

## 차세대 고속전철 주행에 따른 전도성 노이즈 요인분석

김재문\*, 김세찬\*\*, 김학만\*\*\*  
 한국철도대학\*, 부천대학\*\*, 인천시립대학\*\*\*

### Analysis of conducted EMI source on powering mode of next generation high-speed train

Jae-Moon Kim\*, Sei-Chan Kim\*\*, Hak-Man Kim\*\*\*  
 Korea National Railroad College\*, BuCheon College\*\*, Incheon City College\*\*\*

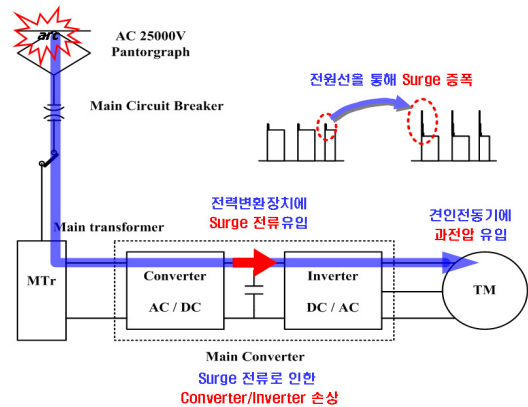
**Abstract** - In this paper, an effect on power conversion unit in next generation high-speed train by loss of contact between a contact wire and pantograph supplied electrical power to high-speed train are investigated. One of the most important needs accompanied by increasing the speed of high-speed train is reduced that arc phenomenon by loss of contact brings out EMI. To analysis of conducted EMI source on powering mode of next generation high-speed train, it is necessary electrical modeling system between the contact wire and the pantograph according with loss of contact. Therefore analytical model of a contact wire and a pantograph is constructed to simulate the behaviour of loss of contact. The reliability of the modeling system is verified by simulation implementation on loss of contact.

분류된다. 반면 내인성은 불안정한 발전설비, 과부하, 급격한 부하변동 등으로 고조파 및 주파수 변동으로 나타난다.

차세대 고속 주행시 이선(Contact Loss)에 따른 전원방해의 원인을 분석해보면 전차선과 전력을 공급받는 팬터그래프 사이의 불안정한 접촉으로 인한 아크(Arc)현상으로 방사성 및 전도성 노이즈를 유발시킨다. 방사성 유입에 따른 노이즈는 수학적 모델링이 불가능하여 이로 인한 영향을 예측하기란 매우 어렵다. 반면 임펄스 잡음으로 분류되는 접촉 잡음은 전도성 노이즈를 고속전철에 유입하게 하므로 기기에 치명적인 영향을 미치기 때문에 매우 중요하며 반도체 소자를 이용한 스위칭 전원회로 투입시의 돌입전류로 인한 과도현상과 같은 특징을 갖는다. 한편 이선현상은 시간적 비접촉 간격에 따라 크게 소이선, 중이선 및 대이선으로 분류되고 고속 주행시에 각각의 형태가 나타나고 주행(Powering mode)시의 사구간(Dead Section)을 통과하는 경우에도 발생한다.

### 1. 서 론

경부선 고속전철(KTX)가 도입된 이래 철도차량에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 최근에 지자체에서는 대중교통 도입의 일환으로 자기부상열차, 경량전철 등 신교통 시스템 도입이 활발히 이루어지고 있고, 최고주행속도 350km/h인 호남선 고속전철(HSR 350X)이 시험운행 중에 있다. 이와 같이 고속전철에 대한 연구개발은 국산화율을 높이고 철도선진국으로 도약하기 위해 400km/h급 차세대 고속전철(HEMU-400X)이 '07년에 착수되었다. 고속전철은 전기를 이용하여 견인하기 때문에 무엇보다 차량에 탑재된 전장품에 대한 안정성 및 신뢰성이 보장되어야 한다. 차세대 고속전철(HEMU-400X)은 지금까지 국내에서 운행되고 있는 고속철도차량은 집중형 동력을 사용하고 있는데 비해, 차세대 고속전철은 분산형 동력을 사용하게 된다. 뿐만 아니라 추진제어장치인 경우 견인전동기가 유도전동기와 동기전동기를 혼용한 시스템이므로 전력변환장치(Converter/Inverter) 상호간에 전원라인을 통해 유입 및 유출되는 전도성 노이즈 성분이 존재하게 되는데, 이에 대한 EMI/EMC의 대책을 수립하여 전장품 개발시 반영해야 한다[1,2].



<그림 1> 이선에 따른 전도성 노이즈 경로

한편 철도차량은 집전장치를 통해 외부로부터 전력을 공급받아 움직이는 동적부하(Dynamic Load)이므로 고속전철이 주행하는 동안 차량상부에 설치된 팬터그래프 (Pantograph)와 전력을 공급하는 전차선 (Contact wire) 사이에 이선 (Contact loss)이 발생한다. 이선으로 인해 불규칙적인 아크현상은 빈번히 발생하게 되는데, 이로 인해 방사성 노이즈 성분뿐만 아니라 전도성 노이즈를 유발시키는 잡음원 (Noise Source)으로 작용한다. 전자파장해(EMD)는 잡음원과 전달매체라는 3가지 요소가 존재하고 전달매체는 전자파복사에 의한 전달(Radiated Emission)과 전원 케이블을 통한 전달(Conducted Emission)로 구분된다. 고속 주행시 대전력을 필요로 하는 고속전철은 이선(Contact loss)으로 인한 전원외란 (Power Line Disturbance ; PLD)현상이 일어나는데, 이는 미소 전압변동을 비롯하여 고조파성분 및 과도현상, 외부로부터의 불필요한 신호유입 등 전원에 영향을 미치는 현상을 의미한다[3].

<표 1> 전원방해(PLD)의 주요원인

분류	방사성 유입	전도성 유입
외인성	고조파 잡음	<ul style="list-style-type: none"> <li>고조파 이용설비</li> <li>무선통신 설비</li> <li>비선형성 부하</li> </ul>
	임펄스 잡음	<ul style="list-style-type: none"> <li>점화장치 등</li> <li>방전 잡음</li> <li>접촉 잡음</li> <li>과도현상 등</li> </ul>
내인성	전원고조파 전압 변동 주파수 변동	<ul style="list-style-type: none"> <li>불안정한 발전설비</li> <li>과부하 및 급격한 부하변동</li> <li>전기사고</li> </ul>

본 논문에서는 차세대 고속전철 주행시 이선에 따른 집전장치부를 모델링하고 시뮬레이션 구현을 통해 차량내의 전력변환장치에 미치는 영향을 분석해 보았다.

400km/h급 차세대 고속전철(HEMU-400X)은 팬터그래프를 통해 전차선에 인가된 교류전원 25kV의 전력을 공급받아 주행하는데, 그림 1과 같은 전력변환장치가 구성된다. 전력변환장치는 주변압기는 전차선으로부터 AC 25kV의 전압을 받아 이것을 2차측에서 변압한 후 Converter/Inverter 등 전력변환장치를 거쳐 추진제어장치(Motor Block)인 경우 견인전동기를 구동하게 되고, 보조전원장치(Static InVerter, 이하 SIV)인 경우 고속전철차량내

### 2. 본 론

전원외란(PLD)현상의 주요원인은 표 1과 같이 구분되는데, 외인성은 각종 전기·전자기기로부터 발생되어 공간 및 전원라인을 통해 유입되는 잡음으로 고조파 잡음과 임펄스 잡음으로

의 차량을 구동시키는 것 이외의 냉난방 장치, 또는 조명장치 등 전원설비로서 사용된다[1].

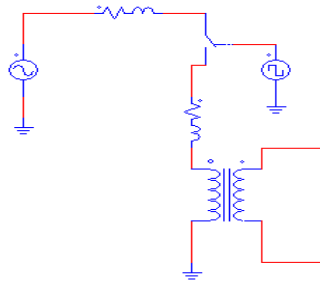
그림 1과 표 1을 통해 이선으로 인한 PLD현상은 아크가 발생할 경우 방사성 및 전도성 노이즈가 동시에 발생하게 되는데, 이에 따른 방사성 노이즈는 전기적 모델링 접근이 불가능하지만 전도성 노이즈 성분은 전기적 모델링 접근이 가능하다. 즉 전차선에 25kV인 교류전원이 인가된 상태에서 스위칭 개폐에 따른 노이즈 성분이 팬터그래프 및 차량내부로 전원을 공급하는 전원 라인을 통해 주변압기를 거쳐 전력용 반도체 소자로 고속스위칭을 하는 전력변환장치인 컨버터와 3상 인버터로 유입되어 권인 전동기로 과전압이 유입된다.

### 3. 시뮬레이션

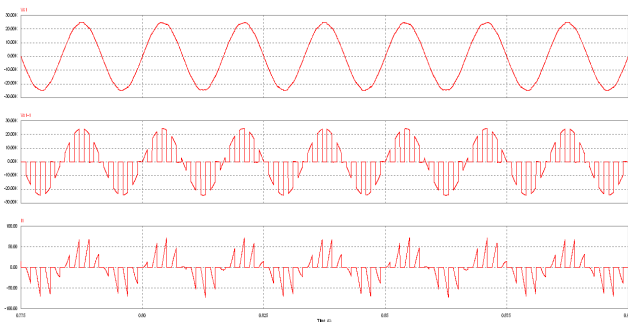
400km/h급 차세대 분산형 고속전철(HEMU-400X)에 대해 이선에 따른 전기적 모델링을 수립하고 전력변환장치가 미치는 영향을 분석하기 위해 현재까지 진행된 시스템 요구사항(안)에 근거하여 보조전원장치를 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용된 파라미터는 표 2와 같다. 그림 2는 교류전압 25kV가 인가된 상태인 전차선과 팬터그래프, 주변압기 사이의 이선현상을 전기적 모델링을 나타낸다. 주변압기를 거쳐 4상한 컨버터 3상 인버터를 통해 부하에 전력을 공급한다[3].

<표 2> 시뮬레이션에 사용된 파라미터

항목	사양
용량	300kVA
입력전압	25kV
주변압기 2차측	380V
컨버터 출력전압	670V
컨버터 스위칭주파수	1kHz
인버터 출력전압	440V



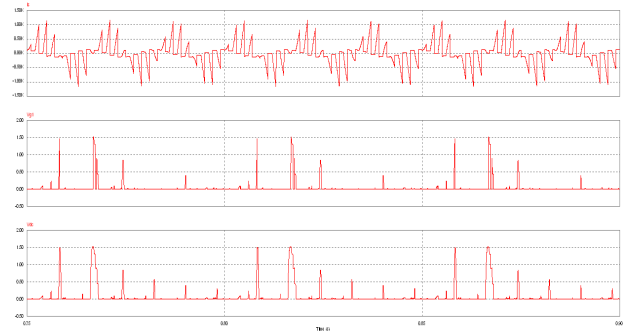
<그림 2> 이선현상 모델링



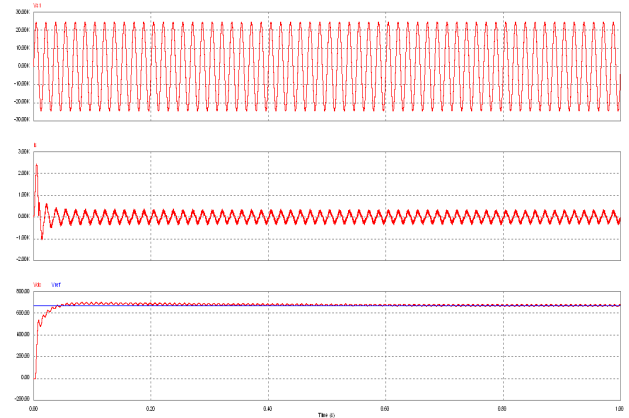
<그림 3> 이선에 따른 전차선, 주변압기, 주변압기 1차 전류

그림 3은 2[ms] 간격으로 이선현상이 발생한 경우의 파형으로 상단은 전차선 전압 25kV, 중단은 고속전철 내부의 주변압기 1차 전압파형, 주변압기에 흐르는 전류파형을 보여준다. 이선현상이 발생함에 따라 주변압기 1차에 인가되는 전압이 초핑 형태로 인가됨을 알 수 있는데, 이 영향은 전력변환장치인 컨버터에 영향을 미친다. 그림 4는 그림 3에 대한 각부 파형으로 상단은 주변압기 2차측과 컨버터 사이에 흐르는 전류파형이고 중단은 컨버터 한 개의 양단 전압파형, 하단은 컨버터 출력측 전압파형으로 이선현상이 발생하면 전류의 왜곡이 심하게 되고 컨버터 기준전압인 670V에 대한 제어가 이루어지지 않는다. 뿐만 아니라

컨버터 스위치 양단에 서지전압이 인가되고 있다.



<그림 4> 이선현상시 컨버터 입력전류, 스위치양단, 출력전압



<그림 5> 이선현상이 발생하지 않았을 때 각 부의 파형

그림 5는 이선현상이 발생하지 않는 경우의 파형으로 전차선 전압이 정상적으로 공급할 때, 컨버터 입력측 전류 및 컨버터 기준전압에 대한 출력전압을 보여준다. 이선이 발생하지 않으므로 기준전압에 대해 출력전압이 정상적으로 제어되고 있음을 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 논문에서는 차세대 고속전철의 고속주행에 따른 전도성 노이즈 요인을 분석하고 차량내부의 전력변환장치에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 위해 400km/h급 차세대 고속철도차량에 대한 보조전원장치의 시스템 요구사항에 준하여 파라미터를 산정한 후 시스템을 모델링하고 이선현상을 모의하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 고속철도차량은 고속주행에 따른 전차선과 전력을 집전하는 팬터그래프사이에 이선이 수시로 발생하는데 이로 인하여 아크현상이 발생한다. 이선에 따른 고속스위칭 동작을 하는 전력변환장치내의 전압 서지가 유입된다.
- (2) 컨버터 출력단에 전압을 제어하는 경우 제어가 제대로 이루어지지 않을 뿐만 아니라 컨버터 입력에 흐르는 전류의 왜곡이 심하게 되어 고조파 전류가 많이 흐른다.

### 감사의 글

본 연구는 “차세대 고속철도 기술개발사업”의 일환으로 국토해양부의 연구지원으로 이루어졌습니다.

### [참 고 문 헌]

[1] 한국전기연구원, “전원방해(PLD) 현상과 기술동향”, 2000.  
 [2] 김진우 외 4인, “고속전철용 가선-팬터그래프 시스템의 모델링 및 집속력 해석”, 한국소음진동공학회 논문집 제 13권 제6호, pp.474~483, 2004.  
 [3] 한국철도기술연구원, “차세대 고속철도 기술개발사업 1차년도 Workshop”, 2008.