

차량 특성을 고려한 전기철도 급전계통의 정상상태 해석

이한민* 이장무 오광해 한문섭 박현준
한국철도기술연구원

A study on Harmonic Analysis of Electric Railway System Using EMTDC

H.M. Lee C.M. Lee K.H. Oh M.S. Han H.J. Park
Korea Railroad Research Institute

Abstract - This paper proposes a realistic electrical train to apply it to EMTDC. The pattern of a train operation always changes on the time domain. The impedance load generally does not represent it at this point. Therefore, we operated a realistic simulation by using measured data at field. Of course we might use the results of TPS.

1. 서 론

도시철도 차량의 대부분은 기본적으로 기동·타행·제동·정지의 패턴을 유지하며 운행된다. 전동차는 속도에 따라 역행·회생전류를 발생하며, 그에 따른 인장력·제어력에 의해 가속도·감속도를 얻어 다음의 운전상태와 속도를 결정하면서 운행한다. 그러나 이 운행 패턴은 시간에 따라 일정치 않고 항상 변한다. 그래서 전동차 부하는 Time domain에 대해 변화하는 부하로서 나타내야 한다. 그런데 일반적으로 부하를 표현하면 임피던스 부하로 나타내게 되는데, 이 임피던스 부하는 시간에 대해 일정한 값을 가지므로 어느 한 순간의 현상을 살펴보는데 있어서 문제가 없으나 열차 부하는 항상 변화하기 때문에 이렇게 임피던스 부하로 나타내는 것은 올바른 방법이 아니다.

노선을 따라 운행하는 열차는 트랙정보, 차량조건, 운전조건 등에 따라 여러 가지 형태의 운행이 가능하다. 다양한 조건 하에서 운행되는 열차는 운행 형태에 따라서 표정속도, 에너지, 최소 운행 시격 등이 달라진다. 이러한 다양한 조건을 이용하여 주어진 스펙을 만족하는 최적화된 운행 형태를 찾아내는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 실제 구성된 열차를 이용하여 이러한 실험을 직접 한다거나 다양한 조건에서의 열차운행에 대해 TPS(Train Performance Simulation)를 이용하여 짧은 시간 내에 실험함으로써 여러 가지의 운행한 결과를 얻을 수 있다[1~3].

본 논문에서는 EMTDC를 이용하여 전체 급전시스템을 모의하는데 있어 차량 모델을 하나의 소자로서 고려할 수가 있다. 실 계통에서 측정한 데이터 및 TPS 결과를 차량의 출력 데이터로 하여 시뮬레이션 할 수 있는 것이다. 즉, 실 계통 데이터나 TPS 결과 데이터를 이용하게 되면 차량의 기동, 타행, 역행, 제동 특성에 관련된 결과를 정밀히 나타낼 수 있게 된다.

2. 차량 모델링

차량 모델은 현장 실측값 및 TPS 프로그램에 의한 시뮬레이션 결과 값을 이용하여 전압 및 전류와 속도를 바탕으로 기동, 역행, 타행, 제동의 연속적인 움직임의 특성을 나타낼 수 있는 차량을 EMTDC로 모델링하였다. 그 모델링을 그림 1로 나타내었다.



그림 1 차량 모델

차량의 내부는 다음과 같다. 현장 실측 및 TPS의 전압, 전류값을 이용하여 시간에 따라 변하는 부하로 표현한다. 이 부하는 외부 프로그램에서 데이터를 읽어들이기 위한 입력 모듈이 필요하다. 이 입력 모듈은 간단히 파일 입력 모듈의 입력창과 같이 파일의 내용을 읽어 들여서 가변 부하로 처리한다. 이렇게 함으로서 현장 실측이나 TPS 결과를 EMTDC에서 이용할 수 있다. 차량의 내부 모델은 그림 2와 같다. 그리고 EMTDC 모델 차량에 입력되는 데이터는 그림 3과 같이 파일로 입력된다.

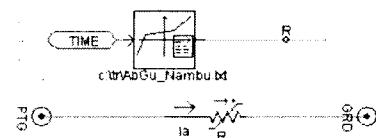


그림 2 가변부하의 내부 모듈

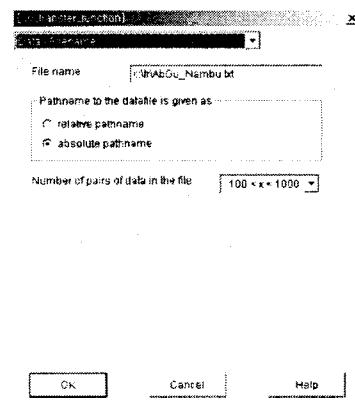


그림 3 파일 입력 모듈의 입력창

본 연구원들은 압구정~남부터미널 구간에 대해서 차량에 서 속도, 전압, 전류를 실측하였다.

다음 표 1은 파일 입력 모듈에 입력되는 실측 데이터이다. 그 중 일부 구간인 압구정~신사역 구간의 내용을 나타내고 있다.

표 1. 현장 실측 데이터

거리[km]	속도[km/h]	전압[V]	전류[A]	비고
14.733	0.9	1,534	0	압구정 출발
14.733	0.9	1,524	292	
14.733	0.8	1,516	1,402	
14.733	0.8	1,507	2,543	
14.734	2.6	1,496	3,041	
14.735	5.1	1,486	3,022	
~	~	~	~	~
~	~	~	~	~
15.127	40.2	1,532	0	
15.138	39.7	1,530	0	
15.149	39.0	1,528	0	
15.160	38.3	1,539	734	
15.170	37.7	1,524	791	
15.180	37.3	1,473	1,879	
15.191	37.3	1,468	1,857	
~	~	~	~	~
~	~	~	~	~
15.560	10.5	1,544	2,131	
15.562	8.4	1,558	1,256	
15.564	6.7	1,531	0	
15.565	5.0	1,525	0	
15.566	3.1	1,523	0	
15.567	1.1	1,518	0	
15.567	0.9	1,542	0	신사 도착

구현된 차량 모델을 시뮬레이션 하기 위해 간략 계통을 구성하였다. 이것은 계통의 전압과 전류가 입력된 값으로 제대로 동작하는지 알아보기 위한 것이었다.

다음 그림 4는 간략 계통을 나타내고 있다. 계통 구간은 압구정에서 남부터미널까지로 하였으며 그때의 전압, 전류를 현장 실측과 비교하였다.

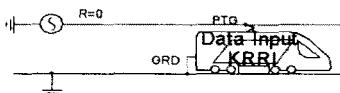


그림 4 차량모델을 위한 간략 계통

압구정~남부터미널 구간의 현장 실측 데이터를 다음 그림 5로 나타내었다.

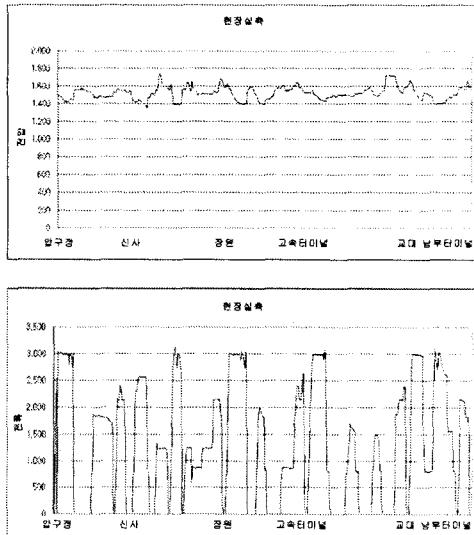


그림 5 현장 실측 전압, 전류

다음 그림은 EMTDC로 구현한 차량의 결과 그림이다. 현장 실측과 같은 결과 값을 나타내고 있으므로 EMTDC로 실제 차량의 모델을 구현할 수 있는 기반을 만들었다.

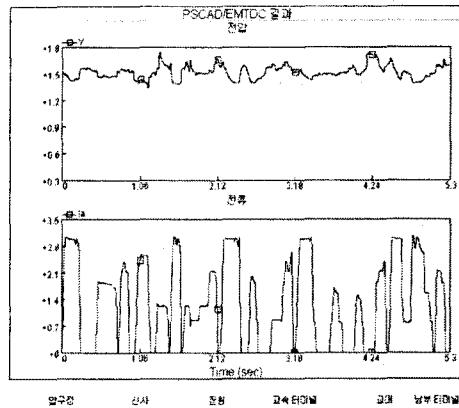


그림 6 EMTDC 구현 전압, 전류

3. 정상상태 해석

3.1 무부하시 해석

스콧 변압기는 3상을 2상으로 변환하는 모델로서 급전계통에서는 1차측 3상 154.0kV 전압을 90° 위상 차이가 나는 55kV의 M상과 T상 전압으로 변환하는 역할을 한다. 이러한 스콧 변압기는 일반적인 M상 N원선 변압기와는 다르므로 EMTDC 내의 단상 변압기를 활용하여 스콧 변압기 모델을 구성하였다. 스콧 변압기 모델의 정확성은 M상, T상 전압의 크기와 위상 차이로서 확인할 수 있다.

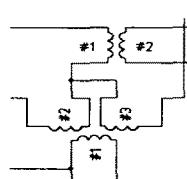


그림 7 스콧변압기

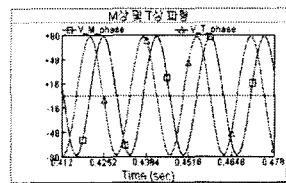


그림 8 M상 및 T상 파형

또한 무부하시 각 도체간의 전압을 살펴보았다. 스콧 변압기 2차측은 55.0kV이고 단권 변압기 2차측은 전차선-레일과 급전선-레일 전압이 27.5kV이다. 그리고 전차선-급전선 전압은 55.0kV이다

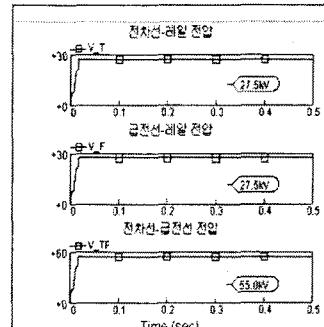


그림 9 무부하시 각 도체간 전압

3.2 부하시 해석

3.1절은 무부하시 스콧 변압기 2차측의 전압과 위상을 살펴보았으며, 단권변압기 2차측의 전차선-레일, 급전선-레일, 전차선-급전선 전압을 살펴보았다. 본 절에서는 앞서 설명한 차량부하를 도시철도구간의 일반적인 시격을 바탕으로 투입하여 정상상태를 해석하였다.

차량이 40km/h의 속도로 달리고 운전 시격은 3분 정도로 보았다. 이것은 실제와는 다를 수 있지만 본 시뮬레이션에서는 이와 같은 가정으로 시뮬레이션 하였다.

다음 그림 10은 차량을 투입한 경우 변전소에서 급전구분 소까지의 계통이다.

이렇게 차량을 투입하고 나서 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 그림 11은 부하시 각 도체간의 전압을 나타낸다. 무부하시 도체간 전압 그림과 달리 차량 부하가 투입되어 도체간 전압이 변동되는 것을 볼 수 있다. 전압이 약간 떨어질 때는 차량들이 전력을 소비할 때이며 전압이 올라갈 때는 회생전력이 발생할 때이다.

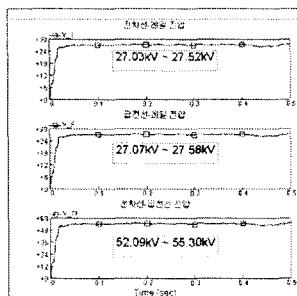


그림 11 부하시 각 도체간 전압

다음 그림은 부하시 2km마다 전차선 전압을 살펴보았다. 그림 12, 13에서 볼 수 있듯이 전압강하가 일어났다. 그러나 단권변압기 부분에서는 교류 전기철도 급전시스템의 특징인 전압상승이 일어났다.

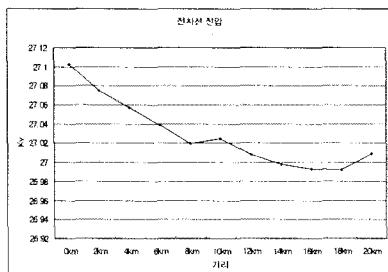


그림 13 거리별 전차선 전압의 특성 곡선

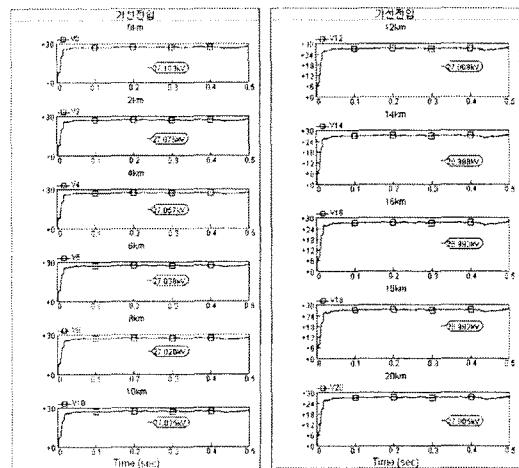
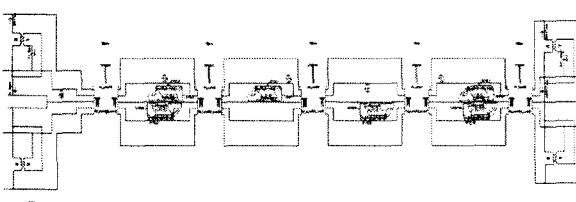


그림 12 EMTDC에 의한 거리별 전차선 전압

4. 결론 및 향후 연구계획

기존에는 차량을 임피던스 부하로 표현함으로서 계통 해석을 간략하게나마 하였는데, 본 논문에서는 차량을 현장 실측 또는 TPS 데이터를 입력 파일로 불러들이기 때문에 보다 현실적인 시뮬레이션을 할 수 있었다.

부하를 임피던스로 나타내었다면 무부하시 시 경우와 마찬가지로 값만 다를 뿐이지 Time domain에 대해서 그 변화 추이를 살펴볼 수가 없지만 본 논문에서 제시한 EMTDC 모델을 사용한다면 Time domain에 대해서 차량의 운행 특성을 정확히 반영할 수가 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국철도기술연구원, 도시철도 표준화 연구개발사업, 2002년
- [2] 한국철도기술연구원, 철도급전시스템 체계화 구축 연구, 2000년
- [3] 한국철도기술연구원, 철도전력공급 안정화 연구, 2001년
- [4] PSCAD/EMTDC User's Manu

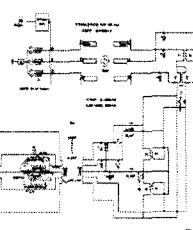


그림 10 부하시 변전소 ~ 급전구분소 계통