

도시철도차량의 차륜마모에 따른 횡가속도 패턴분석

A Study on the Lateral Acceleration Pattern by the shape of Worn Wheel for the Urban Railway Vehicle

양칠식* 임원식** 박찬경***
Yang, Chil Sig Lim, Won Sig Park, Chan Kyoung

ABSTRACT

A geometric contact conditions of wheel/rail affect the dynamic behavior of rolling stock. Mechanical force acted on the wheel/rail causes excessive wear and increase the maintenance cost. In this study, we have studied the dynamic behavior of the urban railway vehicle with new and worn wheel by VAMPIRE program. And we have tested the accelerations of wheelset on the conventional line. The results of simulation are compared with the measuring data of field test. It shows that the acceleration of worn wheel is greater than the acceleration of new wheel in the straight track line but on the contrary, the acceleration of new wheel is greater than the acceleration of worn wheel in curved track. That results explain that the new wheel is worn out greater than the worn wheel in curved track line and need to be maintained more seriously when running in curved track line.

1. 서론

철도차량은 차륜과 레일간의 접촉으로부터 움직인다. 차륜과 레일간의 접촉특성은 기하학적 인자에 의하여 영향을 크게 받는다. 이는 차량의 동특성의 안전성과 차륜과 레일의 유지보수에 영향을 미친다. 차륜과 레일간의 형상 및 치수가 부적합 요소가 있다면 필연적으로 양쪽에 심한 마모가 발생한다. 이들의 마모가 차륜과 레일의 유지보수비용을 증대시키고 있다.

철도차량 차륜은 차축에 일체로 연결되어 있다. 그러므로 차량이 곡선통과 시 차륜은 차량 진행방향으로 구르면서 곡선트랙과 일정한 각을 형성하면서 주행하게 되어 차륜 후렌지부 마모가 심하게 된다 이러한 의미에서 차륜담면의 마모가 차량운동 및 차량의 안전성에 미치는 영향이 크다. 따라서 차륜담면을 효과적으로 관리하고 운용하기위한 방안이 요구된다.

본 연구에서는 서울도시철도차량 5호선에서 운용중인 전동차의 차륜담면 마모상태에 따른 횡가속도를 측정 분석하였다. 이를 위하여 차륜 교환검사를 마친 담면이 전혀 마모되지 않는 신조차륜 차량과 차륜 후렌지 부위의 마모가 심한차량을 선정하여 측정하였다. 동일한 담면 형상에 따른 횡가속도를 전산해석하여 결과를 실험데이터와 비교 분석하였다. 직선구간과 곡선구간에서 차륜담면 마모에 따른 횡가속도 크기를 비교할 수 있었다. 또한 차륜담면의 직립마모 구간을 찾을 수 있었다.

* 정회원, 서울철도산업대학교 철도전문대학원, 서울도시철도공사

E-mail : chilsig@hanmail.net

TEL : (02)6311-2406 FAX : (02)6311-5621

**서울산업대학교, 철도전문대학원교수

*** 철도기술연구원, 책임연구원, 정회원

2. 전산해석

2.1 차륜과 레일의 기하학적 접촉해석

원형차륜 답면과 마모 차륜 답면형상을 직접 측정하여 전산 해석한 결과 Fig 1~8과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 마모차륜의 후렌지 두께차이는 7mm 답면의 구배는 원호형에 가깝게 마모되었다. 원형차륜은 1/20구배를 가진 원추형이며 레일은 60Kg를 사용하고 있다.

횡변위량과 접촉관계는 원형답면 차륜의 경우 좌우4.5mm에서 2점접촉시작이 되었고 답면마모 차륜은 거의 좌우13mm에서 2점 접촉이 시작되었다. 마모차륜의 횡변위량이 원형답면 차륜보다 17mm더 많다는 것이다. 또한 답면 등가구배는 원형답면차륜의 경우 0.05 마모차륜의 경우는0.10을 산출할 수 있었다. 구름 반경차는 윤축의 동일한 횡변위에 따른 좌우 차륜의 구름반경차이로서 원형답면차륜은 1.0mm, 마모답면차륜은 3.0mm를 나타낸다. 또한 레일과 차륜의 접촉점 분포도는 마모차륜은 답면 중앙부에 집중하나 원형차륜은 후렌지 목부위에 집중한다

차륜 답면형상 측정은 MiniProf(Green Wood Engineering)을 사용하였고 해석 S/W는 철도차량 동특성 해석 전용 프로그램인 영국 AEA Technology 사의 VAMPIRE(Vehicle dynAmic Modelling In a Railway Environment ver4.1)를 사용하였다

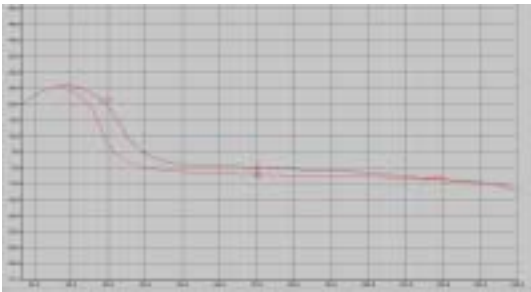


Fig1 New and Worn Profile



Fig 2 Contact Data Plot

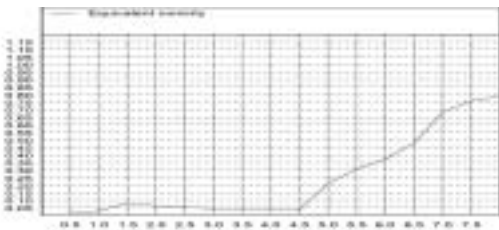


Fig 3 Equivalent Conicity (newwheel)

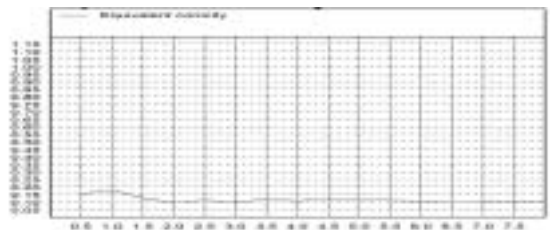


Fig 4 Equivalent Conicity (worn wheel)

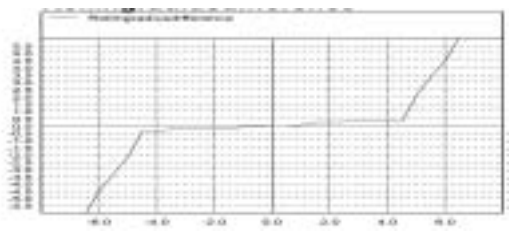


Fig5 RollingRadius Difference(new)

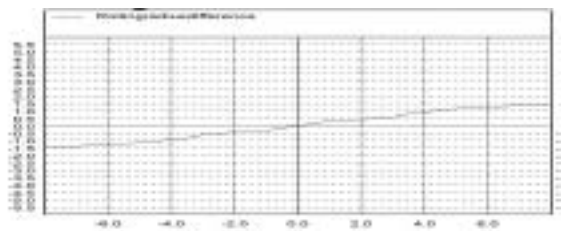


Fig 6 RollingRadius Difference(worn)



Fig 7 Contact Point (new)



Fig 8 Contact Point (worn)

2.2 횡가속도 전산 해석결과(simulation)

해석조건은 궤도 및 속도 등에 관련된 해석조건은 고정시키고 차륜 형상 마모만을 변경하여 횡가속도의 변화를 분석하였다. 직선구간과 궤도틀림이 없는 이상적인 곡선을 주행속도 75km/h로 통과하는 경우로 설정하였다

직선구간에서는 마모차륜의 횡가속도 크기가 원형차륜의 횡가속도보다 크다 이는 직선구간에서는 차륜 답면구배가 횡가속에 미치는 영향이 크다는 것을 보여주고 있다. 마모차륜 등가 답면구배는 0.10인 반면에 원형차륜의 등가 답면구배는 0.05이다. 기울기가 좋은 원형 답면은 직선구간에서의 복원기능이 우수하므로 횡가속도 크기가 적다. 속도는 도시철도 운용속도 75km/h로 하였다

곡선구간에서는 마모차륜의 횡가속도보다 원형차륜의 횡가속도 크기가 크게 나타났다. 곡선구간의 주행은 원형차륜보다 답면 마모 차륜이 레일과 원활한 접촉으로 이루어지고 있다. 곡선구간에서 원형차륜의 횡가속도는 매우 크다는 것은 곡선주행시 원형답면의 마모가 심하게 진행되고 있음을 보여주고 있다. 곡선구간의 조건은 R=600, C=85를 기준으로 해석하였다

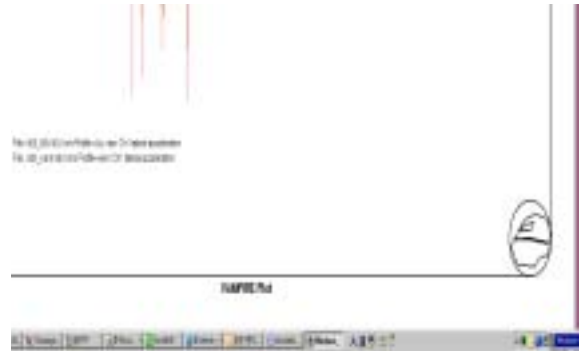


Fig.10 Lateral Acceleration(R=600V=75km/h)

Fig9 Lateral Acceleration (Tangenttrack)

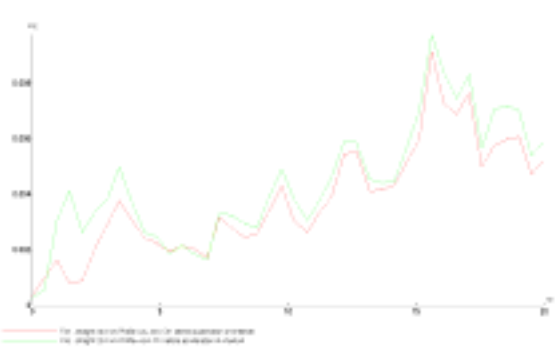


Fig 11 Lateral Acc FFT (tangent)

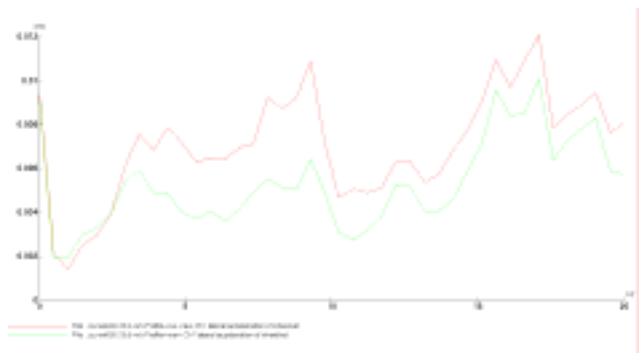


Fig12 Lateral Acc FFT (R=600)

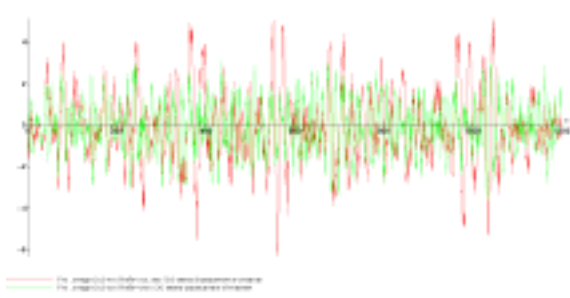


Fig 13 Lateral Displacement (Tangent)

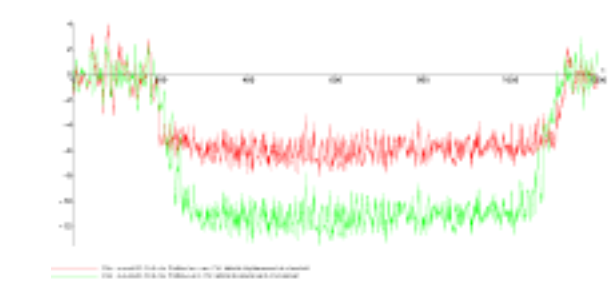


Fig14 Lateral Displacement (R=600)

2.3 주행 안정성 해석

차륜 레일 접촉조건중에 차륜마모로 인한 탈선계수와 횡압등을 해석하여 주행안전성을 분석할 수 있었다. 또한 원형차륜과 마모차륜의 마모지수를 산출하여 주행 안정성을 분석 하였다
 주행안전성을 해석하기 위하여 탈선계수를 측정된 결과 기준0.8이하로 모두 양호하였다. 원형차륜이 마모차륜 보다 탈선계수가 적어 탈선안전도가 높다. 윤축당 차륜레일간 횡압은 15.5KN으로 주행안전성은 마모차륜도 양호한 것으로 판단된다.

주행 안정성은 마모차륜이나 원형차륜 모두 기준값 60%이하로서 양호한 결과를 나타내고 있다.

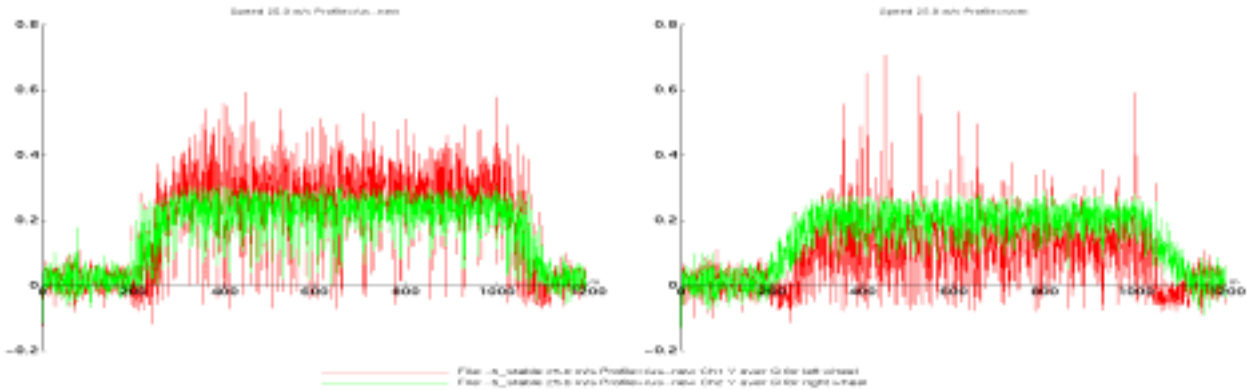


Fig15 Safety analys

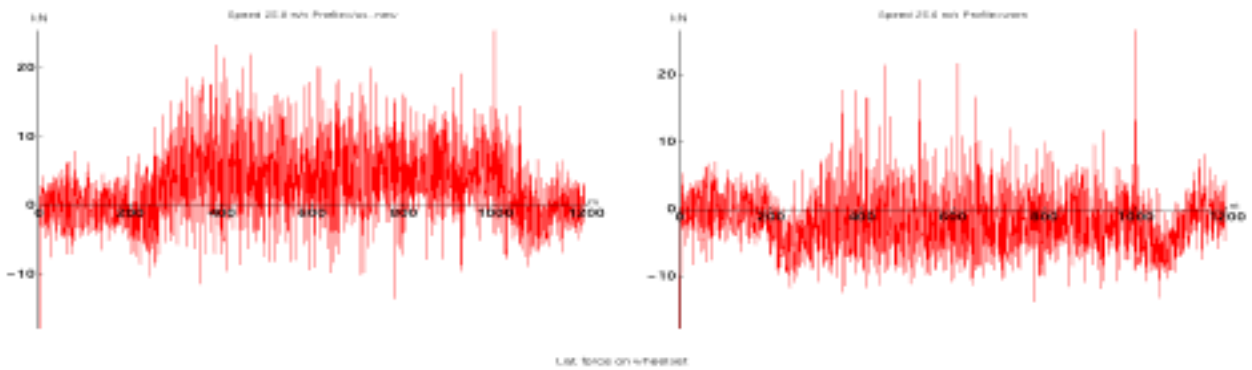


Fig16 Lateral Force on Wheelset

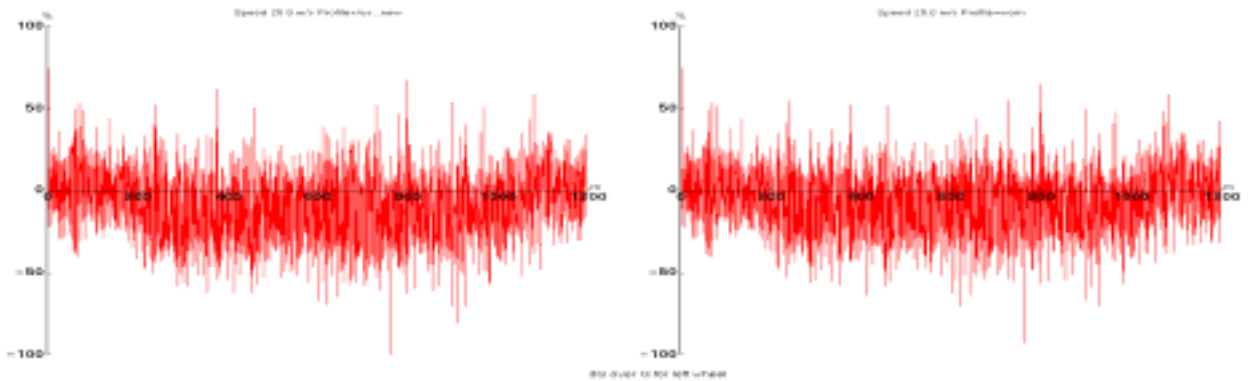


Fig 17 Stability Analysis

3. 차량 진동시험

3.1 시험방법 및 장치

시험구간은 서울시 5호선 노선의 일부구간인 왕십리역에서 상일동역까지 상업운전과 동일조건인 ATO(Auto Train Operation) System에 의한 자동운전 조건으로 시험하였다. 이구간은 5호선 중간검사(3년검사) 전반검사(6년검사)를 마친 차량의 본선시운전 구간이다. 시험대상 차량은 차륜교환검사를 마친 원형차륜의 차량507편성 5107호와 차륜담면 후렌지 두께가 심하게 마모된 차량529편성 5029호을 선정하였다.

측정장비는 진동가속도계 4셋트와 Conditioner(CRONOS-PL2),iMC device 를 이용하였다. 4셋트의 진동가속도계 부착위치는 윤축의 좌우 축상(Journal Box)상단에 부착하였다. 1축방향의 진동가속도계는 상하,좌우 진동을 측정할 수 있다. 차량 진행 방향의 최앞단의 윤축 축상에 설치하여 차량 진행시 차륜의 공격각에 의한 횡가속도를 연결장치등에 의한 가감없이 측정하려고 했다. 유효주파수대역은 20Hz로 처리하였다

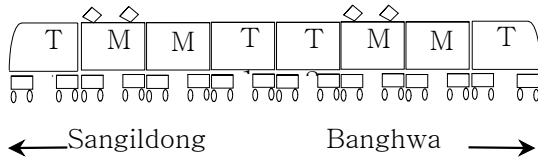


Fig18 Train set



Fig22 Measurement of Axlebox

3.2 시험결과

차량 윤축의 진동 주행시험을 수행하여 취득한 시험데이터를 분석하였다. 데이터 분석구간은 진동 특성을 잘알 수 있는 완만한곡선과 급곡선구간을 대상으로 하였다. 좌우진동 가속도 신호에 대한 data sampling rate는 500Hz. 가속도 센서 유효주파수대역은 UIC518 기준인 20Hz이상의 Low-passing filtering로 처리 하였다

Fig 22은 마장 - 답십리구간(R=300 C153)에서의 주행시 마모 원형차륜의 횡가속도 응답신호를 나타내고 있다. Fig23은 횡가속도 응답신호를 FFT처리한 것이다. 원형차륜의 횡가속도크기는 마모차륜 횡가속도보다 크다는것을 확인할 수 있다. 전산해석결과와 일치하고 있다는것을 확인할 수 있다.

Fig24는 아차산- 광나루 (R=2000)구간에서 주행시 마모차륜과 원형차륜의 횡가속도 응답신호를 나타내고 있다. 이구간은 완만한 곡선구간으로서 직선구간의 해석 결과와 일치함을 보여주고 있다. 마모차륜의 횡가속도 크기가 원형차륜의 횡가속도 크기보다 크다는 것을 알 수 있다.

시험데이터 분석과 해석결과에서의 횡가속도크기 특성은 직선구간에서는 마모차륜이 곡선구간에서는 원형차륜의 횡가속도가 크게 나타나고 있다. 후렌지 마모가 심한차륜은 곡선구간에서는 후렌지 목부위와 레일의 접촉이 원활하게 이루고 있어 횡가속도크기가 적고 직선구간에서는 차륜담면 기울기가 원추형에서 원호형으로 마모된 영향으로 횡가속도 크기가 원형차륜보다 크다는 것이 확인 되었다. 또한 원형차륜은 곡선구간에서 횡가속도가 마모차륜보다 크다는 것은 그만큼 후렌지 마모가 진행되면서 주행하고 있다는 것을 확인 되었다.

도시철도차량은 직선구간보다 곡선구간의 주행시 후렌지 마모가 일어나는것을 알 수 있다

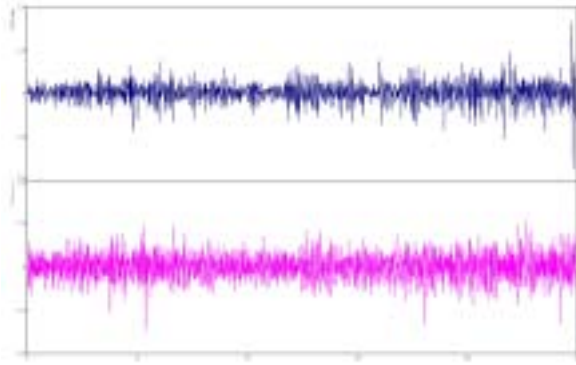


Fig23 New and Worn wheel lat. Acc

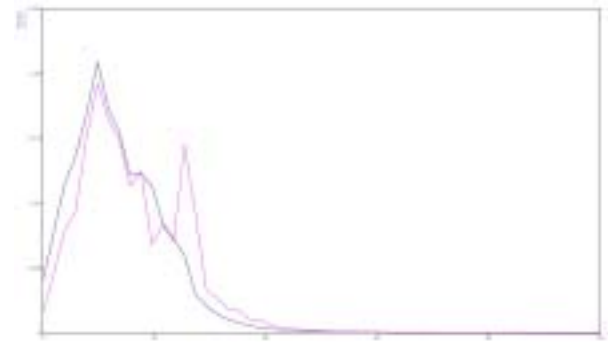


Fig 24 Lat.Acceleration FFT

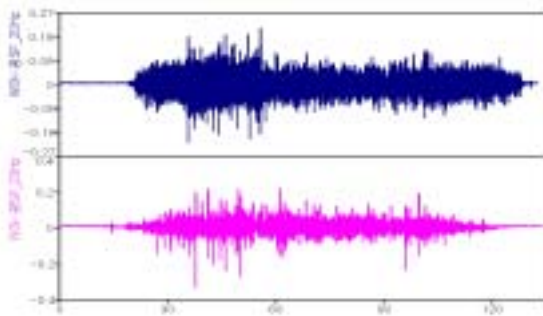


Fig25 New and Worn wheel lat. Acc

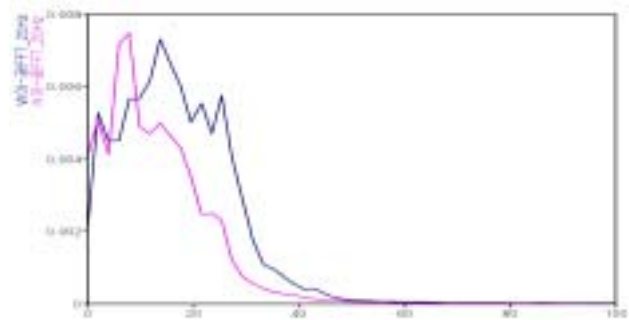


Fig 26 Lat. Acceleration FFT

4.결 론

본 연구에서는 차륜담면 마모에 따른 횡가속도 패턴에 대해 검토하였다. 그결과 곡선구간에서는 원형차륜의 횡가속도가 크고 직선구간에서는 마모차륜의 횡가속도가 크게 나타났다. 차륜후렌지의 직립 마모는 곡선구간에서 심하며 마모차륜의 직선주행은 횡가속도가 큰 것으로 확인 하였다. 직선구간에서는 차륜의 담면구배의 영향이 크며 곡선구간에서는 마모차륜이 레일과의 접촉이 원활하여 횡가속도가 적은것을 알 수 있었다. 또한 차륜 담면의 마모형상을 유형별로 측정하여 전산으로 해석 관리 유지보수 시스템 도입에 도움이 되었으며 합니다.

참고문헌

1. UIC CODE 518 "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic- Safety-Track-Ride quality"
2. ISO 2631-1" Mechanical vibration and shock Evaluation of human exposure to whole-body vibration"
3. 「차륜/레일 시스템 인터페이스」 이희성 한국철도학회지 1229-1102 제8권3호.2005
4. 「도시철도 차량의 공기스프링이 동특성에 미치는 영향」 '05. 7. 김태호, 임원식. 서울산업대학교 철도전문대학원 논문
5. 「차륜/레일 기하학적 인자에 의한 등가담면구배 영향분석」 허현무, 권성태 철도학회논문제8권5호
6. "VAMPIRE User Manual", AEAT/Rail