

## 가상현실 지능형 차량 시뮬레이터를 위한 실시간 다물체 차량 동역학 및 제어모델

김성수<sup>\*1)</sup> · 손병석<sup>2)</sup> · 송금정<sup>3)</sup> · 정상윤<sup>3)</sup>

충남대학교 메카트로닉스공학과<sup>\*1)</sup> · DNS Korea<sup>2)</sup> · 충남대학교 대학원<sup>3)</sup>

### A Real-time Multibody Vehicle Dynamics and Control Model for a Virtual Reality Intelligent Vehicle Simulator

Sung-Soo Kim<sup>\*1)</sup> · Byoungsuk Sohn<sup>2)</sup> · Kumjung Song<sup>3)</sup> · Sang-Yun Jung<sup>3)</sup>

<sup>1,3)</sup>Department of Mechatronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2)</sup>DNS Korea, 623-5 Upsung-dong, ChoenAn, Chungcheongnam-do 330-290, Korea

(Received 25 March 2003 / Accepted 17 April 2003)

**Abstract** : In this paper, a real-time multibody vehicle dynamics and control model has been developed for a virtual reality intelligent vehicle simulator. The simulator consists of four PCs for a virtual reality visualization system, vehicle dynamics and control analysis system, a control loading system, and a network monitoring system. Virtual environment is created by 3D Studio Max graphic tool and OpenGVS real-time rendering library. A real-time vehicle dynamics and control model consists of a control module based on the sliding mode control for adaptive cruise control and a real-time multibody vehicle dynamics module based on the subsystem synthesis method. To verify the real-time capability of the model, cut-in, cut-out simulations have been carried out.

**Key words** : Real-time simulation(실시간 해석), Multibody dynamics(다물체 동역학), Vehicle dynamics(차량 동역학), 적응 순항 제어(Adaptive Cruise Control), Sliding mode control(슬라이딩 모드 제어)

## 1. 서론

차량의 안전성 및 운전자의 편의성을 향상시키기 위하여 적응순항 제어(ACC, Adaptive Cruise Control), 충돌회피 기능을 갖춘 지능형 차량에 관한 많은 연구가 진행되어왔다.<sup>1-3)</sup> 이러한 지능형 차량의 성능 및 운전자 반응 연구를 위해서는 가상현실을 이용한 시뮬레이터가 적합하다. 차량 시뮬레이터를 이용한 지능형 차량의 연구를 위해서는 실시간 차량 동역학 모델과 적응 순항 제어와 같은 제어 모델이 필수적이다.

그동안 실시간 차량 시뮬레이션을 위하여 차량 제어를 포함하지 않은 다양한 다물체 차량 동역학 모델들이 개발되었다.<sup>4-6)</sup> 또한 차량 제어 분야에서는 단순 차량 모델을 통한 적응 순항 제어가 개발되었고, 실차 적용을 위주로 연구가 되었다.<sup>2,3)</sup>

본 논문에서는 이렇게 서로 다른 분야에서 개발된 다물체 차량 동역학 시스템과 적응 순항제어 시스템을 통합하여, PC 기반의 저가형 가상현실 차량 시뮬레이터를 위한 실시간 차량 동역학 및 제어 모델을 제시하고자 한다.

## 2. 가상현실 지능형 차량 시뮬레이터의 구성

적응 순항 제어 시스템은 지능형 차량의 대표적

\*To whom correspondence should be addressed.  
sookim@cnu.ac.kr

인 시스템으로 Fig. 1에 나타난 바와 같이 차량의 전방에 설치된 밀리미터파나 레이더 센서 등을 이용하여 선행차량과 적절한 거리를 유지하며 추종하도록 하는 시스템이다. 즉 선행차와 ACC차의 상대거리와 상대속도를 측정하여, 그 정보를 바탕으로 마이크로 프로세서에 원하는 거리를 산출한 후 트로틀 액추에이터 및 능동 브레이크를 사용하여 차량의 속도를 제어한다.

이러한 적응 순항 제어 시스템을 장착한 지능형 차량의 거동 및 운전자 반응에 관한 연구를 위하여 가상환경의 저가형 차량 시뮬레이터는 유용한 도구이다. Fig. 2는 개발 중인 PC 기반의 저가형 지능형 차량 시뮬레이터의 구성을 나타내고 있다. 아래의 회색 바탕의 배경으로 나타낸 부분은 본 논문을 위해서 현재 개발된 부분이다. 적응 순항 제어를 위한 선행 차량의 거동에 관한 시나리오 입력에 대한 실시간 차량 동역학 및 제어알고리즘을 연산하기 위해 사용된 PC (Real-time Vehicle Dynamics and Control PC)와 3차원 실시간 가상현실 그래픽스를 구현하기 위해 사용된 PC (Visualization PC)로 구성되어 있다. 두 PC는 TCP/IP로 구성된 네트워크로 연결된다.

### 3. 지능형 차량 동역학 및 제어 모델

Fig. 2의 실시간 차량 해석 PC에서 수행되는 차량

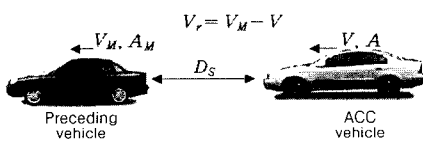


Fig. 1 Adaptive cruise control concept

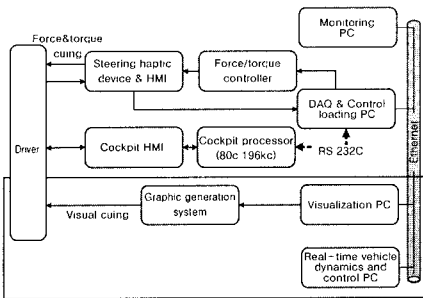


Fig. 2 Hardware configuration of an intelligent vehicle simulator

동역학 및 제어 모델은 선행차의 거리와 속도에 대한 시나리오를 생성하는 입력 모듈, 선행차와 이를 따라가는 ACC 차량의 위치, 거리를 입력받아 거리 제어를 수행하는 제어기 모듈, 그리고 실시간 다물체 차량 모듈로 구성된다.

### 3.1 실시간 다물체 차량 동역학 모델

본 논문에서 사용된 차량 동역학 모델은 HMMWV (High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle) 군용 지프 모델로서<sup>7)</sup>, 현가, 구동, 제동, 조향, 타이어, 실시간 차량 운동방정식 모듈로 구성되어있다.

HMMWV 현가 시스템은 4개의 독립적인 SLA (Short Long Arm) 현가 장치로 구성된다.

조향 장치는 랙(rack)과 피니언의 기구학적 조건에 의하여 운동할 수 있도록 모델링 하였다.

엔진 모델은 트로틀 밸브(throttle valve)의 각과 엔진의 속도에 대한 엔진 토크를 나타내는 엔진 맵을 사용하여 엔진토크  $T_E$ 를 계산한다.<sup>8)</sup>

제동 모델은 운전자의 제동페달 조작에 의해 발생하는 제동토크를 생성하는 서브시스템으로 본 연구에서는 모델링 및 해석의 용이성을 위하여 유압 시스템을 무시하고 시정수를 갖는 1차 선형시스템으로 모델링하였다.

타이어 모델은 해석 모델과 수치 모델을 보완한 STI 타이어 모델<sup>9)</sup>을 사용하였다. 또한 정지 서행 시뮬레이션을 위한 저속 모델을 개발 사용하였다.<sup>10)</sup>

효율적으로 차량 동역학 운동방정식의 해를 구하기 위해서 순환 다물체 공식에 기반을 둔 부분 시스템 합성공식을 사용하였다.<sup>4,8)</sup> 부분 시스템 합성공식은 차체의 운동방정식과 각 현가 장치 운동방정식을 분리해서 해를 구하기 때문에 운동방정식의 크기가 작아져서 보다 효율적이다.

부분 시스템 합성방법을 적용하면 먼저 각각의 독립적인 부분 시스템이 차체에 미치는 영향을 효과 관성 행렬과 효과 힘 행렬을 통하여 구하고 차체의 운동방정식에 합성하여 식 (1)과 같은 차체의 운동방정식을 구한다.

$$(\bar{M}_0 + \sum_{i=1}^k \bar{M}_i) \dot{Y}_0 = (\bar{Q}_0 - M_{yq}^{rack} \ddot{q}_{rack} + \sum_{i=1}^k \bar{P}_i) \quad (1)$$

여기서,  $k$ 는 부분 시스템의 개수를 나타내며  $\bar{M}_i$ ,  $\bar{P}_i$  ( $i=1 \sim 4$ )는 각 부분 시스템이 차체에 미치는 관성 효과를 나타내는 효과 관성 행렬과 효과 힘 행렬을 나타내고 있다. 식 (1)을 이용하여 차체의 가속도인  $\dot{Y}_0(t)$ 를 구하면 식 (2)과 같은 독립적인 현가 부분 시스템에 대한 운동방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \bar{M}_{qq} & \Phi_q^T \\ \Phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{P}_q \\ \gamma \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{M}_{yq}^T \\ 0 \end{bmatrix} \dot{Y}_0(t) - \begin{bmatrix} 0 \\ \Phi_q^{rack} \ddot{q}_{rack} \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서  $\ddot{q}_{rack}$ 에 관계되는 항은 HMMWV의 진륜에서 기구학적 조향 장치를 고려하는 경우에 해당하는 항들이다.

HMMWV 차량에서 부분 시스템 합성법을 적용할 경우 차체 운동방정식(6x6) 1번, SLA 현가 운동방정식(9x9) 4번을 풀게 되므로 기존의 순환 다물체 공식의 운동방정식(42x42)을 한번 계산하는데 비하여 상대적으로 작은 크기의 운동방정식을 풀게 되므로 보다 효율적이다.<sup>4,8)</sup>

### 3.2 제어기 모델

Fig. 3은 제어기 모듈의 개괄적인 흐름도를 나타내고 있다. 흐름도에서 나타난 제어 모델로 ACC 시뮬레이션을 위한 슬라이딩 모드 제어 방법이 사용되었다.<sup>1,3)</sup> 앞서 기술한 바와 같이 제어 모델에서 필요한 토크가 계산되며, 이에 따라 스위칭 로직에 의거하여 트로틀 각 또는 제동기 페달각이 계산된다.

먼저, 차량의 제어를 위해서는 원하는 상대거리를 설계하기 위해 일정 시간 간격 정책(Head way time control)을 사용하였다. 원하는 차량간의 거리  $x_{r\_des}$ 는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$x_{r\_des} = v_f \cdot t_h \quad (3)$$

여기서,  $v_f$ 는 적용 순항 차량의 속도이고  $t_h$ 는 일정 시간 간격으로 선행차가 갑자기 정지했을 때 소요되는 충돌시간을 의미한다.

원하는 차량간의 거리와 실제 차량간의 상대거리의 오차가 0이 될 때, 차량간 상대거리  $x_r$ 는  $v_f$ 에  $t_h$ 를 곱한 식이 되므로 원하는 차량의 속도  $v_{f\_des}$ 는 다음과 같이 계산된다.

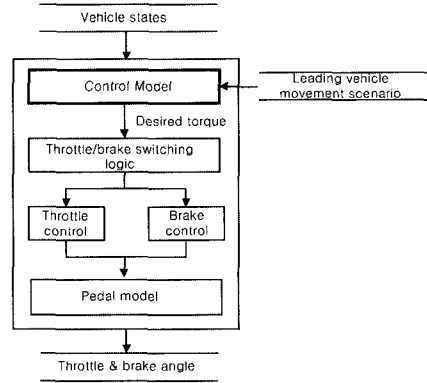


Fig. 3 Control module flow chart

$$v_{f\_des} = \frac{x_r}{t_h} \quad (4)$$

또한 차량의 원하는 가속도  $a_{f\_des}$ 는 식 (5)와 같이 얻을 수 있다.

$$a_{f\_des} = \frac{v_r - \lambda Sat(\frac{s}{\phi})}{t_h} \quad (5)$$

여기서  $v_r$ 은 차량의 상대속도,  $\lambda$ 는 양의 이득이고,  $Sat(\cdot)$ 는 포화함수,  $s$ 와  $\phi$ 는 슬라이딩 면과 경계 층의 폭을 나타낸다.

ACC 차량의 원하는 가속도  $a_{f\_des}$ 는 급가속 및 급감속에 따른 ACC 차량 운전자의 승차감을 고려하여  $1m/s^2$ 와  $-2.5m/s^2$ 를 사이에 있도록 제한하였다.<sup>11)</sup>

원하는 가속도에 대한 엔진이 발생시켜야 될 총 토크는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$T_{eng\_des} = \left[ J_{eff} \cdot \left( \frac{\dot{v}_{f\_des}}{H_r \cdot r_{drive} \cdot r_{gear}} \right) + H_r \cdot r_{drive} \cdot r_{gear} (F_a + F_r) \right] / r_{tq} \quad (6)$$

여기서,  $H_r$ 은 타이어의 반경,  $r_{drive}$ 는 종감속 기어비,  $r_{gear}$ 는 현재 기어위치에서의 기어비, 그리고  $r_{tq}$  토크 컨버터에서의 입출력 토크 비이다. 또한,  $J_{eff}$ 는 엔진 축에서 본 전체적인 등가 관성 모멘트이며,  $F_r$ 은 구름저항,  $F_a$ 는 공기저항이다.

식 (6)과 같이 현재 지능형 차량에서 필요로 하는 토크를 구한 뒤, 필요로 하는 토크의 크기가 엔진 브

레이크를 통해 발생할 수 있는 역 토크(음의 토크) 보다 작은 토크를 필요로 할 때를 기준으로 트로틀/브레이크 스위칭 로직이 동작하도록 구성하였다.<sup>3)</sup>

트로틀/브레이크 스위칭 로직을 통해 트로틀 제어로 판단이 되면 차량이 필요로 하는 엔진토크를 발생하기 위해 식 (7)의 역 엔진 토크 맵을 통하여 트로틀 각도  $\alpha_{des}$ 을 얻는다.

$$\alpha_{des} = T_{eng}^{-1}(\omega, T_{eng\_des}) \quad (7)$$

브레이크 제어로 판단이 되는 경우는 식 (8)을 통해 필요로 하는 브레이크 토크를 구하며, 차량의 브레이크 페달 각은 브레이크 토크와 선형관계를 통해 구해진다.

$$T_{b\_des} = \frac{T_{net} - T_{net\_des}}{r_{drive} \cdot r_{gear}} \quad (8)$$

여기서  $T_{b\_des}$ 는 브레이크 제어 시, 필요한 브레이크 토크이며  $T_{net\_des}$ 는 엔진이 발생시켜야 할 토크,  $T_{net}$ 는 현재의 엔진 속도에서 트로틀 밸브가 완전히 닫히는 경우의 엔진토크를 말하며  $r_{drive}$ 는 종감속기 어비,  $r_{gear}$  현재 기어비를 의미한다.

#### 4. 가상환경 구현

본 연구에서는 차량의 주행 환경의 실시간 그래픽스를 위한 렌더링 도구로써 OpenGVs를 사용하였으며, 환경의 모델링 도구로는 3D Studio Max를 사용하였다. 3D Studio Max를 통해 모델링 된 오브젝트는 PolyTrans를 통해 OpenFlight File(\*.flt)로 변환되어 OpenGVs에서 사용되어 진다.

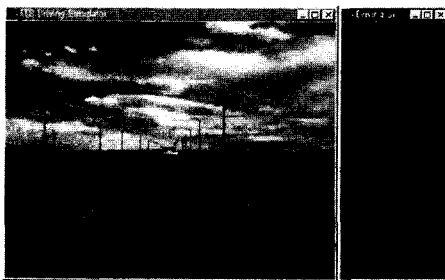


Fig. 4 Virtual environment for intelligent simulator

가상환경 그래픽 시뮬레이션은 Visual C++을 이용하여 25Hz의 프레임 율로 화면을 갱신하도록 개발하였다.

Fig. 4는 적응 순항 제어 시뮬레이션을 위한 구현된 가상환경의 직진 주행 코스를 나타내고 있다. 왼쪽 창은 운전자의 시야를 나타내고 있고, 오른쪽 창은 하늘에서 본 선행차와 ACC차량의 거동을 가시적으로 확인 할 수 있도록 하였다. 가상현실의 실시간 렌더링을 수행할 때는 오른쪽 창이 활성화되지 않도록 하였다.

### 5. 지능형 차량 시뮬레이션

일반적으로 ACC 차량에서 발생할 수 있는 실제 상황은 선행차량 추종 및 정속주행, 정지 및 서행,<sup>12)</sup> 선행차량이 갑자기 없어진 경우(차선변경), 선행차량 갑자기 나타난 경우(끼어들기)이다. 본 논문에서는 차선변경과 끼어들기 경우에 관한 시뮬레이션을 수행하였다.

#### 5.1 차선 변경 시뮬레이션

차선 변경 시뮬레이션은 ACC 차량의 선행차량 V2가 차선을 변경하여, ACC 차량의 거리 센서가 이제 차선 변경하기 전에 V2 차량 보다 앞서 달리는 V1을 선행차량으로 인식하여 추종하는 경우를 나타낸다. 이 경우는 차선변경과 함께 추종 대상 차량이 변하므로, ACC차량과 상대거리와 상대속도의 불연속 적으로 갑자기 증가하는 상황이다. 이러한 상황을 나타내는 선행차량 V1과 V2의 속도 프로파일은 Fig. 6에 나타나 있다. ACC 차량의 속도는 처음에는 V2와 같은 속도로 추종하다가, V2차량이 차선변경을 한 후에는 원하는 거리를 유지하기 위하여, V1 보다 빠른 속도로 주행하는 것을 알 수 있다.

앞서 3.2절에서 설명한 ACC차량의 저크(jerk)를 방지하기 위하여, 제어로직에서 필요한 차량의 가속도를 제한하는 경우(anti\_jerk on)와 제한을 두지 않은 경우(anti\_jerk off)에 관하여 비교 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 7에 나타난 바와 같이 제한을 두는 경우는 갑자기 증가한 선행차량과의 상대거리를 보상하는 시간이 더 오래 걸리는 반면, 제한을 두지 않는 경우는 보다 빠르게 원하는 거리와 속도를 유

지하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 차선변경 경우의 선행차량과 ACC 차량의 종방향 가속도와 피치속도를 나타내고 있다. 제어기에서 가속도를 제한하는 경우(anti\_jerk on)는 피크 가속도가 약  $1.5 \text{ m/s}^2$  인 반면, 제한하지 않는 경우(anti\_jerk off)는 피크 가속도가 약  $3.5 \text{ m/s}^2$  으로 운전자에게 안락감을 주지 않는 것을 알 수 있다. 또한 최대 피치속도도 2배정도 큰 것을 알 수 있다.

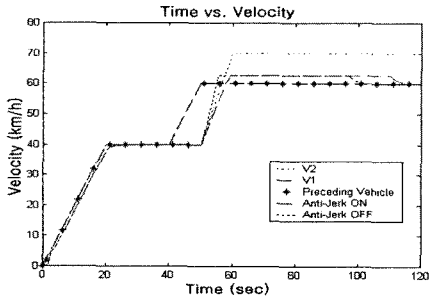


Fig. 6 Velocities of ACC and preceding vehicles in cut-out situation

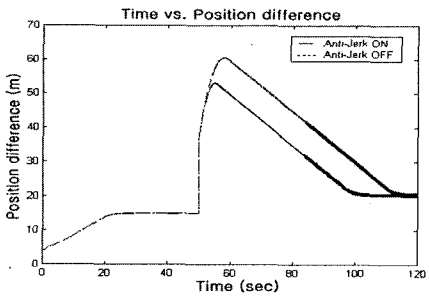


Fig. 7 Relative distances between preceding and ACC vehicles in cut-out situation

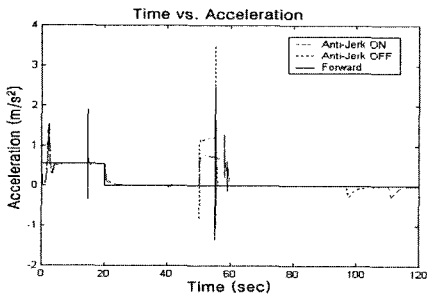


Fig. 8 Accelerations of preceding and ACC vehicles in cut-out situation

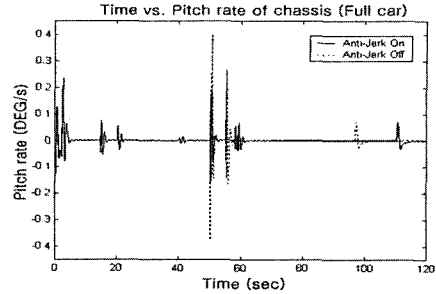


Fig. 9 Pitch rates of preceding and ACC vehicles in cut-out situation

### 5.2 끼어들기 시뮬레이션

끼어들기 시뮬레이션은 ACC 차량의 선행차량 V2를 정속으로 추종하고 있을 때, 옆 차선에서 같은 속도로 달리고 있던 차량 V1이 끼어들어 갑자기 ACC 차량의 선행차량이 바뀌면서, 상대거리가 불연속적으로 감소하는 상황이다. 차선변경과는 달리 이 경우에는 같은 속도로 끼어들기를 한다. Fig. 10은 ACC차량의 추종 속도를 나타내고 있다. 50초에서 옆에 차가 끼어들었을 때, 3.2절의 스위칭로직에 의해서 브레이크가 작동하여, 속도가 줄어든 것을 알 수 있다. Fig. 11은 ACC차량과 선행 차량과의 상대거리를 나타내고 있다. 끼어들기에 의해서 15m를 유지하던 앞차와의 거리가 50초에서 6m로 줄어드는 것을 알 수 있으며, 능동 브레이크와 엔진제어로 다시 거리를 15m로 유지시키는 것을 알 수 있다. 이 끼어들기 시뮬레이션에서는 차선변경 시뮬레이션과 마찬가지로 저크 방지 로직을 적용하였다. Fig. 12와 Fig. 13은 ACC 차량의 종방향 가속도와 피치각속도를 나타내고 있다. 피크 가속도가  $0.2g$ 를 넘지 않는 것을 알 수 있다.

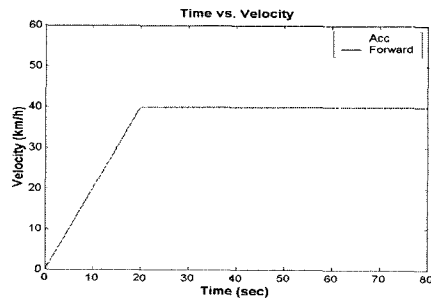


Fig. 10 Velocities of ACC and preceding vehicles in cut-in situation

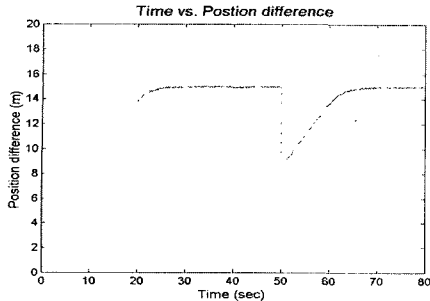


Fig. 11 Relative distances between preceding and ACC vehicles in cut-in situation

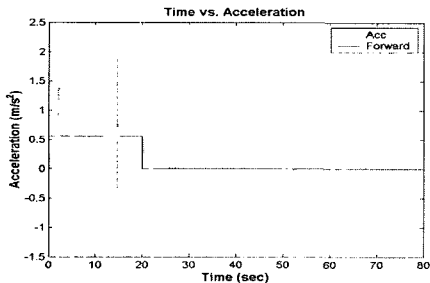


Fig. 12 Accelerations of preceding and ACC vehicles in cut-in situation

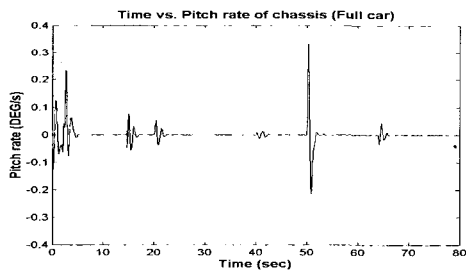


Fig. 13 Pitch rates of preceding and ACC vehicles in cut-in situation

### 6. 시스템 통합

가상환경에서 실시간 시뮬레이션이 가능하기 위해서는 가상화를 담당하고 있는 PC와 차량 동역학 및 제어해석을 담당하고 있는 PC사이의 시간적요소를 고려해야 한다. 이러한 시간요소는 차량 해석 연산시간과 시각적으로 차량의 거동을 가상환경과 함께 가상화 하는 시간 지연을 말한다. Fig. 14는 시간별 각 프로세서의 소요시간을 나타내고 있다. 막대 그래프는 각 프로세서의 소요시간을 나타내고 있으며, TA 는 실시간 차량 해석의 연산 시간, 가상화에 필요한 시간, 제어 로딩에 필요한 시간의 합을

나타내고 있다. 이 시간이 시뮬레이터의 한 프레임으로 설정된 시간 TL을 초과하지 않으면, 실시간이 성립한다.

Fig. 15는 구현된 가상환경 지능형 차량 시뮬레이터를 나타내고 있다. 차량 동역학 및 제어 해석은 Pentium-IV 1.6 Ghz CPU, RAM 256M의 사양의 PC에서 이루어 졌으며, 8ms의 적분간격으로 시뮬레이션을 수행하였다. 가상화 담당 PC는 SGI-540, Pentium II 500Mhz Zeon CPU, RAM 128M의 사양이다. 40 ms 마다 TCP/IP를 이용하여 차량 해석 PC에서 가상화 담당 PC로 차량의 위치, 속도 자료를 보내어 25Hz의 프레임 갱신률을 유지하도록 하였다.

총 120초 시뮬레이션에 걸린 계산시간은 5.23초로 실제 수행시간의 4.36%의 계산시간이 소요되었으며 이를 통해 개발된 다물체 차량 동역학 및 제어 모델이 지능형 차량 시뮬레이터의 가상 주행의 가능성을 실험적으로 확인할 수 있었다.

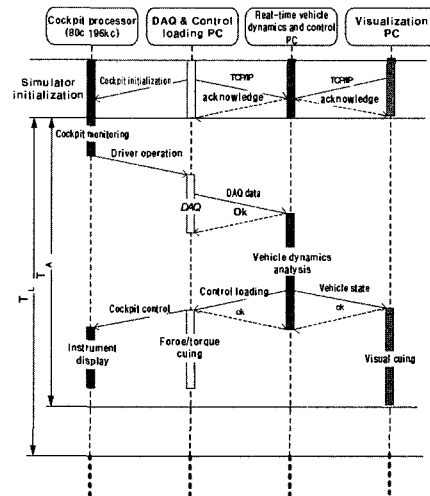


Fig. 14 Real-time concept

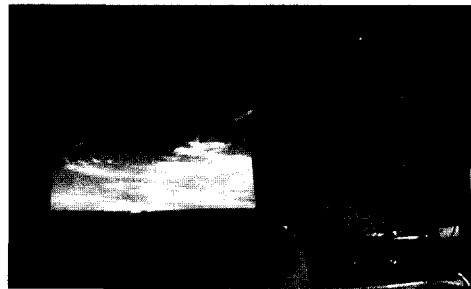


Fig. 15 Virtual reality intelligent vehicle simulator

## 7. 결론

본 연구에서는 차체, 현가 모델, 조향 모델과 타이어 모델 그리고 파워 트레인과 제동장치모델을 포함한 다물체 차량 동역학 모델과 슬라이딩 모드 제어를 적용한 ACC 제어모델을 이용하여 통합된 차량 동역학 및 제어 모델을 개발하였다. 또한 ACC 차량의 운전자 반응을 위하여, 가상환경에서 주행할 수 있도록 실시간 렌더링 프로그램을 개발하여 지능형 차량 시뮬레이터에 적용하였다. 차선 변경, 끼어들기 시뮬레이션을 통하여 ACC 차량이 급작스런 앞차와의 상대 거리와 상대 속도 변화에도 선행차량을 적절히 추종하는 것을 알 수 있었다. 또한 제어 로직에 저크를 방지할 수 있도록 하여, ACC 차량의 가속도를  $0.2g$  안으로 제한할 수 있었다. CPU 시간의 측정으로 개발한 모델이 가상현실 지능형 차량 시뮬레이터에 적합한 모델임을 검증하였다.

## References

- 1) M. C. Won, S. S. Kim, B. B. Kang, "A Test Bed for Vehicle Longitudinal Control using Chassis Dynamometer and Virtual Reality : An Application to Adaptive Cruise Control", AVEC, 5th International Symposium on Advanced Vehicle Control, pp.517-524, 2000.
- 2) S. J. Lee, J. H. Hong, K. S. Yi, "A Modeling and Control of Intelligent Cruise control Systems", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol.25, No.2, pp. 283-288, 2001.
- 3) M. C. Won, Y. J. Kang, B. B. Kang, "Development of Control Algorithm and Real Time Numerical Simulation Program for Adaptive Cruise Control Vehicles", Transactions of KSAE, Vol.7, No.7, pp.202-213, 1999.
- 4) S. S. Kim, Y. S. Oh, "Development and Implementation of Real Time Multibody Vehicle Dynamics Model", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol.25, No.5, pp.834-840, 2001.
- 5) G. J. Choi, Y. M. Yoo, L. P. Lee, Y. S. Yoon, "A Real-time Multibody Dynamic Analysis Method using Suspension Composite Joints", Int. Journal of Vehicle Design, Vol.24, Nos 2/3, pp.259-273, 2000.
- 6) H. K. Jung, S. S. Kim, "An Efficient Vehicle Dynamic Analysis Method Including Kinematic Characteristics of Suspensions", 2003 KSAE Spring Conference Proceeding, Vol. II, pp.666-673, 1998.
- 7) HMMWV M1025 Dynamics Model, Automotive Research Center, Center for CAD, Iowa, 1997.
- 8) S. S. Kim, Y. S. Oh, G. I. Lee, B. S. Sohn, "The Development of a Real-time Multibody Vehicle Dynamics for Vehicle Simulator", 2000 KSAE Spring Conference Proceeding, pp.130-137, 2000.
- 9) R. W. Allen, R. E. Magdaleno, Theodore J. Rosenthal, "Tire Modeling for Vehicle Dynamic Simulation", SAE 950312, 1995.
- 10) J. E. Bernard, C. L. Clover, "Tire Modeling for Low-Speed and High-Speed Calculation", SAE 950311, 1995.
- 11) D. E. Goldman, Von Gierke, H. E., Shock and Vibration Handbook, Gyril M. Harris (ed.), McGraw-Hill, 3rd Edition, Ch. 44 in 1988.
- 12) S. S. Kim, M. C. Won, G. I. Lee, "The development of a real-time multibody vehicle dynamics for vehicle simulator", 2001 KSAE Autumn Conference Proceeding, Vol. II, pp.902-907, 2001.