

## ACC 차량의 동특성 해석을 위한 VR 시뮬레이션 시스템 개발

권성진<sup>1)</sup> · 장석<sup>1)</sup> · 윤경한<sup>2)</sup> · 서명원<sup>3)</sup>

성균관대학교 기계공학부 대학원<sup>1)</sup> · 자동차성능시험연구소<sup>2)</sup> · 성균관대학교 기계공학부<sup>3)</sup>

### Development of the VR Simulation System for the Dynamic Characteristics of the Adaptive Cruise Controlled Vehicle

Seong-Jin Kwon<sup>1)</sup> · Suk Jang<sup>1)</sup> · Kyoung-Han Yoon<sup>2)</sup> · Myung-Won Suh<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi-do 440-746, Korea

<sup>2)</sup>Korea Automobile Testing & Research Institute, 625 Samjon-ri, Songsan-myun Hwasung-si, Gyeonggi-do 445-871, Korea

<sup>3)</sup>School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi-do 440-746, Korea

(Received 19 April 2004 / Accepted 3 June 2004)

**Abstract** : Nowadays, to analyze the dynamic characteristics of the automotive driving system, the computer simulation linked up with VR(Virtual Reality) technology is treated as the useful method with the improvement of computing ability. In this paper, the VR simulation system has been developed to investigate the driving characteristics of the ASV(Advanced Safety Vehicle) equipped with an ACC(Adaptive Cruise Control) system. For the purpose, VR environment which generates 3D graphic and sound information of the vehicle, the road, the facilities, and the terrain has been organized for the driving reality. Mathematical models of vehicle dynamic analysis including the ACC model have been constructed for computer simulation. The ACC modulates the throttle and brake functions to regulate the vehicle speed so that vehicles could keep proper spacing. Also, the real-time simulation algorithm synchronizes vehicle dynamic simulation with the graphic rendering. With the developed VR simulation system, simple scenarios are applied to analyze the dynamic characteristics. It is shown that the VR simulation system could be useful to evaluate the adaptive cruise controlled vehicle on various driving conditions.

**Key words** : Intelligent transportation system(지능형 교통 시스템), Advanced safety vehicle(첨단 안전 차량), Adaptive cruise control(적용 순항 제어), Virtual reality(가상 현실), Simulation(시뮬레이션)

### 1. 서론

최근 운전자의 안전성 및 편의성을 위해 ITS(Intelligent Transportation System)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 이 분야의 연구개발은 대형 프로젝트로 중심으로 추진되었으며, 대표적으로 미국은 PATH Program(The California Program on Advanced Technology for the Highway), 일본에서는 정부

주도하에 ITS 관련 정부부서에서 각각의 독자적인 프로젝트를 수행하여 왔다.<sup>1,2)</sup>

ITS의 일환으로 차량이 지능화된 ASV(Advanced Safety Vehicle)의 세부 시스템 중 ACC(Adaptive Cruise Control) 시스템은 ITS 분야의 중요한 차량 제어기술이다. 이 시스템은 센서에 의해 인식되는 주행상황에 따라 쓰로틀 및 브레이크 액츄에이터(actuator)를 자동 제어하여 선행차량과의 적정 차간 거리를 유지한다. 이러한 ACC 시스템에 관한 연구

\*To whom correspondence should be addressed.  
suhmw@yurim.skku.ac.kr

는 최근 많은 연구기관에서 활발하게 진행되었으며, 그 중 Wang 등의 연구<sup>3)</sup>는 가변 시간 간격 (variable time gap) 기준으로 차간거리를 제어하였으며, 제안된 시스템이 고속도로 차량흐름에 미치는 영향에 관하여 논하였다. Holve 등의 연구<sup>4)</sup>에서는 퍼지 제어를 통해 ACC 차량의 가속도를 제어하였으며, 가속페달을 통해 운전자에게 가속도 정보를 피드백(feedback)하는 시스템을 개발하였다. Seto 등의 연구<sup>5)</sup>는 차량 간 통신을 이용한 거리제어 방법을 제안하고, 시뮬레이션과 실차실험을 비교하였다. 이동현 등의 연구<sup>6)</sup>에서는 기존의 슬라이딩 모드제어를 보완하기 위해 구동력을 증가시키기 위한 하향변속제어와 추종오차 증폭현상을 감소시키기 위한 예측보정방법을 적용하였다. 또한 이세진 등의 연구<sup>7)</sup>에서는 쓰로틀/브레이크 제어 알고리즘 및 이를 상황에 따라 변화시키는 전환논리를 설계하고 실차실험을 수행하였다.

앞서의 연구들은 주로 ACC 시스템을 위한 종방향 제어기 설계 및 성능에 관한 연구에 초점을 맞추었으며, 설계된 제어기의 동특성을 분석하기 위해 실차실험 또는 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 ACC 시스템의 성능 평가 및 분석 등을 연구할 경우, 실차실험은 막대한 개발비용 및 시간이 소요되며 극한상황에 대한 실험이 불가능하다. 또한 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 방법은 미리 설정된 시나리오에 의한 시험만을 평가하여, 다양한 운전 상황에 대한 분석이 어렵다. 이를 보완하기 위한 방법으로 VR(Virtual Reality) 기술을 접목시킨 시뮬레이션은 실제 주행환경을 VR 공간상에 표현함으로써 실차 실험 및 시뮬레이션의 한계를 극복할 수 있다.

이에 본 연구에서는 ACC 차량의 거동특성을 분석하기 위해 VR 시뮬레이션 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 다양한 주행환경에 대한 VR 데이터 베이스를 확보하여 실제 주행상황을 모사하는 VR 시스템을 구성한다. 또한 실차실험을 통해 검증된 수학적 차량동역학 모델과 ACC 제어 알고리즘을 포함하여 ACC 시뮬레이션 시스템을 구성한다. 구성된 각 시스템간의 연계를 통해 VR 시뮬레이션 시스템의 실시간성을 확보함으로써, ACC 차량을 위한 VR 시뮬레이션 시스템을 구축하고자 한다. 이를

바탕으로 다양한 주행 시나리오들을 적용하여 개발된 시스템의 효용성을 검증하고자 한다.

## 2. 시스템 구성

VR 시뮬레이션 시스템은 VR 시스템과 ACC 시뮬레이션 시스템으로 구성된다. VR 시스템은 3차원 영상 및 음향의 구현을 담당하며, ACC 시뮬레이션 시스템은 ACC 차량의 차량동역학 시뮬레이션을 담당한다. 본 연구에서 사용된 시스템 개발언어는 Microsoft Visual C++ 6.0이다.

### 2.1 하드웨어 구성

VR 시뮬레이션 시스템의 하드웨어 구성은 Fig. 1과 같이 영상정보를 제공하는 그래픽 시스템과 음향정보를 제공하는 오디오 시스템, 전체적인 시스템을 운영하는 컴퓨터부로 구성된다. 하드웨어 시스템은 SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground)의 연구<sup>8)</sup>에서 개발된 시스템을 사용하였다. 또한 호스트 및 클라이언트 PC의 업그레이드를 통해 3차원 그래픽 렌더링 및 실시간 시뮬레이션 수행에 있어서 전체적인 성능향상을 이루었다.

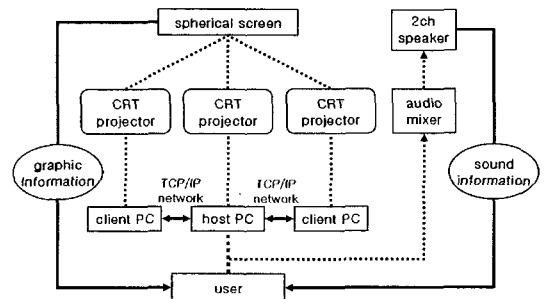


Fig. 1 Hardware configuration of the VR simulation system

### 2.2 소프트웨어 구성

VR 시뮬레이션 시스템의 소프트웨어 구성은 Fig. 2와 같다. VR 시스템은 실제 주행환경을 표현하기 위해 지형, 차량, 주변시설물 등의 영상정보와 실제 차량의 음향을 샘플링한 사운드 정보 등의 VR 데이터베이스를 구축하고, 이를 시뮬레이션 상황에 따라 그래픽 및 사운드 시스템을 통해 재현한다. 또한 ACC 시뮬레이션 시스템은 수학적으로 구성된 차량

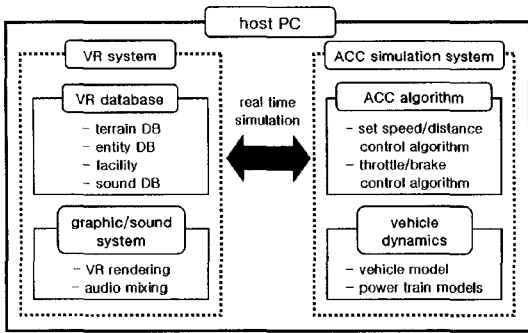


Fig. 2 Software configuration of the VR simulation system

동역학 모델과 ACC 제어 알고리즘을 통해 차량의 운동특성을 해석한다. 이러한 VR 시스템과 ACC 시뮬레이션 시스템의 연계를 통해 VR 시뮬레이션의 실시간성을 확보하였으며, 이에 대한 자세한 설명은 5장에서 언급하였다.

### 3. ACC 시뮬레이션 시스템

ACC 차량의 운동특성을 시뮬레이션하기 위해 우선적으로 수학적 차량모델에 기초한 차량동역학 모델을 구성한다. 또한 실차실험을 통하여 구성된 차량모델에 대한 수정 및 검증은 수행하며, 구성된 차량모델에 ACC 세부 제어기능을 부가하여 ACC 시뮬레이션 시스템을 구축한다.

#### 3.1 차량동역학 모델

본 연구에서 사용된 차량동역학 모델은 서명원<sup>9)</sup>, 김태기<sup>10)</sup> 등에 의하여 개발된 8자유도 차량동역학 모델을 본 연구의 목적에 맞게 수정하여, 종방향 운동만을 고려하였다. 이러한 차량모델은 스로틀 개도의 입력에 따라 엔진출력으로부터 차륜의 회전운동까지의 동력전달계 모델을 통해 구동력을 연산하고, 브레이크 압력의 입력에 따라 브레이크 모델을 통한 제동력을 연산한다. 동력전달계 모델은 SVPG의 연구<sup>8)</sup>에서 사용된 모델을 일부 수정하여 사용하였다. 본 연구에서는 ACC 차량의 주행조건을 고려하여 토크 컨버터 모델은 펌프 측과 터빈측이 직결된 상태로 고정하였으며, 대상차량의 파라미터는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Vehicle parameters

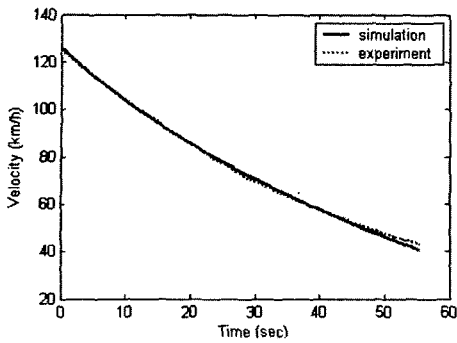
parameter	unit	value
vehicle mass	kg	1900
wheelbase	m	2.965
tire rolling radius	m	0.406
1st gear ratio	-	3.590
2nd gear ratio	-	2.190
3rd gear ratio	-	1.410
4th gear ratio	-	1.000
5th gear ratio	-	0.830
final reduction gear ratio	-	2.820

#### 3.2 실차실험을 통한 검증

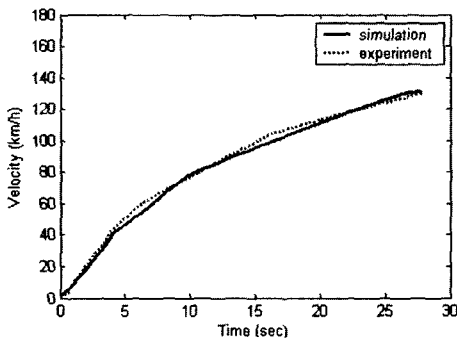
앞서 제안된 차량동역학 모델을 검증하기 위해 실차실험을 수행하였다. 우선적으로 타행주행 실험을 통하여 공기저항계수와 구름저항계수를 추정하였다. 실험차량은 초기속도 130km/h에서 기어중립 상태로 운전자의 운전조작 없이 타행주행하는 상태에서 차량의 속도변화를 측정하였다. 이러한 실험 결과는 TRIAS 시험법<sup>11)</sup>을 통해 계산하였으며, 산출된 공기저항계수는 0.374, 구름저항계수는 0.0244이다. 추정된 데이터의 신뢰성을 검증하기 위해 실차실험과 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였으며, Fig. 3(a)로부터 시뮬레이션 결과의 타당성을 확인할 수 있다.

가속성능 실험은 다양한 속도구간에서 실험차량의 가속페달 작동비율을 30, 60, 100%로 조절하여 수행하였다. 실험을 통해 얻은 속도데이터를 이용하여, 시뮬레이션 모델의 개선 및 검증을 수행하였다. Fig. 3(b)은 0~130km/h의 속도구간에서 가속페달 작동비율이 60%일 때의 성능모사 결과이며, 실차실험과 시뮬레이션 결과가 일치함을 알 수 있다. 또한 가속페달 작동비율이 100%인 경우, 차량이 정지 상태로부터 100km/h 도달시간은 시뮬레이션의 경우는 10.091s, 실차실험의 경우는 9.975s임을 감안할 때, 시뮬레이션 모델이 실험차량의 가속성능을 잘 모사하고 있음을 알 수 있다.

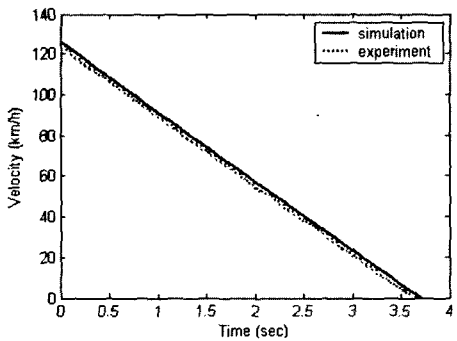
제동성능 실험은 차량의 초기속도 130km/h에서 브레이크 답력을 각각 30, 60, 100%로 제동하여 차량의 속도변화를 측정하였다. 차량동역학 시뮬레이션에 반영 시, 브레이크 답력 100%를 목표로 제동할 경우, 브레이크 라인 압력 또한 100%를 목표로 압력



(a) Case of the coasting situation



(b) Case of the acceleration situation



(c) Case of the braking situation

Fig. 3 Verification of the vehicle dynamic model

이 상승한다고 가정하였다. 브레이크 라인 압력 비율이 100%인 경우, 결과 비교는 Fig. 3(c)에 나타내었으며, 실차실험과 시뮬레이션 결과가 일치함을 알 수 있다.

### 3.3 ACC 시뮬레이션 모델

ACC 시스템은 선행차량(Leading Vehicle, LV)을 인식하는 센서와 쓰로틀 개도, 브레이크 압력을 구

동하는 액추에이터 그리고 다양한 운전상황에 따른 ACC 제어 알고리즘 등으로 구성된다. ISO(International Organization for Standardization) 15622<sup>12)</sup>에서는 ACC 시스템의 기본 구성요소를 Fig. 4와 같이 운전자와 차량 및 주변 환경요소로 나타내었으며, ACC 제어 알고리즘을 중심으로 유기적으로 작동된다.

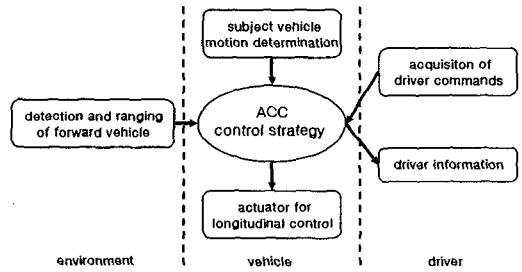


Fig. 4 Functional ACC elements

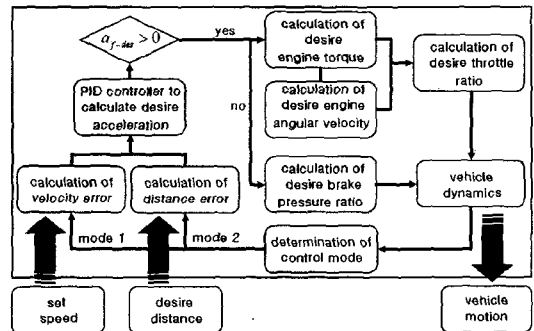


Fig. 5 Flow chart of the ACC algorithm

본 연구에서는 ACC 차량의 제어 알고리즘을 Fig. 5와 같이 구성하였다. 먼저 차량의 주행상황을 인식하고, 제어모드 판단기준에 따라 설정속도 추종 제어 또는 거리제어 알고리즘을 선택한다. 차간거리를 제어할 경우, ACC 차량의 속도( $v_f$ )와 운전자 설정에 의한 헤드웨이 시간(headway time)인 시간간격( $t_h$ ), 센서에 의해 입력되는 LV와의 상대거리( $x_r$ )를 바탕으로 목표가속도를 계산한다. 또한, 설정속도를 추종할 경우 운전자에 의한 설정속도( $v_{f-set}$ )와 ACC 차량의 속도를 이용하여 목표가속도를 계산한다. 계산된 목표가속도에 따른 쓰로틀 개도와 브레이크 압력을 쓰로틀/브레이크 제어 알고리즘을 통해 연산하여 차량동역학 해석을 수행하게 된다.

### 3.3.1 ACC 제어 알고리즘

ACC 시스템은 주행환경에 따라 적절한 제어모드로 변환하여 주행하기 위해 제어모드를 식 (1)을 통하여 판단한다.

$$x_r \geq v_{f-set} \times t_h \quad (1)$$

식 (1)의 좌변은 센서를 통해 측정된 ACC 차량과 LV 사이의 실제 상대거리를 뜻하며, 우변은 목표설정거리를 나타낸다. 따라서 LV와의 상대거리가 식 (1)을 만족하거나, ACC 차량이 LV를 인식하지 못하는 경우는 설정속도 추종제어를 수행하며, 그 외에는 LV와의 안전 차간거리 제어를 수행한다.

#### 1) 설정속도 추종 제어 알고리즘

식 (1)을 만족하거나 ACC 차량의 전방에 LV가 없는 경우, ACC 차량은 운전자에 의해 입력된 설정속도로 추종하여 주행한다. 설정속도와 ACC 차량 속도의 오차( $e_1$ )는 식 (2)와 같으며, 오차에 대한 PID 제어를 수행하여 목표가속도를 구한다.

$$e_1 = v_{f-set} - v_f \quad (2)$$

#### 2) 거리제어 알고리즘

거리제어 알고리즘은 ACC 차량의 실제속도와 시간간격을 이용하여 목표차간거리( $x_{r-des}$ )를 계산한다. 목표차간거리는 식 (3)과 같다. 계산된 목표차간거리와 센서를 통해 측정된 실제 상대거리와의 오차( $e_2$ )는 식 (4)와 같으며, PID 제어를 통해 오차를 보정하여 목표가속도를 계산한다.

$$x_{r-des} = v_f \times t_h \quad (3)$$

$$e_2 = x_r - x_{r-des} \quad (4)$$

또한 ISO 15622에서 언급한 바와 같이, LV와의 상대거리가 매우 가까울 경우에는 센서가 정확한 상대거리를 측정할 수 없다. 이 경우, ACC 차량은 무조건적으로 감속하도록 하여, LV와의 상대거리를 증가시키는 알고리즘을 추가하였으며, 본 연구에서는 센서의 최소 감지범위를 4m로 적용하였다.

### 3.3.2 스로틀/브레이크 제어 알고리즘

ACC 제어 알고리즘에서 목표가속도가 0보다 큰

경우에는 스로틀을 제어하며, 이를 위해 역 차량동역학 모델을 이용한다. 목표가속도( $a_{f-des}$ )에 대한 엔진 토크( $T_{e-des}$ )와 엔진 속도( $\omega_e$ )를 구하고, 이를 역엔진맵에 입력함으로써 스로틀 개도를 얻을 수 있다.

$$T_{e-des} = \frac{R(Ma_{f-des} + F_D)}{N_i N_f} \quad (5)$$

$$\omega_e = \frac{v_f N_i N_f}{R} \quad (6)$$

여기서  $R$ 은 타이어 반경,  $M$ 은 차량 질량,  $F_D$ 는 주행저항력,  $N_i$ 는 기어비,  $N_f$ 는 종감속비이다. 목표가속도가 0보다 작은 경우에는 브레이크를 제어하며, 브레이크 압력( $P_{b-des}$ )은 식 (7)을 통해 구할 수 있다. 식 (7)에서  $k_b$ 는 브레이크 게인을 뜻한다.

$$P_{b-des} = \frac{1}{k_b} - R(Ma_{f-des} + F_D) \quad (7)$$

## 4. VR 시스템

VR 시스템은 영상을 담당하는 그래픽 시스템, 음향을 담당하는 오디오 시스템 그리고 각 시스템들을 연계하여 종합적으로 데이터를 처리하는 컴퓨터부로 구성된다. 본 연구에서 이용한 구형 스크린과 3채널 방식의 프로젝션 시스템을 포함한 VR 시스템은 Fig. 6과 같다.



Fig. 6 3channel projection VR system

### 4.1 VR 데이터베이스

VR 시스템은 사용자에게 현실감을 제공하는 것이 주목적이므로, 실사의 이미지를 표현하는 동시

에 그래픽을 실시간으로 재현하도록 구성하였다. VR 모델은 터레인(terrain), 엔티티(entity), 센서 등으로 구성된다. 터레인은 실제의 주행시험장을 모사하였으며, 엔티티는 ACC 차량과 일반차량 2대를 모델링하였다. 모델링은 상용 3D 모델링 툴인 Multi-gen Creator ver. 2.5.1<sup>13)</sup>을 사용하였다.

현실감 있는 그래픽의 실시간 연산을 보장하기 위해 CPU의 연산을 최소화 시켜주도록 폴리곤 리덕션(polygon reduction) 기법, 텍스처 밍 맵핑(texture mipmapping) 기법 등을 적용하였다. 이러한 실시간 렌더링은 Open GL 기반의 Vega 3.7 MP<sup>14)</sup>를 사용하였다. 3D 화면은 날씨, 조명, 카메라 등 3D 공간을 구성하는 기본요소와 은면제거(hidden surface removal), 웨이딩(shading), 컬링(culling), LOD(Level Of Detail) 등 현실성을 향상하는 기법으로 구성하였다. 또한 사용자의 편의성을 위해 멀티 뷰포트(viewport), 차량들에 대한 주행정보 표시, ACC 센서 영역 표시 등의 기능을 추가하였다.

#### 4.2 그래픽 및 오디오 시스템

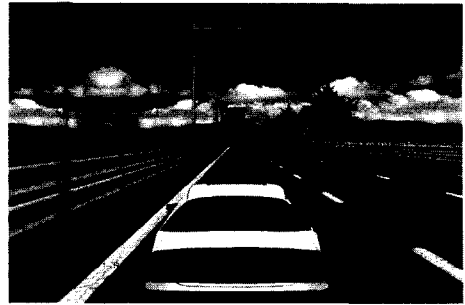
그래픽 시스템은 현실감을 향상시키기 위해 구형 스크린과 3채널 프로젝션 시스템을 사용하였다. 또한 그래픽 서버는 일반 PC 3대를 TCP/IP 네트워크로 구성하여 우수한 그래픽 렌더링 성능을 얻을 수 있다. 오디오 시스템은 VR 공간상에서 발생한 음향을 오디오 믹서(audio mixer)를 통하여 입력받고, 이를 증폭하여 2채널 스피커 시스템으로 출력함으로써 사용자에게 사운드 정보를 제공한다.

### 5. 시스템 통합

VR 시뮬레이션 시스템은 ACC 시뮬레이션 시스템과 VR 시스템을 연계하여 실시간성을 확보하였다. 또한 연계 시 각 시스템들의 좌표계를 수학적으로 계산하여 일치시킴으로써 VR 시스템이 실제 세계를 반영할 수 있도록 하였다.

#### 5.1 시스템간의 연계

VR 시스템은 ACC 시뮬레이션 시스템에서 계산되는 차량의 주행정보를 입력으로 하여 VR 공간상에 차량의 좌표 및 움직임을 표현한다. 시스템간의



(a) Viewpoint at the subject vehicle



(b) Viewpoint at the leading vehicle

Fig. 7 Screens of the VR simulation system

연계 시 차량 동역학은 실제세계의 물리량을 기준으로 연산이 이루어지는 반면에 3D 공간상의 차량은 VR 공간의 좌표를 기준으로 모든 연산을 처리한다.

따라서 실제세계와 VR 공간 사이의 좌표 차이를 수학적으로 계산하여 동일하게 연계하였다. Fig. 7은 VR 시뮬레이션을 위해 구성된 화면을 나타낸다.

#### 5.2 실시간 VR 시뮬레이션

차량동역학 해석결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 수치연산 단위는 1ms로 설정하였다. 또한 차량 동역학 해석 및 ACC 시뮬레이션의 실시간성 확보를 위해 SDK(Software Development Kit)의 라이브러리 함수를 이용하였다. 본 연구에서는 차량동역학과 VR을 연계하여 시뮬레이션을 수행할 때, 35~40fps의 성능을 유지할 수 있도록 하였다. 이를 위해 프레임 스킵핑(frame skipping) 기법을 사용하여 안정적인 렌더링 성능을 얻을 수 있었다.

### 6. VR 시뮬레이션 시스템 적용 예

본 연구에서 개발된 VR 시뮬레이션 시스템을 검

증하고 제안된 ACC 제어 알고리즘의 유용성을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시나리오는 Fig. 8(a), (b)와 같이 LV가 감속하는 경우와 끼어들기를 하는 경우로 분류하였다.

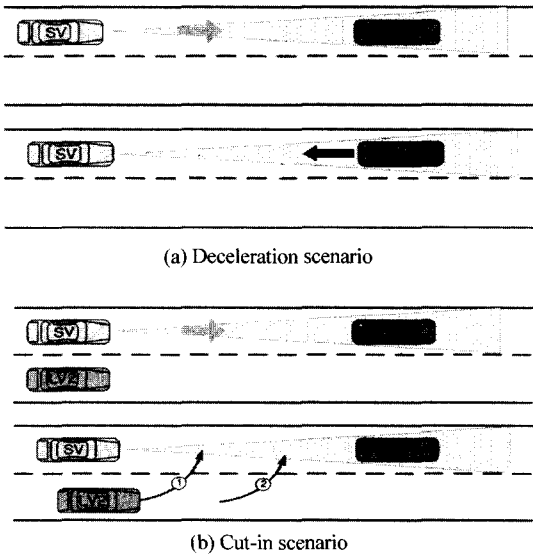


Fig. 8 Scenarios for the ACC VR simulation system

### 6.1 감속 시나리오

감속 시나리오는 LV의 감속정도에 따라 시나리오를 구분하여 적용하였다. 시나리오에서 ACC 차량의 초기속도는 110km/h, ACC 차량의 설정속도는 120km/h, LV의 초기속도는 110km/h로 설정하였다.

시나리오 1은 ACC 차량이 초기에 설정속도 추종 제어 모드로 주행을 하기위해 가속을 하게 된다. 이후, LV와의 상대거리가 가까워짐에 따라, ACC 차량이 LV를 감지하여 거리제어 모드로 알고리즘이 전환되어 차간거리를 유지한다. 이 때, LV가 110 km/h에서 80km/h로 감가속도 0.1g로 감속하게 되며, Fig. 9에서와 같이 ACC 차량은 LV의 감가속도에 따라 적절하게 LV와의 차간거리를 제어함을 알 수 있다. 시간간격은 1.0s로 설정하였으며, LV가 비교적 작은 감가속도를 가진 경우, ACC 차량은 비교적 안정적으로 주행을 할 수 있다.

시나리오 2는 극한상황에 해당되며, 시간간격이 1.0s인 경우에 ACC 차량은 시나리오 1과 같이 초기 속도 110km/h에서 설정속도 120km/h로 가속하여

주행하였으며, LV를 감지하여 거리제어 알고리즘으로 전환하였다. LV는 감가속도 0.5g의 급격한 감속을 하였으며, ACC 차량은 이를 인식하여 감속하였으나, LV의 감가속도를 추종하지 못하고 충돌하는 현상이 발생하였다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 10과 같다. 이는 ACC 차량의 가속도를 ISO 15622에 언급된 바와 같이  $\pm 2m/s^2$ 로 제한되도록 ACC 제어 알고리즘을 구성하였기 때문이다.

충돌을 피하기 위하여 시간간격을 1.5s로 다시 설정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 결과는 Fig. 11과 같다. 위의 경우와 같이 LV가 감속하기 전까지 ACC 차량은 LV를 추종하였으며 LV가 감가속도 0.5g로 감속할 때, ACC 차량의 감가속도가 이를 완전히 추종하지는 못하였다. 그러나 LV의 감속을 인식하여 ACC 차량이 제동을 시작할 때의 차간거리

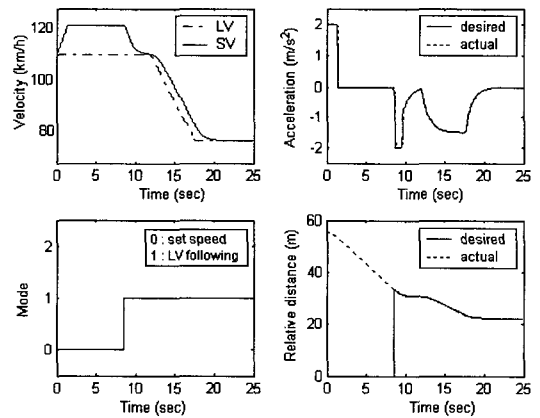


Fig. 9 Result of 0.1g deceleration simulation ( $t_h = 1.0s$ )

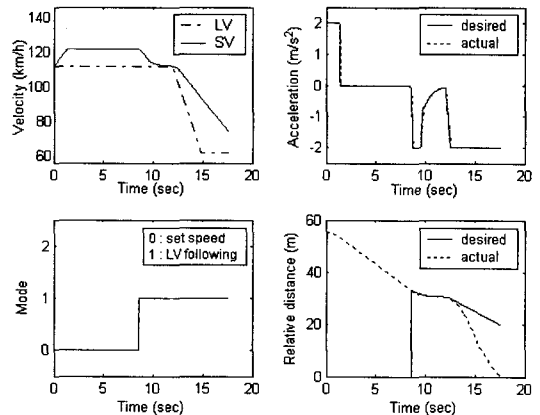


Fig. 10 Result of 0.5g deceleration simulation ( $t_h = 1.0s$ )

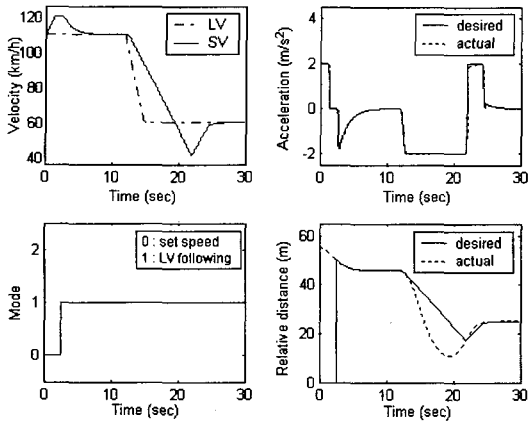


Fig. 11 Result of 0.5g deceleration simulation ( $t_h = 1.5s$ )

가 46m로 비교적 긴 거리였으므로, 충돌을 피하여 차간거리를 제어하고 목표차간거리를 다시 유지할 수 있다.

### 6.2 끼어들기 시나리오

끼어들기 시나리오는 LV2가 ACC 차량과 충분한 거리를 두고 끼어드는 경우와 그렇지 않은 경우로 구분하였으며, 시나리오에서 시간간격은 1.0s로 설정하였다. ACC 차량, LV1, LV2의 초기속도는 모두 80km/h, ACC 차량의 설정속도는 100km/h로 설정하였다. 본 시나리오는 ACC 차량이 정속 주행하는 LV1을 추종하는 중에 LV2가 끼어들고, 이후 LV2가 감가속도 0.1g로 감속하는 주행상황이다.

충분한 거리를 두고 끼어드는 경우, 시뮬레이션 결과는 Fig. 12에 나타내었다. 초기 ACC 차량은 LV1이 멀리 떨어져 있으므로 설정속도 추종제어를 수행하여 가속하였으며, LV1을 인식한 후 거리제어 알고리즘으로 변환하여 감속한 후 LV1을 추종하였다. LV2가 18m 전방에서 차선변경을 하면, 제어 목표차량을 LV2로 바꾸어 차간거리를 제어하여 주행하였으며, LV2의 감속을 감지하여 이에 따라 적절하게 차간거리를 제어하였다. 이를 통해 ACC 차량은 주행조건에 따라 적절히 제어모드를 변환하여 주행함을 알 수 있다.

충분한 거리를 두지 않고 끼어드는 경우의 결과는 Fig. 13과 같다. LV2는 ACC 차량과 10m내로 끼어들기를 시도하였으며, ACC 차량은 목표차간거리

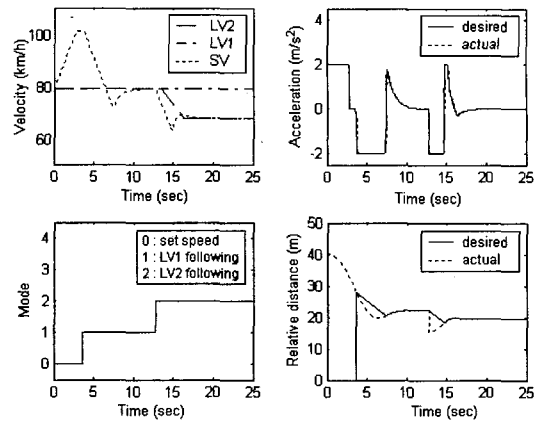


Fig. 12 Result of cut-in simulation ( $t_h = 1.0s$ , minimum relative distance = 18m)

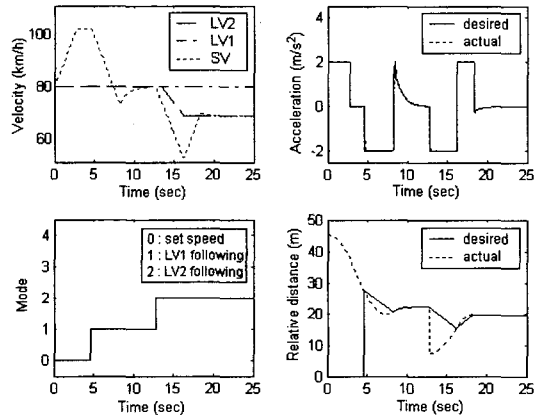


Fig. 13 Result of cut-in simulation ( $t_h = 1.0s$ , minimum relative distance = 8m)

에 이를 때까지 감속을 수행하여 차간거리를 제어하였다. 이 경우, 적절한 제어모드를 변환하며 LV1 및 LV2를 추종하지만, LV2와의 상대거리가 매우 작아져서 운전자에게 사고에 대한 불안감을 줄 수 있음을 알 수 있다.

### 7. 결론

본 연구에서는 실차실험 및 컴퓨터 시뮬레이션의 한계를 극복하고 다양한 주행환경에서 ACC 차량의 동적거동을 분석하기 위해 VR 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 이를 위하여, 실차실험과 동일한 주행환경을 VR 공간상에 모사할 수 있는 VR 시스템



과 ACC 차량의 실시간 시뮬레이션을 담당하는 ACC 시뮬레이션 시스템을 구성하였다. 또한 각 시스템들의 통합과정에서 시뮬레이션의 실시간성 및 VR 공간과 실세계에서의 물리량 차이를 고려하여 VR공간이 실세계를 표현할 수 있도록 하였다.

개발된 VR 시뮬레이션 시스템을 이용하여 실제 시험환경이 주는 제한된 상황을 뛰어 넘어 다양한 환경에서 ACC 차량의 동적거동을 분석할 수 있었으며, VR 시뮬레이션을 통한 ACC 차량의 시험 기반을 확보하였다. 따라서 본 연구에서는 VR 시뮬레이션 시스템의 개발을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) ACC 차량은 다양한 주행상황에 따라 적절한 제어모드로 전환하여 선행차량과의 차간거리 또는 속도를 제어하며 안정적으로 주행하였다. 그러나 선행차량이 급격히 감속하는 경우나, 옆 차선의 차량이 충분한 거리를 두지 않고 끼어들기 하는 경우, ACC 차량은 충돌의 위험을 내포하게 된다.
- 2) ACC 차량은 운전자에 의해 설정된 시간간격에 의해 목표차간거리가 결정된다. 시간간격이 커질수록 ACC 차량의 주행안전성을 높일 수 있으나, 주변 차량의 잦은 끼어들기를 유발시키고 도로 효율성을 저해하는 영향을 발생시킬 수 있다. 따라서 적절한 시간간격의 설정은 ACC 차량의 동특성에 큰 영향을 미친다.
- 3) 본 연구의 결과를 토대로 ACC 차량의 작동한계 및 주행특성을 분석하여, 향후 국내 도로환경 및 운전자 특성에 부합하는 안전기준을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 논문은 한국과학재단 산하 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비 지원 및 두뇌한국 21 사업의 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## References

1) S. E. Shladover, C. A. Desoer, J. K. Hedrick,

M. Tomizuka, J. Walrand, W.-B. Zhang, D. H. McMahon, H. Peng, S. Sheikholeslam, N. McKeown, "Automatic Vehicle Control Developments in the PATH Program," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.40, No.1, pp.114-130, 1991.

2) S. W. Lee, "Intelligent Transport System in Japan," Journal of the KSAE, Vol.25, No.5, pp.48-51, 2003.

3) J. M. Wang, R. Rajaman, "Adaptive Cruise Control System Design and Its Impact on Highway Traffic Flow," Proceedings of the American Control Conference, Vol.5, pp.3690-3695, 2002.

4) R. Holve, P. Protzel, K. Naab, "Generating Fuzzy Rules for the Acceleration Control of an Adaptive Cruise Control System," Proceedings of North American Fuzzy Information Processing, pp.451-455, 1996.

5) Y. Seto, T. Murakami, H. Inoue, S. Tange, "Development of a Headway Distance Control System," SAE 980616, 1998.

6) D. H. Lee, K. S. Chang, "A Study on the Autonomous Cruise Control Using the Sliding Mode," Transactions of the KSAE, Vol.8, No.2, pp.92-101, 2000.

7) S. J. Lee, J. H. Hong, K. S. Yi, "A Modeling and Control of Intelligent Cruise Control Systems," Transactions of the KSME, A, Vol.25, No.2, pp. 283-288, 2001.

8) M. W. Suh, T. Y. Koo, S. J. Kwon, Y. S. Shin, K. Y. Cho, and D. Y. Park, "Development of the SVP(G)(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground) : System Configuration and Application of the Virtual Proving Ground," Transactions of the KSAE, Vol.10, No.1, pp.195-202, 2002.

9) M. W. Suh, T. G. Kim, J. W. Yeo, C. S. Seok, Y. J. Kim, J. C. Lee, "Development of Vehicle Model for Dynamic Analysis of ABS Vehicle," Transactions of the KSAE, Vol.7, No.2, pp.228-241, 1999.

10) T. K. Kim, Y. K. Park, M. W. Suh, "A Study on the Performance Characteristics of the VDC Vehicles," Transactions of the KSAE, Vol.7,

No.9, pp.146-157, 1999.

- 11) Automobile Technology Handbook, KSAE, Vol.3, pp.29-52, 1996.
- 12) Transport Information and Control Systems - Adaptive Cruise Control Systems - Performance Requirements and Test Procedures, ISO

15622, 2002.

- 13) Multigen Creator User's Guide, Multigen Paradigm, 1999.
- 14) Vega Programmer's Guide, Multigen Paradigm, 2001.