

# 시뮬레이터의 속도감에 대한 감성인자 분석

정영훈, 엄성숙, 부산대학교 기계설계공학과 대학원  
손 권, 부산대학교 기계공학부 교수  
최경현, 제주대학교 기계에너지생산공학부 조교수

## Study of Factors Related to Speed Perception in a Graphic Simulator

Young-hun Jeong, Sung-suk Eom, Pusan National University  
Kwon Son, Pusan National University  
Koung-hyun Choi, Cheju National University

**ABSTRACT** This research has been focussed on the evaluation of the driving speed in a graphic environment. Through the investigation of some electronic driving games, two factors related to perceived speed have been extracted. The two factors are distance and density of objects. Experiments have been executed for the two factors. The experiment is needed to acquire a relationship between speed perception and each factor. For experiments involving more than ten subjects, graphical representation of a vehicle and its surrounding environment has been obtained using three-dimensional tools, Pro/ENGINEER and dVISE. Based on the experimental results, relationships are formulated and plotted.

### 1. 서 론

최근 국내외에서는 자동차 주행 시뮬레이터나 항공기 시뮬레이터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근의 자동차 시뮬레이터는 주로 가상 프로토타이핑, 운전자의 인자 연구, 주행 상황 등의 연구를 위해 많은 투자가 이뤄지고 있다.<sup>[1,2]</sup> 항공기 시뮬레이터는 주로 비행 및 교전 훈련용, 오락용, 연구용으로 개발되고 있다.<sup>[3]</sup>

시뮬레이터는 현실의 제품을 작동시키는 대신 이를 다양한 신호를 통해 운동을 재현하는데 목적을 둘 수 있다.<sup>[3]</sup> 이렇게 볼 때 시뮬레이터와 인간사이의 매체가 되는 신호의 적합성에 대한 연구가 필수적이라 볼 수 있다.

국외에서는 시야각(field of view), 초당 프레임수(frame rate), 텍스처의 공간주파수(spatial frequency)에 대해 많은 연구가 수행되었다<sup>[4]</sup>. 그러나 이러한 부분은 재현 성능을 높여주는 부가적인 부분으로서, 본질적으로 인간에게 변화에 대한 정보를 주는 부분이 아니기 때문에 효과가 두드러지지 않을 뿐만 아니라 시스템의 사양에 많은 제약을 가진다. 따라서 본 연구에서는 주행 시 변화의 본질적인 성분인 가상 주행환경을 분석함으로써 속도감을 향상시키는 방법을 도출해 보고자 하였다.

본 연구에서는 감성공학적 접근을 통해 주행 시뮬레이터에서 그래픽 모듈의 속도감을 향상하는 방법을 모색하였다. 이를 위해 다양한 가상환경을 체험

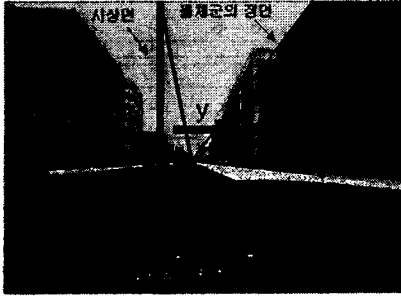


그림 1 성분군의 측면 거리

하여 속도감과 관련된 그래픽 요소들을 추출하였다. 속도감과 추출된 그래픽 요소간의 관계를 정량화하기 위해 실험을 수행하고, 실험데이터에 대한 근사함수를 얻었다.

## 2. 가상 주행환경의 분석과 아이템 추출

주행환경은 크게 환경 구성성분과 상황 구성성분으로 분류할 수 있다. 환경 구성성분은 건물, 도로와 같은 주행환경을 구성하는 구조물로서 정적이라 볼 수 있다. 상황 구성성분은 특별한 주행상황을 유발시키는 성분으로 주위의 차량, 신호등의 작동상황, 보행자, 도로 노면의 상황, 날씨 등이 있으며 주행 시 변화가 매우 심하다.

주행 시 차량의 위치이동이 차량과 주행환경을 구성하는 물체와의 상대 변위를 통해 운전자에게 인식된다 볼 때, 위치나 자세의 변화에 대한 정보를 주는 지배적인 성분은 정적인 특성을 가진 환경 구성 성분이라 볼 수 있다.

속도감과 관련된 환경성분을 조사하기 위해 다양한 주행환경을 체험하고 느낌의 차이를 주는 부분을 조사해 본 결과 두 가지의 사항을 얻었다.

첫 번째는 '환경성분과 시점과의 거리'이다. 시점과 가까운 가로수와 건물이 많이 존재하는 경우, 변화가 크게 인식되어 속도감이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이 현상은 인지공학에서 다루지는 시각흐름(optic flow)의 개념이 잘 뒷받침 해준다.<sup>[5]</sup> 그림 1은 건물들의 정면이 인체를 좌우로 이등분하는 시상면(sagittal plane)과 얼마나 가까이 있는가를 나타낸다. 본 연구에서는 이 아이টে를 '성분군의 측면거리'라 표현하였다.

두 번째는 '주행방향에 대한 수직성분의 존재'이다. 건물에 창문과 같이 주행방향에 수직인 선분으로 이루어진 성분이 많을수록 속도감이 증가함을 알 수 있었다. 이 아이টে를 '주행방향의 수직성분'으로 표현하였다.

## 3. 성분군의 측면거리에 대한 유의성 실험

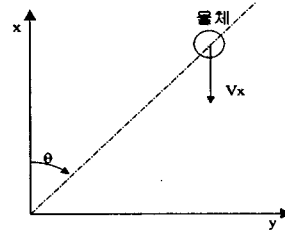


그림 2 각속도 모델

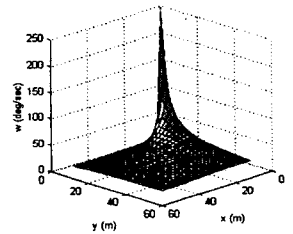


그림 3 예측 결과

실험 전에 아이টে의 속도감에 대한 영향을 확인하기 위해 경향을 예측하였고, 피실험자에게 속도감에 대한 절대성을 부여하기 위해 각인실험을 수행하였다. 본 실험은 인자의 변화에 대한 인지속도를 추출하였고 비교분석을 통하여 인자에 대한 속도감의 변화를 분석하였다.

### 3.1 각속도 모델

물체의 측면거리와 속도감간의 관계를 예측하기 위해 주행상황을 단순화하여 각속도 모델을 구성하였다. 각속도 모델은 직교 좌표계에서 운전자의 눈을 원점에 두고 물체와 눈과의 상대속도에 대한 각속도를 고려한 것이다.

그림 2에서 다음과 같은 기하학적 관계가 성립한다.

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

양변을 시간에 대해 미분하여 정리하면 다음과 같다.

$$\omega = \frac{x^2}{x^2 + y^2} \left( \frac{1}{x} v_y - \frac{y}{x^2} v_x \right) \quad (1)$$

차량의 주행에 적용시키면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$v_x = v_{obj/eye} = -v_{eye} = -v_{veh}, \quad v_y = 0$$

따라서 식 (1)은 다음과 같이 표현된다.

$$\omega = \frac{y \cdot v_{veh}}{x^2 + y^2} = \frac{\sin \theta}{\sqrt{x^2 + y^2}} v_{veh} \quad (2)$$

식 (2)로부터  $v_{veh}$ 이 일정하다면 눈으로부터의 각  $\theta$ 가 커짐에 따라 각속도가 커짐을 알 수 있고, 이는 주행방향 보다는 측 방향에서 속도감이 더 크게 느껴짐을 예측할 수 있다. 눈으로부터 물체까지의 거리  $\sqrt{x^2 + y^2}$ 는 속도감과 반비례함을 알 수 있다. 그림 3은 3차원으로  $v_{veh}$ 가 30 km/h일 때의 각속도를 나타내었다. 이를 통해 원점에 가까울수록 각속도가 급격히 증가함을 알 수 있다.

### 3.2 실험 방법

실제의 주행환경은 도로 가장자리에 건물이 나열되어 있다. 따라서 식 (2)에서 변수 x의 의미는 미약하고 변수 y를 고려함이 적당하다. 또한 변수 x의 영향을 받지 않도록 시야범위 내에는 건물이 계속 나열되도록 하였다.

y방향의 변수의 범위를 결정하기 위해 현실의 시가지 건물군을 조사한 결과 약 2 m에서 50 m이내에 중요한

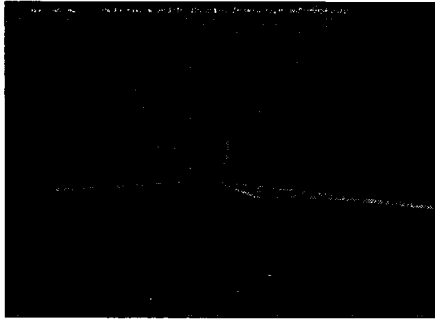


그림 4 실험 시의 주행화면

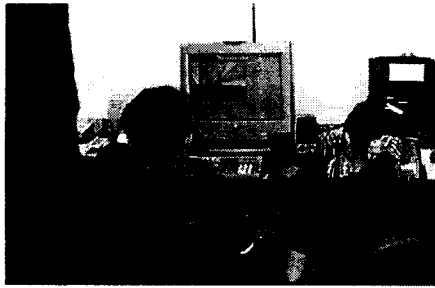


그림 5 구성된 실험환경

성분들이 존재하였으며, 산과 같은 배경성분은 300 m 이상에 존재하였다. 따라서 실험에 사용할 y값은 2, 10, 20, 30, 40, 50, 500 m로 하였다.

실험의 주행환경을 구성하기 위하여 가상현실 팩키지인 dVISE를 이용하였다.<sup>[6]</sup> 또한 환경내의 건물은 CAD 모델을 생성하고, 다양한 실제건물의 사진을 맵핑하였다.

3차원 CAD도구인 Pro/ENGINEER를 사용하여 개발한 자동차모델을 가상환경 내에 두었다. 가상환경 내에 놓여진 자동차 모델의 운전자의 눈 위치에 시점을 고정시킴으로써, 자동차에 의해 가려지는 환경성분이 생기게 되므로 주행 시 운전자에게 영향을 줄 수 있는 성분만을 고려할 수 있게 된다. 주행환경은 4차선의 도로, 보도, 건물, 산으로 표준화하였다. 그림 4는 피실험자에게 보여지는 주행화면을 보여준다.

가상주행환경을 구동한 장비는 운영체제가 UNIX인 SGI사의 Octane이며 4 Mbyte의 텍스처 메모리를 갖추었다. 구동 시 가상환경은 90°의 시야각을 가지며, 약 25 frame/sec의 성능을 내도록 하였다.

주행상황은 모니터를 통해 피실험자에게 제시되었고, 피실험자는 편안한 자세에서 모니터를 응시하며, 실험자가 옆에서 실험을 주도하도록 하였다. 실험이 산만해지지 않도록 피실험자와 실험자의 측면에 벽면을 설치하였다. 그림 5는 구성된 실험환경을 보여준다.

### 3.3 그래픽 주행실험

인지속도의 절대성을 높이기 위하여 실험에 앞서 속도 각인실험을 수행하였다. 속도각인실험은 시내주행 시 차

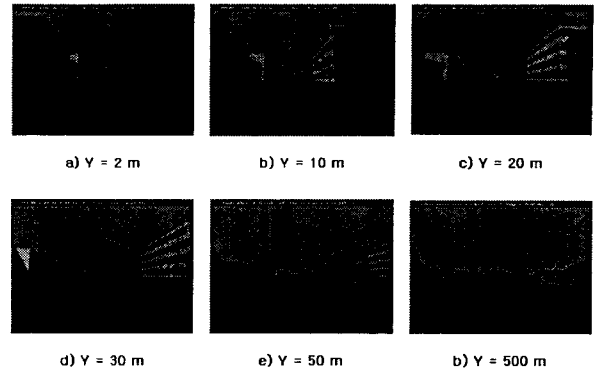


그림 6 y값의 변화에 따른 주행환경

주 체험할 수 있는 속도인 40, 60, 80 km/h에서의 주행 상황을 모니터를 통해 여러 번 체험하도록 하였다. 피실험자는 24세부터 29세까지의 남성으로 기계공학을 전공하는 대학원생으로 하였으며, 운전경력이 6개월 이상인 피실험자는 9명이었다. 각인실험을 통과한 30명을 대상으로 본 실험을 수행하였다.

본 실험의 주행은 실제의 주행에서 저속을 대표할 수 있는 20 km/h와 표준속도로 볼 수 있는 60 km/h의 등속구간에서 성분군의 측면거리를 변화해가며 인지속도를 답하도록 하였다. 그리고 실험변수인 건물을 제외하고 속도감에 영향을 줄 수 있다고 고려되는 차선과 인도를 제거하고 건물군의 y값을 변화시키며 실험을 반복하였다. 무책임한 응답을 피하기 위해 반복하여 답할 수 있도록 하였다. 그림 6은 본 실험에서 건물의 y값을 변화시킬 때의 주행환경이다.

### 3.4 실험결과 및 분석

그림 7과 8은 20, 60 km/h의 속도에서 건물군의 y 방향 거리에 따른 실험결과와 평균과 표준편차, 25% 절단 평균을 보여준다. 그림에서 변화의 정도가 크을 볼 때, 시점과 건물과의 거리의 고려가 필수적임을 보여준다.

실험결과와 예측값을 비교하기 위해 식 (2)에서 예측값을 추출하였다. 이를 위해 식 (2)의 변수에서 각도  $\theta$ 는 실험환경의 시야각이 90°임을 감안하여, 화면 중에서 위치 변화가 크고 인지가 가능한 각도로 40°를 정하였다. y와 속도는 실험과 같게 하였다.

비교를 위해 각속도(x)와 속도(y)를 변수로 하는 함수를 정의함으로써 예측한 값과 실험결과와의 관계를 얻고자 하였다. 이를 위해 실험자료의 함수근사(data fitting)를 수행하였다.

근사법은 개형을 고려하여 비선형 함수 근사법 중 지수함수를 이용한 근사법을 택하고, 계수 비교를 용이하게 하기 위해 차수가 가장 낮은 1차 지수감소법(first order exponential decay)을 이용하였다. 그림 9는 데이터해

표 1 예측의 타당성 평가

속도 km/h	10	20	30	40	50	60	70	80
상관계수	0.985	0.999	0.999	0.997	0.995	0.993	0.991	0.990
표준편차	1.51	0.45	1.54	2.96	4.40	5.85	7.30	8.75

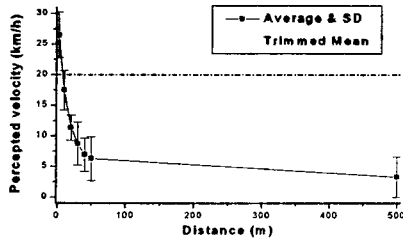


그림 7 20 km/h에서의 실험결과

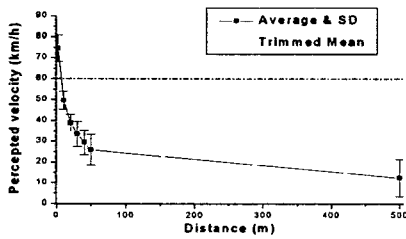
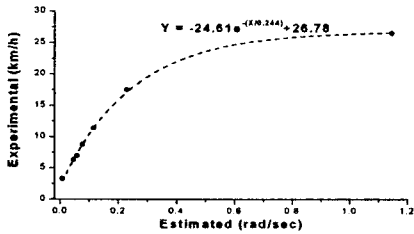
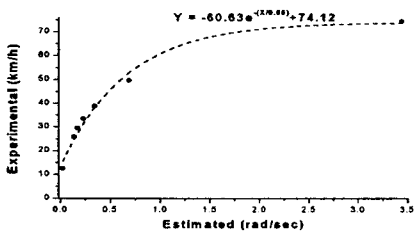


그림 8 60 km/h에서의 실험결과



(a) 20 km/h



(b) 60 km/h

그림 9 실험값과 예측값과의 관계

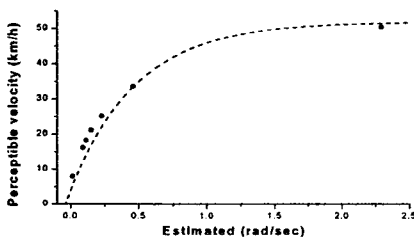


그림 10 속도값 예측(40 km/h)

석 소프트웨어인 Origin에서 1차의 지수감소법에 의한 결과이다.

얻어진 근사식을 이용하여 일반적인 주행속도 범위인 100 km/h 미만의 속도에 대한 예측식을 세웠다. 인지속도가 속도에 비례함을 가정하여 20, 60 km/h의 데이터를 선형적으로 보간하여 얻은 다른 속도값들에 대한 데이터와 예측식의 결과를 비교하여 그 타당성을 확인하였다. 예측식은 다음과 같다.

$$v_{per} = A e^{-\frac{w_{est}}{B}} + C \quad (3)$$

$$A = -1.2 v_{veh}, \quad B = 1.2 v_{veh}, \quad C = 1.3 v_{veh}$$

$v_{per}$  : 피실험자의 인지속도

$v_{veh}$  : 차량의 주행속도

$w_{est}$  : 식 (2)에서 계산된 각속도

그림 10은 40 km/h에서의 보간값과 예측식에 의해 얻어진 결과를 나타낸다.

표 1은 각 속도에서의 식 (3)을 통한 예측값과 실험값간의 신뢰수준을 보여준다. 상관계수가 모두 0.99 근처에 있으므로 값들간의 선형관계가 매우 잘 맺어져있음을 알 수 있다. 표준편차에서 인간의 근본적인 속도인지 오차를 고려할 때 10 km/h를 넘지 않는 것은 비교적 예측이 적절하다 볼 수 있다.

## 4. 주행방향의 수직성분에 대한 유의성 실험

### 4.1 실험 방법

주행방향의 수직성분은 물체의 색과 형상에 의해 나타나기 때문에 변수로 설정하는데 많은 어려움이 있다. 이러한 점을 해결하기 위해 서로 다른 색을 가진 두 개의 면을 연결시켜 자연스러운 선분이 생성되도록 하고, 변수로서는 면의 폭을 사용하였다. 이렇게 함으로써 면의 경계가 수직선분의 역할을 하고 면의 폭이 선분간의 거리의 역할을 하게 된다. 그림 11은 설정된 변수를 보여준다.

면의 폭의 범위와 변화 정도는 실제 주행환경에서 수직선분을 이룰 수 있는 성분을 조사하여 결정하였

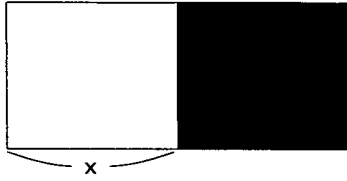
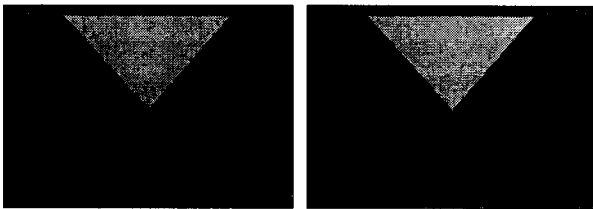


그림 11 변수의 설정

표 2 환경성분의 폭의 변역

성분	변역 (m)	
보도블럭의 길이	0.2 ~ 0.6	
차선의 길이	2 ~ 10	
가로수의 간격	5 ~ 15	
가로등의 간격	30 ~ 60	
건물	창문 폭	2 ~ 7
	점포의 폭	3 ~ 10
	건물 폭	10 ~ 50



(a) 1 m

(b) 4 m

그림 12 본 실험의 주행환경

다. 표 2는 조사된 변역을 보여준다. 따라서 텍스처 폭의 범위를 0.2 m부터 60 m로 하였다.

그림 11과 같이 변수로 설정된 텍스처의 두 색은 인간에게 자극의 정도가 적도록 자연스런 색을 선택하였다. 두 색을 붙여놓음으로 인해 발생하는 명도, 채도 대비의 효과를 줄이기 위해 명도와 채도를 중간 값인 5로 하였다. 중성색계를 선택하여 중용과 고요함을 불러일으키게 하였다. 이렇게 하여 선택된 두 색은 명도, 채도가 5인 자색(5RP), 녹색(5G)이다.

본 실험을 위한 가상 주행환경을 구성하였다. 도로는 왕복 4차선의 너비인 14 m로 하고 시점은 중앙선 위에 있도록 하였다. 또한 결과에 영향을 줄 수 있는 파선형태의 차선은 삭제하였다.

텍스처 폭의 변화는 0.25 m에서 64 m까지 2의 지수로 변화시켜 9개의 구간으로 하였다. 이를 위해 설정한 일정한 폭을 가진 면이 반복되는 형태의 텍스처를 생성하여 길가의 높이 10 m의 벽면에 맵핑하였다. 그림 12는 실험의 주행환경을 보여준다.

## 4.2 텍스처 실험

본 실험은 일정속도에서 텍스처의 폭을 변화시키는 실험과 일정한 텍스처 폭에서 속도를 변화시키는 실험을 수행하였다.

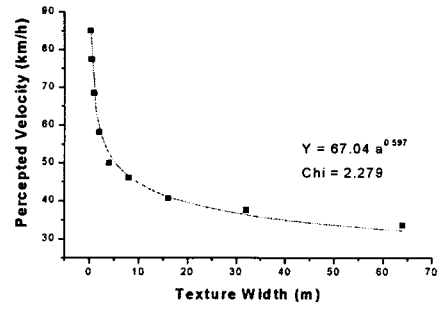


그림 13 텍스처 폭과 인지속도

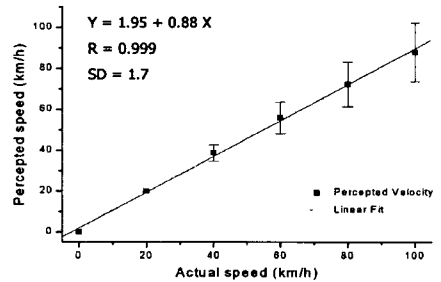


그림 14 실제속도와 인지속도

첫 번째 실험은 각 텍스처의 상황에서 10초씩 주행하도록 하였고, 주행속도는 50 km/h로 하였다. 두 번째 실험은 인지속도가 속도에 비례함을 확인하기 위해 텍스처의 폭을 일정하게 두고 속도를 20, 40, 60, 80, 100 km/h로 변화시켜 속도값을 응답하게 하였다.

실험의 응답은 속도값으로 하였고, 얻어진 데이터는 변화의 정도를 나타낸 수치로 고려하는 것이 적절하다. 실험인원은 기계공학을 전공한 24세부터 30세까지의 15명의 남성을 대상으로 하였다.

## 4.3 실험결과 및 분석

얻어진 속도값에 대해 개개인의 스케일링 특성을 충분히 이용하기 위한 방법을 정의하였다. 데이터 처리방법은 다음과 같다.

- (1) 전체 피실험자의 속도결과에서 기울기가 0이 아닌 구간을 선택하여 기준 구간으로 삼았다.
- (2) 개개인의 결과에서 기준 구간의 기울기에 대한 나머지 구간의 기울기의 비를 얻어낸 후, 각 구간의 기울기에 대한 평균을 얻었다.
- (3) 기준점은 텍스처 폭 4 m일 경우로 50 km/h로 정하고 기울기를 환산하여 곡선을 생성하였다.

실험을 통해 얻어진 데이터에 대한 그래프를 생성하고 함수근사를 통해 수식화하였다. 그림 13은 텍

스처 폭과 인지속도간의 관계를 보여준다. 그림 14는 실제속도와 인지속도의 관계를 보여준다.

이러한 결과를 바탕으로 텍스처의 폭과 인지속도간의 관계를 정의하여 보았다. 우선 인지속도는 텍스처의 폭과 다항 함수의 관계를 가지며 실제 주행속도와는 선형관계에 있는 것으로 가정하였으므로 식의 형태는 다음과 같이 단순화할 수 있다.

$$v_{per} = (A v_{veh} + B)(C l^D) \quad (4)$$

$v_{per}$ 는 인지속도,  $v_{veh}$ 는 주행속도,  $l$ 은 텍스처의 폭,  $A, B, C, D$ 는 상수이다. 그림 13과 14를 이용하여 식 (4)의 계수를 정의하면 다음과 같다.

$$v_{per} = (0.88 v_{veh} + 1.95)(67.04 l^{-0.176}) \quad (5)$$

식 (5)를 통하여 텍스처의 폭, 주행속도, 인지속도간의 관계를 예측할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서 주행 시뮬레이터를 감성공학적으로 접근함으로써 속도감의 향상을 위한 방법을 모색하고자 하였다. 연구대상을 주행 시뮬레이터의 그래픽모듈로 제한하고, 가상 주행환경을 분석하여 그래픽 모듈의 속도감 인자로 성분군의 측면거리와 주행방향의 수직성분을 추출하였다.

성분군의 측면거리에 관한 유의성 실험을 수행하였다. 측면거리와 속도감간의 경향 예측을 위해 각 속도 모델을 정의하였다. 실험을 위한 가상주행환경을 개발하였다. 실험결과와 예측값 간의 비교를 통하여 물체의 측면거리와 인지속도간의 관계를 도식화하였다.

주행방향의 수직성분에 관한 유의성 실험을 수행하였고 실험결과를 도식화하였다.

본 연구에서는 기존의 속도감 향상을 위한 연구에서 벗어나 주행환경의 배치와 외양과 속도감간의 관계를 규명함으로써 좀 더 적극적이고 효과적인 방법을 도출할 수 있었다. 차후에는 도출된 속도감 인자를 활용하기 위하여 주행환경의 관련변수를 데이터베이스화하고 이를 효율적으로 이용할 수 있는 감성평가시스템의 개발이 진행될 것이다.

## 후기

본 연구는 과학기술부의 선도기술개발사업(가상환경 제시 시스템 구축을 통한 감성 측정 및 평가 지원)의 지원으로 수행되었음

## 참고문헌

- [1] 고정훈, 손권, 최경현, “승용차의 가상프로토타입”, 자동차공학회논문집, 제7권 제5호, pp. 230-239, 1999
- [2] 유완석, 손정현, 김광석, 이재식, “운전자의 운전수행과 관련된 지각적, 인지적 특성분석 및 그 특성이 운전미치는 영향분석”, 자동차공학회논문집, 제7권 제6호, pp. 222-230, 1999
- [3] 윤석준, “항공기 시뮬레이터 기술의 현재”, 전자공학회지, 제 25권 제2호, pp. 48~57, 1988
- [4] Internet Web Site, <http://www.mpik-tueb.mpg.de/people/personal/mad/ecvp96/>
- [5] E. Bruce Goldstein, Sensation & Perception, Brooks/Cole, 1996
- [6] dV/Reality for UNIX Workstations User Guide, Division Ltd., UK, 1997