

초고압 XLPE 전력케이블 절연두께 저감화

이기수, 최 웅, 최영훈, 최봉남, 김도영, 윤덕환
[대한전선 (주)]

Reduction of Insulation thickness for EHV XLPE power cable

Ki-Soo Lee, Woong Choi, Young-Hun Choi, Bong-Nam Choi, Do-Young Kim, Duck-hwan Yun
Taihan Electric Wire Co., Ltd.

Abstract - The manufacturing technology of XLPE power cable (e.g. gas curing, triple common extrusion, clean room, super-clean compound, etc.) had been developed in 1960's and the design parameter of insulation thickness for EHV XLPE power cable at present was determined in 1960's. But, the quality of XLPE power cable has been improved up to now.. The re-evaluation of design parameter for insulation thickness reductions is required and so we performed weibull plotting test using model cable. This paper describes the evaluation details of the insulation characteristics according to weibull plotting test.

전압으로부터 구한 절연두께로 구분된다.

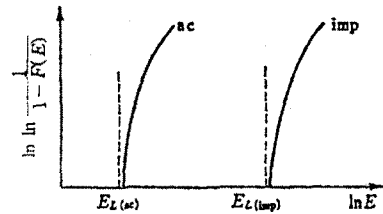
와이בל의 분포는 다음과 같이 표시된다.

$$F(E) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{E-EL}{E_0}\right)^b\right\}$$

- F(E) : 전계강도 E에서의 누적파괴 확률함수
- EL : 누적파괴확률이 "0"이 되는 전계강도 (위치파라메타)
- E₀ : 누적파괴확률값이 63.2%로 되는 전계강도 (척도파라메타)
- E : 피시험의 파괴전계강도
- b : 전계강도 E에 대한 형상지수 (형상파라메타)

1. 서 론

1983년 초고압 154KV XLPE 전력케이블이 국내에서 개발되어 사용되어 온 이래, 꾸준한 제조기술의 개발과 절연재료의 품질향상 등으로 초고압 XLPE 전력케이블의 신뢰성은 크게 향상되어 현재에는 154KV XLPE 전력케이블이 대부분의 지중송전선로에 사용되어지고 있다.



(그림1. XLPE 전력케이블의 내전압 강도)

그러나, 현재의 초고압 XLPE 전력케이블의 절연설계 파라메타는 1960년대에 구하여진 것으로 제조기술의 개발 및 향상으로 케이블의 절연성능이 월등히 향상된 현실점에서 설계 파라메타의 재평가가 필요하며, 그에따른 새로운 절연설계 파라메타 정립의 필요성이 대두되고 있다

상기의 Weibull분포에서 구하여진 EL값에의해 절연두께는 아래의 산정식으로부터 구하여진다.

이에, 당사는 기존의 절연특성을 파악코져 주로 실시했던 XLPE 시편상태에서의 파괴시험이 아닌 실제 XLPE 케이블을 모델로하여 A.C파괴시험 및 Impulse파괴시험을 실시하여 케이블 절연특성을 평가하였다.

1) 교류내전압으로부터 결정된 절연두께 tac

$$tac = \left(\frac{Vm}{\sqrt{3}} \times K1 \times K2 \times K3\right) \div EL(ac)$$

이러한 절연특성 평가에의해 결정된 설계 파라메타는 모든 초고압 XLPE 전력케이블의 절연설계에 적용될수 있으며, 특히 향후 송전용량의 증대에 따라 사용되어질 345KV 및 해외의 400KV XLPE 전력케이블의 개발에 적용되어질수 있을것으로 기대된다.

- Vm : 최대사용전압 (선간전압*(1.15/1.1))
- K1 : 열화계수 (v-t특성의 n승칙에의해 산출된 1시간 내전압에 대한 30년 내전압의비)
- K2 : 온도계수 (1.1)
- K3 : 안전계수 (1.1)
- EL(ac) : 누적파괴확률이 "0"이 되는 AC평균전계강도 (KV/mm)

2. 본 론

2.1 절연설계

XLPE 전력케이블의 절연설계는 케이블 소요내전압을 설계전계 즉, 파괴Data의 평균전계 Emean을 와이בל 분포로 정리하여 구한 최대파괴전계로 나눈것으로 구하여지며, 교류내전압으로부터 구한 절연두께와 임펄스내

2) 임펄스내전압으로부터 결정된 절연두께 timp

$$timp = (LIWV \times K1' \times K2' \times K3') \div EL(imp)$$

- LIWV : 뇌임펄스내전압
- K1' : 열화계수 (1.1)

K2' : 온도계수 (1.25)
 K3' : 안전계수 (1.1)

EL(imp) : 누적파괴확률이 "0"이 되는 임펄스평균 전계강도 (KV/mm)

상기의 식에서 절연두께를 결정하는 파라메타는 각각 EL(ac) 및 EL(imp)로서, 파괴시험에 의한 Weibull 분포로부터 구하여지는데, EL(ac) 및 EL(imp) Data가 커 수록 절연특성이 우수한 것으로 동일전압Grade에서 절연두께를 작게할 수 있다. 기존의 초고압 XLPE 전력케이블은 20(KV/mm) 및 50(KV/mm)로하여 구하여진 것으로 tac 및 timp. 중 큰값을 취한 것이다.

표1. 기존 케이블의 절연두께

케이블	A.C		Impulse		절연두께 (mm)
	EL(ac) (KV/mm)	tac (mm)	EL(imp) (KV/mm)	timp. (mm)	
66KV	20	9.6	50	10.6	11
154KV	20	22.5	50	22.7	23

2.2 모델케이블에 의한 절연특성 평가

2.2.1 모델케이블

일반적으로 XLPE 전력케이블의 절연특성 및 신뢰성은 절연재료보다는 케이블 제조기술에 의해 크게 좌우된다는 점을 고려할때, 절연특성 평가를 위해서는 실제 케이블을 적용하여 파괴시험을 실시하는 것이 가장 정확한 Data를 얻을수 있으나, 초고압케이블의 경우는 케이블을 파괴시키기 위해서는 상당히 높은 전압을 필요로 하기 때문에 기술적으로 상당히 어렵다.

그러한 이유로 기존에는 시험이 간편하고 손쉬운 XLPE Sheet를 이용한 시물레이션시험이 주로 사용되어 왔으나 Data의 정확성 및 신뢰성이 떨어지는 단점이 있었다.

이에 당사는 상기의 단점을 보완하여 초고압케이블의 실 제조기술 및 제조공정을 그대로 적용하여 표2.의 모델케이블을 제조하여 XLPE 케이블 절연체특성 시험을 실시하였다.

모델케이블의 구조 및 규격은 표2.과 같다.

2.2.2 절연특성평가 시험방법 (Weibull 분포시험)

1) A.C 파괴시험에의한 Weibull 분포시험

피시험품의 최소길이는 단말을 제외하고 7m이상으로 하고, 수량은 30개로 하였다. 시험방법은 초기전압을 140KV(35KV/mm)를 인가한 후, 전압을 15 KV/10분씩 step up하여 파괴시 까지 승압하였다.

2) Impulse 파괴시험에의한 Weibull 분포시험

피시험품은 A.C파괴시험과 동일하게 실시하였으며, 시험방법은 초기전압을 -300KV(-75KV/mm)를 인가한 후, 전압을 -20KV/3회씩 step up하여 파괴시 까지 승압하였다.

표2. 모델케이블의 구조 및 규격

구 분		규격 및 구조
도 체	공칭단면적 (mm ²)	400
	재질 및 형상	전기용연동선, 압축원형연선
	외경 (mm)	24
내부반도전층 두께 (mm)	약	1
절연체 두께 (mm)	약	4
외부 반도전층 두께 (mm)	약	1
차폐(연동테프) 두께 (mm)	약	0.1
시스(PVC) 두께 (mm)	약	2
완성외경 (mm)	약	41

2.3 시험결과

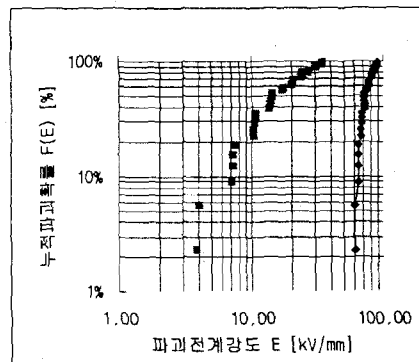
상기의 Weibull분포시험에서 얻어진 결과를 표3. 및 그림2, 그림3에 나타내었다.

A.C 및 Imp. 파괴시험으로부터 구한 Data에서 최소 좌승법을 이용하여 Eo (최도파라메타) 및 b (형상파라메타)를 산출하였으며, 케이블 품질의 안정도를 나타내는 b (형상파라메타)가 상당히 높게 나타나 당사 케이블의 품질이 안정되어있음을 알수 있으며, EL (위치파라메타) Data 또한 기존Data 보다 상당히 개선되었음을 알 수 있다.

특히, EL Data는 현재 외국에서 일반적으로 적용하고 있는 값 35(KV/mm) 및 75(KV/mm)를 훨씬 넘는 Data가 산출되어 당사 제조 케이블의 특성이 상당히 향상되어 있음을 확인할수 있었다. (그림 4. 참조)

표3. Weibull 분포시험 결과

항 목	위치 파라메타 EL(KV/mm)	형상 파라메타 b	최도 파라메타 Eo(KV/mm)
A.C 파괴시험	57.1	9.55	78.0
Impulse 파괴시험	135.6	11.81	176.8



■ : E - EL(ac)
 ◆ : A.C 파괴 Data

그림2. A.C파괴시의 Weibull 분포

3. 결 론

당사는 그동안 초고압 XLPE 전력케이블을 생산하면서 지속적인 제조기술의 개발을 추진하여 왔으며, 초고압 XLPE 전력케이블의 신뢰성을 꾸준히 향상시켜왔다.

그러한 향상된 제조기술을 바탕으로 현재의 당사 케이블제조 수준 및 절연특성을 평가하고자 Weibull 분포시험을 실시하였다.

시험결과, 당사의 제품이 기존의 초고압 XLPE 전력케이블에 적용된 설계 파라메타보다 훨씬 높은 수준에 있음을 확인할수 있었다.

금번 시험을 통해 얻은 설계 파라메타를 적용시 초고압 XLPE 전력케이블의 절연두께를 획기적으로 저감시킬수 있으며, 절연설계의 저감에 따른 케이블의 Compact화로 전력구의 효율적 사용을 기대할수 있다.

또한, 향후에 개발되어질 345KV 및 400KV XLPE 전력케이블의 절연두께 저감설계에 적용될수 있을것으로 판단되며, 케이블외경 축소에따른 대외경쟁력도 갖출수 있을것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] "架橋ポリエチレン 絶縁電力ケーブルの壽命特性", 電氣學會 技 術報告 第514号, 1994.
- [2] "CV케이블および接續部の高電壓試驗法", 電氣協同研究 第51卷 第1号, 1995.
- [3] 速水敏辛 著, "CV케이블" コロナ社, 1986.

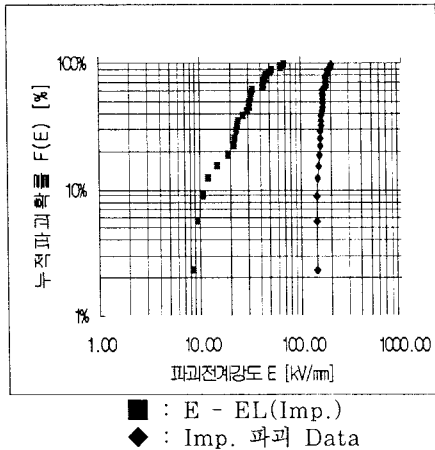


그림3. Impuse파괴시의 Weibull 분포

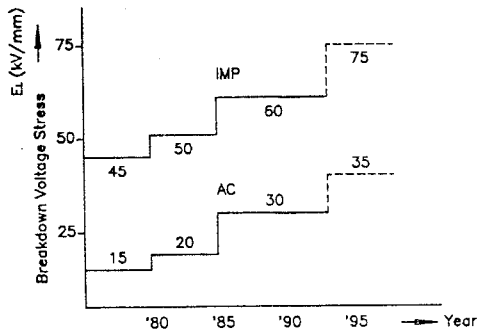


그림4. XLPE 전력케이블의 EL data 변천

2.4 초고압 XLPE 전력케이블의 절연두께 저감검토

Weibull 분포시험에서 구한 EL(ac) 및 EL(imp)의 실험 data가 각각 57.1(KV/mm)와 135.6 (KV/mm)가 산출되었지만, 외국에서 일반적으로 적용하고있는 EL Data를 기준으로 절연설계시 기존의 절연두께 (표1. 참조)와 비교시 상당히 저감됨을 알 수 있다.

표4. 저감 절연두께

케이블	A.C		Impulse		설계 절연두께 (mm)	필요 절연두께 (mm)
	EL(ac) (KV/mm)	tac (mm)	EL(imp) (KV/mm)	timp (mm)		
66KV	35	5.5	75	7.1	8	9~10
154KV	35	22.5	75	15.1	16	17

그러나, 케이블의 절연설계보다는 케이블 접속부의 절연성능이 설계적으로 보다 엄격하여 접속부의 스트레스콘입상부의 전기성능으로부터 제약되므로 실제 필요절연두께는 접속부의 내전압특성으로부터 결정된다.