

EMTDC를 이용한 경부고속철도 고조파 전류 확대율 해석

이한민\* 이장무  
한국철도기술연구원

Analysis of the amplification of Harmonic Current Using EMTDC  
in Kyongbu High-Speed Railway

H.M. Lee C.M. Lee  
Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - This paper presents the AC electric railway system modeling using PSCAD/EMTDC program. This system model is composed of the scott-transformer the auto-transformer, the running rails, the protection wires, the feeders, the catenary and contact wires, etc. After obtaining the models of the fundamental elements describing the AC electric railway system and its behavior, we have analyzed and tested real traction power feeding system focused on the amplification of harmonic current to verify the proposed model. The simulation results from the proposed approach and the measurement data from the test are described in the paper.

에 통해 공급한다. 단권변압기는 대략 10km 정도의 간격으로 설치되며 이곳에 상하행선을 연결하는 개폐기가 함께 설치되기도 한다. 변전소와 변전소의 거리는 약 50km 이고 중간지점은 양쪽 변전소의 전압위상이 다르기 때문에 개폐설비로써 전기적으로 구분하여(급전구분소: SP) 운전하고 있는데 이것은 변전소 고장시 인근 변전소에서 연장급전을 하기 위해 연결해 주는 역할도 한다.

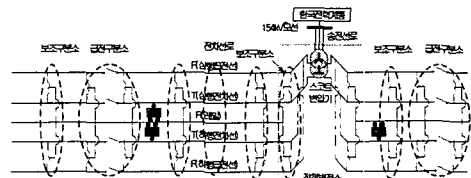


그림 1. 교류 급전시스템의 구성

1. 서론

전철급전시스템은 변압기, 전차선, 급전선, 레일 및 보조선 등 일련의 전력설비와 이들을 유기적으로 결합시키고 효율적으로 운용, 관리하기 위한 운용설비로 구성되어 있다. 이러한 전철급전시스템은 일반 전력계통에 비해 부하의 특성이나 계통구성 형태 및 제반 현상측면에서 상이한 특징을 가진다. 특히, 최근에 도입된 전철구동시스템에는 컨버터와 인버터가 포함되어 있으며 위상제어 및 펄스폭변조방식에 의하여 제어되기 때문에 고조파를 발생시킨다.

시뮬레이션을 위해 그림 1의 계통호로를 EMTDC로 정밀 모델링하였다. 전체적인 급전시스템을 각각의 모듈로서 구현하였다. 즉, 전철변전소는 한전 변전소에서 공급된 154kV 전압을 스코트변압기를 통해 55kV로 변압하여 M상, T상으로 전압을 공급하도록 모델링하였다. 또한 전철변전소, 보조구분소, 급전구분소의 단권변압기를 모델링하여 상선과 하선에 27.5kV를 공급할 수 있도록 하였으며, 전차선로도 정밀 모델링하였다.

전기전인차량에서 발생하는 고조파전류는 급전계통의 임피던스 특성에 의해 특정 조파에서 공진되어 고조파전류 확대현상을 일으켜 각종 문제를 야기시킬수 있다. 즉, 고조파전류는 인접통신선에의 유도장애를 일으키고 철도 신호장애의 원인이 될 뿐만 아니라 전원계통에 유입되는 경우에는 전력용콘덴서의 과열/진동을 유발시키고 보호계전기를 오동작 시킬 우려가 있다.

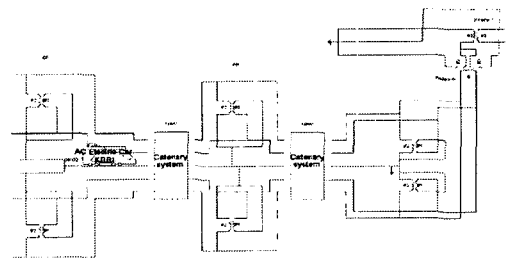


그림 2. 교류 급전시스템 모델링

고조파 전류 흐름의 정확한 예측은 전기철도 시스템을 계획하고 설계할 때 필요하다. 이러한 관점에서 본 연구는 고조파 전류 확대율이라는데 초점을 두어 전기철도 시스템을 해석하고 모델링하는 것을 보여준다.

2.1 전원 측 모델링

따라서 본 논문에서는 이러한 고조파 해석모델을 구성하고 급전거리 및 차량 위치 변화에 따른 고조파 해석을 하였으며, EMTDC에 의해 구현된 모델의 고조파 전류 확대율 시뮬레이션 결과와 경부고속철도 서울-대구 구간에서 측정된 고조파 전류 확대율을 비교 분석하였다.

전원 측이라 함은 한전 변전소와 전철변전소의 스코트 변압기 및 한전 변전소와 전철변전소를 연결시켜주는 송전선로라 정의하여 모델링 하였다.

2. 교류급전시스템 구성

3상전원은 한전변전소에서 전철변전소로 지중 또는 가공으로 송전하고 전철변전소의 수신용량을 고려하여 선종이 결정되며, 최소한 2회선의 송전선로가 변전소내 2중모선에 루프로 연결되어 있다. 전철 주변압기는 변압기 결선방식에 따라 단상결선, V결선, 스코트결선방식이 사용되고 있으나 3상으로부터 큰 단상전력의 부하를

교류 전기철도는 통상 단상 27.5kV/55kV 급전방식에 기초를 두고 있으며 단상의 대용량 전력을 공급 받기 위해서는 3상 전력계통과 연계되어야 한다. 이를 위해 철도 교류급전회로는 그림 1과 같이 전철변전소의 스코트변압기에 의해 단상으로 변환된 전력을 급전선, 전차선, 레일

가질 필요가 있을 때 3상전원의 1상으로부터 부하를 가지면 3상전원에 불평형이 유발되므로 단상 변압기 2대를 사용하여 3상→2상 변환을 하여 3상회로의 전원에 평형부하가 걸리도록 1895년 미국 예일대 교수 Scott가 개발한 스코트 결선방식이 주로 사용되고 있다.

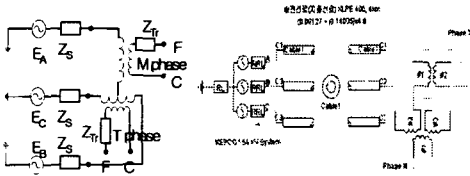


그림 3. 환전변전소, 송전선로, 스코트 변압기

## 2.2 단권 변압기 모델링

AT는 2권선 변압기와는 달리 1차권선과 2차권선으로 되어 있지 않고, 공동 철심을 이용하여 코일 2개를 감고 이를 직렬로 접속해서 1차와 2차의 단자를 인출함으로써 2권선 변압기와 동일한 변성 비를 얻을 수 있다. 전차선로에서 사용되는 AT는 1차 측의 권수가 2차 측의 2배가되며, 직렬권선과 분로권선이 1:1의 권수 비를 가지고 있다. 1차 측의 전압은 55(kV)이고 2차측의 전압은 27.5(kV)가 되며 두 권선을 접속하는 지점에 전차선로의 레일과 연결한다.

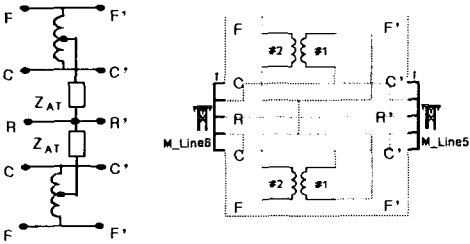


그림 4. 단권 변압기

## 2.3 전차선로 모델링

AT 급전방식의 전차선로는 일반적으로 상·하행선 별로 급전선, 전차선, 조가선, 레일, 가공보호선으로 구성되어 있다. 이들 전차선로는 상·하행선 별로 전차선과 조가선이 수 미터마다 드로퍼로 연결되어 있고 상·하행선 레일, 가공보호선이 서로 연결되어 있다. 이런 시스템을 실제적으로 해석하기 위해서는 이들 도체들을 서로 연결되지 않은 도체로 가정하는 것 보다 상행 급전선, 하행 급전선, 상·하행 각각의 전차선 도체군(전차선+조가선), 레일 도체군(상·하행 레일, 상·하행 가공보호선)의 5개 도체군으로 모델링하는 것이 현실적이다.

다음 그림 7은 전차선로 시스템의 기하학적인 구조를 나타낸다.

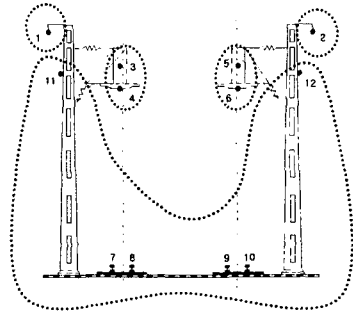


그림 5. 기하학적 구조

5 도체군으로 축약된 전차선로 임피던스를 EMTDC에 적용하여 해석모델로 나타내면 다음과 같다. 다음 그림 6은 교류 급전시스템 모델에 적용된 전차선로 시스템이며 그 내부 상세 모델이다.

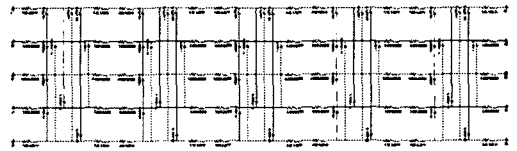


그림 6. 전차선로 시스템의 상세 모델

## 2.4 고조파 전류원 모델링

교류 전철급전시스템의 고조파 전류원은 차량이다. 이 차량은 그림 7에서 볼수 있듯이 전차선과 레일 사이에서 고조파 전류를 주입하는 것으로 고려될 수 있다.

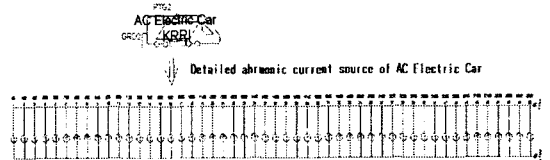


그림 7. 고조파 전류원

## 3. 사례 연구

차량에서 발생한 고조파의 전파특성을 분석하기 위해 차량 1편성의 위치에 따른 고조파전류 확대율을 계산하고 이를 그림 4.12에 도시하였다. 이때 고조파확대율은 차량의 고조파전류 발생량과 변전소에 유입되는 고조파전류의 비로 정의하였다.

고조파 전류의 공진점(공진주파수)은 차량의 위치에 관계없이 일정하게 25조파 전후에서 발생하였다. 그러나 공진점에서의 고조파확대율은 차량이 변전소로부터 멀수록(급전구분소에 가까워질수록) 크게 평가 되었다. 이러한 현상은 종래의 연구 결과와 일치하는 것이다.

그림 4.13은 급전시스템의 구간길이가 고조파 공진에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 그림에서 급전선로의 길이가 길수록 고조파 공진은 저차조파에서 발생되며 그 크기는 다소 감소한다. 즉, 급전선로의 길이가 길면 공진점이 저차조파로 옮겨져 신호계통에의 영향을 줄 수가 있다.

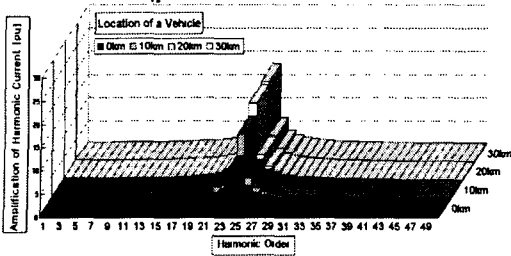


그림 8. 차량의 위치에 따른 고조파 전류 확대율

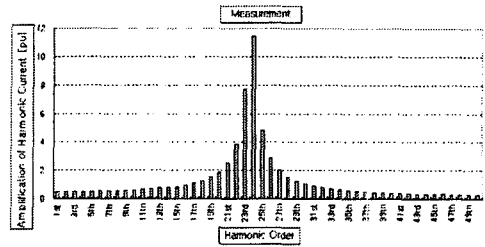


그림 11. 신청주-용정구간 고조파전류 확대율 실측

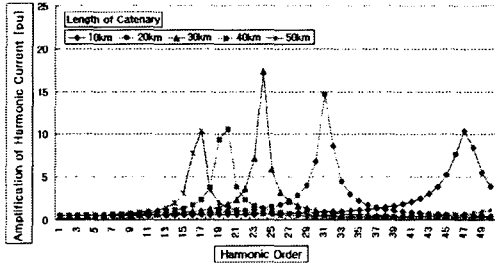


그림 9. 급전선로의 길이에 따른 고조파전류 확대율

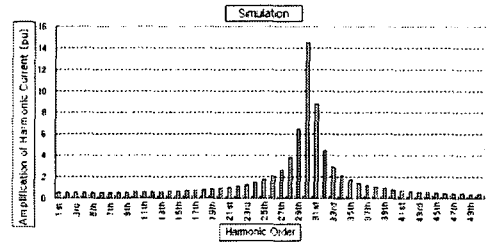


그림 12. 평택-마하구간 고조파전류 확대율 예측

다음은 신청주SS-용정SP구간과 평택SS-마하SP구간에 대해서 측정 한 확대율을 나타내었다. 신청주SS-용정SP구간은 급전거리가 28.59km이고 평택SS-마하SP구간은 급전거리가 21.32km이다. 예측계산에서는 급전거리가 21.32km일때 공진점이 30조파이고 28.59km일때 공진점이 25조파로 나타났다. 실측에서는 평택SS-마하SP구간(21.32km)일 때 공진점이 30차로 나타나고, 신청주SS-용정SP구간(28.59km)일 때 공진점이 24차로 나타났다. 이는 예측이 실측과 거의 동일함을 나타내는 것이다.

표 1. 선로거리에 따른 공진점 예측 및 실측

거리	구분	공진점
21.32km	시뮬레이션	30조파
	실측	30조파
28.59km	시뮬레이션	25조파
	실측	24조파

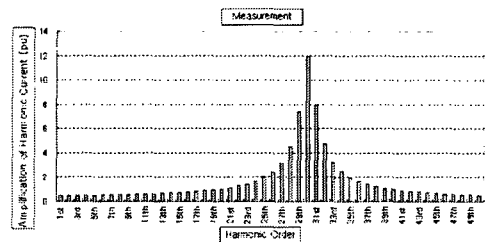


그림 13. 평택-마하구간 고조파전류 확대율 실측

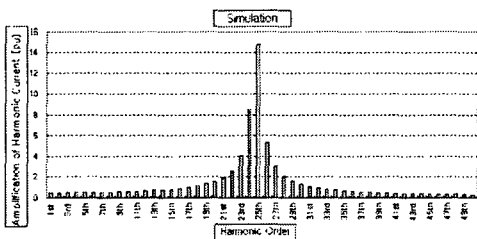


그림 10. 신청주-용정구간 고조파전류 확대율 예측

#### 4. 결론

본 논문은 고조파 전류 확대율에 초점을 두어 교류 전철급전시스템을 모델링하고 해석하는 것을 보여준다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

##### ● PSCAD/EMTDC에 의한 모델링

- 1) 본 시스템은 모든 하부 시스템을 연결함으로써 구성
  - 2) 제안된 모델은 실제 시스템과 동일함
- ##### ● PSCAD/EMTDC를 이용한 이점
- 1) 사용하기 쉽고, 변경가능, 효율성
  - 2) 모든 요소들을 정확히 모델링
  - 3) 반복 시뮬레이션
  - 4) 전차선로 시스템의 선로정수 고려

##### ● 고조파 해석

- 1) 공진주파수는 차량 위치에 무관함. 그러나 고조파 전류 확대율은 차량의 위치 함수임.
- 2) 공진 주파수는 전차선로 길이가 길수록 작아짐.

#### (참고 문헌)

- 1) 오광해, 이한민, 창상훈, "경부고속철도 시험선로의 고조파 해석을 위한 10단자 피로망 모델", 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템학회 춘계부문학술대회 논문집, pp.429-432, 2001.4
- 2) Yoshifumi Mochinaga, "Higher Harmonics Resonance on AT Feeding Circuit and Countermeasures to Suppress it", T.IEE Japan, Vol. 114-D, No. 10, 1994