Transactions of KSAE, Vol. 13, No. 2, pp.149-156 (2005)

Copyright ⓒ 2005 KSAE
1225-6382/2005/074-21

운전자 인지반응 연구를 위한 VR 시뮬레이션 시스템 개발

장 석[1] · 권 성 진[1] · 전 지 훈[1] · 조 기 용[1] · 서 명 원[*2]

성균관대학교 기계공학부 대학원[1] · 성균관대학교 기계공학부[2]

Development of the VR Simulation System for the Study of Driver's Perceptive Response

Suk Jang[1] · Seong-Jin Kwon[1] · Jee-Hoon Chun[1] · Ki-Yong Cho[1] · Myung-Won Suh[*2]

[1]Graduate School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea
[2]School of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi 440-746, Korea
(Received 12 October 2004 / Accepted 20 December 2004)

Abstract : In this paper, the VR(Virtual Reality) simulation system is developed to analyze driver's perceptive response on the ASV(Advanced Safety Vehicle). The ASV is the vehicle of next generation equipped with various warning systems. For the purpose, the VR simulation system consists of VR database, vehicle dynamic model, graphic/sound system, and driving system. The VR database which generates 3D graphic and sound information is organized for the driving reality. Mathematical models of vehicle dynamic analysis are constructed to represent the dynamic behavior of a vehicle. The driving system and the graphic/sound system provide a driver with the operation of a vehicle and the feedback of a driving situation. Also, the real-time simulation algorithm synchronizes the vehicle dynamic model with the VR database. To check the validity of the developed system, a simple scenario is applied to investigate driver's perceptive response time and vehicle acceleration on an emergency situation. It is confirmed that the proposed system is useful and helpful to design the FVCWS(Forward Vehicle Collision Warning System).

Key words : Intelligent transportation system(지능형 교통 시스템), Advanced safety vehicle(첨단 안전 차량), Forward vehicle collision warning system(전방차량 충돌경고 시스템), Virtual reality(가상 현실), Simulation(시뮬레이션), Driver's perceptive response(운전자 인지반응)

1. 서 론

전 세계적으로 운전자의 안전성 및 편의성을 위해 ITS(Intelligent Transportation System)에 관한 연구개발이 국가차원의 대형프로젝트를 중심으로 추진되고 있다.[1,2] 특히 ITS의 일환으로 차량이 지능화된 ASV(Advanced Safety Vehicle)에 관한 연구가 많은 연구기관에서 진행되고 있다.[3-9]

최근 미국, 유럽, 일본 등의 자동차 선진국들은 ASV 시스템의 개발과 국제 표준화를 통해 세계시장 선점에 노력하고 있으며, 국내에서도 이에 대한 대응책을 모색하고 있다. 또한 ISO(International Organization for Standardization)/TC204에서는 ASV 응용시스템 시장이 확대됨에 따라 이에 대한 국제표준을 제정하고 있다.

ASV 관련 시스템들 중에는 여러 위험상황에 대한 경고 시스템들이 있으며, 그 예로써 전방차량 충돌경고 시스템(Forward Vehicle Collision Warning

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

System, FVCWS), 차로이탈경고 시스템(Lane Departure Warning System, LDWS), 차로변경지원 시스템(Lane Change Decision Aid System, LCDAS) 등을 들 수 있다. 특히 FVCWS는 전체 충돌사고율의 24%에 해당하는 전방 충돌사고의 50%를 감소시킬 수 있는 시스템으로 운전자의 안전도와 관련하여 그 수요가 증가하고 있다.[10] 이에 대한 연구[7-9]는 활발하게 진행되었으나, 현재 상용화 단계에 이르지 못하고 있는 실정이다. 이는 운전자가 수용할 수 있는 경고를 시스템이 제공하지 못하기 때문이다. FVCWS는 위험상황에 대한 경고를 통해 운전자가 이를 인지하여 필요한 행동을 취하도록 한다. 따라서 이를 설계할 때에는 운전자의 인지반응을 고려해야 한다.

이에 본 연구에서는 FVCWS 설계 시 운전자 특성을 고려할 수 있는 VR(Virtual Reality) 시뮬레이션 시스템을 개발하고자 한다. 이를 위해 현실감 있는 VR 데이터베이스를 확보한다. 또한 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위하여 차량의 비선형 특성을 고려한 차량동역학 모델을 구성한다. 구성된 차량동역학 모델과 VR 데이터베이스의 연계과정에서 시뮬레이션의 실시간성을 확보한다. 또한 그래픽/사운드 시스템과 주행입력 장치를 통하여 운전자 조작에 따라 3차원 영상 및 음향 효과를 운전자에게 피드백(feedback)하도록 구성한다. 개발된 시스템을 검증하기 위하여 선행차량의 급 감속으로 인한 위험상황을 적용하여 운전자 인지반응 시간 및 차량 가속도를 측정한다. 측정된 데이터 분석을 통하여 FVCWS 설계 시 필요한 파라미터 수치를 도출하고, 선행연구 결과들과 비교함으로써 개발된 시스템의 효용성을 검증한다.

2. FVCWS 개요

FVCWS는 도로상에서 대상차량 전방에 위치한 선행차량을 감지하고 충돌위험이 있는 경우 운전자에게 경고함으로써 충돌을 예방한다. FVCWS는 Fig. 1과 같이 전방 장애 차량까지의 도달시간, 경고거리(x_w) 등을 산정하여 경고상황을 시스템이 판단할 경우에 운전자에게 경고를 주도록 구성된다.

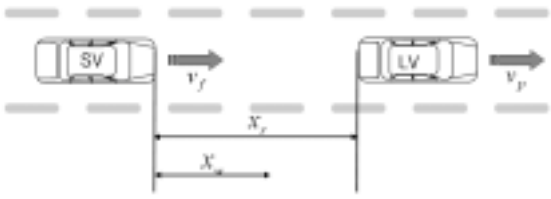


Fig. 1 Overview of the FVCWS

FVCWS는 식 (1)과 같은 조건을 만족하는 경우 운전자에게 경고를 제공한다.

$$x_w \geq x_r \tag{1}$$

식 (1)에서 x_r은 대상차량과 선행차량 사이의 실제 차간거리이다. 경고거리를 산출하는 식은 ISO/TC204[11]와 선행연구들에서 언급한 바 있으며, 대표적인 식은 다음과 같다.[9]

$$x_w = \frac{1}{2}\left(\frac{v_f^2}{\alpha} - \frac{(v_f - v_r)^2}{\alpha}\right) + v_f\tau + d_0 \tag{2}$$

여기서, v_f은 대상차량 속도, v_r는 대상차량과 선행차량간의 상대속도, α는 대상차량 및 선행차량의 최대 가속도이며, 동일하다고 가정하였다. τ는 운전자 및 시스템의 지연시간, d_0는 옵셋(offset) 거리이다. 이 중 v_f와 v_r을 제외한 모든 파라미터들은 미리 설정되는 값이다.

특히, 본 연구에서는 운전자에게 적절한 경고를 제공하기 위한 FVCWS 설계를 위하여, VR 시뮬레이션 시스템을 이용하여 α와 τ를 측정하여 운전자 특성을 고려하고자 한다.

3. VR 시뮬레이션 시스템 구성

VR 시뮬레이션 시스템의 하드웨어 부분은 최영일 등의 연구[12]에서 구성된 시스템을 사용하였다. 이는 Fig. 2와 같이 휠 조이스틱을 이용하여 운전자의 주행조작을 차량동역학 모델에 입력하는 주행입력 장치와 연산된 차량의 운동을 운전자에게 피드백하는 그래픽/사운드시스템 및 전체적인 시스템을 운영하는 컴퓨터 부로 구성된다.

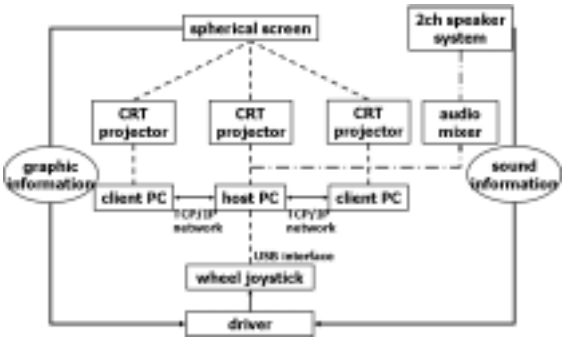


Fig. 2 Hardware configuration of the VR simulation system

Fig. 3 3 channel projection system

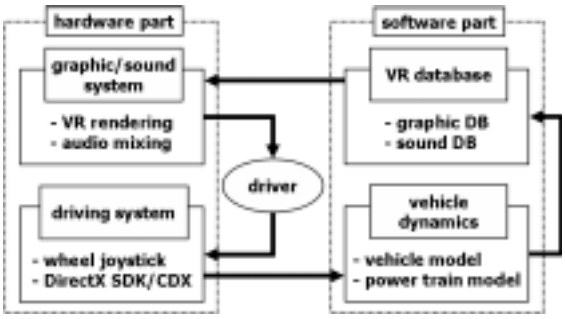


Fig. 4 Software configuration of the VR simulation system

주행입력 장치는 운전자 인자를 VR 시뮬레이션 시스템에 반영하기 위하여 구성하였다. 주행입력 장치의 소프트웨어적 구현을 위해서 하드웨어 드라이버인 DirectX SDK(Software Development Kit)와 개발자용 드라이버 라이브러리인 CDX(Class for DirectX)를 이용하였다. 그래픽/사운드 시스템은 VR 시뮬레이션 시스템의 현실감 및 몰입감을 향상시키기 위하여 Fig. 3과 같은 3채널 프로젝션 시스템과 2채널 사운드 시스템을 사용하였다.

VR 시뮬레이션 시스템은 Fig. 4와 같이 VR 시뮬레이션 시스템의 소프트웨어 부분인 차량동역학 모델과 VR 데이터베이스를 연계하여 전체 시스템을 구성하게 된다. 소프트웨어 부분에 대한 자세한 설명은 4장 및 5장에서 설명하였다.

4. 차량동역학 모델

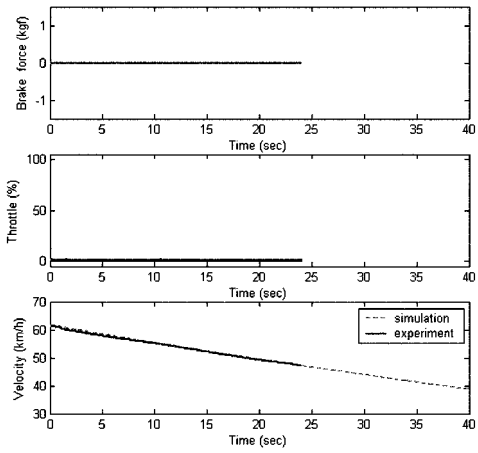
VR 시뮬레이션 시스템의 신뢰성을 확보하기 위하여 운전자의 입력에 따라 실제차량의 동적거동을 재현할 수 있는 차량동역학 모델을 구성하였다. 또한 운전자 인지반응 실험의 신뢰성을 확보하기 위하여 실차실험을 통해 차량동역학 모델의 가속 및 감속 성능에 대하여 검증하였다.

4.1 차량동역학 모델 구성

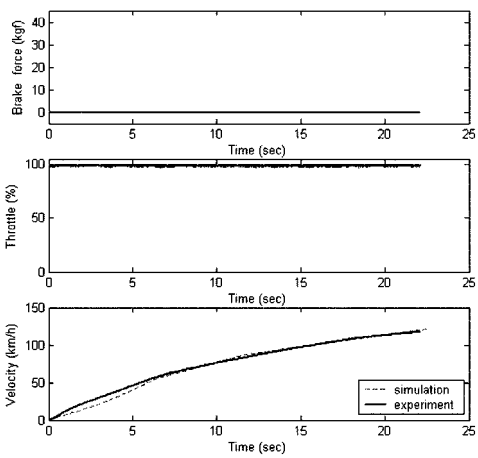
본 연구에서 사용된 차량동역학 모델은 서명원[13] 등에 의하여 개발된 8자유도 차량동역학 모델을 사용하였으며, 주행입력 장치로부터 쓰로틀, 브레이크, 조향 입력을 받을 수 있도록 구성하였다. 차량동역학 모델은 쓰로틀 개도의 입력에 따라 엔진출력으로부터 차륜의 회전운동까지의 동력전달계 모델을 통해 구동력을 연산하고, 브레이크 답력에 따라 브레이크 모델을 통한 제동력을 연산한다. 또한 조향 입력에 의한 전륜 조향각의 변화에 따라 차체의 무게 중심에서 발생되는 모멘트를 계산하여 차량 수직축 방향의 회전력을 연산한다. 본 연구에서의 동력전달계 모델은 SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground)의 연구[14]에서 사용된 모델을 일부 수정하여 사용하였다.

4.2 실차실험을 통한 검증

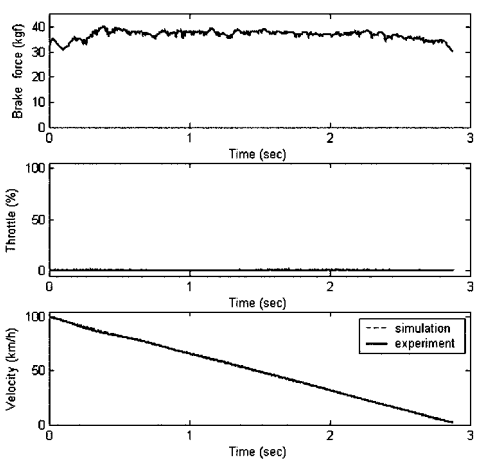
앞서 구성한 차량동역학 모델의 동특성, 객관성, 안정성, 실차주행의 재현성 등을 검증하기 위하여, 다양한 가속 및 감속 조건에서 실차실험을 수행하였다. 실차실험 결과를 통하여, 차량동역학 모델의 운동특성 모사를 위한 파라미터 추정 및 시뮬레이



(a) Coast-down test



(b) Accelerating test



(c) Braking test

Fig. 5 Verification of the vehicle dynamic model

션 결과를 검증할 수 있었다.

타행주행 실험은 실험차량의 초기속도 60km/h에서 기어중립상태로 운전자의 운전조작 없이 타행주행하는 상태에서 차량의 속도변화를 측정하였다.

이를 통하여 공기저항계수와 구름저항계수를 추정할 수 있었다.[15] 추정된 공기저항계수는 0.380, 구름저항계수는 0.011로 각각 계산되었다. 가속성능 실험은 정지 상태에서 가속페달의 작동비율을 각각 100%, 60%, 30%로 조작하고, 제동성능 실험은 초기속도 100km/h에서 브레이크 답력비율을 각각 100%, 60%, 30%로 조작하여 차량의 속도 및 가속도 변화를 측정하였다.

Fig. 5는 타행주행 및 가속페달의 작동비율과 브레이크 답력비율을 100%를 목표로 작동한 경우의 실차실험 데이터를 나타내고 있다. 이러한 실차실험 데이터를 차량동역학 모델에 비교 및 반영함으로써, 실제 차량의 거동특성을 반영할 수 있었다.

5. VR 데이터베이스

본 연구에서는 3D 도로모델에 관한 연구[16]에서 경부 고속도로를 대상으로 구축한 VR 데이터베이스를 본 연구의 목적에 맞게 수정하였다. VR 데이터베이스는 현실감을 제공하는 것이 주목적이므로, 실사의 이미지를 표현하는 동시에 그래픽을 실시간으로 재현하기 위해 모델링(modeling) 및 렌더링(rendering) 기법을 사용하였다.

적용된 모델링 및 렌더링 기법으로는 텍스쳐(texture)에 투명한 값을 추가하여 실제와 같이 표현하는 알파 블렌딩 텍스쳐 맵핑(alpha blending texture mapping), 텍스쳐의 렌더링을 단순화시킴으로써 연산속도를 향상시키는 텍스쳐 밉 맵핑(texture mip-mapping), 평면 도형에 맵 텍스쳐로 표현하는 빌보드(billboard) 등이 있다. 또한 사용자의 시점과 3D 모델간의 거리에 따라 세분화된 모델을 단계적으로 렌더링 하는 LOD(Level of Detail) 기법을 사용하여 높은 프레임율(frame rate)을 유지할 수 있었다.

VR 데이터베이스 구축 시 모델링 프로그램인 Multigen Creator ver. 2.5.1[17]과 Open GL 기반의 그래픽 렌더러(renderer)인 Vega Prime[18]을 사용하였다. 이를 이용하여 렌더링 된 화면은 Fig. 6과 같다.

(a) Rendered image I

(b) Rendered image II

Fig. 6 Rendered images of the 3D model

6. VR 시뮬레이션 시스템 구축

VR 시뮬레이션 시스템은 차량동역학 모델과 VR 데이터베이스를 연계하여 실시간성을 확보하였다. 또한 연계 시 각 시스템들의 좌표계를 수학적으로 계산하여 일치시킴으로써 VR 시스템이 실세계를 반영할 수 있도록 하였다.

6.1 시스템 연계

VR 데이터베이스를 통해 지형, 차량, 주변시설물 등의 영상정보와 실제 차량의 음향을 샘플링한 사운드정보 등을 구축하였다. 이를 차량동역학 모델에 의해 계산되는 차량의 움직임에 따라 그래픽 및 사운드 시스템을 통해 재현할 수 있도록 각 시스템들을 연계하였다.

시스템 연계 시 차량동역학 모델은 실세계의 물리량을 기준으로 연산이 이루어지는 반면에 VR 공간상의 차량은 VR 공간의 좌표를 기준으로 모든 연산을 처리한다. 따라서 실세계와 VR 공간 사이의 좌표 차이를 계산하여 동일하게 연계하였다.

6.2 실시간 VR 시뮬레이션

본 연구에서는 차량동역학 시뮬레이션의 실시간성 확보를 위해 SDK의 함수를 사용하여 프로그래밍 하였다. 또한, 차량동역학 모델과 VR을 연계하여 시뮬레이션을 했을 때, 프레임율이 40fps의 성능을 나타낼 수 있도록 그래픽 렌더링 프로그램을 구성하였다. 이를 위하여 폴리곤 분산과 프레임 스키핑(frame skipping) 기법을 사용하여 안정적인 렌더링 성능을 얻을 수 있도록 하였다.

7. VR 시뮬레이션 시스템 적용 예

본 연구에서 개발된 VR 시뮬레이션 시스템을 검증하기 위하여 위험상황에 대한 운전자 인지반응 실험을 수행하였다. 실험을 통해 운전자 인지반응 시간 및 차량 가속도를 측정하여 결과 데이터로써 평균값을 산출하였다. 이를 선행연구들과 비교하여 개발한 시스템을 검증하고자 한다. 또한 데이터 분석을 통하여 FVCWS 설계 시 필요한 파라미터 수치를 도출하였다.

7.1 실험 방법

실험을 수행하기 전에 피실험자는 위험상황이 발생하지 않은 상황에서 약 5분 동안 주행하도록 하였다. 이는 피실험자의 VR 시뮬레이션 시스템에 대한 적응을 돕기 위함이다. 적응주행을 마친 후에 본 실험을 시행하였으며, 피실험자는 총 59명으로 남성 38명, 여성 21명이 참여하였다. 20~30대의 본 실험의 목적을 알지 못하는 운전경력 1년 이상의 운전자를 대상으로 실험을 진행하였다. 실험은 Fig. 7과 같은 통제실에서 총괄하였으며, 피실험자는 Fig. 8과 같은 환경에서 실험에 참가하였다. 또한 실험 후 피실험자에게 설문조사를 통해 VR 시뮬레이션 시스템의 현실감 제공 정도를 조사하여 미약한 점을 보완하였다.

7.2 실험 시나리오

피실험자는 선행차량을 추종하도록 하였으며,

Fig. 7 Operating room

Fig. 8 Test of driver's perceptive response

선행차량은 초기속도 0km/h에서 가속하여 110km/h로 주행하도록 설정하였다. 110km/h로 주행하는 도중 선행차량과의 TTC(Time To Collision)가 1.5sec 이하인 경우 선행차량은 -0.5g로 급 감속하도록 프로그래밍 하였다. 이 때 선행차량의 브레이크 램프와 함께 경고음이 발생하는 경우와 발생하지 않는 경우로 나누어 시나리오를 작성하였다.

운전자 인지반응 시간은 선행차량의 감속에 의한 위험상황이 발생한 시점에서 운전자가 이를 인지하여 브레이크 페달을 조작하는 시점까지로 정의하여 측정하였다. 또한 감속 시 차량 가속도를 측정하여 운전자의 경고음에 대한 반응을 분석할 수 있도록 하였다. 앞서 언급한 위험상황이 최소한 3번 이상 발생할 때까지 실험을 진행하였으며, 이는 실험에 대한 개인의 편차를 최소화시키기 위함이다.

7.3 실험 결과

실험 데이터를 분석하여 도출된 운전자 인지반응 실험 결과는 경고 및 비 경고조건으로 구분하여 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 경고조건에서 평균 운전자 인지반응 시간은 0.696sec, 평균 차량 가속도는 -6.67m/s^{2}로 계산되었다.

Table 1 Test result of unalerted situation

Classification	Perceptive response time (sec)	Acceleration (m/s^2)
men	0.803	-6.57
women	0.828	-6.59
average	0.811	-6.58

Table 2 Test result of alerted situation

Classification	Perceptive response time (sec)	Acceleration (m/s^2)
men	0.708	-6.69
women	0.662	-6.64
average	0.696	-6.67

Johansson등의 연구[11]에서는 321명의 피실험자를 대상으로 10km 도로구간을 주행하는 중 경적소리가 나면 브레이크를 조작하도록 하였다. 측정된 운전자 인지반응 시간은 0.3sec에서 2.0sec의 범위에 걸쳐서 분포하였으며, 평균값은 0.66sec이었다. 또한 Yamada등의 연구[7]에서는 선행차량의 감속으로 인하여 경고음을 제공하였을 때에 운전자 인지반응 시간은 0.3sec에서 1.1sec의 범위에서 평균값은 0.73sec를 기록하였다. 따라서 본 연구를 통해 개발한 시스템을 사용하여 실험을 수행함으로써 선행연구들의 결과와 유사한 수치를 얻을 수 있었으며, 이를 바탕으로 시스템의 효용성을 검증할 수 있었다.

7.4 결과 분석

결과에서와 같이 경고조건에서의 운전자 인지반응은 비 경고조건에서보다 빠르게 도출되었다. 또한 운전자 인지반응 시간의 표준편차는 경고조건에서 0.167, 비 경고조건에서 0.215로 분석되었다. 이는 경고조건에서는 발생될 상황을 운전자가 경고음을 통해 미리 파악할 수 있기 때문이다. 따라서 운전자는 경고조건에서 상황을 인지하는 시간이 비 경고조건에서보다 짧게 소요됨을 알 수 있다.

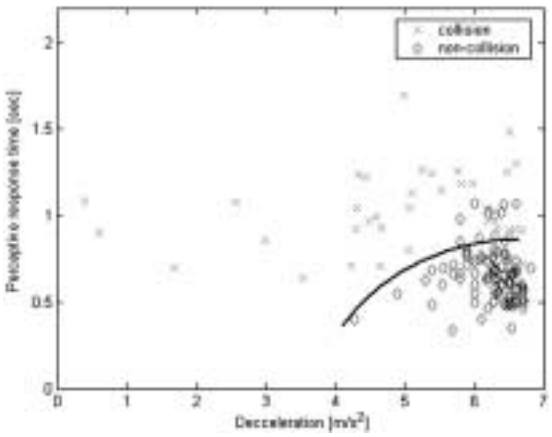


Fig. 9 Distribution of perceptive response time and vehicle deceleration

경고음에 대한 반응은 여성이 남성보다 민감한 것으로 나타났다. 남성의 평균 운전자 인지반응 시간이 경고음에 의해 0.803sec에서 0.708sec로, 여성의 평균 운전자 인지반응 시간은 0.828sec에서 0.662sec로 감소함을 볼 수 있다. 따라서 운전자 인지반응 시간은 남성의 경우 0.095sec, 여성의 경우 0.166sec의 차이가 있음을 알 수 있다.

평균 차량 가속도는 경고조건에서 -6.67m/s^2, 비 경고조건에서 -6.58m/s^{2}로 분석되었다. 따라서 경고조건에서 평균 차량 가속도가 더 큰 것을 알 수 있으며, 성별에 따른 평균 차량 가속도의 차이는 거의 없음을 볼 수 있다.

FVCWS는 운전자에게 유용하면서 주행을 방해하지 않는 경고를 제공해야 한다. 즉, 잦은 경고는 운전자로 하여금 경고에 대한 반응을 둔하게 만들며, 드문 경고는 주행안전에 큰 문제점을 야기할 수 있다. 따라서 운전자에게 수용 가능한 경고를 제공하기 위한 파라미터로써 운전자 인지반응 시간과 차량 가속도 수치를 도출하기 위해 Fig. 9와 같이 경고조건에서의 충돌, 비 충돌에 따라 차량 가속도와 운전자 인지반응 시간의 분포를 나타내었다.

Fig. 9에 표기한 충돌과 비 충돌 영역 사이의 경계선을 충돌 한계 곡선(collision boundary curve)이라 임의로 설정하였다. 이를 FVCWS에 적용함으로써 운전자의 주행을 방해하지 않으면서 충돌의 피해를 최소화 할 수 있는 파라미터를 추출할 수 있을 것이라 기대된다. 또한 데이터 분석을 통해 도출된 최소 운전자 인지반응 시간은 0.492sec, 최소 차량 가속도는 -4.21m/s^{2}이었다.

8. 결 론

본 연구에서는 FVCWS 설계 시 운전자 인지반응을 고려하기 위한 VR 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 이를 위하여, 운전자의 입력에 따라 실제차량의 동적거동을 재현할 수 있는 차량동역학 모델과 주행환경을 운전자에게 제공하는 VR 데이터베이스를 구성하였다. 차량동역학 모델은 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위하여 적용하였다. VR 데이터베이스는 경부 고속도로를 대상으로 모델링을 수행하였으며, 고용량 3D 모델의 실시간 렌더링에 적합한 모델링 및 렌더링 기법을 적용하였다. 이를 통하여 렌더링 시 높은 프레임율을 유지할 수 있었으며, 운전자에게 현실감 및 몰입감을 제공할 수 있었다. 또한, 각 시스템의 연계과정에서 시뮬레이션의 실시간성 및 VR 공간과 실세계에서의 물리량 차이를 고려하여 VR 시뮬레이션 시스템이 실세계를 표현할 수 있도록 하였다.

개발된 VR 시뮬레이션 시스템을 검증하기 위하여 운전자 인지반응 실험을 수행하였다. 이를 통해 실제 실험환경에서는 수행이 불가능한 위험상황에 대한 운전자 인지반응 시간 및 차량 가속도 데이터를 얻을 수 있었다. 데이터 분석을 통하여 FVCWS 설계 시 필요한 파라미터 수치를 도출하였으며, 선행연구와의 비교를 통해 개발된 시스템의 효용성을 검증하였다. 따라서 본 연구에서는 VR 시뮬레이션 시스템 개발을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 운전자 인지반응 실험을 통하여 경고조건에서의 운전자 인지반응 시간 평균값은 0.696sec, 차량 가속도 평균값은 -6.67m/s^{2}이며, 운전자 인지반응 시간 표준편차는 0.167로 분석되었다.
2) 실험 데이터를 분석하여 운전자가 수용할 수 있는 파라미터를 충돌 한계곡선을 통하여 도출할 수 있었으며, 도출된 최소 운전자 인지반응 시간은 0.492sec, 최소 차량 가속도는 -4.21m/s^{2}이었다. 이를 FVCWS의 경고거리 산출 식에 적용함

으로써 운전자가 수용 가능한 경고를 제공할 수 있을 것이라 판단된다.

3) 개발된 시스템은 운전자 특성을 고려하고 향후 FVCWS 설계 시 필요한 파라미터를 도출하기 위한 실험기반을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

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

References

1) S. E. Shaladover, 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 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," Proceeding of the American Control Conference, Vol.5, pp.3690-3695, 2002.
4) Y. Seto, T. Murakami, H. Inoue, S. Tange, "Development of a Headway Distance Control System," SAE 980616, 1998.
5) D. H. Lee, K. S. Chang, "A Study on the Autonomous Cruise Control Using the Sliding Mode," Transactions of KSAE, Vol.8, No.2, pp.92-101, 2000.
6) T. Suetomi, K. Kido, T. Niibe, "A Study on A Lane Departure Warning Algorithm Based on Driver's Evasive Maneuver," Proceedings of the JSAE, No.9733035, 1997.
7) K. Yamada, T. Wakasugi, "A Study on Effectiveness of Forward Vehicle Collision Warning," Transactions of the JSAE, Vol.32, No.2, pp.205-231, 2001.
8) P. E. An, C. J. Harris, "An Intelligent Driver Warning System for Vehicle Collision Avoidance," IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part A, Vol.26, No.2, pp.254-261, 1996.
9) P. Seiler, B. S. Song, J. K. Hedrick, "Development of a Collision Avoidance System," SAE 980853, 1998.
10) R. R. Knipling, J. S. Wang, H. M. Yin, "Rear-End Crash: Problem Size Assessment and Statistical Description," NHTSA DOT-HS 807994, 1993.
11) Transport Information and Control System-Forward Vehicle Collision Warning System-Performance Requirements and Test Procedures, ISO 15623, 2002.
12) Y. I. Choi, S. J. Kwon, S. Jang, K. H. Kim, K. Y. Cho, M. W. Suh, "A Study on Improving the Reality of the Vehicle Simulator Based on the Virtual Reality," Transactions of the KSME, A, Vol.28, No.8, pp.1116-1124, 2004.
13) 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 KSAE, Vol.7, No.2, pp.228-241, 1999.
14) M. W. Suh, T. Y. Koo, S. J. Kwon, Y. S. Shin, K. Y. Cho, D. Y. Park, "Development of the SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground) : System Configuration and Application of the Virtual Proving Ground," Transactions of KSAE, Vol.10, No.1, pp.195- 202, 2002.
15) Automobile Technology Handbook, KSAE, Vol.3, pp.29-52, 1996.
16) Y. I. Choi, S. Jang, K. H. Kim, K. Y. Cho, S. J. Kwon, M. W. Suh, "A Study on the Improving the Rendering Performance of the 3D Road Model for the Vehicle Simulator," Transactions of KSAE, Vol.12, No.5, pp.162-170, 2004.
17) Multigen Creator User's Guide, Multigen Paradigm, 1999.
18) Vega Prime Programmer's Guide, Multigen Paradigm, 2003.