

가상현실 기반의 차량 시뮬레이터의 현실감 향상에 관한 연구

최영일* · 권성진* · 장 석* · 김규희* · 조기용* · 서명원†

(2003년 12월 18일 접수, 2004년 6월 14일 심사완료)

A Study on Improving the Reality of the Vehicle Simulator Based on the Virtual Reality

Young-Il Choi, Seong-Jin Kwon, Suk Jang, Kyu-Hee Kim, Ki-Yong Cho and Myung-Won Suh

Key Words: Virtual Reality(가상현실), Vehicle Simulator(차량 시뮬레이터), 3D Modeling(3D 모델링), Rendering(렌더링), Polygon(폴리곤), Map Texture(맵 텍스처), Mapping(맵핑), Frame Rate(프레임률)

Abstract

In these days, a vehicle simulator has been developed with a VR(Virtual Reality) system. A VR system must provide a vehicle simulator with natural interaction, sufficient immersion and realistic images. In addition, a VR system must present a driver with the realistic driving situation. To achieve these, it is important to obtain a fast and uniform rendering performance regardless of the complexity of virtual worlds. In this paper, the factors to improve the reality for the VR based vehicle simulator have been investigated. For the purpose, the modeling and the rendering methods which offer an improved performance for complex VR applications as the 3D road model have been implemented and verified. Then, we experiment on the influence of graphic and sound factors to the driver, and analyze each result for improving the reality such as the driver's viewport, the form of texture, the lateral distance of the side object, and the sound effect. These factors are evaluated on the driving system which is constructed for qualitative analysis. The research results could be used for improving the reality of the VR based vehicle simulator.

1. 서 론

최근 차세대 자동차 개발에서 기계, 전자, 제어 모듈의 성능뿐만 아니라, 운전자와 차량의 상호작용을 고려하기 위한 설계방법으로써 차량 시뮬레이터가 부각되고 있다. 현재 미국, 일본, 독일 등 자동차 선진국에서는 다양한 차량 시뮬레이터가

개발되어 신차 개발에 활용되고 있다.⁽¹⁻⁵⁾ 차량 시뮬레이터는 운전자에게 현실적 접근방법을 제공하기 위해 가상현실(Virtual Reality : VR)을 접목시킨 시스템으로 발전하고 있다. VR 기반의 차량 시뮬레이터는 운전자 조작에 따라 제공되는 3차원 영상과 음향 효과를 운전자에게 피드백(feedback)함으로써, MILS(Man-In-the-Loop-Simulation)를 구현하게 된다. 이러한 차량 시뮬레이터의 하드웨어 구성은 운전석을 포함한 차량의 거동을 재현하는 모션 시스템과 그래픽 영상을 표현해 주는 그래픽 시스템, 효과음을 표현하는 오디오 시스템으로 이루어지게 된다. 이 중 그래픽 시스템은 전체 VR 시스템의 70% 정도를 담당하게 된다.^(6,7)

VR 시스템은 사용자에게 현실감을 제공하는 것이 주목적이다. 이를 위해서는 그래픽을 실시

† 책임저자, 회원, 성균관대학교 기계공학부

E-mail : suhmw@yurim.skku.ac.kr

TEL : (031)290-7447 FAX : (031)290-7447

* 성균관대학교 대학원 기계공학부

간으로 재현할 수 있어야 한다. 그래픽 성능은 3D 모델링(modeling)과 렌더링(rendering) 성능에 의해 크게 좌우되므로, 3차원 영상의 구현시 이를 고려해야 한다. 또한, 최근에는 컴퓨터에 의해 구현된 3차원 공간의 비현실성이 문제점으로 제기되고 있으며, 차량 시뮬레이터의 경우에는 가상의 주행 공간이 실제와 비교하여 현실적이지 못하다는 평가를 받고 있다. 따라서 운전자가 인지하는 가상현실 구성인자를 찾아내고, 그에 따른 특성을 분석해야 할 필요성이 있다.

현재, 이와 같은 주제를 대상으로 한 많은 연구들이 진행되고 있으며, 그 중 최동찬 등의 연구⁽⁸⁾에서는 그래픽 엔진의 개발을 통해서 가상의 환경을 구성하기 위한 3차원 영상 개발에 대해 논하고 있다. 손권 등의 연구⁽⁹⁾에서는 가상환경 성분과 시점의 거리에 따른 운전자의 체감속도에 대한 연구를 수행하였다. Schmalstieg 등의 연구⁽¹⁰⁾에서는 비행 시뮬레이터나 멀티유저 가상환경과 같은 대상을 위해 실시간 렌더링과 모델링 방법에 관하여 연구하였다. 또한 서명원 등의 연구⁽¹¹⁾에서는 렌더링 속도의 향상을 위해 그래픽용 컴퓨터 서버를 구축하는 연구가 진행된 바 있다.

앞서의 연구들은 그래픽 모듈이나, 그래픽 성능에 대한 인지반응, 그래픽 서버의 구성 등과 같이 각 주제별로 개별적인 연구가 이루어졌다. 이에 본 연구에서는 이러한 개별적인 연구들을 바탕으로 차량 시뮬레이터의 현실감 향상을 위한 종합적인 분석을 수행하고자 한다. 이를 위하여, 차량동역학 모델, 주행입력 장치, 그래픽 및 오디오 시스템을 포함한 운전자 시스템을 구성하고, 운전자의 현실감 향상에 필요한 구성 인자를 분석, 개선시키는 데 초점을 맞추었다. 이는 운전자의 주행에 따른 영상 및 음향 데이터의 성능과 영향력을 실험을 통하여 평가하며, 이를 위해서 다음과 같이 세 가지로 나누어 수행한다.

첫째, 가상의 주행평가를 위한 실시간 운전자 시스템을 구성한다. 둘째, 그래픽 성능의 향상을 위한 3차원 도로모델의 구성과 렌더링 성능을 평가한다. 셋째, 현실감 제공에 관여하는 주요 인자를 찾아내고, 이를 실험하여 그 관계를 분석함으로써 현실감 향상에 적합한 데이터를 추출한다.

이를 통하여 본 연구에서는 실험적 평가방법을 이용하여 가상현실 기반의 차량 시뮬레이터의 현실감을 향상시키고자 한다.

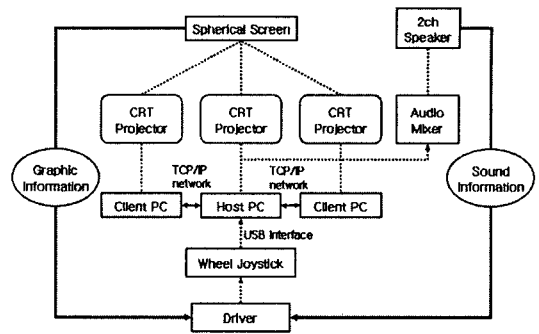


Fig. 1 Overview of the driver system

2. 운전자 시스템의 구성

운전자 시스템의 구성은 Fig. 1과 같이 영상정보를 제공하는 그래픽 시스템, 음향 정보를 제공하는 오디오 시스템, 운전자의 주행조작 정보를 제공하는 주행입력 장치, 전체적인 시스템을 운영하는 컴퓨터부 및 차량의 운동을 표현하기 위한 차량동역학 모델로 구성된다. 구성된 시스템은 SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground)의 연구⁽¹¹⁾를 바탕으로 본 연구의 목적에 맞게 재구성하였다.

2.1 차량동역학 모델

본 연구에서는 김태기 등⁽¹²⁾에 의하여 개발된 8 자유도 차량동역학 모델을 사용하였으며, 휠 조이스틱을 이용한 주행입력 장치로부터 운전자의 운전조작을 스로틀 개도, 브레이크 압력, 조향각으로 입력받을 수 있도록 구성하였다. 차량동역학 모델은 스로틀 개도의 입력에 따른 엔진출력으로부터 차륜의 회전운동까지의 동력전달계 모델을 통해 구동력을 연산하고, 브레이크 압력의 입력에 따라 브레이크 모델을 통한 제동력을 연산한다. 또한 조향각 입력에 따른 전륜 조향각의 변화에 의해 차체의 무게 중심에서 발생하는 모멘트를 계산하여 차량 수직축 방향의 회전력을 연산한다. 동력전달계 모델은 SVPG의 연구⁽¹¹⁾에서 사용된 모델을 일부 수정하여 사용하였다.

2.2 휠 조이스틱을 이용한 주행입력 장치

주행입력 장치의 구성은 운전자의 운전조작 데이터 입력을 비교적 간단하게 처리하기 위해 실제 차량의 샤시와 센서 대신에 비교적 저렴하게 구할 수 있는 휠 조이스틱을 사용하였다. 조이스

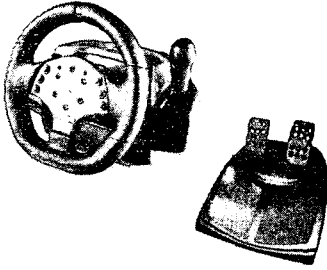


Fig. 2 Wheel joystick

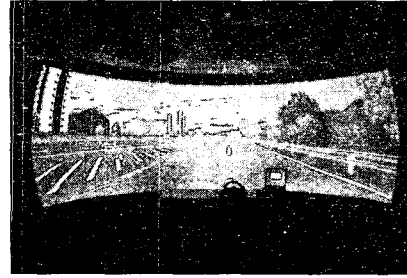


Fig. 3 Spherical screen and 3channel projectors

Table 1 Joystick data mapping

	USB port value	mapping value
steering angle	-12400~12400	-120~120 (degree)
throttle positioning ratio	0~221400	0~100 (%)
brake pressure	0~221400	0~70 (bar)

틱은 Logitech사의 momo racing wheel을 이용하였으며, Fig. 2와 같이 좌우 회전이 가능한 휠과 가, 감속을 조절하는 페달로 구성된다.

주행입력 장치의 소프트웨어적 구현을 위해서 하드웨어 드라이버인 DirectX SDK와 개발자용 드라이버 라이브러리인 CDX를 이용하였다. 본 주행입력 장치와 PC와의 인터페이스는 USB (Universal Serial Bus) 2.0 방식으로서, 입력되는 데이터는 차량동역학 모델에 반영하도록 하였다. 이 때, USB 포트(port)에 입력되는 데이터는 휠 조이스틱 자체에 설정된 값이다. 이를 차량동역학 모델에 반영하기 위해서는 실제세계의 단위로 조정해야 하며, 본 연구에서는 Table 1과 같이 맵핑하였다.

2.3 그래픽 시스템

본 연구에서는 VR 시스템의 현실감을 향상시키고자 Fig. 3과 같이 구형 스크린과 3채널 방식의 프로젝션 시스템을 이용하였다. 본 프로젝션 시스템은 일반적인 사람의 좌우시야각인 130°보다 큰 150°를 제공함으로써 운전자에게 몰입감을 제공할 수 있다. 또한 그래픽 서버는 일반 PC 3대를 네트워크로 연결하여 3채널 구현시 각 채널에 대한 렌더링 연산을 분산처리 하도록 구성하

였다. 이를 통해 3채널 구현시 발생하는 하드웨어 부하를 줄일 수 있다. 또한, 채널 경계면에서는 엣지 블렌딩(edge blending)을 수행하여 각 PC에서 출력되는 그래픽 영상을 연동되게 한다.

2.4 오디오 시스템

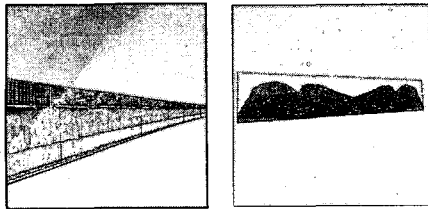
VR 시스템의 오디오 시스템은 Host PC에서 생성되는 사운드를 오디오 믹서(audio mixer)로 입력받고, 이를 증폭하여 2채널 스피커 시스템으로 출력하도록 하였다. 오디오 데이터는 실제 차량의 엔진음과 차륜 슬립음을 디지털 녹음한 후 샘플링하여 구축하였다. 이를 차량동역학 모델의 연산결과에 따라 실시간으로 운전자에게 음향 정보를 제공함으로써, 현실감을 향상시키고자 하였다.

3. 3차원 도로 구성 및 렌더링 성능 평가

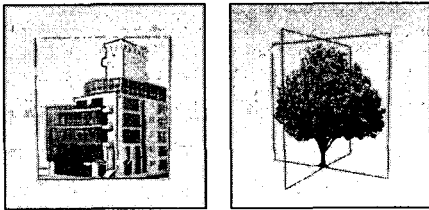
본 연구에서는 모델링 기법과 렌더링 기법에 따라서 두 가지 도로모델을 구성하고, 이에 따른 렌더링 속도를 비교 평가함으로써 도로모델의 구성에 적합한 기법을 제시하고자 하였다. 또한 실제의 도로를 대상으로 모델링함으로써 3차원 도로 모델의 신뢰도를 높이고자 하였다.

3.1 3D 모델링 기법

3D 모델링은 3차원 공간상의 좌표축을 이용하여 표현대상의 모습을 입체적으로 형상화하는 작업이다. 3D 모델은 여러 질점들로 구성되며, 질점들이 모여 물체의 면을 생성한다. 질점이 많아질수록 모델은 실제의 형상을 구현할 수 있지만, 이를 가상공간에 표현할 때 연산량은 커지게 된다. 이러한 3D 모델은 렌더링 시 컴퓨터 하드웨어의 한계로 인해 적절한 렌더링 속도를 유지하



(a) Billboard



(b) Alpha blending texture mapping

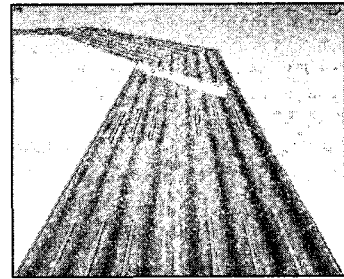
Fig. 4 Images for 3D road model

기 어렵다. 그러나 최근에는 하드웨어의 성능 향상과 다양한 렌더링 기법의 적용으로 인해 질점의 양과 렌더링 속도 사이의 정량적 관계는 극복되고 있다. 그러나 여전히 질점의 양은 렌더링 속도를 결정하는 중요한 요인이다.

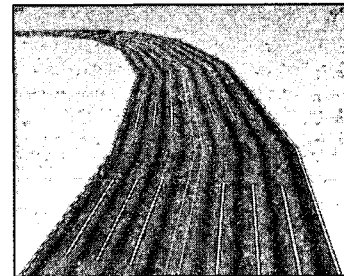
따라서, 차량 시뮬레이터를 위한 3차원 도로 모델은 단순한 구조의 모델로 구성하며, 현실감은 텍스처 맵핑(texture mapping)을 통하여 Fig. 4와 같이 표현하였다. 이를 위해 주로 사용된 기법으로는 텍스처에 투명한 값을 추가하여 실제와 같이 표현하는 알파 블렌딩 텍스처 맵핑(alpha blending texture mapping), 텍스처의 렌더링을 단순화시켜 연산속도를 향상시키는 텍스처 밍 맵핑(texture mipmapping), 그리고 텍스처 기반의 2D 모델링인 빌보드(billboard) 등이 있다.

3.2 렌더링 기법

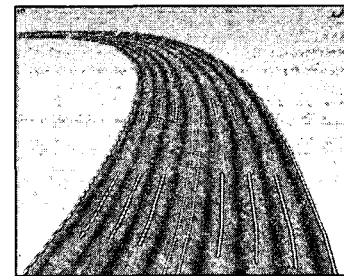
렌더링은 3D 모델들을 2차원 공간에 각 픽셀(pixel)의 색감과 질감을 계산하여 최종 이미지를 투영시키는 것이다. 특히 사용자의 입력 장치 조작에 따라 실시간으로 장면을 생성해 주는 렌더링을 실시간 렌더링이라 한다. VR 시스템과 사용자간의 상호작용(interaction) 속도는 현실감을 위한 중요한 인자이며, 이를 향상시키기 위한 렌더링 기법들로는 LOD(Level of Detail), 패러럴 프로세싱(parallel processing), 씬 컬링(scene culling) 기법 등이 있다.



(a) Low LOD



(b) Middle LOD



(c) High LOD

Fig. 5 Images using LOD

대표적인 모델링 기법인 LOD는 안구의 특성을 응용한 기법으로, 사용자 위치(viewpoint)와 3D 모델 사이의 거리에 따라 세분화된 3D 모델들을 단계적으로 렌더링하는 기법이다. LOD기법을 통해 원거리의 모델은 간략화 하여 연산량을 줄이고, 근거리의 모델은 세밀하게 표현하여 현실감을 극대화시킬 수 있다. Fig. 5는 각 거리별로 렌더링된 도로모델의 이미지를 보여주고 있다.

3.3 도로 모델링

본 연구의 모델링 대상은 Fig. 6과 같고, 이 중 도로 모델링은 서울과 천안 분기점 사이의 고속도로이며, 1:5000 축척의 지도를 대상으로 하였다.

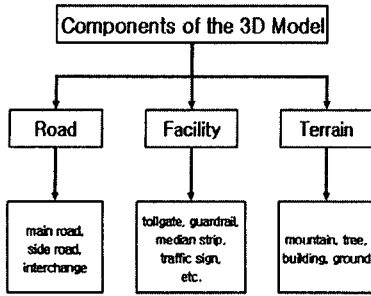


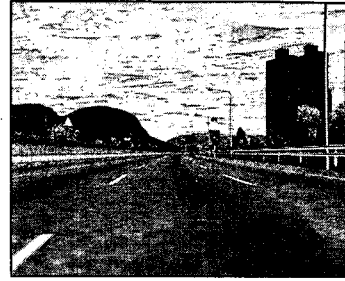
Fig. 6 Components of the 3D road model

3차원 도로모델 구성 시, 대상 지도를 스캔하고 가상공간상에 실제사이즈로 맵핑한 후, 이를 참조하여 전체구간에 대한 모델링을 수행하였다. 이를 통해 주변 시설물, 도로 등의 위치와 곡선 반경 등을 표현할 수 있었다. 도로 폭, 차선의 길이 등의 도로규격은 설계명세서를 이용하여 반영하였다. 또한, 구성된 도로모델의 검증은 위하여 대상 고속도로의 주행 동영상과 도로모델을 비교 및 검토하였다. 본 연구에서는 도로의 고도 및 도로경사 등 높이에 대한 묘사는 고려하지 않았다. 모델링 툴은 Multigen Creator ver. 2.5.1⁽¹³⁾을 사용하였으며, 렌더링 시 데이터의 로딩을 고려하여 구간별로 2 km × 2 km의 평판에 대해 데이터베이스를 구축하였다.

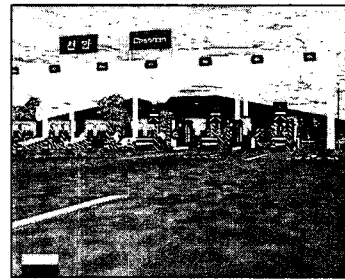
3.4 고속도로의 실시간 렌더링

고속도로 모델의 렌더링은 Open GL 기반의 Vega ver 3.7⁽¹⁴⁾을 사용하였다. 그래픽 PC의 하드웨어 사양은 Intel Pentium-4 2.8GHz, 1024MB RAM, VGA-Intergraph wildcat 7110이며, 렌더링 시 해상도는 1280 × 1024픽셀이다.

모델링한 도로모델의 전체 길이는 80 km에 달하므로, 전체 모델의 렌더링은 그래픽 PC의 상당한 연산량을 필요로 한다. 이에, 앞서 언급한 바와 같이 전체 도로 모델을 2 km × 2 km 구간별로 나누고, 이를 사용자 위치와 렌더링 설정거리 (view distance)에 따라 순차적으로 도로 모델을 로딩하는 분할렌더링 방법을 적용하였다. 본 연구에서는 전체 도로 모델을 40개의 세부 모델로 나누어 렌더링하였다. 또한 두 개의 고속도로모델을 각기 다른 모델링 및 렌더링 기법을 응용하



(a) Rendered image of highway



(b) Rendered image of tollgate

Fig. 7 Rendered images

Table 2 Results and states for rendered images

classification	model 1	model 2
face	9,820	9,729
polygon	19,450	19,566
texture(RGB)	120(4855 KB)	117(4279 KB)
texture(RGB alpha)	76(9725 KB)	76(9725 KB)
vertex	39,090	29,024
LOD	32	72
view distance(m)	4,000	2,000
frame/sec(average)	40	55

여 구성하였으며, 평가를 통해 차량 시뮬레이터에 적합한 모델을 선택하였다. 구성된 도로모델의 이미지는 Fig. 7에 나타내었다.

두 모델의 스펙은 Table 2와 같이 사용자가 느끼는 시각적 차이는 거의 없지만, LOD 개체의 세분화 정도와 사용자 위치를 기준으로 렌더링이 수행되는 범위인 렌더링 설정거리를 다르게 적용하였다. 구성된 두 개의 도로모델에 대하여 렌더링을 수행하였으며, 두 모델 모두 양호한 렌더링 성능을 보이고 있다. 그러나 적용된 렌더링 기법에 따라 모델 간에 15 frame/sec의 차이가 있었다.

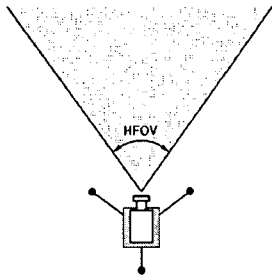


Fig. 8 Horizontal field of view

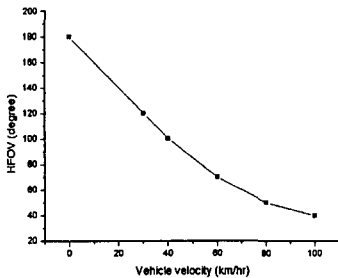


Fig. 9 HFOV by the vehicle velocity

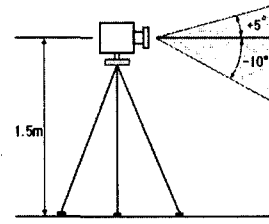


Fig. 10 Vertical angle

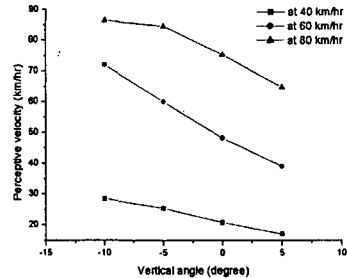


Fig. 11 Perceived velocity by vertical angle of viewport

이는 도로모델 2에 적용된 LOD와 렌더링 설정거리가 도로모델 1에 비해 2배씩 차이가 나기 때문이며, 연산량은 10 % 감소시키는 결과를 얻었다. 따라서 도로모델 2의 경우, 상호작용 속도 면에서 더 유리하며, 폴리곤 수의 감소보다는 렌더링 기법의 적용을 통해 렌더링 성능을 향상시킬 수 있었다.

연구 과정에서 렌더링 시 폴리곤의 분산이 불가능한 틀게이트와 도십지 부근에서 프레임율이 5~10 frame/sec 정도 급격히 감소하였으며, 그 결과로써 영상이 끊기는 현상이 발생되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 폴리곤 수의 감소와 프레임 스킵핑(frame skipping) 기법을 사용하였다.

또한 향후 그래픽 서버의 성능이 향상됨을 고려할 경우 LOD 개체를 세분화하고, 단계를 높임으로써 안정적인 프레임률을 얻을 수 있다.

4. 현실감 향상 인자의 분석 및 평가

본 연구에서는 차량 시뮬레이터의 현실감 향상 인자를 분석하기 위하여, 운전자가 인지하는 가상현실 요소를 그래픽 및 음향효과에 대한 영향 등으로 세분화하여 실험하고자 하였다. 이를 통하여 전체 가상현실 모델에 반영함으로써 운전자

의 현실감 및 인지속도의 절대성을 향상하고자 하였다. 실험에서는 설문을 통해 측정된 인지속도를 차량동역학 모델에서 계산된 속도와 비교하여 운전자의 인지정도를 평가하였다.

4.1 뷰포트 (viewport)

뷰포트는 가상현실의 세계를 실제 영상으로 나타내는 카메라와 같은 역할로서, 운전자가 지각하는 영상은 뷰포트를 통하여 표현되므로 적절한 범위로 조절해야 한다. 또한 뷰포트의 수평 시야각(Horizontal Field of View : HFOV)은 Fig. 8과 같이 사람의 좌우 시야 범위로 표현해 줄 수 있으며 차량의 주행속도에 따라서 Fig. 9와 같은 관계를 갖게 된다.⁽¹⁵⁾

연구에서는 Fig. 10과 같이 뷰포트의 수직각(vertical angle)에 따른 인지속도를 알아보기로 하였다. 이를 위해서 속도에 따른 수평 시야각의 관계를 반영하고, 수직각을 -10°~+5° 범위에서 각 5°의 변화량에 따른 인지속도를 평가하였다. 이때 주행속도 40 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr에서 20분간 실험하였다.

실험을 위해서 피실험자를 구성하였으며, 구성 인원은 25세부터 32세까지의 남성 10명으로서 운전경력 5년 이상이 5명, 2년 경력의 운전자 2

명, 1년 미만 3명으로 이루어졌다. 또한 각 실험은 가상도로의 주행에 따른 인지속도의 신뢰도를 높이기 위해서 실제 고속도로의 주행 동영상에 대한 각인과정을 거치도록 하였다. 실험의 결과에서는 수직각에 따른 인지속도의 평균적 경향이 Fig. 11과 같이 확인할 수 있었다.

결과로부터 주행에 따른 도로의 인지범위를 속도로 인식함을 알 수 있었다. 특히 수직각이 너무 낮은 경우 인지속도는 실제 속도보다 더 빠른 속도로 인식하였으며, 일부 실험자는 심한 현기증을 나타내기도 하였다.

뷰포트에 대한 최적의 수직각을 찾기 위해 각 속도별 데이터를 수식으로 근사화하고자 하였다. 이를 위해 최소자승법(least square error method)을 이용하였으며, 속도별 인지속도는 식 (1), (2), (3)과 같이 유도되었다.

① 40 km/hr 의 경우

$$v_p = -0.776\theta + 21.01 \quad (1)$$

② 60 km/hr 의 경우

$$v_p = -1.796\theta + 48.067 \quad (2)$$

③ 80 km/hr 의 경우

$$v_p = -1.486\theta + 74.01 \quad (3)$$

여기서, v_p (km/hr)는 인지속도이며, θ (deg.)는 운전자 시점의 수직각이다. 위 수식을 이용하여 각 속도별로 수직각에 따라 계산된 오차율은 5% 이내로써 높은 신뢰도를 얻을 수 있었다. 따라서 위의 수식을 이용하여 실험되지 않은 수직각에 따른 인지속도를 확인함으로써 최적의 수직각을 찾을 수 있게 된다. 이로부터 얻어낸 수직각은 -3° 정도로서 이를 시뮬레이션에 반영하여 가상도로의 주행에 따른 인지속도와 실제 주행속도의 차이를 최소화할 수 있다.

4.2 텍스처의 형태

4.1 절의 결과로부터 도로 텍스처의 영향에 의한 인지속도를 예상할 수 있으며, 이에 따라 텍스처 형태에 의한 인지속도를 확인하기 위해서 균일색상에 포함되는 점(dot)의 밀도에 따라 구분된 도로 텍스처를 이용하여 도로를 구성하였다.

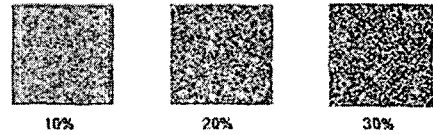


Fig. 12 Dot density of road texture image

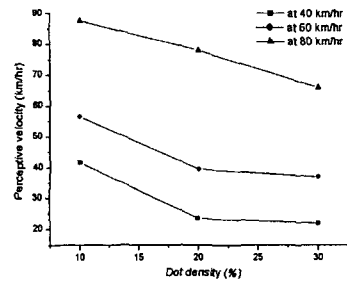


Fig. 13 Perceived velocity by dot density

텍스처의 형태는 Fig. 12와 같이 100×100 픽셀의 해상도를 가지며, 점의 밀도는 10%, 20%, 30%로 정하였다. 운전자 시점의 수직각은 -3°로 설정하여 수직각에 따른 인지속도의 오차를 최소화 하였다. 또한 다른 인자에 의한 간섭을 피하기 위해 렌더링 시 차선, 도로 시설물과 지형을 제외하였다. 피실험자는 도로의 주행 영상을 통한 각인과정을 10분 동안 거친 후, 밀도에 따른 도로의 속도감을 인지하도록 하였다.

점의 밀도에 따른 인지속도의 평균치는 Fig. 13과 같으며, 밀도가 10%에서 비교적 정확한 속도 인지를 보였으며, 80 km/hr에서 실제 속도를 초과하여 반응함을 알 수 있다. 20%와 30%의 경우에는 고속의 주행에서와 저속의 주행에서의 차이가 컸으며 밀도 차이에 따른 인지속도의 변화가 거의 없었다. 이는 텍스처의 효과가 적정 수준 이상으로 표현될 경우, 착시 현상에 의해 인지력이 저하되기 때문이다. 화려한 텍스처를 이용한 도로의 구성은 그래픽 효과에 따른 현실감을 주게 되지만, 속도감에 있어서는 반대로 그 효과가 반감함을 알 수 있다.

4.3 측면 모델의 거리

측면 모델의 거리에 따른 인지속도는 손권 등의 연구에서 제안한 수식을 이용하였으며, 본 연구에서 구성된 도로 모델을 대상으로 평가하였다. 측면 모델의 거리에 따른 속도 인지는 뷰포트의 위치에서 좌우에 위치하는 가드레일이나, 건물, 나

Table 3 Result of velocity by distance from side model

velocity (km/hr)	distance (m)	width of texture (m)	perception velocity (km/hr)
40	1.8	5	31.83
	5.4	5	22.40
	9	5	19.02
	12.6	5	17.08
60	1.8	5	47.75
	5.4	5	33.6
	9	5	28.53
	12.6	5	25.62
80	1.8	5	64.66
	5.4	5	44.79
	9	5	38.04
	12.6	5	34.16

무, 가로등과 같은 환경모델로부터 얻는 속도감으로써 식 (4)와 같이 표현된다.⁽⁹⁾

$$v_p = 1.275 \frac{v_a}{y^{0.32} \times d^{0.176}} \quad (4)$$

여기서 v_p (km/hr)는 인지속도, v_a (km/hr)는 주행 속도, y (m)는 뷰포트에서 환경모델까지의 거리이며, d (m)는 텍스처 폭이다. 환경모델은 도로 끝에 설치된 가드레일을 기준으로 하였으며, 텍스처 폭은 가드레일의 주행방향 길이로 설정하였다.

3차원 도로모델에서는 좌우 위치하는 모델의 최소위치가 정해져 있으므로, 이에 대한 인지속도를 계산할 수 있다. 4차선 고속도로의 폭이 14.4 m이므로, 이때 40 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr의 속도로 주행할 경우의 인지속도는 Table 3과 같다.

가드레일과의 거리가 가까운 1차선인 경우 가장 근접하게 속도를 인지할 수 있으며, 멀어질수록 인지속도가 낮음을 알 수 있다. 도로 시설물의 위치를 최대한 도로에 가까이 위치시킴으로써 인지속도를 향상시킬 수 있지만, 3차원 도로모델에서는 도로의 폭이나 시설물에 대한 위치가 실제의 수치를 반영하고 있으므로 도로모델을 수정하는 것은 제약적이다. 따라서 도로 시설물을 제외한 주변 모델의 위치를 다양화하고 특히 건물과 같은 대형 모델과의 거리를 줄임으로써 인지속도를 향상시킬 수 있다.

Table 4 Perceived velocity by sound and visual Information

sound info.(km/hr) \ visual info.(km/hr)	40	60	80
40	41	45	46.5
60	56.5	62	65
80	70.5	75	81

4.4 사운드

가상현실에서의 음향 효과는 현실감을 높이는 것으로 실제와 같은 사운드의 제시가 필요하게 된다. 실험에서의 음향 효과는 차량의 엔진음을 속도로 가정하고, 음원의 주파수 변조를 이용한 효과를 제공하도록 하였다. 실험에 앞서 피실험자는 영상정보를 차단한 상태에서 각 속도에 대한 엔진음을 각인하는 과정을 거치도록 하였다. 각인 과정을 마치고, 영상정보를 차단한 상태에서의 속도인지는 비교적 정확하였다. 따라서 실험에서는 영상 및 음향 정보를 별개의 속도에 따라 제공한 후 이에 대한 응답을 확인하도록 하였다.

결과는 Table 4와 같이 나타내었으며, 음향 효과가 적용될 경우 현실감을 개선시키지만, 영상과 사운드가 일치하지 않는 경우 영상에 의한 속도감의 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 음향 효과에 의한 속도감의 영향력은 낮게 나타나며, 인자는 차량의 특성과 피실험자의 주관적 판단에 의한 요소임을 예상할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 차량 시뮬레이터의 현실감 향상을 위한 방법을 모색하였다. 이를 위하여 가상현실 기반의 운전자 시스템을 구성하도록 하였다. 또한 도로 모델에 적용된 모델링 및 렌더링 기법에 따른 렌더링 성능을 비교함으로써 실시간 렌더링에 효과적인 모델링 방법을 제시하였다.

구축된 3D 도로모델을 이용하여 가상현실에서 현실감을 제공하는 인자 중 비중이 큰 인자인 운전자 시점의 특성과 텍스처의 형태 및 거리, 그리고 사운드 등을 선정하여 실험 및 평가함으로써 수치화된 데이터를 추출할 수 있었다. 추출된 데이터는 근사화 과정을 통하여 신뢰성 있는 데이터로 정량화할 수 있었다. 위 연구결과의 데이터는 가상의 주행환경에 피드백 됨으로써 가상현실 시스템의 현실감을 제공할 수 있게 된다. 이

는 차량 시뮬레이터의 가상현실 시스템을 구성하는 기초를 마련할 수 있게 된다.

본 논문에서는 평가인자를 인간의 감지능력을 이용하여 평가함으로써 수치적인 데이터로 산출해 낼 수 있었다. 이는 감성공학적 측면의 접근으로 볼 수가 있으며, 차량 시뮬레이터에 반영할 수 있는 자료로 제시될 수 있다. 이와 같은 평가 방법은 최근 기계적 효율만을 추구하던 공학산업이 인간의 감성을 만족시키려는데 기인한 연구방법으로서, 가상현실 기법에서는 이를 통해 사용자에게 현실감 있는 가상현실을 제공하게 된다.

후 기

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

참고문헌

- (1) Weir, D. H. and Bourne, S. M., 1995, "An Overview of the DRI Driving Simulator," *Society of Automotive Engineers*, SAE Paper No.950173.
- (2) Mazzae, E. N., Baldwin, G. H. S. and McGehee, D. V., 1999, "Driver Crash Avoidance Behavior with ABS in an Intersection Incurion Scenario on the Iowa Driving Simulator," *Society of Automotive Engineers*, SAE Paper No.1999-01-1290.
- (3) Hiramatsu, K., Satoh, K., Uno, H. and Soma, H., 1994, "The First Step of Motion System Realization in the JARI Driving Simulator," *Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control*, pp. 99~104.
- (4) Ichinose, M., Yokoyama, A., Nishigaito, T., Saito, H. and Ueki, N., 2002, "Development of Hardware-In-the-Loop Simulator for Adaptive Cruise Control System," *Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control*, pp. 207~212.
- (5) Kading, W. and Hoffmeyer, F., 1995, "The Advanced Daimler-Benz Driving Simulator," *Society of Automotive Engineers*, SAE Paper No.950175.
- (6) Wohn, K. Y. and Park, J. H., 2001, "Human Sensibility Ergonomics and Virtual Reality Technologies," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 2, pp. 40~45.
- (7) Allen, R. W., Rosenthal, T. J., Aponso, B. L., Klyde, D.H., Anderson, F. G., Houge, J. R., and Chrstos, J. P., 1998, "A Low Cost PC Based Driving Simulator for Prototyping and Hardware-In-The-Loop Applications," *Society of Automotive Engineers*, SAE Paper No.980222.
- (8) Choi, D. C., Kim, J. H., Yoo, S. C. and Lee, W. S., 2000, "Development of Database and Real-Time Graphics Engines for Virtual Driving Environment of Driving Simulators," *Proceedings of the Korea Information Science Society, Human Computer Interaction Conference*, pp. 498~503.
- (9) Son, K. and Choi, K. H., 2001, "Factors Related to Velocity Perception in a Graphic Simulator," *Proceedings of International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, CD-ROM.
- (10) Schmalstieg, D. and Gervautz M., 1997, "Modeling and Rendering of Outdoor Scenes for Distributed Virtual Environments," *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 209~215.
- (11) Suh, M. W., Koo, T. Y. Kwon, S. J., Shin, Y. S., Cho, K. Y., and Park, D. Y., 2002, "Development of the SVPG(Sungkyunkwan Univ. Virtual Proving Ground) : System Configuration and Application of the Virtual Proving Ground," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 10, No. 1, pp. 195~202.
- (12) Kim, T. K., Park, Y. K. and Suh, M. W., 1999, "A Study on the Performance Characteristics of the VDC Vehicles," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 7, No. 9, pp. 146~157.
- (13) Multigen Paradigm, 1999, *Multigen Creator User's Guide*.
- (14) Multigen Paradigm, 1999, *Vega Programmer's Guide*.
- (15) Lee, W. Y., 1992, "Comparison of Eye-Fixations Behavior between Passenger Car Driver and Truck Driver," *Journal of Traffic Safety Research*, Vol. 11, pp. 147~155.