

터널 구간 66kV 급전선 차폐층 접지 시공 방법에 관한 검토

Review of the earthing method of the copper wire shield of 66kV feeder cable in tunnel area

권삼영*	김도원**	안영훈***	박원준****
Kwon, Sam-Young	Kim, Do-Won	Ahn, Young-Hoon	Park, Hyun-Jun

ABSTRACT

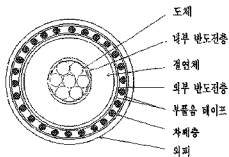
In electrification of the Honam line, the grounding method of the copper wire shield of 66kV feeder cable was disputed. This paper describes that the review of the proper earthing method(one-side earthing or both-side earthing) under consideration of the site condition and the acceptability of the induction voltage of the shield on the end of the cable.

1. 서론

호남선 전철화에서 터널 구간에는 급전선이 66kV CV 케이블로 설치된다. 긴 터널의 경우 CV 케이블의 차폐층(Shield)에 유기되는 전압이 높아 접지방식에 따라서는 케이블 외피의 절연 파괴나 인명에 위해를 줄 우려가 제기된다. 따라서 CV Shield에 유기되는 전압의 크기를 계산해 보고, 유사 사례에 대한 비교 검토도 하여, 이에 따른 적절한 접지방식(편단 접지 / 양단 접지) 및 설비 기준을 검토해 본다.

2. 급전선 케이블 : CV 66kV

호남선 터널 구간에는 급전선으로 66kV CV IC×200mm 케이블을 사용한다. 이 케이블에는 급속 차폐층(급속 시스, Copper Wire Shield)이 들어있다.



터널에서 케이블을 사용하는 이유는 전기적 이격거리를 줄이기 위한 목적일 것이다. 케이블에서 급속 시스(Sheath)의 역할은 일반적으로 다음과 같다.

- ◆ 정전 차폐
- ◆ 외부 손상으로부터 케이블 보호
- ◆ 절연체의 내전압치 향상
- ◆ 접지회로(고장전류 귀로)의 역할(접지 임피던스 저감)

그림 1 66kV CV 단심 케이블 구조

* 한국철도기술연구원 책임연구원, 김희원
 ** 한국철도시설공단 부장, 정희원
 *** 철도청 전기본부 사무관, 김희원
 **** 한국철도기술연구원 책임연구원, 김희원

철도용품 표준규격(6145-3253 다-1)에서는 66kV 가교폴리에 절연 절연 비닐시스 케이블(66kV CV IC×200mm)의 차폐층(Sheath)에 대하여 다음의 절연 성능을 요구하고 있다.

표 1 CV 66kV 케이블의 시스에 대한 절연성능 요구치

절 연 서 항	10MΩ·km 이상	교류내전압(시료)	20kV에서 1분간 견딜 것
교류내전압(드림)	3kV에서 1분간 견딜 것	총 격 내 전 압	40kV에서 3회 견딜 것

3. 케이블 차폐층 접지 시공 방법 사례 비교

3.1 철도철 전철전력 시설 규정

제209조에서 고압 케이블 차폐 금속체의 접지는 단말처리 부분에서 그 한쪽 끝에만 세1종 접지 공사를 하며, 다만 케이블의 장장이 1.5[km] 이상에 걸치는 경우에는 중간 접속부에 동태이프를 절연하여 양단에 접지를 하도록 규정하고 있다.

3.2 호남선 전철화

급전선 케이블(복고압 케이블) 직선 접속은 보통접속체(접지 머분리형, 케이블 조장이 300m임에 따라 300m마다 직선 접속된다)로 하도록 설계되어 있으며, 케이블 길이에 따른 별도 설계 내용은 명시되어 있지 않으며, 터널 입구에는 급전선 케이블 심선에 42kV 피뢰기가 설치된다. 급전 계통은 비절연 보호선 방식으로 접지는 메탈 방용접지 방식을 사용한다.

3.3 경부 고속 신선

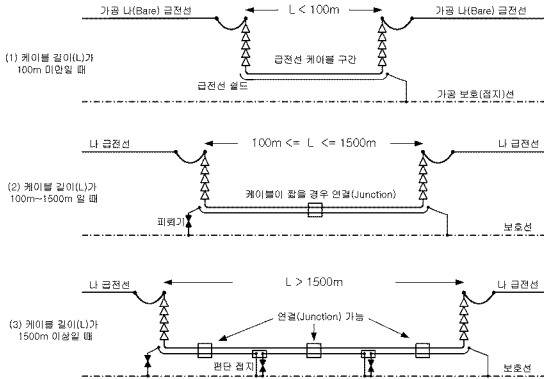


그림 2 경부 고속 신선에서 급전선 케이블 시스 접지 시공 기준

차폐층에 설치되는 피뢰기 "SOULE Type C3"는 3kV급 피뢰기이다.

3.4 현전의 사례

케이블 시스 접지는 양단 접지방식과 편단 접지방식을 모두 사용하나, 지중 송전선로가 대부분 평형 3상 전력이므로 각 상의 단심 케이블을 연가하는 방식인 Cross Bonding 방식을 주로 사용한다. Cross Bonding 방식은 시스 회로 손실을 최소화하면서 시스 유기 전압을 억제할 수 있는 효율적인 방법이나 철도는 단상 급전이므로 적용할 수 없다.

편단 접지는 대지와 폐회로가 형성되지 않기 때문에 순환전류와 전력손실이 발생되지 않으나, 편단측에 높은 전압이 유도되어 감전사고의 위험이 있으므로 비교적 짧은 선로에 적용한다. 서지 침입시 개방단에서 이상전압이 발생하므로 피뢰기 등의 방식층(외장) 보호선비를 취부한다.

양단용 접지할 경우 심선과 접지간의 전위차는 차폐없는 케이블에 비해 1/10 이하로 저감되지만 시스 순환전류에 의해 케이블의 허용전류가 감소하게 되므로, 케이블 허용전류에 충분히 여유가 있거나 특별히 다른 방법으로 시스 전압이 저감되지 않을 경우에 한하여 적용한다.

현전 지점은 케이블 금속 시스는 안전상 반드시 접지를 시행하고, 특히 단심케이블을 설치하는 경우에는 다음 사항에 유의하여 접지방식을 선정하도록 하고 있다.

- 상시 및 이상시 모두를 고려한 안전대책
- 시스 손실 및 송전 용량에 대한 영향
- 선간 및 대지간 전압과 맨홀구간(접지구간)의 길이와의 관계
- 고장전류에 의한 시스 유기전압

4. 차폐층 유기전압

4.1 계산식

단심 케이블에 교류를 흘리면, 도체의 동전전류의 전자유도작용으로 금속 시스(Sheath)의 길이 방향으로 전압이 유기된다. 이 전압은 케이블의 길이와 동전전류에 비례하여 증대한다. 차폐층 유기전압 V_s 는

$$V_s = j X_m I [V]$$

여기서,

I : 도체 전류 [A]

l : 케이블 길이 [km]

X_m : 도체회로와 금속시스회로 사이의 상호 Reactance [Ω/km]

$$X_m = 4 \pi f \ln \frac{D_o}{r_s} \times 10^{-4} [\Omega/km]$$

r_s : 금속 시스 평균반경 [m]

D_o : 케이블 등가 선간 거리 [m]

4.2 호남선 경우의 사례 계산

4.2.1 입력 데이터

- 케이블 길이

표 2 호남선 관련터널 길이

터널명	노령2	약곡	대박	목포
케이블 공장(m)	2,300	1,900	2,247	2,160

- 케이블(66kV CV 200mm²×1C) 차폐층 반지름 : 24.1[mm]
- 급전선-전차선간 상호 이격거리 : 3.8[m] (그림 3 참조)

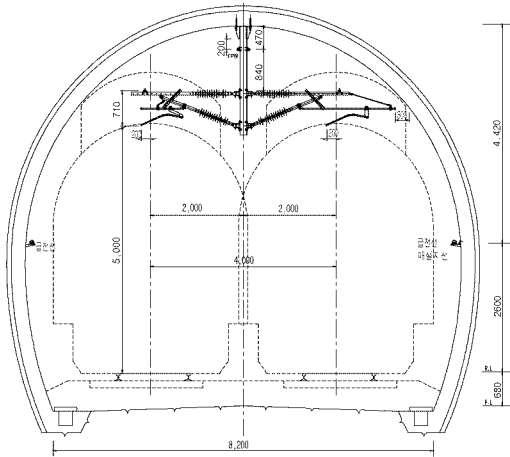


그림 3 복선 터널 표준 장주도[호남선 설계서]

4.2.2 정상 운전시 계산 결과

정상운전 상태에서 급전선에 흐르는 최대 전류를 443[A]로 보기로 한다. 이것은 호남선 기본설계 보고서의 급전시뮬레이션의 2024년 백양사 변전소 연장급전시 순시 최대 전차선 전류 886A를 기준으로 삼은데 근거한다(급전선 전류 = 전차선 전류/2). 계산 결과는 다음과 같다.

표 3 정상 운전 상태에서 최대 시스 유기 전압

케이블 길이 [m]	시스 유기 전압 [V]	비고
2300	390	노령2 터널
2247	381	대박 터널
2160	366	목포 터널
1900	322	약곡 터널
1500	254	(전철전력 시설기준)
1200	204	
900	153	
800	136	CCITT 기준 2 만족
600	102	≒ 한전 기준 2
500	85	
350	59	≒ CCITT 기준 1
300	50.9	≒ 한전 기준 1

4.2.3 단락 고장시 계산 결과

최악 조건으로 단락(지락) 고장 발생 시 차폐층 유기 전압을 계산해 보기 위하여 단락 전류를 4kA로 보고 계산해보면 다음과 같다.

표 4 단락 고장 전류에 의한 최대 시스 유기 전압

케이블 길이 [m]	시스 유기 전압 [V]	비고
2300	3522	노령2 터널
2247	3441	대박 터널
2160	3308	목포 터널
1900	2909	약곡 터널
1500	2297	(전철전력 시설기준)
1000	1531	

4.3 차폐층 유기전압에 대한 제한 기준

4.3.1 CCITT

국제전선전화자문위원회(CCITT) 권고 사항.

- ① 대기 및 구조물 전위 650V(차단시간 200ms)
- ② 정상상태
 - 사람의 접촉이 잦은 곳 : 60V
 - 사람의 접촉이 많지 않은 곳 : 150V

4.3.2 한전의 경우

한전 지중선로 송전선로 설계기준에 케이블 급속 시-스의 상시 최대 유기전압의 크기를 다음과 같이 제한하고 있다.

- ① 전력구 내 케이블 : 50[V]
- ② 전력구 이외에 설치된 케이블 : 100[V]

4.4 유기 전압 계산 결과에 대한 검토

앞에서 도출한 차폐층 유기전압을 보면 정상 운전 상태에서는 케이블 길이가 900m만 되어도

한전 규정 및 CCITT 권고 규정을 초과한다. 따라서 작업자나 중사에게 위해를 줄 수 있다. 그러나 급전선 케이블은 터널 벽 높은 곳에 설치되므로 운전 상태에서는 사람의 접촉이 거의 불가능하다. 따라서 급전선 케이블 차폐층을 개방 운전 중에는 환선 부분으로 분류하고, 종단 접속부나 직선 접속부 등에서 차폐층의 절연을 철저히 하고, 접점에 대한 위험 표지를 달거나 한다면 CCITT 권고 규정을 적용하지 않아도 될 것이다. 고속선 설계에서 차폐층에 3kV급 피뢰기를 설치한 것을 보더라도 이 개념을 적용한 것으로 보인다.

한편, 고장시 유기전압 계산 결과값 보면, 불완전한 최악조건을 적용하여 현장 조건에 따라 달라질 것 같겠지만, 차폐층에 피뢰기가 설치되어 있지 않은 호남선 시스템에서는 유기전압이 차폐층 선연 성능 요구치를 육박하거나 일부 초과하는 경우도 발생될 수 있음을 보여주고 있다.

5. 결론

호남선 전철화에서 일부 긴 터널의 경우 급전선 케이블의 차폐층 유기 전압을 계산해 본 결과, 편단 접지하는 경우 케이블 길이가 900m만 되어도 한전 규정 및 CCITT 권고 규정을 초과하는 것을 확인하였다. 또한 고장시 단락 전류에 의한 유기 전압도 시스 전압을 위협하는 수준임이 확인되었다.

이에 대한 대책으로는 다음의 두 가지 방법이 가능할 것이다. : (1) 양단 접지하는 방법 (2) 유기 전압이 만족할 수준을 유지하는 단위 길이로 시스를 분리하여 편단 접지하는 방법

먼저 양단 접지하는 방법을 검토해 보면, 양단 접지하면 급속 차폐층이 대지와 폐회로가 형성되어 순환 전류가 흐르고, 케이블 전류 용량이 감소하고 전력 손실이 발생하는 문제가 발생하지만, 열차 빈도가 낮아 급전선의 전류 용량이 충분한 것으로 확인하는 경우에는 시행이 가능할 수도 있다. 그러나 이 방법은 매우 제한적이며 신중히 결정해야 할 것으로 생각된다.

다음으로, 편단 접지하는 방법은 적절한 방법이긴 하나 몇 가지 선행 조건이 해결되어야 할 것이다. (1) 차폐층을 전압이 걸리는 환선 부위로 분류하고 안전 대책이 사전 수립되어 있을 것. 또한 시스를 분리하는 개소에는 절연을 확실히 할 것 (2) 개소마다 케이블 길이와 단락 전류를 가지고 계산한 유기 전압이 시스 전압 성능 이대가 되도록 시스를 분리, 절연 처리하거나, 아니면 차폐층에 절연 성능을 만족하는 규격의 피뢰기를 설치할 것.

한편, 현재의 급전선 심선 피뢰기 시공 기준이나 차폐층 시설기준과 관련하여 모든 터널에 대하여 적용하는데 있어서 불합리하고 불명확하거나 미진한 부분이 있어 면밀히 검토를 통하여 재정립할 필요가 있음을 확인하였다.

참고 문헌

1. 호남선 변전설비 실시설계보고서, 2001, 대동기술단
2. 경부고속철도 변전설비 실시설계보고서, 전기철도기술주식회사