

고속전철 주행에 따른 이선현상 모의 시뮬레이터 개발

Development of simulator by induced contact loss phenomenon for high-speed train operation

김재문* 김양수** 김철수** 장진영*** 김윤호****
Kim, Jae-Moon Kim, Yang-Soo Kim, Chul-Soo Chang, Chin-Young Kim, Youn-Ho

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 철도분야 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 전차선사이엔 진동도 증가하게 되고 그 결과로 팬터그래프와 전차선 사이의 접촉력 변화가 커지고 이로 인한 이선과 그에 따른 아크가 발생하여 팬터그래프 집전관의 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

* 한국철도대학 철도차량전기과 교수, 정회원

E-mail : goldmoon@krc.ac.kr

TEL : (031)460-4612 FAX : (031)462-2944

** 한국철도대학 교수

*** 중앙대, 전자전기공학부 석사과정

**** 중앙대, 전자전기공학부 교수

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 개념 설계를 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 문

2.1 PLD현상에 따른 EMI 경로

400km/h급 차세대 고속전철은 차량 상부에 설치된 집전장치인 팬터그래프를 통해 전차선 교류전력 25[kV]을 공급받아 주행하며 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 Converter/Inverter 등 전력변환장치를 거쳐 견인전동기를 구동하게 된다. 보조전원장치(Static Inverter, 이하 SIV)인 경우 고속전철차량내의 차량을 구동시키는 것 이외의 냉난방 장치 또는 조명장치 등 전원설비로서 사용된다.

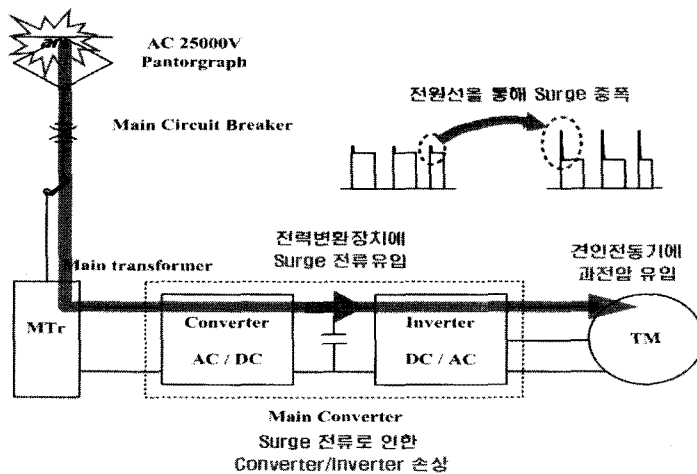


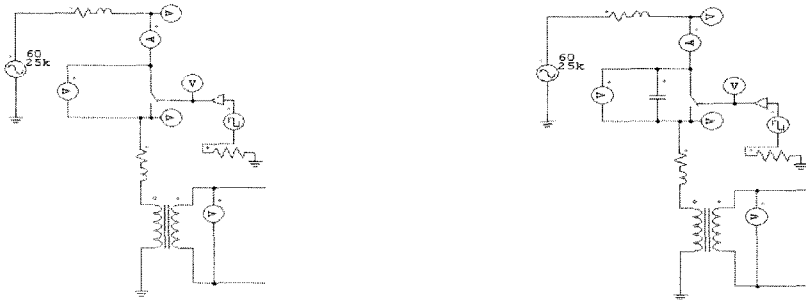
그림 1. 이선으로 인한 고속전철 차량내부의 전도성 노이즈 경로

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 전원 라인을 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, 즉의 과도한 서지가 유발하게 되는데, 이것은 전력용 반도체 스위칭 소자의 Turn-On, Turn-Off 시 전력변환장치의 제어시스템을 교란시키고 기준값을 제어하는데 어려움이 따른다.

2.2 고속전철 주행에 따른 이선현상 모델링

고속전철 주행에 따른 이선현상을 모의하여 전력변환장치 상호간에 영향을 분석하기 위해서는 이선현상을 모델링해야 한다. 그러나 이러한 연구는 기계적인 관점 및 일반적인 용접개념에서의 아크를 수식적으로 표현한 연구가 사례조사를 통해 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 전력변환용 시뮬레이션 도구를 이용하여 시스템의 상호영향을 분석하기 위해서는 이선 현상 모델링이 필수적이어야 한다. 따라서 그림 2와 같이 전차선에 기생성분의 R-L이 존재하고 차량내부의 주변압기 앞단에 기생성분의 R-L이 존재한다고 가정하고 이선현상을 단지 반도체 소자를 이용한 전자 스위치 개념에 초점을 두어 모델링이 이루어지거나 이선에 따른 아크 발생을 에너지 저장소자인 커패시터의 방전을 고려하여 전자 스위치와 병렬로 작은 값의 커패시터를 연결하여 모델링한 경우로 나누어 생각해 볼 수 있다.



반도체 소자의 스위치 개념 모델링

반도체 소자의 스위치와 커패시터가 병렬 모델링

그림 2. 고속전철 주행에 따른 이선현상 모델링

2.3 시뮬레이터 구성

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

표 1. 사양 비교표

| 분 류 | 차세대 고속전철 | 전원의란 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 상글압 | 612.5 ± 10mm | 204.2mm | 3 : 1 |

- 집전부 : 전차선에 인가되는 입력전압 및 입력전류를 팬터그래프 습동판을 통해 집전되는 부분
- 이선현상 발생부 : 소이선, 중이선, 대이선을 발생하는 부분
 - 이선종류
 - 소이선 : 팬터그래프 습동판의 미세진동에 의한 발생. 1/XXX [sec]
 - 중이선 : 팬터그래프가 전차선 경점에 의해 충격 받을 때 발생. 1/XX [sec]
 - 대이선 : 전차선 지지점 통과 직후 팬터그래프 자체 도약 현상. 1~2 [sec]
- 전차선 편위부 : 팬터그래프의 습동판의 편마모를 방지하기 위해 팬터그래프가 이동하는 부분

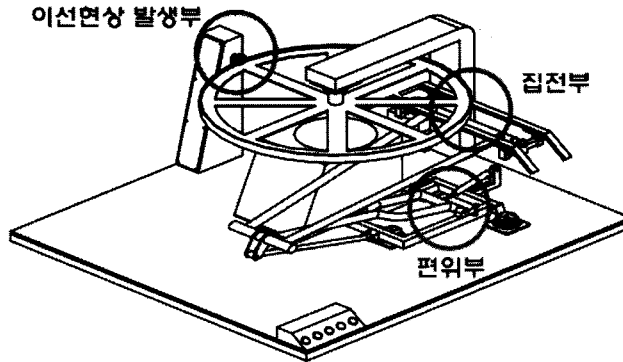
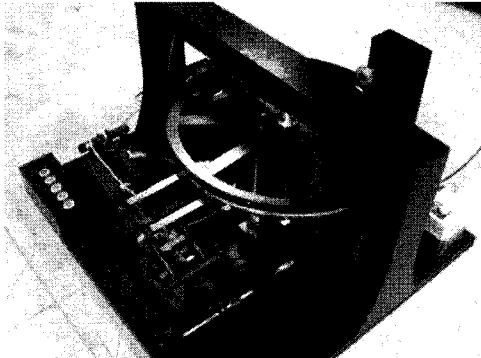


그림 3. 전원의란 시뮬레이터 개념도

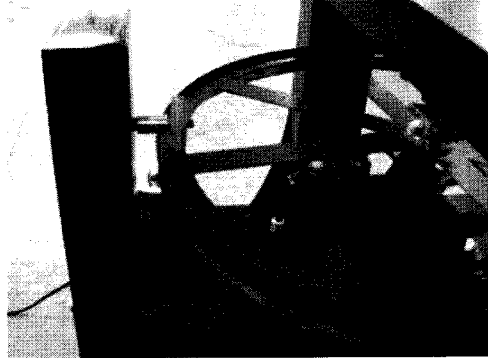
3. 전원의란(Power Line Disturbance) 시뮬레이터 제작

400km/h급 차세대 분산형 고속철도에 대한 이선현상에 따른 전력변환장치에 미치는 영향을 분석하기 위해 전원의란 시뮬레이터를 제작하였다. 실험을 수행하기 위해 전력변환장치는 현재까지 도출된 시스템 요구사항(안)에 근거하여 이선에 따른 전력변환장치에 미치는 전도선 노이즈 분석을 목적으로 한다.

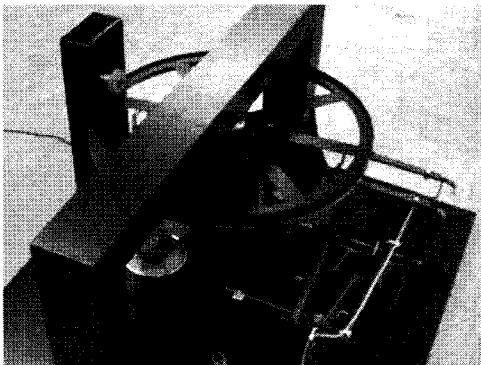
그림 4는 전원의란 시뮬레이터 각 부분의 사진이다.



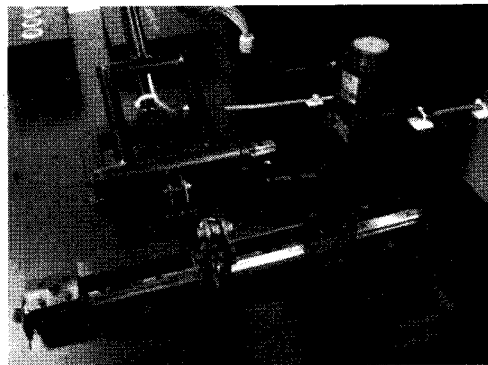
전원의란 시뮬레이터



이선현상 발생부



전원의란 시뮬레이터 집전부

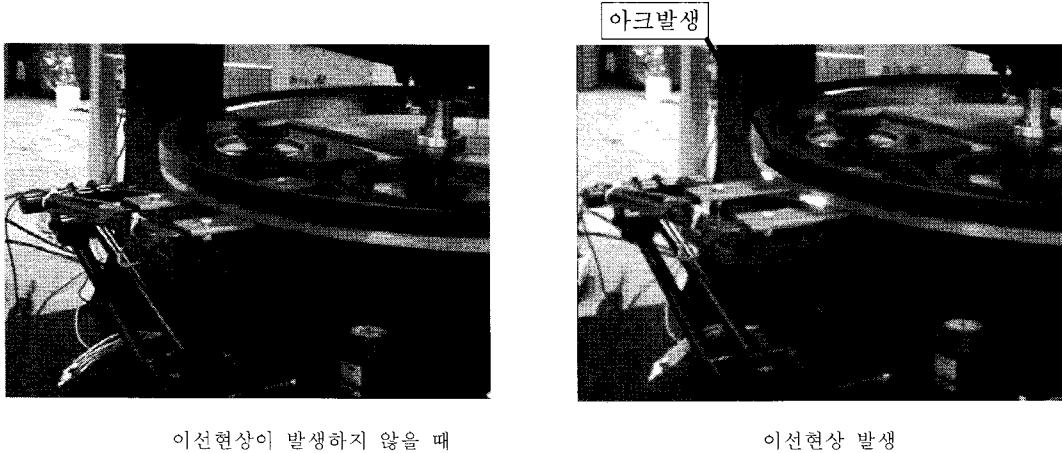


전원의란 시뮬레이터 편위부

그림 4. 전원의란 시뮬레이터 사진

3.1 이선현상 모의

전원외란 시뮬레이터를 이용하여 이선현상을 모의하기 위해서 입력전압 250V, 용량 2.5kW의 부하를 연결하여 실험하였다. 이선현상 발생부는 회전하는 전차선에 모션컨트롤을 이용하여 충격을 발생시켜 팬터그래프가 이선되는 현상을 이용하였다.



이선현상이 발생하지 않을 때

이선현상 발생

그림 5. 운행 중인 전원외란 시뮬레이터

4. 결 론

본 논문에서는 전원외란의 주요원인과 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 시스템을 설계하고 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) 전원외란(Power Line Disturbance) 시뮬레이터 제작을 통해 전력변환용 시뮬레이션 도구를 이용한 이선현상 모델링에 대한 분석이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

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 춘계학술대회 논문집.
3. 이봉이 외 3인(2005), “팬터그래프와 전차선 사이에서 발생하는 아크 특성에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, pp367-370