	400kV/3시간
6	뇌임펄스내전압	-1080kV/3회

2.1.2 치수

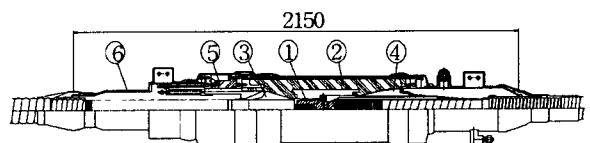
기설의 OF케이블 선로에 설치될 경우를 대비하여 154kV OF 케이블용 유지접속함의 치수와 동등하거나 축소된 치수를 바탕으로 설계하였다.

2.1.3 기계적 설계기준

지중전력케이블은 부하의 증감에 따라 축방향 및 반경방향으로 수축·팽창을 반복하게 되는데, 이때 축방향의 응력이 접속함에 영향을 미치게 된다. 당사에서는 이 축방향의 작용력이 최대 8ton일 경우를 기준으로 하여 설계하였다.

2.2 구조

당사에서 개발완료된 154kV XLPE 케이블용 PJ(Prefabricated Joint)를 설계기준으로 하였으며, 전계완화장치로 XLPE측에는 스트레스콘을 사용하였고, OF측에는 에폭시 벨마우스를 적용하였다. 특히, 이중접속함의 경우 OF케이블측으로부터 XLPE케이블로의 유입을 방지하기 위한 유지구조의 설계가 중요하다. 당사에서는 O-Ring을 도체슬리브와 내부전극간에 2중으로 취부하여 유지기능을 하게 설계하였다. 그 개략적인 구조는 다음과 같다.



- ① 도체슬리브
- ② 에폭시유닛
- ③ 스트레스콘
- ④ 에폭시벨마우스
- ⑤ 에폭시절연통
- ⑥ 보호관

2.3 XLPE 절연설계

XLPE케이블층은 154kV XLPE 케이블용 PJ의 구조와 동일하게 하였다. 이 구조의 원리는 내부전극이 매립된 에폭시 유니트에 전계완화장치인 EPDM 재질의 스트레스콘을 스프링력에 의해 밀착시켜 필요한 성능을 얻는 것으로, 주요절연물인 에폭시 유니트 및 스트레스콘이 공장에서 생산, 조립되기 때문에 높은 신뢰성을 지닌다.

이러한 구조의 접속함은 다음의 그림2에서 보는 것과 같이 각 부위($\tau_1 \sim \tau_5$)에서의 전계치가 설계기준치에 만족하여야 한다. 이를 위해 각 절연물의 치수와 형상을 변경하면서 전계해석프로그램에 의해 각 부위에서의 전계치를 산출하였다. 여기서, τ_1 및 τ_3 는 각 절연물간의 계면에서의 연면방향 스트레스를 나타내며, τ_2, τ_4, τ_5 는 각 절연물(에폭시, EPDM 및 XLPE)의 절연파괴스트레스를 나타낸다. 또한 에폭시 유니트 중앙매립전극단과 스트레스콘단의 접침길이 m 은 공기의 절연과괴강도를 감안하여 결정하였다. 결과적으로 목표한 전기적 성능에 만족하는 최적의 형상 및 치수를 선정하였다. 각부위에서의 예상절연과괴전압치는 표 2와 같다.

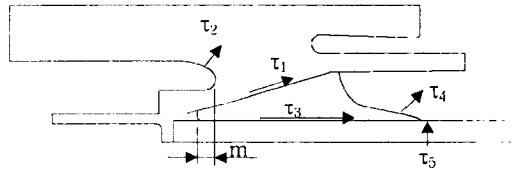


그림 2. XLPE케이블층 절연설계 관리부

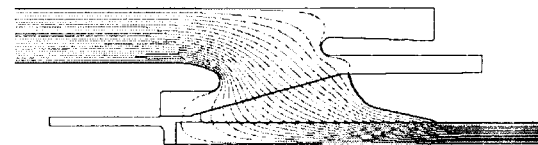


그림 3. XLPE케이블층 등전위선도

[표 2] XLPE케이블층 각부 예상과괴전압

부위	상용주파내전압	충격내전압
τ_1 (Epoxy ~ SRC)	500kV	1400kV
τ_2 (Epoxy)	500kV	1300kV
τ_3 (XLPE ~ SRC)	600kV	1400kV
τ_4 (SRC)	500kV	1300kV
τ_5 (XLPE)	420kV	1100kV

2.4 스트레스콘 면압설계

스트레스콘의 계면압력과 계면에서의 내전압특성간의 관계는 계면압력이 2kgf/cm²에서 내전압치가 오화되기 시작하여 6kgf/cm²이상이 되면 완전히 포화된다. 이러한 특성을 고려하여 본 접속함은 압축스프링의 압력을 4kgf/cm² 이상이 되게 설계하였다.

2.5 OF 절연설계

OF케이블층은 기본적으로 보강절연지층으로 케이블 절연층을 보강한 뒤, 전계완화장치로 에폭시제의 벨마우스를 사용하였다. 전기적인 요소를 고려하여, 보강절연지층의 외경, Stress Relief Cone의 길이 및 내부절연거리를 결정하였다. 중앙매립전극 및 벨마우스는 전계해석 과정을 거쳐 에폭시유니트 자체 절연내력(τ_2), 에폭시유니트~벨마우스(τ_1) 및 보강절연지층~벨마우스(τ_3) 계면의 연면전계와 벨마우스 자체(τ_4) 절연내력을 고려하여 전기적 성능을 만족하는 최적의 형상으로 설계하였다. 각부위에서의 예상절연과괴전압치는 표 3에 나타내었다.

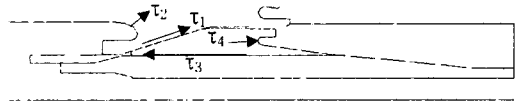


그림 4. OF케이블층 절연설계 관리부

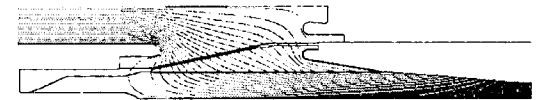


그림 5. OF케이블층 등전위선도

[표 3] OF케이블층 각부 예상과괴전압

부위	상용주파내전압	충격내전압
τ_1 (Epoxy ~ B/M)	-	1200kV
τ_2 (Epoxy)	500kV	1200kV
τ_3 (Paper ~ B/M)	-	1350kV
τ_4 (B/M)	600kV	1450kV

2.6 기계적 설계

부하의 증감에 따른 케이블 축방향 및 반경방향의 수축·팽창 및 스트레스콘 압축 스프링력에 의한 기계적 응력이 작용하게 된다. 이때의 최대작용력이 8ton이 되는데, 이 작용력을 고려하여 에폭시유니트의 에폭시 및 슬리브의 에폭시유니트 고정부가 충분한 인장강도를 가지게 설계하였다.

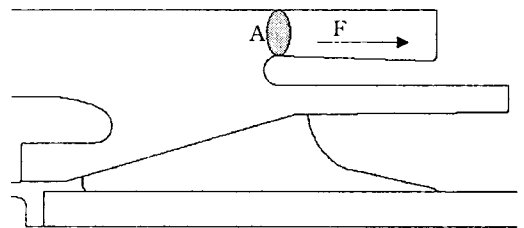


그림 6. 기계적 응력 검토 부위

3 성능 시험

3.1 에폭시유니트 냉열시험

에폭시유니트는 에폭시를 주절연재료로 사용하고, 내부에 알루미늄 재질의 전극이 매립되어 있다. 이 이중 재료의 열팽창 차이때문에 부하중감에 따른 내부응력에 의해 제품의 결합이 발생할 우려가 있다. 이러한 조건을 가정하여 에폭시유니트를 80℃의 온도차를 가진 온조와 냉조에 각각 1시간씩 담귀 총10 사이클을 시험하여 에폭시유니트의 이상유무를 확인하였다.

3.2 전기적 성능 시험

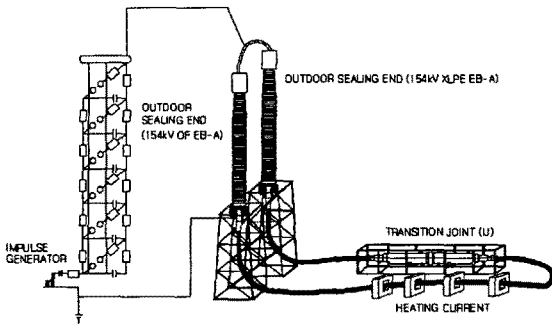


그림 7. 열싸이클 시험선로

IEC60840에 규정된 XLPE케이블의 열싸이클 시험을 위해 시험단말로 154kV OF EB-A 및 154kV XLPE EB-A를 각각 사용하였다. 인가전압 $2U_0(=174kV)$ 을 인가한 상태에서 8시간동안 케이블을 고온으로 유지하고, 16시간은 상온상태로 총20사이클의 시험을 실시하였다. 시험결과는 시험규격에 만족하였으며, 추가로 단시간 초기 성능을 확인하기 위해 AC 내전압시험과 Imp. 내전압시험을 실시하였으며, 그 결과는 아래의 표 4와 같은 성능을 확인하였다.

[표 4] 이중접속합 조립시험 결과

항목	기준	결과
부분방전시험	$1.5U_0$ 5pC이하(상온)	5pC ↓
열싸이클 시험	174kV/20사이클	이상없음
부분방전시험 (열싸이클시험후)	$1.5U_0$ 5pC이하 (R.T & H.T)	R.T : 5pC ↓ H.T : 5pC ↓
AC 내전압시험	AC400kV/3시간	이상없음
IMP. 내전압시험	IMP.-1080kV/3회(상온)	이상없음

4. 결론

이중접속합은 OF케이블 접속합 및 XLPE 케이블 접속합의 설계기준을 동시에 만족하여야 한다. 당사는 국내최초로 345kV OF 및 XLPE케이블용 접속합 개발에 성공한 기술력을 바탕으로 본 이중접속합 설계를 수행하였다.

시험결과, OF 케이블측의 경우 IMP.내전압 설계기준에 만족하였으며, XLPE 케이블측은 상용주파내전압설계기준에 만족하였다.

본 이중접속합의 개발로 현재 국내에 포설 운용 중인 OF케이블 선로를 XLPE 케이블 선로의 증설·전환을 가능케 하였으며, 해외 132kV급 이상의 이중접속합 수요에 능동적으로 대처할 수 있는 계기를 마련하게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 송변전건설처 “154kV OF-XLPE 케이블 이중접속합 구매시방서”(2003)
- [2] 대한전선(주), LG전선(주) “345kV OF 케이블 접속합 개발 완료 보고”(1996)
- [3] 대한전선(주) “345kV XLPE Cable 선로의 준공”(2003)