

## PSCAD/EMTDC를 이용한 직류 급전 시스템 모델링

최준호\*, 이한민\*\*, 최종욱\*, 장길수\*, 오광해\*\*  
\*고려대학교, \*\*한국철도기술연구원

### Modeling DC Electric Railway System using the PSCAD/EMTDC

Joonho Choi\*, Hanmin Lee\*\*, Jong-ook Choi\*, Gilsoo Jang\*, Kwanghae Oh\*\*  
\*Korea University \*\*Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 전기철도 급전계통은 차량 또한 이동 부하이고, 비정상적인 전기적 특성이 나타날 수 있으므로, 전기적으로 정확한 해석을 할 필요가 있다. 본 연구는 PSCAD/EMTDC 과도해석 프로그램을 이용하여 직류 전기 철도 시스템을 모델링 함으로써 전기철도 급전계통의 정확한 특성을 연구하는 것이다. 한전 계통으로부터 전력을 급전 받아 전기철도차량 부하에 공급되는 급전계통을 실제와 가깝게 모델링 함으로써, 정상상태 해석과 사고 시 과도특성 분석 및 계통에의 영향 해석을 목적으로 한다. 프로그램 특성상 각각의 소자를 모델링 한 후 4단자망 이론에 근거, 각 소자를 결합하여 전체 계통을 구성한다. 각각의 소자는 전차선로, 정류기 및 제어기를 포함한 차량부 (전동기, 제어소자), 정류 변전소 등으로 구성된다. 이 논문에서는 급전계통의 정상상태 및 고장 전류를 분석함으로써 제안된 모델을 검증한다.

특성을 살려서 개별 소자를 모델링 한 후 4단자망으로 전체 시스템을 구성하였다. 전체구성도는 그림 1과 같다.

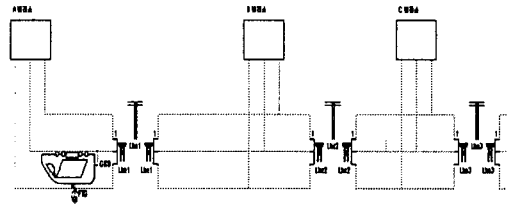


그림 1. DC 전철급전시스템 모델

## 1. 서 론

전철은 무엇보다도 매연이 없고 소음이 적어서 공해문제가 심각한 현 시점에서 볼 때 가장 큰 장점이며 짧은 시간 간격의 고빈도 운전으로 대량 고속수송이 가능한 높은 품질의 교통 서비스를 제공해 준다. 이와 같은 많은 장점을 가진 전기철도는 세계적으로도 21세기에 걸맞은 고속화 경쟁에 열을 올리고 있다. 우리나라에서도 경부고속전철 추진과 대도시 전철망 확충으로 전기철도의 영역은 날로 확대되어 가고 있는 추세에 있어, 보다 안정된 전철운동을 위하여 물리적인 대상(전기 철도 급전계통)에 대한 정확한 모델링이 필수적이라고 하겠다. 또, 철도급전시스템에 사고가 발생할 경우 승객과 차량, 지상설비의 안전을 확보하기 위해서 사고가 빨리 감지되어야 하며, 사고지점에 전력공급을 차단하여야 한다. 본 연구에서는 계통 해석을 위해서 과도 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 정상상태 해석과 사고 시 과도특성 분석 및 계통에의 영향 해석을 목적으로 한다. 2장에서는 모델링 후 4단자망 이론에 근거, 각 소자를 결합하여 전체 계통을 구성한다. 3장에서는 정류 변전소, 전차선로, 정류기 및 제어기를 포함한 차량부 (전동기, 제어소자)의 개별 모델링을 제안한다. 4장에서는 정상상태 해석, 고장전류를 분석함으로써 제안된 모델을 검증한다. [1][2]

## 2. DC 전철 급전 시스템 모델

일반 전기차에 전기를 공급하는 전차선과 전기차 운행 궤선(주행레일)등으로 급전회로를 구성하였다. 사용전압으로는 600V, 750V, 1,500V, 3,000V등이 있으나 우리나라에서는 1,500V 전압을 사용하고 있으며 전기 철도변전소 간격은 전압강하 등을 고려하여 대략 4km~10km마다 시설 운용하고 있다. 실제 모델에는 4km를 사용하였다. 그리고, 본 모델은 PSCAD/EMTDC를 사용하여 모델링 되었다. PSCAD/EMTDC 프로그램은 개별 소자의 조합으로 시스템을 구성하므로 프로그램의

## 3. 개별 소자 모델링

### 3.1 전원부(변전소) 모델링

DC 전철 변전소는 154kV의 교류전력을 한전으로 수전 받아 싸이리스터 컨버터를 통해 DC 1500V로 변환되어진다.

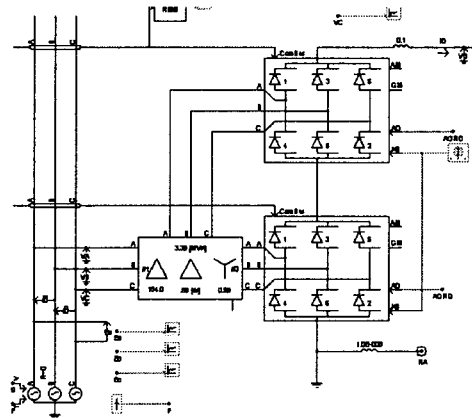


그림 2. 전원부 모델링

### 3.2 전차선로 모델

전차선로는 2개의 도체로 구성된다. 2개의 도체는 전차선과 레일 도체로 구성된다. PSCAD/EMTDC 프로그램의 T-Line소자를 사용하여 상,하행선 4단자망으로 구성된다. 그림 3과 4는 T-Line의 프로그램 상에서의

실제 모델이다.

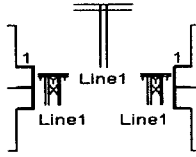


그림 3. T-Line 전차선로

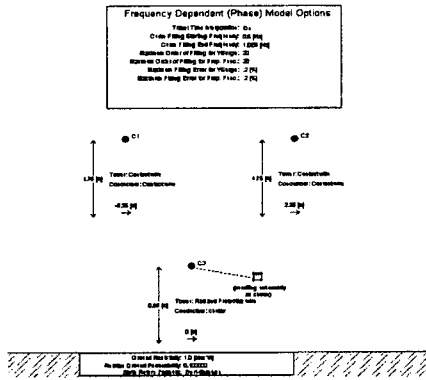


그림 4. 전차선로 기하학적 상세모델

다음 표 1~3는 그림 4에서 선로정수를 얻기 위한 각 도체의 물리적 거리와 실제 고유특성 데이터이다.

표 1. 직류 저항

파라미터	직류저항( $\Omega/\text{km}$ )	비고
강제전차선	0.0205	Aluminum, 2100 $\text{mm}^2$
레일	0.0153	60kg/m steel

표 2. 각 도체의 기하학적 높이

파라미터	데이터(m)	비고
강제 전차선	4.75	지상
레일	0.6	"

표 3. 도체간의 수평 길이

파라미터	데이터(m)	비고
레일1 - 레일2	1.435	
레일2 - 레일3	3.065	
레일3 - 레일4	1.435	
전차선1 - 전차선2	4.5	

### 3.3 부하(차량)모델

교류 급전 시스템 모델링에서 차량 부하의 다이내믹한 특성과 철도차량의 고유한 과도특성을 나타내기 위해서 유도전동기 차량 모델을 사용하였다. 그림 5는 유도전동

기 차량의 상세모델이다

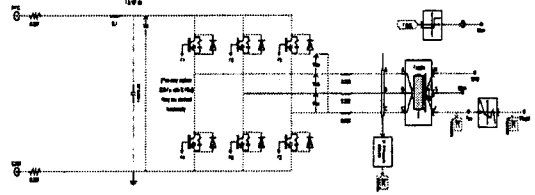


그림 5. 유도전동기 차량 모델

그림 5를 통해 알 수 있듯이, 유도전동기 차량모델은 1100V 교류 유도전동기 이므로 다시 교류로 변환하기 위한 인버터와 견인 전동기인 유도전동기와 정류기의 제어부로 구성된다. 입력값으로 원하는 차량 속도와 차량 출력 마력값을 넣을 수 있다. 8량 객차일 경우는 4289 HP이고, 10량 객차일 경우는 5362 HP 이다.

## 4. 사례 연구

### 4.1 정상상태 모의

그림 6은 정상상태에서 정류기를 거친 후 나타나는 직류전압 값이다.

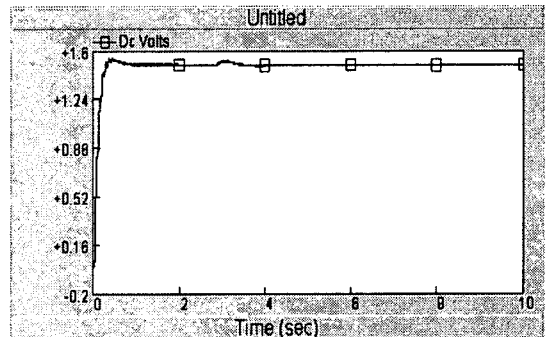


그림 6. 정류 후 상선과 하선의 직류전압

그림 6에서 알 수 있듯이 정류 후 1500 kV의 직류 전압이 나타남을 알 수 있다. 그림 7은 컨버터단의 싸이러스터 점호각이다.

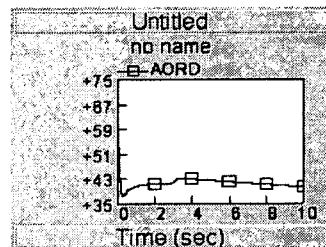


그림 7. 점호각

### 4.2 과도상태 모의

단락사고 시뮬레이션에 의해 지락사고에 따른 사고전류를 모의하여 그 결과를 얻었으며 이의 과도현상을 분석하였다. 사고발생시간은 3초이며 사고지속시간은 평균

차단기 동작시간인 0.5초이다. 그리고, 차단기 open 동작시간은 3.25초이고, 차단기 재투입 시간은 3.55초이다. 그림 8~11은 변전소에서 사고지점까지의 거리별 사고전류이다.

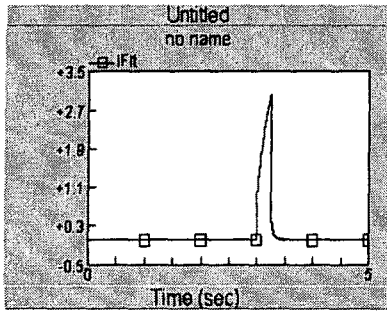


그림 8. 변전소로부터 20km 떨어진 곳에서의 상선에서의 지락사고

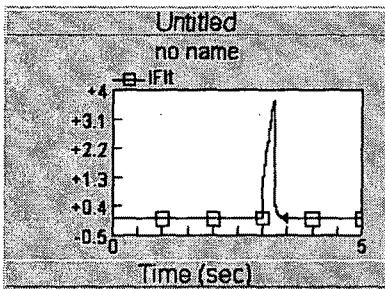


그림 9. 변전소로부터 10km 떨어진 곳에서의 상선에서의 지락사고

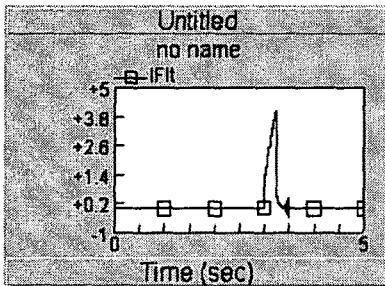


그림 10. 변전소로부터 5km 떨어진 곳에서의 상선에서의 지락사고

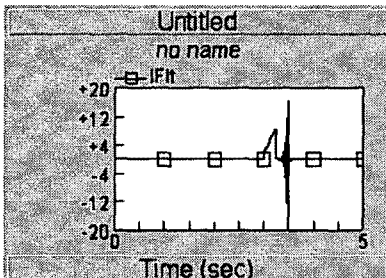


그림 11. 변전소로 바로 앞단에서의 지락사고

표 4는 위의 그림에서 모의된 사고전류 값과 실측데이터의 값을 비교 정리한 내용이다. 실측데이터는 현재 직류 급전 시스템인 1~4호선 전체 고장전류 측정치이고 특정한 사고 위치는 알 수 없었다. [3]

표 4. 직류급전 시스템 사고 비교

사고 종류	모의된 사고전류 [kA]	실측데이터 [kA]
20km지점에서 서의 사고	3.11	1.5~11
10km지점에서 서의 사고	3.69	
5km지점에서 서의 사고	3.97	
변전소 바로앞단에서 의 사고	8.25	

## 5. 결 론

본 논문은 PSCAD/EMTDC를 이용하여 직류 전철급전 시스템을 모델링 하였으며, 각 구성요소들은 프로그램의 특성을 이용한 단자망 이론을 바탕으로 현 시스템과 동일한 시스템으로 구성되었다. 정상상태 및 과도상태 시뮬레이션을 통해 직류 전철급전시스템에 대한 특성을 확인할 수 있었다. 먼저 시스템의 적절성을 확인하기 위해서 1.5kV의 직류전압과 그 전압을 유지하기 위한 점호각을 확인함으로써 정류채우 logic의 적절성도 확인하였다. 사고 사례연구도 수행되었다. 직류 시스템에서 변전소에서 가까운 곳에서 지락 사고가 발생시 더 큰 사고전류가 나타남을 알 수 있었다. 그리고, 모의시 실제 계측된 전류치와 거의 유사한 값이 도출하였고, 구성된 모델이 사고해석에도 적절히 동작된다고 할 수 있다.

## (참 고 문 헌)

- [1] 이한민, 창상훈, 한문섭, 김주락, 오광해, 이장우, "PSCAD/EMTDC를 이용한 교류 전철급전시스템 모델링", 2002년 대한 전기학회 춘계학술대회 발표논문
- [2] 이한민, 한문섭, 창상훈, 오광해, 이장우, 김주락, "PSCAD/EMTDC를 이용한 교류 전철급전시스템 해석", 2002년 대한 전기학회 하계학술대회 발표논문
- [3] 민병훈, "지하철 직류 보호계전시스템 비교 연구", 2002년 석사 졸업논문