

## 전기철도에서 과부하 현상에 관한 연구

최권철, 심재선, 이상교, 배인수  
강원대

### A Study on the overload for electrical railway

Kwon-Chul Choi, Jae-Sun Shim, Sang-Kyo Lee, In-Su Bae  
Kangwon National University

**Abstract** - 교류 전기철도 급전계통에서 다수 전기차량이 급전구간에  
서 동시에 운전하는 경우 순간적인 과부하로 보호계전설비가 오동작하  
는 경우가 가끔 발생한다. 과부하가 일어날 수 있는 과도현상은 전기차  
량의 대수, 위치, 속도, 전원계통에서의 수급상황 등 여러 특정 조건이  
만족되는 상황에서만 일어날 수 있다. 이에 본 연구에서는 PSCAD  
/EMTDC를 통해 전기철도 교류 급전계통을 구성하였으며, 전기차량 2  
대가 존재하는 상황에서 전기차량 돌입시 전류의 과도현상을 확인할 수  
있었다.

#### 1. 서 론

교류 전기철도 급전계통은 변전소로부터 전차선을 경유하여 전기차량  
에 전력을 공급하고 있다. 복수의 전기차량이 동일 급전구간에서 동시  
에 운전하는 경우 전차선에 흐르는 전류가 커져 전압강하 현상이 발생  
할 수 있으며, 이를 방지하기 위해 단권변압기를 통해 전압유지에 노력  
하고 있다. 그러나, 다수 전기차로 인해 급전구간에 순간적인 과부하가  
걸려 보호계전설비가 동작하는 경우가 가끔 발생하고 있지만, 매일  
동일한 운행 스케줄이라 하더라도 보호계전설비가 계속 오동작을 일  
키는 것은 아니다. 과부하가 일어날 수 있는 과도현상은 전기차량의  
대수, 위치, 속도, 그리고 전원계통에서의 수급상황 등 여러 특정  
조건이 만족되는 상황에서만 일어날 수 있다.

이에 본 연구에서는 PSCAD/EMTDC를 통해 전기철도 교류 급전계  
통을 구성하였으며, 본 연구를 발판으로 하여 전기철도 과부하 현상  
해석 모델을 발전시키고, 가능하다면 그 예방책도 마련하고자 한다.

#### 2. 본 론

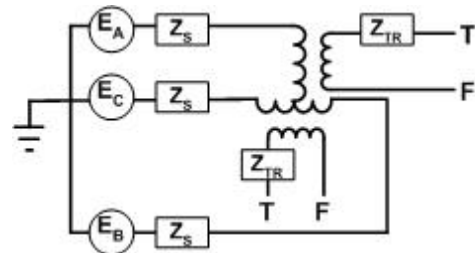
전기철도 급전계통을 모의하기 위해서는 전기차량에 전력을 공급하  
는 전차선로, 3상 전력을 수전 받아 스코트 변압기를 통해 2상으로  
변환하는 변전소 계통, 레일의 귀환전류를 전차선과 급전선으로 분  
류하고 전압을 유지하는 단권변압기에 대한 전기회로 모델이 필요  
하다.

##### 2.1 전차선로

AT 급전방식의 전차선로는 급전선, 전차선, 조가선, 레일, 가공보  
호선, 접지선으로 이루어지지만, 전차선과 조가선은 서로 연결되어  
있고 레일과 가공보호선과 접지선은 모두 접지상태이므로 서로  
연결되었다고 할 수 있다. 따라서 총 3개의 도체 그룹으로 구분할  
수 있다. 선로정수를 결정하기 위해서는 도체의 높이, 도체간 거  
리, 반지름 등의 구조 데이터와 반지름, 투자율, 저항률과 같은  
전기적 재질 데이터가 필요하다. 입력 데이터를 통해 각 도체  
의 선로정수를 계산한 후, 상호 임피던스를 고려하여 급전선,  
전차선 그룹, 레일 그룹의 등가 선로정수를 최종적으로 산정  
한다.

##### 2.2 전철 변전소 계통

대용량의 전철부하에 전력을 공급하기 위해서는 전력계통의  
변전소로부터 전철용 변전소까지 송전선을 인출하여야 하고,  
전철 변전소에서는 3상전력을 단상전력으로 변환시키고 이를  
다시 차량전압으로 변환한다. 전철 주변압기는 변압기  
결선방식에 따라 단상결선, V결선, 스코트 결선방식이  
사용되고 있으나 3상으로부터 큰 단상전력의 부하가  
연결되면 3상전원에 불평형이 유발되므로 단상  
변압기 2대를 사용하여 3상을 2상으로 변환하여  
3상회로의 전원에 평형부하가 걸리도록 하는 스코트  
결선방식이 주로 사용되고 있다. 스코트 결선방식을  
그림 1과 같다.

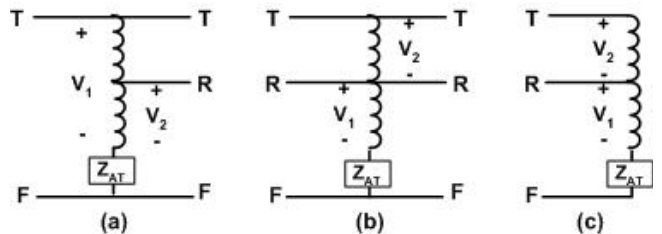


〈그림 1〉 스코트 결선 회로도

스코트 변압기의 용량은 90[MVA], 60[MVA], 45[MVA], 30[MVA] 등  
여러 종류의 변압기가 사용되고 있으며, 그 중 60[MVA] 변압기의  
27.5[kV] 기준 임피던스는  $0.1094+j2.5184[\Omega]$ 이 적용되고 있다.

##### 2.3 단권변압기

AT급전방식에 사용하는 단권변압기는 변전소용, 급전구분소용, 보조  
급전구분소용이 있으며, 각 단권변압기의 연결방법은 그림 2와 같다.



〈그림 2〉 단권변압기 결선 회로도

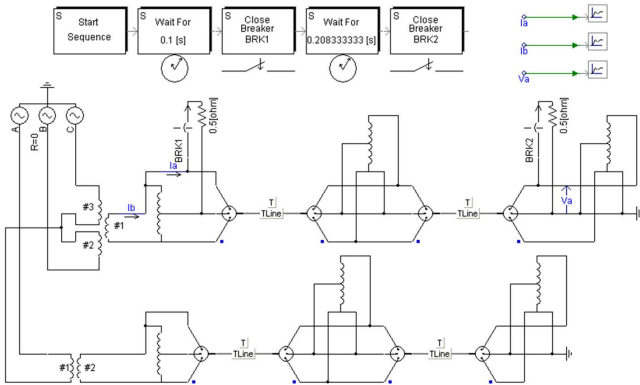
그림 2. (a)는 변전소(SS) 단권변압기의 모델로서 1차측은 55kV로 급  
전되고 2차측은 전차선(T)-레일(R), 레일-급전선(F) 단자에 동일하게  
27.5kV로 분압된다. 그러나 단권변압기의 내부 임피던스에 의해 레일-  
급전선 사이는 단자전압이 약간 작게 나타난다. 그림 2. (b)는 보조급전  
구분소(SSP) 단권변압기, 그림 2. (c)는 급전구분소(SP) 단권변압기 모  
델이다.

##### 2.4 전기차 부하

전기철도 계통해석에서 사용되는 전기차의 부하모델은 정전력 모델,  
정전류 모델, 정임피던스 모델로 구분된다. 전기차 운행시 저항제어차와  
싸이리스터 위상제어 차량의 역률은 약 0.85로 제어되고 있으며, PWM  
제어차량은 역률이 거의 1로 제어되고 있다. 본 연구에서는 전기차를 일  
정한 임피던스의 부하로 등가화하였으며, 역률을 1이라고 가정하여 리액  
턴스 성분은 무시하고 정상 전기차 운행시 저항으로 고정 저항 0.5Ω을  
적용하였다. 차후 연구에서는 정전류 모델과 정임피던스 모델을 적용할  
예정이다.

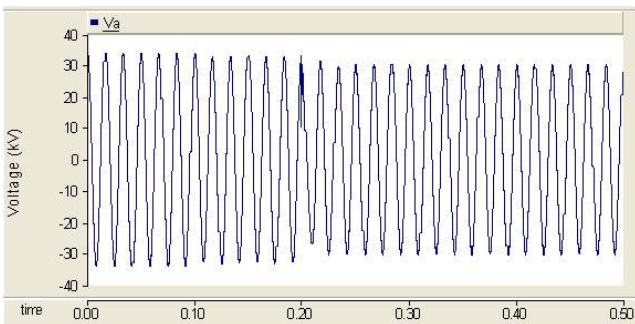
### 3. 사례 연구

본 연구의 사례연구에서 사용한 전철변전소 한 곳의 PSCAD/EMTDC 회로도도 그림 3과 같다.



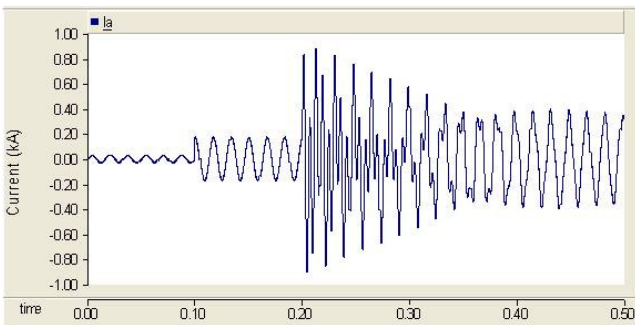
〈그림 3〉 전철변전소의 PSCAD/EMTDC 회로도

전기철도 교류 급전계통의 PSCAD/EMTDC 해석 모델의 범위로서 전철변전소 인입구에서 M상과 T상 급전구분소까지를 대상으로 하였다. 보조급전 구분소는 M상과 T상에 각기 1지점씩 존재한다. T상에는 전기차가 존재하지 않으며, M상 급전구간에 진입했던 전기차가 T상으로 이동하기 전에 M상에 또 다른 전기차가 진입하는 상황을 모의하였다. 우선, M상 말단의 전차선 전압을 살펴보면 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 급전구간 말단의 전차선 전압

급전구간 중앙의 전기차량(1번 전기차)은 M상을 빠져나가는 방향이지만, 전기차량 1대만 존재하는 상황도 같이 살펴보기 위해 시뮬레이션 시작 후 0.1초 후에 1번 전기차가 급전구간 중앙으로 돌입하는 형태로 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4를 보면, 0.1초에 1번 전기차가 M상에 들어오지만, 급전구간의 중앙에 위치하기 때문에 급전구간 말단의 전압에는 어떤 영향도 미치지 않는다. 반면, 0.2초 뒤에 돌입한 급전구간 말단의 전기차량(2번 전기차)은 급전구간 말단의 전압을 일부 감소시키지만 별다른 과도현상 없이 전압이 안정되는 특성을 보이고 있다. 전차선의 전류를 살펴보면 각각 그림 5, 그림 6과 같다.



〈그림 5〉 전차선 전류

1번 전기차의 돌입이 전류의 과도현상을 일으키지 않는데 비해, 2번 전기차의 돌입은 약 0.15초 정도 감쇄하다가 안정화 되는 과도전류를 보이고 있다. 물론 이 과도현상은 M상에 국한되며, T상에는 과도현상이 전파되지 않는다. 짧은 시간이지만 순간적인 과도전류는 전기차 3대가 존재하는 전류값을 상회하고 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 사용하여 전기철도 교류 급전계통을 구성하고 전기차량 2대가 존재하는 상황을 모의하였다. 다수의 단권 변압기로 인해 전압은 안정된 특성을 보이는 반면, 전기차량 돌입시 전류의 과도현상을 확인할 수 있었다. 전류의 과도현상 원인이 정확히 무엇인지 그리고 보호계전의 동작에 어떤 영향을 미칠 것인지에 대한 지속적인 연구가 필요하며, 차후에는 과부하로 인한 보호계전설비의 오동작을 해석할 수 있는 기반이 될 것으로 사료된다.

### [참고 문헌]

- [1] GUI환경의 교류전기철도 급전시뮬레이션 프로그램 개발, 한국철도기술연구원, 2009.
- [2] 장길수, 차준민, "PSCAD/EMTDC를 이용한 전기철도 전력공급시스템 해석모델개발", 대한전기학회지, 2006.
- [3] 전기시스템 핵심기술연구, 한국철도기술연구원, 2005
- [4] Ronald John Hill and Ibrahim H. Cevik, "On-Line Simulation of Voltage Regulation in Auto-transformer-Fed AC Electric Railroad Trac tion Networks", IEEE, Trans. on Vehicular Technology, 1993.