

## 차량 시스템 개발 및 운전자 인자 연구를 위한 실시간 차량 시뮬레이터의 개발

### Development of a Real-Time Driving Simulator for Vehicle System Development and Human Factor Study

이 승준\*, 김 영삼\*\*, 최 동찬\*, 조 준희\*, 이 운성\*\*\*, 김 정 하\*\*\*  
S. J. Lee, Y. S. Kim, D. C. Choi, J. H. Cho, W. S. Lee, J. H. Kim

#### ABSTRACT

Driving simulators are used effectively for human factor study, vehicle system development and other purposes by enabling to reproduce actual driving conditions in a safe and tightly controlled environment. Interactive simulation requires appropriate sensory and stimulus cuing to the driver. Sensory and stimulus feedback can include visual, auditory, motion, and proprioceptive cues. A fixed-base driving simulator has been developed in this study for vehicle system development and human factor study. The simulator consists of improved and synergistic subsystems (a real-time vehicle simulation system, a visual/audio system and a control force loading system) based on the motion-base simulator, KMU DS-I developed for design and evaluation of a full-scale driving simulator and for driver-vehicle interaction.

주요기술용어 : Driving Simulator(차량 시뮬레이터), Real-time Vehicle Simulation System(실시간 차량 시뮬레이션 시스템), Visual and Audio System(시각 및 음향시스템), Control Force Loading System(제어 힘 로딩 시스템)

#### 1. 서 론

차량 시뮬레이터(Driving Simulator)는 운전자가 자동차를 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 가감속 페달 조작 등을 통해 야기되는 차량

의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행해 예측하고 그 결과를 운동, 시각 및 음향 큐를 통해 운전자에게 피드백하여, 차량 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실제로 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 갖게 하는 가상 현실 장비이다. 이러한 차량 시뮬레이터는 새로운 개념을 갖는 차량 시스템 및 알고리즘의 평가 시, 기존 시스템과 비교 분석하여 설계 반영 등에 효과적으로 이용될 수 있고, 운전자의 안전에 위협을 주지 않으면서도 위급한 상황을 재현할 수 있으므로 Fail-safe 연구 수행

\* 정희원, 국민대학교 자동차공학대학원

\*\* 국민대학교 자동차공학대학원

\*\*\* 정희원, 국민대학교 기계·자동차공학부

빛 운전자의 반응을 분석하여 차량의 안전도 향상, 소비자의 반응예측, 그리고 교통안전 향상을 도모할 수 있는 종합적인 개발 도구이다.

최근 국내외적으로 차량 시뮬레이터 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 실제로 각국의 우수 자동차 회사 및 연구 기관에서 차량 시뮬레이터의 응용에 적극적인 자세를 취하고 있다.

1980년대 초에 개발된 스웨덴의 VTI 시뮬레이터[1]는 횡방향 레일을 포함한 3자유도 운동베이스와 3채널의 영상 시스템을 갖춘 시각 시스템으로 구성되어 있다. 이는 주로 자동차의 핸들링, 도로와 교통안전 및 운전자 인자 연구에 이용되었다. 이 구조는 최근에 개발된 트럭 시뮬레이터에도 그대로 적용되고 있다[2]. 차량 시뮬레이터에 대한 관심을 증폭시킨 Daimler-Benz 시뮬레이터[3]는 1980년대 초기의 첨단 시뮬레이션 기술을 집약시킨 것이다. 6자유도의 Stewart 플랫폼으로 구성된 운동베이스와 6채널의 360도 운전자 시야를 제공하는 시각 시스템으로 구성되어 있다. 1995년에는 횡방향의 레일 구동장치를 추가하여 운동범위를 넓히고, 하드웨어 및 운용 소프트웨어를 개선하여, 시뮬레이터의 성능을 크게 향상시켰다[4]. 대학에서는 주로 고정베이스의 시뮬레이터를 개발하여 운전자 인자 연구 등에 이용하고 있으며[5-7], 미국의 Iowa 대학은 1992년에 6자유도의 Stewart 플랫폼으로 구성된 대규모의 차량 시뮬레이터를 개발하고, 운전자 인자 연구, 지능형 수송 시스템(ITS) 및 Virtual Prototyping 등에 적극적으로 활용하고자 노력하고 있다[8,9]. 최근 미국에서는 첨단 기술과 막대한 예산을 도입하여 NADS(National Advanced Driving Simulator)를 1999년 완공 목표로 국가 차원에서 개발하고 있다. 기존의 시뮬레이터에서 적용하기 어려운 여러 위급상황의 차량 운동을 재현할 수 있도록 고성능의 시스템으로 구축되고 있으며, 교통사고 예방 및 지능형 수송 시스템에 관련된 연구를 수행할 예정이다[10,11]. 국내에서도 최근 자동차업계 및 학계에

서 차량 시뮬레이터에 대한 관심이 고조되고 있으나, 운동 시스템 및 시각 시스템 등의 각 서브 시스템에 대한 독립적인 연구가 어느 정도 진행되고 있을 뿐, 시스템의 종합적인 개발은 국민대학교에서 개발한 차량 시뮬레이터(KMU DS-I)[12]를 제외하고는 아직 발표된 사례가 없다.

본 논문에서는 Full-scale 차량 시뮬레이터의 설계, 평가 및 최적화를 위한 기반 기술 확보와 기대되는 응용 분야의 타당성 조사 등을 목적으로 개발된 운동베이스 차량 시뮬레이터 KMU DS-I을 통해 축적된 개발 기술을 바탕으로, 각 서브시스템의 성능이 더욱 향상되고 최적화된 고정베이스 차량 시뮬레이터, KMU DS-II의 개발에 관하여 기술하고자 한다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 개발 목적 및 응용 분야

차량 시뮬레이터의 설계에 있어서 응용 분야에 따라 전체 시스템의 구성과 형태, 목표 사양 및 개발비 등이 좌우된다. 선진국의 차량 시뮬레이터는 차량 시스템의 개발, 위험하고 제한적인 상황에서의 운전자와 차량의 상호 작용 연구, 지능형 수송 시스템(ITS)의 개념 연구 등의 응용 분야에 따라 차량 시뮬레이터의 구성과 성능을 달리하고 있다[4,9,11,13].

본 연구에서 개발된 차량 시뮬레이터는 ABS(Antilock Brake Systems)의 HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation)와 같은 차량 시스템 개발 연구 및 운전자 인자 연구 등 본격적인 차량 시뮬레이터의 응용을 위하여 개발되었다.

### 2.2 구성 요소

차량 시뮬레이터를 다양한 응용 분야에 적용함에 있어서 그 목적에 따른 기능의 가감은 신속하게 수행하고, 범용성 및 확장성 그리고 시스템 유지보수를 고려하여 차량 시뮬레이터를 구성하는 각 서브 시스템을 모듈화하여 설계하였다. 차량

Table 1 Simulator Specifications

| Type                         | KMU DS-I   | KMU DS-II   |
|------------------------------|--|---|
| Simulator Platform           | - Prototype 6 D.O.F driving simulator  | - Mid-scale fixed-base driving simulator  |
| Cab                          | - HMC Elantra A/T(1 seat without E/G room)   | - HMC Elantra A/T (2 seats with E/G room)   |
| Vehicle Model                | - ADI 16 D.O.F. model, ST1 tire model  | - In-house 14 D.O.F model, ST1 tire model   |
| Visual System                | - General-purpose PC-base Image Generator with 3D graphic accelerator(GEINT 500TX)<br>- 10 frames/sec refresh rate<br>- SHARP XV-7000S video level projector<br>- Flat mat screen<br>- 1 ch 42(H) x 32(V) degrees F.O.V. | - General-purpose PC-base Image Generator with 3D graphic accelerator(AGP Permedia 2)<br>- Over 30 frames/sec refresh rate<br>- NEC MT-830 LCD projectors<br>- High gain grass bead curved screen<br>- 3 ch. 180(H) X 40(v) degree F.O.V.<br>- Collision detection and scenario control algorithm including moving components |
| Audio System                 | - Creative Labs Sound Blaster AWE32  | - Creative Labs Sound Blaster Live Gold   |
| Control Force Loading System | - High-freq feedback controller (SMCUs used)<br>- Full instrumentation<br>- Crude reaction torque & force generation   | - High-freq. feedback controller (2MCUs used)<br>- Full instrumentation<br>- Highly realistic reaction torque & force generation  |
| Motion System                | - Hydraulic 6 D.O.F hexapod<br>- Longitudinal, lateral and vertical motion of about 0.5m pitch, roll and yaw motion of up to 25 degrees  | - Not available yet   |
| Communication                | - 10Mbps Ethernet, 9,600bps RS-232C  | - 10Mbps Ethernet, 115,200bps RS-232C   |

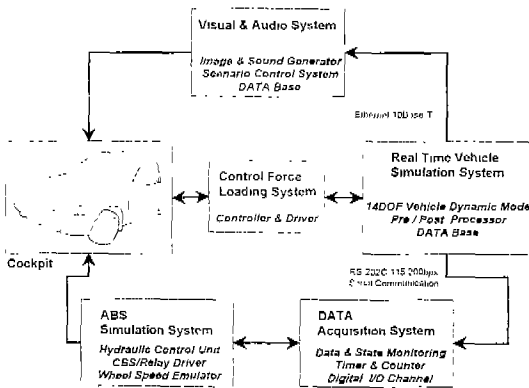


Fig. 1 Driving Simulator Functional Diagram

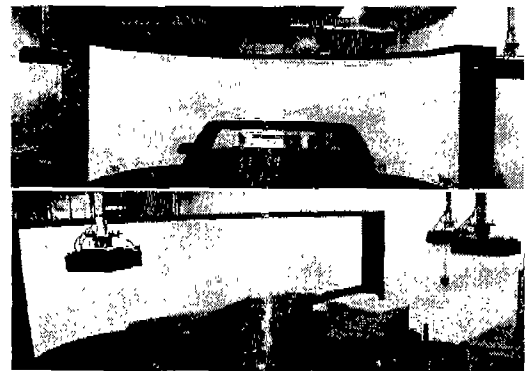


Fig. 2 View of the KMU DS-II

시뮬레이터의 각 서브 시스템은 그 기능에 따라 크게 차량 거동 해석을 위한 실시간 차량 시뮬레이션 시스템, 운전자의 조작 행위를 감출하고 이에 상응하는 직렬한 반력 및 반토크를 재현하는 제어 힘 로딩 시스템, 주행 환경 및 소음을 재현하는 시각 및 음향 시스템, 그리고 차량의 거동에

따른 운동을 전달하는 운동 시스템 및 각 서브시스템간의 정보 및 데이터 교환, 시간 일치화 등을 통합하고 관리하는 시스템 통합 등으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 각 서브시스템의 모든 구성 요소를 포함한 KMU DS-I과는 달리 운동 시스템은 포함하지 않았지만 기타 각 서브시스템의 성능이 크게 향상된 고정 베이스의 차

량 시뮬레이터를 개발하였다. Table 1에 KMU DS-I과 KMU DS-II의 상세 사양을 비교하였으며, Fig. 1과 2는 본 연구에서 개발된 차량 시뮬레이터의 구성도 및 외형을 나타내고 있다.

### 3. 서브시스템 개발

#### 3.1 실시간 차량 시뮬레이션 시스템

차량 시뮬레이터에 탑승한 운전자의 차량 조작 행위를 검출하여 실시간으로 차량의 거동을 예측하고, 그 결과를 각 서브 시스템에 전달하여 필요한 시각 및 음향, 운동 큐 등을 생성하게 하는 실시간 차량 시뮬레이션 시스템은 차량 시뮬레이터의 핵심 요소이다. 실시간 차량 시뮬레이션을 수행하기 위해 특히 공학적으로 검토되어야 할 요소는 차량 모델의 적절성, 시뮬레이션 기법 및 실시간 시뮬레이션용 컴퓨터 등이다.

본 연구에서는 차량 모델에 대한 운동 방정식을 3차원 강체의 선운동량과 각운동량을 이용하여 10자유도의 운동 방정식을 수립하였다. 이 운동 방정식을 토대로 타이어의 회전까지 포함하는 14자유도의 전차량 모델을 개발하고 이를 실시간 차량 시뮬레이션 시스템에 적용하였다. 타이어 모델은 물리적 특성을 모델링한 해석적 방법과 실제 시험치를 나타낼 수 있는 곡선의 방정식을 사용하는 수치적 방법을 결합한 STI 타이어 모델[14]을 사용하였다. 동력전달계는 엔진, 변속기, 드라이브 트레인으로 나누어 모델링하였다. 엔진 모델은 엔진에 흡입되는 공기 및 연료의 유량, 엔진속도 등을 상태변수화 하여 수치적으로 해석하였다. 변속기는 토크 컨버터와 변속기 기구부를 포함하며, 드라이브 트레인은 종감속 구동축의 회전속도를 입력으로 하는 비틀림 스프링으로 가정하여 모델링하였다. 조향모델은 운전자의 조향 휠 입력과 전륜 휠에 작용하는 Aligning Torque에 의한 컴플라이언스 특성을 고려하여 차륜의 조향각을 출력하도록 모델링하였다. 제동 모델은 유압 시스템을 무시하고 제동 토크에 관한 1차 시간지연 방식으로 모델링하였다. 공기저항

모델은 공기와 차시의 상대속도를 기본으로, 공기의 속도를 벡터형식으로 입력 가능하도록 모델링하였다.

실시간 시뮬레이션에서 특히 고려해야 할 수치 직분 기법은 3차 Adams-Bashforth 기법을 이용하였으며, 데이터 통신 및 시뮬레이션 수행 시간 등에 의한 시간지연이 시뮬레이션의 안정화에 영향을 미치지 않게 Pentium-II 프로세서가 장착된 PC를 사용하여 2msec의 일정한 적분 스텝이 유지되도록 하였다.

#### 3.2 시각 및 음향 시스템

운전자는 주로 시각을 통해 주행 상황 및 환경을 인지하므로 차량 시뮬레이터에서 현실감을 확보하기 위한 가장 중요한 요소는 시각 시스템이다. 운전자가 실제적인 주행 감각을 느끼고 각 상황에 따른 정확한 반응을 유도하기 위해서는 고해상도의 그래픽 처리가 필수적인데, 이는 이미지를 생성하는 부분과 생성된 이미지를 영사하는 부분으로 구분 할 수 있다.

본 연구에서는 Pentium-II 프로세서를 사용하는 PC에 AGP 방식을 지원하는 3D 그래픽 가속기를 사용하여 경제적이면서도 고성능의 그래픽 이미지를 생성하는 시각 및 음향 시스템을 구성하였다. OpenGL 1.1.[15]을 이용하여 3차원 영상을 생성하는 이미지 생성 프로그램을 개발하였으며, 이러한 결과로 초당 약 30 frame 이상의 연속적인 고해상도의 이미지가 생성된다. 운전자의 충분한 시야를 확보하기 위하여 3채널 이상의 다중 이미지가 생성될 수 있도록 프로그램 하였고, (Fig. 3), 3채널의 영사 시스템으로 수평 180°, 수직 40°의 Field of View를 갖도록 시스템을 구축하였다(Fig. 2).

본 연구에서 개발된 KMU DS-II의 시각 및 음향 시스템에 교행하는 타 차량과의 상호작용에 따른 간단한 이벤트 처리 기능을 추가하였다. 이는 운전자가 교행하는 타 차량에 접근하면 그 차량은 이벤트 발생 조건을 만족하는 경우에 차선



Fig. 3 3 Channel Visual System

변경, 속도 변화, 경적음 발생 등의 이벤트를 처리하게 된다. 이러한 기능은 간단한 시나리오 제어 기법이지만 다양한 형태의 운전자 인자 연구에 필수적으로 포함되어야 하는 기능이다. Fig. 4는 본 연구에서 개발된 대표적인 시각 시스템의 이미지를 나타내고 있다.

음향 시스템은 차량 주행 중 발생할 수 있는 각종 소리를 디지털 방식으로 녹음하고 샘플링하여 음원을 만들고, 이 음원을 Creative Labs사의 Sound Blaster Live Gold 사운드 카드를 사용하여 재생하였다. 고품질의 음향을 효과적으로 재생하기 위하여 MIDI(Music Instrument Digital Interface)기능을 사용하였다. 본 시스템은 최대 16채널까지 동시에 사용할 수 있는데, 각각의 채널에 엔진 회전음, 차량의 속도 증가에 따른 주변 소음, 타이어 슬립음 및 차량의 시동음 등을 할당하였다.

### 3.4 제어 힘 로딩 시스템

제어 힘 로딩 시스템(Control Force Loading System)은 운전자의 차량 조작 행위를 검출하여 실시간 차량 시뮬레이션 시스템에 전달하고, 시뮬레이션 결과를 이용하여 각종 조작부의 반력 생성 및 계기판을 구동하여 운전자에게 현실감을 제공하는, 차량 시뮬레이터와 운전자 사이의 인터페이스 시스템이다. 본 연구에서 개발된 제어 힘 로딩 시스템은 운전자의 조작 행위를 검출하

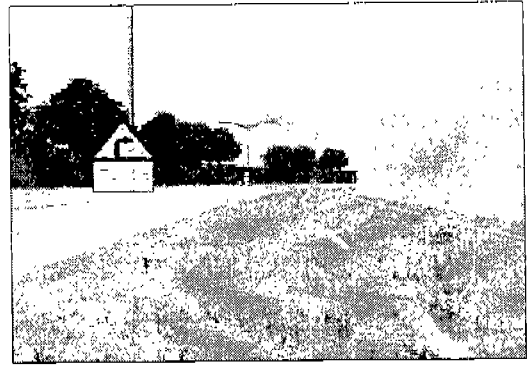


Fig. 4 Typical Scene of the 3D Virtual Environment

는 변위 검출부, 운전자에게 반력 및 반토크를 피드백하는 운동 재현부 및 신호를 처리하고 전달하는 통신부로 구분된다. 시스템의 정확하고 빠른 작동을 위하여 어셈블리로 운영되는 2개의 8비트 마이크로 프로세서와 AD/DA 모듈, 직렬통신 모듈 등을 이용하여 차량 시스템의 각 기구부 제어 및 통신 그리고 시스템 통합 관리 기능을 갖는 컨트롤러를 개발하였다.

Rotary Encoder와 Potentiometer, 압력센서 등을 이용하여 운전자의 차량 조작 행위를 검출하며, 차량 거동에 따른 반력과 반토크를 생성하는 운동 재현부는 현실감을 극대화하기 위하여 실차 시스템을 최대한 활용하고, 부가적으로 DC 모터를 사용하여 구성하였다. 운전자가 가장 민감하게 느끼는 조향 휠의 반토크 생성은 실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 타이어 모델에서 해석된 Aligning torque를 근거로 반토크가 생성되도록 하여 조향계의 현실감을 향상시켰다. 또한 실시간 차량 시뮬레이션 시스템과의 보다 빠른 통신을 위해 115,200bps의 전송 속도를 갖는 RS-232C 통신 모듈을 구축하였으며, 정확한 데이터 전송을 보장하는 프로토콜을 개발하였다. 특히 차량 시뮬레이터가 차량 시스템 개발에 효과적으로 응용될 수 있도록 ABS HILS와의 인터페이스 기능을 추가로 구축하였으며, 운전자 반응 연구를 목적으로 각종 지시등 및 경고등의 계기판 상태가 외부에서 조작될 수 있도록 개발



레이션을 수행할 수 있었고, 운전자의 운전 입력을 전송 받는 직렬통신 모듈을 개선하여 정확하고 빠른 데이터 전송을 실현하였다. 또한 각종 시뮬레이션 결과 및 운전자의 차량 조작 상태를 용이하게 관찰할 수 있도록 후치리를 강화함과 동시에 직렬 통신 및 네트워크 데이터의 수정이 용이하도록 하여 시스템의 유연성을 확보하였다.

실시간 시뮬레이션 컴퓨터로는 Pentium-II 233MHz의 프로세서를 장착한 PC를 사용하고, 14자유도 전차량 모델을 Digital Visual Fortran 5.0으로 컴파일된 DLL 형태로 MCONS에 포함하였다. 제어 힘 로딩 시스템에서 검출된 신호를 입력으로 하여 실시간으로 전차량 모델을 해석하고, 10Mbps의 전송속도를 갖는 네트워크 통신 모듈과 115,200bps 전송속도의 RS-232C 직렬 통신 모듈을 이용해 시각 및 음향 시스템과 ABS HILS 시스템에 데이터를 전송한다.

MCONS는 운전자를 포함하는 On-line 시뮬레이션과 운영자가 직접 운전조작을 각종 버튼과 슬라이더로 입력하는 Off-line 시뮬레이션, 그리고 범용의 3축 조이스틱을 연결하여 간단하게 시뮬레이션을 수행해 볼 수 있는 조이스틱 시뮬레이션 등의 세 가지 시뮬레이션 모드를 제공한다. MCONS 실행 화면에서 좌측 상단은 초기 조건을 지정할 수 있는 초기조건부, 그 하단은 입력부, 우측은 결과를 볼 수 있는 출력부로 구분할 수 있다. 초기조건부를 통하여 시스템 운영자는 시각 시스템의 Terrain 데이터 상에서 차량의 초기 위치와 초기 속도를 지정할 수 있다. 입력부는 On-line 보드와 조이스틱 모드에서는 운전자의 운전 조작을 모니터할 수 있고, Off-line 모드에서는 운영자가 임의적으로 운전조작 명령을 입력할 수 있도록 하였다. 출력부에서 볼 수 있는 정보는 실시간 차량 시뮬레이션 시스템을 중심으로 각 서브시스템과 동적으로 상호 교환되는 모든 직렬통신 데이터와 네트워크 데이터이다. 출력은 문자와 가로 및 세로 막대 형식으로 볼 수 있으며, 상호 연관된 데이터를 동일한 Window에 나타낼 수 있도록 하여 운영자로 하여금 시뮬레이

션 상황을 용이하게 관측할 수 있도록 하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 KMU DS-1에서 축적된 차량 시뮬레이터의 개발 기술을 바탕으로 실시간 차량 시뮬레이션 시스템, 시각 및 음향 시스템, 제어 힘 로딩 시스템을 포함하는 고정 베이스의 실시

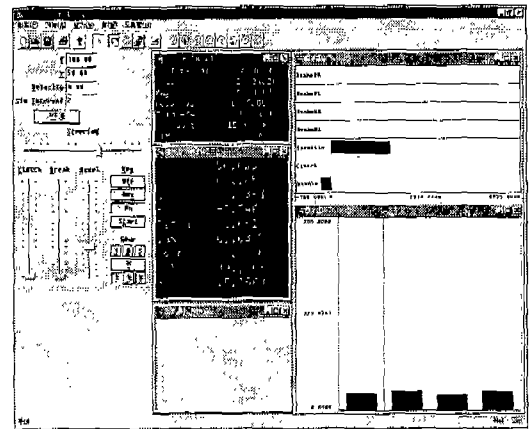


Fig. 6 MCONS(Monitoring Console Software)

간 차량 시뮬레이터를 개발하였다. 실시간으로 차량의 거동을 해석하기 위한 현실적인 서브시스템 모델을 포함하는 14자유도의 차량 모델을 개발하였고, 고해상도의 현실감 있는 3차원 컴퓨터 이미지를 30 frames/sec 이상의 Refresh rate로 운전자에게 전달하는 시각 및 음향 시스템을 개발하였다. 운전자의 차량 조작 행위를 검출하고, 차량 거동에 따라 실차 주행 상황과 유사한 조작 느낌을 주는 제어 힘 로딩 시스템을 개발하였으며, 각 서브 시스템들이 효과적으로 통합되고 관리하기 위한 시스템 통합 기술을 적용하였다.

본 연구에서 개발된 차량 시뮬레이터는 Full-Scale 차량 시뮬레이터의 설계, 평가를 위한 기반기술을 확보는 물론 ABS HILS와 같은 차량 시스템 개발 연구 및 운전자 인자 연구 등 본격적인 차량 시뮬레이터의 응용을 위하여 개발되었다. 현재 Sol/Sol Type의 ABS HCU를 이

용하여 ABS 제어 알고리즘의 개발 및 유압 특성 분석을 위한 연구를 수행 중이며, 또한 음주량 및 운전자 성향에 따른 운전자의 반응을 분석하는 연구를 수행 중이다.

## 후 기

본 연구는 1996년도 학술진흥재단 공모과제 (96 E-0602)의 일부 지원 하에 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. S. Normadick, VTI Driving Simulator: Mathematical Model of a Four-Wheeled Vehicle for Simulation in Real Time, Report 267A, Swedish Road and Traffic Research Institute, 1984.
2. S. Normadick, "The new Trygg Hansa Truck Driving Simulator: An Advanced Tool for Research and Training," AVEC'92, pp. 475-480, 1992.
3. J. Dorsdol and F. Panik, "The Daimler-Benz Driving Simulator A Tool for Vehicle Development," SAE paper 850334, 1985.
4. W. Kading and F. Hoffmeyer, "The Advanced Daimler-Benz Driving Simulator," SAE paper 950175, 1995.
5. K. Yoshimoto, et. al., "Development of Driver Behavior Model Using a Driving Simulator," AVEC'92, pp.487-492, 1992.
6. The University of Leeds Driving Simulator, Internet Documents, 1996.
7. The University of Rochester Driving Simulator, Internet Document, 1996.
8. E. J. Haug, et. al., "Virtual Prototyping Simulation for Design of Mechanical System," Journal of Mechanical Design, Vol. 117, pp. 63-70, 1995.
9. J. S. Freeman, et. al., "The Iowa Driving Simulator: An Implementation and Application Overview," SAE paper 950174, 1995.
10. E. J. Haug, et. al., Feasibility Study and Conceptual Design of a National Advanced Driving Simulator: Final Report, NHTS Report DOTHS 807596, 1990.
11. National Advanced Driving Simulator(NADS) Functional Specification Document, NHTSA, Attach A. solicitation DTNH22-93-R-07261, July 1993.
12. 이운성, 김정하, 조준희, "실시간 차량 시뮬레이터개발," '97춘계한국자동차공학회 논문집, pp.464-469, 1997.
13. J. A. Greenberg and T. J. Park, "The Ford Driving Simulator," SAE paper 940179, 1994.
14. Henry T. Szostak, R. Wade Allen, Theodore J. Rosenthal, Analytical Modeling of Driver Response in Crash Avoidance Maneuvering Vol. II: An Interactive Tire Model for Driver/Vehicle Simulation, DOT HS 807 271, 1988.
15. R. S. Wright Jr. and M. Sweet, OpenGL Superbible, Wait Group Press, 1995.