

<230kV XLPE 케이블 및 부속재 인증시험 완료>

〈 권병일 남정세 오웅중 김기영 최봉남 윤덕환〉
 〈대한전선 주식회사〉

<DEVELOPMENT OF 230KV XLPE CABLE & ACCESSORY>

〈B.I. KWON J.S. NAM E.J. OH K.Y. KIM B.N. CHOI D.H. YUN〉
 〈TAIHAN ELECTRIC WIRE CO., LTD〉

Abstract - The underground transmission line have been consistently developed to increase its voltage level for satisfying the customer's demand through supplying the high reliability power.

The underground XLPE cable and its accessories of 500kV level have been already developed internationally, but the XLPE cable have been installed 154kV level in Korea up to now.

Thus, our company has developed 230kV XLPE cable and its accessory in 1998 for preparing 345kV level system in Korea and being qualified as international cable maker of developing oversea markets.

In this paper, newly our developed 230kV system will be introduced using the type test result according to IEC 840 and additional specification.

Sepec. NDC-07사양에(1997.08) 언급된 항목을 추가하여 Test Program을 작성하였다.

주요 Test 항목 및 요구성능은 다음 표(1)과 같다.

표(1) 인증시험 주요 시험항목

Test 주요항목	요 구 성 능
Partial discharge test	less than 5pC at 1.5U ₀
Heating cycle voltage test	20cycles at 2U ₀
Impulse withstand voltage test	±1050kV / 10shots
Tan δ measurement	less than 1x10 ⁻³ at U ₀
Power frequency voltage test	2.5U ₀ / 15minutes
Partial discharge test	less than 5pC at 1.5U ₀

1. 서 론

전력의 안정적인 공급 및 전력전송의 신뢰성과 효율을 높이기 위한 송전전압의 초고압화는 전력계통분야에 있어 꾸준히 연구되어지는 과제이다.

최근에는 초고압시스템에 있어 유지보수 편의성과 환경적인면 등으로 XLPE케이블이 광범위하게 사용되고 있으며 전세계적으로는 이미 500KV급까지 개발되어 있으며, 세계적으로 200KV급 이상의 XLPE 케이블이 차지하는 비중은 매년 증가세에 있다. 한편, 국내에서는 345KV OF케이블이 1992년도 하반기부터 개발/설치되어 왔으나, XLPE 케이블은 현재까지 154KV급까지만 상용화되어있으며, 현재 345KV 케이블은 도입시기에 대해 논의되고 있다.

따라서 당사에서는, 향후 국내 XLPE CABLE의 LEVEL-UP을 위한 준비와 해외시장을 향한 기술경쟁력을 갖추기 위해, 그 동안 쌓은 경험과 기술력을 바탕으로 230KV XLPE CABLE 및 부속재를 개발하였다. 본고에서는 그 케이블 및 부속재에 대한 설계, 제조 및 그 시험특성에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 설계기준 및 요구성능

케이블 및 부속재의 기본설계는 IEC 840(1988) AMENDMENT 2(06-1993)기준으로 하였으며, 추가적으로 대한전선의 설계기준과 싱가포르 전력청(PowerGrid) Sepec. NDC-07 (1997.08)을 설계에 표준으로 하여 1998년 4월7일부터 6월12일 까지 약 65일동안 국제공인기관인 KEMA로부터 인증시험을 완료하였다.

Test Program은 IEC 840에 언급된 모든 Type Test 항목과 대한전선의 사양 및 싱가포르 전력청(PowerGrid)

2.2 230kV 케이블 개발

당사는 XLPE 케이블에 대한 제조과정에서의 품질관리 향상과 Super Clean XLPE Compound의 사용으로 500kV까지 초고압 케이블의 설계 및 생산이 가능하다.

2.2.1 절연두께

케이블의 절연체 두께는 A.C 전압과 Lightning Impulse전압을 모두 만족시키는 두께로 선정한다.

1) A.C 전압

$$V_{ac} = V_0 \times K1(ac) \times K2(ac) \times K3(ac) = 387 [kV]$$

- V₀ ; 최대 운전전압
- K1(ac) ; 장기사용에 따른 열화계수
- K2(ac) ; 온도계수
- K3(ac) ; 불확실성에 대한 안전계수

2) LIGHTENING IMPULSE 전압

$$V_{imp} = V(BIL) \times K1(imp) \times K2(imp) \times K3(imp) = 1,588 [kV]$$

- V(BIL) ; Impulse withstand voltage
- K1(imp) ; 반복 뇌 impulse에 따른 열화계수
- K2(imp) ; 온도계수
- K3(imp) ; 불확실성에 대한 안전계수

3) 절연두께 설계

㉠ A.C 전압으로부터 결정되는 절연두께

$$t(ac) = \frac{V_{ac}}{E(ac)} = \frac{387 [kV]}{35 [kV/mm]} = 11.1 [mm]$$

E(ac) : AC전압에 대한 통계상의
최저 파피 스트레스

㉞ Lightning impulse 전압으로부터 결정되는 절연두께

$$t(\text{imp}) = \frac{V_{\text{imp}}}{E(\text{imp})} = \frac{1.588[kV]}{75[kV/mm]} = 21.2[mm]$$

E(imp) : Lightning impulse전압에 대한
통계상의 최저 파피 스트레스

상기 식으로부터 t(ac)=11.1[mm], t(imp)=21.2[mm]가 각각 얻어지며, 230kV XLPE 케이블의 절연두께는 22.0[mm]이상이 되어야한다.

그러나, 싱가포르 사양에서 요구하는 절연두께는 Nom. 23.0[mm]이상이므로 230kV XLPE Cable은 절연두께 Nom. 23.0[mm]로 설계하였다.

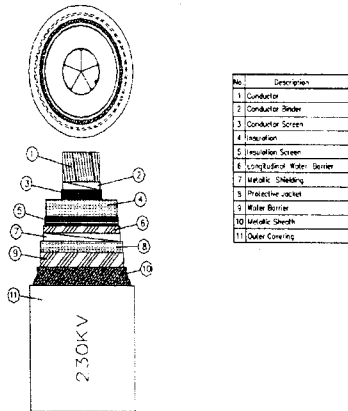
2.2.2 금속시스의 설계

금속시스는 절연체를 보호하고 수분이 절연체에 도달하지 않도록 하는 기능, 고장전류의 귀로 및 전기적 차폐 기능을 갖추고 있어야 한다.

따라서, 금속시스는 기계적 강도, 내식성, 수밀성 및 도전성을 겸비하고, 또한 필요한 전류용량을 가지며 제조상 가공성이 좋은 것이어야 한다.

이러한 특성을 만족하는 것으로서 전력 케이블의 금속 차폐층에 주로 사용되는 자재로는 연동선 차폐, 알루미늄 늑피, 연피등이 있는데, 당사에서는 기계적 특성이 우수하고 경량인 알루미늄늑피를 금속시스로 선정하였다.

또한, 차수성능에 있어 우수한 Annular Ring Type을 국내 처음으로 채택함으로써 한층 더 신뢰성 높게 설계하였다. 다음 그림(1)은, 이상과 같이 설계된 230kV 1Cx 2,000SQmm XLPE 케이블의 단면도를 나타낸 것이다.



그림(1) 230KV 1Cx2000SQmm XLPE 케이블 단면도

2.2.3 성능 향상을 위한 품질관리

XLPE 케이블 특성 향상에 중요한 요소는 다음과 같이 3가지로 요약할 수 있다.

- 절연체속의 미세한 공극
- 절연체에 혼입되어 있는 이물
- 도체와 절연체, 절연체와 외부반도전층 경계면의 돌기

이와 같은, 불순물은 다음과 같은 생산과정에서 불가피하게 절연체내에 포함되는 것으로, 여러 국제규격에서 그 크기와 수를 엄격히 관리하고 있다.

- 폴리에틸렌 합성중의 제조공정
- 수송중(포장)
- 재료공급실 및 공급 Line
- 압출공정시

따라서, 당사에서는 이렇게 절연체 성능은 물론, 케이블의 수명에도 중요한 요소인 불순물의 관리를 위해 다음과 같은 생산 공정 및 품질관리를 시행하고 있다.

- 1) 건식 가교방식 채택
- 2) 삼중동시 압출방식 채택
- 3) Super Clean Compound 사용
- 4) Clean room
- 5) 재료 공급실에서 압출기까지 재료공급 Line을 이물질 혼입의 방지를 위해 청정공기를 사용한 압출방식 채택.
- 6) 이상과 같은 이물질 혼합 대책외에 압출기내 Screen mesh 설치하여 최종적으로 절연체내의 이물혼입을 최소화하여 High Stress, High Reliability의 절연성능을 가진 XLPE 제조가 가능하였다.

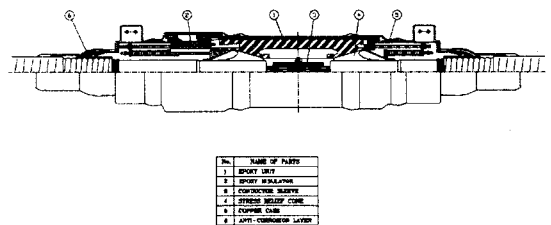
2.3 부속계 개발

당사에서는, 접속상의 설치에 있어 될수 있는 한, 현장에서의 작업을 줄이는 Pre-fabricated화 함으로서, 접속상 설치에 따르는 작업공정을 줄여 설치작업을 간단히 하고, 사전 관리된 제품을 사용함으로써 접속상의 신뢰성이 높은 조립식 접속함(Pre-fabricated Joint)을 개발하였다.

2.3.1 접속함의 구조

접속함의 주 절연은 Epoxy 화합물로 제작한 에폭시 유니트와 고무 스트레스콘을 이용하는 방식으로 스프링 유니트로 힘을 가하여 두 제품 사이의 계면에 압력을 발생시켜 절연성능을 유지시키는 구조이다.

다음 그림(2)는 Pre-fabricated Type Joint 구조로 접속함의 외경과 길이는 각각 310mm, 1800mm이며, 그 중량은 개략250kg이다.



그림(2) 230KV Pre-fabricated Joint

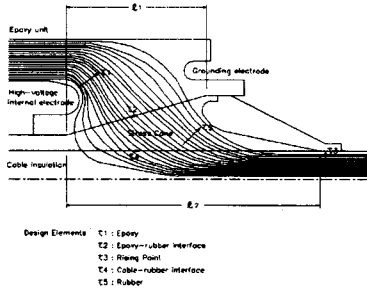
2.3.2 절연설계

앞서 설명한 바와 같이, 절연성능은 에폭시 유니트나 고무 스트레스콘과 같은 주자재의 재질, 설계 및 제조과정 등으로 결정된다.

스트레스콘은 접속상의 외부반도전층이 끝나는 부위에 집중되는 전기적 Stress를 완화시켜 주는 역할을 하는 것으로, 초고압 Pre-fabricated 접속함의 절연특성은 절연부품사이의 계면절연특성이 결정한다..

따라서, 절연설계는 그림(3)에서 표시한 계면길이 l_1 , l_2 및 $\tau_1 \sim \tau_5$ 의 각 부위의 설계 스트레스가 목표한 전기적 성능을 만족하게끔 설계하였다. 계면길이 l_1 , l_2 는 전체

적으로 형상의 Compact를 위해 작게 설계하는 것이 좋지만 τ_1 , τ_2 와의 상관관계를 고려해 최적의 전계값을 얻도록 설계하였다. 다음 그림(3)은 전계해석분포와 절연 설계에 고려해야할 중요한 5가지($\tau_1 \sim \tau_5$)의 관련 Parameter를 나타낸 것이다.



그림(3) 전계해석분포 & 주요설계 Parameter

2.4 인증시험 결과

2.4.1 케이블 구조시험

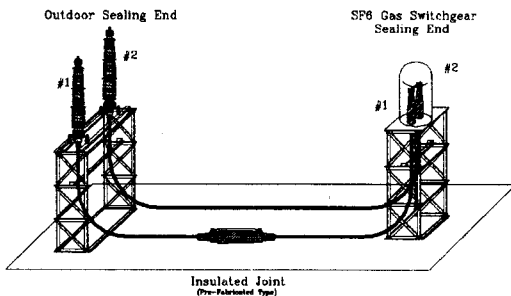
케이블 구조시험은 Test Program에 따라 수행되었으며, 다음 표(2)는 주요 항목 및 그 결과를 요약한 것이다.

표(2) 케이블 구조시험 및 결과

Test 항목	단위	요구치	결과
n Insulation material			
After ageing of complete cable			
Tensile strength	N/mm ²	-	31.0
Variation with before ageing	%	≤25	-1.6
Elongation at break	%	-	598
Variation with before ageing	%	≤25	+0.5
Elongation at 200°C after 15min	%	≤175	+60
Permanent elongation after cooling	%	≤15	-3
Shrinkage after 6h at 130°C	%	≤4	2.8
Moisture content	ppm	≤150	82.3
n Serving material			
After ageing of complete cable			
Tensile strength	N/mm ²	-	31.9
Variation with before ageing	%	-	+3.6
Elongation at break	%	≥300	955
Variation with before ageing	%	-	+0.5
Pressure test after 6h at 115°C	%	≤50	1.7
Carbon black content	%	2.5±0.5	2.61

2.4.2 선로구성 및 시험

케이블 및 부속재는 인정 시험을 위해 다음과 같이 선로를 구성하였다.



그림(4) 인정시험용 선로구성

위와 같은 선로구성으로 IEC 840(1988) AMENDMENT 2(06-1993)기준+추가사양에 의거한 개발 시험을 이상 없이 완료하였으며, 다음 표(3)은 주요 TYPE TEST 항목별 결과를 요약한 것이다.

표(3) 인증시험 주요 시험항목 및 결과

Test 주요항목	요 구 성 능	결 과
Bending test	≤5372+5%mm	4770mm
Partial discharge at 1.5U₀		
After the bending test and the installation of the acc'y	≤5pC	< 1pC
After the heating cycle	≤5pC	< 1pC
Heating cycle voltage test		
Number of cycles	≥20	20
Number of hours	≥480	480
Impulse withstand voltage test	±1050kV / 10shots	Pass
Tan δ measurement		
in hot condition at 95°C	≤0.001	0.00083
Power frequency voltage test	333kV(2.5U ₀) / 15min.	Pass

3. 결 론

이번 230kV XLPE 케이블 및 부속재의 인증시험을 성공적으로 마침에 따라, 국내 345kV XLPE SYSTEM의 도입에 대한 준비를 성공적으로 완료하였고, 세계적으로는 수요가 증가세에 있는 200kV급의 입찰에서 당사가 개발한 케이블 및 부속재로 참가할 수 있게 됨에 따라 국제경쟁사회에서 경쟁력을 한층 더 높일 수 있게 되었다. 당사는 세계적인 전선업체로서 국내경쟁력의 향상과 급속히 변화하는 국제사회에서 보다 큰 부가가치를 창출하기 위해 향후에도 더 많은 기술 개발에 노력할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC Publication 840, "Test for Power Cables with Extruded Insulation and their Accessories for Rated Voltages above 30kV upto 150kV"
- [2] 대한전선(주) Specification, "TPS-UCEAS-P001A", 1998
- [3] 싱가포르 PowerGrid Specification, "NDC-07", 1997.08