

전원외란 시뮬레이터를 이용한 고속전철 이선현상 모의 실험

김재문\*, 김양수\*, 장진영\*\*, 안정준\*\*\*  
 한국철도대학\*, 중앙대\*\*, 기술보증기금(주)\*\*\*

The Simulation Implementation on contact loss of high speed electric railway using a Power Line Disturbance simulator

Jae-Moon Kim\*, Yang-Soo Kim\*, Chin-Young Chang\*\*, Jeong-Jun Ahn\*\*\*  
 KNRC\*, Chung-Ang Univ.\*\*, KIBO\*\*\*

**Abstract** - In this study, the dynamic characteristic of a contact wire and pantograph supplying electrical power to high-speed trains are investigated from an electrical response point of view. To analysis power line disturbance by induced contact loss phenomenon for high speed operation, a hardware Simulator which considered contact loss between contact wire and the pantograph as well as contact wire deviation is developed. It is confirmed that a contact wire and pantograph model are necessary for studying the dynamic behavior of the pantograph system.

One of the most important needs accompanied by increasing the speed of high-speed train is reduced that an arc phenomenon by loss of contact brings out EMI. In case of a high-speed train using electrical power, as comparison with diesel rolling stock, PLD(Power Line Disturbance) such as harmonic, transient voltage and current, EMI, dummy signal injection etc usually occurs. Throughout experiment, it is verified that an arc phenomenon is brought out for simulator operation and consequently conducted noise is flowed in electric circuit by power line disturbance.

1. 서 론

경부선 고속전철(KTX)가 도입된 이래 5년간의 운행실적은 철도 분야 및 산업전반에 걸쳐 비약적인 기술 발전을 보였고 이에 따라 고속전철의 기술력이 높아지고 있다. 특히 최고주행속도 350km/h인 호남선 고속전철(HSR350x)에 이어 400km/h급 차세대 고속전철(HEMU-400X) 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 고속전철의 주행속도가 증가하게 되면 팬터그래프와 전차선 사이에 진동도 증가하게 되고 그 결과로 팬터그래프와 전차선 사이의 접촉력 변화가 커지고 이로 인한 이선과 그에 따른 아크가 발생하여 팬터그래프 집전편의 손상을 초래한다는 연구결과가 있다. 고속전철은 전기를 이용하여 견인되기 때문에 차량에 탑재된 전장품에 대한 안정성 및 신뢰성이 무엇보다 우선적으로 보장되어야 한다. 이런 현상은 고속전철의 고속화에 어려움을 주고 있는데, 문제점을 해결하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 고속에 적합한 전차선 재료로 대체하거나 팬터그래프 자체를 개량하여 동적인 움직임이 최소가 되도록 한다. 또한 안정된 집전 성능을 확보하기 위해 접촉력을 해석하여 능동적으로 제어하는 방법 등이 이루어지고 있다.[1]

그러나 이선에 관한 연구는 대부분 이선현상 자체에 해결을 위한 연구만 이루어지고 있는 실정으로 고속전철 운행 중 이선으로 인한 아크현상이 전력변환장치(Converter/Inverter) 상호간에 전원라인을 통해 유입 및 유출되는 전도성 노이즈 성분에 대한 EMI/EMC의 대책을 수립하여 전장품 개발시 반영해야 한다.

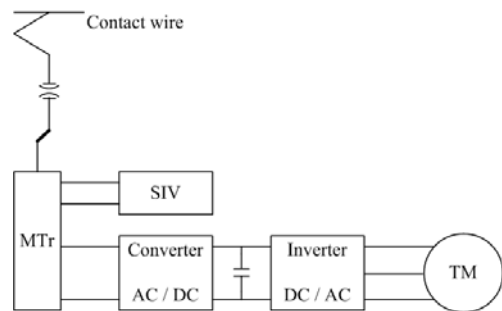
본 논문에서는 고속전철 주행시 이선 발생에 따른 전도성 노이즈 영향을 모의할 수 있는 전차선 이선 발생 시뮬레이터 개념설계를 하고 전원외란(Power Line Disturbance) 시뮬레이터를 제작하였다. 또한 실제 운행되는 환경조건을 고려하여 저속구간, 중속구간, 고속구간 운행에 따른 현상을 모의하였고 전차선의 편위 부분도 설계에 반영하였다.

2. 본 론

2.1 시스템 구성도

400km/h급 차세대 고속전철은 차량 상부에 설치된 집전장치인 팬터그래프를 통해 전차선 교류전력 25[kV]을 공급받아 주행하

며 유입된 전력은 차량 내에 설치된 주변압기를 통해 전력변환장치부로 전달되거나 각종 전기를 필요로 하는 설비로 공급된다. 대표적인 전기장치는 크게 추진제어장치와 보조전원장치로 차량을 견인하는 추진제어장치(Motor Block)는 그림 1과 같이 주변압기 2차측에서 적정 전압으로 변압한 후 전력변환장치를 거쳐 견인전동기를 구동하게 된다. 보조전원장치인 경우 고속전철차량내의 차량을 구동시키는 것 이외의 냉난방 장치 또는 조명장치 등 전원설비로서 사용된다.

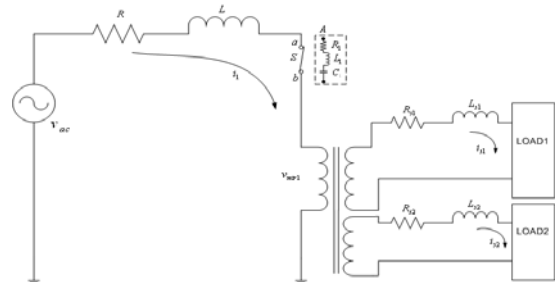


<그림 1> 시스템 구성도

그림 1에서 이선현상 등으로 인하여 아크가 발생한 경우 방사성 및 전도성 노이즈가 동시에 발생하게 되는데, 본 논문에서 언급하는 전도성 노이즈 성분은 팬터그래프 및 차량내부로 전원을 공급하는 전원라인을 통해 주변압기를 거쳐 전력용 반도체 소자로 고속스위칭을 하는 전력변환장치인 컨버터와 3상 인버터로 유입되어 견인전동기로 과전압이 유입된다. 아크현상은 순간적인 임펄스 형태의 전압이 인가되는 과도현상으로 고려될 수 있는데, 이때 인덕터 및 커패시터에 의한 전류 및 전압의 변화, 즉 의 과도한 서지가 유발하게 되는데, 이것은 전력용 반도체 스위칭 소자의 Turn-On, Turn-Off 시 전력변환장치의 제어시스템을 교란시키고 기준값을 제어하는데 어려움이 따른다.

2.2 이선현상

그림 2는 그림 1에 대한 회로 구성도를 보여준다. 그림 2에서 스위치 S는 전차선과 팬터그래프의 이선에 따른 현상을 의미하는 것으로 이선이 발생할 경우에는 전차선과 팬터그래프 사이에는 아크가 발생하므로, 그림 2에서 스위치 S가 개방되고 박스 A에서 보는바와 같이 가 직렬로 연결된 형태가 된다. 따라서 식 (1)과 같이 표현된다.



<그림 2> 이선현상에 따른 회로 구성도

$$v_{ac} = (R + R_1)i_1 + (L + L_1)\frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + v_{mtr1} \quad (1)$$

$v_{ac}$ 는 전차선 교류전압이므로 이선현상이 발생하게 되는 순간 식 (1)에서 보듯이 RLC직렬회로의 과도응답특성을 갖는 회로가 된다. 즉 과도상태에서 정상상태로 전이되는 과정에서 전차선에 흐르는 전류는 식 (2)와 같이 된다.

$$i_1 = A\sin\omega t + e^{-at}(B\cos\omega_1 t - C\sin\omega_1 t) \quad t \geq 0 \quad (2)$$

여기서,  $A, B, C, a, \omega_1$ 는 상수,  $\omega_1$ 는 각주파수 식(2)을 고찰해 보면, 이선현상이 발생하는 순간 회로의 손실이 적을 때로  $t=0$ 에서 전차선 전압  $v_{ac}$  전원의 위상과 초기조건에 따라 매우 큰 과도전류가 발생하고 시간이 지남에 따라 지수 함수적으로 감소함을 알 수 있다.

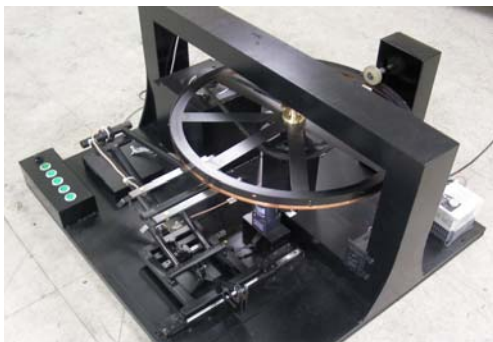
### 2.3 전원외란(Power Line Disturbance) 시뮬레이터 제작

최고속도 400km/h인 차세대 분산형 고속철도에 대한 이선현상에 따른 전력변환장치가 미치는 영향을 분석하기 위해 현재까지 진행된 시스템 요구사항(안)에 근거하여 전원외란 시뮬레이터를 제작하였다. 시뮬레이터를 제작하기 위해 사용된 파라미터는 표 1 과 같이 입력전압 250V, 주차단기 차단전류 20A이다. 전원외란 시뮬레이터의 구성은 크게 집전부, 이선현상 발생부, 전차선 편위부로 나뉜다.

<표 1> 시뮬레이터 제작 사양서

분 류	차세대 고속전철	전원외란 시뮬레이터	비 율
입력전압	25,000V	250V	100 : 1
주차단기 차단전류	20,00A	20A	100 : 1
전력변환장치 최대용량	2,500kW	2.5kW	100 : 1
팬터그래프 싱글암	612.5 ± 10mm	204.2mm	3 : 1

400km/h급 차세대 분산형 고속철도에 대한 이선현상에 따른 전력변환장치에 미치는 영향을 분석하기 위해 전원외란 시뮬레이터를 제작하였다. 실험을 수행하기 위해 전력변환장치는 현재까지 도출된 시스템 요구사항(안)에 근거하여 부하를 설정하여 실험하였다.



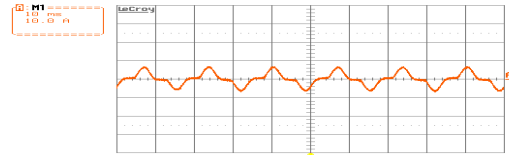
<그림 3> 전원외란 시뮬레이터

### 2.4 전원외란 시뮬레이터를 이용한 이선 발생 실험

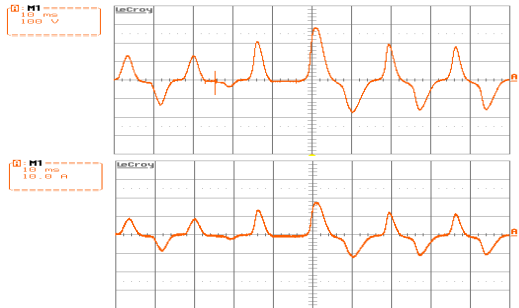
전원외란 시뮬레이터를 이용하여 이선현상을 모의하기 위해서 입력전압 250V, 용량 2.5kW의 부하를 연결하여 실험하였다. 철도차량 부하에 R(15.6Ω)이 존재한다고 가정하고 이선현상을 모의하였고 이에 따른 변압기 1차측 전압과 전류, 변압기 2차측 전압과 전류를 측정하였다. 또한 철도차량 부하에 R(15.6Ω)-L(10mH)이 존재한다고 가정하고 이선현상을 모의하였다.

#### 2.4.1 R(15.6Ω) 부하를 연결했을 때

그림 4는 이선현상이 발생하지 않을 때의 전류 파형이다. AC 250V 입력전압에 따라 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 그림 5는 이선현상이 발생했을 때의 전압, 전류의 파형이다.



<그림 4> 이선현상에 따른 회로 구성도

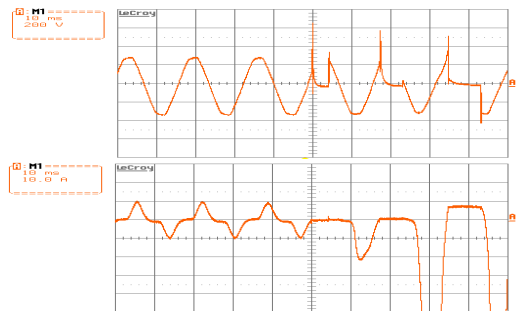


<그림 5> 이선현상에 따른 변압기 2차측 전압, 전류 파형

3ms 간격으로 이선이 발생되었을 때 이선현상에 따른 출력전압 및 출력전류가 변동되는 것을 확인할 수 있었다.

#### 2.5.1 R(15.6Ω)-L(10mH) 부하를 연결했을 때

그림 6은 이선현상이 발생했을 때의 전압, 전류의 파형이다. L의 영향으로 전압과 전류의 위상이 다르기 때문에 R만의 부하를 연결하였을 때 보다 출력전압 및 출력전류의 변동이 많음을 확인할 수 있었다.



<그림 6> 이선현상에 따른 변압기 1차측 전압, 전류 파형

## 3. 결 론

본 논문에서는 이선으로 인한 전원외란이 차량내의 전력변환장치에 미치는 영향을 살펴보기 위해 전원외란 시뮬레이터를 제작하였다. 이를 위해 400km/h급 차세대 고속철도차량에 대한 전력변환장치의 시스템 요구사항에 준하여 파라미터를 산정한 후 이선현상을 모의하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 고속전철이 주행 중 이선이 수시로 발생하는데 이로 인해 전력변환장치에 영향을 준다.
- (2) 이선시간에 따라 전력변환장치의 미치는 정도, 즉 전도성 노이즈 및 전류의 왜곡정도가 다르다는 것을 확인할 수 있었다.
- (3) 철도차량 부하의 특성에 따라 이선에 따른 전류의 왜곡정도가 다르다는 것을 확인할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김재문 외 2인(2008), “고속전철 주행시 이선현상 모델링 방법에 따른 전도성 노이즈 해석”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집.
- [2] 김재문 외 3인(2008), “전차선-팬터그래프 사이의 이선현상에 따른 전원외란이 보조전원장치에 미치는 영향”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집.
- [3] 김재문 외 4인(2008), “고속전철 주행에 따른 이선현상 모의 시뮬레이터 개발”, 철도학회 추계학술대회 논문집