

345kV XLPE절연 케이블의 장기 신뢰성 평가

김종원, 유인기, 김 영, 이기수, 최봉남, 윤덕환
대한전선(주)

Pre-qualification Test on 345kV XLPE Cable and Accessories

Jong-Won Kim, In-Kee Yu, Young Kim, Ki-Soo Lee, Bong-Nam Choi, Duck-Hwan YUN
Taihan Electric Wire Co., Ltd

Abstract - To cope with increasing of electric power demand in metropolitan areas, large capacity underground power cables are needed. Under such situations, our company has developed 345kV XLPE insulated cable and accessories. As the final step of development of the 345kV XLPE cable and accessories, the pre-qualification test was carried out on the test line composed of cables, pre-fabricated joints, EB-Gs and EB-As.

This paper sums up the pre-qualification test conditions and the results.

1. 서 론

지속적인 산업규모의 증대와 복지생활의 향상으로 인한 전력수요의 증가로 송전용량의 증대가 요구되어 1980년대말부터 OF케이블에 의한 345kV 송전시스템이 시설되어 현재까지 사용되어 왔으나, 세계적으로 OF케이블 보다는 시공 및 유지보수가 용이하고 환경친화적인 XLPE절연 전력케이블의 사용이 크게 늘어나고 있는 추세로 나아가고 있다.

국내에서도 345kV급 송전시스템을 OF케이블에서 XLPE절연 케이블로의 대체가 요구되어, 기존의 생산, 검사 시스템을 Level-up하여 345kV XLPE절연 케이블을 개발완료 하였으나, 사용실적이 없어 신뢰성이 검증되지 않았다는 문제점이 있었다.

이에 국내의 송전선로와 동일한 조건으로 모의 전력구를 제작하여 케이블 및 부속재(EB-A, EB-G, Pre-fabricated Joints)를 모두 적용한 시험선로를 구성하여 Pre-Qualification Test(장기과동전시험)를 실시해 케이블 및 부속재의 장기신뢰성을 검증하였으며 본 논문에서 그 내용 및 개발과정을 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 345kV XLPE절연 케이블의 개발

일반적인 케이블 개발절차는 ①설계요소의 결정(기본 Data의 분석, 절연설계 Parameter의 산출 등) ②구조결정(요구성능 및 절연두께 결정, 허용결점한도 결정 등) ③개발시험(설계 및 제조능력 검증) ④Pre-Qualification Test(장기과동전 시험;실선로 설치기술 검증, 신뢰성 검증 등)의 순이나, 국내에서의 345kV XLPE절연 케이블의 경우는 외국에서 적용하고 있는 절연설계 Parameter를 이용하여 케이블 절연두께를 결정하고 제조사별 설계 및 제조능력을 검증하는 순으로 진행되었다.

즉, ①구조결정 ②절연설계 Parameter의 검증 ③개발시험 ④Pre-Qualification Test(장기과동전 시험)의 순으로 진행되었다.

2.1.1 케이블 구조

345kV XLPE절연 케이블의 구조는 표1과 같다.

표1. 345kV XLPE절연 케이블의 구조

구 분		규 격
도 체	공칭단면적 (mm ²)	2000
	재 질	전기용 연동선
	형 상	분할압축원형
내부반도전층 두께 (mm)		2.0
절연체 두께 (mm)		27.0
절연체 외경 (mm)		113.0
암출부 반도전층 두께 (mm)		1.3
Tape 외부 반도전층 두께 (mm)		1.0
알미늄피 두께 (mm)		3.0
방식층 두께 (mm)		6.0
최대외경 (mm)		157.0

2.1.2 절연설계 Parameter의 검증

일반적으로 XLPE절연 케이블의 절연특성은 케이블 제조기술에 의해 크게 좌우된다는 점을 고려할 때 절연특성 평가를 위해서는 실제 케이블을 적용하여 파괴시험을 실시하는 것이 가장 정확한 Data를 얻을수 있으나 초고압 케이블의 경우는 케이블을 파괴시키기 위해서는 상당히 높은 전압을 필요로 하기 때문에 경제적, 기술적으로 상당히 어렵다.

이에 초고압 케이블의 제조기술 및 제조공정을 그대로 적용하여 절연두께 4mm인 모델케이블을 제조하고, 절연체 특성시험을 실시하여 표2와 같은 결과를 얻었다.

표2. 절연체 특성 시험 결과

구 분	E _{L(AC)}	E _{L(IMP)}
결 과	58kV/mm	139kV/mm

이 결과는 345kV XLPE절연 케이블에 적용된 것으로 추정되는 E_{L(AC)} 35kV/mm, E_{L(IMP)} 75kV/mm보다 높은 값이다.

2.1.3 개발시험

개발의 세 번째 단계로 당사는 표1에 따르는 345kV XLPE절연 케이블을 제조하여 굴곡시험, 부분방전시험, 열사이클 전압시험, 개폐 충격 내전압 시험, 뇌 충격 내전압 시험 및 교류 내전압 시험등의 개발시험을 실시하였고 좋은 결과를 얻어 케이블 설계 및 제조능력을 검증받았다.

개발시험중 20일 동안 전압 및 전류를 케이블 및 부속

재에 인가하는 열 사이클 전압시험은 장기 과통전 시험의 축소판이라고는 할 수 있으나 시험기간이 짧기 때문에 신뢰성을 검증할 수는 없다.

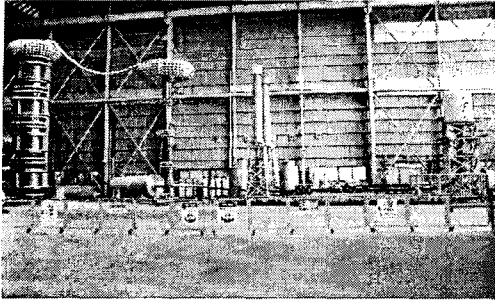


사진1. 열 사이클 전압시험

2.2 Pre-Qualification Test

일반적으로 개발의 마지막 단계로 행하여 지는 Pre-Qualification Test의 종류 및 순서는 표3과 같으며 장기 과통전 시험은 이 시험의 일종이다.

표3. Pre-Qualification Test의 종류 및 순서

절연체 두께 검사
· 공칭두께 초과 여부 확인 · 목적 : 규정된 전기적 스트레스 인가
↓
장기 과통전 시험
· 케이블 및 부속재로 이루어진 시험선로에 대하여 실시 · 목적 : 장기 신뢰성 검증
↓
벼 충격 내전압 시험
· 케이블 시료 약30m에 대하여 실시 · 목적 : 장기 과통전 시험후의 특성 파악

↓

육안검사

- 케이블 및 부속재에 대하여 조사
- 목적 : 열화 징후 발생 여부 판단

2.3 장기 과통전 시험

345kV XLPE절연 케이블 및 부속재에 대한 시험의 신뢰도를 높이기 위하여 시험선로를 가능한 실사용 조건과 유사한 형태로 구성한후 장기 과통전 시험을 실시하여 전체 케이블 시스템의 장기 신뢰성을 검증하였다.

2.3.1 시험선로

장기 과통전 시험선로는 표4와 같이 345kV XLPE절연 케이블, PJ, EB-A, EB-G로 총 선로길이가 약120m가 되도록 구성하였고, 이를 그림1에서 보듯이 전력구 구간, 직매 구간, 옥외 구간을 통과 하도록 설치하여 실 사용조건과 가능한 유사하도록 하였다.

표4. 장기 과통전 시험선로 구성 품목 및 설치장소

품 목	수 량	설 치 장 소
케이블	120m	전력구, 직매, 옥외
PIJ	1sets	전력구
PNJ	1sets	전력구
EB-A	2sets	옥외
EB-G	2sets	옥외

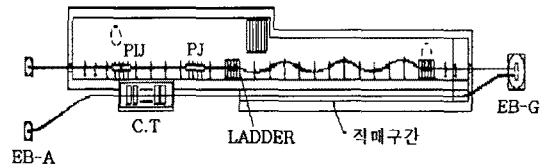


그림1. 장기 과통전 시험선로 Layout

2.3.2 시험내역



사진2. 장기 과통전 시험장

상기의 시험선로에 대하여 표5의 조건에 따라 1년간 장기과동전 시험을 실시하였다.

표5. 장기 과동전 시험 조건

구 분	시 험 조 건
시험기간	8760시간(365일)
인가전압	340kV
온도조건	<ul style="list-style-type: none"> · 규정온도 : 90℃~95℃ · 가열방법 : 전류인가 · 1 주기 : 최소 8시간 전류 인가 그중 최소 2시간은 규정온도에서 유지, 그후 최소 16시간 자연 냉각 · 시험기간동안 최소 180주기 실시

전압은 1.7U₀인 340kV의 규정전압을 8760시간 동안 인가 하였다.

표5의 온도조건을 맞추기 위해서 절연체 열저항 계산후 알미늄피 온도를 구간별로 측정하여 진행하였으며, 주기적(1주일 간격)으로 도체온도가 가장 많이 올라가는 전력구 구간에 설치한 Dummy 시료를 이용하여 도체온도를 확인 하였다. 주기의 구성은 10시간 동안 전류를 인가하여 그중 최소 2시간은 도체온도가 90℃~95℃가 되도록 하였고 그 후 38시간은 자연 냉가시키는 것을 1주기로 하여 총 180 주기를 실시하였다.

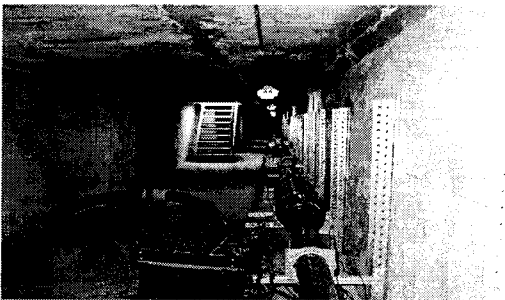


사진 3. 전력구 내부의 시험선로와 Dummy시료

2.3.3 시험결과와 고찰

신뢰성 검증용을 위하여 실사용조건과 유사하게 구성된 345kV XLPE절연 케이블 및 부속재에 대하여 1년여에 걸쳐 실시한 장기 과동전 시험의 결과는 V-t특성에 맞추어 볼 때 아래와 같이 예상수명을 추정할 수 있도록 해준다.

$$\text{예상수명} = \frac{V_t^n \cdot t_t}{\left(\frac{V_m}{\sqrt{3}} \cdot k\right)^n} = \text{약 34년}$$

여기서, V_t : 시험전압 (= 340kV)
n : 수명지수 (= 9.0)
t_t : 시험시간 (= 1년)
k : 안전계수 (=1.1)
V_m : 계통최고전압 (=362kV)

즉, 개발완료한 345kV XLPE절연 전력케이블 및 부속재는 345kV XLPE절연 케이블 송전시스템에서 케이블의 목표 수명인 30년동안은 안전하다는 것을 검증할 수 있었다.

3. 결 론

그동안 초고압 XLPE절연 케이블에 대한 제조 및 검사 기술의 향상을 지속적으로 추진하여 케이블 및 부속재의 신뢰성을 향상시켜왔으며 그러한 향상된 기술을 바탕으로 345kV XLPE절연 케이블을 제조·개발 하였고, 장기 신뢰성 확보를 위하여 1년의 시험기간 동안 장기 과동전 시험을 실시하여 345kV XLPE절연 케이블 및 부속재에 대한 신뢰성을 검증 하였다.

추가적으로 장기 과동전 시험후의 잔존 특성을 알고자 장기 과동전 시험을 실시한 케이블 시료를 취하여 뇌 충격 내전압 시험을 실시할 예정이며 그 결과 또한 성공적 일 것이라고 예상한다.

이러한 개발시험 및 장기 과동전 시험등을 통해 얻은 결과를 종합할 때, 새롭게 개발한 345kV XLPE절연 케이블 및 부속재는 345kV 송전 시스템에 안전하게 사용되어 질 수 있을 것으로 보여진다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. KAMINAGA, "Long term test of 500kV XLPE cables and accessories", CIGRE, 1996
- [2] "架橋*ポリエチレン絶縁 電力ケーブルの 寿命特性", 電気學會 技術報告, 第514号, 1994
- [3] "CVケーブル および 接続部の 高電壓試験法", 電気協同 研究, 第51卷 第1号, 1995