

전차선로에서의 뇌격에 의한 가공지선과 피뢰기의 차폐효과

임성정* 한병덕 오정한 윤상윤 김재철 정용철
 송실대학교 전기공학과 철도청 전기과

Effects of an Overhead Ground Wire and Surge Arrester in the Railway due to Lightning Strokes

Seong-jeong Rim* Byung-duk Han Jung-hwan Oh Sang-yun Yun Jae-chul Kim Yong-chul Chung
 Dept. of Elec Eng. Soongsil University

Abstract - Using the EMTP(Electro Magnetic Transient Program) for the analysis of lightning direct voltage on the railway system, the shielding effects of overhead grounding wire on the railway were studied quantitatively. Installation of overhead ground wire and gap-type arrester such as s-horn provides a 6.6kV HV distribution line with good protection effects. Even severe lightning induced voltage were create, 6.6kV HV lines can be withstand.

본 논문에서 사용된 정수값에 대해서 본 절에서 설명하였으며, 기본조건은 다음에 설명하였다.

2.1 전차선로의 구성과 선로정수

본 논문에서는 현재 한국에서 운용중인 급전시스템의 하나인 AT급전시스템에 있어서 뇌격에 대한 차폐효과를 분석하기 위한 것이다. 그림 1에서는 전철주에 6.6kV 고압배전선에 시설된 구간의 수직배치도를 나타내었다.

1. 서 론

전차선로의 경우 급전전압으로 25kV를 사용하고 있으나, 전차선로에는 연선에 수많은 애자가 설비되어 있으며 전차선 진동에 의한 기계적 강도를 강화하는 등의 목적으로 실제 애자의 절연강도는 300~400kV의 높은 레벨로서 설비되어 있다. 따라서 전차선로에서는 별도의 가공지선을 설치하지 않고 있으며, 이는 선진국인 유럽이나 일본의 철도시스템에서도 같은 실정이다.

낙뢰에 의한 가공 전차선로에서의 사고는 직격뇌 또는 유도뇌에 의한 것이다. 뇌썩지 전압은 유도뇌 전압이 100~150kV 정도이며, 직격뇌 전압이 300~500kV 정도로서 전차선로의 절연레벨은 현수애자 4개연시 440kV, 장간애자는 380kV 정도이기 때문에 급전선에는 웬만한 뇌격이 침투해도 견딜 수 있으며, 피뢰기 및 차단기 작동에 의한 선로차단으로 보호할 수 있다.

그러나 전철주에 6.6kV 고압배전선로가 시설되어 있는 경우, 이러한 고압 배전선로에 대한 절연강도가 낮으므로 낙뢰에 대한 피해의 우려가 있다. 따라서 전철주에 시설된 고압 배전선로의 내뢰 대책으로 뇌격에 대한 가공지선과 피뢰기의 차폐효과를 분석할 필요가 있다. 뇌격에 대한 가공지선과 피뢰기의 차폐효과에 관한 연구[1-6]는 대부분 전력시스템 분야에서 수행되어 있으나, 전기철도분야에서의 연구[7]의 매우 희박한 실정이다.

본 논문에서는 전차선로에서의 직격뇌에 대한 가공지선과 피뢰기의 차폐효과에 대해서 설명하였다. 가공지선과 피뢰기(보안기)의 차폐효과는 과도해석 프로그램인 EMTP(Electro Magnetic Transient Program)를 사용하여 정량적으로 분석하였다. 또한, 파라미터 예로, 전철주의 형태, 보호선용 접속선의 접속간격, 보안기의 접지저항의 대한 영향을 계산하였다. 분석결과 기존 전차선로에 가공지선을 설치하는 경우, 뇌격에 대한 현재 전철주에 시설된 고압배전선로의 절연내력에서 충분히 견딜 수 있다.

2. 분석방법

다음의 4개 파라미터를 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

- (1) 가공지선: 설치 유/무
- (2) 전철주의 형태: 콘크리트주/ 철주 및 비임/ 혼재
- (3) 보호선용 접속선의 접속간격: 1km/ 2km/ 3km
- (4) 보안기의 접지저항: 3ohm/ 10ohm

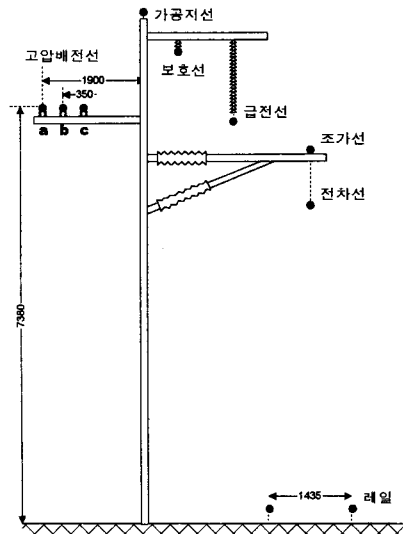


그림 1. 전차선로의 수직배치도

그림 1에서 보는 바와 같이 AT급전시스템 전차선로에서는 보호선(protective wire), 급전선(feeder), 조가선(messenger), 전차선(catenary), 레일(rail)로 구성되어 있으며, 추가적으로 고압배전선(3상; a, b, c 상)이 시설되어 있다. 여기서, 고압배전선로의 높이는 7.38 [m]이며, 도체간의 간격은 0.35 [m], 전주와의 이격거리는 1.2 [m]로 설정하였다. 가공지선은 현재 설치되어 있지 않지만, 시뮬레이션에서 수행하기 위해서 고압배전선의 가장 바깥의 도체에 대해 45°의 보호각을 갖도록 설계하면 전주 9.28 [m]에 위치하도록 설정하였다.

그림 1에 나타낸 전차선로에 대한 임피던스는 EMTP의 Line Constant 모듈을 사용하여 계산하였으며, Carrson Pollazack 식을 기초하여 계산한 결과[8]와 비교하였다. 표 1은 임피던스 계산시 설정한 선로정수 데이터를 수록하였다.

직격뇌 시뮬레이션을 위한 전차선로의 구성도는 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 선로의 총길이는 7[km]이며, 보호선과 레일을 연결하는 보호선용 접속선은 2[km]마다 접속하였다. 모든 도체는 전류반사를 방지하기 위해서 선로 양 끝단에 매칭저항을 연결하였다.

표 1. 선로별 데이터

도체	규격	r (저항) [Ω/km]	D(도체 직경)[mm]
보호선	ACSR 95mm ²	0.301	13.5
급전선	ACSR 160mm ²	0.182	18.2
조가선	Bz 65mm ²	0.4474	10.5
전차선	Cu 110mm ²	0.1592	12.34
레일	50 kg/m	0.017	90.4
고압배전선	ACSR 58mm ²	0.497	10.5
가공지선	ST 55mm ²	2.583	9.6
섬락보호지선	Cu 38mm ²	0.484	7.24

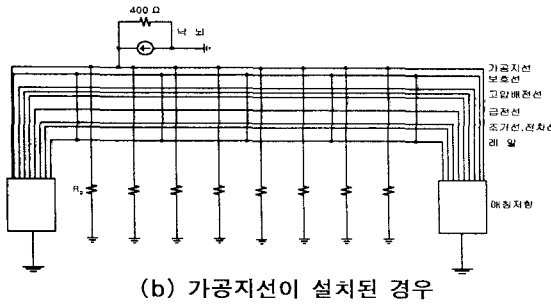
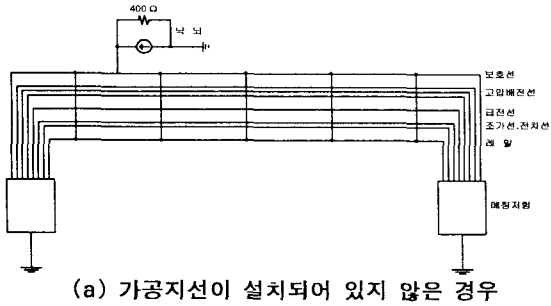


그림 2. 전차선로의 구성도

그림 2 (a)에서 보는 바와 같이 낙뢰는 보호선의 선로 중간부근에 투입되도록 설정하였다. 그림 2 (b)에서는 가공지선을 시설하였으며 매 200 [m]마다 50(ohm)의 접지저항으로 대지에 접지하였다. 그림 2 (b)에서 낙뢰는 가공지선의 선로 중간부근에 투입되도록 설정하였다.

전차선로에서의 변압기(AT)는 일반적으로 선로말단의 상도체에 연결되어 있지만, 변압기를 통해 흐르는 전류는 고조파 뇌임펄스 전류에 대해서는 그 자체의 인덕턴스 때문에 무시하였다. 또한 가공지선 및 모든 도체는 EMTF 시뮬레이션에서 PI등가형 선로모델을 사용하였다.

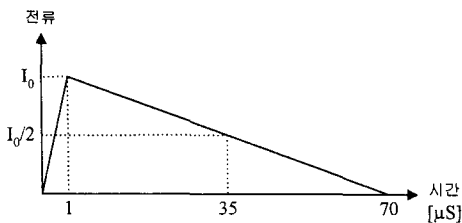


그림 3. 뇌격전류파형

2.2 뇌격전류

본 논문에서는 직격뇌에 대해서 다루었으며, 전형적인

뇌격전류 파형은 그림 3에 나타내었다. 뇌격전류에서 피크값 I_0 는 1.5[kA], 속도는 $1 \times 70[\mu s]$, 뇌찌지 임피던스는 400 [ohm]으로 가정하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 전류파형은 선형적으로 상승, 감쇠한다고 근사화하였다.

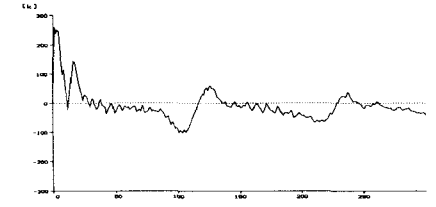
3. 시뮬레이션

본 연구에서는 EMTF를 사용하여 전차선로의 직격뇌 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션의 주요 특징은 다음과 같다.

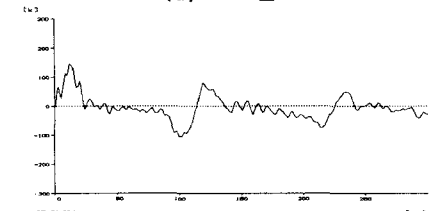
- (1) 본 연구에서는 전차선로의 보호선에 직격뇌가 침투하였을 경우, 상도체에 유기되는 뇌격전압을 해석하고, 가공지선의 설치시 차폐효과에 대해서 분석하였다.
- (2) 가공지선의 설치, 전철주의 형태, 보호선용 접속선의 간격, 보안기의 접지저항 등의 파라미터의 변경에 따른 전차선로의 거리별 뇌격전압의 분포를 분석하였다.

4. 시뮬레이션 결과

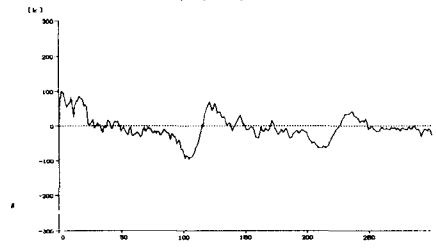
그림 4는 가공지선이 설치되지 않은 기존 전차선로의 보호선에 직격뇌가 침투하였을 경우, 뇌격에서 가장 가까운 지점에서의 보호선, 레일, 고압배전선(c상)에서의 뇌격전압을 나타내었다.



(a) 보호선

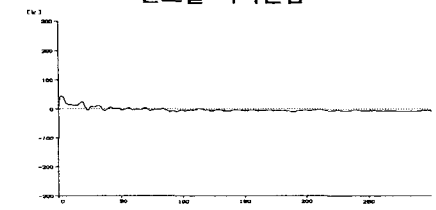


(b) 레일

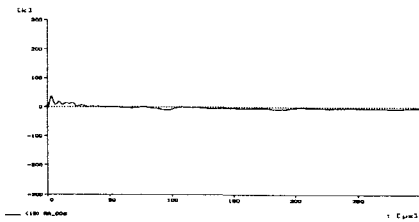


(c) 고압배전선 (c상)

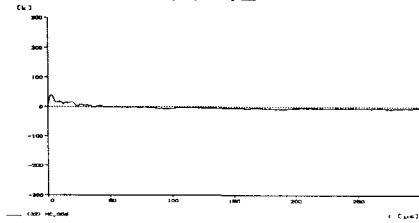
그림 4. 가공지선이 설치되지 않은 경우의 선로별 뇌격전압



(a) 보호선



(b) 레일



(c) 고압배전선 (c상)

그림 5. 가공지선이 설치된 경우의 선로별 뇌격전압

5. 기타 파라미터의 영향

본 논문에서 고려한 기타 파라미터의 영향에서는 보호선용 접속선의 간격, 전주의 형태, 보안기 접지저항의 영향에 대해서 분석하였다. 그림 6에서는 보호선용 접속선 간격에 따른 뇌격전압을 나타내었다. 그림 7과 8에서는 각각 전주의 형태와 보안기 접지저항에 따른 뇌격전압을 나타내었다.

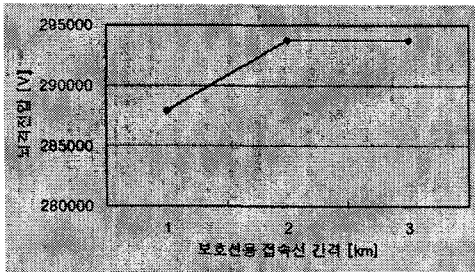


그림 6. 보호선용 접속선 간격에 따른 보호선에서의 뇌격전압

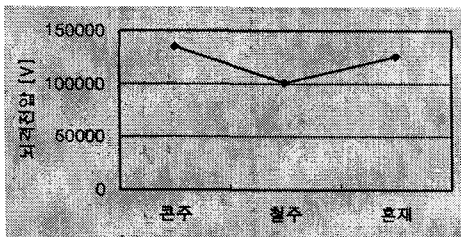


그림 7. 전주의 형태에 따른 고압배전선에서의 뇌격전압

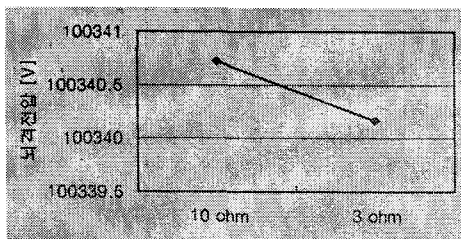


그림 8. 보안기 접지저항에 따른 뇌격전압

그림 6에서 보는 바와 같이 보호선용 접속선의 간격의 변화에 따른 뇌격전압 변화를 보면, 1[km]보다는 2, 3[km]에서 보호선의 전위가 약간 상승함을 알 수 있다. 그림 7에서는 고압배전선에서 콘주, 혼재, 철주순으로 전위가 작게 나타남을 알 수 있다. 그림 8에서는 접지저항 10 [ohm]에 비해 3[ohm]이 작은 전위를 나타내지만, 매우 작은 차이를 나타낸다.

6. 결론

본 논문에서는 전철주에 시설된 고압배전선에 대해서 낙뢰에 의한 가공지선의 차폐효과에 대해서 과도해석 프로그램인 EMTP를 사용하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 가공지선을 시설한 경우, 기존 전차선로에 비해 뇌격전압이 30%로 감소하였다.
 - (2) 기존 전차선로구조와 보호선을 가공지선 위치로 이동한 구조 모두 뇌격전압의 차이가 없다.
 - (3) 보호선용 접속선의 간격은 각 도체의 선로지점별 뇌격전압분포에 큰 영향을 주지 않는다.
 - (4) 보안기의 접지저항의 변경은 각 도체의 뇌격전압에 큰 차이를 주지 않는다.
 - (5) 전주형태의 변경은 각 도체의 뇌격전압 분포가 콘크리트주, 혼재, 철주 순으로 크게 나타난다.
- 결국, 기존 전차선로에 200[m]마다 50[ohm]의 접지저항으로 가공지선을 시설하였을 경우, 전철주에 시설된 고압배전선은 웬만한 뇌격에 견딜 수 있다.

(참고문헌)

- [1] IKL도 작성 및 배전선 내뢰설계, 한국전력공사 기술연구원, KRC-84S-S17, 1988년.
- [2] S. Yokoyama, "Distribution Surge Arrester Behavior due to Lightning Induced Voltages", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.1, No.1, Jan. 1986.
- [3] S. Yokoyama et al., "Experimental Study of Response of Power Distribution Lines to Direct Lightning Hits", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.4, No.4, Oct. 1989.
- [4] K. Nakada et al., "Energy Absorption of Surge Arresters on Power Distribution Lines due to Direct Lightning Strokes -Effects of an Overhead Wire and Installation Position of Surge Arresters", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.12, 1997.
- [5] 電力中央研究所·耐雷設計基準委員會, "架空地線の避雷效果", *電力と鐵道*, Vol.19, No.8, (172), pp.19-22.
- [6] 電力中央研究所·耐雷設計基準委員會, "續, 架空地線の避雷效果", *電力と鐵道*, Vol.19, No.9, (173), pp.20-23.
- [7] "電氣鐵道システムにている耐雷設計技術 (4)", *鐵道と電氣技術*, Vol.4, No.12, pp.51-56, Dec. 1993.
- [8] 전차선로 회로정수 추정 및 보호회로 최적화 방안 연구, 한국철도기술연구원, 1998년.
- [9] 고속철도 연구보고서 (전기분야), 한국고속철도건설공단 전기시설본부 전기연구원, 1996년.
- [10] 고속철도 연구보고서 (전기분야), 한국철도기술연구원 고속철도연구지원팀, 1997년.