

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

이승준, 김영삼, 조권주, 김일한, 최동찬, 조준희 (국민대학교 대학원 자동차공학과)  
이운성, 김정하 (국민대학교 기계·자동차공학부)

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

S.J. Lee, Y.S. Kim, K.J. Cho, I.H. Kim, D.C. Choi, J.H. Cho  
(Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University)

W.S. Lee, J.H. Kim (School of Mechanical & Automotive Engineering, Kookmin University)

#### ABSTRACT

A fixed-base driving simulator has been developed in this study for human factor study and vehicle system development. The simulator consists of improved and synergistic subsystems including a real-time vehicle simulation system, a visual/audio system and a control force loading system. This paper describes the system components and its applications such as hardware-in-the-loop simulation for ABS(Antilock Brake Systems) and DIS(Distributed Interactive Simulation).

주요기술용어 : Driving Simulator(차량 시뮬레이터), Antilock Brake Systems, Distributed Interactive Simulation

#### 1. 서론

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 및 운전자의 반응을 분석하여 차량의 안전도 향상, 소비자의 반응 예측, 그리고 교통안전 향상을 도모할 수 있는 종합적인 개발 도구이다.

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

대표적인 PC-Base 차량 시뮬레이터인 STI 시뮬레이터는 트럭 운전자의 피로 연구, 운전자의 주위 상황 감지 연구, ISIS(In-Vehicle Signing and

Information System)연구 등에 응용되고 있으며, 최근 Prototyping과 HILS 시스템 등에 적용하기 위한 시뮬레이터를 개발하였다[1]. 영국의 Leeds 대학의 시뮬레이터(LADS)는 시뮬레이터 개발 연구, 실제 상황과의 비교를 통한 시뮬레이터 유효성(Validation) 연구 등의 목적에 이용되고 있으며, 특히 경찰차 또는 구급차 등 긴급 차량(Emergency Vehicles)의 사이렌 소리에 대한 연구를 통해 타차량의 운전자가 쉽게 인지할 수 있는 효과적인 경보 시스템의 개발과 도심 교통 상황에 맞는 자동 속도 제어 시스템 개발 등과 같은 특정 연구 수행에 적용하기도 한다[2]. 미국의 Iowa 대학의 시뮬레이터는 AHS(Automated Highway System)의 설계 및 적용, 충돌 및 도로 이탈 경보 시스템 개발 등에 적용되고 있는 대표적인 대규모 시뮬레이터이다[3]. 연구소 중심의 시뮬레이터는 특정 연구 및 시스템 개발의 목적에 맞게 여러 가

지 형태를 보인다. 미국의 DRI(Dynamic Research Inc.) 시뮬레이터는 여러 가지 도심 또는 교외 주행 시나리오를 통해 운전자의 조향 및 각종 페달 조작 형태를 연구하여 올바른 운전 습관에 대한 대안 제시와 도로 안내 시스템 또는 내비게이션 시스템에 대한 연구 수행에 이용되고 있다[4]. 자동차 회사의 경우 주로 자사 차량의 성능 평가 및 설계 반영에 필요한 데이터 수집에 이용하고 있다. 프랑스의 Renault사는 Prometheus라는 특정 모델에 적용하기 위해 Intelligent Cruise Control System 개발에 이용하였고[5], 일본의 Mazda사는 충돌 상황을 설정하여 경보 시스템의 유무에 따른 제동 응답을 측정하여 그 유효성을 확인한 바 있다[6]. 차량 시뮬레이터에 대한 관심을 증폭시킨 Daimler-Benz 시뮬레이터는 미끄러운 도로에서 후륜 구동(Rear-Wheel Drive) 차량과 4륜 구동(4-Wheel Drive) 차량의 거동을 비교하였고, 음성 주행(Speech Input in Cars) 시스템을 적용하여 그 가능성을 타진해 보기도 하였다. 또한 Bosch와 공동 개발한 VDC(Vehicle Dynamic Control)의 초기 개념 설계 시 그 효과를 검증하였고, 특히 사고 재현(Accident Reconstruction) 기능을 통해 교통사고의 사후 처리 및 사전 예방 연구를 수행하기도 한다[7]. 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 예방을 각종 법규 제정 및 지능형 수송 시스템에 관련된 연구를 수행할 예정이다[8].

본 논문에서는 운동베이스 차량 시뮬레이터 KMU DS-I[9]을 통해 축적된 개발 기술을 바탕으로 새로이 개발된 고정베이스 차량 시뮬레이터(Fixed-Base Driving Simulator) 및 이를 이용한 차량 시스템 개발 및 운전자 인자 연구 등의 차량 시뮬레이터 응용에 관하여 기술하고자 한다.

## 2. 시스템 구성

차량 시뮬레이터의 설계에 있어서 응용 분야의 선정은 전체 시스템의 구성과 형태, 목표 사양 및 개발비 등을 좌우하게 된다.

본 연구에서 개발된 차량 시뮬레이터는 차량 시

스템 개발 연구 및 운전자 인자 연구 등 본격적인 차량 시뮬레이터의 응용을 위하여 개발되었다.

차량 시뮬레이터를 다양한 응용 분야에 적용함에 있어서 그 목적에 따른 기능의 가감을 신속하게 수행하고, 범용성 및 확장성 그리고 시스템 유지보수를 고려하여 차량 시뮬레이터를 구성하는 각 서브 시스템을 모듈화하여 설계하였다. 차량 시뮬레이터의 각 서브 시스템은 그 기능에 따라 크게 차량 거동 해석을 위한 실시간 차량 시뮬레이션 시스템, 운전자의 조작 행위를 검출하고 이에 상응하는 적절한 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 차량 시뮬레이터(이후 KMU DS-II라 칭한다)를 개발하였다. 표 1은 KMU DS-II의 상세 사양을 보이며, 그림 1과 2는 본 연구에서 개발된 차량 시뮬레이터의 구성도 및 외형을 나타내고 있다.

### 2.1 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.

본 연구에서는 10자유도 차량 모델에 대한 운동 방정식을 3차원 강체의 선운동량과 각운동량을 이용하여 수립하였다[10]. 이 운동 방정식을 토대로 타이어의 회전까지 포함하는 14자유도의 전차량 모델을 개발하고 이를 실시간 차량 시뮬레이션 시스템에 적용하였다. STI 타이어 모델[11], 동력전달계 모델, 엔진 모델, 토크 컨버터와 드라이브 트레인을 포함하는 변속기 모델, 차륜의 조향각을 출력하는 조향 모델, ABS HILS(Hardware-in-the-loop simulation)을 고려한 제동모델 및 공기 저항모델 등으로 각 서브시스템

Table 1. KMU DS-II Specifications

Simulator Platform	- Mid-scale fixed-base driving simulator
Cab	- HMC Elantra M/T (2 seats with E/G room)
Vehicle Model	- In-house 14 D.O.F. model, STI tire model
Visual System	- In-house 3D Graphic generation software - General-purpose PC-base Image Generator with 3D graphic accelerator(AGP 3D Labs Glint GMX2000) - Over 30 frames/sec refresh rate - Fujitsu LPF-3200 SVGA LCD Projector - High gain grass bead screen - 1ch. 60(H)×40(V) degrees F.O.V. - 4ch. 180(H)×40(V) degrees F.O.V. including rear view - Collision detection and scenario control algorithm including moving components
Audio System	- In-house Audio generation software - Creative Labs Sound Blaster AWE32
Control Force Loading System	- High-frequency feedback controller (2MCUs used) - Full-instrumentation - Highly realistic reaction torque & force generation
Motion System	- Not available yet
Communication	- 10Mbps Ethernet, 115,200bps RS-232C

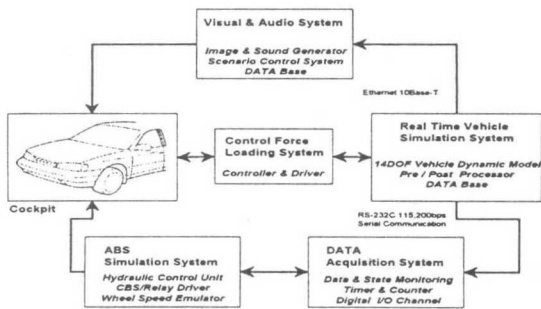


Fig. 1. KMU DS-II Functional Diagram

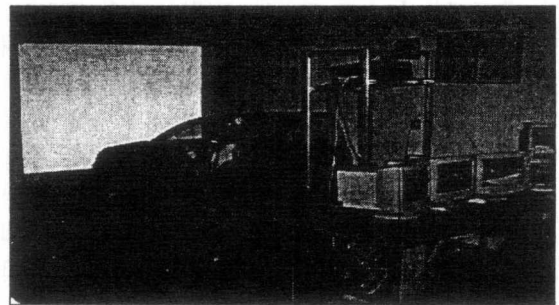


Fig. 2. View of the KMU DS-II

을 모듈화하여 모델링 하였다.

실시간 시뮬레이션에서 특히 고려해야 할 수치 적분 기법은 3차 Adams-Bashforth 기법을 이용하였으며, 데이터 통신 및 시뮬레이션 수행 시간 등에 의한 시간지연이 시뮬레이션의 안정화에 영향을 미치지 않게 일정한 적분 스텝이 유지되도록 하였다.

## 2.2 시각 및 음향 시스템

운전자가 실제적인 주행 감각을 느끼고 각 상황에 따른 정확한 반응을 유도하기 위해서는 고해상도의 그래픽 처리가 필수적인데, 이는 이미지를 생성하는 부분과 생성된 이미지를 영상하는 부분으로 구분 할 수 있다.

본 연구에서는 Pentium-II 프로세서를 사용하는 PC에 AGP 방식을 지원하는 그래픽 가속기를 사용하여 경제적이면서도 고성능의 그래픽 이미지를 생성하는 시각 및 음향 시스템을 구성하였다. OpenGL 1.1[12]과 Texture Mapping 기법을 이용하여 초당 약 30 frame 이상의 연속적인 고해상도의 3차원 영상을 생성하는 이미지 생성 프로그램을 개발하였다. 운전자의 충분한 시야를 확보하기 위하여 3채널 이상의 다중 이미지가 생성될 수 있도록 프로그램 하였으나 (그림 3), 현재는 영상 시스템의 개발 가격을 고려하여 1채널의 수평 60°, 수직 40°의 FOV(Field of View)를 갖도록 시스템을 구축하였다.

본 연구에서 개발된 KMU DS-II의 시각 및 음향 시스템에는 교행하는 타 차량과의 상호작용 처



리 기능이 추가되었다. 이는 운전자가 교행하는 타 차량에 접근하면 그 차량은 이벤트 발생 조건을 만족하는 경우에 차선 변경, 속도 변화, 경적음 발생 등의 이벤트 처리를 하게 된다. 이러한 기능은 간단한 시나리오 제어 기법이지만 다양한 형태의 운전자 인자 연구에 필수적으로 포함되어야 하는 기능이다. 그림 4는 본 연구에서 개발된 대표적인 시각 시스템의 이미지를 나타내고 있다.

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

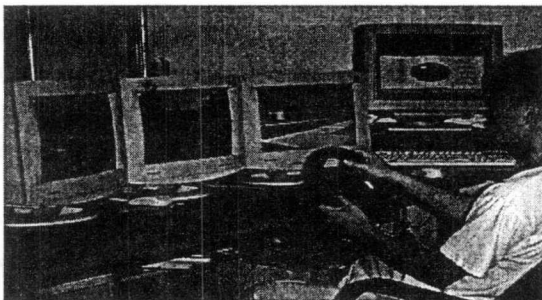


Fig. 3. 3 Channel Visual System

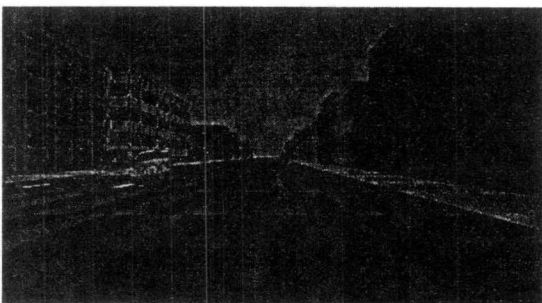


Fig. 4. Typical Graphic Image

### 2.3 제어 힘 로딩 시스템

본 연구에서 개발된 제어 힘 로딩 시스템은 운전자의 조작 행위를 검출하는 변위 검출부, 운전자에게 반력 및 반토크를 피드백 하는 운동 재현

부 및 신호를 처리하고 전달하는 통신부로 구분된다. 시스템의 정확하고 빠른 작동을 위하여 어셈블러로 운영되는 2개의 8비트 마이크로 프로세서와 AD/DA 모듈, 직렬 통신 모듈 등을 이용하여 차량 시스템의 각 기구부 제어 및 통신 그리고 시스템 통합 관리 기능을 갖는 컨트롤러를 개발하였다.

Rotary Encoder와 Potentiometer, Pressure Transducer 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 KMU DS-I에 적용된 주행상태 정보를 근거로 실험 데이터로 만들어진 Map을 참조하는 방식을 개선하여, 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 개발하였다.

본 연구에서는 현대자동차의 90년식 엘란트라 1.5 GLSi 수동 변속기 차량의 1/2을 절단하여 Cockpit을 구성하였다.(그림 5)

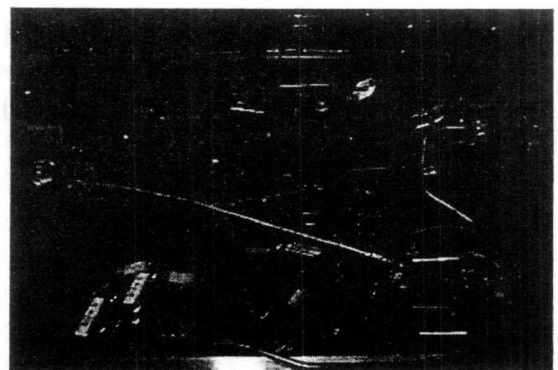


Fig. 5. View of Control Force Loading System

### 3. 시스템 통합

운전자가 실제의 주행 환경 내에서 실제 차량을 운전하고 있다는 현실감을 갖게 하기 위해서는 각 서버 시스템의 정보 및 데이터를 동적으로 상호 교환하고, 동기화 등을 전체 시스템의 관점에서 관리하고 운용하는 시스템 통합 기술이 필수적이다. 또한 시스템의 동작 상태 및 원하는 데이터를 실시간으로 수집할 수 있도록 후처리 기능이 강화되어야 하며, 운영자가 원하는 상태로 시스템 초기화가 상시 가능하고, 데이터베이스 구축이 용이하여 주행 시나리오 구성에 제약이 없어야 한다. 본 연구에서는 Windows NT Workstation 4.0을 실시간 운영체제로 선정하고, 10Mbps의 전송 속도를 갖는 Ethernet 및 RS-232C 직렬 포트를 이용하여 각 서버 시스템 간의 통신 및 데이터를 교환하는 프로그램을 개발하였다. 그리고 개발된 차량 시뮬레이터에 ABS를 위한 HILS 시스템과 조이스틱을 이용하여 시스템 운영자에 의한 외부 입력이 가능한 형태의 DIS(Distributed Interactive simulation)시스템을 통합하여 적극적인 차량 시뮬레이터의 응용을 모색하고자 하였다.

#### 3.1 MCONS(Monitoring Console System)

KMU DS-I에서는 사용자 편의를 강화한 다양한 라이브러리와 GUI(Graphic User Interface)의 장점을 가진 LabVIEW 소프트웨어를 이용하여 시스템 운영 프로그램을 구축하였다. 그러나 Polling 기법을 사용하는 LabVIEW의 프로그램 특성으로 인해 직렬통신에서 고속의 안정적인 데이터 전송이 불가능하였고, 시스템 오동작 방지를 위한 적극적인 대응이 어려우며, 수치해석적 측면에서 안정적인 적분 스텝을 보장하지 못하는 등 실시간 시스템 적용에 한계가 있었다. 따라서 KMU DS-II에서는 위에서 언급한 문제점을 해결하기 위해 MFC[13]를 이용하고, Visual C++ 5.0으로 컴파일한 MCONS(Monitoring Console)라는 프로그램 개발과 직렬 통신 모듈의 개선 결과, Pentium-II 233 MHz의 PC상에서 2msec의 고정 스텝으로 안정된 시뮬레이션이 가능하였고, 정확하고 빠른 데이터 전송을 실현하였다. 또한 각종 시뮬레이션 결과 및 운전자의 차량 조작 상태를 용이하게 관찰할 수 있도록 후처리를 강화한 MCONS v2.0을 개발

하였다. 현재 ABS HILS를 위한 모듈을 추가한 MCONS v3.0을 개발 중인데, 각종 시뮬레이션 결과 및 데이터를 프로그램 수행 속도에 영향을 미치지 않으면서도 실시간으로 저장할 수 있도록 Multi-Thread 프로그래밍 기법을 도입하고, 사용자 편의 기능을 대폭 향상시키는 등의 프로그램 최적화가 수행될 것이다.

#### 3.2 ABS HILS 시스템

차량의 성능 향상을 위한 능동제어 시스템인 ABS는 시스템 고유의 비선형적 특성을 반영하는 수학적 모델의 수립이 어렵고, 차량의 안전성을 좌우하는 제동 시스템이기 때문에 그 개발 과정에 있어서 실차 시험이 필수적이다. 이러한 이유로 시제품 제작 및 시험에 따른 비용손실, 개발 기간, 실차 시험의 위험성 등 그 개발에 있어서 여러 가지 어려운 점을 내포하고 있다. KMU DS-II는 이러한 점을 극복하기 위하여 최근 활발히 연구되고 있는 HILS의 기능을 통합하여 시험 공간을 주행장에서 실험실로 옮기는 효과를 넘으로써, 번거로운 실차 시험을 크게 보완할 수 있으며 초기 개발 단계에서부터 효율적이고 체계적인 연구를 가능하게 하였다.

실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 결과를 토대로 ABS 구동을 위한 제어 신호를 발생시켜, 실제 차량의 거동을 기본 입력으로 제어를 수행하는 실제 ABS 시스템의 방식을 그대로 재현하였다. 또한, 신호의 전달 방식에 유연성을 고려하여 설계하였기 때문에, 실제 차량에 장착하는 상용 ECU를 번거로운 시스템 변동 없이 차량 시뮬레이터 루프 내부에 포함하여 그 성능 및 알고리즘 평가를 할 수 있도록 하였다. 이러한 방식은 ABS 개발뿐만 아니라 일반 운전자에게 극한 상황에서 ABS 작동을 체험하도록 하여 ABS의 효율적인 사용을 유도하는 등의 기대효과가 있을 것으로 예상된다.

#### 3.3 DIS(Distributed Interactive Simulation)

Network 기술의 발달로 항공 시뮬레이터 및 게임 분야를 중심으로 시뮬레이션 응용분야에 최근 활발히 적용되고 있는 것이 DIS(Distributed Interactive Simulation)이다. 이는 동일 Network



에 다수가 참여하여 동일한 데이터베이스를 공유하여 시뮬레이션을 수행하면서 서로 상호작용을 하는 것을 말한다. 운전자 인자 연구를 위한 차량 시뮬레이터의 적용에 있어서 다른 차량과의 상호작용은 필수적이며, 이러한 상호작용을 구성하는 방법은 여러 가지 방법이 있을 수 있으나, DIS와 같이 다수의 시뮬레이터가 서로 상호작용을 주고받는 방법이 현실감 측면이나 다양한 시나리오를 구성할 수 있다는 점에서 가장 효과적인 방법이 될 것이다. KMU DS-II에서는 실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 운영 프로그램인 MCONS에 조이스틱 연결 기능을 추가하여 두 대의 차량이 같은 데이터베이스를 공유하면서 동시에 시뮬레이션이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 또한 Network를 통한 데이터 전송에 무리가 따르지 않는 범위에서 동시에 시뮬레이션에 참여할 수 있는 차량의 수에 제한이 없도록 시스템을 구축하였다. 이로 인하여 다양한 운전자 인자 연구를 수행할 수 있고, 기대되는 차량 시뮬레이터의 응용 분야에 대한 가능성을 타진할 수 있다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서 개발된 차량 시뮬레이터는 Full-Scale 차량 시뮬레이터의 설계, 평가를 위한 기반기술을 확보는 물론 ABS HILS와 같은 차량 시스템 개발 연구 및 DIS를 이용한 운전자 인자 연구 등 본격적인 차량 시뮬레이터의 응용을 위하여 개발되었다. 현재 Sol/Sol Type의 ABS HCU를 이용하여 ABS 제어 알고리즘의 개발 및 유압 특성 분석을 위한 연구를 수행 중이며, 또한 체계적인 DIS 운영을 통한 운전자 인자 연구를 준비중이다.

#### 참고문헌

- [1] R. Wade Allen, et. al., "A Low Cost PC Base Driving Simulator for Prototyping and Hardware-In-The-Loop Applications," SAE Paper 980222, 1998.
- [2] E. Blana, *The Leeds Advanced Driving simulator: three years in operation*, Working Paper No 472, Institute for Transport Studies, The University of Leeds, 1996.
- [3] J. S. Freeman, et. al., "The Iowa Driving Simulator: An Implementation and Application Overview," SAE papaer 950174, 1995.
- [4] D.H. Weir and S.M. Bourne, "An Overview fo the DRI Driving Simulator," SAE Paper 950173, 1995.
- [5] J. Kelada and A. Kemeny, "Event-driven traffic generation -a tool for testing on-board driver assistance system on driving simulator," Proceedings of the 3rd International Conference: Vehicle Comfort and Ergonomics No 95A1040, March 1995.
- [6] T. Suetomi, et. al., "A study of collision warning system using a moving-base driving simulator," Proceedings of the 2nd World Conference on Intelligent Transport Systems '95 pp. 1807-1812, November 1995.
- [7] S. Hahn et. al., "The Daimler-Benz Driving Simulator- Presentation of Selected Experiments," SAE 41197.20, International Congress and Exposition, 1988.
- [8] E.J. Haug et. al., Feasibility Study and Conceptual Design of a National Advanced Driving Simulator: Final Report, NHTS Repotr DOTHS 807596, 1990.
- [9] 이운성, 김정하, 조준희, "실시간 차량 시뮬레이터 개발," '97 춘계 한국자동차공학회 논문집, 1997, pp.464-469.
- [10] 김영삼, 이운성, 김정하, "차량 시뮬레이터를 위한 실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 개발," '98 한국자동차제어학술회의, 1998.
- [11] 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.
- [12] R. S. Wright Jr. and M. Sweet, *OpenGL Superbible*, Wait Group Press, 1995.
- [13] Microsoft Visual C++ Programming with MFC, Microsoft Press, 1997.