

교류급전방식에서의 연장급전에 따른 선로임피던스 특성 분석

정호성\*, 김주락\*, 창상훈\*  
한국철도기술연구원\*

Analysis of Catenary impedance characteristics  
in the extended power feeding conditions of AC traction system

Hosung Jung\*, Joorak Kim\*, Sanghoon Chang\*  
Korea Railroad Research Institute\*

**Abstract** - This paper analyzed catenary impedance characteristics of relays installed in substation and sectioning post to protect power feeding circuit in the extended power feeding conditions. For this, we modelled AT feeding system using PSCAD/EMTDC and calculated catenary impedance. The relay installed in substation calculated catenary impedance of the extended power feeding area adding catenary impedance of self protection zone. But, the relay installed in sectioning post calculated catenary impedance of the only protection area. Therefore, we confirmed that the more reliable protection way can be utilized using the relay installed in sectioning post.

1. 서 론

국내 철도 시스템은 고속철도 개통 및 기존 철도 노선의 전철화로 인해 전기철도 시스템으로 확대되고 있다. 국내의 전기철도 시스템의 급전 방식은 AT급전방식을 표준으로 하고 있으며, AT 교류급전방식은 전력회사로부터 수전한 3상 교류전력을 스코트 변압기를 이용하여 90° 위상차가 나는 2개의 단상 전력으로 변환하여 차량에 전력을 공급하고 있다. 그리고 교류급전계통의 보호시스템은 변전소로부터 고장발생 위치까지의 임피던스를 계산하고 그 크기가 설정된 보호 범위내로 수렴하는 경우에 고장을 검출하는 임피던스 방식을 주보호 기법으로 활용하고 있으며, 교류 급전계통에서는 일반적으로 변전소부터 급전구분소까지의 선로 임피던스 크기를 고려하여 보호시스템을 설정하고 있다.

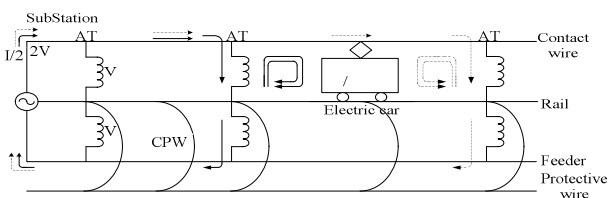
하지만 전력회사로부터 전력공급이 불가능한 경우나 철도변전소 설비의 고장으로 인해 급전계통으로 전력공급이 불가능한 경우를 대비하여 인근 변전소로부터 해당 급전구간으로 전력을 공급하기 위한 연장급전계통을 운영하고 있다. 현재 연장급전으로 운행되는 경우에는 전력을 공급하는 변전소에 설치된 임피던스 계전기의 보호영역을 변경하여 보호를 수행하고 있지만 고장구간 축소 및 보호의 신뢰성을 높이기 위해서는 연장급전 차단기를 설치된 급전구분소에서의 보호도 요구된다.

따라서 본 논문에서는 연장급전시에 변전소에서 본 선로임피던스와 급전구분소에서 본 선로임피던스의 특성을 분석하기 위해 전력해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AT 교류 급전시스템을 모델링하였으며, 시뮬레이션을 통해 변전소 및 급전구분소에서 본 선로임피던스 특성을 분석하였다.

2. 본 론

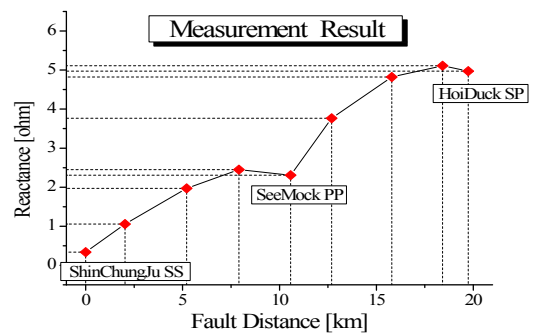
2.1 교류급전계통 및 선로임피던스

국내 교류 전기철도 시스템은 AT급전방식을 표준으로 채택하고 있다. 전력회사로부터 3상 154 kV 전력을 공급받아 철도변전소에서 스코트 변압기를 이용하여 2개의 단상 50 kV 전압으로 변환한다. 그리고 변환된 단상 전압은 AT에 의해 25kV 전압으로 변환하여 전차선에 전력을 공급하게 된다. 그리고 전압강하를 줄이고 사고발생시 사고구간을 축소하기 위해서 대략 10km간격으로 급전구분소와 보조급전구분소를 두고 급전선과 전차선 사이에 AT를 병렬로 설치하고 AT 중성점을 Rail에 접속하고 있다. 그림 1은 전형적인 AT급전시스템의 구성을 나타낸 것이다[1,2].



〈그림 1〉 AT 급전계통 구성

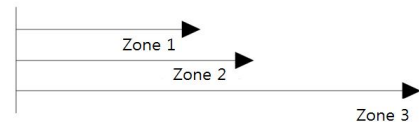
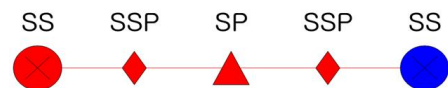
이러한 AT급전방식의 경우 변전소에 본 선로임피던스 크기가 거리에 따라 선형적으로 증가하지 않고 급전구분소 및 보조급전구분소에 설치된 AT의 전류 흡상으로 인해 비선형화 된다. 그림 2는 고속철도 구간인 신정주변전소-시목병렬구분소-회덕급전구분소 구간을 실측한 사례이며, 거리별 리액턴스 크기가 선형화되지 않고 불룩하게 비선형 형태로 나타남을 알 수 있다[3].



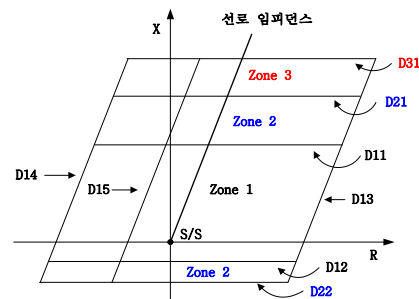
〈그림 2〉 거리별 리액턴스 실측 사례

2.2 급전계통보호 및 연장급전

교류 급전시스템의 보호는 변전소(SS)로부터 급전구분소(SP)간의 선로 임피던스의 크기를 이용하여 보호하는 임피던스 계전기(44F) 방식을 적용하고 있다. 국내에 적용중인 임피던스 계전기는 보호계전기 제작사별로 보호영역 설정이 상이하지만, 일반적으로 Zone 1은 자기보호구간의 90%의 임피던스와 0.05sec의 시간으로 설정하고 있으며, Zone 2에서는 보호범위를 넓히기 위해 자기보호구간의 120% 임피던스와 0.2sec의 시간으로 설정하고 있다. 또한 연장급전시를 고려하여 Zone 3를 설정할 수 있도록 되어 있다. 그림 3은 연장급전의 보호범위를 나타낸 것이며, 그림 4는 ICE 계전기의 보호영역 사례를 보여준다[4].



〈그림 3〉 연장급전시의 보호영역 범위



〈그림 4〉 ICE 보호계전기 보호영역

그림 3과 4에서와 같이 연장급전시 전력을 공급하는 변전소에 설치된 보호계전기의 보호영역을 크게 하여 연장급전구간을 보호하고 있다. 하지만 급전구분소에 기뢰계전기를 설치하여 연장급전구간을 보호하면 연장급전 구간에 발생하는 고장검출의 신뢰도를 높일 수 있으며, 고장 범위를 축소할 수 있는 장점이 있다. 이를 위해 연장급전시 급전구분소(SP)에서 본 선로 임피던스의 특성 분석이 요구된다.

### 2.3 해석 모델

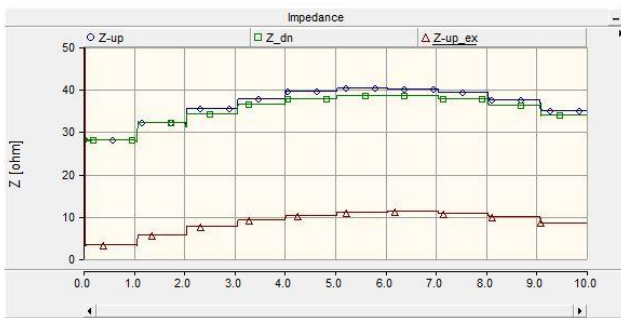
연장급전시에 변전소 및 급전구분소에 본 선로 임피던스의 특성을 분석하기 위해 전력해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 통해 그림 5와 같이 연장급전계통을 모델링하였다. 교류 급전계통은 경부고속철도 토공구간의 표준 구성을 바탕으로 Carson-Pollazek식을 도체의 종류 및 구성에 따라 선로를 전차선군, 급전선군, 레일군으로 등가화하여 임피던스를 계산하였다. 표 1은 Carson-Pollazek식을 이용하여 계산한 해석모델 데이터를 나타낸 것이다[5,6]. 변전소, 보조급전구분소 및 급전구분소간의 간격은 10km로 시뮬레이션 하였으며, 선로 임피던스의 측정은 변전소(SS1)의 relay1과 연장급전시에는 급전구분소(SP)의 relay 2에서 수행하였다.

〈표 1〉 해석모델 데이터

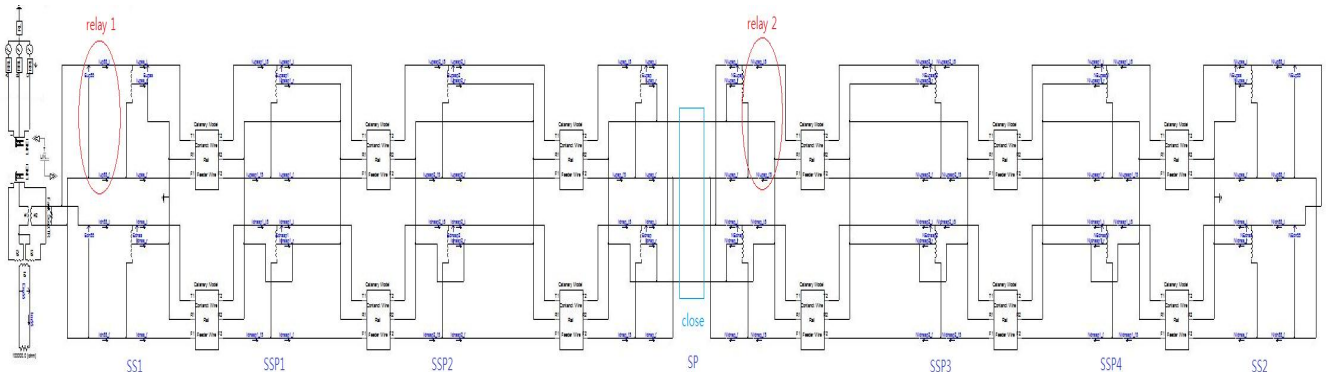
설비	값
AT	10 MVA, $j0.4 \Omega$
전차선	$0.1238 + 0.2590i$
레일	$0.1390 + 0.4487i$
급전선	$0.1180 + 0.4797i$

### 2.4 해석결과

그림 6은 연장급전시에 급전구분소(SP)와 연장급전 구간의 첫 번째 보조급전구분소(SSP3)의 거리별 선로임피던스를 relay1( $Z_{up}$ )과 relay2( $Z_{up\_ex}$ )에서 해석한 결과를 나타낸 것이다. 해석 결과에서 알 수 있듯이 AT 흡상현상으로 인해 선로 임피던스의 특성이 비선형으로 나타났으며, 급전구분소의 relay2에서 바라본 연장급전구간의 임피던스의 크기가 변전소에 본 임피던스에서 본 임피던스에 비해 작게 나타남을 확인할 수 있다. 이 크기는 변전소에서 급전구분소까지의 임피던스를 크기를 제외한 크기와 유사하며, 급전구분소에서 보조급전구분소간의 임피던스 크기만을 나타낸다고 할 수 있다.

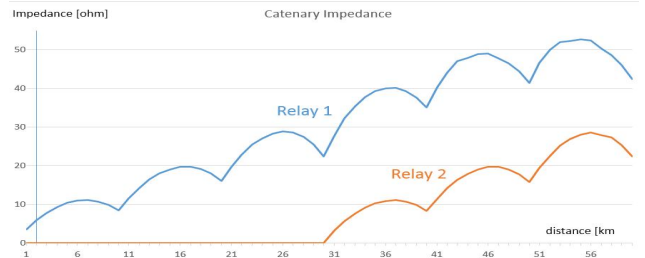


〈그림 6〉 급전구분소(SP)와 보조급전구분소(SSP3) 선로임피던스 해석결과



〈그림 5〉 해석 모델계통

그림 7은 해석모델에 대한 relay 1과 relay 2에서 해석된 선로임피던스를 나타낸 것이다. 연장급전시에 변전소에 설치된 relay 1에서 계측된 임피던스는 해당 보호구간의 임피던스에 추가적으로 연장급전 구간의 임피던스를 포함하여 증가됨을 확인할 수 있다. 반면에 급전구분소에 있는 relay 2에서 본 임피던스는 연장급전구간의 임피던스만을 계측함을 알 수 있다. 따라서 연장급전시의 보호시스템 신뢰도를 높이기 위하여 변전소의 설치된 보호계전기의 연장급전시 보호영역에 지연시간을 보다 크게 설정하고, 급전구분소에는 연장급전구간에서 발생하는 고장을 검출할 수 있는 보호계전기를 설치하고 해당 연장급전 구간만을 보호할 수 있는 보호영역을 설정하고 지연시간을 짧게 하여 운영하는 경우에 보호의 신뢰성을 높일 수 있음을 확인하였다.



〈그림 7〉 변전소 및 급전구분소에서 본 선로임피던스 크기비교

## 3. 결 론

본 논문은 연장급전이 발생한 경우를 대비하여 변전소 및 급전구분소에서 본 거리별 선로임피던스 특성을 분석하였다. 이를 위해 전력해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 AT 교류급전시스템을 모델링하였으며, 시뮬레이션을 통해 변전소 및 급전구분소에서 본 선로임피던스를 산출하였다. 변전소에서 본 연장급전구간의 임피던스는 해당 보호구간의 임피던스에 연장급전구간의 임피던스를 포함하여 계측되지만, 급전구분소에서 계측되는 임피던스는 해당 연장급전구간의 임피던스만을 계측함을 확인하였다. 이러한 임피던스 특성을 활용하여 변전소 및 급전구분소에 설치한 보호계전기의 보호영역 및 지연시간 등을 활용한 보호협조를 통해 연장급전시의 전반적인 보호의 신뢰도를 높일 수 있음을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Tefvik Sezi, Frank E. Menter, "Protection Scheme for a New AC Railway Traction Power System", IEEE Transmission and Distribution Conference vol 1, pp388-393, 1999
- [2] Hosung Jung, "A Study on Protection system to the Load Characteristics on the AC Feeder System", Proceeding of the KIEE Summer Annual Conference 2004, No. B, pp 1370-1372, 2004
- [3] Korea Railroad Research Institute, "A Study on the Overhead Contact-line Constant and Optimal Strategy of Protection Circuit in the Electrical Railway Substation", Korea Railroad, 1998
- [4] Hanmin Lee, Kwanghae Oh, "Fault Analysis of AC Electric Railway System Mode by EMTDC", Trans. KIEE vol. 52A, no. 9, pp 1-7, 2003.
- [5] Hosung Jung, "A study on relay setting for AT feeding system protection using PSCAD/EMTDC", ICEE 2005, pp.A76-A76, 2005
- [6] PSCAD/EMTDC User's manual.