

Compact 230kV 케이블용 접속함 개발

이형석, 손시호, 김광수, 이광열, 장기욱, 배경무
LG 전선 전력 연구소

The Development of the compact accessories for 230kV XLPE cable

Lee Hyeong-Seok, Son Si-Ho, Kim Kwang-Soo, Lee Kwang-Yeol, Chang Ki-Wook, Bai Kyung-Moo
LG Cable Ltd, Electric Power Research & Technology Center

Abstract - XLPE cables are being used more widely all over the world as extra-high voltage transmission lines owing to the superior characteristics compared to OF cables. In view of the worldwide trend of utilizing high stress cables, we developed the accessories for 230kV XLPE cables which have smaller insulation thickness than that of present cables. The performance of the newly developed 230kV cable and its accessories has superior initial characteristics. As a result, the improved reliability of 230kV XLPE cable system has been obtained. This paper describes the major design concept and the test results of development procedure.

개발된 접속함은 케이블과 조합하여 시험, 평가를 완료하였으며 케이블과 동등 이상의 성능을 확보하는 것으로 하였다. 요구 성능은 IEC 60840을 참고로 사내 자체 규격을 선정하여 Proto 제품에 대한 초기 특성을 만족하는 것으로 하였으며 그 내용은 표 1과 같다(1),(5).

2.2 제품 구조

앞에서 설명한 바와 같이 제품구조의 단순화와 시공성을 고려한 경쟁력 있는 공급능력이 요구되는 시장환경에 부응하여 개발된 제품과는 차별화 되도록 개량하였다[2][3][4]. 개발한 제품의 설계 Concept은 중단 및 직선 접속함에 공히 Prefabricated 구조를 설계기준으로 적용하였다.

기중 중단 접속함은 기존의 Condenser cone type 전계완화 방식에서 고무 스트레스콘 방식으로 개선하였고, 스트레스콘의 전계 완화를 위해 에폭시와 size를 조정하여 첨두 전계를 완화시켰다. 에폭시와 구조로한 중단 접속함 설계시 문제가 되는 자기제애관 외부의 전계집중에 의한 Flash over특성은 내부의 에폭시와 위치 선정 및 자기제애관과 에폭시 사이의 절연유 gap증강을 통해 특성을 개선하였다. 이는 고압 및 저압부의 전극 위치를 적절하게 설정함과 동시에 연면전계 강도를 줄이기 위해 절연오일층의 간격을 시뮬레이션 해석과 반복 시험을 통한 시행 착오를 거치면서 최종적으로 구조를 확정할 수 있었다. 이러한 구조설계 보장을 통해 230kV 이상의 초고압 기중중단 접속함에서도 Prefabricated type의 적용이 가능하게 되었다.

그림1은 기중 중단 접속함의 구조를 보여 주고 있다.

1. 서 론

지중 송전 계통은 XLPE(Cross linked Poly-ethylene) 케이블이 주종으로 사용되고 있으며, 전력 수요의 증가에 따라 용량 증대를 위하여 계통의 전압이 초초고압화되고 있다. 최근에는 230kV급 계통이 범용화 되고 있는데 전압 상승에 따른 제품의 고신뢰성이 절실할 뿐만 아니라 구조를 단순화하는 등의 경쟁력 있는 제품공급이 필요하다. 이러한 요구 조건을 만족하기 위해 본 연구를 통해 접속함 구조를 최대한 Compact화하여 시공성이 개선된 제품을 개발하였고, 또한 케이블 절연두계를 저감한 고내력의 케이블을 동시에 평가, 개발함으로써 열 방산효과 개선 및 송전 용량 증대가 가능한 system을 확보하게 되었다.(7) 즉 기존보다 케이블 size를 축소하고 접속함을 최적화하여 고내력의 절연분담이 가능한 케이블 및 접속함 성능임을 확인하였다. 본 논문에서는 개발된 Compact 230kV XLPE 케이블용 접속함의 설계내용, 구조 및 성능 시험 결과를 기술하였다.

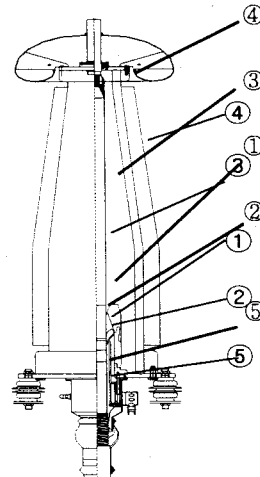
2. 본 론

2.1 개발 범위

개발된 접속함은 Pre fabricated type의 기중 중단 접속함, 가스중 중단접속함 그리고 직선 접속함 등이다.

항 목	요 구 성 능
PD	192kV/5pC 이하(1.5U ₀)
AC Voltage 내전압	385kV/30분(2.5U ₀ ×1.2)
Impulse 내전압	±1050kV/10회(at 고온)
v-t 시험	415kV/3시간

표1. 개발 접속함의 요구 성능



No.	부 품 명
①	에폭시와
②	스트레스 콘
③	절연유
④	자기제 애관
⑤	스프링 유니트

그림 1. 기중중단 접속함 구조

가스중 종단 접속함도 케이블 외에도 인가되는 전계를 절연오일과 스트레스콘이 분담하던 오일 충전식 구조에서 모든 전계를 고무스트레스콘이 부담하는 건식 방식으로 개량하였다. 오일충진식 구조는 통전중 오일의 열수축팽창에 의한 유압을 상시 관리하기 위한 부대설비가 필요하나 건식구조의 경우는 이러한 오일충진식의 단점을 보완하여 보다 간단한 구조를 가지도록 설계하였다. 이는 접속함 내부에 절연용 충전오일을 배제하는 대신 고압부 쉴드용 금구를 스트레스콘의 선단부까지 위치하게 하여 스트레스콘 선단부에 인가되는 전기적 스트레스를 완화하였다. 외부 차폐 구조는 케이블 Sheath와 접속함의 차폐를 끊어주기 위한 절연통을 사용하지 않고 에폭시 애관에 절연 누설부를 설치하여 GIS측과 케이블 Sheath층간의 전기적 도통로를 단절하도록 하는 절연통 일체형의 구조로 설계하였다. 이로 인해 접속함의 전체적 size가 줄어드는 효과와 자재량 절감 및 시공시간 축소가 가능하게 되었다.

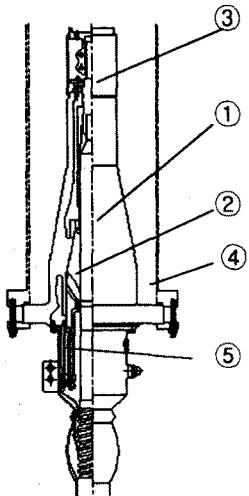
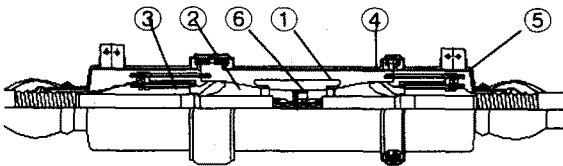


그림 2. 가스중 종단 접속함 구조

직선 접속함의 경우 Prefabricated type의 에폭시 유니트와 고무 스트레스콘 구조로하여 High stress를 견딜 수 있도록 설계하였다. 외부의 케이블 차폐층을 분리하기 위해 기존에 사용하던 절연통을 배제하여 제품의 구조를 단순화 하였다. 이로서 부품 제조성, 시공성 및 자재량 절감등의 특성을 개선할 수 있게 되었다. 직선 접속함의구조는 그림3과 같다.



①	에폭시 유니트	④	중앙 동관
②	스트레스 콘	⑤	보호 동관
③	스프링 유니트	⑥	도체 슬리브

그림 3. 직선 접속함 구조

2.3 절연설계

구조 최적화를 통해 조립시간 축소등의 장점을 이루기 위해 주요 절연부품들을 현장에서 완성하는 에폭시 부품과 고무 스트레스콘 구조로 설계하였으며, 에폭시와 스트레스콘 그리고 스트레스 콘과 케이블 계면간 일정압력을 유지하도록 Spring을 이용하여 압축하는 구조이다. 재료 자체의 내절연성능도 강화하기 위해 쉴드구조를 최적화 하였다. 접속함내부의 주요부위에 인가되는 전계강도의 설계치는 개발기간 동안 경험한 파괴 data에 대해 허용여유를 감안하여 선정하였으며 가스중 종단접속함에서의 등전위선분포 및 주요 부위별 전계 강도는 그림4에 보여주고 있으며 부위별 전계강도 선정치는 표2와 같다.

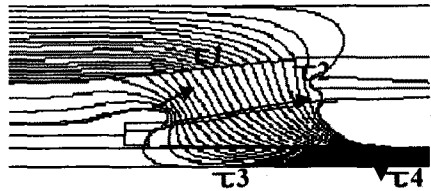


그림4. 가스중 종단 접속함 등전위선도

부위	전계강도(at 318kV)	최소파괴강도
r 1	18.4	30
r 2	4.6	8
r 3	2.5	4
r 4	14	25

표2. 부위별 전계강도 선정치 [kV/mm]

2.4 부품설계, 평가

완제품의 성능뿐만 아니라 주요 절연부품의 장기적인 신뢰성 확보를 위하여 부품상태에서의 요구 성능을 설정하였으며, 그중 중요한 기계적, 열적 요구성능시험을 수행하였다.

에폭시 부품은 구조를 단순화함으로써 기계적 응력 패턴이 기존 제품과는 차이가 있어서 특별한 고려를 하였으며, 접속함 조립시의 Spring 압축력, 지진력 그리고 단락 전자기력으로 야기될 응력등이다. 이를 극복하기 위해 열, 기계적 응력 Simulation 분석 및 시험 확인 과정을 거쳐 해결 할 수 있었다. 그림 5에는 에폭시 애관의 열적 응력 분포를 해석한 예를 보여주고 있다.

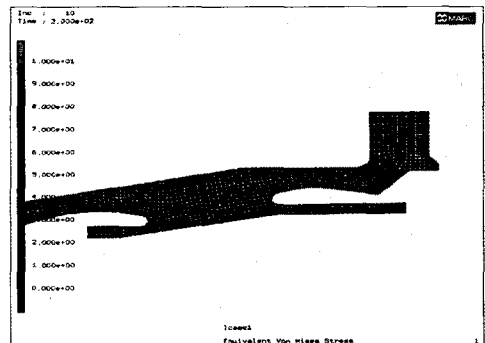


그림 5. 에폭시 애관 응력 분포

매입금과 수지의 접합계면 또는 형상이 굴곡진 경우 구조적 응력집중현상이 발생하므로 이를 극복하기 위해 simulation 분석, 재질 및 공정의 개선을 반복하는 과정을 통해 요구성능을 확보하였다. 그리고 부품상태에서 평가하여 양호한 결과를 확인한 인장강도, 굴곡강도, Heat shock 시험등의 결과를 표3에 보여주고 있으며 이 결과로 제품의 열, 기계적인 신뢰성을 확보하게 되었다.

품명	시험항목	조건	결과
에폭시 부품	Heat Cycle 시험	-30℃~90℃ 각 1시간 5회	양호
	Heat Shock 시험	5℃~95℃ 각 1시간 10회	양호
	내압력 시험	11kg/cm ² · 10분	양호
	인장강도 시험	4000kgf · 10분	양호
	굴곡강도 시험	1200kgf · 10분	양호
	부분방전 시험	192kV에서 5pC 이하	No PD

표3. 부품평가 결과

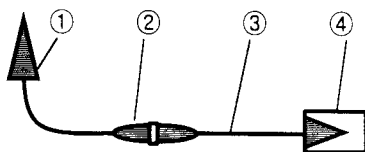
2.5 조립시험

케이블과 개발된 접속함의 기계적, 전기적 특성이 요구성능을 만족하는지를 평가하였다. 시험결과는 요구치를 모두 만족하였으며 그 시험결과 및 시료 구성도는 표4와 그림6에 보이고 있다.

시료구성		시험항목	규격치	결과
A-I-G	A-I-G			
○	○	부분방전	190kV/5pC	good
○	○	AC Voltage 내전압	385kV/15분	good
○	○	Impulse 내전압	±1315kV/10회	good
○	○	V-t 시험	415kV/3시간	good
○	○	부분방전	190kV/5pC 이하	good
○	-	AC Voltage 파괴	20kV/10분 승압	550kV 이상
-	*○	Impulse 파괴	±50kV/3회 승압	-1650kV 이상

* : -1450kV EB-A Flash over

표4. 접속함 전기적 시험 결과



구분	품명
①	기중 종단 접속함
②	중간 접속함
③	230kV XLPE 케이블
④	가스중 종단 접속함

그림6. 시험시료 구성도

3. 결 론

기존의 접속함 기술을 바탕으로 구조의 최소화, 시공성의 개선목적으로 Compact한 제품을 개발하였다. 이로써 현장에서의 자재 취급이 용이할 뿐만 아니라 실사용자에게는 유지 보수의 편리함과 더불어 케이블 size 축소 등에 따른 송전 용량의 증대를 가능하게 할 수 있다.

특히, 요구성능을 만족하였을 뿐만 아니라 AC 및 Impulse 전압을 인가한 파괴 시험에서도 높은 신뢰성을 확인할 수 있었다. 향후 장기 신뢰성 시험을 실시함으로써 안정적인 품질임을 재확인 할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC Publication 60840, "Test for Power cables with Extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30kV up to 150kV"
- [2] S.C. Hwang etc., "The Development of 154kV XLPE Cable Accessories in Korea", Cigre 21-103 1990
- [3] 이광열 외, 161kV XLPE 케이블용 Prefab 접속함의 개발, 방전고전압연구회 춘계발표회, 1997.
- [4] 손시호 외, 230kV XLPE 케이블용 조립형 접속함의 개발, 대한전기학회 하계학술대회, 1998
- [5] 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.
- [6] M. K. Choi etc, Development of 400kV XLPE Cable and Accessories in Korea, CIGRE, 1998
- [7] YOON H.H. etc, Development of high stress Cable and Accessories for EHV XLPE Cable systems, Jicable, 1999