

# 도로표지 판독성 실험을 위한 도로주행 시뮬레이터 개발

## Development of Driving Simulator for Road Sign Legible Test

김 종 민

(한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원)

조 환 명

(NVLsoft M&S연구소 부장)

박 성 진

(한국건설기술연구원 도로연구부 연구원)

### 목 차

I. 서론	III. 부분 고해상도 영상시스템 개발
1. 연구의 배경	1. 부분 고해상도 영상시스템 개발
2. 연구의 목적	2. 해상도별 시력테스트
II. 문헌고찰	3. 시력테스트 결과
1. 운전자 시력	IV. 결론
2. 판독거리/해상도	참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구의 배경

도로주행(차량) 시뮬레이터는 다양한 도로시설의 설치기준 및 도로교통 분야의 과제(고령운전자 등)에 대한 인간요소(운전자)를 분석/검토할 수 있는 실험 장비이다. 국내외에는 수많은 도로주행 시뮬레이터가 개발되어 도로교통 분야에서 활용되고 있다.

도로주행 시뮬레이터는 다양한 도로 및 시설물들을 시뮬레이터의 가상도로 내에 설치하여 임의의 지점에서 영상으로 재현을 할 수 있어, 현장실험에 비해 경제성(저비용) 및 유연성(다양한 실험설계), 재현성(동일한 날씨, 주변차량 등의 재현), 안전성(사고발생시 무피해) 등이 확보되는 장점을 가지고 있다.

도로교통 관련 연구 중 도로표지에 대한 판독성(legibility) 실험은 문자크기, 지명수(정보량) 등의 도로표지 구성요소를 변화시킨 다양한 도로표지를 제작하여 현장에 설치하고, 운전자의 시력, 판독시간, 판독거리 등 인간요소를 통해 평가하게 된다. 최근에는 이러한 실험을 도로주행 시뮬레이터를 이용하여 수행되고 있다.

도로주행 시뮬레이터를 이용한 주행실험에서

는 인간감각의 재현이 가능한가를 인간공학 측면에서 사전에 검토하여야 하고, 실험의 목적에 맞게 시뮬레이터를 보완하는 작업이 필요하다.

특히 문자의 판독성 실험의 경우, 도로주행 시뮬레이터는 도로주행의 현실감을 높이기 위해 대형스크린에 도로주행 영상을 프로젝터로 투영하게 되는데, 이로 인해 대형스크린에 투영된 영상의 선명도가 낮아져, 도로주행 시뮬레이터에서 먼 거리의 문자를 인식할 수 없게 된다. 이로 인해 시뮬레이터 실험에서 얻어진 결과를 현장에 직접 적용할 수 없게 된다.

### 2. 연구의 목적

이에 본 연구는 도로주행 시뮬레이터(영상재현시스템) 해상도와 인간요소(시력)와의 관계에 대한 기초연구를 통해 도로주행 시뮬레이터를 도로표지 판독성 실험에 활용할 수 있는가를 사전에 검토하는 것을 목적으로 한다.

구체적으로는 한국건설기술연구원에서 개발 중에 있는 도로주행 시뮬레이터(K-ROADS)를 도로표지 판독성 실험에 활용하기 위해, 부분 고해상도 영상시스템을 개발하고 투영된 시력 검사표를 이용해 시력테스트를 실시하고 그 활용가능성을 검토하였다.

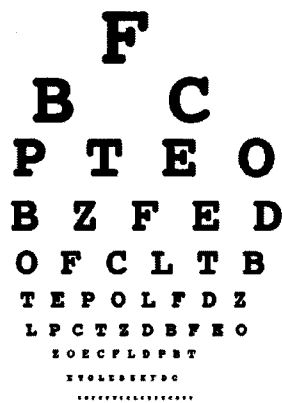
## II. 문헌고찰

### 1. 운전자 시력

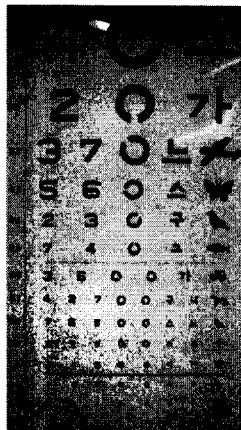
인간의 시력은 시야의 전부에 걸쳐서 일정하지 않으며 주시점에서 2° 떨어지면 시력이 반으로 떨어지게 된다. 이는 인간 눈의 망막에 있는 광수용기(photoreceptor)가 낮에 색을 구분하는 원추체(cone)와 밤에 흑백으로 음영을 구분하는 간상체(rod)로 구성되어 있으며, 시력과 관련되는 600만-700만개의 원추체는 망막의 중심부근(황반)에 집중되어 있기 때문이다.

시력은 CIE 국제조명 용어집(1987)에 정의되고 있다. 질적으로 시력은 아주 작은 각도 틈새를 가지는 미세 부분을 볼 수 있는 능력이며, 양적으로 시력은 공간적인 구별 정도로 정의되는데 이는 두 개의 이웃하는 물체(다른 특정 자극) 사이의 상호 구별 각도(분)와 같다.

영국에서는 일반적인 운전자 시력테스트에 스넬런 차트(The Snellen Chart)를 이용하며, 거리에 따라 읽게 하는 방식이다. 여기서 정상시력이라 함은 아주 밝은 상태에서 1/3"(8.5mm) 크기의 글자를 20ft(6m)거리에서 읽을 수 있는 사람의 시력을 말하며 정상시력은 20/20으로 나타낸다. 판독거리와 관련하여 정상인은 문자높이의 687배 거리에서 문자를 볼 수 있어야 한다. 스넬런 차트의 각 라인은 정상시력을 가진 사람이 읽을 수 있는 가장 작은 글씨에 대한 차트까지의 거리의 역수로 시력을 측정한다. 따라서 20/20은 정상시력, 20/40은 정상보다 낮은 시력을 말하며 20/10은 좋은 시력을 말한다.

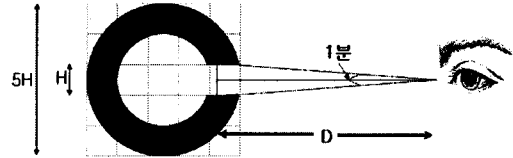


<그림 1> 스넬런 차트



<그림 2> 시력검사표

국제 표준 기구(ISO, 1994)에서 정한 시력 테스트 기준은 문자보다는 랜돌트 고리(Landolt ring)을 쓰고 있는데, 이 고리는 직경의 1/5이 뚫려 있으며 보통 직경 7.5mm원에 1.5mm가 뚫려 있는 고리를 5m거리에서 벌어진 곳을 구분할 있는 시각(visual angle)이 1분(1/60도)이면 시력이 1.0 또는 20/20이라고 정의한다. 시력은 시각의 역수로 나타내며, 시각은 다음의 공식으로 구할 수 있다.



$$\text{시각}(\theta) = 2 \tan^{-1}(H/2D) \quad (1)$$

여기서, H : 고리의 뚫린 높이(=문자높이 5H)  
D : 시력검사표까지 거리

### 2. 판독거리/해상도

#### 1) 판독거리

일본 도로공단의 설계요령(1989)에서는 도로 표지의 판독거리에 대한 계산식을 제안하였다.

$$\text{판독거리} = 5.67$$

- × 문자종류 보정계수
  - × 한자의 복잡성 보정계수
  - × 주행속도 보정계수
  - × 표식의 문자높이
- (2)

여기서, 판독거리는 도로표지의 판독이 끝난 시점을 가리키고 있지만, 이 계산식에서 도로표지에 제시된 지명수 등에 대한 언급이 없어, 이후 정보량에 대한 연구가 진행되고 있다.

정준화(1999)는 "도로 가변정보 안내시설 설치 및 관리 지침 제정 연구"에서 VMS에 표출되는 문자를 피험자의 시력에 따른 문자 높이별 판독거리를 정적 문자 높이 실험을 통해 구하였다. 실험 결과, 피험자의 시력이 판독성(판독거리)에 미치는 영향이 매우 큼을 확인하였고 다음과 같은 문자높이별 판독거리에 대한 회귀식을 산정하였다.

$$y = 304.55 \ln(x) - 969.96 \quad (3)$$

여기서,  $y$  : 판독거리D (m)  
 $x$  : 문자높이H (cm)  
(문자두께  $W = 0.125H$ )

이 실험에서 표시되는 문자는 "성남", "지체" 등과 같은 단어를 사용하고, 이 단어를 판독할 수 있는가를 조사한 것이다. 또한 판독거리는 일본의 연구사례와 달리 단위정보량에 대한 문자높이와 최소판독거리와 관계를 수식으로 제안하고 있지만, 시력과 관련성이 없는 수식으로 제안되어 있어, 기준이 되는 시력이 얼마인지 알 수 없다.

## 2) 해상도

해상도(resolution)는 화면(인쇄) 등에서 이미지의 정밀도를 나타내는 지표로서, 영상의 해상도는 한 화면에 픽셀이 몇 개나 포함되어 있는지를 말하는 것으로, 일반적으로 가로 픽셀 수(1024)와 세로 픽셀 수(768)를 곱하기 형태(1,024×768)로 나타낸다.

그러나 같은 해상도라도 크기가 작은 모니터에서 더 선명하고, 큰 모니터로 갈수록 면적이 넓어지므로 선명도가 떨어지게 되는 것이다. 그래서 영상의 해상도에도 ppi(pixel per inch) 또는 "화소수"를 사용하고 있다.

도로주행 시뮬레이터에서는 주행의 현실감을 높이기 위해 프로젝터를 이용하여 도로주행 영상을 대형스크린에 투영하는 방식이 주로 사용된다. 이로 인해 대형스크린에 투영된 영상의 해상도가 떨어져, 먼 거리의 문자를 인식하기 어렵게 된다. 이러한 영상의 해상도는 현실보다 최소시각이 커서, 운전자의 시력에 영향을 주며, 도로표지의 판독성 실험에서 최소판독거리가 현실보다 짧게 나타날 것이다.

도로주행 시뮬레이터와 같이 가상현실(virtual reality) 기법을 이용한 환경 내에서 도로표지의 판독성 실험을 하려면, 다음과 같은 방법으로 만들어지 영상시스템에 대한 최대시력을 사전에 계산할 수 있다.

- ① 최소픽셀크기(랜돌트 고리의 뚫린 곳)  
= 스크린(모니터)길이 / 영상해상도
- ② 시각(visual angle) =  $2 \tan^{-1}(C/2L)$
- ③ 시력 = 1/시각

이와 같은 방법으로 정준화(1990)에 제시된 문자높이와 판독거리와의 관계에 대해 기준이 되는 시력은 다음 표와 같이 계산될 것이다.

<표 1>

문자높이	60cm
판독거리	274m
문자두께	7.5cm
시각	0.9분
시력	1.0

여기서 가변표지판의 문자두께는 두꺼운 서체(0.125H)로 해상도가 VMS의 2dot(3.75cm×2)를 차지하고 있으므로 최소픽셀크기를 7.5cm로 가정하였을 때 기준이 되는 시력은 1.0이 사용되었다고 추정할 수 있다.

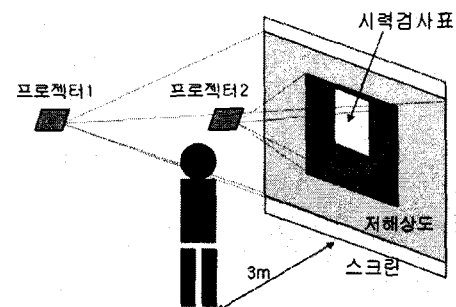
가상현실의 실험결과를 현장에 적용할 수 있도록 하기 위해서는 가상현실에서 최대시력과 판독거리와의 관계를 명확히 해야 할 것이다.

## III. 부분 고해상도 영상시스템 개발

### 1. 부분 고해상도 영상시스템 개발

도로주행 시뮬레이터를 도로표지 판독성 실험에 이용하기 위해 본 영상시스템에서 판독할 수 있는 최소시력은 얼마인지를 사전에 검토해야 한다. 그래서 본 연구에서는 3m 시력측정기를 모델링하여 가상현실 내에 설치하고 이를 이용하여 운전자들의 시력을 측정하였다.

그러나 영상시스템의 한계로 인하여 운전자들의 시력은 평균 0.3을 넘지 못하였다. 이것은 운전자들의 개개인적인 시력차이보다 영상시스템의 해상도 한계로 인해 발생된 것으로 도로표지의 판독성 실험을 위해서는 보다 높은 최대시력을 확보해야 한다.



<그림 3> 부분 고해상도 영상시스템

본 영상시스템에서는 <그림 3>과 같이 대형 스크린에 저해상도 영상(전체 화면)과 고해상도 영상(부분 화면)의 영상을 투영할 수 있도록 영상시스템을 개발하였다.

이 방식은 세계 최대 규모인 차량 시뮬레이터 NADS에도 사용된 방식으로 NADS는 전방 영상을 3개의 부분영상시스템을 가로로 배열하여 전방 영상의 해상도를 높이고 있다.

본 영상시스템의 사양을 통해 확인할 수 있는 운전자 최소시력(시스템 최대시력)은 다음 표와 같이 계산될 수 있다.

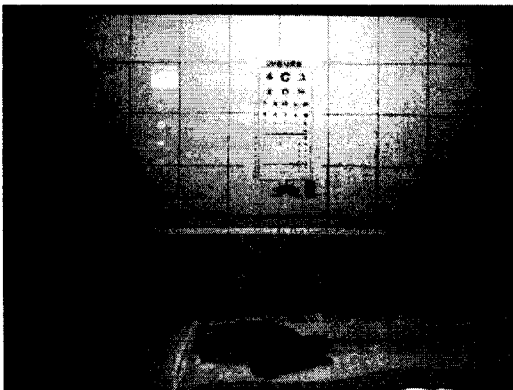
<표 2> 실험조건

해상도	저해상도	고해상도
1채널 해상도	1,024×768	1,024×768
스크린 크기	2.29m×1.72m	1.12m×0.795m
스크린 해상도	11.3ppi	23.2ppi
1픽셀 크기	2.24mm	1.09mm
관측거리	3m	3m
시각	3.43분	1.249분
시력	0.3	0.8

## 2. 해상도별 시력테스트

### 1) 실험방법

다음 그림은 해상도별 시력테스트의 실험모습이다. 본 실험에는 총 10명이 참여하였다. 각 참여자들이 실험실에 도착한 후 실험의 목적을 설명하였고, 설명을 마친 후 참여자의 실험 참여 동의를 받은 후에 실험을 실시하였다. 그리고 실험 시작 전에 참여자들에게 연구자에 의해 지적된 형상에 대해 절대 추측하지 말고 정확하게 지각되는 경우에만 응답하라고 요청하였다.



저해상도 영상(11.3ppi)

시력 측정은 총 3번에 걸쳐 실시되었다. 먼저 도로주행 시뮬레이션의 운전석에 착석한 상태에서 저해상도(11.3ppi) 조건에서 측정을 실시한 후, 다음으로 고해상도(23.2ppi) 조건에서 다시 한 번 측정하였다. 그리고 마지막으로 현실 상황에서 시력을 측정하였다.

각 조건을 마친 후 잠시 쉬는 시간을 주어 눈의 피로로 인한 가외변인이 최소화되도록 하였다.

### 2) 시력값 부여 기준

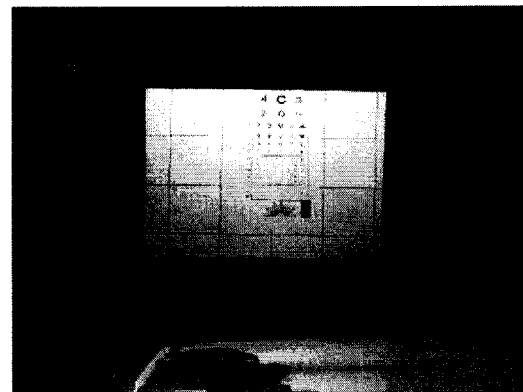
일반적으로는 행해지는 시력 검사에서는 해당되는 시력에 나열된 숫자, 글자, 또는 란돌트 원 중 5개 정도를 읽게 한 후 3개 정도를 바르게 지각하면 해당하는 시력이라고 말할 수 있다고 한다. 그러나 본 연구에서는 좀 더 엄격한 기준을 사용하기 위하여 해당하는 시력 값에 있는 모든 형상을 바르게 지각하는 경우에만 해당하는 시력 값을 부여하였다.

## 3. 시력테스트 결과

해상도 수준에 따른 참여자들의 시력을 측정하였다. 다음 표는 각 조건의 평균과 표준편차이다.

<표 3> 조건별 평균과 표준편차

조건	저해상도	고해상도	현실
평균	0.33	0.76	1.28
표준편차	0.048	0.052	0.249



고해상도 영상(23.2ppi)

<그림 4> 실험모습

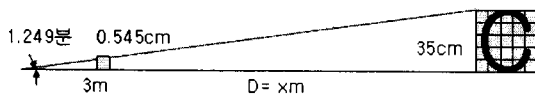
평균과 표준편차 분석 결과에 근거하면, 해상도가 좋아질수록 평균 시력은 높아지고 표준편차는 커진다고 할 수 있다. 표준편차는 가상현실 조건인 저해상도와 고해상도에서는 서로 비슷하였으며, 이에 비해 현실 조건과 가상현실 조건들 사이에서는 상대적으로 큰 차이를 보였다. 이와 같은 결과를 볼 때 가상현실에서의 개인의 시력차이는 영상시스템의 해상도라는 외부적인 원인에 의해서 현실상황에 비해 측정치들이 평균으로 수렴하는 경향을 보일 가능성에 있다고 추론된다.

또한 <표 3>의 시력테스트 결과는 <표 2>의 픽셀크기를 이용한 이론치와 같은 결과를 보여주고 있다.

이상의 실험결과 영상시스템을 사용한 가상실험은 먼저 해당 시스템의 하드웨어적인 한계치를 이해하여야 하며, 도로주행 시뮬레이터에 의한 도로표지 판독성 실험은 현실 실험에서와 같은 운전자의 시력에 좌우되기 보다는 시뮬레이터의 영상시스템이 가지고 있는 한계, 즉 영상시스템의 픽셀크기에 좌우되며, 하드웨어적인 최대시력 이상의 운전자의 시력에 대한 영향은 고려할 수 없다.

본 시스템의 최대시력은 도로교통법 상의 운전자 시력 0.7이상을 만족하고 있어, 본 시스템을 이용한 도로표지의 판독성 실험이 가능하리라 생각된다.

또한 "가", "시"와 같은 간단한 문자의 경우(문자를 5픽셀 이내로 판독 가능할 경우), 판독거리는 기하학적으로 문자높이가 5픽셀로 보이는 거리를 최소판독거리라 할 수 있다. 예를 들어 지방부 국도 4차로의 경우, 운전자의 시각이 1.249분(고해상도)을 확보되었을 때, 최소판독거리 D (문자높이 H (35cm)가 5픽셀(0.545cm)로 판독되는 거리)는 다음과 같이 계산할 수 있다.



$$\text{최소판독거리}(D) = 3m \times \frac{35\text{cm}}{0.545\text{cm}} = 192m$$

다만 도로표지 내 문자의 복잡성에 의해 보다 높은 해상도에서만 판독가능한 문자는 최소판독거리가 짧아지게 될 것이다.

#### IV. 결론

본 연구는 도로주행 시뮬레이터(영상재현시스템) 해상도와 인간요소(시력)와의 관계에 대한 기초연구를 통해 도로주행 시뮬레이터를 도로표지 판독성 실험에 활용할 수 있는가를 사전에 검토하였다.

검토 결과, 본 도로주행 시뮬레이터를 이용한 도로표지 판독성 실험은 기준시력 0.8인 운전자들의 판독거리를 구하는 실험이 될 것이다.

다른 도로주행 시뮬레이터를 이용하여 판독성 실험을 할 경우, 도로주행 시뮬레이터의 영상시스템의 하드웨어적 한계로 인해 최대시력은 다음과 계산으로 산정할 수 있으며, 그 기준시력은 하드웨어적인 특징에 의존한다.

- ① 최소픽셀크기(랜돌트 고리의 뚫린 곳)  
= 스크린(모니터)길이 / 영상해상도
- ② 시각(visual angle) =  $2\text{tan}^{-1}(C/2L)$
- ③ 시력 = 1/시각

또한 문자의 복잡성에 의해 짧아질 수 있지만 5픽셀×5픽셀 이내로 문자가 표현가능하다면 다음과 같은 계산식으로 최소판독거리를 예측할 수 있다.

$$\text{최소판독거리}(D) = 3m \times \frac{\text{문자높이}}{5\text{픽셀크기}}$$

이번 도로표지 판독성에 관한 기초연구를 통하여, 추후 도로표지의 정보량(지명수)에 따른 판독거리를 실험할 계획이다.

#### 참고문헌

- 1) 일본도로공단 : 설계요령 제5집, 1989년
- 2) 한국건설기술연구원 : 도로 가변정보 안내시설 설치 및 관리 지침 제정연구, 1999년
- 3) 원재무, 최재성 : 교통공학, 박영사, 1990년