

# 차량 시뮬레이터와 Hardware-in-the-loop 시뮬레이션을 이용한 가상 주행 시험장

## Virtual Test Track Based on Driving Simulator and Hardware-in-the-loop Simulation System

박 일 경, 이 운 성

국민대학교 자동차공학 전문대학원

### I. 서 론

소프트웨어와 하드웨어의 적절한 조합을 통해 소프트웨어에 전적으로 의존하는 시뮬레이션의 한계를 극복함으로써 차량 전자제어시스템의 효율적인 개발 및 평가를 가능케 하는 Hardware-in-the-Loop Simulation (HILS) 기술은 매우 효과적이며, 다양하게 응용되고 있다 [1-5]. 그러나 지능형 교통시스템 (ITS)의 일환으로써 운전자를 중심으로 하는 지능형 차량의 개발이 요구되는 측면에서 볼 때 운전자를 포함할 수 없는 HILS 기술의 제약 또한 무시할 수 없는 실정이다.

차량 시뮬레이터는 가상현실 기술을 응용하여 가상의 주행 및 시험 환경을 구축하고, 이를 이용하여 인간의 반응 및 감성까지 포함하여 실차 시험과 같은 효과를 안전하고, 효율적으로 얻을 수 있게 하는 Operator-in-the-loop 시뮬레이션 시스템이다. 이는 차량시스템 개발, 운전자인자 연구 및 지능형 교통시스템 연구 등에 활발히 응용되고 있다 [6,7].

따라서 차량 시뮬레이터와 HILS 시스템을 연계하여 통합할 경우 각 시스템의 장점을 취합하여 실질적이고, 효과적인 지능형 차량의 가상 주행 시험을 수행할 수 있다 [8,9].

본 논문에서는 국민대학교에서 개발한 차량 시뮬레이터와 ABS (Anti-lock Brake System) HILS 시스템 및 ACC (Adaptive Cruise Control) 시뮬레이션 시스템을 통합하여 구축한 가상 주행 시험장을 소개하고자 한다 [10].

### II. 시스템 구성

#### 1. 차량 시뮬레이션

그림 1은 국민대학교에서 개발한 차량 시뮬레이터인 KMU DS 2의 모습을 나타내고 있다. 이 시뮬레이터는 6 자유도 운동 베이스를 포함하는 소규모 시뮬레이터인 KMU DS-1에 이어 1998년에 개발한 Mid-Scale의 고정 베이스 시뮬레이터로서, 차량제어 시스템 개발, 지능

형 교통 시스템 연구 및 운전자 인자 연구 등의 다양한 응용 분야에의 응용을 목적으로 하고 있다 [11].

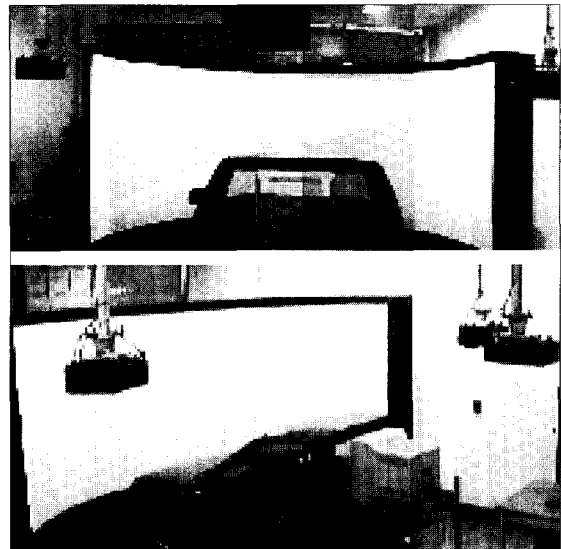


그림 1. KMU DS 2

이 시뮬레이터는 ABS HILS를 이용한 제어로직 개발 연구, 음주 운전에 의한 운전자 반응 연구 등에 활발히 적용되었으며 최근에는 급발진 사고를 재구성하여 위험한 상황에서의 운전자 반응 및 조작 행태를 분석하는 실험에도 응용되고 있다.

#### 1.1 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.

그림 2는 본 시뮬레이터에 적용된 실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 구성을 나타내고 있는 데, 14자유도의 차량 모델을 기본으로 하여 출발, 주행, 정지 등 운전자



가 차량의 조작 중에 발생 가능한 모든 주행 상황의 정확한 모사가 가능하도록 개발되었다.

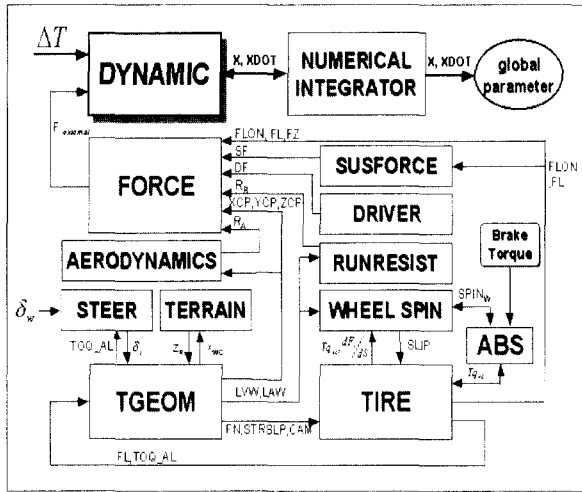


그림 2. 차량 시뮬레이션 시스템

동력전달계는 엔진, 변속기, 드라이브 트레인으로 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 진륜 휠에 작용하는 Aligning Torque에 의한 킥플라이언스 특성을 고려하여 차륜의 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.

실시간 시뮬레이션에서 특히 신중히 고려해야 할 수치 적분 기법은 3차 Adams-Bashforth 기법을 이용하였으며, 데이터 통신 및 시뮬레이션 수행 시간 등에 의한 시간지연이 시뮬레이션의 안정화에 영향을 미치지 않게 Pentium II 300MHz PC를 사용하여 2msec의 일정한 적분 스텝이 유지되도록 하였다.

### 1.2 시각 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.

Pentium-II 400MHz PC에 GeForce 2 그래픽 가속기를 사용하여 경제적이면서도 고성능의 그래픽 이미지를 생성하는 시각 시스템을 구성하였다. OpenGVS를 사용

하는 그래픽 엔진을 개발하여 시각 데이터베이스의 모델링 및 생성을 손쉽게 하고, 초당 30 프레임 이상의 연속적인 고해상도의 이미지가 생성되도록 하였다. 운전자의 충분한 시야를 확보하기 위하여 3채널의 다중 이미지가 생성될 수 있도록 프로그래밍 하였으며, 150° × 40°의 Field of View를 갖도록 영상 시스템을 구축하였다. 이미지 영사를 위해 1024 × 768의 해상도를 지원하는 NEC MT1030 LCD Projector를 사용하였다.

### 1.3 음향 시스템

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

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 사용함으로써 주행 중의 소음을 현실감 있게 재현하도록 하였다.

### 1.4 제어 힘 로딩 시스템

제어 힘 로딩 시스템은 운전자의 조작 행위를 검출하는 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, 시리얼 통신 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. 실시간 차량 시뮬레이션 시스템과의 보다 빠른 통신을 위해 115,200bps의 전송 속도를 갖는 RS-232C 통신 모듈을 구축하였으며, 정확한 데이터 전송을 보장하는 프로토콜을 개발하였다.

현대자동차의 90년식 엘란트라 1.5 GLSi 수동 변속기 차량의 1/2을 절단하여 Cockpit을 구성하였다. 각 서브 시스템의 구동부와 컨트롤러는 엔진룸 안에 모듈별로 장착하여 별도의 설치 공간 없이도 작업이 가능하고, 유지 보수가 용이하도록 하였다.

## 2. HILS 시스템

### 2-1 ABS HILS 시스템

본 연구에서는 ABS의 구성요소 중에서 휠 스피드 센서를 제외한 나머지 부분은 실제 하드웨어를 사용하고, 휠 스피드 센서에서 나오는 휠 속도에 따른 교류 신호는 PC에서 소프트웨어적으로 시뮬레이션 할 수 있게

하여 HILS 시스템을 구성하였다. 그림 3은 ABS HILS 시스템의 하드웨어 부분을 나타낸다.

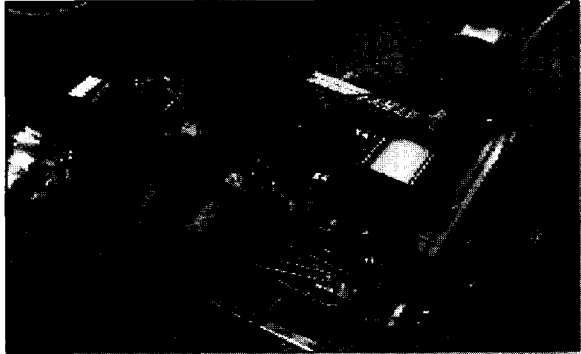


그림 3. ABS HILS 하드웨어

ABS 모듈레이터는 ECU와 HCU로 구분할 수 있으며, ABS HILS 시스템의 개발 목적에 따라 ECU와 HCU를 모두 사용하기도 하고, ECU를 분리한 채 HCU만을 사용하기도 한다. 전자의 경우는 상용 ECU에 내장되어 있는 제어 알고리즘을 이용한 시뮬레이션이 가능하기 때문에 상용 ECU의 성능 평가에 주로 이용되고, 후자의 경우는 자체 개발한 제어 알고리즘을 이용한 시뮬레이션이 가능하기 때문에 새로운 제어 알고리즘 개발에 주로 이용된다.

본 ABS HILS 시스템에서는 상용 ECU의 성능을 평가하는 것이 목적이므로 ECU와 HCU를 모두 포함하여 시스템을 구성하였다. 사용된 ABS 모듈레이터는 각 채널 당 2개의 솔레노이드 밸브를 사용하는 4채널의 Solenoid-Solenoid 방식으로 각 바퀴의 독립적인 제어를 수행할 수 있고, 기존의 Solenoid-Flow 방식에서 구현하기 어려운 압력 유지 모드를 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다.

ABS HILS 시스템의 구동 소프트웨어는 차량 동역학 해석 모듈과 휠 속도 예블레이션 모듈, 그리고 ECU 진단 로직 통과 모듈의 3 부분으로 구성되어 있다. 전체 GUI는 Visual Basic 6.0을 이용하여 구성하였고, DAQ 모듈은 National Instrument사의 Measurement Studio 1.0을 이용하여 구현하였다.

일반적인 ABS ECU의 제어 알고리즘은 휠 속도를 기본입력 값으로 사용하여 제어 모드를 결정한다. 차량 동역학 해석 모듈에서 해석되어진 휠 속도를 ECU가 인식할 수 있는 입력 신호로 변환하려면 휠 속도에 비례하는 주파수와 진폭을 가진 교류 신호를 발생시켜야 한다. 현재 사용되고 있는 방식은 함수발생기(Function Generator)를 이용하여 실제 휠 스피드 센서에서 발생하는 신호와 같은 파형으로 변환하는 방법과, 실제로 휠 스피드 센서를 구동하여 사용하는 방법을 많이 사용하고 있다.

본 연구에서는 자체 개발한 ABS HILS 소프트웨어에

서 각각의 휠 속도에 비례하는 주파수와 전압을 갖는 4개의 정현파를 생성한 다음, 이를 DAQ 시스템을 이용하여 ECU의 입력 신호로 사용하는 방법을 사용하였다. 대략 1 km/h의 휠 속도일 때 ECU로 입력되는 정현파가 7 Hz의 주파수를 갖도록 구성되어 있다.

현재 자동차 회사에서 사용하고 있는 상용 ABS ECU에는 휠 실린더의 압력을 적절히 유지할 수 있는 제어 로직만 내장되어있는 것이 아니라 ECU의 Fail/Safe를 결정하는 진단 로직이 내장되어 있어서, ECU를 포함하여 시뮬레이션을 수행하려면 시뮬레이션 초기에 반드시 진단 로직을 통과하여야 한다.

ECU의 진단 로직에는 배신의 단락, 휠 스피드 센서의 입력 저항과 에어갭, 전원공급장치의 전압 등이 점검 항목으로 포함되어 있기 때문에, ECU의 진단 로직을 통과하기 위해서는 이러한 점검 항목들의 입력한 값을 올바르게 ECU에 전달해주어야 한다. 본 사례에서는 ABS HILS 소프트웨어에서 ECU의 진단 로직 통과에 필요한 입력값을 DAQ 시스템을 통해 ECU에 전달하도록 하였다.

### 2-2 ACC 시뮬레이션 시스템

ACC 시스템은 선행 차와의 상대거리 및 상대속도를 측정할 수 있는 센서부와 측정된 정보를 이용하여 가감속량을 계산하고, 이를 바탕으로 Brake 및 액셀레이터 액츄에이터에 명령을 전달하는 ECU, 그리고 ECU에서 전달된 명령을 기준으로 차량의 제동과 구동을 수행하는 브레이크 및 액셀레이터 액츄에이터의 세 부분으로 구성되어 있다.

ACC 시뮬레이션 시스템은 ABS HILS 시스템과 동일하게 차량의 구동 및 제동 시 거동을 해석하기 위하여 차량 시뮬레이터의 실시간 시뮬레이션 시스템을 목적에 맞게 변경하여 구성하였다.

ACC 시뮬레이션 시스템의 제어 알고리즘은 일반적으로 내 차의 속도, 앞차와의 상대거리 및 상대속도를 토대로 가감속량을 결정하고, 이를 기준으로 구동과 제동 입력으로 사용될 스로틀 각과 마스터 실린더의 브레이크 압력을 결정한다. 이 정보는 실시간 차량 시뮬레이션 시스템으로 전달되어 차량 동역학 해석을 거쳐 현재 차량의 상태를 결정하게 된다.

## 3. 차량 시뮬레이터와 HILS 시스템의 통합

### 3-1. ABS HILS 시스템의 통합

그림 4는 ABS HILS 시스템이 포함된 차량 시뮬레이터의 구성을 나타내고 있다. 차량 시뮬레이터의 제어 로딩 시스템에서는 조향, 가감속 등의 운전자 입력을 검출하고, 이를 네트워크를 이용하여 실시간 차량 시뮬레이션 시스템으로 전달한다. 실시간 차량 시뮬레이션 시스템에서는 전달된 운전자 입력을 기준으로 실시간 차량 시뮬레이션을 수행하여 차량의 거동을 예측

하고, 이에 해당하는 정보를 네트워크를 이용하여 각 서버 시스템으로 전달한다.

ABS HILS PC에서는 차량의 정보 중에서 4개의 휠 속도 값을 전달받고, 이를 ABS ECU가 인식할 수 있는 전기적 교류신호로 변환한다. 변환된 전기적 교류신호와 ABS 모듈레이터의 구동에 필요한 전원을 DAQ 시스템을 이용하여 ECU에 전달하면 ECU에서는 초기 진단모드를 수행하여 이상이 없는 경우 DAQ 시스템으로 ABS 경고등을 소등하라는 신호를 보내어 ABS 경고등이 소등되게 된다.

반일 초기 진단모드를 통과하지 못해 ABS 경고등이 소등되지 않으면 ABS는 작동하지 않게 되고, 브레이크 시스템은 기존의 방식인 CBS로 대체되어 작동한다. ECU가 초기 진단모드를 통과하여 정상적으로 작동하는 경우 ECU는 내장되어 있는 ABS 제어 알고리즘에 따라서 HCU를 구동하고, HCU의 구동에 따라 변환된 4개의 휠 압력이 휠 센서로 전달된다. 4개의 휠 센서 값 압력은 압력 센서를 통해 검출되며, 이는 다시 제어 힘 로딩 시스템으로 전달됨으로써 시뮬레이션 루프를 형성하게 된다.

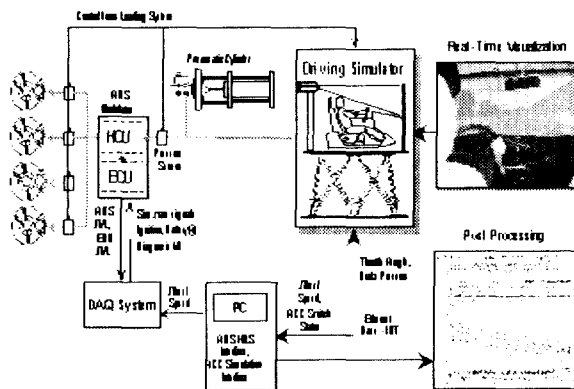


그림 4. ABS HILS가 포함된 차량 시뮬레이터의 구성도

### 3.2. ACC 시뮬레이션 시스템의 통합

그림 5는 본 논문에서 소개하는 ACC 시뮬레이션 시스템과 차량 시뮬레이터와의 통합 개념 및 통합시 입출력되는 신호를 정의한 다이어그램이다. ABS HILS와 차량 시뮬레이터의 통합에서와 마찬가지로 10Mbps의 전송 속도를 갖는 Ethernet 및 RS 232C 직렬 포트를 이용하여 각 서버 시스템간의 통신 및 데이터를 교환하는 시스템 통합 기술을 적용하였다.

시뮬레이션의 입력으로 운전자가 원하는 주행속도와 운전자의 안전확보를 위한 기준거리를 설정하고 시뮬레이션을 수행하면, ACC PC에서는 운전자의 입력이 없이 ACC 제어 알고리즘에 따라서 계산되어진 브레이크 압력과 스로틀 각을 네트워크를 이용하여 차량 시뮬레이터의 실시간 차량 시뮬레이션 시스템으로 전달한다. 실시간 차량 시뮬레이션 시스템에서는 전달되어진 브레이크

압력과 스로틀 각을 기준으로 차량 시뮬레이션을 수행하여 차량의 거동을 예측하고, 이에 해당하는 운전자 차량의 정보와 차량 시뮬레이터의 시나리오 컨트롤 시스템에서 계산되어진 배경 차량의 정보를 네트워크를 통하여 ACC PC로 전달한다.

ACC PC에서는 운전자 차량과 배경 차량의 정보를 이용하여 제어 알고리즘을 수행하고, 그 결과로 계산되어진 브레이크 압력과 스로틀 각을 실시간 차량 시뮬레이션 시스템으로 다시 전달함으로써 시뮬레이션 루프를 형성하게 된다.

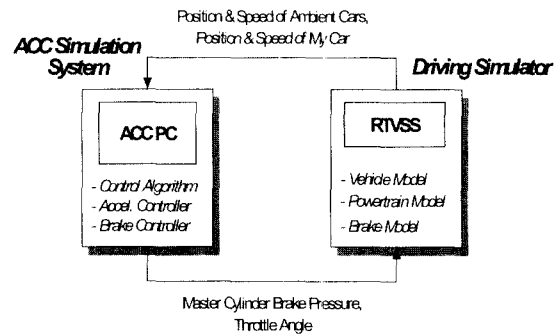


그림 5. ACC 시뮬레이션 시스템과 차량 시뮬레이터의 통합

## III. 가상 주행시험장

### 1. ABS 성능 평가

상용 자동차 부품 회사에서는 ABS 장착 차량의 성능 평가를 위하여 일반적으로 제동거리, 조향성,안정성 외에 운전자의 주관적 평가 항목들을 설정하고, 이를 이용하여 개발 제품의 성능을 분석하고 있다. ABS를 테스트하기 위해서는 일반적인 아스팔트 노면 이외에 빙판 노면, 눈 노면 등에 상당하는 마찰계수를 가질 수 있는 다양한 인공노면이 필요하다.

가상 주행 시험장에서도 여러 다른 마찰계수를 갖는 노면 조건을 운전자에게 시각적으로 제공해 줄 수 있어야 한다. 또한 이러한 노면정보가 실시간 차량 시뮬레이션 시스템에도 전달되어 차량의 거동이 정확히 시뮬레이션 되도록 하여야 한다.

그림 6과 7은 ABS 테스트를 위한 실제 주행 시험장과 실제 주행 시험장을 기본으로 3차원 컴퓨터 그래픽스와 차량 시뮬레이터의 시각 시스템을 이용하여 구현한 가상 주행 시험장을 보여주는 그림이다. 가상 주행 시험장은 Dry Asphalt, Wet Asphalt, Wet Basalt, Snow, Ice 등 총 다섯 종류의 노면을 보유하고 있다.

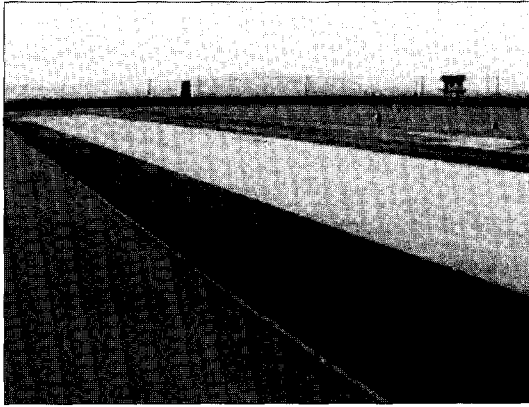


그림 6. Real Proving Ground for ABS Test

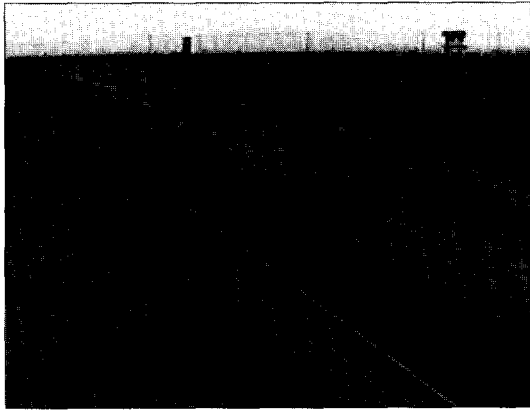


그림 7. Virtual Proving Ground for ABS Test

차량 시뮬레이터를 이용하여 가상 주행 시험장에서 ABS 테스트를 수행하면 실제 ABS 테스트 시에 발생할 수 있는 차량의 스핀이나 전복 사고를 방지할 수 있어 운전자의 안전을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 실제 ABS 테스트 시에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있다는 장점이 있다. 또한 주위 환경에 관계없이 항상 일정한 노면조건과 차량조건으로 ABS 테스트를 수행할 수 있어 시험의 정확성 및 결과의 타당성도 확보할 수 있다.

## 2. ACC 시스템의 성능평가

ACC 시스템을 작동시키기 위해서는 앞차와의 간격이 일정한 거리이상으로 줄어들었을 때, 차량의 구동 및 제동을 수행할 수 있는 액추에이터를 적절히 구동시킬 수 있는 알고리즘이 개발되어야 한다. ACC 제어 알고리즘은 일반적으로 자기 차량의 속도, 앞차와의 상대거리 및 상대속도를 입력으로 하여 가·감속량을 결정하게 되고, 결정된 가감속량을 기준으로 브레이크 및 스톱과 연결된 액추에이터를 구동하게 된다. 이때 운전자에게 최대한의 승차감 및 안정성을 부여하는 것은 ACC 제어 알고리즘의 중요한 성능이 된다.

ABS가 이미 오래 전부터 상용화되어 ABS 장착 차

량의 성능 평가에 대한 객관적 기준이 어느 정도 표준화되어 있는 반면, ACC는 최근에서야 상용화 단계에 접어들기 시작하여 ACC 장착 차량에 대한 성능 평가는 아직 표준화되어 있지 않은 실정이다. 국내에서는 ACC 시스템에 대한 연구가 학계를 중심으로 활발히 진행되고 있지만, ACC 시스템을 실제 차량에 장착하여 실차 테스트를 수행한 사례는 아직 보고되지 않고 있다.

ACC 장착 차량의 성능 평가 방법은 ABS의 경우와 마찬가지로 특정 테스트에 대한 차량의 운동 성능을 분석하는 객관적 평가방법과 운전자의 승차감을 중심으로 한 주관적 평가방법으로 분류할 수 있다. 차량 시뮬레이터를 이용한 가상 실차 실험에서는 이러한 객관적 평가와 주관적 평가를 동시에 수행할 수 있다.

그림 8과 9는 ACC 장착 차량의 가상 실차 실험을 위한 가상 주행 시험장과 차량 시뮬레이터를 이용한 ACC 테스트를 수행하는 모습을 각각 도시하고 있다. ACC 가상 주행 시험장은 ABS 가상 주행 시험장의 경우와 마찬가지로 3차원 컴퓨터 그래픽스와 차량 시뮬레이터의 시각 시스템을 이용하여 구현하였다. ACC 테스트를 위해서는 운전자 차량 외에 운전자의 전방에서 자율적으로 주행하는 배경 차량이 필요한 데, 이는 시나리오 제어시스템을 이용하여 구현하였다.

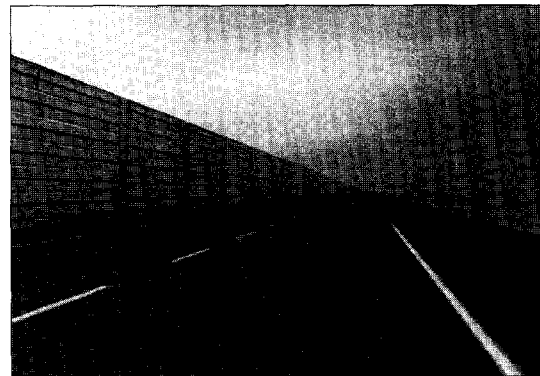


그림 8. Virtual Proving Ground for ACC Test

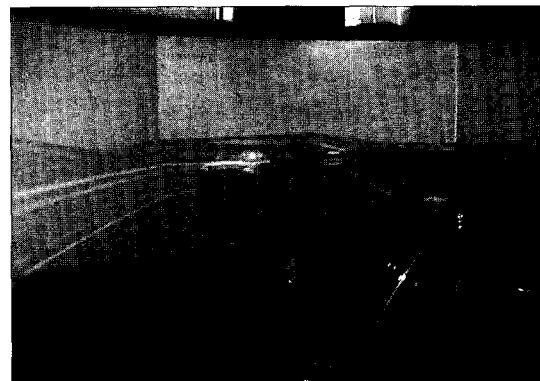


그림 9. ACC Test on a Driving Simulator



#### IV. 결 론

본 논문에서는 차량 시뮬레이터와 ABS HILS 시스템, ACC 시뮬레이션 시스템을 통합하여 구축한 가상 주행 시험장을 소개하고, 차량 전자제어시스템의 개발 및 평가 과정에 효과적으로 응용될 수 있음을 보였다.

자동차 산업의 국제 경쟁력을 높이는 필수 방안으로 자동차 개발 기간 및 비용의 대폭적인 절감이 요구되는 시점에서, 이러한 기술은 앞으로 더욱 광범위하게 응용되리라 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] Deborah Kempf, Loren Bonderson and Loren Slafer, "Real Time Simulation for Application of ABS Development", SAE Paper 870336, 1987.
- [2] Helmut Fennel, Sascha Mahr and Rudiger Schleysing, "Transputer Based Real Time Simulation - A High Performance Tool for ABS and TCS Development", SAE Paper 920643, 1992.
- [3] H. Hanselmann, "Hardware in the Loop Simulation as a Standard Approach for Development, Customization and Production Test of ECUs", SAE Paper 931953, 1993.
- [4] Kwang Soo Chang, "Hardware in the loop Simulation for Development of ACC", Proceeding of the 5th Annual World Congress on ITS, 1998.
- [5] M. W. Suh et. al., "Hardware-in-the-loop simulation for ABS based on PC", International Journal of Vehicle Design, Vol. 24, No. 2/3, pp. 157-170, 2000.
- [6] National Advanced Driving Simulator (NADS) Functional Specification Document, NHTSA, Attach A. solicitation DTNH22-93 R-07261, July 1993.
- [7] S. Hahn et. al., "The Daimler-Benz Driving Simulator Presentation of Selected Experiments", SAE 41197:20, International Congress and Exposition, 1988.
- [8] Staffan Nordmark et. al., "ABS Braking in an Emergency Situation a Simulator Study Utilising Hardware in the Loop", Driving Simulation Conference DSC'99, pp. 399-412, 1999.
- [9] Jost Bernasch and Steffen Haenel, "The BMW Driving Simulator Used for the Development of a Driver-Biased Adaptive Cruise Control", Driving Simulation Conference DSC'95, pp. 157-174.
- [10] 최동찬, "차량 시뮬레이터의 응용을 위한 차량 능동 제어 시뮬레이션 시스템 개발" 석사학위논문, 국민대학교 자동차공학전문대학원, 2000.
- [11] 이운성, 조준희, 김재협, "국민대학교 차량 시뮬레이터", 대한기계학회 동력학 및 제어부문 2000년도 동계 워크샵 논문집, 2000, pp. 42-47.