

HVDC 180kV 지절연 해저케이블 개발

최영훈, 김도영, 전문식, 김현주, 강성호, **이호림**
 대한전선(주)

Development For Mass Imprenated Cable of HVDC 180kV

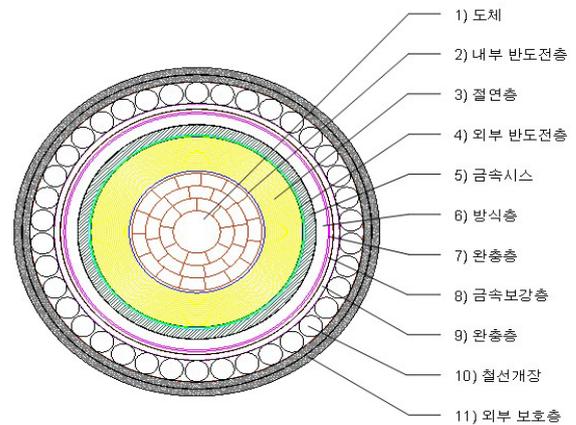
Young-Hoon Choi Do-Young Kim Moon-Sik Jeon Hyun-Ju Kim Sung-Ho Kang Ho-Lim Lee
 Taihan Electric Wire Co.Ltd

Abstract - Recently, Due to increasing demand for HVDC Cable, 180kV HVDC Cable has developed by our Technology and Facility to save high generation cost & ensure the system stability and the supply of electric power. The purpose of this study is to ensure Cable design & Test Procedure of HVDC CABLE.

해한 영향을 끼치지 않는 반도체성 카본지를 도체위에 길이 방향으로 균일하게 감아야하며, 표면이 평활하고 사용상 유해하다고 인정되는 이물 등의 결함이 있어서는 안 된다. 또한 축 방향 및 원주 방향의 저항률은 케이블에 최적화 되도록 설계되어야 한다.

1. 서 론

현재부하 증가에 따라 경제적 송전 및 송전선로 강화와 전력계통의 대규모화에 따른 단락용량 증가 등으로 오늘날 직류 송전의 필요성은 절실히 요구되고 있다. 현재 대부분의 대전력계통에는 교류송전방식이 사용되고 있으나, 장거리 송전시에 발생하는 무효전력 공급의 필요성과 발생에 따른 투자비용의 증가와 손실 등의 이유로 직류송전방식이 적용이 필요하다. 지중송전선로의 교류송전시 발생하는 케이블의 정전용량에 따른 충전전류 증가에 따르는 무효전력의 증가로 송전거리에 제한이 따르며, 일정거리 이상의 송전선로에서는 일정거리마다 무효전력에 대한 보상설비의 설치가 필요하여 비용이 증가하는 단점이 있다. 교류 지중선로에서의 무효전력 증가는 거리에 비례하는 것으로 일정거리 이상의 경우에는 무효전력의 보상이 불가능하다. 이러한 이유로 장거리 해저 케이블의 경우에는 직류송전이 일반화 되어있다. 국내에서의 해저케이블은 제주-육지간 전력계통연계사업의 일환으로 시공된 선로가 있으며 증설이 진행될 예정이다. 본 논문에서는 HVDC 해저케이블의 설계 및 검증과정을 통한 안정적인 케이블 제조를 위한 토대를 마련하고자 한다.



<그림 1> 해저케이블의 구조(MI Type)

2. 본 론

2.1 프로젝트 개요

HVDC 해저케이블은 제주도의 전력계통을 육지와 연결하여 전국적으로 전력계통을 단일화하여 전력을 상호 융통하여 전력설비를 효율적으로 운용하며 제주지역의 안정적 전력공급능력을 확보한다. 그동안 전력수송은 교류에 의한 변압을 통해 진행되었으나 현재 전력계통의 대용량화에 따라 장거리 송전, 도서지역 전력공급 및 국가간 전력계통 연계 등을 위하여 직류 송전방식이 급격히 증가하고 있다.

2.2 HVDC 해저케이블 설계

본 해저케이블은 800mm² 도체는 중앙 코어와 3층의 전기동으로 구성되어 있으며, 절연체는 125층의 특수 종이를 사용하였다. 절연지는 유침탱크에 저장되어 가열,진공 상태에서 건조되는 과정을 거쳐, 특수 진공 탱크 안에서 수개월 동안 특수 절연유로 유침되고 서서히 냉각되었다. 유침을 완료한 케이블에는 연(Lead) 시스와 폴리에틸렌 시스가 조립되며 이후 15분간 DC 324kV의 전압을 인가하여 케이블의 절연내력 성능을 확인하였다.

2.2.1 도체

IEC 규격 No.28에 의하여 전기동으로 만들어진 Round Key-stone stranded type이며 하나의 중앙심(central core)과 3층의 key-stone 형 전기동선으로 구성되어 있다. 압축도는 0.96 이상이며 이 압축도는 도체 내부의 절연유 체적을 최소화하고, 부하전류 순환시 절연유의 팽창을 최소화 하는 아주 중요한 특성이다. 도체 단면적 800mm²는 도체의 온도 상승을 50℃로 제한하도록 IEC 287에 의거 산출되었으며, 이 최대 도체 규정온도는 절연유가 누출되는 어떠한 위험도 예방할 수 있다.

2.2.2 내부 반도체층(Conductor Screen)

내부 반도체층은 도체와 절연체 사이에 위치하며 도체에 유



<그림 2> 해저케이블의 구조

2.2.3 절연체(Insulation)

절연체는 도체 위에 절연지를 길이 방향으로 균일하게 감아 형성하되, 동일개소에서 절연지의 겹은 수직방향으로 연속 3층 이상이 있어서는 안되고, 또 1매를 사이에 두고 상하를 동시에 2층 이상 중첩되어서는 안되며, 사용상 유해하다고 인정되는 이물 등의 결함이 있어서는 안된다. 절연지를 감는 작업은 완전히 건조된 절연지를 사용하며, 항온항습실에서 수행된다. 감겨진 절연지의

장력은 최고의 전기적, 기계적 성능을 갖도록 최적화되어야 하며, 절연지를 감은 케이블은 진공 상태에서 열을 가하여 건조시킨 침유탱크 안에 넣는다.

유침되는 절연유는 폴리이소부틸렌을 함유한 점성이 높은 합성유(Dussa-Campbell T2015)를 사용하였으며, 운동학적 점성은 60℃에서, 1,150cst 이상, 100℃에서 107cst 이상이다.

2.2.4 외부 반도체층(Core Screen)

외부 반도체층은 절연체 위에 반도체성 카본지, 금속화지 등에 준하는 테이프를 조합하여 길이 방향으로 균일하게 감으며, 외부 반도체층에는 동선 직입포 테이프를 감을 수 있다. 외부 반도체층이 형성된 선심은 가열 진공 건조에 의해 습기 및 공기가 차단된 상태에서 절연유로 함침 한다.

2.2.5 연피 시스(Lead Alloy Sheath)

금속시스는 연(鉛)합금으로서 절연 차폐층 위에 접합 없이 연속으로 압출 성형하며 흠, 핀홀, 이물, 돌기, 부풀음 등 사용상 유해한 결함이 없어야 한다. 재질은 연(鉛)합금 1/2C, E 또는 Cu-Te에 준하는 재료를 사용한다.

2.2.6 컴파운드(Compound)

컴파운드는 연 시스-폴리에틸렌 시스 사이와 아연도금 강대-철선개장 와이어-폴리프로필렌 안 사이에 바르는 수밀성 케이블 충전 왁스이다.

2.2.7 폴리에틸렌 시스(Polyethylene Sheath)

컴파운드는 연 시스-폴리에틸렌 시스 사이와 아연도금 강대-철선개장 와이어-폴리프로필렌 안 사이에 바르는 수밀성 케이블 충전 왁스이다.

2.2.8 베딩(Bedding)

폴리에틸렌 시스 위에 2개의 폴리에스테르 테이프로 만들며, 이것은 금속 보강층이 잘 밀착될 수 있도록 해준다.

2.2.9 금속 보강층(Metallic Reinforcement)

금속 보강층은 케이블의 기계적 성능을 만족할 수 있는 적정 두께 이상의 아연도금 강철 테이프(steel tape)를 사용하며 2층 이상을 밀착하여 감은 후 부식 방지를 위하여 컴파운드를 도포한다. 금속 보강층의 상하에는 반도체성의 폴리에스테르 테이프 밀착하여 감는다.

2.2.10 베딩(Bedding)

금속 보강층 위에 4층의 폴리에스테르 테이프로 구성하며, 철선 외장이 금속 보강층에 흡집을 내지 않도록 완충 역할을 한다.

2.2.11 철선개장 와이어(Steel wire Armour)

철선개장은 직경 약 6mm 이상의 아연 도금된 철선을 사용하며 케이블 코어 전면을 감싸야 한다. 철선개장을 감은 후, 표면에 방식 컴파운드를 도포한다. 금속 보강층 위에 4층의 폴리에스테르 테이프로 구성하며, 철선 외장이 금속 보강층에 흡집을 내지 않도록 완충 역할을 한다.

2.2.12 베딩(Bedding)

외부 보호층은 폴리프로필렌 안(Polypropylene yarn)으로 만들며, 케이블의 유연성을 향상시키고 응력을 분포시킴으로써 충격파에 대한 영향을 감소시킨다. 철선개장에 밀착하여 감아 철선개장 전면을 감싸야 하며, 외부 보호층 층간에 방식 컴파운드를 도포하고 케이블 상호간의 점착을 방지할 수 있도록 적절한 처리를 하여야 한다. 철선개장은 직경 약 6mm 이상의 아연 도금된 철선을 사용하며 케이블 코어 전면을 감싸야 한다.

<표 1> 케이블 구조 및 전기적 상수

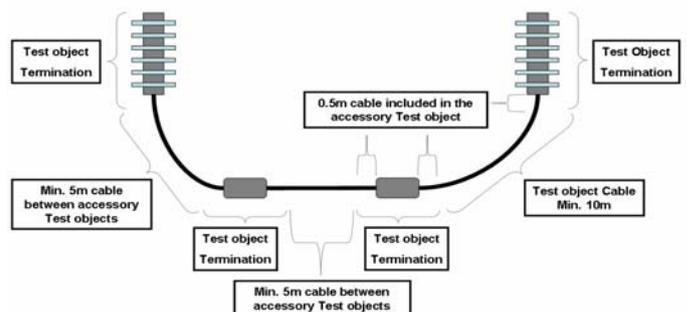
한전 구매규격		구조	
명칭	두께(mm)	공칭두께(mm) Approx.	공칭외경(mm) Approx.
1. 도체	공칭단면적(mm ²)	800	
	형상	원형평각	
	외경	32.6	
2. 내부 반도체층	평균최소 0.4	0.75	34.5
3. 절연층	평균최소 9.1	9.5	53.4
4. 외부 반도체층	평균최소 0.2	0.26	54.4
5. 금속시스	평균최소 2.6	2.7	60.5
6. 방식층	평균최소 2.8	3.5	67.5
7. 완충층	약 0.3	0.4	68.3
8. 금속 보강층	2×평균최소 0.25	2×0.4	70.0
9. 완충층	약 1.2	1.2	72.5
10. 철선개장 와이어	6.0	6	84.5
11. 외부 보호층	평균최소 3.0	5	94.5
케이블 외경	약 93.0	약 95.0	
최대 직류 도체저항(Ω/km, 20℃)	0.0221	0.0221	
케이블 중량(공기중)(kg/m)	약 27.5	약 28.2	
케이블 중량(수중)(kg/m)	약 20.7	약 21.2	

2.3 HVDC 해저케이블 검증

2.3.1 기계적 시험

시험 항목	시험 방법
코일링 시험 (Coiling test)	1. 코일링 지름: 5 m, 2. 감은 수: 8 turns 3. 시료 케이블 길이: 115 m 4. 2개의 공장접속을 포함함
인장굴곡 시험 (Tensile bending Test)	1. 인장력: 101 kN (300 m 수심 상황) 2. 감은 수: 3 turns, 3. 시료 케이블 길이: 50 m x 2 4. 시료 케이블은 1개의 FJ를 포함 5. 최소 30 m의 케이블, 접속은 중앙에 위치 6. Test Drum을 사용하여 인장력을 인가함

2.3.2 전기적 시험



<그림 3> 해저케이블의 전기시험 회로

시험 항목	시험 방법
부하주기시험	1.1.85*U ₀ , 463 kV / 30일 소요 (중첩시험의 경우 1.45*U ₀ /8 cycle 포함)
중첩개폐충격 전압시험	1.정/부극성 DC (U ₀ ,250kV)전압이 인가된 상태에서 각각 부/정극성 스위칭 임펄스 (U _{p2})의 전압을 10회씩 인가 2.UP2 = 1.15 * SBIL
중첩뇌충격 전압시험	1.정/부극성 DC(U ₀ ,250kV)전압이 인가된 상태에서 각각 부/정극성 뇌 임펄스 (U _{p1})의 전압을 10회씩 인가 2.UP1 = 1.15 * LBIL
DC 테스트	1.상온상태에서 부극성의 UT(463kV) 전압을 도체와 금속시스 사이에 2시간 동안 인가 2.UT = 1.85 * U ₀ (463kV)

2.3.1 장기과통전 시험

시험 항목	시험 방법
부하주기시험	1.1.45*U ₀ , 363 kV / 360일 소요 (중첩시험의 경우 1.25*U ₀ /50 cycle 포함)
중첩개폐충격 전압시험	1.정/부극성 DC (U ₀ , 250kV)전압이 인가된 상태에서 각각 부/정극성 뇌 임펄스 (U _{p1})의 전압을 10회씩 인가 2.UP1 = 1.15 * LBIL

*장기 시험 완료 후 잔존 시험 : 30 m 이상의 케이블 시료에 대한 전기적 항목의 시험 평가 수행 (DC 및 IMPULSE 내압 시험 (@ 90℃))

3. 결 론

180kV HVDC 해저 케이블에 대한 일부 전기적, 기계적 성능에 대한 검증을 통해 자사의 설계 기술을 확보할 수 있었다. 현재 진행중인 기타 시험을 완료하여 증가하여 수요를 만족시키며 부가가치를 창출하는 계기가 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] CIGRE Recommendation 219(ELECTRA)
- [2] CIGRE Recommendation 171(ELECTRA)