

# 원격무인주행차량과 차량시뮬레이터의 시스템통합에 관한 기술현황

The Technology Trend about System Integration of Tele-operated Unmanned Vehicle with the Driving Simulator



김 정 하 · 국민대학교 교수  
Jung Ha Kim · Kookmin University



이 운 성 · 국민대학교 교수  
Woon Sung Lee · Kookmin University

## 1. 서론

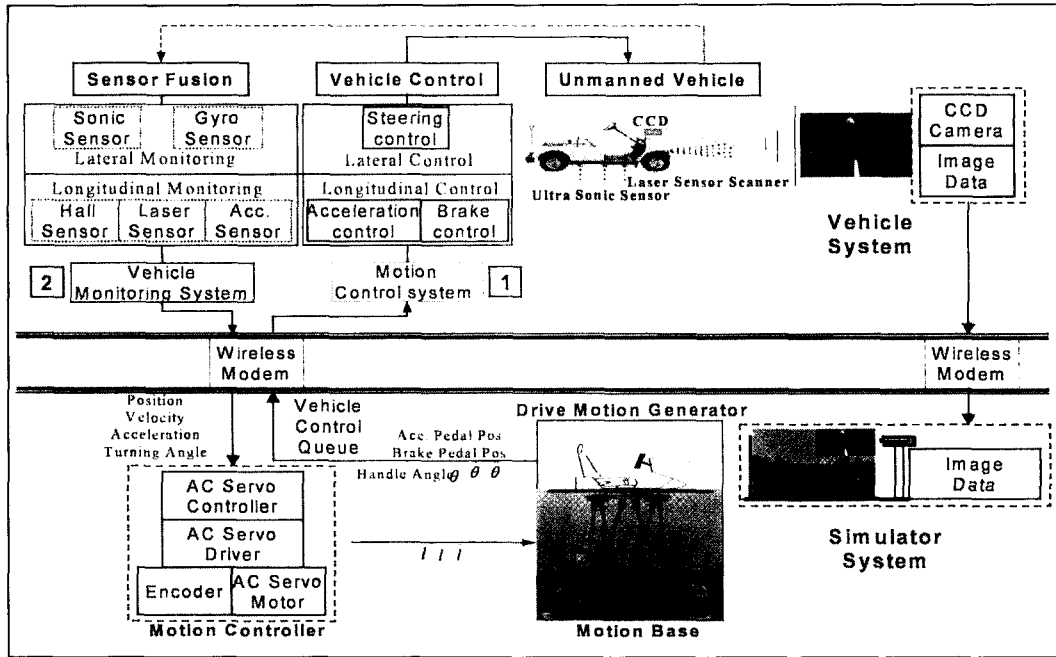
고도의 자동차 기술이 발달함에 따라 사람들은 삶을 보다 편리하고 안전하게 영위하려는 욕구가 오래전부터 있어왔다. 이와 관련하여 세계 선진 자동차 회사뿐만 아니라, 연구소 등에서는 차량통합 기술에 관한 연구가 활발히 진행해 오고 있다.

그에 견주어 현재 국내의 연구 수준은 미비한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 원격무인차량과 차량 시뮬레이터의 통합 기술에 관하여 연구를 하게 되었다. 원격무인차량 개발에 관한 연구는 아직도 안전성에 있어 검증이 이루어져 있지 않고 고가의 시스템, 실시간 모니터링 기술, 다중 제어 등의 제약 등으로 성능향상이 더디게 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전자제어분야와 관련 운전자의 편리성에 대한 욕구, 즉 오랜 운전 중 운전자의 피로와 스트레스에 의한 사고의 위험성, 도로사용의 효율

성 등에 관한 연구를 수행하였다.

〈그림 1〉은 차량의 원격무인화를 위한 전기자동차 수준의 시스템 설계와 통신, 센서융합, 그리고 응용의 한 방법으로서 차량 시뮬레이터 6축 차량 운동재현기와의 연동하기 위한 데이터의 흐름을 도시하였다. 이 시스템은 원격무인차량에서의 발생한 속도, 가속도, 방향과 원, 근거리 센서로부터 들어오는 데이터를 1차 가공 후 무선통신을 통해 차량 시뮬레이터 6축 차량 운동 재현기에 전송하고 전송된 데이터는 스텔트 플랫폼 구조의 운동 재현기 각 축 액추에이터에 위치, 속도, 가속도 입력을 주기 위한 데이터로 변환되어 운동을 재현한다.

여기서 차량 시뮬레이터는 운전자가 자동차를 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 가/감속 페달 조작 등을 통해 야기되는 차량의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행해 예측하고 그 결과를 운동, 시각 및 음향 큐를 통해 운전자에게 피드백 하여, 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실제로 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 갖게 하는 가상 현실 장비이



〈그림 1〉 Concept of Tele-Operated Vehicle System for a Driving Simulator

다. 또한, 차량 운동 재현기에 탑승한 운전자는 차량의 운동을 느끼면서 시각적으로 원격무인차량에 장착되어 있는 CCD 카메라로부터 전송되는 차량 전방의 화상데이터를 통하여 상황을 판단 후 운전 조작을 행한다. 운전자의 차량 조정입력이 재현기에 있는 운전조작 입력기를 통하여 다시 원격무인차량으로 전송되는 원격무인차량 제어 시스템과 차량시뮬레이터의 통합시스템의 구성이 〈그림 1〉의 개념이다.

## 2. 시스템 통합 기술

원격무인차량의 개발에 있어서 가장 중요한 부분은 크게 3가지 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 하드웨어 시스템 구축과 제어기의 성립이며 둘째는 시스템의 안정성 판별과 주행 시의 안전을 확보하기 위한 센서 시스템과 이 시스템의 성능을 극대

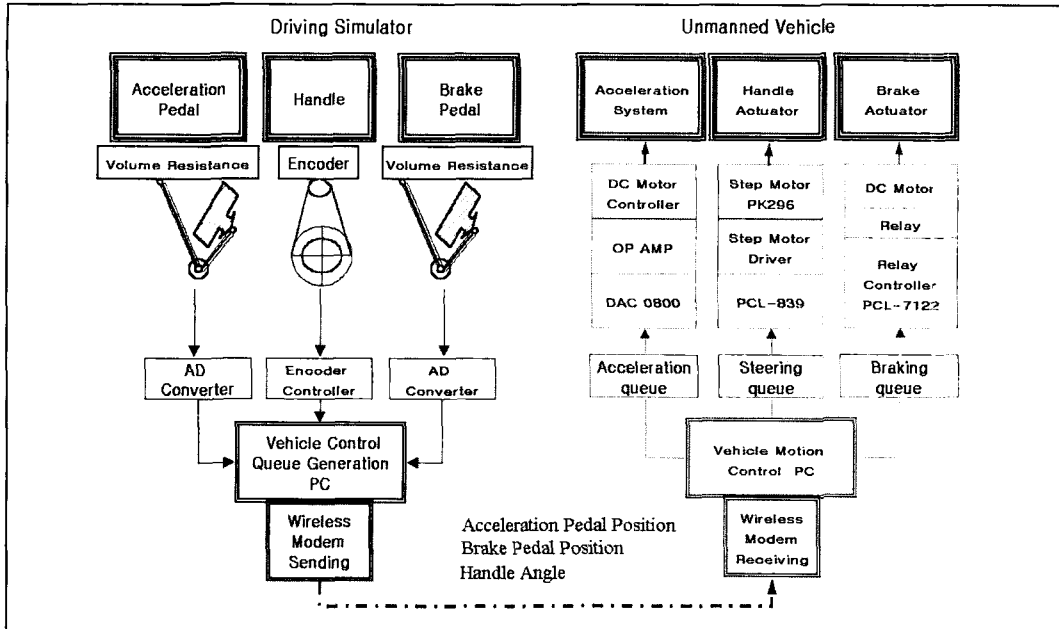
화하기 위한 센서 융합 시스템이라고 할 수 있다. 마지막으로 위의 두 시스템을 융합하는 알고리즘으로써 두 시스템간의 신호전달과 전체 시스템의 유지를 목적으로 한다. 이에 따른 기술 현황은 다음과 같다.

### 2.1.1 하드웨어 제어 시스템

〈그림 2〉는 원격무인차량 제어시스템의 블록도를 보이고 있다. 위 블록도는 시뮬레이션 운동 재현기와의 연결을 통한 차량의 운동을 재현하는 시스템의 개념을 나타내고 있다. 본 연구에서의 원격무인차량은 자율주행을 목적으로 함이 아니라 운동 재현기에 탑승한 운전자의 운전조작을 구현하는 시스템이다.

본 연구에서 구성된 원격무인차량은 Brushless DC모터가 사용된 전기자동차를 바탕으로 이루어졌다. 모터 구동 시스템은 PC에서 발생시키는 제어신호를 D/A Converter를 통하여 전류를

## 특집 자동차 전장 및 전자 기술



〈그림 2〉 Block Diagram of Motion Control System

256(8 bit) 등분하여 발생시키고 이 전류를 OP-AMP(LF 356N)을 통하여 전압으로 변환, 해당 전압성분으로 모터를 제어하였다. 또한 정확한 횡방향 제어를 위해 조향 시스템에 타이밍 벨트를 이용한 Step모터를 적용시켰다.

또한, 본 연구에서 사용된 차량은 드럼(Drum)식 브레이크 시스템이 페달에 의해 텐던(Tendon) 방식으로 작동되도록 되어 있다. 페달 한쪽 끝에 기어를 장착하여 모터의 회전운동으로 페달의 위치를 제어하고자 구성하였다.

### 2.1.2 센서 시스템

〈그림 3〉에서는 센서시스템의 데이터 흐름도와 각 데이터의 정의를 나타내었다. 본 연구에서는 센서 시스템의 각 부분의 대한 특성파악과 함께 융합을 목표로 연구를 수행하였으며 센서 데이터와 중방향, 횡방향을 위한 제어알고리즘을 위한 실험을 수행하였다. 센서 중 물리적인 량을 측정하는 가속도 센서, 초음파 센서, 레이저 스캐너 그리고 자이

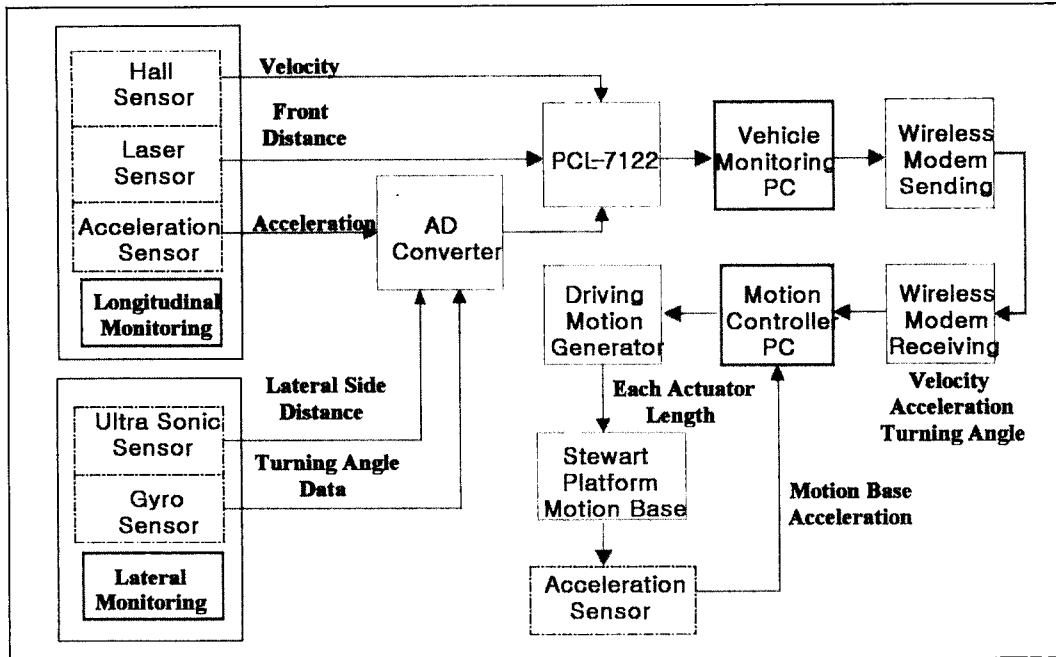
로 센서는 출력값 형태 또한 물리적인 량을 표현하므로 아날로그 형태의 선형 전압을 출력한다. 따라서 위에서 언급한 센서들은 A/D Converter를 통하여 디지털 데이터로 변환하여 데이터를 수집하였다.

### 2.1.3 레이저 센서

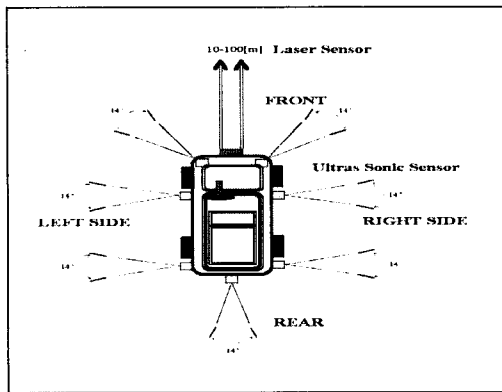
원격 무인차량 시스템에서 운전자의 조작의 잘못으로 인한 선행 차량과의 충돌 방지를 위해 선행 차량의 속도에 따른 안전거리를 유지하면서 주행해야 한다. 따라서 전방의 장애물이나 선행차량과의 거리를 검출하기 위한 센서가 필요하다.

### 2.1.4 초음파 센서

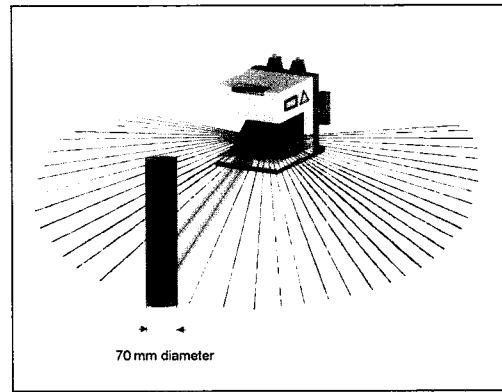
초음파 센서는 차선 변경과 검출범위가 좁은 레이저 센서의 단점을 보완하고 선회시의 측면 장애물을 사전에 검출하기 위해 전방 및 측면, 후방 감지 센서로 초음파 센서를 〈그림 4〉과 같이 장착하였다.



〈그림 3〉 Block Diagram of Sensor System



〈그림 4〉 Position of Ultra Sonic & Laser Sensor



〈그림 5〉 Range of the Laser Scanner

### 2.1.5 레이저 스캐너

레이저 스캐너는 차량 통합 시스템 연구에 있어 많이 사용되고 있는 센서중에 하나이다. 그러므로 본 차량 통합 시스템에서도 사용되었다. 이 센서는 초음파 센서와 같이 좀더 정밀하게 전 범위에 걸쳐 원격무인차량이 도로를 주행시 통신에러 및 기타 주변 환경의 상황에 따른 에러로부터 운전자가 안

전하게 운전할 수 있도록 전방 장애물을 감지하고 또한 장애물을 회피하여 완만한 차량 주행을 할 수 있도록 사용되는 센서이다.

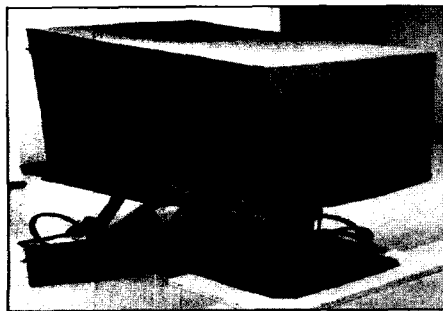
본 시스템에서 사용된 센서의 사양은 다음과 같다. 스캔범위는 190°이며 스캔 처리속도는 40ms 이며, 분해능은 0.36°이다. 다음 〈그림 5〉 레이저 스캐너 및 작동범위를 보여준다.

## 특집 자동차 전장 및 전자 기술

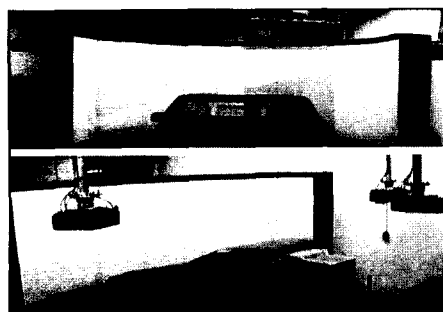
차량 시뮬레이터는 운전자가 자동차를 운전하는 동안 수행하는 조향 휠 조작, 가감속 페달 조작 등을 통해 야기되는 차량의 운동을 실시간 시뮬레이션을 수행해 예측하고 그 결과를 운동, 시각 및 음향 큐를 통해 운전자에게 피드백 하여, 시뮬레이터에 탑승한 운전자가 실제로 자동차를 운전하고 있다는 느낌을 갖게 하는 가상 현실 장비이다.

차량 시뮬레이터는 실제 차량의 주행 하에서는 운전자의 생명을 위협하기 때문에 불가능한 여러 위급 상황까지도 안전하게 재현함으로써 차량 전자제어시스템 개발, 도로교통 안전 연구, 운전자인자 연구 및 지능형 교통시스템 연구 등에 효과적으로 응용된다.

본 연구팀은 국내 최초로 1997년에 6자유도 스텐더드 플랫폼의 운동베이스를 갖는 차량 시뮬레이터 (KMUDS-1)를 개발하였다(〈그림 6〉 참조).



〈그림 6〉 KMUDS-1



〈그림 7〉 KMUDS-2

이를 통해 습득한 기술과 경험을 바탕으로 1998년에 3채널의 영사 시스템을 갖추어 운전자에게 150도 이상의 넓은 시야 범위를 갖도록 하고, 각종 소프트웨어의 성능을 향상시킨 Mid-Scale 차량 시뮬레이터 (KMUDS-2)를 개발하여 차량제어시스템 개발, 운전자 인자 연구 및 지능형 교통시스템 연구에 활발하게 응용하고 있다(〈그림 7〉 참조).

〈그림 8〉과 〈그림 9〉는 본 연구팀이 최근에 다시 개발한 4 채널의 영사시스템 및 3 자유도 운동 시스템을 갖춘 PC 베이스의 Full-Scale 차량 시뮬레이터 (KMUDS-3)의 구성도 및 실제 모습을 보이고 있다. 이 시뮬레이터는 Ethernet 및 RS-232C 네트워크로 연결된 8대의 PC로 구동되는데, 경제적이면서도 세계의 우수한 차량 시뮬레이터에 못지 않은 고도의 현실감을 확보하고 있다.

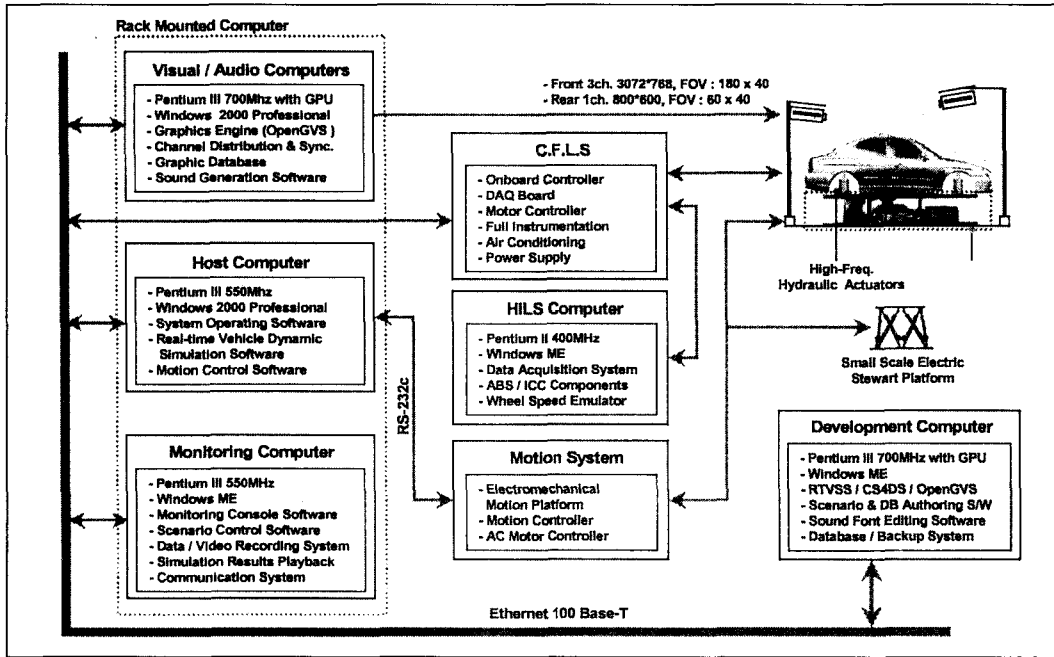
### 2.2.1 실시간 차량 시뮬레이션 시스템

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.

14자유도의 차량 모델 〈그림 10〉을 토대로 개발된 실시간 차량 시뮬레이션 시스템은 출발, 주



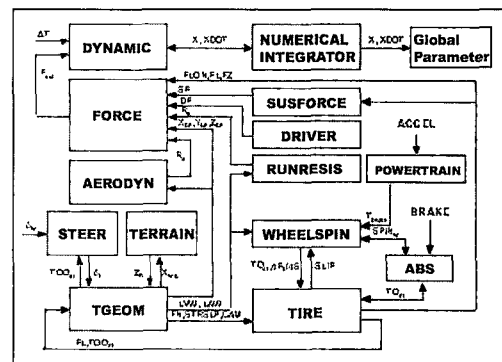
〈그림 8〉 KMUDS-3



(그림 9) Functional Diagram of KMUDS-3

행, 정지 등 운전자가 차량의 조작 중에 발생 가능한 모든 주행 상황의 정확한 모사가 가능하도록 구축되었다. 동력 전달계는 엔진, 토크 컨버터, 변속기, 차동장치로 나누어 모델링 하였다. 엔진 모델은 가속 페달의 각도 및 엔진 속도를 토대로 엔진 맵을 이용하여 엔진 토크 및 현재 엔진 속도를 계산한다. 토크 컨버터 모델은 엔진 속도, 컨버터 용량 인자 및 토크비를 토대로 맵을 이용하여 출력 토크를 결정한다. 변속기 모델에서는 가속 페달 각도 및 구동축 속도를 토대로 변속 맵을 이용하여 변속단 및 변속비를 결정 한 후, 이 변속비 및 토크 컨버터 출력 토크를 이용하여 구동축 토크를 계산한다. 이 구동축 토크는 차동장치에서 나뉘어 구동 바퀴로 전달된다. 조향모델은 운전자의 조향 휠 입력과 전륜 휠에 작용하는 Aligning Torque에 의한 컴플라이언스 특성을 고려하여 차량의 조향 각을 출력하도록 모델링 하였다. 제동모델은 ABS Hardware-in-the-Loop 시뮬레이션이 가능하도록

능동형 브레이크 제어 로직을 포함하고 있다. 부가적으로 차량의 공기 및 구름저항 모델을 추가하여 시뮬레이션의 현실감을 극대화하였다.

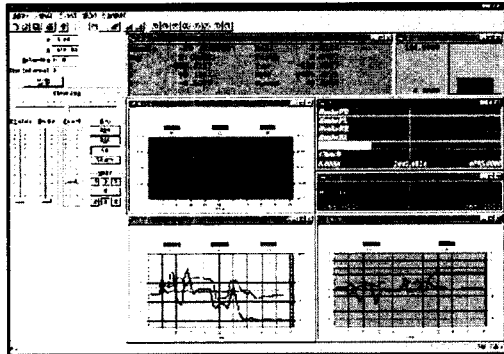


(그림 10) Vehicle Dynamic Analysis Structure

실시간 시뮬레이션에서 특히 고려해야 할 수치적분 기법은 3차 Adams-Bashforth 기법을 이용하였으며, 데이터 통신 및 시뮬레이션 수행 시간 등에 의한 시간지연이 시뮬레이션의 안정화에 영

## 특집 자동차 전장 및 전자 기술

향을 미치지 않게 2msec의 일정한 적분 스텝이 유지되도록 하였다. <그림 11>은 실시간 차량 시뮬레이션 시스템의 운용 프로그램을 나타내고 있다.



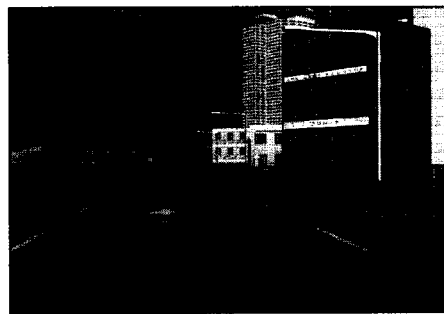
<그림 11> Vehicle Simulation Monitoring Console

### 2.2.2 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 투시 방법과 시스템 가격 등도 고려되어야 한다.

본 연구팀은 PC-IG 전용 장비인 Quantum3D AAlchemy 8234 컴퓨터 3대와 Pentium-IV PC를 이용하여 시각 시스템을 구성하였다. 또한 Open GVS를 기반으로 하는 그래픽 엔진을 개발 사용하여 Texture-Mapping과 Full-Scene

Anti-Aliasing이 적용되는 고해상도의 이미지가 초당 60 frame이상으로 생성되도록 하였다. 운전자의 충분한 시야를 확보하기 위하여 4채널의 다중 이미지가 동기화되어 생성될 수 있도록 프로그래밍 하였으며, 전방 150°×40° 및 후방 60°×40° FOV(Field of View)를 갖도록 평판 스크린의 영사시스템을 구축하였다. 이미지 영사를 위해 1600×1280의 해상도를 지원하는 NEC MT1040 LCD 프로젝터를 사용하였다. <그림 12>은 본 연구에서 개발된 시각 시스템의 대표적인 이미지를 보이고 있다.



<그림 12> Typical Driving Scene

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

### 2.2.3 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.

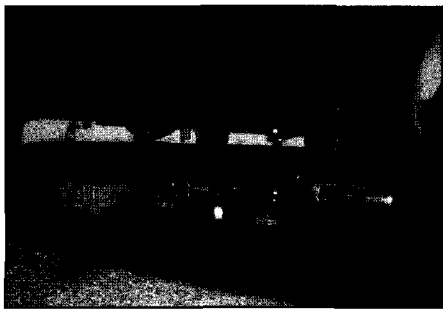
운동시스템의 개발에 있어서 우선적으로 고려할 사항은 이의 기구학적 구조이다. 적용 목적에 따라 다양한 형태의 운동 플랫폼이 이용되고 있으므로 재현하고자 하는 주행 시나리오, 운동범위, 적용목적에 따른 구조를 면밀하게 검토하여 설계하여야 한다. 또한 운동 플랫폼의 운동을 정확히 제어하여 제한된 운동범위 내에서도 실제와 유사한 차량 운동을 생성하고, 주행시나리오를 정확하게 재현하기 위해서는 우수한 성능을 가진 구동로직이 필요하다.

본 연구팀은 시뮬레이터 설치 공간을 고려하여 응답 속도가 빠르며, 소음이 매우 적은 전기식 3자유도 운동 시스템 <그림 13>을 개발하여 적용하였다. 이 운동 시스템은 차량의 각속도 및 선형가속도를 이용하여 운전자가 느끼는 승차감 및 핸들링 특성 등을 현실감 있게 재현하도록 하였다. 차량동역학 해석 결과를 제한된 운동영역 안에서 충실히 모사하기 위하여 차량 운동의 각속도 및 선형가속도를 인체감각이 감지할 수 있도록 고주파 필터링하고, Tilt Coordination을 통해 지속적인 차량의 횡가속도를 재현하기 위한 Washout 알고리즘을 개발 적용하였다. 또한 차량의 주행 환경 및 상태를 판단하여 스스로 Washout 파라미터를 조정하는 적응제어 방식을 적용하여 재현되는 운동 큐의 현실감을 대폭 향상시켰다.

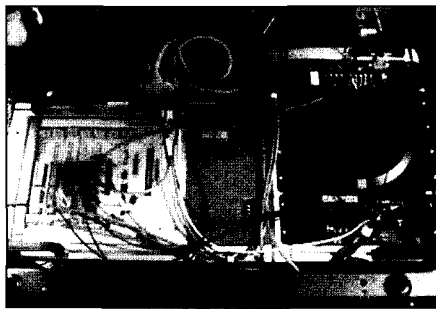
#### 2.2.4 제어 힘 로딩 시스템

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 재현률로 큐를 생성하여 전달하여야 한다.

KMUDS-3는 자동 변속기가 장착된 현대자동차의 아반떼 차량 전체를 이용하여 Cockpit을 구성하였다. 각 서브시스템의 구동부와 컨트롤러는 엔진룸 안에 모듈별로 장착하여 별도의 설치 공간 없이 작업이 가능하고, 보수가 용이하도록 하였다 <그림 14> 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 모터와 벨트를 이용한 Steering Feedback 시스템을 개발하였다. 실시간 차량 시뮬레이션 시스템과의 보다 빠른 통신을 위해 RS-232C 혹은 UDP 통신모듈을 선택적으로 적용할 수 있으며, 정확한 데이터 전송을 보장하는 프로토콜을 개발하였다.



<그림 13> 3 DOF Motion Platform



<그림 14> Control Force Loading System



## 특집 자동차 전장 및 전자 기술

### 2.2.5 시스템 통합

차량 시뮬레이터의 현실감을 확보하기 위해서는 각 서브시스템의 정보 및 데이터를 동적으로 상호 교환하고, 동기화 등을 전체 시스템의 관점에서 관리하고 운영하는 우수한 시스템 통합 기술이 필수적이다.

본 연구팀은 Windows 2000을 기반으로 하여 Ethernet 및 RS-232C로 구성된 네트워크에서 연결된 각 서브시스템을 효율적으로 분산 제어하고, 관리할 수 있는 시스템 운용 소프트웨어를 개발 적용하였다. 이를 통하여 전체 시스템의 트랜스포트 시간 지연이 80msec 이내에 머무르는 높은 효율성을 확보하고 있으며, 또한 시스템의 운영 상태를 실시간으로 모니터링하고, 위급 상황에 효과적으로 대처할 수 있는 능력을 확보하고 있다.

### 3. 맺는말

차량 통합 시스템 기술은 차세대 자동차의 가장 중요한 기술 중에 하나이다. 현재 세계 유수 선진 자동차 회사 및 연구소에서는 이미 개발하여 많은 자동차 연구에 응용하고 있다. 그러므로 본 연구를 통하여 원격무인주행차량과 차량시뮬레이터 시스템 통합 기술을 이용하여 앞으로 많은 자동차 연구에 박차를 가하고자 한다. 본 연구에서는 다음과 같은 성과를 얻었다.

- (1) 지난 몇 년간 연구를 통해 개발한 원격무인 주행차량에 대한 하드웨어 제어 시스템 설계 및 센서 시스템 구축
- (2) 수년간에 걸쳐 집중적으로 연구 개발한 차량 시뮬레이터와 시뮬레이터의 설계 기법 및 전체적인 시스템 구성도 확립 및 개발
- (3) 최종적인 원격무인 주행차량과 시뮬레이터의

시스템 통합을 위한 제어 시스템 구성 및 개발  
(4) 시스템 개발로 얻어지는 다양한 제반기술의 습득 및 응용

### 〈참 고 문 헌〉

- 1)이운성, 김정하, 조준희, "실시간 차량시물 레 이터 개발", 한국자동차공학회 춘계학 술대회 논문집, Vol. 2, pp. 464-469, 1997.
  - 2)심재홍, "무인주행을 위한 무인자동차에 관한 기본 설계와 성능분석에 관한 연구", 국민대학교 자동차 공학 전문대학원 석사학 위논문, 2001.
  - 3)김민석, "무인자동차의 모델링을 통한 설 계와 초 음파 센서를 이용한 무인주행", 국 민대학교 자동 차공학 전문대학원 석사학 위논문, 2001.
  - 4)Duk-Sun Yun, Jung-Ha Kim, "The System Integration of Unmanned Vehicle & Driving Simulator for the Tele-Operated Vehicle System", Intl. Conf. of IASTED on Robotics & Automation, pp. 197-201, 2000.
  - 5)최동찬, "차량 시뮬레이터의 응용을 위한 차량 능 동 제어 시뮬레이션 시스템 개발", 국민대학교 자 동차공학 전문대학원 석사학 위논문, 2000.
  - 6)W-S Lee, J-H Kim, J-H Cho, S-J Lee, "The Kookmin University Driving Simulators for Vehicle Control System Development and Human Factor Study", Driving Simulation Conference '99, Paris, France, pp. 75-86, 1999.
  - 7)W.S. Lee, J.H. Kim, and J.H. Cho, "A Driving Simulator as a Virtual Reality Tool," IEEE Conf. on Robotics and Automation, May, pp. 71-76, 1998.
- 〈김정하 교수 : jkkim@kookmin.ac.kr〉