초고압 275KV XLPE 케이블의 개발

김종원 °김학근 박기호 이경형 최영훈
대 한 전 선 주 식 회 사

Development of EHV 275KV XLPE Power Cable

J.W.Kim , H.K.Kim , K.H.Park , K.H.Lee , Y.H.Choi
TAIHAN Electric wire co., Ltd

Abstract ; At present the XLPE insulated power Cables have installed until 154KV level in KOREA. Therefore, our company has developed 275KV XLPE cable as a means 345KV level-up of CV cable as well as exploitation of overseas markets.
In this paper, the outline of design standards, manufacturing processes and test performance of 275KV CV cable are described.

1. 서 론

최근 산업경제의 발달, 국민복지 생활의 향상으로 인하여 전력수요가 급격히 증가함에 따른 송전선로의 초고압화, 대용량화가 요구되고 있는 가운데 국내에서는 345KV O.F 케이블이 기 개발되어 1992년 하반기부터 설치예정으로 되어 있으나 CV케이블은 대도시를 중심으로 현재 154KV 까지만 사용되고 있다.
따라서, 당사는 향후 국내 CV케이블의 345KV LEVEL-UP 을 위한 준비단계 및 세계적으로 계속 증가추세에 있는 CV케이블의 초고압화에 병행한 해외시장 개척의 일환으로서 275KV CV케이블(동경전력 사양기준)을 개발하게 되었다.
본 논문에서는 상기 케이블의 설계, 제조 및 그 시험 특성에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 본 론

2-1. 케이블의 설계

케이블 설계상의 KEY-POINT는 다음의 2가지이다.
〈1〉 절연두께의 설계
〈2〉 차폐층의 설계

2-1-1. 케이블의 요구성능

〈1〉 AC 내전압 : Vac

$$Vac = Vo/\sqrt{3} \times 1.15/1.1 \times K1 \times K2 \times K3$$
$$= 275KV/\sqrt{3} \times 1.15/1.1 \times 4.0 \times 1.1 \times 1.1$$
$$= 805KV$$

K1 : 장기사용에 따른 열화계수(4.0)
K2 : 온도계수(1.1)
K3 : 포설등 기타 안전계수 (1.1)

〈2〉 Imp내전압 : Vimp

$$Vimp = BIL \times K1 \times K2 \times K3$$
$$= 1050KV \times 1.25 \times 1.1 \times 1.1$$
$$= 1590KV$$

K1 : 온도계수 (1.25)
K2 : 반복 뇌Imp에 대한 열화계수(1.1)
K3 : 포설등 기타 안전계수 (1.1)

2-1-2. 절연두께의 설계

케이블의 절연체 두께는 AC내전압과 Imp내전압을 모두 만족시키는 두께로 설계한다.

〈1〉 AC전압으로 부터 결정되는 절연두께 : t(ac)

$$t(ac) = \frac{Vac}{EL(ac)} = \frac{805KV}{30KV/mm} = 26.8mm$$

단, EL(ac) : AC전압에 대한 통계상의 최저 파괴 스트레스

〈2〉 뇌 Imp전압으로 부터 결정되는 절연두께 : t(imp)

$$t(imp) = \frac{V(imp)}{EL(imp)} = \frac{1590KV}{60KV/mm} = 26.5mm$$

단, EL(imp) : 뇌 Imp전압에 대한 통계상의 최저 파괴 스트레스.

따라서, 상기 〈1〉,〈2〉의 계산결과에 의해 절연두께는 27mm로 한다.

2-1-3. 차폐층의 설계

2-1-3-1. 차폐층 재료

275KV CV케이블의 금속차폐층으로서 갖추어야 될 특성은 〈1〉직접 접지계통에 대한 대용량의 지락용량을 가질것.
〈2〉절연체의 열팽창을 흡수할 수 있는 구조일 것.

전력케이블의 금속차폐층에 사용되는 차재료서는 주로 연동테프, 연동선, Aluminum피, 연피가 있는데 본 275KV CV 케이블 에서는 상기조건을 만족시키면서 차수효과(Water - Blocking) 및 기계적 강도에도 우수한 AL피를 선정하였다.

2-1-3-2. 케이블 절연체의 열팽창 흡수

케이블 절연체의 열팽창에 대해서는 케이블 Core 와 AL피 사이에 GAP을 둠과 동시에 반도전 쿠션층을 압출외부반도전층 위에 감아 케이블 Core의 열팽창을 흡수하도록 하였다. 케이블 Core의 열팽창으로 인한 외경증가 ΔD는 다음과 같다.

$$\Delta D = 0.083 \times \frac{D^2 - d^2}{2D}$$

단, D : 압출외부 반도전층 외경 (mm)

d : 도체외경 (mm)

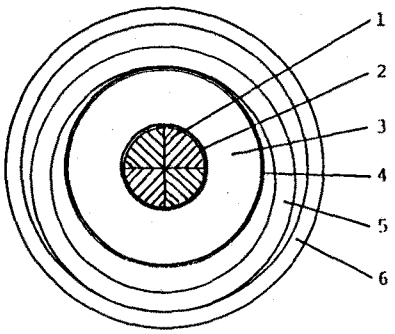
2-1-3-3. Surge 및 충전전류의 영향

AL피와 Core사이의 GAP으로 인한 Surge 침입시의 반도전층 전위상승 및 충전전류에 의한 발열에 대해서는 쿠션층위에 동선직입 반도전 테프를 감는 방식을 채택하였다. 이상과 같이 설계된 Cable의 구조도 및 구조표를 각각 그림1과 표1에 275KV 1×1200㎟ AL SHEATH TYPE을 예로 표시하였다.

표 1. 275KV XLPE 케이블의 구조

도 체	공칭 단면적	mm	1200
	형 상	-	4분할 압축원형
	외 경	mm	41.7 ± 0.5
내부 반도전층 두께		mm	약 2.0
절연체 두께		mm	27.0
절연체 외경		mm	99.7
차폐층	압출외부 반도전층	-	두께 약 4.0
	Cushion 층		
	동선 직입포		
	GAP		
	Aluminum피 두께	mm	2.8
방식층 두께		mm	4.5
개 산 외 경		mm	약 140
개 산 중 량		Kg/Km	약 26000

그림 1. 275KV XLPE 케이블의 구조도



1. 도 체
2. 내부반도전층
3. 절 연 체
4. 외부반도전층 및 열팽창 흡수층
5. 알 미 늄 피
6. 방 식 층

2-2. 케이블의 제조

초고압 CV케이블의 제조상의 KEY-POINT는,

〈1〉 가교폴리에틸렌(XLPE)Compound 를 도체위에 피복하는 압출기술,

〈2〉 원재료에서부터 압출설비까지의 재료수송 및 공급 LINE에서의 이물 혼입방지,

〈3〉 압출공정에서의 Amber, Scorch 등의 발생억제 등이 있다.

2-2-1. 가교방식

XLPE를 제조하는 방법에는 현재 다음의 3가지 방법이 있다.

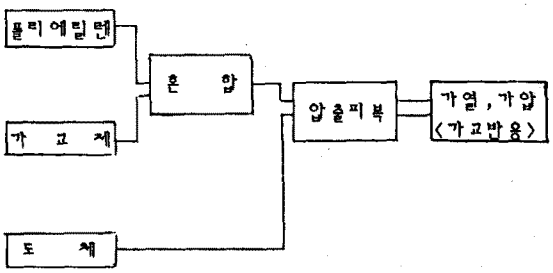
〈1〉 유기과산화물 (가교제)에 의한 방식

〈2〉 SILANE 수가교 방식

〈3〉 전자조사 가교방식

이 방식들 중에서 현재 고전압 CV케이블의 제조에 쓰이는 방식은 〈1〉의 방식이다.

이 방식은 가교제를 첨가하는 폴리에틸렌을 압출피복 한 후 고온, 고압하에서 가교제의 작용에 의해 가교반응을 일으키게 하는 방법이며, 이것을 그림으로 표시하면 다음과 같다.



2-2-2. 절연특성에 영향을 주는 요인

CV케이블의 특성향상에 있어서 중요한 것은 다음의 3가지이다.

〈1〉 절연체 속의 미세한 공극

〈2〉 절연체에 혼입되어 있는 이물

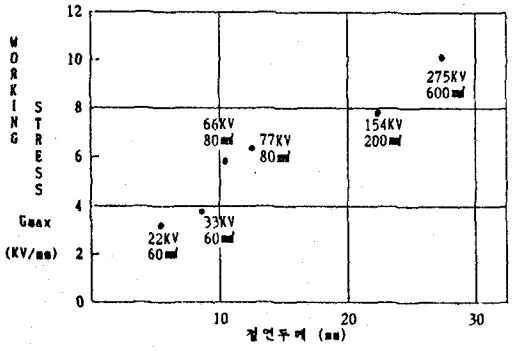
〈3〉 도체와 절연체 경계면의 돌기

2-2-3. 초고압 CV케이블의 제조기술

그림2에 전압 Level 별 CV케이블의 Working-Stress 를 각각 최소도체 SIZE에 대해서 표시하였다. 이 그림에서 케이블의 전압 Grade 가 높아질수록 사용

Stress 도 점점 커지고 있는 것을 알 수 있다.
따라서, 초고압 CV케이블에서는 보다 신뢰성이 높은 성능을 가지는 절연체가 요구된다.

그림 2. XLPE CABLE의 WORKING STRESS (Gmax)



2-2-3-1. CDCC System

CDCC란 Completely Dry Curing & Cooling 방식으로서 당사의 초고압 CV케이블의 제조에 이용하고 있다.

특징은 가교와 냉각이 모두 DRY TYPE 즉, GAS로 이루어짐으로써 Micro-Void 의 생성을 극소화 하였다.
특히 냉각시 물을 사용하지 않는 완전건식 이라는 점에서 다른 건식가교방식에 비해 한층 신뢰도가 높은 케이블의 제조가 가능하다는 것이다.

2-2-3-2. TRIPLE COMMON HEAD 채택

내부반도전층, 절연층, 외부반도전층의 압출공정을 하나의 Cross-Head 에서 이루어지는 (3중 동시압출) 방식을 적용함으로서 내부반도전층과 절연층 계면을 평활하게 밀착시켜 계면의 이물부착방지 및 돌기발생을 최소화 하였다.

2-2-3-3. 이물제거 대책

이물은 주로

〈1〉 폴리에틸렌 합성중의 제조공정
〈2〉 수송중 (포장)
〈3〉 재료공급실 및 공급 LINE
〈4〉 압출공정중

에서 혼입되어 발생한다.

1〉 SUPER CLEAN COMPOUND

종래의 Compound 보다 이물이 거의 없는 재료를 사용함으로서 절연체의 이물 LEVEL을 더욱 저감시킨 Compound 의 사용.

2〉 CLEAN ROOM화

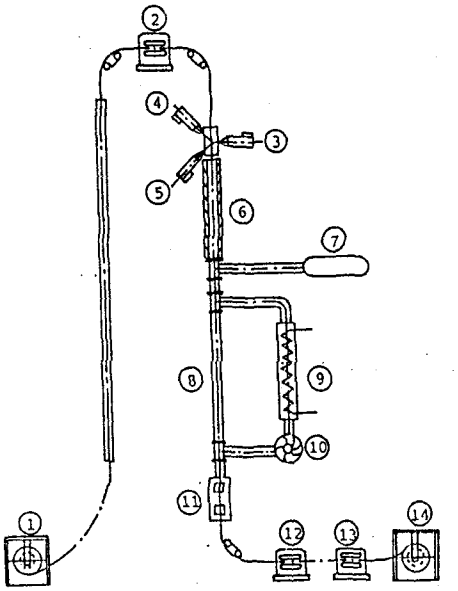
재료공급실의 공기청정도를 Class-1000으로 하여 공기중의 이물혼입을 최대한으로 억제.

3〉 재료공급실에서 압출기까지의 재료공급 LINE을 이물혼입의 방지를 위해 청정공기를 사용한 압송방식을 채택.

4〉 이상과 같은 이물혼입대책외에 압출기내의 Screen mesh 를 설치하여 최종적으로 절연체내의 이물혼입을 최소화하여 고STRESS, 고신뢰도의 절연성능을 가진 XLPE제조가 가능하였다.

다음의 그림3은 275KV 케이블의 제조에 사용된 RCP형 절연공정의 개요도이다.

그림 3. RCP형 VCV 절연공정 개요도



① Pay-Off
② Metering Capstan
③ Extruder 1 (절연)
④ Extruder 2 (내부 반도전층)
⑤ Extruder 3 (외부반 도전층)
⑥ Curing Zone
⑦ N_2 Tank
⑧ Cooling Zone
⑨ Heat Exchanger
⑩ Blower
⑪ End Seal
⑫ Tensile Capstan
⑬ Auxiliary Capstan
⑭ Take-Up

2-3. 케이블의 시험 및 특성

이상과 같이 제조한 케이블의 주요시험결과는 표2와 같다.

표2. 주요 시험 결과

항 목		사 양	결 과
A.C 내전압 시험		610 KV x 12시간 혹은 805 KV x 1시간 견딜것	No B/D
Imp 내전압 시험		1590 KV x 3 回	No B/D
부분방전 특성시험		310 KV 에서 30pc 이하	310KV 에서 12pc 이하
보 이 드		30 ㎛ 이하	최대 10㎛
이 물	엠 버	250 〃	최대 70㎛
	블럭, 메탈	100 〃	없 음
반도전층 돌기		250 〃	없 음

3. 결 론

초고압 CV케이블의 신뢰성과 수명에 중요한 영향을 끼치는 절연체내의 VOID, 이물 및 반도전층의 돌기를 최대한으로 억제시키기 위해 금번 275KV CV 케이블은 완전건식가교 방식으로 제조하였으며,
향후, 국내 345KV CV화에 대한 준비단계의 마련 및 해외수출시장에서의 200KV급 이상 CV 케이블의 수주에 한층 박차를 가하는 계기가 되었다.

4. 참고문헌

1) 동경전력 275KV CV 케이블 사양

2) "The Development of 275KV XLPE cable & Accesories" Fujikura Technical Review, 1980.

3) "275KV XLPE 케이블 및 부속품의 개발(1)" 쇼와전공시보 소화55년.

4) "Properties of Extra High Voltage XLPE cables Manufactured by perfectly Dry Curing Process" Fujikura Technical Review, 1979.

5) "275KV CV케이블의 실용화에 대하여" 스미토모전공 개발보고서, 1979.

6) "Development and Commercial use of 275KV XLPE Power cable "
Sumitomo Electric, IEEE 1980.

7) "275KV 가스 가교폴리에틸렌 케이블의 개발" 히다찌 평론 VOL. 57