

직류 전차선로의 뇌과전압 해석 및 가공지선 차폐효과 검토

정 채 균\* 홍 동 석 이 종 범 조 한 구  
원 광 대 학 교 한국전기연구소

Analysis of Lightning Overvoltage and Shielding Effect of Overhead Ground Wire on the DC Railway

Che-Kyun Jung\* Dong-Suk Hong Jong-Beom Lee Han-Ku Cho  
Wonkwang University KERI

**Abstract** - This paper presents the influence of the lightning overvoltage and the shielding effects of overhead grounding wire on the DC railway system. Modeling of Railway system is established in ATPDraw to perform simulation. The result of simulation reveals that the shielding effects of overhead grounding wire has over 90% than the case which has not it. Therefore it is evaluated that overhead grounding wire should be installed in the DC railway line.

본 논문에서는 ATPDraw를 이용하여 직류 변전소 양단의 급전 구분장치(Air Section)간의 전차선로를 모델링하였다. 전차선로는 부산 지하철에서 현재 운용중인 직류 가공 전차선로 구간의 선로 길이 6.215[km]구간을 모델링 하였다. 선로는 25구간으로 나누어 급전선과 전차선 사이에 급전 접속선을 250(m)마다 설치 하였으며, 조가선과 전차선 사이의 규압선도 500(m) 간격으로 병렬 접속 하도록 하였다. 선로정수는 ATPDraw의 선로정수 계산 프로그램인 ATP\_LCC를 사용하여 표 1에서 제시한 입력자료를 바탕으로 전차선로에 대한 선로 임피던스를 구하였다.

1. 서 론

최근 산업 고도화에 따른 도시 인구 집중과 교통난 심화로 환경 친화적이고 에너지를 유효하게 이용할 수 있으며, 안전성과 신속성, 편의성 등 대중교통 수단으로서 여러 가지 잇점을 가지고 있는 전기철도는 교통문제 해결의 최선의 대안으로 제시되어 주요 대도시에서 도시전철이 운영되고 있다.

국내 전차선로는 방식에 따라 AT급전방식과 BT급전방식을 가지는 교류방식과 DC 1500[V]를 수전 받는 직류방식이 혼용되고 있고, 직류 전차선로 시스템은 전차선과 레일 등의 집전용 도체를 통하여 전기차에 전력을 공급하는 급전선(Feeder)과 전차선의 이선을 방지하고 부하전류의 일부를 분담하는 조가선(Messenger), 펜터그래프에 접속하여 전기차에 전원을 공급하는 전차선(Trolley-Wire) 및 레일(Rail)로 구성되어 있으며 서울 및 부산 지하철에서 DC1500[V] 급전방식을 사용하고 있다. 직류 전차선로는 교류방식(25kV)에 비해 운전 전류가 3000~4000[A]로 매우 크게 발생하여 과다시 고장 전류의 선택 차단이 난이하다는 단점을 가지고 있다. [1][2] 또한 전차선로에 뇌 썩지 발생시 보호선과 레일 및 섬락보호선을 통해 대지로 귀로하는 형태를 가지고 있는 교류 AT 급전방식에 비해 직류방식은 급전선에 직격뇌가 침투하면 급전접속선을 통해 전차선과 조가선 전기차에 직접적인 영향을 미쳐 많은 손실이 예상되거나 가공 전차선로의 뇌격보호에 대한 연구는 미약한 실정이다. 따라서 이에 따른 직류 가공 전차선로의 뇌격보호 대책으로 가공지선 및 피뢰기 설치 환경과 해석에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

본 논문에서는 EMTP의 Graphical Program인 ATPDraw를 이용하여 낙뢰 발생 빈도가 비교적 높은 국내 지하철의 직류 가공 전차선로구간의 실제통을 모델링하였고 급전선과 가공지선에 직격뇌 발생시 전차선로에 미치는 뇌과전압을 해석하여 가공지선의 차폐효과를 검토하여 제시하였다.

표 1. 전차선로 입력자료

선종	규격	r [Ω/km]	도체직경(mm)
급전선	Al 510mm <sup>2</sup>	0.0563	29.4
전차선	St 135mm <sup>2</sup>	1.43	15.0
조가선	Cu 170mm <sup>2</sup>	0.1040	15.49
레일	50 kg/m	0.017	90.4
가공지선	St 55mm <sup>2</sup>	3.6	9.6

가공지선은 전차선로와 45°의 차폐각을 갖도록 설계하여 지저물 상단의 8.91[m]에 위치하도록 가정하였으며 250[m]마다 10[Ω]의 접지 저항으로 대지와 접지하였다. 그림 1은 전차선로의 구성 및 배치도이다.

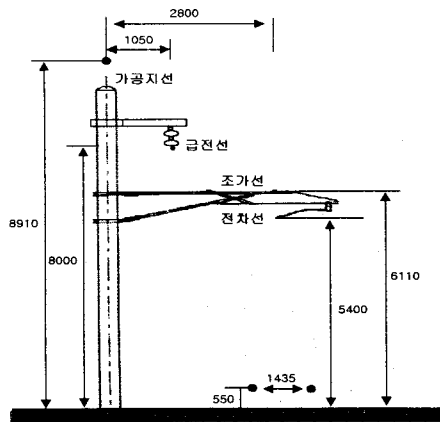


그림 1 직류전차선로의 구성 및 배치도

2. 직류 전차선로 모델링

2.2 뇌격 모델

2.1 전차선로 데이터 및 배치도

국내의 낙뢰 특성은 산간, 해안지역에서 많이 발생하며, 뇌격전류의 크기는 대부분이 35[kA]이하이나

40(kA)이상의 뇌격강도를 갖는 낙뢰도 빈번히 발생하고 있으며 최대 100(kA)이상의 낙뢰가 발생하기도 한다. [3]

본 논문에서는 그림 2에 나타난 뇌격전류 파형 처럼 뇌격전류 피크값( $I_0$ )는 70(kA), 속도는 2/70( $\mu$ s), 뇌써지 임피던스는 400( $\Omega$ )으로 가정하였다. 또한 뇌격파형은 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠하는 것으로 근사화 하였다. 뇌격의 침입지점은 Air Section A로부터 전차선로 3.1(km)지점의 급전선과 가공지선에 직격뢰가 각각 침입하는 것으로 가정하였다.

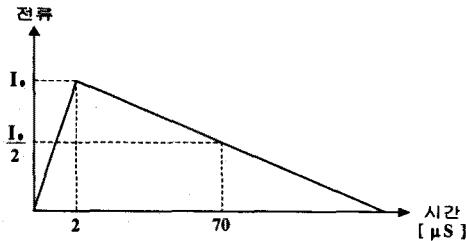


그림 2. 뇌격전류파형

### 2.3 모델계통

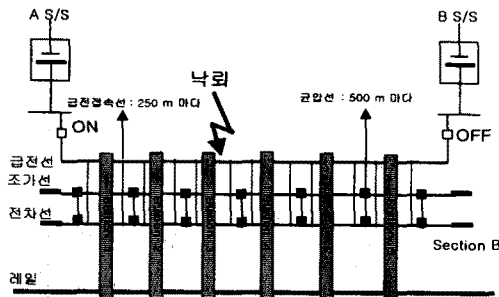


그림 3. 급전선에 뇌격이 침입한 경우의 모델계통

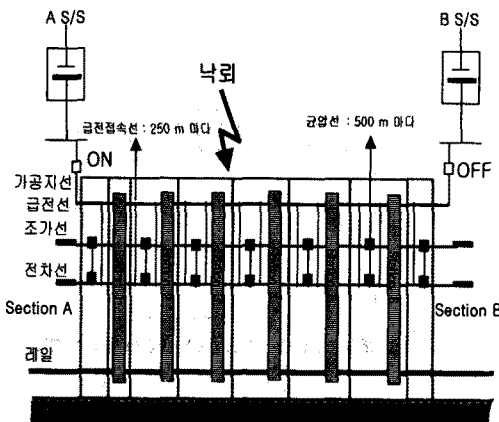


그림 4. 가공지선에 뇌격이 침입한 경우 모델계통

그림 3은 전차선로 급전선에 뇌격이 침입한 경우의 모델계통이고 그림 4는 가공지선에 뇌격이 침입한 경우의 모델계통으로 A와 B의 직류변전소 사이

의 Air Section 구간을 모델링하였다. 위의 모델계통은 6개의 전철역(Station)을 경유하는 실제계통으로 급전 접속선과 균압선이 접속되어있고 가공지선이 설치 되어있는 형태로 A변전소에서 급전선에 DC 1500(V)의 전원을 공급하고 있다.

본 논문에서는 Station 3 지점에서 100m떨어진 곳의 급전선에 직격뢰가 침입 하였다고 가정하여 가공지선을 설치한 후 가공지선에 직격뢰가 침입한 경우와 전차선로 급전선에 직격뢰가 침입한 경우를 모델링하여 각각의 모델계통에 직격뢰가 침입한 경우 뇌격전압을 해석하고 가공지선의 차폐효과를 검토하였다.

표 2. 뇌격침입 형태

Case	뇌격 형태
A	급전선에 직격뢰가 침입한 경우
B	가공지선에 직격뢰가 침입한 경우

### 3. 시뮬레이션

지금까지 전차선로에서 뇌써지 해석은 뇌격침입 구간만을 단순화 시키고 선로 종단에서 진행과 반사를 막기 위한 정합저항을 사용하였다. 따라서 실제 전원단이 존재하는 실제계통에서의 과도현상과는 차이를 보이고 있다.

따라서 본 논문에서는 급전선에 DC 1500(V) 전원을 공급하여 연결하였고, 모델계통은 Case A와 Case B로 나누어서 가공지선이 없는 전차선로의 급전선에 직격뢰가 침입한 경우와 가공지선에 직격뢰가 침입한 경우의 두가지로 시뮬레이션 하였다.

#### 3.1 급전선에 직격뢰 침입시 시뮬레이션 (Case A)

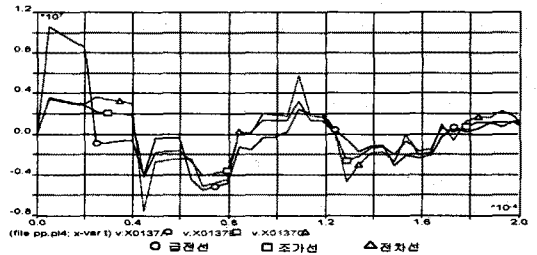


그림 5. 급전선, 조가선, 전차선의 뇌격전압(Case A)

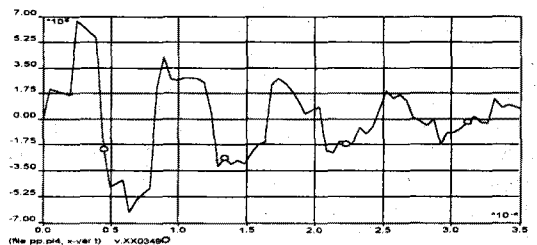


그림 6. 레일의 뇌격전압(Case A)

직류 전차선로 급전선에 뇌격이 침입한 경우 낙뢰 발생 지점과 가장근접한 전철역인 Station 3 지점에서 측정된 급전선과 조가선, 전차선 그리고 레일의 뇌격전압을 그

림 4와 5에서 나타내었다. 급전선에서는 뇌격 발생 직후 뇌격전압이 9,000[kV]이상 상승하며 전차선에서는 5,758[kV], 조가선에서는 3,258[kV]의 뇌격전압이 유지된다.

### 3.2 가공지선에 직격뢰 침입시 시뮬레이션(Case B)과 Case A와의 비교

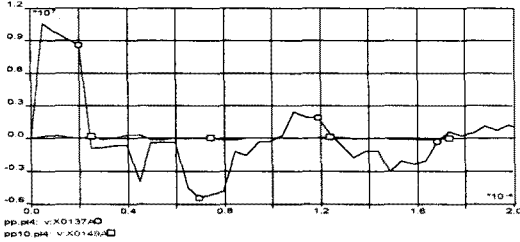


그림 7. 급전선의 Case A와 Case B의 뇌격전압

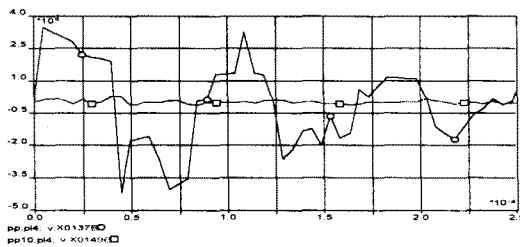


그림 8. 조가선에서 Case A와 Case B의 뇌격전압

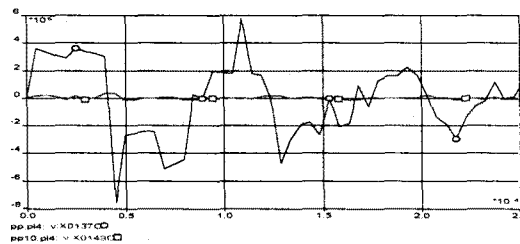


그림 9. 전차선에서 Case A와 Case B의 뇌격전압

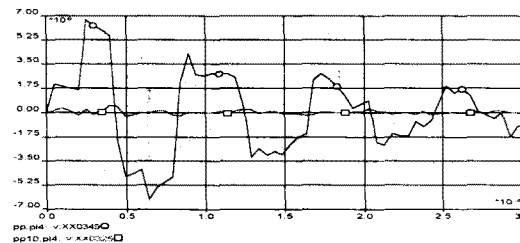


그림 10. 레일에서 Case A와 Case B의 뇌격전압

그림 7 - 그림 10은 Case A와 Case B의 경우에 급전선과 조가선, 전차선, 레일에 유지되는 뇌격전압 파형을 비교하여 나타내었다. 전차선로 급전선에서 뇌격전압이 가공지선을 설치한 경우(Case B)에는 설치하지 않는 경우(Case A)와 비교할 때 최대 90% 까지 뇌격전

압 차폐효과가 있었다. 또한 전차선과 조가선, 레일에서도 가공지선을 설치할 경우 90%이상의 차폐효과가 있음을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 양단에 직류 변전소로부터 전차선로 급전선에 DC 1500[V]의 전원을 공급하는 전차선로 시스템을 EMTP와 ATPdraw를 사용하여 급전 접속선과 균압선을 연결한 실계통을 모델링 하였다. 그리고 전차선로 계통의 급전선에 직격뢰가 침입했을 경우(Case A)와 가공지선 설치후 가공지선에 직격뢰가 침입했을 경우(Case B)의 급전선 및 전차선로에 유지되는 뇌과전압을 각각 해석하였다. 여기서 Case B의 경우 Case A보다 급전선, 조가선, 전차선, 레일에 최대 뇌격전압을 기준으로 90% 이상의 차폐효과가 있음을 보였다.

따라서 대도시를 중심으로 도시철도가 계속적으로 증가하는 우리 나라의 현실을 볼 때 직류 전차선로에 가공지선 설치는 낙뢰에 의한 전차선로 및 설비 보호를 위해 반드시 필요할 것으로 사료된다. 또한 본 논문에서 제시한 모델과 직류 전차선로 뇌과전압 해석은 피뢰기 설치 환경 및 해석에 관한 연구 등 뇌서지 보호 연구에 기여할 것으로 사료된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 부산교통공단 교육원, "전차선로 교육용 교재"
- [2] 한국철도기술연구원, "전차선로 시설기준 수립", 1999년
- [3] 기상청, "낙뢰연보", 1999년
- [4] 한국철도기술연구원, "전철급전회로 이상전압 억제를 위한 접지시스템 연구", 1999년도
- [5] 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용", 전력연구원, I, II, III
- [6] 부산교통공단 교육원, "송배전설비(직무교육용교재)"
- [7] 임성정, 한병덕, 오정환, 윤상운, 김재철, 정용철, "전차선로에서의 뇌격에 의한 가공지선과 피뢰기의 차폐효과" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 468-470, 1999.7
- [8] 하체용, 이종범, "가공송전선로와 지중송전선로가 연계된 혼합송전선로에서 피뢰기 적정위치 검토 및 평가" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.443-445, 2000.7