

## 상이한 보호방식의 전차선로에서 고장전류 해석

((Computation of Current Distribution at AT Fed Electrified Railway with Mixed Grounding Systems))

정선호\*

(Son-Ho Jung)

### Abstract

This paper analyzed the effect of breakdown electric current and it establishes a countermeasure that objective of the place where it put when with protection method which is applied from the existing electric railroad power supply system and where the protection method which is applied in the newly electrified system.

Will reach and in order to attain simulation it did a actual power supply system and it analyzed that result.

### 1. 서론

전철시스템 보호방식으로 지금까지 우리 나라 전기철도에서 시스템을 보호하는 방식은 주로 일본철도에서 시행되어 온 섬락보호방식과 이중 절연방식을 도입하여 그대로 적용하여 왔다.

경부고속철도에서 프랑스 국영철도 (SNCF)의 고속철도를 도입함에 따라 비절연 보호방식을 채택하였다. 이 보호방식은 전력, 신호, 통신 등에 등전위 구성을 위하여 레일과 병행하여 접지선을 매설하고 가공 비절연 보호선(FPW)과 레일 및 선로의 모든 금속구조물을 이에 접속하는 접지-분당시스템을 구성하는 것이다.

이와 함께 기존철도에서도 중복선 전철화 사업을 시작으로 이 보호방식을 적용하기 시작하였으며, 이 후에 추진되는 기존철도의 전철화 사업에서는 모두 이 방식을 적용하는 것으로 되어 있다.

이러한 기술적 추세에 따라 이미 섬락보호방식이나 이중절연방식으로 구성된 기존 전철화 구간에서 비절연 보호방식의 새로운 전철화 사업이 진행되면서 서로 다른 보호방식의 전차선로가 동일 지지물에 설치되는 인터페이스 구간이 존재하게 되었다.

따라서, 본 논문에서는 상기한 문제가 전철 보호시스템에 미치는 영향을 경원선과 중앙선이

공유되는 회기역을 대상으로 시뮬레이션을 통하여 분석하고 이에 대한 대책을 수립하여 향후 전철화 사업에 기술 가이드 라인으로 제시하였다.

### 2. 본론 (섬락보호방식)

#### 2.1. 섬락보호방식

가. 전차선로의 섬락보호방식

(1) 보호선에 의한 방식

선로를 따라서 보호선을 가설하는 방식이다. 이것은 이중절연방식으로 지칭되며 애자는 특별고압부와 고압부가 있고 이 경계에서 연결하여 지락도선을 보호선(PW)에 접속하고 있다.

이 방식은 우리 나라에서 적용되고 있는 방식이다.

(2) 보호지선에 의한 방식

역구내 등 애자의 수가 많은 개소에서는 지지물을 보호지선으로 연결하고 이것을 접지하여 전차선이 지락한 때에 2.5kV로 동작하는 방전기를 통하여 PW에 전류가 흘러 금속회로를 구성하는 방법이다

나. 변전소의 섬락보호방식

신호케도회로에 지장과 통신유도의 증가를 고려하여 변전소 접지 매트와 레일은 접속하고 있지 않다. 이 경우 변전소 구내의 지락과 급전회로에서의 지락에는 레일의 대지 누설 어드미턴스를 통한 저항분을 포함한 전류귀로된다.

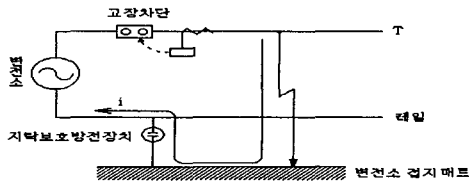


그림 2-4 변전소에서의 섬락보호장치  
여기서 그림. 2-4와 같이 레일(N상)과 변전소 접지 매트간에 방전장치를 설치하여 지락고장이 발생하여 N상과 접지 매트간의 전압이 상승하였을 때 방전함에 따라 고장점출을 용이하게 하고 있다. 방전기의 방전전압은 고장전류가 작은 경우 3kV, 고장전류가 큰 경우에는 5kV로 하고 있다.

## 2.2. 공용접지 보호방식

급전계통의 부하인 전기차는 그 특성상 시동과 정지가 빈번하게 반복되고 큰 전인력으로 주행하여야 하므로 대용량의 부하전력이 필요하다. 오늘날 대용량 부하의 증가, 전압강하의 감소, 통신선로 유도장해 개선 등의 이유로 AT급전방식이 선호되고 있는 추세에 있다.

이와 함께 급전계통을 보호하는 방식으로 유럽 여러 나라에서 광범위하게 채택되고 있는 공용 접지방식이 우리 나라에서도 도입되어 기존철도의 전철화 사업인 충북선에 적용되기 시작하였으며, 경부고속철도에서는 이미 적용되었다. 이 방식은 가공보호선, 레일, 공용접지선 등이 전차선과 병행하여 설치되어 일정한 간격으로 서로 연결되어 있으므로, 전철 급전선로 부하전류와 지락이나 단락 등의 고장이 발생하였을 때 레일과 대지간에 나타날 수 있는 위험전압을 억제하고 고장전류를 변전소로 용이하게 되돌아 갈 수 있는 귀회로를 구성하는 접지시스템을 구축하는 것을 말한다.

공용접지방식의 기본개념은 IEC(국제전기표준회의)에서 규정하고 있는 등전위 개념에 그 기초를 두고 있다. 이를 근간으로 하여 유럽의 전기철도 설계에서 공통적으로 적용되는 규격 EN 50122-1, Railway Applications, Part 1: Protective provisions relating to electrical safety and earthing(전기안전과 접지에 관한 보호규정)이 1997년 말 제정되었으며, 유럽의

모든 전기철도는 이 규정을 바탕으로 하여 각국의 전기철도 시스템에 적합하게 적용하고 있다. 주요 내용은 전기철도에서 선로를 통하여 흐르는 큰 전류에 대한 인체 및 장비 보호에 대한 여러 사항을 다루고 있다. 보호의 기본개념은 급전회로의 직접 접지를 통해서 고장전류를 신속하게 전원으로 되돌아갈 수 있게 하여 안전을 도모하는 것이다. 가장 효과적인 방법은 등전위 접지망을 구축할 수 있도록 될 수 있는 대로 많이 급속구조물을 상호 연결하는 것이다. 즉, 등전위망을 구성할 수 있도록 일정한 간격으로 다음과 같이 상호 연결하도록 한다. ⇒ · 주행 레일 · 매설접지선 · 가공 보호선

## 2.3. 상이한 보호방식의 전차선로 인터페이스 구간 고장전류 해석

3.1 상이한 보호방식의 인터페이스에서 문제점  
현재 우리 나라의 전기철도는 경부고속철도의 건설과 함께 기술적 전환점에 있다고 할 수 있다. 전기철도를 구성하는 급전계통, 차량, 신호와 통신 등의 여러 분야에서 지금까지 일본철도의 기술에 기반을 둔 시스템이 운영되어 왔으나, 고속철도와 함께 유럽 철도기술의 전면적인 도입이 이루어짐에 따라 새로운 기술 적용에 대한 검토와 검증의 필요성이 대두되었다. 이 중에서 급전계통의 보호방식은 대단히 다른 기술적 개념을 보이고 있는데 근본적으로 계통에 나타날 수 있는 위험전압을 억제하고자 하는 목표에는 차이점이 크지 않으나, 이를 달성하는 방법에서 차이가 있다. 즉, 계통을 보호하기 위한 접지기술의 관점에서 큰 차이가 있는데, 일본의 경우 접지 임피던스를 낮게 하여 위험전압을 낮게 하는 반면 유럽이나 미국의 경우는 등전위망 형성을 통해 위험전압을 감소시키는데 주안점을 두고 있다.

향후 우리 나라에서 건설되는 전기철도는 공용접지라는 보호방식을 채택함에 따라 기존에 건설 운영되고 있는 구간에서 동일한 철구 지지물에 상이한 보호방식의 급전선로가 가선되어 있는데, 이러한 구간에서 보호방식이 다른 전차선로에 지락 등의 사고가 발생하였을 때의 영향에 대한 기술적 검토가 필요하다. 그 예로서 섬락보호방식의 경원선과 비절연 보호방식의 중앙선이 분기되는 회기역을 들 수 있다. 이 역의 경원선과 중앙선 전차선로를 공유하는 철구 지지물에서 경원선 가공선로의 애자에서 섬락이 발생

할 경우 고장전류의 일부가 철구 지지물을 경유하여 중앙선의 가공선로로 흘러 가공보호선과 접속되어 있는 레일을 통해 때 중앙선 쪽의 보호레일이 동작될 수 있으며 이와 반대 현상도 생각할 수 있다.

상이한 보호방식의 전차선로 인터페이스에서 고장이 발생하였을 때 전류분포를 계산하기 위한 모델구간으로 회기역을 선정하였다. 즉, 회기역을 중심으로 섬락보호방식의 성복 SSP와 왕십리 SP 사이의 경원선 구간과 공용접지방식의 회기 SP와 도농 S/S 사이의 중앙선 구간이다.

고장 시나리오는 회기역 구내에서 발생하는 것으로 상정하였는데 여기에는 회기 구분소가 설치되어 있고 동일지지물에 의한 고장전류의 파급 영향이 예상되기 때문이다.

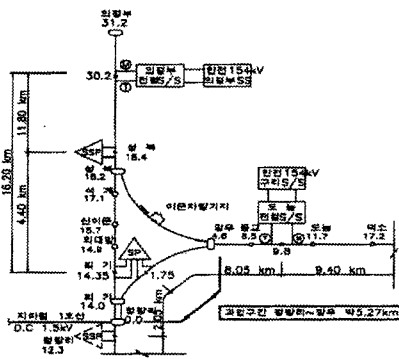


그림 3-1(a) 급전계통도

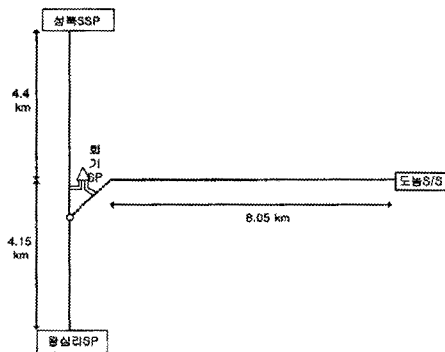


그림 3-1(b) 해석구간의 전철계통도

## 2.4. 고장전류 분포해석 결과

이 장에서는 표 3-5에서 상정한 여러 경우의 상정사고시 중앙선과 경원선 구간의 고장전류 분포를 계산한 결과를 청정시와 우천시로 나누어 기술한다.

### 4.1. 중앙선 구간 사고(청정시)

앞서 설명한 바와 같이 중앙선 구간의 사고는 ① 전차선↔레일 단락, ② 전차선↔급전선 단락, ③ 전차선↔FPW 단락, ④ 전차선↔FPW 단락의 4가지 시나리오를 상정하였다.

중앙선 구간의 단락사고시 시나리오별로 고장전류는 약 4.5~5.2 kA로 계산되었는데, 이 중에서 중앙선 급전선↔FPW의 단락사고(시나리오 4)에서 고장전류가 5.2 kA로 가장 큰 것으로 나타났으며, PW 및 섬락보호선에 흐르는 전류도 가장 큰 것으로 나타났다. 이 때의 고장전류 분포는 그림 3-8과 같다. 단, 그림 3-8에 표시된 값은 전류의 크기만을 나타낸 것이며 위상은 전류의 흐르는 방향만으로 간략히 표시하였으므로 각 노드에서 전류의 합은 0이 되지 않을 수도 있으며, 이하의 모든 그림에서도 마찬가지이다.

어느 경우든 경원선 구간의 섬락보호선 양단 전위상승은 최대 1000 V를 초과하지 않으므로 섬락보호선과 PW간 보안기는 동작하지 않으며, PW에 흐르는 전류는 최대 32 A로 계산됨에 따라 중앙선 구간의 단락사고가 경원선 구간에 미치는 영향을 크지 않는 것으로 나타났다.

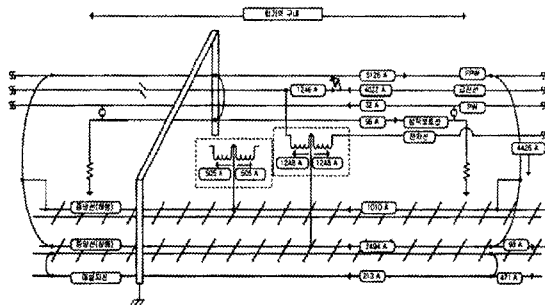


그림 3-8 급전선↔FPW 단락사고시 고장전류 분포(시나리오 4)

#### 4.2. 중앙선 구간 사고(우천시)

우천시에는 레일의 누설저항이 0.5 Ω/km로 작아지고 따라서 레일을 통한 누설전류도 커진다. 이 경우에도 앞 절과 마찬가지로 급전선↔FPW간 단락사고시 경원선 구간의 PW와 섬락보호선에 가장 많은 전류가 흐르는 것으로 계산되었다. 또한 레일의 누설저항이 매우 작아 레일을 통한 누설전류의 유입 또는 유출전류도 커진다. 그림 3-9에서는 레일을 통해 유입/유출되는 누설전류는 표시하지 않고, 단위구간(100m)당 누설전류를 그림 3-10과 3-11에 나타나 있다. 두 그림에서 가로축은 구간번호, 세로축은 레일의 누설전류를 나타내고 있으며 구간번호 #48~#60은 회기역 구내, #101은 성북 SSP, #147은 도농 S/S가 있는 위치이다.

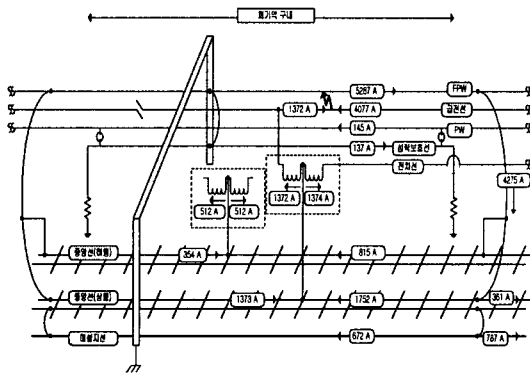


그림 3-9 회기역 급전선↔FPW 단락사고시 고장전류 분포(시나리오 4)

#### 4.3 결과 요약

##### 가. 동일지물물에 의한 인터페이스 구간

중앙선 구간에서 사고가 발생하는 경우에도 경원선 구간의 PW에 과다한 전류가 흐르거나 섬락보호선↔PW간 보안기가 동작할 가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

경원선 구간에서 사고발생시에도 중앙선 구간의 FPW로 흐르는 전류는 고장전류에 비하여 매우 작은 것으로 나타났으며, 결론적으로 청정시 레일의 누설저항이 큰 경우는 고장시 경원선 구간과 중앙선 구간의 상호영향을 크지 않을 것으로 추정된다.

중앙선 구간에서 사고 발생시 경원선 구간의 PW로 흐르는 전류는 고장전류에 비하여 매우 작으나 섬락보호선의 1종 접지 전위상승이 1500 V에 달하여, 섬락보호선↔PW간 보안기가 동작할 가능성이 청정시에 비하여 커지는 것을 알 수 있다.

여기서, 경원선 구간의 사고발생시 급전선과 섬락보호선이 단락된 경우에 섬락보호선의 1종 접지 전위상승이 3000 V를 초과하여 섬락보호선↔PW간 보안기가 동작하는 경우가 발생할 것으로 생각된다.

이 경우, 경원선 구간의 사고발생시에도 FPW로 많은 고장전류가 흐르는 것으로 나타났으며, 중앙선 구간의 보호계통이 오동작할 가능성이 매우 높은 것으로 판단되어 별도의 대책이 강구되어야 할 것이다.

##### 나. 동일부지에 병행하는 구간

접지방식이 상이한 두 전철계통이 동일지물물에 의해 가선되어 있지는 않으나 동일부지에 병행하는 구간에서의 영향을 살펴보기 위하여 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 이 경우는 앞서 경원선의 PW와 중앙선의 FPW의 연결상태를 전기저항이 0인 상태로 가정한 경우와는 달리 두 계통은 대지를 통한 지표면 전위상승의 영향만 고려될 뿐이므로 가장 가혹한 고장조건인 섬락보호선과 전차선 및 급전선과의 단락 고장만을 고려하였다. 또, 동일지물물에 가선되어 있는 경우에서 본 바와 같이 경원선에서의 고장이 중앙선에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다기 때문에 이 경우만을 상정하였다.

청정시에는 거의 무시할 정도로 영향이 없으며, 우천시에도 경원선 자체의 PW선으로 대부분의 고장전류가 흐르며, 제1종 접지전위 상승이 3kV 미만으로 나타나 별도의 대책을 고려하지 않아도 될 것으로 보인다. 그러나, 안전조건을 고려하여 전철변전소, 구분소 등에 인접한 개소의 지지물은 가공보호선과의 절연을 위하여 애자를 설치하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

### 3. 결론

본논문에서는 기존전철에서 적용된 급전계통의 보호방식과 새로 전철화되는 계통에 적용되는 보호방식이 상이한 인터페이스 구간에서 지락이나 단락 등의 고장이 발생하였을 때 미치는 고장전류의 영향을 분석하여 대책을 수립하는데 그 목적을 두고 이를 달성하기 위해 실계통을 모의하고 그 결과를 분석하였다.

실계통 모의에 선정된 구간은 성북 SSP로부터 회기 SP를 거쳐 왕십리 SP에 이르는 경원선과 회기 SP로부터 도농S/S간 중앙선 구간이다. 이 구간의 경원선 전철계통은 섬락보호방식으로 운영되고 있으며, 향후 건설 예정인 중앙선 구간은 새로이 도입된 공용접지 보호방식을 적용하도록 설계되어 있다.

이와 같이 상이한 보호방식의 두 계통이 동일지 지물에 가선되어 있는 회기역 구내에서 여러 경우의 사고 시나리오를 설정하여 회로모델을 구성하고 급전회로의 고장전류 분포를 계산함으로써 경원선과 중앙선 구간 사이의 상호 미치는 영향을 평가하였다.

정밀한 해석을 위하여 SES社의 범용 전력계통 해석프로그램인 SPLITS를 이용하였다. 이를 통하여 급전회로간 유도결합, 회기역 구내에 위치한 철구 지지물을 통한 섬락보호선과 FPW사이의 도전결합 및 청정시/우천시 달라지는 레일 누설저항의 영향이 모두 고려된 정확한 고장전류 분포의 계산이 가능하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 레일의 누설저항에 따라 고장전류 분포가 많은 영향을 받으며, 기후가 좋은 경우는 인터페이스 구간에서 서로 미치는 영향을 무시해도 좋다.
- (2) 누설저항이 매우 낮을 때(우천시) 고장이 발생하면 상이한 보호방식의 전철계통에 영향을 미쳐 보호시스템이 오동작될 우려가 크다.

따라서, 다음과 같은 대책을 수립이 필요하다.

- (1) 보호방식이 서로 다른 두 전철 급전계통이 동일지 지물에 설치되어 있는 경우 고장으로 인한 상호 영향을 배제하기 위하여 가공보호선(FPW)이 애자를 통하여 지지물에 가선되도록 하거나 기타 적절한 방법으로 상호간 절연이 유지되도록 대책을 마련하여야 한다.

- (2) 보호방식이 다른 두 전철 급전계통이 동일지 지물에 가선되어 있지 않고 병행하는 경우는 청정시와 같이 상호의 영향을 고려하지 않아도 될 것으로 사료되나, 안전을 고려하여 전철변전소, 구분소 등에 인접한 개소의 지지물은 가공보호선과의 절연을 위하여 애자를 설치하는 것이 좋다.

### 참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원, "전차선로 회로정수 측정 및 보호회로 최적화 방안 연구", 1997. 12
- [2] SES, SPLITS Users' Manual, 1999
- [3] F. P. Dawalibi, F. Donoso, "Integrated Analysis Software for Grounding, EMF and EMI", IEEE Computer Applications in Power, Vol. 6, No. 2, April 1993
- [4] J. R. Carson, "Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return", Bell System Tech. J., Vol. 5, pp. 539~554, 1926
- [5] M. Nakagawa, et, al., "Further Studies on Wave Propagation in Overhead Lines with Ground Return", Proc. IEE, Vol. 120, pp. 1521~1528, Oct. 1982
- [6] 유신코퍼레이션, "중앙선 청량리~망우간 전철, 전력설비 실시설계 보고서", 1999. 12.
- [7] 한국철도기술연구원, "전차선로 시설기준 수립 (섬락보호방식, 보호선용 접속선, 가공공동지선, 전차선로 현수방식)", 1999. 6