

# 고속전철 주행시 이선에 따른 전원외란 현상 모델링 및 시뮬레이션 구현

## A Modeling and Simulation Implementation on the Power Line Disturbances by Loss of Contact for the High-Speed Railway Vehicle

김재문\*                      김양수\*\*                      장진영\*\*\*                      김윤명\*\*\*\*  
Kim, Jae-Moon              Kim, Yang-Soo              Chang, Chin-Young              Gimm, Yoon-Myoung

---

### ABSTRACT

In this paper, an effect on power conversion unit in high-speed railway vehicle by loss of contact between a catenary system and pantograph supplying electrical power to high-speed railway vehicle are investigated. One of the most important needs accompanied by increasing the speed of high-speed railway vehicle is reduced that arc phenomenon by loss of contact brings out EMI. in case of high-speed railway vehicle 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 occur. To analysis the effect on loss of contact, it is necessary electrical modeling system between the contact line and the pantograph according to the loss of contact. Therefore analytical model of a contact line 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 kinds of loss of contact.

---

### 1. 서 론

최근 IT 기술 및 신소재 개발, 제어 및 반도체 성능향상 등 산업전반에 걸쳐 비약적인 기술 발전을 보임에 따라 복합기술을 요구하는 철도분야가 고속전철에 대한 관심이 그 어느 때보다 대두되고 있다. 특히 최고주행속도 350km/h인 HSR350x에 이어 400km/h급 차세대 고속전철이 착수됨에 따라 고속에서도 차량에 탑재된 전장품에 대한 안정성 및 신뢰성이 보장되어야 한다. 고속철도차량을 기준으로 공기 중에 방사되는 방사성 노이즈 성분과 전원라인을 통해 유입 및 유출되는 전도성 노이즈 성분이 존재하게 되는데, 이와 관련한 EMI/EMC에 대한 대책을 수립하여 전장품 개발시 이를 반영하여 설계하여야 한다.

한편 고속전철 주행시 팬터그래프(Pantograph)와 전차선(Contact wire) 사이에 이선(Contact loss)이 발생하게 되는데, 기존의 연구는 대부분 기계적 관점에서 이루어져 왔다. 그러나 이선으로 인한 아크현상은 방사성 노이즈 성분뿐만 아니라 전도성 노이즈를 유발시키는 잡음원(Noise Source)으로 작용한다. 전자파장해(EMI)의 전달매체는 전자파복사에 의한 전달(Radiated Emission)과 전원 케이블을 통한 전달(Conducted Emission)로 구분되는데, 이선(Contact loss)으로 인한 전원외란(Power Line Disturbance ; PLD)이 일어난다. 이 현상은 미소 전압변동을 비롯하여 고조파성분의 존재 및 과도현상, 외부로부터의

---

\* 한국철도대학 철도차량전기과 교수, 정회원  
E-mail : goldmoon@krc.ac.kr  
TEL : (031)460-4612 FAX : (031)462-2944

\*\* 한국철도대학 철도차량전기과 교수

\*\*\* 중앙대학교, 전자전기공학부 석사과정

\*\*\*\* 단국대학교, 전자전기공학부 교수

불필요한 신호유입 등 전원에 영향을 미치는 외란현상이다. 따라서 고속으로 주행하는 고속전철은 동적 시스템(Dynamic System)으로 전원을 차량에 공급하는 전차선과 외부로부터 전원을 공급받는 고속철도차량 상부에 탑재한 팬터그래프 사이의 접촉이 불안정하여 아크가 발생하게 된다[1-5].

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

## 2. 본 문

### 2.1 전원외란현상의 주요원인

전자파장해(EMI)현상은 잡음원(Source 또는 Victim), 전달매체라는 3가지 요소가 존재하고, 전달매체는 공간으로부터의 전자파복사에 의한 전달(Radiated Emission)과 전원라인을 통한 전달(Conducted Emission)으로 구분한다. 전원방해(PLD)의 주요원인은 표 1과 같이 구분되는데, 외인성은 각종 전기·전자기기로부터 발생되어 공간을 통해 전력선로에 유입되는 잡음이고 내인성은 불안정한 발전설비, 과부하, 급격한 부하변동 등으로 고조파 및 주파수 변동으로 나타난다.

본 논문에서 언급하는 이선(Contact Loss)은 외인성의 임펄스 노이즈의 유입으로 인한 전도성 형태로 전력계통인 전차선에 강력한 노이즈레벨을 갖고 다양한 형태로 나타나는데, 기기에 치명적인 영향을 미치기 때문에 매우 중요하며 반도체 소자를 이용한 스위칭 전원회로 투입시의 돌입전류로 인한 과도현상과 같은 특징을 갖는다[3]. 뿐만 아니라 전차선과 전력을 공급받는 팬터그래프 사이의 불안정한 접촉으로 인한 아크(Arc)현상은 방사성 노이즈 형태로 나타나게 되어 이선은 전도성 및 방사성 노이즈를 유발시킨다. 이러한 이선은 고속 주행시 크게 소이선, 중이선 및 대이선으로 나타나고, 역행(Powering mode)시의 사구간(Dead Section)을 통과하는 경우에도 발생한다.

표 1. 전원방해(PLD)의 주요원인

분 류		방사성(복사성) 유입	전도성 유입
외 인 성	- 고주파 잡음의 유입	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고주파 이용설비</li> <li>• 무선통신 설비</li> <li>• <b>전기철도</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고주파 이용설비</li> <li>• 무선통신 설비</li> <li>• 비선형성 부하</li> </ul>
	- 임펄스 잡음의 유입	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 점화장치 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>방전 잡음</b></li> <li>• <b>접촉 잡음</b></li> <li>• <b>과도현상 등</b></li> </ul>
내 인 성	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전원 고조파 잡음</li> <li>- 전압 변동</li> <li>- 주파수 변동</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>부안정한 발전설비</li> <li>과부하 및 급격한 부하변동</li> <li>전기사고</li> </ul>	

### 2.2 PLD현상에 따른 EMI 경로

400km/h급 차세대 고속전철차량은 팬터그래프를 통해 외부로부터 전력을 공급받아 주행하는데, 그림 1과 같은 전력변환장치가 구성된다. 전력변환부는 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 고속 전철차량내의 차량을 구동시키는 것 이외의 냉난방 장치, 또는 조명장치 등 전원설비로서 사용된다[1].

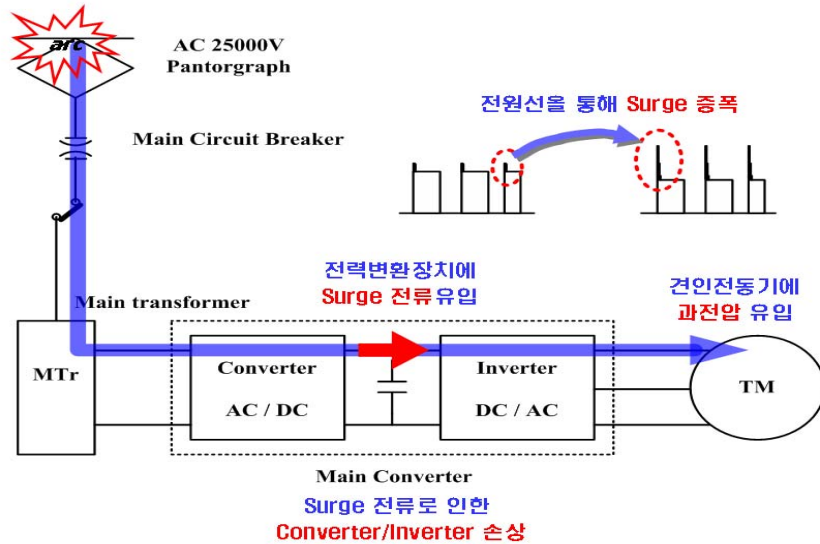


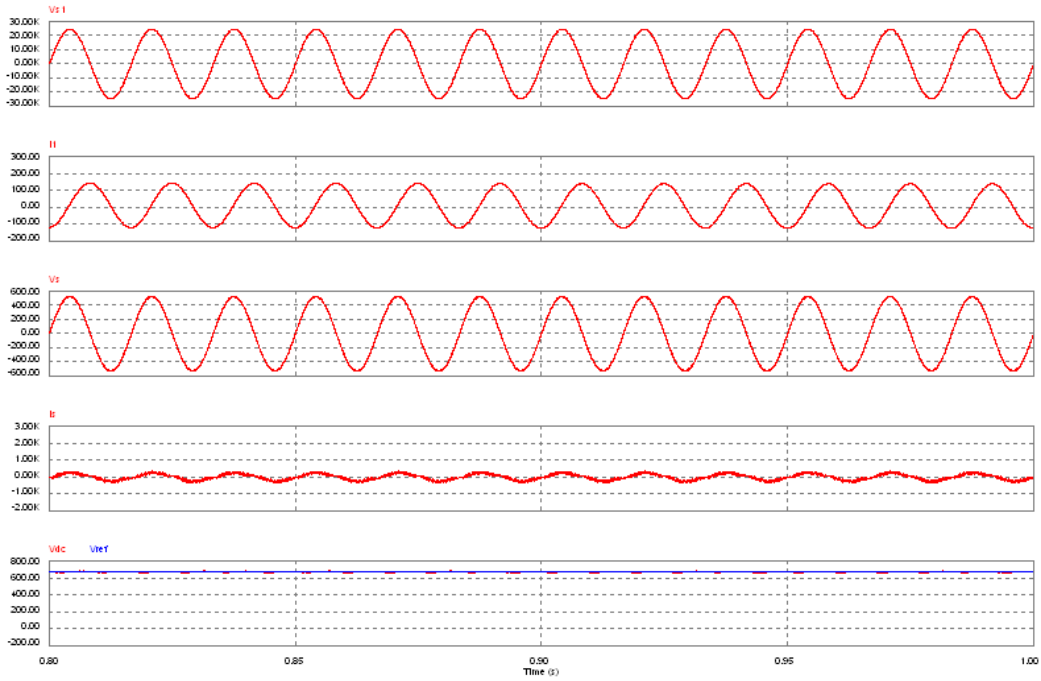
그림 1. 이선으로 인한 고속전철 차량내부의 전도성 노이즈 경로

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 인가 되는 과도현상으로 고려될 수 있는데, 이때 인덕터 및 커패시터에 의한 전류 및 전압의 변화, 즉  $di/dt, dv/dt$ 의 과도한 서지가 유발하게 되는데, 이것은 전력용 반도체 스위칭 소자의 Turn-On, Turn-Off 시 전력변환장치의 제어시스템을 교란시키고 기준값을 제어하는데 어려움이 따른다.

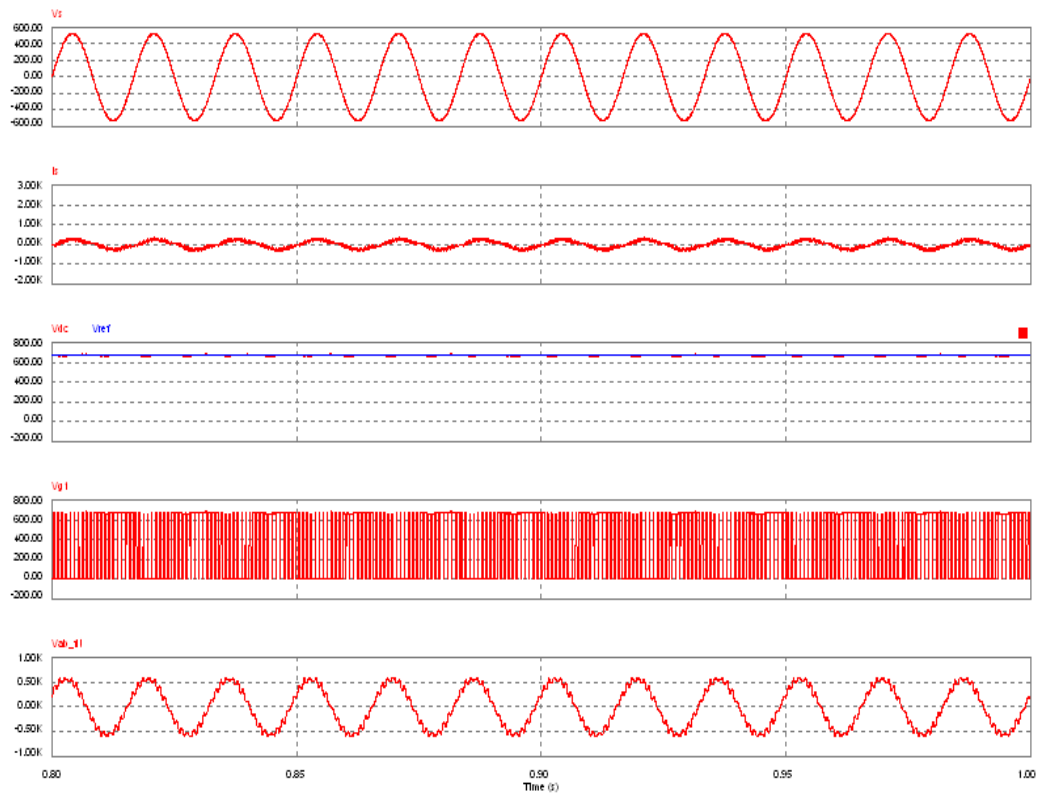
### 3. 시뮬레이션

최고속도 400km/h인 차세대 분산형 고속철도에 대한 이선현상에 따른 전력변환장치가 미치는 영향을 분석하기 위해 현재까지 진행된 시스템 요구사항(안)에 근거하여 보조전원장치를 시뮬레이션을 하였다.[6] 시뮬레이션을 수행하기 위해 사용된 파라미터는 용량 300kVA, 입력전압 25kV, 주변압기 2차측 380V, 컨버터 제어전압 670V, 3상 인버터 출력전압 440V이다. 그림 2 (a)는 그림 1에서 컨버터가 일정 전압으로 제어될 때, 정상상태에서 이선이 발생하지 않을 때의 파형들이다. 각각 전차선 교류 전압 25kV, 주변압기 1차측에 흐르는 전류, 주변압기 2차측 380V에 대한 순시전압, 4상한 운전을 하는 컨버터를 단위역률로 제어함에 따라 컨버터 입력측에 흐르는 정현파 전류, 직류전압 670V로 제어할 때 기준값을 추종하는 전압파형을 보여준다.

그림 2 (b)는 (a)와 동일한 시점에서 컨버터에서 전력용 반도체 소자의 스위칭 양단의 전압과 3상 인버터 출력단의 선간전압으로 일정 직류전압이 인버터를 통해 정현파 교류가 생성됨을 보여준다.

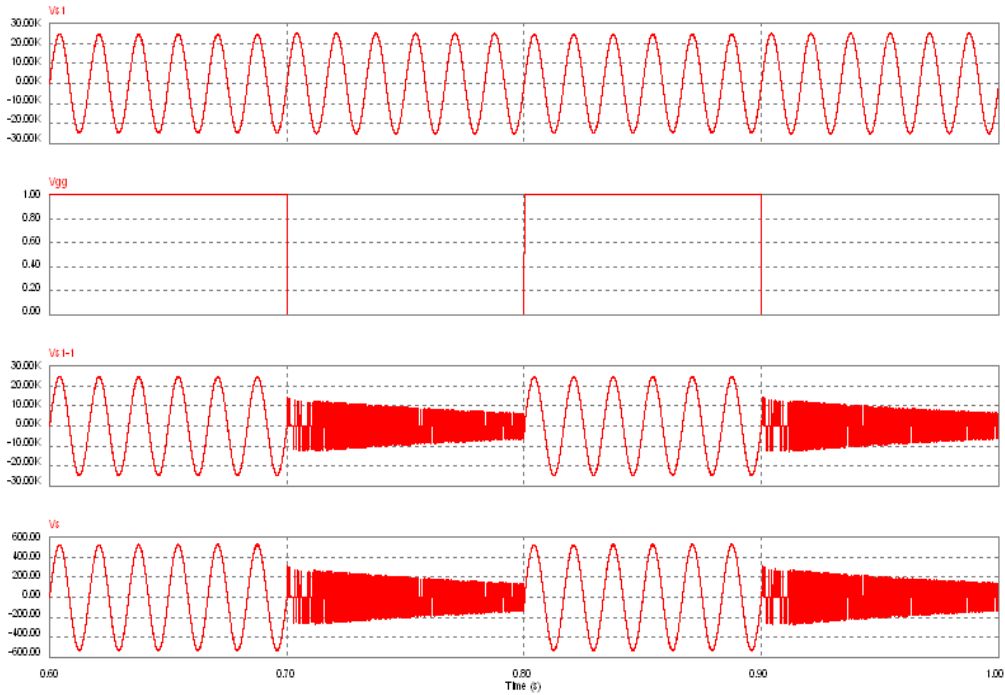


(a) 전차선 전압, 주변압기 1차전류, 2차전압, 2차전류, 컨버터 출력전압

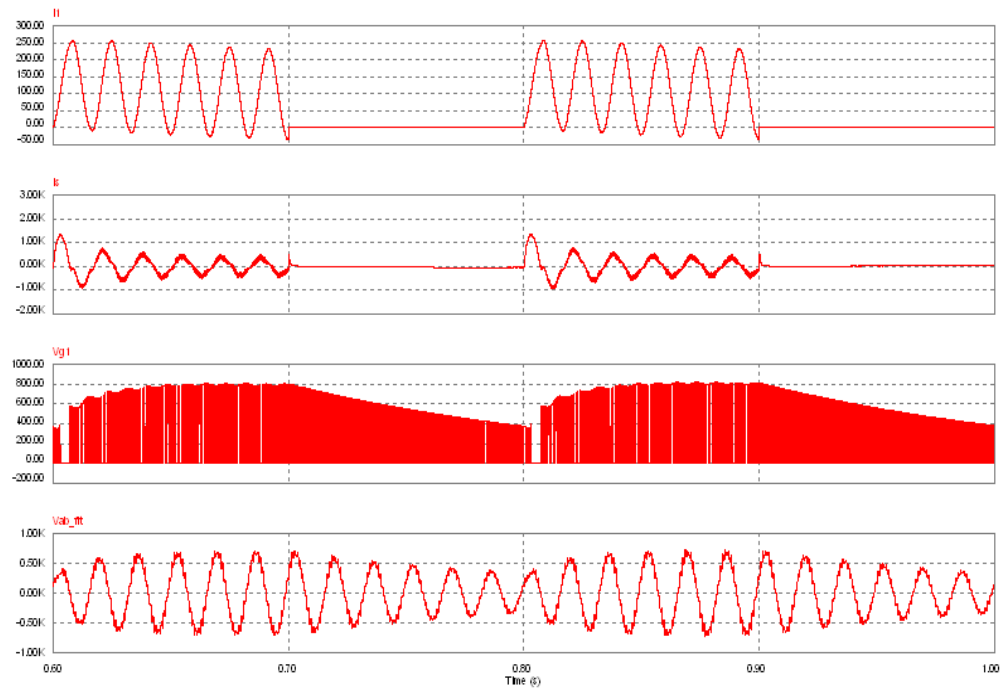


(b) 2차전압, 전류, 직류전압, 스위치 양단전압, 인버터 선간전압

그림 2. 이선이 발생하지 않을 때의 각부 파형



(a) 전차선 전압, 이선현상 모의, 주변압기 1차 전압 및 2차 전압



(a) 주변압기 1차 전류, 주변압기 2차전류, 스위치 양단전압, 인버터 선간전압

그림 3. 0.1초동안 이선이 발생할 경우의 각부 파형

그림 3은 0.1초동안 이선이 주기적으로 발생할 경우의 각부 파형으로  $V_{gg}$ 가 1인 경우는 전차선과 팬터그래프가 접촉된 상태이고 0인 경우는 이선된 상태이다. 그림 2와 비교했을 때 이선에 관계없이 전차선 전압은 일정하게 25kV로 공급되고 있고 변압기 1차측 및 2차측에 각각 25[kV]와 380[V]가 인가되고 있다. 그렇지만 이선이 발생하는 구간인 0.7초~0.8초와 0.9초~1.0초 동안 전압이 급격히 떨어진다. 이로 인하여 그림 3 (b)에서 보면 주변압기 1차측 전류가 정상적으로 흐르지 못하고 편자현상이 나타

나고 있으며, 2차측에서는 전류가 안정적이지 못하고 결국 인버터 출력 선간전압에도 일정한 정현파 전압이 생성되지 못함을 보여준다. 이는 인버터에 연결된 전원설비에 영향을 미치게 되어 기기의 소손 및 수명단축을 초래하게 된다. 그림 3에 대해 전체적으로 나타나는 결과는 이선으로 인해 컨버터 직류전압을 일정하게 제어되지 못하고 그림 3 (b)의 스위치 양단전압처럼 기준전압을 기준으로 변동되고 있고 이선현상시 컨버터를 통해 주 변압기 1차측 및 2차측으로 에너지가 전달되고 있음을 보여준다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 전원외란의 주요원인과 이선으로 인한 전원외란이 차량내의 전력변환장치에 미치는 영향을 살펴보았다. 이를 위해 400km/h급 차세대 고속철도차량에 대한 보조전원장치의 시스템 요구사항에 준하여 파라미터를 산정한 후 시스템을 모델링하고 이선현상을 모의하였다. 전차선과 팬터그래프 사이가 접촉되는 이선현상은 전기적인 관점에서 임펄스 형태의 전압이 주 변압기 1차측에 인가되는 것과 같이 구현하였으며, 이선종류에 따라 다양하게 모의하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 전원외란에 대한 주요원인을 살펴보고 철도분야에서 나타나는 현상을 고찰한 결과, 이선 등은 외인성 전도성 노이즈에 해당되나 동시에 방사성 노이즈가 존재함을 알 수 있다.
- (2) 고속철도차량은 고속주행에 따른 전차선과 전력을 집전하는 팬터그래프사이에 이선이 수시로 발생하는데 이로 인하여 아크현상이 발생한다. 이선에 따른 고속스위칭 동작을 하는 전력변환장치 내의 반도체 소자에 필요이상의 전압 서지가 유입되어 스위칭 소자가 소손될 수 있다.
- (3) 또한 컨버터 출력에 일정 전압을 제어하는 경우 제어가 제대로 이루어지지 않을 뿐만 아니라 컨버터 입력에 흐르는 전류의 왜곡이 심하게 되어 고조파 전류가 많이 흐른다. 그리고 직류전압은 3상 인버터를 통해 전원설비로 공급되는데 부하에 공급되는 전원이 불안정하여 제어시스템에 대한 신뢰도를 저하시킨다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

1. 김재문 외 3인(2008), “전차선-팬터그래프 사이의 이선현상에 따른 전원외란이 보조전원장치에 미치는 영향”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집.
2. 이봉이 외 3인(2005), “팬터그래프와 전차선 사이에서 발생하는 아크 특성에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, pp367-370
3. 한국전기연구원(2000), “전원방해(PLD) 현상과 기술동향”
4. 김진우 외 4인(2003), “고속전철용 가선-팬터그래프 시스템의 모델링 및 접촉력 해석”, 한국소음진동공학회 논문집 제 13권 제6호, pp.474~483
5. 한국철도기술연구원(2008), “차세대 고속철도 기술개발사업 1차년도 Workshop”