

## PC 베이스의 실시간 차량 시뮬레이션

조준희, 최동찬, 유승철, 이운성

국민대학교 자동차공학 전문대학원

### PC-Based Real-Time Driving Simulation

J.H. Cho, D.C. Choi, S.C. Yoo and W.S. Lee

Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University

#### ABSTRACT

Real-time driving simulation is a comprehensive technology that can be applied effectively to vehicle and traffic safety improvement, by reproducing various driving conditions and situations realistically in a safe and controlled environment. This paper describes PC-based real-time driving simulation technology in terms of design factors and simulation components. It also introduces Kookmin University Driving Simulators developed based on these considerations, which have been applied effectively to ABS HILS and a human factor study concerning sudden acceleration accident reconstruction.

#### 1. 서론

인간과 환경을 고려하고, 자동차 개발 기간 및 비용을 대폭적으로 단축하는 첨단 자동차 기술에 대한 요구는 시뮬레이션에 기반을 둔 일관적인 설계, 개발 및 평가 기술을 필요로 한다. 가상현실과 자동차공학이 융합되는 차량 시뮬레이션은 가상의 주행 및 시험 환경을 구축하고, 이를 이용하여 인간의 반응 및 감성까지 포함하여 실차 시험과 같은 효과를 안전하고, 효율적으로 얻을 수 있게 하는 종합적인 첨단 기술이다.

이러한 차량 시뮬레이션을 가능케 하는 차량 시뮬레이터는 운전자가 자동차를 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 가감속 페달 조작 등을 통해 야기되는 차량의 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 가상현실 장비이다. 차량 시뮬레이터는 실제 주행 하에서 운전자의 생명을 위협하기 때문에 불가능한 여러 위급 상황까지 안전하게 재현함으로써 차량 전자제어시스템 개발, 도로교

통 안전 연구, 운전자인자 연구 및 지능형교통시스템 연구 등에 효과적으로 응용된다.

본 논문에서는 실시간 차량 시뮬레이터를 개발함에 있어서 반드시 고려해야 하는 설계 인자와 시뮬레이션 요소를 운전자에게 전달되는 큐를 중심으로 기술하며, 이러한 설계 절차를 근거로 본 연구팀에 의해 개발된 실시간 차량 시뮬레이터를 소개한다. 본 연구팀의 시뮬레이터는 급속도로 발달하고 있는 PC 기술을 기반으로 하여 개발되어 경제적이며, 또한 시뮬레이터의 하드웨어와 소프트웨어가 효율적으로 통합되어 매우 높은 현실감이 확보되는 장점을 가지고 있다.

#### 2. 실시간 차량 시뮬레이션의 설계 인자

실시간 차량 시뮬레이션을 위한 시스템의 설계시 우선적으로 고려해야 할 사항은 응용 분야이다. 이는 전체 시스템의 구성과 형태, 개발비용 및 목표 사양이 응용 분야에 따라 크게 달라지기 때문이다. 선진국의 차량 시뮬레이터는 차량시스템의 개발, 위험하고 제한적인 상황에서의 운전자와 차량의 상호 작용 연구, 지능형 수송시

스텝의 개념 연구 등의 응용 분야에 따라 차량 시뮬레이터의 구성과 성능을 달리하고 있다 [1~6].

차량 시뮬레이터의 유효성을 좌우하는 현실감의 확보 여부는 운전자에게 전달되어지는 각종 큐의 건설도에 좌우되며, 운전자의 제어 응답과 큐를 생성하는 각종 서브시스템의 관계에 의해 결정된다. 따라서 차량 시뮬레이터를 설계함에 있어서 시뮬레이션 요소를 정의하고, 상호 작용하는 관계를 면밀히 검토하는 것은 대단히 중요하다. Fig. 1은 운전자와 차량이 페루프를 구성하는 차량 시뮬레이터에서 운전자가 주로 인지하는 감각적 신호를 생성하고 제어하는 여러 가지 시뮬레이션 요소들을 나타내고 있다. 운전자의 차량 조작 행위를 검출하고 이를 입력신호로 하여 차량동역학 시뮬레이션을 수행하며, 이를 통해 산출된 차량의 위치, 회전, 속도 및 가속도 등의 해석 결과를 다양한 큐를 생성하는 경로에 전달한다. 각 서브시스템 및 시스템 통합에 있어서 고려해야 하는 중요한 시뮬레이션 요소는 다음과 같다.

### 2.1 실시간 차량 시뮬레이션 시스템

차량 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 운전 중 조작하는 조향 휠, 액셀레이터 및 브레이크 페달 등으로부터 입력을 받아 실시간으로 차량의 운동을 예측하고, 그 결과를 시각, 음향 및 운동시스템에 전달하여 필요한 시각 및 운동 큐를 생성케 하는 실시간 차량시뮬레이션 시스템은 차량 시뮬레이터의 핵심 요소이다.

차량 시뮬레이터에 적용되는 차량모델은 현실성 확보와 실시간 시뮬레이션의 서로 상충되는 조건을 만족시켜야 한다. 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 행하는 모든 주행 조작으로부터 발생하는 차량의 운동을 예측하기 위하여, 차량모델은 기본적인 사시 및 현가장치 뿐만

아니라, 엔진, 구동장치, 조향장치, 제동장치 등의 각 서브시스템도 포함하여야 한다. 실시간 차량동역학 시뮬레이션 시스템은 차량의 정지상태에서부터 시동 및 가속, 조향이나 제동 등 운전자가 경험할 수 있는 모든 운전 조건을 실시간이 요구하는 시간적인 구속조건을 만족하는 범위에서 정확히 시뮬레이션 하여야 한다. 이러한 구속요건을 만족하기 위해서는 매 스텝의 계산량이 예측 가능하여야 하고 변하지 않아야 하며, 다른 서브시스템과 동기화가 이루어져야 한다. 또한 유압 및 전자시스템 등의 동특성도 고려해야 할 경우에는 이러한 시스템의 Stiffness 및 고주파수의 응답에 효과적으로 대처할 수 있는 수치적분 기법이 필요하게 된다.

### 2.2 시각 및 음향 시스템

운전자는 주로 시각을 통해 주행 상황 및 환경을 인지하므로 차량 시뮬레이터에서 운전 현실감을 확보하기 위한 가장 중요한 요소는 시각 시스템이다. 운전자가 실제적인 주행 감각을 느끼고 각 상황에 따른 정확한 반응을 유도하기 위해서는 그래픽 이미지의 연속성을 확보하는 3차원 그래픽 처리가 필수적이다. 그래픽 프로그램에 있어서 어떠한 도형을 화면에 나타내는 것은 모든 점들의 공간상의 위치를 정의하고, 그 점들이 화면상에서 어떠한 위치를 차지하는가를 결정하는 것이 그 기본 요소라고 볼 수 있다. 3차원 그래픽을 생성함에 있어서 이러한 좌표 변환은 대단히 복잡한 연산을 동반하게 되므로, 이를 별도의 그래픽 가속기에서 하드웨어적으로 처리하여야 한다.

이미지 영사시스템은 충분한 Field of View가 확보되어야 하며, 영사화면의 해상도나 밝기, 스크린의 종류 및 투시방법과 시스템 가격 등도 고려되어야 한다.

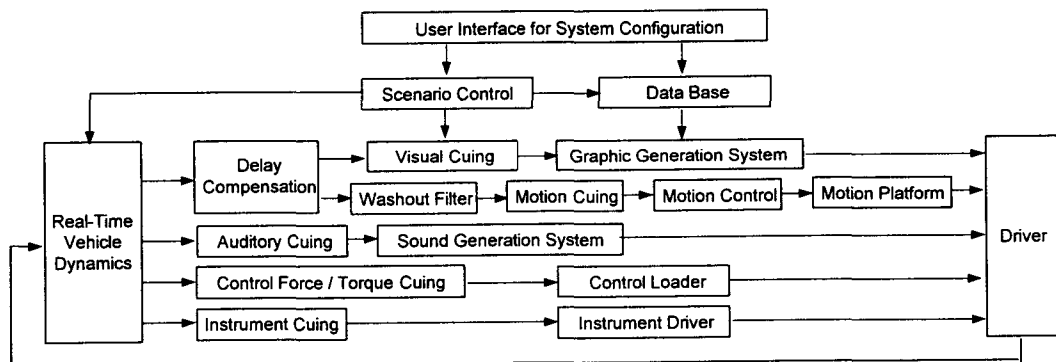


Fig. 1 Interactive Driving Simulation Components

운전자의 기기작동 및 차량의 상황에 따른 타이어, 엔진, 차체, 각종 구동부 및 주변 상황의 소음을 재현하는 음향시스템 또한 현실감을 더하는 요소 중의 하나이다.

### 2.3 운동 시스템

차체의 가속도 및 선형 가속도를 통하여 느끼는 승차감 및 핸들링 특성 등을 재현하는 것이 운동시스템이다. 그러나 운전자의 감각으로 느끼는 운동시스템의 높은 민감도에 의해 자칫하면 운전자 기능과의 상충 및 멀미 등의 역효과를 가져올 수 있으므로 차량 시뮬레이터에서 운동시스템의 포함 여부는 신중히 고려해야 한다.

운동시스템의 개발에 있어서 우선적으로 고려할 사항은 이의 기구학적 설계이다. 대규모 시뮬레이터의 경우 6자유도 운동을 생성하는 Stewart 플랫폼을 토대로 레일을 이용하여 운동범위를 넓히고 있으나[4,5], 적용 목적에 따라 제한된 자유도를 갖는 구조의 운동 플랫폼[6]도 이용되고 있으므로 재현하고자 하는 주행 시나리오, 운동범위, 적용목적에 따른 구조를 면밀하게 검토하여 설계하여야 한다.

운동 플랫폼의 운동을 정확히 제어하여 제한된 운동범위 내에서도 실제와 유사한 차량 운동을 생성하고, 주행시나리오를 정확하게 재현하기 위해서는 우수한 성능을 가진 구동로직이 필요하다. 구동 로직은 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째는 운동 플랫폼의 제한된 운동영역 안에서 실제와 유사한 차량의 운동을 운전자가 경험할 수 있도록 새로운 운동 큐를 생성하는 Washout 알고리즘이다. 이는 운동 플랫폼의 물리적인 한계 내에서 운동을 제한하는 것과 운전자에게 전달되는 운동 큐를 운동 감지 영역 내로 유지시키는 역할을 한다. 두 번째 로직은 Washout 알고리즘으로부터 나오는 플랫폼의 목표운동을 제어하여 정확하게 재현하는 제어알고리즘이다.

### 2.4 제어 힘 로딩 시스템

운전자의 운전 조작행위를 정확히 검출하여 시스템에 전달하고, 부가적으로 실제감을 느끼게 하기 위하여 계기판에 차량의 주행상태 정보를 적절히 표시하며, 각종 운전 조작부가 실차와 같은 느낌이 들도록 운전자에게 반력 및 반토크를 피드백하는 것이 제어 힘 로딩 시스템이다.

현실감 측면에서 조향 핸들에 전달되는 반토크의 재현은 중요하며, 이는 기본적으로 조향 시스템의 특성 및 주행 패턴에 의해 결정된다. 촉각은 인체의 다른 감각보다 예민하게 반응하므로 제어 힘 로딩 시스템은 빠른 재현률(Update Rates)로 큐를 전달하여야 한다.

### 2.5 시스템 통합

차량 시뮬레이터의 개발은 운전자가 차량 운전 중 조작하는 모든 행위를 검출하여 차량의 거동을 실시간으로 해석하며, 이를 운전자에게 적절한 운동 및 시각적 신호로 변환하여 전달하여야 하는 고난이도의 시스템 통합 기술을 필요로 한다. 각 서브시스템의 정보 및 데이터를 동적으로 상호 교환하고, 동기화 등을 전체 시스템의 관점에서 관리하고 운영하는 시스템 통합은 시뮬레이터의 초기 개념설계 단계에서부터 신중히 고려되어 시뮬레이터의 성능이 극대화 될 수 있도록 하여야 한다.

차량 시뮬레이터에서 운전자에게 현실감을 부여하기 위해서는 운전자에게 전달되는 모든 시각, 청각 및 운동 큐가 운전 조작행위에 기인하여 예측되는 감각적 결과와 어떠한 지연 없이 반드시 일치하여야 한다. 그러나 이러한 트랜스포트 지연은 각 서브시스템에 가해진 입력과 이에 반응하여 얻어지는 시간간격으로 인해, 시뮬레이션을 수행하는 환경에서는 필연적으로 발생하는 요소이다. 따라서 최소한의 지연을 갖도록 시스템을 설계하여야 하며, 필요시 이를 보상하여 동기화를 꾀하는 보상기법을 적용하여야 한다.

## 3. PC-Base의 차량 시뮬레이터 개발

Fig. 2와 3은 본 연구팀이 개발한 차량 시뮬레이터인 KMU DS-1과 KMU DS-2의 모습을 나타내고 있다. KMU DS-1은 실시간 차량 시뮬레이션 시스템, 시각 및 음향 시스템, 운동 시스템, 제어 힘 로딩 시스템 및 시스템 통합 등 Full-scale의 차량 시뮬레이터가 갖는 모든 구성 요소를 포함하면서도, PC를 기반으로 경제적이면서도 효과적인 성능을 보이는 차량 시뮬레이터이며, 1997년에 국내에서 최초로 개발되었다[7].

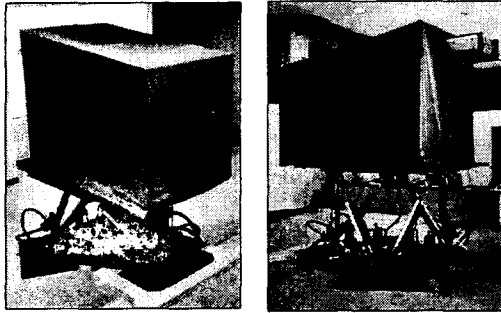


Fig. 2 KMU DS-1

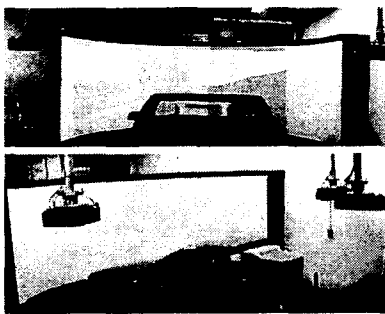


Fig. 3 KMU DS-2

KMU DS-2는 KMU DS-1의 개발을 통해 습득한 기술과 경험을 토대로 차량제어 시스템 개발, 지능형 교통 시스템 연구 및 운전자 인자 연구 등 더욱 다양한 응용분야에서의 활용을 목적으로 개발한 Mid-Scale의 고정형 차량 시뮬레이터이다[8]. 1998년말에 개발되었으며, 지속적으로 각 서브시스템의 성능 향상을 위한 개발 작업이 추진되었다. ABS(Anti-lock Brake System) HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation)를 통한 제어 로직 개발 연구[9], 음주 운전에 의한 운전자 반응 연구 등에 활발히 적용되고 있다[10]. 최근에는 급발진 사고를 재구성하여 위급한 상황에서의 운전자 반응 및 조작 행태를 분석하는 실험을 수행하고 있다. Fig. 4는 본 연구팀이 2001년 2월 완공을 목표로 개발 중인 KMU DS-3의 시스템 구성 및 개념을 나타내고 있다.

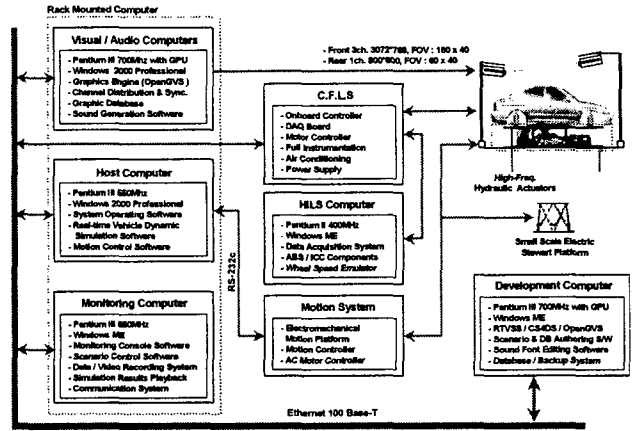


Fig. 4 Functional Diagram of the KMU DS-3

14자유도의 차량 모델(Fig. 5)을 토대로 개발된 실시간 차량 시뮬레이션 시스템은 출발, 주행, 정지 등 운전자 차량의 조작 중에 발생 가능한 모든 주행 상황의 정확한 모사가 가능하도록 구축되었다. 동력전달계는 엔진, 변속기, Drivetrain으로 나누어 모델링 하였다. 엔진 모델은 엔진에 흡입되는 공기 및 연료의 유량, 엔진속도 등을 상태변수화하여 수치적으로 해석하였다. 변속기는 토크 컨버터와 변속기 기구부를 포함하며, 드라이브 트레인은 종감속 구동축의 회전속도를 입력으로 하는 비틀림 스프링으로 가정하여 모델링 하였다. 조향모델은 운전자의 조향 휠 입력과 전륜 휠에 작용하는 Aligning Torque에 의한 컴플라이언스 특성을 고려하여 차량의 조향 각을 출력하도록 모델링 하였다. 제동모델은 ABS HILS가 가능하도록 능동형 브레이크 제어 로직을 포함하고 있다. 부가적으로 차량의 공기 및 구름저항 모델을 추가하여 시뮬레이션의 현실감을 극대화하였다.

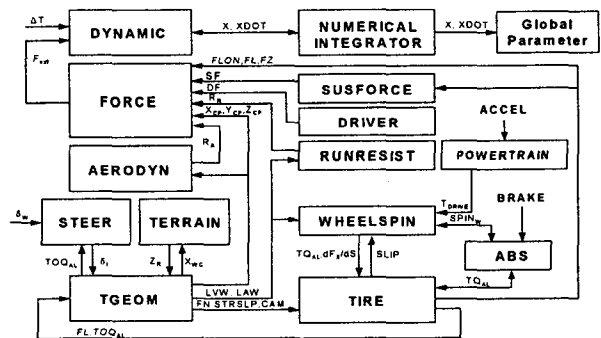


Fig. 5 Real-Time Vehicle Dynamic Module Structure

실시간 시뮬레이션에서 특히 고려해야 할 수치 적분

기법은 3차 Adams-Bashforth 기법을 이용하였으며, 데이터 통신 및 시뮬레이션 수행 시간 등에 의한 시간 지연이 시뮬레이션의 안정화에 영향을 미치지 않게 Pentium Pro 300MHz 이상의 PC에서 2msec의 일정한 적분 스텝이 유지되도록 하였다. Fig. 6은 실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 운용 프로그램을 나타내고 있다.

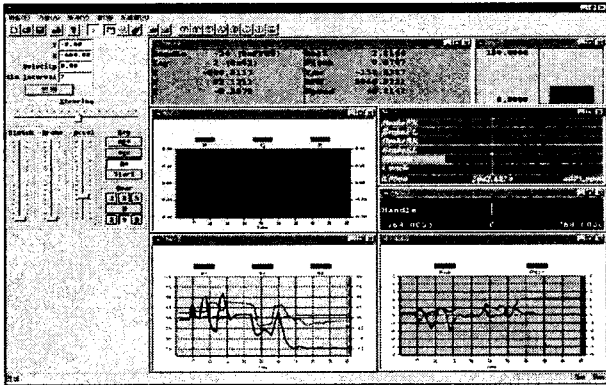


Fig. 6 Vehicle Simulation Monitoring Console

Pentium-III 550MHz PC에 GeForce2 64MB 그래픽 카드를 사용하여 경제적이면서도 고성능의 그래픽 이미지를 생성하는 시각 및 음향 시스템을 구성하였다. OpenGL과 Glide 및 OpenGVS를 이용하여 3차원 영상을 생성하는 이미지 생성 프로그램을 각각 개발하였으며, 이러한 결과로 1024×768 해상도 기준으로 초당 30 frame이상의 연속적인 고해상도의 이미지가 생성된다. 운전자의 충분한 시야를 확보하기 위하여 3채널 이상의 다중 이미지가 생성될 수 있도록 프로그램 하였으며, 180°×40° FOV(Field of View)를 갖도록 영상 시스템을 구축하였다. 이미지 영사를 위해 최대 1600×1280의 해상도를 지원하는 NEC MT1040 LCD Projector를 사용하였다. Fig. 7은 본 연구에서 개발된 대표적인 시각 시스템의 이미지를 나타내고 있다.

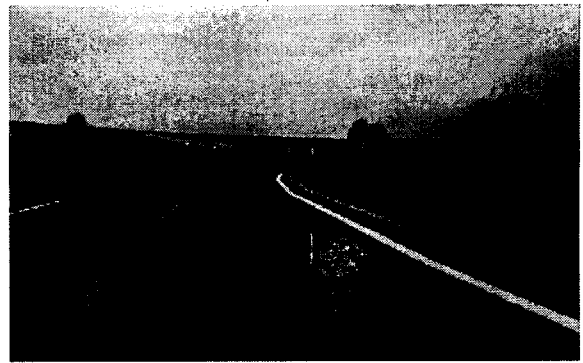


Fig. 7 Typical Driving Scene

음향 시스템은 차량 주행 중 발생할 수 있는 각종 소리를 디지털 방식으로 녹음하고 샘플링 하여 음원을 만들고, 이 음원을 Microsoft Direct Sound 기술을 응용하여 재생하는 음향 생성 엔진을 개발하였다.

유압 시스템으로 구동되는 6자유도의 Stewart 플랫폼으로 구성된 KMU DS-1의 운동 시스템은 차량의 각속도 및 선형가속도를 이용하여 운전자가 느끼는 승차감 및 핸들링 특성 등을 재현한다. 차량동역학 해석 결과를 제한된 운동영역 안에서 충실히 모사하기 위하여 차량 운동의 선형가속도와 각속도를 인체감각이 감지할 수 있도록 고주파 필터링하고, Tilt Coordination을 통해 지속적인 차량의 횡가속도를 재현하기 위한 Washout 알고리즘을 개발 적용하였다.

KMU DS-2는 현대자동차의 90년식 엘란트라 1.5 GLSi 수동 변속기 차량의 1/2을 절단하여 Cockpit을 구성하였다. 각 서브시스템의 구동부와 컨트롤러는 엔진룸 안에 모듈별로 장착하여 별도의 설치 공간 없이도 작업이 가능하고, 보수가 용이하도록 하였다. 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. 실시간 차량 시뮬레이션 시스템과의 보다 빠른 통신을 위해 RS-232C 혹은 UDP 통신모듈을 선택적으로 적용할 수 있으며, 정확한 데이터 전송을 보장하는 프로토콜을 개발하였다.

#### 4. 결 론

운전자까지 포함하는 주행 및 시험 환경을 효과적으로 구축하게 하는 실시간 차량 시뮬레이션 기술은 여러 분야에 적용되고 있으며 앞으로 보다 다양한 분야에 활발하게 응용되리라고 기대된다. 본 연구팀에서도 PC 베이스의 경제적이면서도 현실감 높은 장점을 확보하도록 개발된 차량 시뮬레이션 기술을 이미 운전자 반응 연구, ABS HILS 등에 적용한 경험을 갖고 있다. 앞으로 보다 적극적으로 이러한 시뮬레이션 기술을 차량전자제어시스템 개발, 지능형교통시스템 연구, 국방 시뮬레이션 등의 다양한 분야에 응용하고자 도모하고 있으며, 이러한 응용 사례는 추후 발표할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] E.J. Haug et. al., Feasibility Study and Conceptual Design of a National Advanced Driving Simulator: Final Report, NHTS Report DOTHS 807596, 1990.
- [2] Jacques Bergeron, et. al., "Application of Driving Simulation Techniques for the Dissuasion of Alcohol-Impaired Driving", DSC'97, 1997. pp. 183-191.
- [3] Jost Bernasch and Stephen Henel, "The BMW Driving Simulator used for the Development of a Driver-Biased Adaptive Cruise Control", DSC'95, 1995. pp. 158-174.
- [4] W. Kading and F. Hoffmeyer, "The Advanced Dailmer-Benz Driving Simulator," SAE Paper 950175, 1995.
- [5] J.S. Freeman, et. al., "The Iowa Driving Simulator: An Implementation and Application Overview," SAE paper 950174, 1995.
- [6] 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.
- [7] 이운성, 김정하, 조준희, "실시간 차량시뮬레이터 개발," '97 춘계 한국자동차공학회, Vol.2, pp 464-469.
- [8] W.S. Lee, J.H. Kim, J.H. Cho and S.J. Lee, "The Kookmin University Driving Simulators for Vehicle Control system Development and Human Factor Study," DSC 99, pp. 75-86, July 1999.
- [9] 이승준, 김영삼, 조준희, 이운성, 김정하, "차량 시뮬레이터를 이용한 ABS(Antilock Brake Systems) Hardware-in-the-Loop 시뮬레이션", 제13차 한국자동차제어학회 학술대회논문집, Vol. II, 1998, pp. 2031-2034.
- [10] D.C.Choi, J.H.Cho, S.J.Lee, W-S.Lee, "Driving Characteristic Analysis of a Drunken Driver on a Driving Simulator," KSAE Spring Conf., June, 1999, Vol. 2, pp.604-609.