

# 동시공학설계환경에서의 고속철도 주행시뮬레이터 개발

전현규<sup>†</sup> · 박성혁\* · 곽영규\*\*

## Development of the Driving Simulator of High Speed Train based on the Concurrent Engineering Design Environment

Hyunkyu Jun, SungHyuk Park and Youngkyu Kwak

Key Words: Virtual Engineering(가상공학), Concurrent Engineering(동시공학), Driving Simulator(주행시뮬레이터), High Speed Train(고속철도)

### Abstract

The concurrent engineering technologies have been broadly used in the field of the design, testing, manufacturing and maintenance works to reduce development time and costs. For this purpose, many design environments with the product data management system, the virtual engineering system and web database system are developed.

In this research, we developed the driving simulator of the KTX(Korea Train Express) as a basic study for building the concurrent engineering design environment of rolling stock. The virtual track was developed from the Seoul to the Busan and the Daejeon to Mockpo to generate immersible driving environment. Also, fault generation systems were developed to educate drivers of the KTX. We expect to reduce the time and costs of newly developed rolling stock using the design environment developed in the research.

### 1. 서 론

항공기, 선박, 자동차 분야에서 동시공학(Concurrent Engineering)설계환경의 구축은 기획, 설계, 해석 및 생산 분야에 폭넓게 이용되고 있다<sup>(1)</sup>. 철도분야의 경우에서도 소비자의 욕구가 다양해지고 소량다품종 제품생산이 요구됨에 따라 제품개발기간의 단축 및 비용절감을 이루기 위한 설계환경의 구축에 대해 관심이 높아지고 있다<sup>(2)</sup>. 효과적인 설계환경 구축을 위해서는 통합된 설계프레임워크(Framework)의 구축이 필요하며, 이를 위하여 제품에 관한 다양한 데이터를 관리하기 위

한 제품데이터관리(Product Data Management : PDM)기술, 3D CAD 모델을 기반으로 한 CAE(Computer Aided Engineering) 해석기술, 몰입환경을 구축하기 위한 가상현실(Virtual Reality : VR)기술과 공간적 제약과 위험요소로 인하여 현실에서는 수행하기 힘든 물리적 시험을 대체하는 가상시험(Virtual Testing: VT)기술, 가공, 조립, 생산 공정 등 전 제조과정을 시뮬레이션 하는 가상생산(Virtual Manufacturing)기술 및 가상운영(Virtual Operation)기술에 관한 연구가 수행되고 있다.

국내 철도분야에서는 대표적인 차량제작사인 로템<sup>(3)</sup>에서 설계정보관리시스템, EKMS (Engineering Knowledge Management System) 및 공정설계관리시스템, CAPP(Computer Aided Process Planning)을 개발하여 제품생산에 적용하고 있으나 CAD시스템과 연계하여 제품데이터관리 및 3D 디지털 목업(Digital Mock-up)을 생성하는 수준의 동시공학설계가 적용될 뿐 독일, 프랑스, 일본 등의 철도선진국과 같이 철도차량의 주행안정

<sup>†</sup> 전현규, 한국철도기술연구원

E-mail : makemd@krri.re.kr

TEL : (031)460-5228 FAX : (031)460-5279

\* 박성혁, 한국철도기술연구원

\*\* 곽영규, 주식회사 그린소프트

성, 신뢰도, 승차감 등을 연구할 수 있는 기술수준에는 도달하지 못하고 있다.

국의 철도선전국의 경우를 살펴보면, 국내에서 운행 중인 KTX의 제작사로 잘 알려진 프랑스 Alstom<sup>(4)</sup>에서는 차량설계시 고객의 요구사항을 최대로 수용하기 위하여 최적설계 개념을 적용하여 2층 객차인 Coradia Duplex를 개발하고 있다. 이 시스템에서는 운전석(driver's cabin), 전방도어, 차체 및 후반부를 각각 모듈화 하여 고객이 원하는 사양을 선택하면 3D 공간에서 조립하여 가상시체를 즉시 생성함으로써 고객의 제품에 대한 이해도를 높였으며 가상시험모듈과도 연계하여 내구도 시험, 주행시험 등을 수행함으로써 차량의 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다. 일본의 중앙철도회사(Central Japan Railway Company)<sup>(5)</sup>는 동적거동 시뮬레이터를 도입하여 승객이 실제 열차를 타고 있는 것과 동일한 환경을 구성하고 시뮬레이터를 이용하여 주행시험을 함으로써 열차운행의 고속화 과정에서 필히 수반되는 승차감의 저하에 대한 연구를 수행하고 있다. 이 시스템에서는 열차의 기계적 거동을 다물체 동역학(Multi-body Dynamics : MBD)으로 모델링하고 모션베이스 액추에이터와 연결한 후 고속운행을 하는 열차에서 승객이 받는 진동을 재현하고 있다.

본 연구의 목적은 철도차량 동시공학설계환경을 구축하기 위한 기초연구로써 철도차량의 주행특성을 평가하기 위한 고속철도 가상주행환경을 구축하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 철도차량설계 프레임워크를 개발하였으며 고속철도 차량의 목업 및 열차신호체계와 고장조치 등의 시나리오를 적용한 차량주행환경을 개발하였다.

## 2. 철도차량 설계 프레임워크 구축

본 연구에서는 철도차량 설계, 해석, 주행특성 평가 등 철도차량개발에 필수적인 기술환경을 가상의 공간에서 구축하기 위하여 Fig. 1과 같은 가상공학기반의 동시공학설계환경을 개발하였다.

동시공학 설계환경은 PDM시스템을 이용한 3D CAD 모델을 기반으로 하고 있으며 차량개발에 관한 각종 데이터, 기술문서, CAE 해석자료 및 지식(Knowledge)을 체계적으로 수록한 KB 모듈과 차량 시스템을 이루는 각 부품에 대한 기계적 및 물리적 특성을 분석하고 각각의 특성을 시뮬레이션한 후 이를 설계에 적용하기 위한 자동설계 모듈 및 가상모델(virtual model)과 실제모델(physical model)과의 검증시험을 수행 할 수 있는 가상시험 모듈로 구성되어 있다.

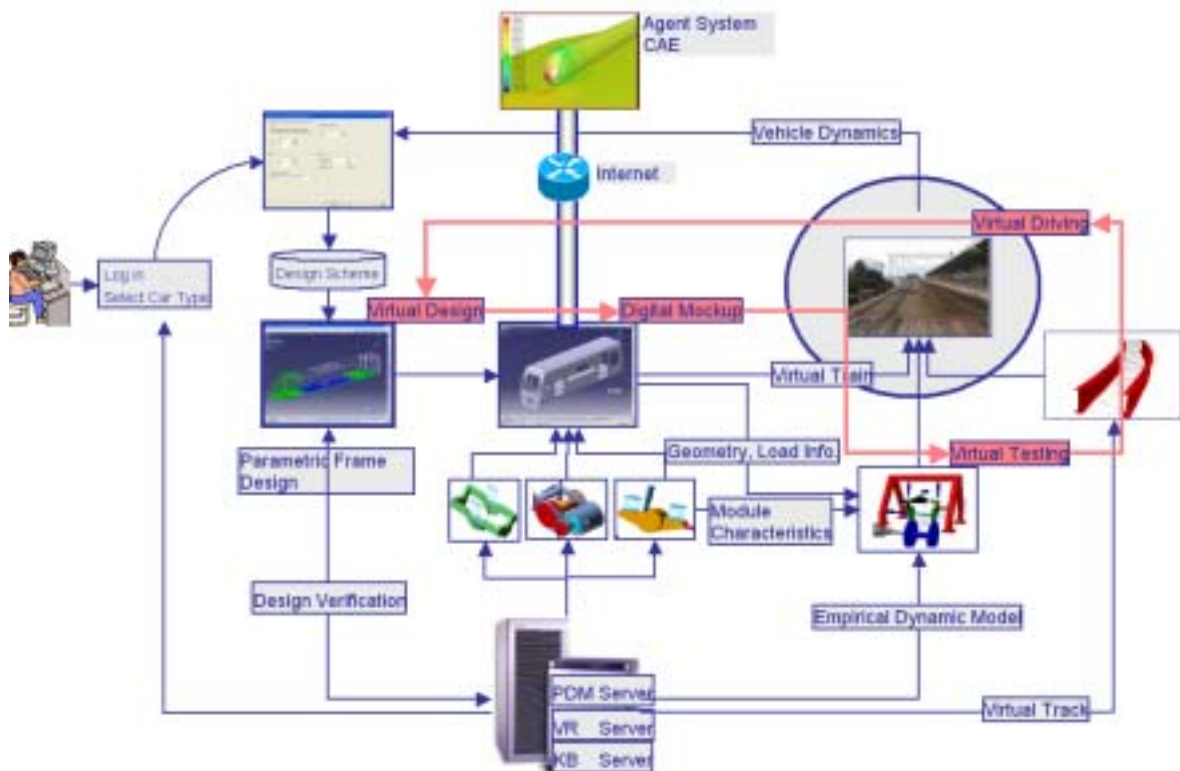


Fig. 1 Structure of the concurrent engineering design environment based on virtual engineering

## 2.1 제품데이터관리시스템(PDM) 개발

철도차량의 동시공학설계 환경구축을 위해서는 3D CAD를 기반으로 한 철도차량 3D 형상모델이 필요하다. 또한 각 부품이 갖는 기계적 특성 데이터가 필요하며 동적거동특성에 대한 해석모델에 관한 데이터도 필요하다. 이러한 모든 데이터는 대상제품이 복잡할수록 기하급수적으로 증가하므로 이를 체계적으로 정리하여 통합된 환경에서 관리하기 위한 시스템이 필요하다. 본 연구에서는 다쏘시스템<sup>(6)</sup>의 SmarTeam S/W를 이용하여 PDM 시스템을 구축하였다.

또한 Fig. 2와 같이 PDM 시스템과 3D CAD S/W를 연계하여 각 부품들을 가상의 공간상에서 조립해봄으로써 향후 발생할 수 있는 문제점들을 사전에 방지하고 각 부품들 간의 간섭과 생산라인에서 발생할 수 있는 문제점을 사전에 점검할 수 있는 디지털 목업(Digital Mock-up : DMU)도 개발하였다. 철도차량의 DMU를 개발함으로써 동시공학설계 환경을 구축하기 위한 기반을 마련하였다.

## 2.2 가상설계기술 개발

가상설계 기술은 철도차량의 각종 기계적 특성을 가시적으로 보여줌으로써 설계의 품평, 조작의 용이성 등을 평가할 수 있는 기술로 실물을 제작하지 않고도 차량의 물리적 특성을 해석할 수 있으므로 차량개발 초기단계에서 여러 가지 사항을 검토할 수 있는 기술이다. 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 열차전두부의 초기설계를 수행하기 위하여 주요설계 변수를 바탕으로 각 부재를 모듈화 하고 Parametric 설계 개념을 적용한 자동설계 기술을 개발하였다.



Fig. 2 Digital Mockup model

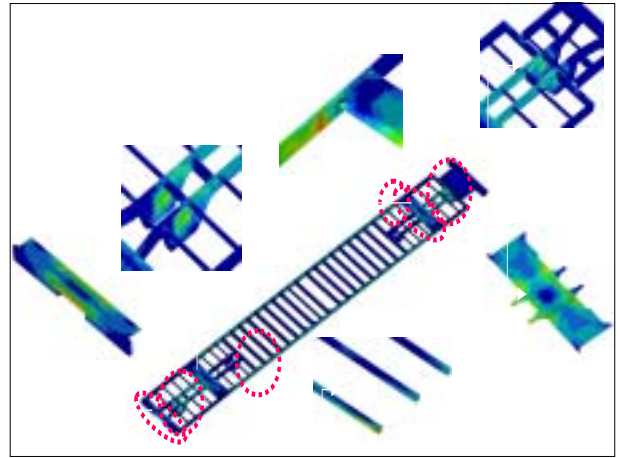


Fig. 3 Schematics of modular design

## 2.3 가상시험

철도차량의 경우 시제품개발 후에도 시험선에서의 각종 주행시험을 통과해야만 비로소 차량개발이 완료된다. 따라서 차량개발초기에 가상공간에서의 주행시험을 통한 설계사양의 도출은 차량개발기간의 단축과 신뢰도 확보를 위해 필수적이다. 이를 위하여 본 연구에서는 가상공간에서의 철도차량 주행시험을 위한 차량부품에 대한 수학적 모델의 개발과 현가계, 구동계 해석을 위한 다물체 동역학(Multi-Body Dynamics : MBD)모델을 개발하고 있다. 이를 위하여 현가장치 주요 요소 부품의 특성과파라미터를 도출한 후 각 요소의 수치해석 모델을 개발하였으며 Adams/Rail을 이용하여 차량시스템 모델을 개발하였다. 향후 이 가상주행모델과 연결하여 가상주행시험에 적용할 예정이다.

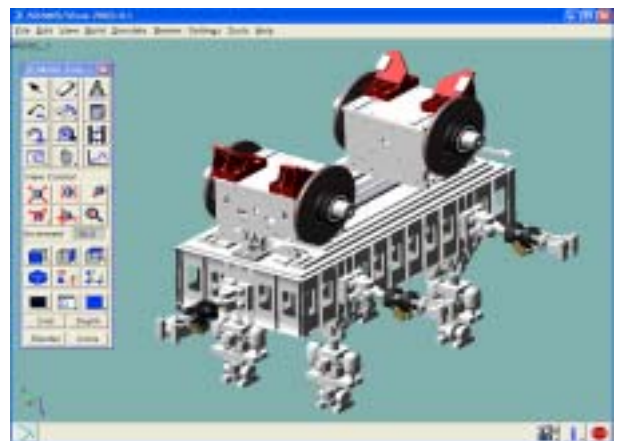


Fig. 4 The multi-body dynamics model of bogie

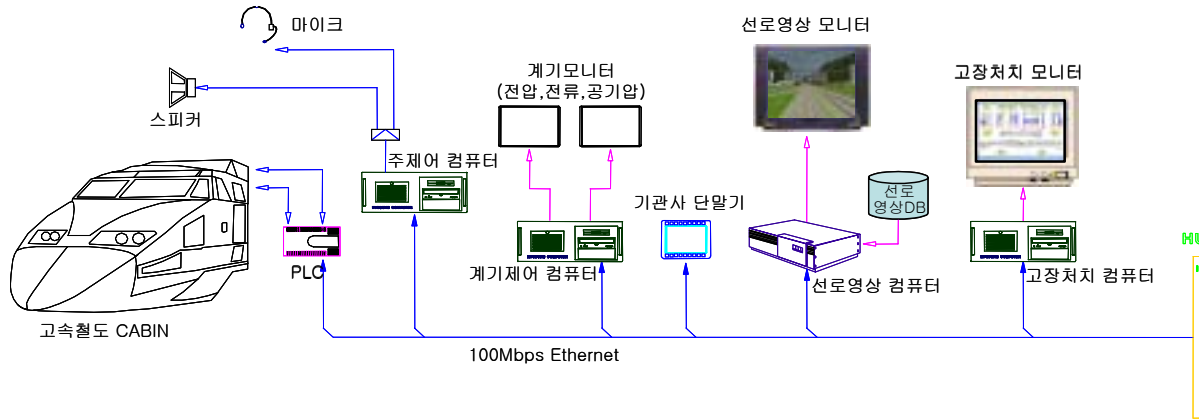


Fig. 5 Schematic diagram of the driving simulator of KTX

### 3. 고속철도 주행시뮬레이터 개발

Fig. 5는 본 연구에서 개발한 KTX 주행시뮬레이터의 구성도이다. 주행시뮬레이터는 KTX cabin과 4대의 PC급 컴퓨터로 구성되어 있으며 각 컴퓨터의 기능은 다음과 같다.

- 주제어 컴퓨터 : 각 컴퓨터 시스템 통합 및 제어장치로부터 입력된 신호분석
- 계기제어 컴퓨터 : KTX cabin 내 계기들에 대한 신호출력
- 선로영상 컴퓨터 : 주행속도에 따른 선로영상 생성
- 고장처리 컴퓨터 : 고장처치를 위해 필요한 정보 출력

#### 3.1 시스템 구성

Fig. 6은 주행시스템의 구성도로서 시스템 구성에 사용한 주 컴퓨터는 향후 모듈의 추가를 고려하여 저가형 PC를 사용하였으며 호환성이 뛰어나도록 Windows 2000/XP O/S환경에서 개발하였다. 차량주행 중 차량고장, 재난발생 등의 사고상황은 마우스, 키보드, 전자펜(Light Pen)을 이용하여 발생하도록 하였으며 입출력 제어장치를 통하여 열차 목업과의 신호를 주고받도록 하였다.

기관사가 가감속 레버를 조작하면 전기적인 신호가 주제어 컴퓨터로 전달되며 주 제어컴퓨터에서는 신호를 분석하여 계기제어, 선로영상, 고장처리 컴퓨터로 각각 전송되며 계기제어 컴퓨터에서는 신호를 공학적으로 분석하여 속도, 가속도, 공기압 등을 계기판에 표시하도록 하였다. 선로

영상 컴퓨터는 열차의 주행속도에 맞게 선로영상을 화면에 출력하도록 하였으며 각종 시나리오 상황이 화면에 반영되도록 하였다. 고장처리 컴퓨터에서는 열차 목업에 실제 장착할 수 없는 각종 계기장치의 상황을 화면에 표시하여 고장상황에 따라 적절한 조치를 취할 수 있도록 하였다. 각 컴퓨터는 100Mbps Ethernet 환경에서 Server-Client 방식으로 구동하도록 되어 있다.

#### 3.2 주행시뮬레이션을 위한 가상궤도

가상궤도는 열차의 주행 안정성에 직접적인 영향을 미치는 인자로서 KTX의 실제 주행노선에 맞도록 서울-부산, 대전-목포간 노선을 모델링 하였으며 구배, 곡선 등 제반 선로조건과 신호조건 등 열차의 주행특성을 사실적으로 시뮬레이션 할 수 있도록 개발하였다. 또한 주위환경(건조, 우천, 결빙)에 따라 차륜과 레일면의 접촉조건이 변경되도록 하였으며 풍향조건, 차량하중 및 견인력에 따라 제동 및 견인특성이 변경되도록 하였다.

궤도상에는 신호기, 분배기 등의 궤도시설물을 모델링하여 신호제어에 따라 주행 시뮬레이션을 할 수 있도록 구성하였다.

#### 3.3 가상시나리오 및 고장조치

가상시나리오는 주행시뮬레이터와 연동하여 KTX 운행시 발생할 수 있는 차량고장 및 이례사항 등의 발생에 대한 조치를 취할 수 있도록 하였다. 시나리오의 예는 Table 1, 2와 같으며 향후 유지보수시스템과 연결하여 차량 및 궤도시설물의 유지보수분야에도 적용할 계획이다.

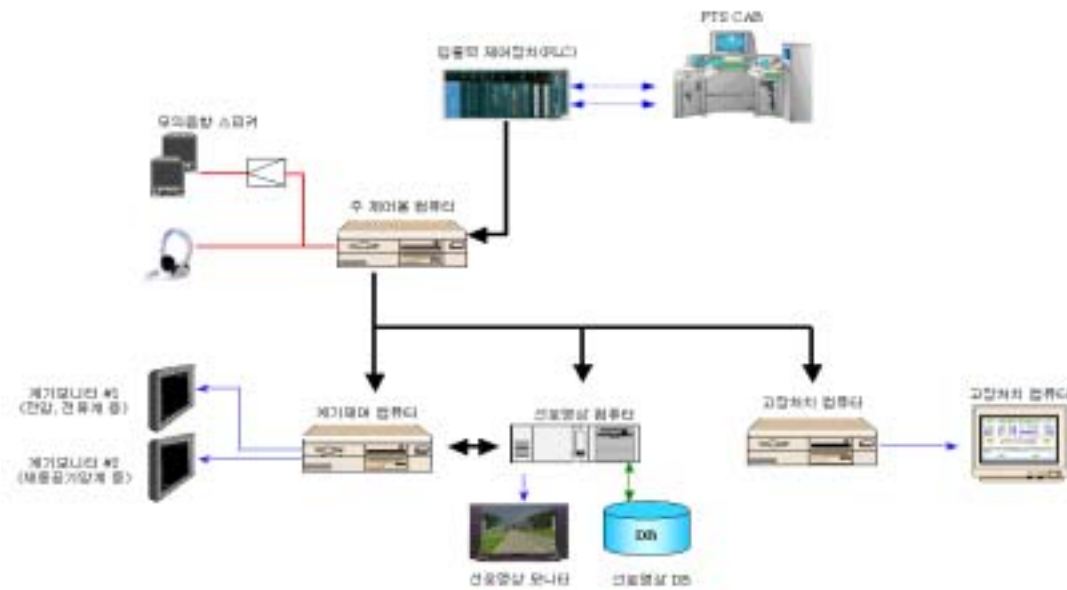


Fig. 6 Structure of driving system

Table 1 Examples of signal malfunction of the KTX

| 시나리오   | 항 목                  |
|--------|----------------------|
| ATS 고장 | • 정지신호 위반            |
|        | • 주의신호 위반            |
|        | • 감속신호 위반            |
|        | • ATS 오동작            |
|        | • ATS 회로전원 차단        |
|        | • ATS<->ATC 구간변경 오동작 |
| ATC 고장 | • 속도위반               |
|        | • 취급위반               |

Table 2 Examples of general malfunction of the KTX

| 시나리오 | 항 목            |
|------|----------------|
| 일반고장 | • 제동력 부족       |
|      | • 제동관 압력저하     |
|      | • 대차의 고착       |
|      | • 주공기관 압력저하    |
|      | • 동력차 하부의 공기누설 |
|      | • 동력차 제동체결 불능  |
|      | • 완해불량 표시등 점등  |
|      | • 화재검지 표시등 점등  |

3.4 KTX 주행시물레이션을 위한 목업제작

주행시물레이터는 실제 궤도에서 주행하는 것과 동일한 몰입감(immersion)을 줄 수 있도록 KTX 운전석과 동일한 목업을 제작하였다. Fig. 7 은 기관사가 본 주행환경이다. 지형지물 모델링은 Multigen-Creator v.2.6을 사용하였으며 렌더링은 Vega Prime v.1.2를 사용하여 구현하였다. Fig. 8은 KTX 목업 장치로써 본 연구에서는 모션베이스 구동기는 적용하지 않았으나, 영상시스템에서는 반구(sphere)형 스크린에 3대의 빔프로젝터와 1대의 렌더링 컴퓨터로 구성하여 FOV(Field of View)를 실제 기관사가 볼 수 있는 시야와 동일하게 구성하였다.



Fig. 7 The scenery of the driving simulator of the KTX



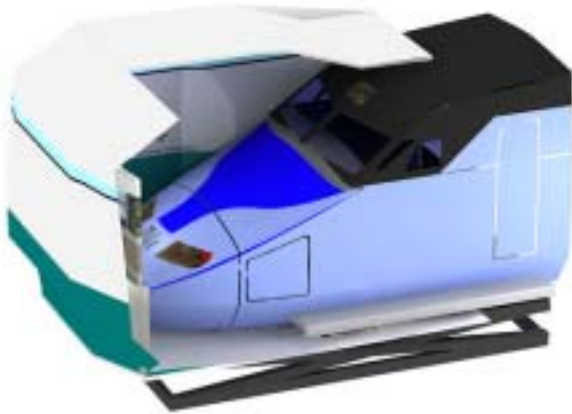


Fig. 8 The KTX mockup installation

#### 4. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 철도차량 동시공학설계환경 구축을 위한 연구의 일환으로 KTX의 주행시뮬레이터를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 KTX 주행시뮬레이터는 기관사의 운전교습 및 고장처치를 위해 개발되었으나 향후 철도기술연구원에서 개발하고 있는 동시공학설계환경과 연결되어 사용할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

향후에는 철도차량 부품 MBD 모델의 정확도를 높이기 위한 연구를 수행함으로써 시뮬레이션의 성능을 높이고자 한다.

#### 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 2004 기본사업 “철도시스템선진화 기술연구사업(철도차량 Virtual Engineering 기술연구)”의 지원으로 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) 김현, 1998, “동시공학 구현을 위한 Web 기반의 공학프로세스 지원 프레임워크,” 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 352~359.
- (2) 정우진, 전현규, 2003, “Virtual Engineering 기술 개발,” 한국철도기술연구원 보고서, KRRI 연구 03-73, pp. 5~46.
- (3) 이대현, 2004, “로템 제품정보 통합관리 시스템 구축·운영,” 로템 철도기술 뉴스 5월호, p.5.
- (4) Alstom, 2004, "Coradia Duplex 홍보용 CD"
- (5) Sakanoue, K. 2003, "Evaluation of train ride comfort using a vehicle dynamic simulator," The world congress on railway research 2003, pp.1171~1181.
- (6) Dassault System, 2004, "SmarTeam User's Manual"