

직류전차선로의 뇌과전압 해석 및 피뢰기와 가공지선 차폐효과 검토

論 文
50A - 8 - 2

Analysis of Lightning Overvoltage and Shielding Effect of Arrester and Overhead Grounding Wire on DC Railroad

鄭彩均* · 洪東奭* · 李鍾範** · 趙漢九***

(Chae-Kyun Jung · Dong-Suk Hong · Jong-Beom Lee · Han-Goo Cho)

Abstract - This paper presents the influence of the lightning overvoltage and the shielding effect of lightning arresters and overhead grounding wires on the DC railroad systems. Modeling of railroad system is established in ATPDraw to perform the simulation and the line constants of railroad were calculated using ATP_LCC. When a direct lightning strikes to the DC railroad, the result of simulation reveals that the shielding effect of arresters is reduced at messenger, trolley-wire, and the shielding effects of overhead grounding wire is over 90% than the case which does not include it. Therefore it is evaluated that overhead grounding wires should be installed in the DC railroad line.

Key Words : DC railroad, Grounding wire, Lightning arrester, Lightning overvoltage, Shielding effect,

1. 서 론

최근 산업의 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 있다. 여기서 직류 전차선로의 시스템은 전차선과 레일 등의 집전용 도체를 통하여 전기차에 전력을 공급하며 전차선과 병렬로 설치하여 전차선로의 전류용량과 전압강하를 보상하는 급전선(Feeder)과 전차선의 이선을 방지하고 부하전류의 일부를 분담하는 조가선(Messenger), 펜더그래프에 접속하여 전기차에 전원을 공급하는 전차선(Trolley-Wire) 및 레일(Rail)로 구성되어 있으며, 서울 및 부산 지하철에서 DC 1500[V] 급전방식을 사용하고 있다. 직류 전차선로는 교류방식(25kV)에 비해 전기차량 가격이 싸고 유도장해 대책이 불필요하다는 장점을 가지고 있으나 운전 전류가 3000~4000[A]로 매우 크게 발생하여 과도 시 고장 전류의 선택 차단이 난이하다는 단점을 가지고 있으며 전압 강하가 커서 변전소 및 급전소의 증설이 요구되고 있다.[1],[2]

또한 전차선로에 뇌찌지 발생시 보호선과 레일 및 섬락보호선을 통해 대지로 귀로 하는 형태를 가지고 있는 교류 AT 급전방식에 비해 직류방식은 급전선에 직격뇌가 침투하면 급전접속선을 통해 전차선과 조가선, 전기차에 직접적인 영향을 미친다. 또한 급전선에 피뢰기가 설치되어 있어도 이미 급전접속선을 통해 전차선로에 뇌격이 침투하게 되므로 피뢰기로 완전히 보호하는 것은 어렵다. 따라서 뇌격의 강도에 따라 현수애자 및 장간애자등의 절연이 파괴되는 등의 많은 손실이 예상된다. 그러나 직류 가공 전차선로의 뇌찌지 대책에 대한 연구는 지금까지 미약한 실정이다. 그래서 이에 따른 직류 가공 전차선로의 뇌격 보호 대책으로 피뢰기 설치 환경과 방전용량이 크고 속류차단능력이 우수한 피뢰기 개발 및 가공지선 설치에 관한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

본 논문에서는 EMTP/ATPDraw를 이용하여 낙뢰 발생 빈도가 비교적 높은 국내 지하철의 직류 가공 전차선로구간의 실제통을 모델링 하였고 급전선과 가공지선에 뇌 찌지 발생 시 전차선로에 미치는 뇌과전압을 해석하여 피뢰기 및 가공지선의 차폐효과를 검토하여 제시하였다.

2. 직류 전차선로 모델링

2.1 전차선로 데이터 및 배치도

본 논문에서는 ATPDraw를 이용하여 직류 변전소 양단의 급전 구분장치(FRP Section)간의 전차선로를 모델링 하였다. 이 모델링의 대상 전차선로는 부산 지하철에서 현재 운용중인 직류 가공 전차선로 구간의 선로길이 6.215[km] 구간이다. 선로는 25구간으로 나누어 급전선과 전차선 사이에 급전 접속선을 250[m]마다 설치하였으며, 조가선과 전차선 사이의 균압선은 500[m] 간격으로 병렬 접속하였다. 선로상

* 準 會 員 : 圓 光 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 및 情 報 工 學 部 教 授 · 工 博

*** 正 會 員 : 韓 國 電 氣 研 究 院 責 任 研 究 員 · 工 博

接 受 日 字 : 2001 年 2 月 8 日

最 終 完 了 : 2001 年 8 月 17 日

수는 ATPDraw의 선로정수 계산 프로그램인 ATP_LCC를 사용하여 표 1에서 제시한 선로별 입력자료를 바탕으로 전차선로에 대한 선로 임피던스를 구하였다.

표 1. 전차선로 입력자료
Table 1. Input data of railroad

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

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

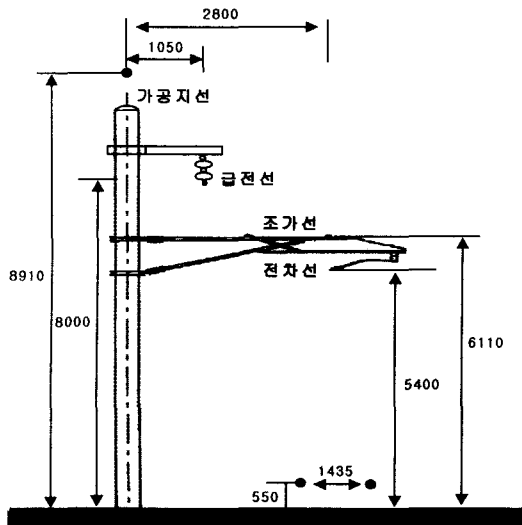


그림 1. 직류전차선로의 구성 및 배치도
Fig 1. Structure diagram of DC railroad

2.2 뇌격 모델

국내의 낙뢰 특성은 산간, 해안지역에서 많이 발생하며 낙뢰극성이 부극성이 80%, 정극성이 15%, 뇌운간 방전이 5%의 점유율을 차지하고 있으며, 연간 발생 낙뢰 중 7~8월에 발생한 낙뢰가 60%이상의 점유율을 차지하고 있다. 뇌격 전류의 크기는 대부분이 40[kA]이하이나 그 이상의 뇌격 강도를 갖는 낙뢰도 간혹 발생하고 있으며 부극성의 경우 최대 -141[kA], 정극성의 경우 최대 195[kA]의 뇌격전류를 갖는 낙뢰가 발생하기도 한다.[3]

그러나 뇌격은 대지에 가까워질수록 대지로 흡인되는 특성을 가지고있다. 그러므로 그림 1의 선로구성 및 배치도에 나타난 것처럼 가공지선의 높이를 포함해 구조물의 높이가

8.19[m]인 직류 전차선로에서 뇌격 침입시 뇌 썬지는 대지로 흡인되는 성질이 작용하기 때문에 실제로 전차선로에 미치는 뇌격의 영향이 약화되는 특성이 있다.

따라서 본 논문에서는 그림 2에서 나타난 것처럼 뇌격전류 파형을 램프파를 사용하여 선형적으로 상승, 감쇠 하는 것으로 근사화 하였으며 뇌격전류의 피크값(I₀)은 최대 20[kA]와 각각 1.5[kA], 10[kA], 속도는 1/70[μs], 뇌도 임피던스는 뇌격에 관한 문헌을 참조해 400[Ω]으로 하였다.[4] 뇌격 침입 지점은 FRP 섹션 A로부터 3.1[km] 지점의 급전선과 가공지선에 뇌격이 침입하는 것으로 가정하였다.

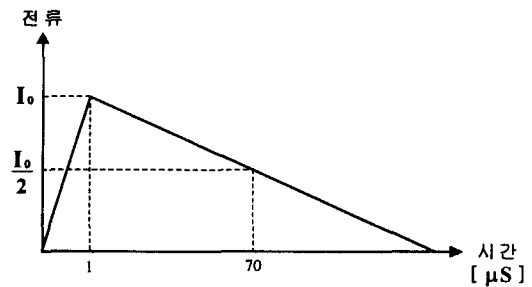


그림 2. 뇌격전류 파형

Fig 2. Wave of lightning current

2.3 피뢰기 V-I 특성곡선

전차선로용 피뢰기는 전차선로와 대지간에 시설하여 전차선로에 뇌격 침입시 뇌격전류등이 대지로 방전하여 이상전압이 전차선로의 기기 및 절연물에 뇌해를 막고 이상전압 소멸 후에는 방전전류의 속류를 차단하여 전로의 절연을 정상으로 복귀시키는 전차선로 보호장치이다.[4] 그림 3은 실제통에서 운용중인 DC 1500[V]용 피뢰기의 V-I 특성곡선을 나타낸 것이며 피뢰기는 급전선의 공장 약 500[m] 마다 설치하여 시뮬레이션 하였다.

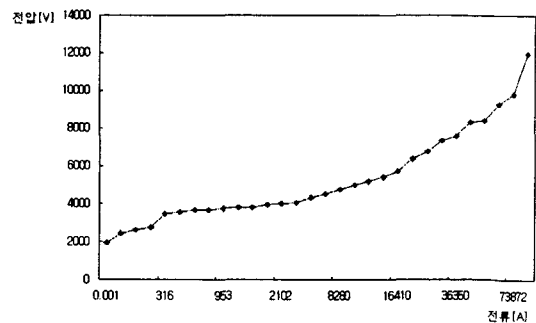


그림 3. 피뢰기 V-I 특성곡선

Fig 3. V-I characteristic curve of the arrester

2.4 모델계통

그림 4는 전차선로의 급전선에 뇌격이 침입한 경우의 모델계통이고 그림 5는 가공지선에 뇌격이 침입한 경우의 모델계통으로 A와 B의 직류변전소 사이의 FRP 섹션 구간을 모델링 하였다. 다음의 모델계통은 6개의 전철역을 경유하

는 실계통으로 급전접속선과 균압선이 접속되어 있고 가공지선과 피뢰기가 설치되어 있는 형태로 선로길이 및 보호상태를 표 2에서 나타내었다. A변전소에서 급전선에 DC 1500[V]의 전원을 공급하고 있으며 모든 전차선 및 가공지선은 π 등가형 선로모델을 사용하였다.

표 2. 전차선로 길이 및 보호상태

Table 2. Length of protection state of the railroad

구간	FRP	1	2	3	S1	5	6	7	8
선로길이[m]	색선	250	250	250	220	250	250	250	200
보호형태	A	○		○		○		○	
구간	S2	10	11	12	S3	14	15	16	S4
선로길이[m]		150	250	250	200	250	250	250	340
보호형태		○		○		○		○	
구간	18	19	20	S5	22	23	S6	25	FRP
선로길이[m]		250	250	310	250	250	300	245	색선
보호형태		○		○		○		○	B

S: 전철역 [피뢰기 설치점: ○]

본 논문에서는 S3 지점에서 100[m]떨어진 지점에서 급전선에 뇌색지가 침입하였다고 가정하여 가공지선을 설치한 후 가공지선에 직격뇌가 침입한 경우와 전차선로 급전선에 직격뇌가 침입한 경우를 모델링 하여 각각의 모델계통에 뇌과전압을 해석하고 피뢰기의 차폐효과 및 가공지선의 차폐효과를 검토하였다. 사례 별 뇌격 침입 형태는 표 3에서 나타내었다.

표 3. 뇌격침입 형태별 사례

Table 3. Cases of lightning strike

사례	뇌격 형태
1	급전선에 직격뇌가 침입한 경우(피뢰기 미설치)
2	급전선에 직격뇌가 침입한 경우(피뢰기 설치)
3	가공지선에 직격뇌가 침입한 경우(피뢰기 미설치)

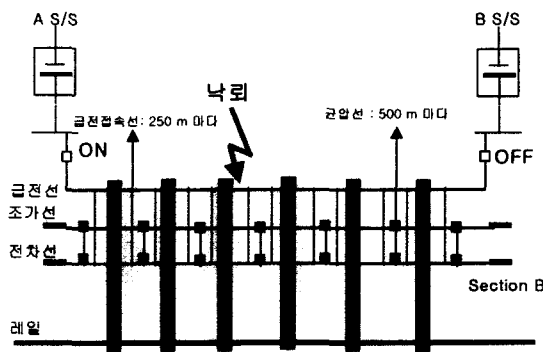


그림 4. 급전선에 뇌격이 침입한 경우 모델계통

Fig 4. A Model system of lightning struck to the feeder

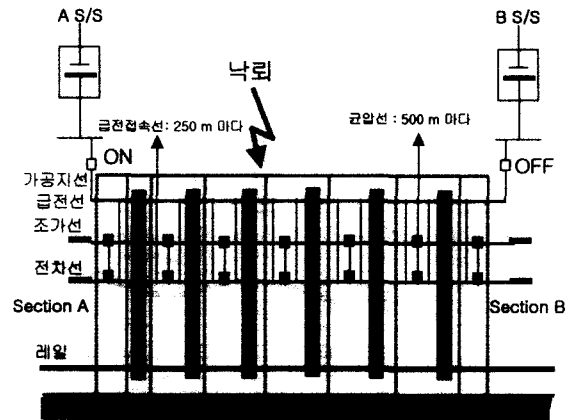


그림 5. 가공지선에 뇌격이 침입한 경우 모델계통

Fig 5. A Model system of lightning struck to the overhead grounding wire.

3. 시뮬레이션

지금까지 전차선로에서 뇌색지 해석은 뇌격 침입 구간만을 단순화시키고 선로 종단에서 진행과 반사를 막기 위한 정합저항을 사용하였다. 따라서 실제 전원단이 존재하는 실계통에서의 과도현상과는 차이를 보이고 있다.

따라서 본 논문에서는 급전선에 DC 1500[V] 전원을 공급하여 연결하였고, 표 3에서 제시한 뇌격 침입 형태에 따라 각각 시뮬레이션 하여 전차선로의 뇌과전압을 해석하고 피뢰기와 가공지선의 차폐효과를 검토하였다.

3.1 급전선에 직격뇌 침입시 시뮬레이션(사례 1)

피뢰기가 설치되어있지 않은 직류 전차선로 급전선에 뇌격이 침입한 경우 각 전철역에서 뇌과전압을 분석하였다. 그림 6은 각각 1.5[kA], 10[kA], 20[kA]의 뇌격 강도를 갖는 뇌격이 급전선에 침입했을 경우 최대값을 기준으로 각 전철역에서 전차선로 별 뇌과전압 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 S6 지점에서 급전선과 조가선, 전차선에서 가장 큰 뇌과전압이 유기되었다. 뇌과전압의 크기는 뇌격강도가 상승함에 따라 증가하였으며 급전선에서는 20[kA] 뇌격 침입시 2680[kV], 1.5[kA] 뇌격 침입시 403[kV]의 뇌과전압이 유기되어 작은 뇌격에도 현수애자 2개연 상당의 절연레벨인 255[kV]를 초과함으로써 애자의 절연파괴에 의한 섬락이 발생하였다. 또한 전차선과 조가선에서는 1.5[kA]의 뇌격 침입시에 159[kV]와 148[kV]로 장간 애자의 절연레벨인 470[kV]를 초과하지 않았으나, 10[kA]와 20[kA]의 뇌격이 침입시에는 800[kV]이상의 뇌과전압이 유기되어 애자에 섬락이 발생할 우려가 있음을 보였다. 그림 7에서는 1.5[kA]와 10[kA] 뇌격 침입시 전차선로의 S6 지점에서 유기되는 뇌과전압 파형을 나타내었다.

본 논문에서는 사례 1을 통해 뇌색지 보호장치가 없는 전차선로에서 뇌격 침입시 유기되는 순수 뇌과전압을 해석함으로써 피뢰기와 가공지선을 설치한 경우와 비교 분석하여

차폐효과를 검토하였다.

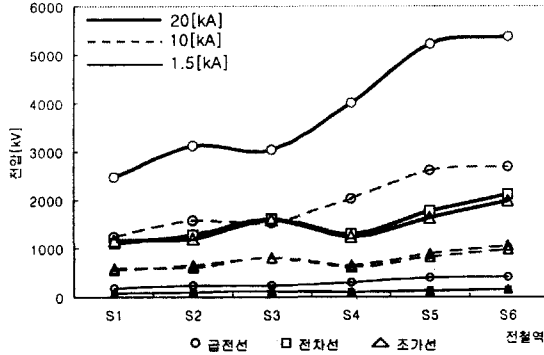


그림 6. 뇌격강도 별 전차선로 뇌과전압 분포도(사례 1)

Fig 6. Lightning overvoltage of railroad(Case 1)

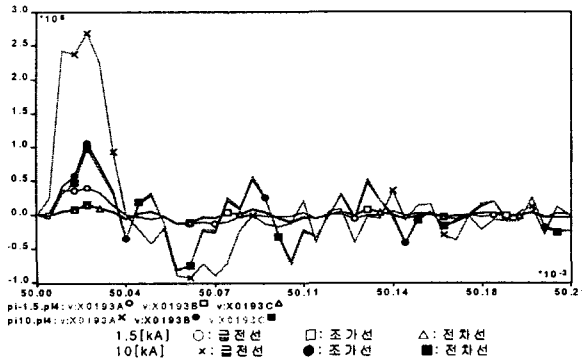


그림 7. 전차선로의 뇌과전압(사례 1)

Fig 7. Lightning overvoltage of railroad(Case 1)

3.2 급전선에 직격뇌 침입시 시뮬레이션(사례 2)

피뢰기가 설치되어 있는 경우 직류 전차선로 급전선에 뇌격이 침입한 경우 각 전철역에서 뇌과전압을 분석하여 피뢰기의 보호효과를 해석하였다.

그림 8과 그림 9는 전차선로에 1.5[kA]와 10[kA]의 뇌격 강도를 뇌써지 침입시 뇌격 발생지점에서 근접한 전철역인 S3 지점에서 측정된 뇌과전압을 사례 1과 비교하여 나타내었다. 그림 10은 20[kA]의 뇌써지 침입시 사례 2의 뇌과 전압을 각 전철역에서 측정된 분포도이다. 그림에서 보는 바와 같이 1.5[kA] 뇌격 침입시 급전선에서 최대 37[kV]의 뇌과전압이 유기되었고, 전차선과 조가선에서는 최대 27[kV]의 전압이 분포함으로써 현수애자 2개연과 장간애자의 절연레벨 이하의 뇌과전압 크기를 나타내어 피뢰기만으로 뇌격차폐가 가능함을 나타내었다. 그러나 10[kA]의 뇌격 침입시에는 급전선에서 최대 240[kV]의 뇌과전압이 유기됨으로써 지속시간이 길어질 경우 애자의 섬락이 우려되며, 20[kA]의 높은 뇌격 강도를 가진 뇌써지가 침입시에는 급전선에서 최대 500[kV], 조가선과 전차선에서는 최대 450[kV]의 전압이 유기됨으로써 절연물의 절연레벨을 초과하는 낮은 차폐율을

보여 10[kA] 이상의 높은 뇌격 강도를 갖는 뇌격 침입시 피뢰기로 완전히 보호하는 것은 어렵다는 것을 알 수 있다. 이는 급전선에 뇌격 침입시 급전접속선과 균압선을 통해 전차선과 조가선에 뇌격이 침투해 뇌격전류를 대지로 방전시킬 수가 없기 때문이다. 이로 인해 전차선과 조가선에 발생한 이상전압은 전차선로 절연물의 절연파괴 및 기기, 전기차에 직접적인 영향을 미쳐 막대한 재산 및 인명피해가 예상된다.

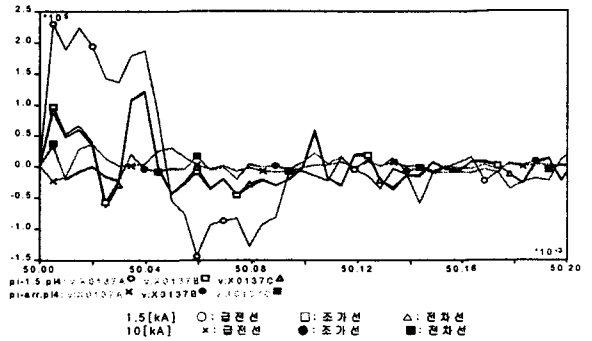


그림 8. 전차선로 피뢰기 차폐효과(1.5kA)

Fig 8. Shielding effect of arrester for railroad (1.5kA)

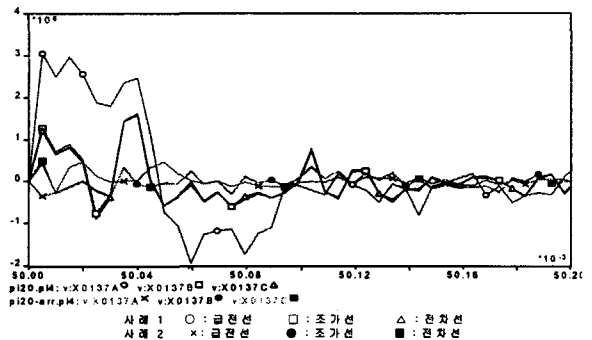


그림 9. 전차선로 피뢰기 차폐효과(10kA)

Fig 9. Shielding effect of arrester for railroad (10kA)

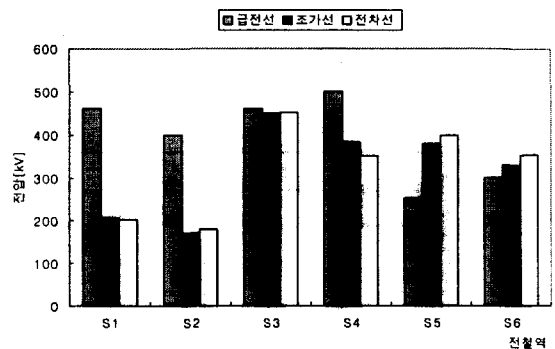


그림 10. 전차선로 뇌과전압 분포도(20kA)

Fig 10. Lightning overvoltage of railroad(20kA)

3.3 가공지선에 직격뢰 침입시 시뮬레이션(사례 3)

가공지선에 설치되어있는 직류전차선로의 가공지선에 직격뢰 침입시 차폐효과를 분석하였다.

그림 11에서는 각각 1.5[kA], 10[kA], 20[kA]의 뇌격 강도를 갖는 뇌격이 전차선로의 가공지선에 침입했을 경우 최대값을 기준으로 각 전철역에서 선로별 뇌과전압 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 20[kA]의 높은 뇌격이 침입해도 급전선, 조가선, 전차선에서 최대 160[kV] 이하의 뇌과전압이 유지 됨으로써 가장 높은 차폐효과를 나타내고 있으며 뇌격 침입점에서 근접한 S3 지점에서 양단의 FRP 색선으로 갈수록 차폐효과는 증가함을 알 수 있다. 또한 그림 12 ~ 그림 14에서 비교 제시한 사례별 뇌과전압 파형을 분석한 결과 가공지선을 설치한 경우(사례 3) 가공지선에 뇌격이 침입했을 때 전차선로의 뇌과전압은 피뢰기를 설치한 경우(사례 2)와 피뢰기를 설치하지 않은 경우(사례 1)에 비해 급전선과 조가선 전차선에서 모두 최대 90[%] 이상의 차폐효과가 있었다. 따라서 가공지선을 설치한 사례 3의 경우 높은 뇌격 강도를 갖는 뇌격 침입시 전차선로 보호에 가장 효과적이라는 것을 알 수 있다.

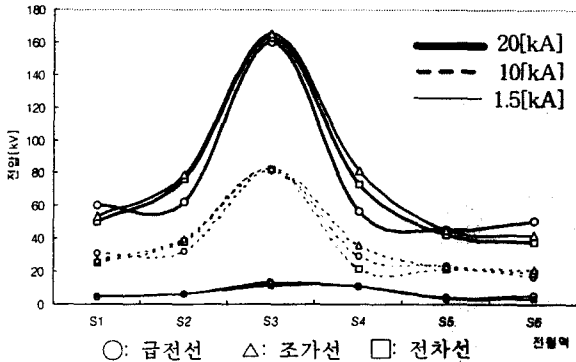


그림 11. 뇌격강도별 전차선로 뇌과전압 분포도(사례 3)
Fig 11. Lightning overvoltage of railroad(Case 3)

높은 뇌격전류의 크기를 갖는 뇌격이 침입해도 사례 3의 뇌격 보호효과가 높은 이유는 전차선로에서 직격뢰 침입시 가공지선에 의해 차폐되어 뇌격전류를 바로 대지로 방전시켜 전차선로 및 절연물, 전기차에 직접적인 영향을 미치지 않기 때문으로 사료된다.

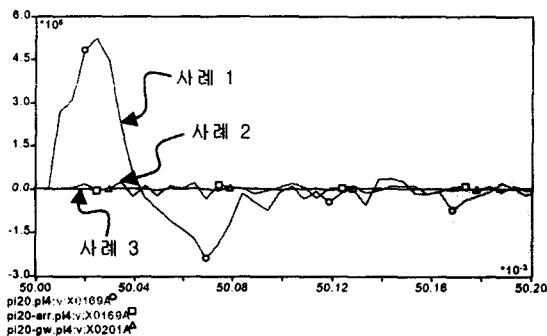


그림 12. 급전선에서 사례별 뇌과전압(20kA)
Fig 12. Lightning overvoltage of Case 1, Case 2, Case 3 at feeder(20kA)

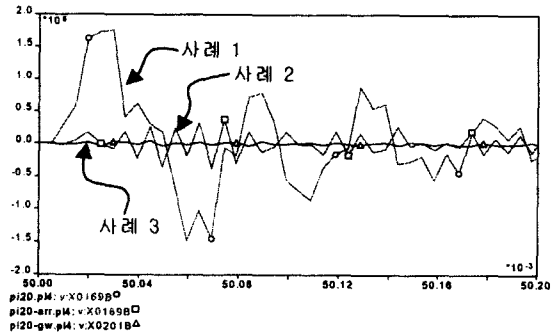


그림 13. 조가선에서 사례별 뇌과전압(20kA)
Fig 13. Lightning overvoltage of Case 1, Case 2, Case 3 at messenger(20kA)

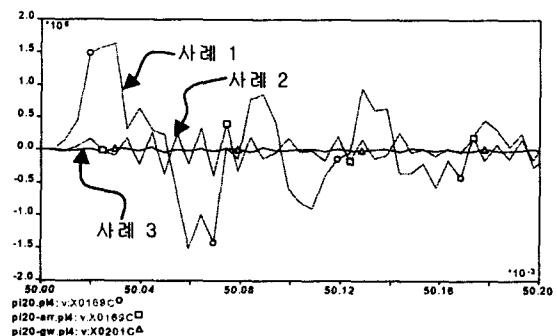


그림 14. 전차선에서 사례별 뇌과전압(20kA)
Fig 14. Lightning overvoltage of Case 1, Case 2, Case 3 at trolleywire(20kA)

그림 15는 피뢰기의 차폐효과가 가장 떨어지는 뇌격 발생지점인 S3지점에서의 사례별 전차선로 뇌과전압 분포도를 나타내었다. 도표에서 알 수 있듯이 피뢰기의 차폐효과에 비해 가공지선의 차폐효과가 더욱 효과적임을 알 수 있다.

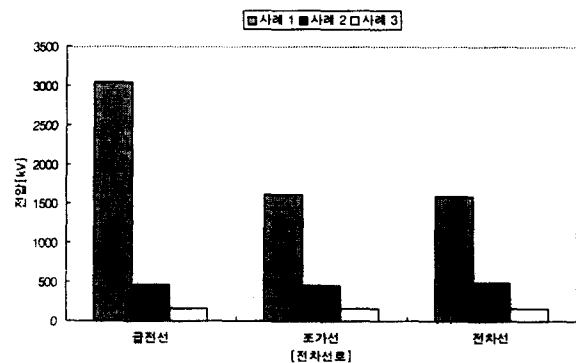


그림 15. 사례별 전차선로 뇌과전압 분포도(20kA)
Fig 15. Lightning overvoltage of railroad for each case(20kA)

4. 결 론

본 논문에서는 양단에 직류 변전소로부터 전차선로 급전

선에 DC 1500[V]의 전원을 공급하는 전차선로 시스템을 EMTP와 ATPDraw를 사용하여 급전 접속선과 균압선을 연결한 실계통을 모델링 하였다. 그리고 전차선로 계통의 급전선에 뇌써지가 침입했을 경우(사례 1)와 피뢰기가 설치된 급전선에 뇌써지가 침입했을 경우(사례 2), 가공지선 설치 후 가공지선에 뇌써지가 침입했을 경우(사례 3)의 급전선 및 조가선 전차선의 전차선로에 유기되는 뇌과전압을 해석 하였다.

해석 결과 사례 2는 사례 1에 비해 최대 80[%]이상의 차폐효과를 보이며 15[kA]의 뇌격에 대해서는 피뢰기의 차폐효과만으로 뇌격 보호가 가능하였으나 10[kA]이상의 뇌격 침입시 전차선로의 뇌과전압은 250[mm]현수애자 2개연과 장간애자등의 절연물의 절연레벨을 초과해서 피뢰기는 전차선로를 완전히 보호하지 못했다. 그러나 가공지선을 설치한 사례 3의 경우는 급전선, 조가선, 전차선의 최대 뇌과전압을 기준으로 90[%]이상의 차폐효과를 보여 20[kA]의 높은 뇌격에도 절연이 파괴되지 않음을 보였다. 따라서 뇌격 강도가 낮은 뇌격 침입 시에는 피뢰기만으로 보호가 가능할지 모르나, 10[kA]이상의 높은 뇌격강도를 갖는 뇌써지 침입시 피뢰기만으로 전차선로를 보호할 수 없음을 알 수 있다.

대도시를 중심으로 도시철도는 계속 증가하고 있고, 높은 뇌격전류의 크기를 갖는 낙뢰도 빈번히 발생하고 있으며, 대부분의 직류 전차선로에 가공지선이 설치되어 있지 않은 우리나라 현실을 볼 때 직류 전차선로에 가공지선 설치는 낙뢰 발생 시 전차선로 및 설비 보호와 인명피해 예방을 위해 반드시 필요할 것으로 사료된다. 아울러 높은 뇌격에도 효과적인 차폐효과를 발휘 할 수 있도록 피뢰기 설치 환경 및 피뢰기 특성 개선에 관한 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 부산교통공단 교육원, "전차선로 교육용 교재"
- [2] 한국철도기술연구원, "전차선로 시설기준 수립",1999
- [3] 기상청, "낙뢰연보", 1999
- [4] M.A.Uman, "Lightning", Dover Pub. Inc, N.Y, 1969
- [5] 최근주, "전철, 지하철용 애자 및 피뢰기 적용기술" 전력용 피뢰장치 및 적용기술 연구회 심포지움, pp. 37-56, 2000
- [6] Jin-Ling He, Se-Won Han, Han-Goo Cho, "Lightning Overvoltage Protection of AC railroad Vehicles by Polymeric Arresters", IEEE Trans on the Power Delivery, Vol 14, No. 4, October 1999
- [7] 한국철도기술연구원, "전철급전회로 이상전압 억제를 위한 접지시스템 연구", 1999
- [8] 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용", 전력연구원, I, II, III
- [9] 부산교통공단 교육원, "송배전설비(직무교육용교재)"
- [10] 임성정,한병덕,오정환,윤상윤,김재철,정용철, "전차선로에서의 뇌격에의한 가공지선과 피뢰기의 차폐효과" 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 468-470, 1999
- [11] 하체웅,이종범, "가공송전선로와 지중송전선로가 연계된

혼합송전선로에서 피뢰기 적정위치 검토 및 평가" 대한 전기학회 하계학술대회 논문집, pp.443-445, 2000

저 자 소 개



정 채 균 (鄭 彩 均)

1973년 7월 14일 생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2000년~현재 동 대학원 석사과정.

Tel : 063-850-6735

E-mail : chekyun@shinbiro.com



홍 동 석 (洪 東 奭)

1974년 1월 1일 생. 2000년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2000년~현재 동 대학원 석사과정.

Tel : 063-850-6735

E-mail : halubang@shinbiro.com



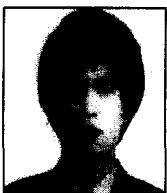
이 종 범 (李 鍾 範)

1955년 7월 12일 생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1987~1990년 한국전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~

1998년 미국 Texas A&M University 객원교수. 현재, 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수

Tel : 063-850-6735

E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr



조 한 구 (趙 漢 九)

1959년 4월 14일 생. 1984년 성균관대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 전기기기 기술사. 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년~2000년 동서대 전자기계공학부 겸임교수, 현재 대한전기학회 전기물성 응용위원회 사

업이사. 한국전기연구원 책임연구원.

E-mail : hgcho@keri.re.kr