

고낙차 조건에서의 154kV XLPE CABLE 설치

황순철, 이창수, 이천구, 고창성
 금성전선주식회사

An Installation of 154kV XLPE CABLE in Steep Slope Condition

Soon-Chul Hwang, Chang-Su Lee, Cheon-Ku Lee, Chang-Sung Goh
 GoldStar Cable CO., Ltd.

ABSTRACT

In 1980, 154kV OF cable was installed at the Cheong-Pyeong pumped-storage power station. Effective head of this pumped-storage station is 250m between upper and lower reservoir and length of cable route is 750m. However, several failures have happened owing to steep slope during the operation. 154 kV XLPE cable was applied for this power station to eliminate a lack of stability on account of steep slope and successfully installed in 1991. Meanwhile, installation procedure brings about many problem to be solved.

In this paper, we describe the counter measure of cable sliding phenomena caused by heat shrinkage as well as the method of installation of cable under the steep slope condition. And hereafter, we think this paper will be a good reference to design and installation of 154kV XLPE cables in steep slope tunnel at urban areas.

1. 서론

한국전력공사 청평 양수발전소는 출력 400MW로 대용량 양수 발전소이다. 이 발전소의 지하 변압기실과 옥외 개폐소를 연결하는 간선은 고저차가 약 250m 조건으로 1980년 일본 전선업체에서 154kV 고무압 연피 OF CABLE로 설계하여 공급 설치한 바 있다. 그러나 심한 고저차로 인하여 시공시 활락으로 인한 사고 및 설치 완료 후에도 열신축으로 인한 OIL 누유사고등 운전 중 수차례의 사고가 발생하였다.

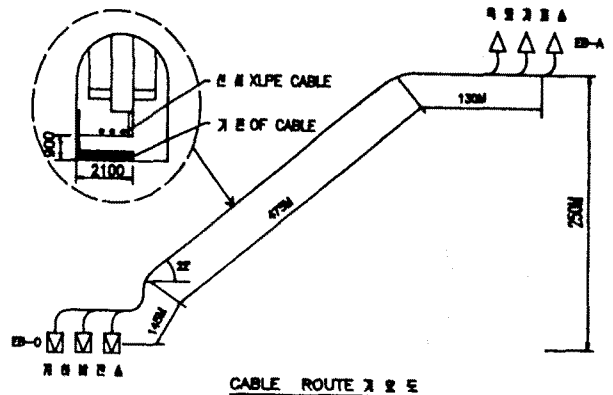
따라서 KEPCO에서는 1991년 본 SYSTEM을 전반적으로 재검토하게 되었으며, 그 결과 고저차에 무관하고 유지보수 관리가 뛰어난 XLPE CABLE을 적용하여 당사가 성공적으로 공급 설치 완료하였다. 그러나 창조장 고낙차 조건으로 인한 많은 해결 과제가 야기되었다. 본 고에서는 이에따른 열신축에 의한 활락 방지 대책 및 시공상의 문제 해결 방법을 제시코자 한다.

2. CABLE ROUTE 개요

개략도와 같이 CABLE 총 길이가 750m이고 경사면이 475m로서 22°의 경사각을 가진 전력구로 되어있고 옥외 개폐소와 지하 발전소사이의 총 낙차는 250m이다.

옥외 개폐소는 기중종단접속함(EB-A)이고 지하 발전소의 변압기실은 INVERTED TYPE의 유중종단 접속함(EB-O)로 구성되어 있다.

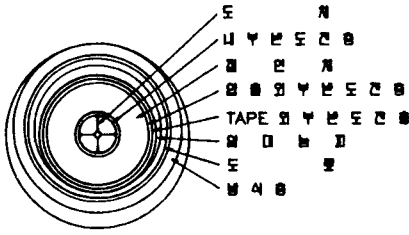
적용 CABLE은 154kV XLPE 1200mm² CABLE인데 길이가 750m 일 경우 CABLE 운반 및 포설에 어려움이 있어, 중간에 접속점을 적용하는 것이 일반적인 예이나, 전기적 특성 및 경제적 기타 공사기간(점전기간단축)등을 고려하여 중간접속이 없는 단조장으로 설계하였다.



3. 설계

(1) CABLE 구조

XLPE CABLE은 등도체 위에 가교폴리에틸렌 절연하고 금속시스(CORRUGATED AL SHEATH)를 한후에 PVC로 피복한 구조로 되어있다.



154kV CAZV CABLE

항목	단위	특성치
도체	공칭 단면적	mm ² 1,200
	형상	- 분할압축형
	외경	mm 41.7
내부 반도전층 두께	mm	1.5
절연체 두께	mm	23.0
절연체 외경	mm	90.7
압출외부반도전층두께(약)	mm	1.5
TAPE외부반도전층두께(약)	mm	1.0
알루미늄 두께	mm	2.7
방식층 두께	mm	4.5
최대방식층 외경	mm	125
최대도체저항 (20℃)	Ω/km	0.0156
최대절연저항 (20℃)	MΩ/km	0.21
최소절연저항 (20℃)	MΩ.km	3,000

CABLE 특성표

(2) CABLE 포설방식

전력구에서의 케이블 포설방식은 크게 두가지로 분류된다.

- ㉠ 일반 고정 방식
- ㉡ SNAKE 포설방식

일반 고정방식은 케이블 길이가 짧은 장소에 적용하나 양수발전소는 침두 부하발전소로서 부하 변동폭이 커서 케이블에 인가되는 온도 변화가 크고 이에 따른 케이블의 열신축폭이 크므로 이에 유리한 SNAKE 포설방식을 적용하였다.

SNAKE 포설방식은,

㉠ 알루미늄 시스와 케이블 CORE 간의 마찰저항이 증가하므로 CORE 구속력이 증가한다.

㉡ 부하 증감에 따른 케이블 열신축량을 분산 흡수하여 지하 발전소의 종단 접속함에 집중하는 것을 방지한다.

(3) SNAKE 형태와 CLEAT

SNAKE PITCH와 폭은 고정부의 축력, 폭방향의 변위 AL SHEATH의 왜율을 종합적으로 계산하여 결정하는데, 가령 임의의 SNAKE PITCH와 폭을 정하여 연간 온도 변화에 의한 고정부 축력 및 폭의 변위 기타 AL SHEATH 왜율이 0.3% 이내가 되도록 결정한다.

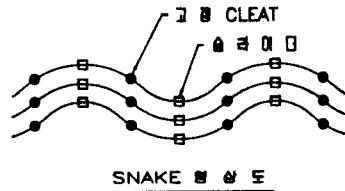
SNAKE의 폭과 PITCH의 설계 기준은,

㉠ 케이블의 허용 곡률반경 이내여야 하고,

㉡ AL SHEATH와 왜율이 허용치 이내여야 하고,

㉢ SNAKE 폭이 케이블 전력구 조건에 만족해야 하므로, 본 프로젝트에서는 기존에 설비되어 있는 금구류등을 감안하여 PITCH 6m, 폭 125mm로 설계하였다.

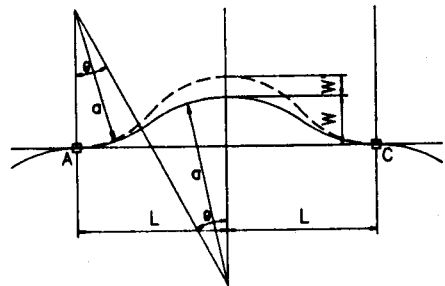
또한 케이블 SNAKE 형상을 유지하기 위한 방법으로 케이블 고정용 CLEAT를 사용하였고, SNAKE 폭을 고려하여 변곡점 고정방식으로 설계하였다. CLEAT 고정 위치는 그림과 같이 변곡점에는 CLEAT를 고정하고 산 부분에 SLIDER를 적용하여 이 부분에서 케이블이 자유로이 호흡할 수 있도록 하였다.



(4) SNAKE의 이론적 검토

SNAKE 형상은 반경 a의 원호 연결이고 케이블 자중은 법선 방향만을 고려하여 일정하다고 전제할 경우 SNAKE 형상에 의해 결정되는 정수는

$$\begin{aligned}
 K1 &= 1 - \cos \theta \\
 K3 &= \theta + \theta/2 \cos 2\theta - \frac{3}{4} \sin 2\theta \\
 K5 &= \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cos 2\theta + \theta/2 \sin 2\theta - \cos \theta \\
 K7 &= \theta - \sin \theta \\
 K8 &= -\frac{1}{2} (\sin \theta + \sin 2\theta - 3 \cos \theta) \\
 K9 &= \frac{1}{2} (3 - 2 \cos \theta - \cos 2\theta - 3\theta \sin \theta)
 \end{aligned}$$



$$\text{SNAKE 반경 } a = \frac{W^2 + L^2}{4W} \text{ [mm]}$$

$$\text{SNAKE 원호각 } \theta = \sin^{-1} \frac{L}{2a} \text{ [rad]}$$

열신축에 의해 케이블 축방향으로 작용하는 축력,

$$T = \frac{B L \delta t - \frac{2 a^2 \mu K8}{EI} p}{\frac{2 a^2 K3}{EI} + \frac{L}{EA}} \text{ [kg]}$$

B : 도체의 선폽장계수 ----- 1.65×10^{-5} [1/°C]
 δt : 연간 온도 변화 ----- 65°C ($90^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$)
 EI : AL SHEATH 굴곡강성을 -- 1.9×10^9 [kg·m²]
 E : 케이블 영율 ----- 4000 [kg/m²]
 A : 도체 단면적 ----- 1200 [mm²]
 P : 케이블 단위중량 ----- 22.2 [kg/m]

폭방향의 변위,

$$W' = - \frac{2 a' K5}{EI} F + \frac{2 a' \mu K9}{EI} P \quad [\text{mm}]$$

μ : 케이블과 TRAY 와의 마찰계수 ---- 0.2

AL SHEATH 왜울,

$$\epsilon = \frac{r \Phi}{EI} (- F a K1 + P \mu a' K7)$$

r : AL SHEATH 반경 [mm]

Φ : 형상계수

계산결과,

CABLE	r	P	L	W	W + W'	ϵ
XLPE 1200mm ²	52.7	22.2	3000	125	178	0.17

4. 시공

(1) 포설장력의 검토

포설장력은 케이블 루트 전체를 고려해서 각각 별도 조건으로 구분하여 검토되어야 하나 본 프로젝트의 대부분인 케이블 드림, 상부 개폐소의 직선부, 경사면 등 3조건으로 검토한다.

포설종류	적용식
케이블장력	$T = T_s + T_h + T_p$
드림초기장력	T_s
수평직선부	$T_h = \mu W L$
직선경사부	$T_p = W R (\mu \cos \theta - \sin \theta)$

T_s : 드림초기장력 ----- 200 [kg]
 μ : 마찰계수 ----- 0.1
 W : 케이블 단위중량 ----- 22.2 [kg/m]
 L : 직선부 케이블 길이 ----- 130 [m]
 θ : 경사각 ----- 22°
 R : 경사부 케이블 길이 ----- 620 [m]
 (지하 발전소 검사면 포함)

계산결과 포설장력 $T = (-)3414$ [kg] 으로 상부 개폐소에서 지하 발전소 쪽으로 장력이 작용한다.



CABLE 운반

(5) CLEAT 설계

CLEAT는 케이블의 단락 전자력에 의한 응력에 견디도록 설계되어야 한다.

본 프로젝트의 설계조건은,

단락전류 : $79,000$ (A)
 CLEAT 설치간격 : 300 [cm]
 CLEAT 재질 : AL ALLAY (KSD 6008 AC7A)

㉔ 단락 전자력

$$F1 = k \times 2.04 \times 10^{-8} \times \frac{I_m^2}{S} \times L \quad [\text{kg/cm}]$$

k : 정수 ----- 0.866

I_m : 단락전류의 파고치 ----- $\sqrt{2} \times 79,200$ [A]

S : 케이블 중심간격 ----- 25 [cm]

L : CLEAT 설치간격 ----- 300 [cm]

㉕ 단락전자력이 CLEAT 에 미치는 인장 응력

$$a = 0.75 \times P1 \times \frac{r}{t} \quad [\text{kg/cm}]$$

$$P1 = \frac{\text{케이블의 단락 전자력}}{\text{케이블과 CLEAT 사이 접합면적}} \quad [\text{kg/cm}]$$

r = 케이블과 CLEAT사이 접합부반경 - 6.3 [cm]

t = CLEAT두께 ----- 1.2 [cm]

㉖ 계산 결과

단위 : kg

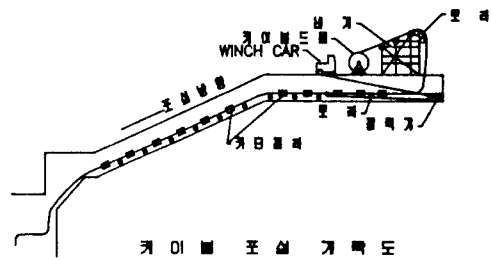
단락 전자력	CLEAT에 미치는 인장응력	CLEAT허용 인장응력	비고
2659	463	700 - 1400	양호

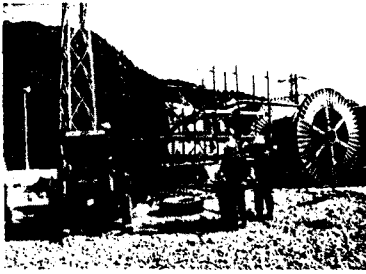
(2) 케이블 포설

본 프로젝트는 케이블 조장이 장조장이고 고낙차의 경사도 조건으로 포설장력 검토 결과와 같이 BACK TENSION 이 작용하므로 다수의 캐터필라를 이용 현장 조건을 고려하여 수평지는 40 m, 경사지는 20 m 간격으로 설치하였고 동시에 WINCH CAR (20 ton)를 이용하여 포설장력을 병행 분담하여 실시 하였다.

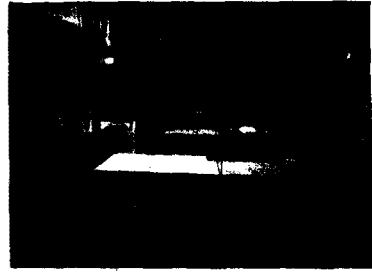
포설속도는 $3 \sim 4$ m/분 정도로 시행하였고 곡률부는 케이블 한계 축압 (500 kg/m)이하가 되도록 케이블 가이드 튜브를 이용하여 루트 조건을 보완하였다.

또한 안전사고를 대비하여 검사지의 전력구에 STOP MESH를 20 m 간격으로 설치하였다.





CABLE 포설 전경



경사지 CLEAT 고정

5. 결론

고낙차 조건의 XLPE CABLE의 열신축에 따른 활락방지 대책으로 SNAKE 포설 방식을 적용하여 성공적으로 설치 완료하였다.

현재 도심에서의 지중 케이블 설치를 위한 전력구 설비의 추세는 지하 저장물 및 민원 발생등으로 인하여 상당 깊이에 설치되어야 함으로 고낙차 수직구는 불가피하다.

향후 이러한 조건의 케이블 시스템 설계 및 시공에도 좋은 자료가 될 것으로 생각되며 많은 지도 전달을 바라는 바이다.

참고문헌.

- 11) 飯塚喜八郎, 電力케이블 HAND BOOK, 電氣書院(日本), 1978
- 12) 中西正士외 3인, 住友電氣 第 121 號 超高壓豎抗 OF 케이블 完成, 1982
- 13) 段部正美외 3인 高落差布設 500kV 알루미늄被 OF CABLE, 日立評論 Vol. 61 No.5 (1979-5)
- 14) T. Aabo, J. A. Williams POWER TECHNOLOGIES, INC. UNDERGROUND CABLE SYSTEMS COURSE, 1987