

초고압 XLPE 케이블 금속 차폐층 고찰

최창수, 이갑중, 정무영, 권병일*
대한전선 주식회사

A study of Metallic sheath for Extra-high voltage XLPE cable

C.S. CHOI, K.J. LEE, M.Y. CHUNG, B.I. KWON
TAIHAN ELECTRIC WIRE CO., LTD

ABSTRACT

The Extra-high voltage XLPE cable is characterized by low transmission loss, large capacity, and high reliability.

Conventionally, for XLPE cables of 154kV and above, aluminium sheath was used to be moisture barrier (thus preventing water tree deterioration of the insulation) and to protect cable core from physical stresses.

However, as transmission capacity of the cable increases, so does the cable diameter and the corresponding aluminium sheath outer diameter and thickness.

As a result, eddy-current loss in the sheath is increased, limiting the maximum current capacity of the cable itself.

As an alternative to aluminium sheath, we have adopted stainless steel sheath with non-magnetic properties and a large resistivity.

The new XLPE cable with stainless-steel sheath (CSZV cable) has drastically reduced eddy-current loss in the sheath.

통한 송전용량의 증대방안을 고찰하여 보았다.

II. 본 론

1. 금속 차폐층의 역할

먼저, 금속 차폐층은 내부 절연체 보호와 고장전류 대기귀로의 2가지 큰 기능이 있다. 또한 구조적으로 기계적 강도가 우수 하여야 하고 외부로부터의 수분침입을 방지할 수 있는 차수효과가 뛰어나야 한다.

다음은 금속 차폐층이 갖춰야 할 요소들이다.

- ① 높은 자락전류 용량을 만족해야 한다.
- ② 케이블의 종,횡 방향으로의 수축 및 팽창으로 인한 케이블 구부러짐에 대해
 - 내굴곡성을 지녀야 함.
 - 기계적인 Stress에 대한 탄력성을 지녀야 함.
- ③ 케이블 포설시에 굴곡성이 있어야 함.

이러한 제성능을 만족하기 위해서 종래는 연합금속 차폐층으로 사용하고 있었으나 기계적 특성이 우수하고 경량인 Aluminium Sheath를 많이 채용하고 있다. 그러나 대용량화에 따라 금속 차폐층의 와전류 손실을 저감 시킴으로써 송전용량을 증가시킬 수 있는면에서 Stainless-Steel Sheath를 채용하고 있기도 한다.

따라서 본고에서는 먼저 Stainless-Steel 및 Aluminium Sheath의 차폐층으로서의 여러가지 특성을 비교해 보았다.

I. 서 론

근년 지중 송전선로에서 보수의 용이성 및 저손실 등으로 XLPE 케이블의 적용이 증가하고 있다.

특히 154kV급 이상의 XLPE 케이블에서는 절연체의 수 Tree에 대한 차수 및 외상방지 목적으로 금속 차폐층 구조를 채택하고 있으나 전류수요의 급증에 따른 대용량화(대Size화)는 금속 차폐층의 두께 및 외경 증가를 가져와 이로 인한 손실이 커져 용량의 극대화를 꾀하지 못하고 있다.

이러한 관점에서 초고압 XLPE 케이블에 적용되고 있는 금속 차폐층에 대한 검토 및 개선에 대한 연구들이 케이블의 대용량화를 모색할 수 있는 방법중의 하나가 될것이다.

따라서 최근 기계적으로 우수한 특성을 가지고 손실을 저감할 수 있는 구조인 Stainless-Steel Sheath 케이블에 대한 연구가 활발하게 진전되고 있는 추세이다.

본고에서는 이 Stainless-Steel Sheath 케이블로 설계하여 현재 국내에서 일반적으로 채용되고 있는 Aluminium Sheath 케이블과 구조 및 특성을 상호 비교하여 금속 차폐층의 와전류 손실(Eddy current loss) 감소를

2. 금속 차폐층의 특성 비교

금속 차폐층으로 적용되고 있는 Stainless-steel과 Aluminium 재질 및 케이블에 대하여 비교하였다.

1) 재질 비교

일반적인 특성을 비교해보면 표 1.과 같다.

표 1. 금속 차폐층의 재질 비교

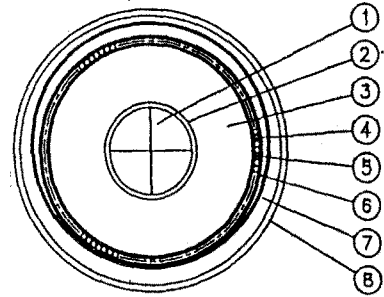
| 특 성 | 항 목 | Aluminium | Stainless |
|-----|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 물리적 | 선팽창계수 [1/°C, 20°C] | 23.7x10 ⁻⁶ | 17.3x10 ⁻⁶ |
| 기계적 | 인장강도 [kg/mm ²] | 8.5 | 59 |
| | 탄성계수 [kg/mm ²] | 7.2x10 ³ | 19.7x10 ³ |
| 전기적 | 저항률 [μΩ.cm] | 2.83 | 73 |

2) 케이블 비교

케이블의 장단점을 비교해보면 표 2.와 같다.

표 2. 금속 Sheath별 케이블 비교

| Sheath 재질 | 장단점 | 특 | 성 |
|-----------|-----|---|---|
| Aluminium | 장점 | - 충분한 지락용량 - 차수효과 우수 - 외부로부터의 손상보호 효과 - 중량이 가볍다. | |
| | 단점 | - 포설여건에 따라 Sheath 손상 위험이 Stainless Steel Sheath보다 높다. - 최소곡률반경이 더 크다. * Aluminium: 20D * Stainless: 15D * D = Sheath 외경 | |
| Stainless | 장점 | - 차수효과 우수 - 외부로부터의 손상보호 효과 - 내부식성이 우수함 - 인장강도가 높다. | |
| | 단점 | - 부적합한 지락용량 (Wire Shield와 함께 적용해야 함.) - 제조단가가 높다. | |
| Steel | 단점 | - 부적합한 지락용량 (Wire Shield와 함께 적용해야 함.) - 제조단가가 높다. | |



1. 도체 지폐층
2. 절연체 지폐층
3. 절연체 지폐층
4. 절연체 지폐층
5. 외부도체
6. 반도전부선층
7. Stainless-Steel Sheath
8. 방식층

그림 1. 케이블 단면도

도체 및 절연체의 설계는 기존의 Aluminium Sheath 케이블과 동일한 방법으로 행하였으며 금속차폐층으로서 Stainless-Steel Sheath를 적용하였고 Stainless Sheath 만으로는 지락전류 용량이 약 2.5kA x 2초로서 절연체 외부층에 지락전류 귀로도체(외부도체)를 두어 규정치인 31.5kA x 2초를 만족시키는 구조로 하였다. 또한 케이블 통전시 절연체의 열팽창을 흡수할 수 있도록 반도전성 부선층을 두었다.

Stainless-Steel Sheath의 두께 0.8mm는 Aluminium Sheath 2.8mm와 동등 이상의 기계적 강도를 가지며 우수한 내부식성을 지닌다.

3. 케이블의 설계

일반적인 구조인 Aluminium Sheath 케이블의 요구성능을 충분히 만족하는 Stainless-Steel Sheath 케이블의 설계는 이사에서 개발되어 기 발표된 275kV Aluminium Sheath 케이블의 구조를 기초로 하여 설계 하였다.

표 3.은 설계된 케이블 구조표이며 단면도를 그림 1.에 표시하였다.

표 3. 케이블 구조표

| | | | |
|------------------|-----------------|---------|-----|
| 공칭전압 | kV | 275 | |
| 공칭단면적 | mm ² | 1200 | |
| 도체형상 | -- | 분할 압축원형 | |
| 도체외경 | mm | 41.7 | |
| 도체차폐층두께 | mm | 2.0 | |
| 절연체두께 | mm | 27.0 | |
| 절연체차폐층두께 | mm | 1.5 | |
| 외부도체단면적 | mm ² | 266 | |
| 반도전성부선층두께 | mm | 2.0 | |
| Stainless Sheath | 두께 | mm | 0.8 |
| | 외경 | mm | 6.0 |
| 방식층두께 | mm | 5.0 | |
| 케이블외경 | mm | 136 | |
| 개산중량 | kg/m | 25.7 | |

4. System의 적용

Stainless-Steel Sheath 케이블을 산로에 적용하였을 경우 송전용량 및 제반특성을 검토 하였다.

이 경우 케이블은 가장 광범위하게 적용하고 있는 전력구내 삼상삼각 배열을 기준으로 하고 금속 Sheath의 접지방식은 Cross-Bond 방식으로 고려했으며 기저온도는 보수 및 점검이 가능한 최고온도인 40°C를 기준으로 하였다.

5. 와전류 손실을 검토

그림 2.는 일반적인 케이블의 열회로도이다.

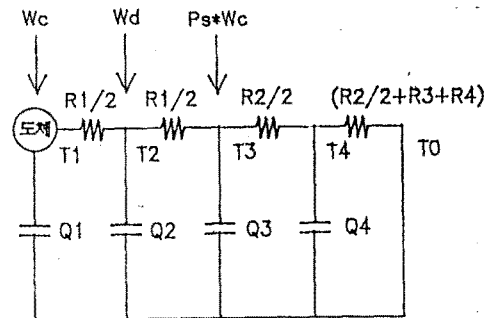


그림 2. 열 회로도

여기서, Wc ; 도체손실 [W/cm]
 Wd ; 유전체 손실 [W/cm]
 Ps ; Sheath 손실
 R ; 각 부분의 열저항 [°C.cm/W]
 T ; 각 부분의 온도 [°C]
 Q ; 단위체적당 열용량 [cal/cm³.°C]

금속 Sheath 손실

$$Ps = P1 + P2 = Ws1/Wc + Ws2/Wc$$

P1 ; Ws1/Wc
 P2 ; Ws2/Wc

Ws1/Wc ; Sheath 회로 손실
 Ws2/Wc ; Sheath 와전류 손실

상기 내용과 같이 금속 Sheath의 내부로부터 발생되는 와전류 손실은 Sheath의 전기저항과 밀접한 관계가 있다. 표 4. 에서 보는바와 같이 Stainless-Steel Sheath 케이블의 와전류 손실이 Aluminium Sheath 케이블에 비하여 약 1/50정도 저감됨을 알수있으며 이는 Stainless-Steel Sheath가 고저항을 가졌기 때문이다.

표 4. 와전류 손실을 비교

| Sheath 종 별 | Stainless | Aluminium |
|------------------|-----------|-----------|
| Sheath 두께 [mm] | 0.8 | 2.8 |
| Sheath 단면적 [mm²] | 298 | 1,041 |
| 와전류 손실 | 0.016 | 0.765 |

6. 열기계적 특성 검토

1) 선팅창 계수 [α] 비교

표 5.는 시료의 변위량을 측정하여 선팅창 계수를 구한 결과를 보여주고 있다.

Stainless-Steel Sheath XLPE 케이블의 선팅창 계수는 종래의 XLPE 케이블의 α에 비하여 작다. 이는 Stainless-Steel Sheath의 α가 케이블 Core의 α에 비하여 작기 때문에 케이블 전체의 α를 작게 한다고 생각된다.

표 5. 선팅창 계수의 비교

| 각 부 분 | 선팅창 계수 [×10⁻⁶/°C] | |
|--------|-------------------|------------------|
| | Stainless Sheath | Aluminium Sheath |
| 케 이 블 | 18.4 | 17.8 |
| Core | 19.9 | 17.8 |
| Sheath | 15.2 | 24.2 |

2) 곡률강성 [EI] 비교

금속 Sheath XLPE 케이블의 곡률강성의 계산식은 다음과 같다.

$$EI = 3000 \cdot \frac{(4A)^2}{64\pi} + Es \cdot \frac{\pi}{8} ds^3 t$$

여기서, Es ; Sheath의 영률 [kg/mm²]
 ds ; Sheath의 평균외경 [mm]
 t ; Sheath의 두께 [mm]

그림 3.은 Stainless-Steel Sheath의 곡률강성 특성을 나타낸 그래프이다.

Stainless-Steel Sheath는 고탄력성이기 때문에 Core와 Sheath의 곡률강성 비율은 기존의 Aluminium Sheath 케이블에 비하여 상대적으로 작다. 따라서 Stainless-Steel Sheath는 Aluminium Sheath에 비해 굽곡이 용이하다.

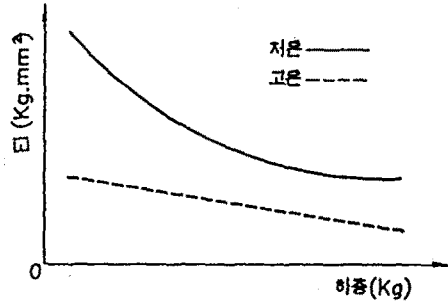


그림 3. EI의 온도, 하중특성

III. 결 론

초고압 XLPE 케이블은 케이블 횡방향의 수분 침투와 기계적인 손상방지의 목적으로 금속 차폐층을 적용하고 있으며 송전선로의 대응력화 추세에 따라 케이블도 대Size화 되고있다.

국내에서 일반적으로 적용하고 있는 Aluminium Sheath 케이블은 대응력화(대Size화)에 비례하여 Sheath의 외경과 두께가 증대되어 와전류손으로 인한 금속 Sheath의 손실이 커져서 결과적으로 케이블의 송전용량 증대에 한계를 가져온다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 초고압 XLPE 케이블의 Stainless-Steel Sheath 채용은 금속 Sheath의 손실을 현저히 저감시키는 하나의 방법이다.

IV. 참고 문헌

1. 飯塚 喜八郎 監修 ; 電力 케이블 技術 핸드ブック
2. H.A.Mayer, E.Buczna, J.A.Adock, V.J.Boliver, M.Uzelac ; "Development of a 220/230kV XLPE High Voltage Cable Accessories", the 41st International wire and cable symposium 1992, session.
3. Masaki ICHIHARA, et al ; "Development of Bulk-Power 275kV XLPE Cable System", Sumitomo Technical Review, Number 31.
4. 大脇光廣 外 ; "中部電力 布池牛島町線 154kV CSZV 케이블", 1989年3月, 住友電氣 第134號.
5. 김종원, 김학근, 박기호, 이경형, 최영준 ; "초고압 275kV XLPE 케이블의 개발", 1992년 대한전기학회 하계학술대회 논문집.