한국도로학회 논문집
第7券4號 2005年 12月
pp. 185 ~ 202

차량시뮬레이터 및 아이카메라를 이용한 도로안전성 평가기법 개발

Development of Road Safety Estimation Method using Driving Simulator and Eye Camera

도 철 웅* 김 원 근**
Doh, Tcheol Woong Kim, Won Keun

Abstract

In this research, to get over restrictions of a field expreiment, we modeled a planning road through the 3D Virtual Reality and achieved data about dynamic response related to sector fluctuation and about driver's visual behavior on testers' driving the Driving Simulator Car with Eye Camera. We made constant efforts to reduce the non-reality and side effect of Driving Simulator on maximizing the accord between motion reproduction and virtual reality based on data Driving Simulator's graphic module achieved by dynamic analysis module. Moreover, we achieved data of driver's natural visual behavior using Eye Camera(FaceLAB) that is able to make an expriment without such attaching equipments such as a helmet and lense. In this paper, to evaluate the level of road's safety, we grasp the meaning of the fluctuation of safety that drivers feel according to change of road geometric structure with methods of Driving Simulator and Eye Camera and investigate the relationship between road geometric structure and safety level. Through this process, we suggest the method to evaluate the road making drivers comfortable and pleasant from planning schemes.

Keywords : road safety estimation, driving simulator, eye camera, virtual reality

요 지

본 연구에서는 현장 실험 조성의 제약을 극복하기 위해 3차원 가상현실(virtual reality)로 설계중인 도로를 모델링한 후, 피실험자가 Eye camera가 장착된 차량 시뮬레이터(driving simulator)에 탑승하고 주행하면서 운전자가 행하는 선형변화에 대한 동적 반응 및 운전자의 시각행태에 대한 데이터를 획득하였다. 본 실험에 적용된 차량시뮬레이터의 그래픽 모듈은 동역학 해석 모듈에 의해 얻어진 데이터를 기초로 하여 운동재현기와 가상환경의 일치감을 최대로 함으로써 피실험자로 하여금 차량시뮬레이터의 비현실성 및 부작용을 최소화하도록 하였다. 또한, Eye camera는 기존의 여타 장비와는 달리 운전자가 헬멧이나 렌즈 등 어떠한 부착장치도 착용하지 않고 실험할 수 있는 FaceLAB을 사용함으로써 운전자의 자연스러운 시각행태를 아무런 데이터 손실없이 획득하였다. 본 연구에서는 조사된 데이터를 바탕으로 도로 안전성을 평가하기 위해 차량 시뮬레이터, Eye camera방법을 통해 설계시 도로 기하구조 변화에 따라 운전자가 느끼는 안전성의 변화를 파악함으로써 도로 기하구조 조건과 안전성의 상관성을 명확하게 규명하고 이를 통해 운전자가 도로 주행시 편안하고 쾌적한 주행을 보장받을 수 있는 도로를 설계 단계에서부터 평가할 수 있는 방법을 제시하려고 한다.

핵심용어 : 도로안전성평가, 차량시뮬레이터, 아이카메라, 가상현실

* 한양대학교 교통공학과 교수
** 정회원 한양대학교 교통공학과 박사과정

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

도로설계는 수많은 실험을 통하여 기준화된 지침에 따라 이루어진다고는 하지만 복합선형구간에서는 설계기준과 운전자의 반응에 차이가 발생되고 있어 많은 위험성을 내포하고 있다고 볼 수 있다. 인적요인을 고려하지 못함으로써 발생하는 이러한 많은 위험성을 도로설계 단계에서 평가하지 못하고 도로를 완공하게되면 실제 완공될 도로는 운전자에게 커다란 위험으로 다가올 수도 있다. 이에 대한 대책을 강구하기 위해 외국에서는 도로 설계시 도로 이용자가 느낄 수 있는 안전성과 쾌적성 등과 같은 감성적인 측면을 충분히 고려하도록 다양한 연구들이 진행되고 있으나 국내에서는 이러한 인적요인에 대한 다양한 연구가 수행되지 않아 명확히 기준을 제시하고 있지 못한 실정이다. 인적요인에 관련된 연구는 실제 현장실험 재현이 난해하고 막대한 예산이 소요되고 피실험자에게 안전상 부담을 준다는 단점을 지니고 있다. 이러한 실험의 한계를 극복할 수 있는 방법 중의 하나로서 최근에는 차량시뮬레이터를 이용한 실내실험이 많은 분야에서 활용되고 있다. 특히, 안전성과 관련하여 운전자의 행동 특성을 분석하거나 급발진 사고 재현 및 운전자 반응분석 등과 같이 현장실험이 불가능한 상황에 대한 실험에 대해서는 매우 효과적이다.

따라서 본 연구에서는 현장 실험 조성의 제약을 극복하기 위해 3차원 가상현실(virtual reality)로 설계중인 도로를 모델링한 후, 피실험자가 Eye camera가 장착된 차량 시뮬레이터(driving simulator)에 탑승하고 주행하면서 운전자가 행하는 선형변화에 대한 동적 반응 및 운전자의 시각행태에 대한 데이터를 획득하였다. 본 실험에 적용된 차량시뮬레이터의 그래픽 모듈은 동역학 해석 모듈에 의해 얻어진 데이터를 기초로하여 운동재현기와 가상환경의 일치감을 최대로 함으로써 피실험자로 하여금 차량시뮬레이터의 비현실성 및 부작용을 최소화하도록 하였다. 또한, Eye camera는 기존의 여타 장비와는 달리 운전자가 헬멧이나 렌즈 등 어떠한 부착장치도 착용하지 않고 실험할 수 있는 FaceLAB을 사용함으로써 운전자의 자연스러운 시각행태를 아무런 데이터 손실없이 획득하였다. 본 연구에서는 조사된 데이터를 바탕으로 도로 안전성을 평가하기 위해 차량시뮬레이터, Eye camera방법을 통해 설계시 도로기하구조 변화에 따라 운전자가 느끼는 안전성의 변화를 파악함으로써 도로 기하구조 조건과 안전성의 상관성을 명확하게 규명하고 이를 통해 운전자가 도로 주행시 편안하고 쾌적한 주행을 보장받을 수 있는 도로를 설계 단계에서부터 평가할 수 있는 방법을 제시하려고 한다.

1. 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 차량시뮬레이터와 3D 그래픽화면으로 탐진댐 건설이 진행된 전라남도 장흥군 유치면 용문리와 화순군 이양면 품평리를 연결하는 지방도 820호선 및 839호선의 4차로 도로를 가상현실로 재현하였고 동일한 피실험자를 대상으로 안전한 주행을 하기 위해서 어떤 요인들을 도로 설계에 고려되어야 하는지를 명확히 규명하기 위해 차량시뮬레이터를 이용한 도로안전성 평가 실험을 2005년 1월에 도로교통안전관리공단 내에 위치한 Driving Simulator 실험실에서 실시하였다. 차량시뮬레이터 실험을 통해 수집된 데이터(조향, 속도, 차량의 위치, 가·감속도)를 바탕으로 도로기하구조에 대한 운전자의 운전특성을 파악하고 도로의 안전성을 평가하기 위해 속도분석, 차량중심과 차선중심 사이의 거리분석, 차량의 가·감속도 분석을 수행한다.

또한, Eye camera(FaceLAB)실험을 통하여 시각정보를 획득하고 이에 대한 특성을 규명함으로써 운전자의 시각행태를 정량화하기 위해 종단경사에 따른 시선변화, 곡선반경에 따른 시선변화, 직선구간 및 곡선구간에서의 시선변화에 차이가 있는지를 파

악한다. 이를 통해 운전자가 도로 주행시 편안하고 쾌적한 주행을 보장받을 수 있는 도로를 설계하기 위해서 고려해야 할 요인이 무엇인지를 제시하려고 한다. 본 연구의 수행과정은 그림 1과 같다.

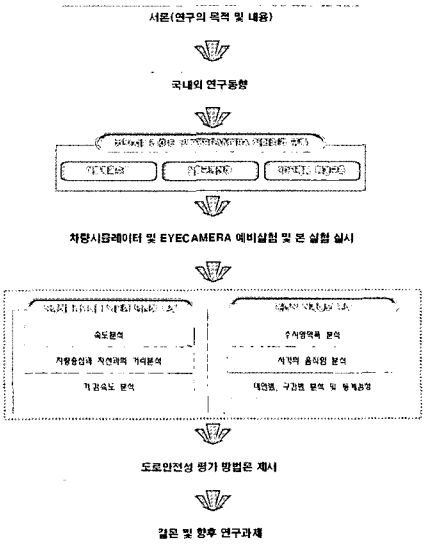


그림 1. 연구 흐름도

2. 문헌고찰

2.1 국내문헌

노관섭(서울시립대학교, 1997)은 도로의 시선유도시설 형태에 따른 운전자의 시인성 분석 연구에서 현재 도로상에 다양한 시선유도시설이 사용되고 있으나 시설물 설치의 비합리성, 관리소홀로 인해 기능이 저하됨을 지적하고 사선유도시설의 새로운 평가기법을 정립하고자 했다. 권혁찬(충북대학교, 1998)은 시인성을 고려한 교통안전표지의 설치 및 관리방안에서 도로안전표지의 유무는 교통사고와 밀접한 관계가 있으나 유지관리할 전문인력의 부족으로 그 기능을 원활히 수행하지 못하고 있음을 지적하였다. 따라서 시인성을 방해하는 시설물에 대한 법적검토 및 도로상황에 맞는 제작·설치기준을 보완하는 후속 연구를 통해 교통안전표지를 주기적으로 점검하고 시인효과를 증진시킬 것을 제안하였다. 김주영(한양대학교, 1998)은 고속도로 합류부에서 운전자의 심리 생리적 작업부하 연구에서 도로의 기하구조 특성이 운전자의 작업수행도와 작업부하에 영향을 미친다는 논리에 기반하여 고속도로 합류부 구간에서의 운전자 심리 생리적 작업부하를 정량적으로 측정하여 작업부하량의 변화를 파악하였다. 이은경(명지대학교, 2000)은 고속도로 IC램프 유출구간에서의 운전자 시각행태 특성연구에서 운전자를 대상으로 실제 실시한 실험의 관측결과 운전자의 시각행태는 곡선구간에서 운전자의 시각이 구심측에 집중되는 현상을 확인하였다. 그러나 안전운전 등을 목적으로 설치된 시선유도 표지 등의 설치는 원심측에 집중적으로 설치되고 또 그 간격 또한 등간격으로 규정되어 있어 램프구간 전 구역에 걸쳐 효과적인 기능을 발휘하고 있지 못함을 지적하였다.

최병운(아주대학교, 2001)은 도로표지의 시인거리에 관한 연구에서 도로 이용자가 통제설비를 보고 혼란을 일으키지 않고 충분히 반응을 할 수 있도록 운전자의 안전운전과 직접적인 연관이 있는 도로표지판의 효율적인 설치가 필요하고, 현 규정에 의해 설치된 표지판의 판독거리를 측정하여 현 규정의 적정성 판단 및 여러 가지 변수를 고려한 개선안을 제시하였다.

2.2 국외문헌

헬뮤트(Helmut T. Zwahlen)은 Optimization of post delineator placement from a visibility point of view(TRR 1172)에서 시선유도시설물의 설치높이, 반사체의 크기, 설치위치, 설치간격이 시인성에 근거해야한다는 것을 컴퓨터 모델을 통해 분석하고 평가하였다. 그 결과 시선유도 표지의 최적설치 높이는 42인치로 제안하였고 도로를 재포장하거나 제설작업시 피해를 최소화 시키는 것을 목적으로 10~14피트 사이의 설치위치를 정하는 것이 바람직하다는 결론을 얻어냈다. 또한 시설물 형태별로 적정

설치간격을 제시하였다. 조셉(Joseph E. Hummer)는 Supplemental interchange signing and driver control behavior(TRR 1213)에서 향후 안내표지의 현장연구에서 고려될 변수들을 평가하고 이 변수들의 범위를 규정하기 위해 고속도로 표지가 운전자의 운전행태에 미치는 영향을 조사하였다. 실험결과 고속도로 안내표지의 긴 메시지는 운전능력을 저하시키고 색상에 따른 인지거리의 차이는 작아서 운전에 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 서비스 표시보다 글자 메시지의 인식에 더 어려움이 있고, 안내표지의 내용보다 디자인이 운전에 더 영향을 끼치는 것으로 조사되었다. 조엘(Joel P. Leisch)는 Horizontal sight distance consideration in freeway and Interchange reconstruction(TRR 1208)에서 정지시거가 도로선형계획의 중요한 일부분을 차지하고 있는 만큼 도로설계시 안전, 운영상에 필요한 최상의 횡단면 요소의 최적치수를 확인하기 위하여 선형개량 전후를 비교 검토하였다. 분석결과 곡선구간의 외곽에 위치한 길어깨폭을 조절하여 운전자가 안전하게 주행할 수 있는 공간을 확보할 수 있게 하여야 하며, 시거확보를 위해 좌우측의 길어깨폭을 조정할 것을 제안하였다. 이는 곡선구간에서 내측을 향하는 운전자 행태를 반영한 것으로 곡선 내측의 길어깨폭을 확장하는 것이 안전상 유리하다고 결론지었다.

루말(Rumar(1985))는 운전자의 행태에 대한 개념적인 모형을 제시한 바 있는데, 정보취득 과정의 한 요소로서 지각필터(perceptual filter) 개념을 도입하고 있다. 지각필터는 주로 우리 조상들에게 물려받은 감각에서 생리적인 한계에 관련되어 있다고 정의하고, 시각은 밝고 중심에 위치하며 움직이면서 깜박이는 목표물에 민감하다고 하였다. 즉, 이러한 신호들은 환경에서 지각필터를 통해 더 잘 받아들여질 것이고, 특히 깜박이는 빛은 표지가 인지될 확률을 높이는 수단으로 쓰여진다고 하였다.

3. 차량시뮬레이터를 이용한 안전성 분석

3. 1. 차량시뮬레이터의 실험의 개요

차량시뮬레이터는 현실에서 자동차를 운전하는 대신 안전한 실험실 내에서 위급상황까지 포함하는 다양한 주행상황을 반복적으로 재현할 수 있다. 또한 다양한 전자제어시스템의 성능, 사용성 및 운전자 수용성 등을 효과적으로 평가할 수 있다. 차량시뮬레이터는 자동차 특성과 운전조건 변화에 대해 운전자가 얼마나 유사하게 느끼느냐에 좌우된다. 초기의 시뮬레이터는 실제 운전과는 거리가 있는 스크린 화면을 이용하거나 자동차의 동적 느낌이 나지 않았지만 최근의 시뮬레이터는 실제 운전상황과 동일한 느낌을 느끼게 해줄 수 있는 수준에까지 도달해 있다. 그림 2는 본 연구에서 사용한 차량 시스템으로서 3채널의 영상 시스템을 갖추어 운전자에게 150×40도의 넓은 시야 범위를 제공하고 전기식 운동 시스템을 갖추어 자동차의 운동감을 운전자에게 피드백 함으로써 높은 현실감을 확보하고 있다.

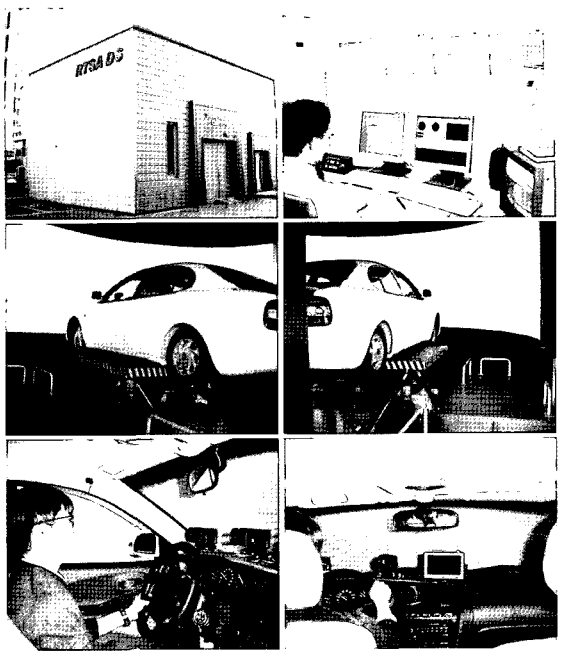


그림 2. 차량 시뮬레이터 및 실험상황

3. 2. 실험을 위한 대안별 도로기하구조 현황

본 연구에서는 가상 도로를 주행할 때 행하는 운전자의 특성을 파악하기 위해 가상의 중앙분리대가 설치된 4차로 주간선도로의 복합선형구간을 연구범위로 선정하였다. 선정된 가상의 복합선형구간을 재현하는데 있어서 현실성을 고려하기 위해 환경이미지, 자연색상 등을 최대한 반영한 도로포장, 중앙분리대, 차선 등을 3-D 그래픽으로 구축하였으며, 남성 13명, 여성 9명으로 구성된 22명의 피실험자가 가상의 평지구간을 대상으로 차량시뮬레이터 주행환경 적응연습을 실시함으로써 생소한 실험에 최대한 적응하도록 배려하였다.

차량시뮬레이터 실험을 위한 각 대안별 도로기하구조 현황은 표 1, 표 2, 표 3, 표 4, 표5이며 3-D

표 1. 대안 1의 도로기하구조 현황 (평면선형)

구간	좌 표		구간길이(m)	곡선반경(m)
1	0+396.00	1+476.20	1080.2	900.0
2	2+207.80	3+461.50	1253.7	700.0
3	3+700.10	4+437.30	737.3	1500.0
4	4+734.00	5+350.10	616.1	900.0
5	5+457.20	6+315.10	857.9	1570.0
6	7+445.20	7+800.40	355.2	3000.0
7	9+513.90	10+426.60	912.7	755.7

표 2. 대안 2의 도로기하구조 현황 (평면선형)

구간	좌 표		구간길이(m)	곡선반경(m)
1	0+363.80	1+444.00	1080.2	900.0
2	2+030.00	2+903.40	873.3	620.0
3	2+903.60	3+130.60	227.0	1000.0
4	3+130.60	3+804.50	673.9	530.0
5	3+804.50	4+387.30	582.8	550.0
6	4+387.30	5+227.40	840.1	1000.0
7	5+423.70	6+497.30	1073.6	1660.0
8	6+497.30	6+736.10	238.8	2500.0
9	7+593.80	7+792.30	198.6	2000.0
10	8+265.50	8+525.00	259.5	1500.0
11	8+781.20	9+322.20	541.0	750.0
12	9+324.30	10+372.60	1048.3	600.0

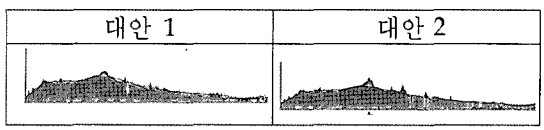
표 3. 대안 1의 도로기하구조 현황 (종단선형)

구간	좌 표		구간길이(m)	종단경사(%)
1	0+000.00	1+300.00	1300.0	1.04
2	1+300.00	4+000.00	2700.0	1.63
3	4+000.00	5+000.00	1000.0	3.12
4	5+000.00	5+900.00	900.0	2.90
5	5+900.00	7+000.00	1100.0	0.59
6	7+000.00	8+300.00	1300.0	-3.00
7	8+300.00	8+500.00	200.0	0.68
8	8+500.00	10+530.00	2030.0	-0.53
9	1+0530.00	11+000.00	470.0	-6.96

표 4. 대안 2의 도로기하구조 현황 (종단선형)

구간	좌 표		구간길이(m)	종단경사(%)
1	0+000.00	1+260.00	1260.0	1.04
2	1+260.00	2+780.00	1520.0	1.80
3	2+780.00	3+440.00	660.0	1.52
4	3+440.00	3+800.00	360.0	-0.30
5	3+800.00	5+960.00	2160.0	3.00
6	5+960.00	6+785.00	825.0	1.80
7	6+785.00	8+500.00	1715.0	-3.00
8	8+500.00	9+600.00	1100.0	0.63
9	9+600.00	10+100.00	500.0	-1.20
10	10+100.00	10+940.00	840.0	-3.50
11	10+940.00	11+000.00	60.0	-6.95

표 5. 도로기하구조 현황



그래픽으로 구축된 각 대안별 Database구축 현황은 그림 3과 같다.

3. 3. 주행속도분석

차량의 주행속도는 운전자의 특성에 영향을 주는 중요한 요인 중에 하나이며, 도로 이용자는 차량의 속도를 통해 해당 주행도로의 쾌적성, 편안함, 안전

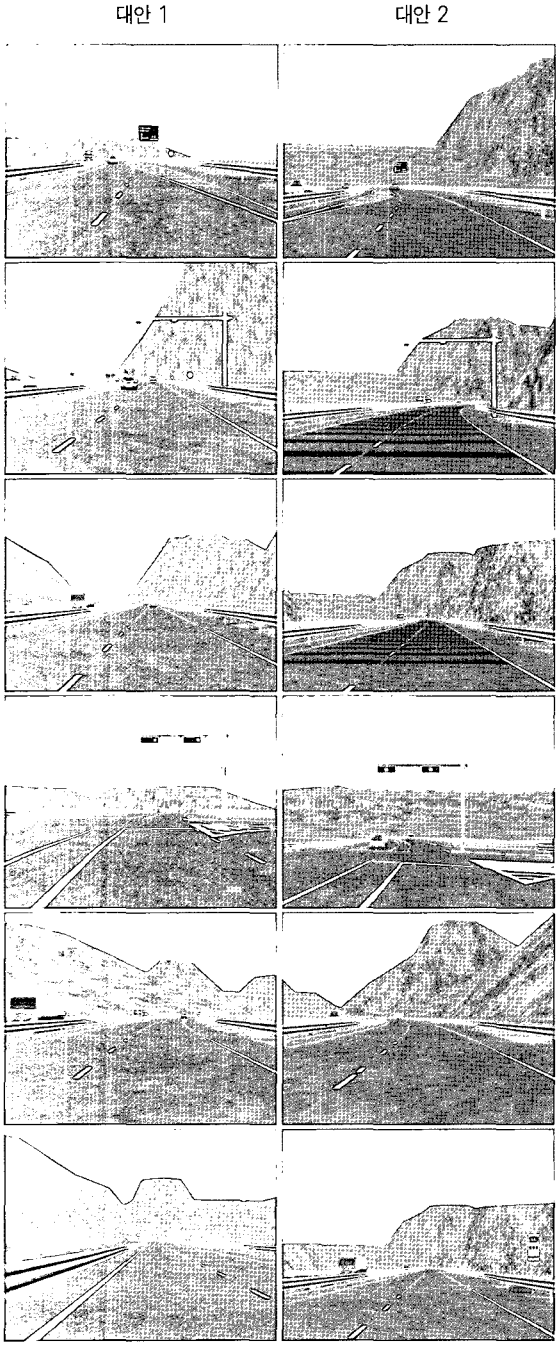
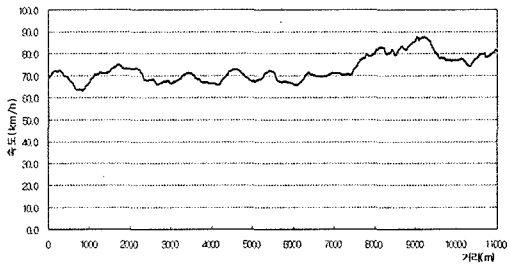
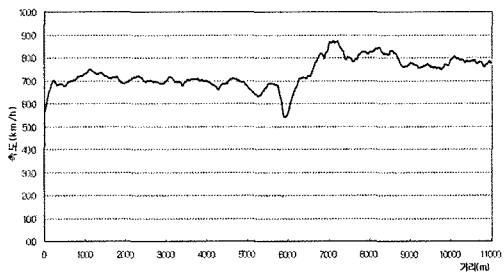


그림 3. 각 대안별 Database 구축현황

성 등을 인식하게 된다. 따라서 주행속도의 편차가 크면 차로변경, 추월 등의 원인으로 발생되는 교통사고의 위험성이 커지게 되며, 반대로 주행속도의 편차가 작으면 차량들은 거의 일정한 속도로 주행하게 되므로 안전성이 향상된다고 판단할 수 있다. 차량시뮬레이터에 의한 실험 중 주행속도 데이터를 분석한 결과 운전자들은 대안 2보다 대안 1에서 좀더 안정적인 결과를 보였으며, 이러한 현상은 여성의 경우 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이는 복합선형구간을 주행할 때 운전자들은 종단경사와 곡선반경 등과 같은 도로기하구조에 영향을 받게 되는데 선형의 변화가 비교적 덜한 대안 1이 주행이 더 편하기 때문인 것으로 판단된다. 다음의 그림 4, 그림 5, 그림 6은 각각 남성, 여성 및 전체 피실험자들의 도로기하구조 변화에 따른 주행속도 분석결과를 나타낸 것이다. 그림 4에서 남성 피실험자들은 전체적으로 설계속도 70km/h에 근접하여 주행하고 있는 경향을 보이며 대안 1에서는 시점으로부터 약 7,400m지점부터 확연한 속도증가를 보이고 있는 반면에 대안 2에서는 시점으로부터 약 5,800m지점에서 속도가 약간 감소하다가 이후 급격하게 증가하고 있다. 그림 5에서 실험에 참가한 여성들은 각 대안별로 대조적임을 알 수

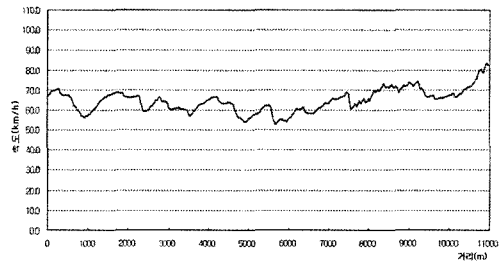


대안 1

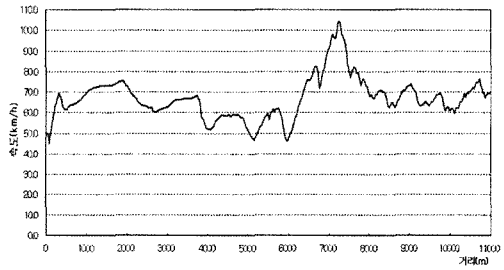


대안 2

그림 4. 주행속도 분석결과 (남성)

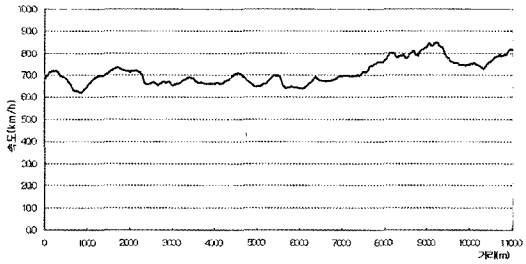


대안 1

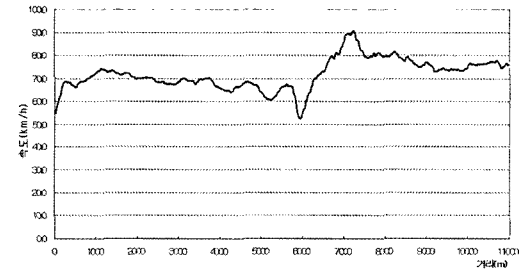


대안 2

그림 5. 주행속도 분석결과 (여성)



대안 1



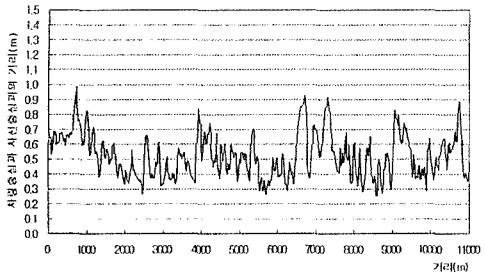
대안 2

그림 6. 주행속도 분석결과 (전체피실험자)

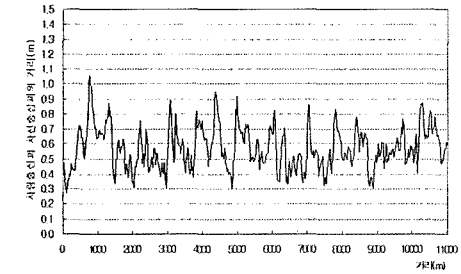
있다. 대안 1에서는 대체적으로 설계속도 70km/h 보다 더 낮은 속도로 주행하다가 7,400m이후에 속도가 약간 증가하였으며 대안 2는 속도의 증감을 반복하다가 특히 6,000m지점에서 급격히 증가하는 형태를 보이고 있다. 두 가지 실험결과를 종합해보면, 실험대상 구간의 Sta. 6.000~11.000 구간은 평면선형의 변화가 거의 없는 내리막 경사이며 대안 2의 경우가 종단변화율이 더 크게 설계되어 있다. 남성과 여성 모두 두 가지 실험에서 종단변화가 더 큰 대안 2에서 각 구간별 속도편차가 더 크게 나왔으며 특히 여성의 경우 남성보다 속도 편차가 더 심한 것으로 보아 여성이 선형의 변화에 더 민감하게 반응하고 있음을 이 실험 결과로서 알 수 있다. 그림 6은 남성과 여성 참가자 전체를 분석한 결과이며 전체에 대한 결과는 남성의 분석결과 보다 약간 높은 속도 편차를 보이고 있을 뿐 패턴의 변화는 비슷한 것으로 나타났다.

3. 4. 차량중심과 차로중심과의 거리분석

본 연구에서는 주행궤적 위치 데이터에서 차량이 차로의 중심에서 벗어난 거리의 편차를 분석하여 안전 주행여부를 파악하였다. 즉 벗어난 거리의 편차가 작을수록 차량은 차로의 중앙에서 안전하게 차로의 궤적을 따라 주행하였다고 판단할 수 있을 것이다. 이것은 일차적으로 직선과 곡선으로 이루어진 평면선형과 밀접한 연관이 있으며 특히 평면곡선의 반경이 작을수록 차량 속도를 낮추지 않은 상태에서는 차로 중심에서 이탈한 정도가 커질 것이다. 다음의 그림 7, 그림 8, 그림 9는 각각 남성, 여성 및 전체 피실험자들의 도로기하구조 변화에 따른 차량중심과 차로중심과의 거리 분석결과를 나타낸 것이다. 그림 7은 남성을 분석한 결과이며 남성의 경우에 두 대안간의 진동폭은 거의 일정하게 나타나지만 대안 1이 대안 2보다 차량중심과 차로중심간의 간격에서

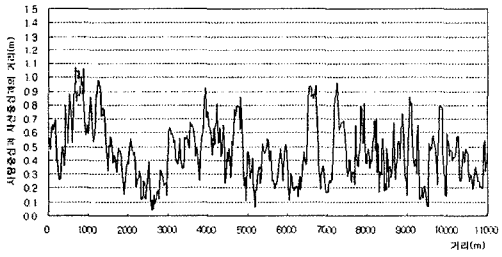


대안 1

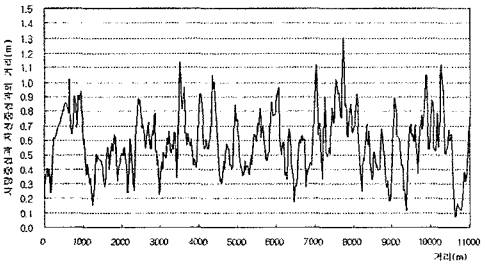


대안 2

그림 7. 차량위치 분석결과 (남성)



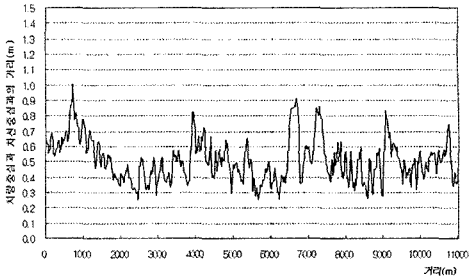
대안 1



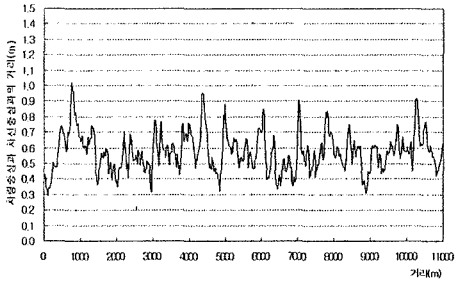
대안 2

그림 8. 차량위치 분석결과 (여성)

조금 더 안정적인 패턴변화를 보이고 있는 것으로 나타났다.



대안 1



대안 2

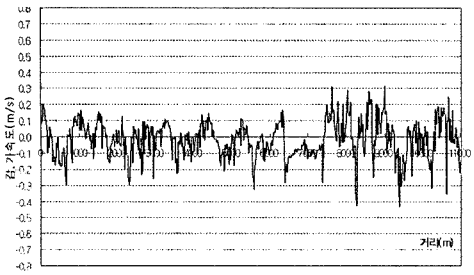
그림 9. 차량위치 분석결과 (전체 피실험자)

그림 8는 여성을 분석한 결과이며 여성은 남성보다 진동폭이 더 크며 남성보다 더 급격한 변화패턴을 보이고 있다. 남성의 경우와 마찬가지로 대안 2에서 차량중심과 차로중심간의 간격에 대해 보다 더 큰 패턴변화를 보이고 있다

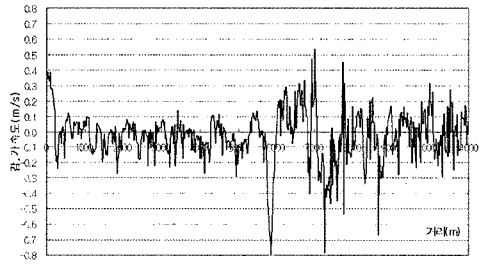
두 결과를 종합하면 남성과 여성 모두는 대안 1에서 대안 2보다 더 안정적으로 운행을 할 수 있었으며 여성의 차량중심과 차로중심간의 간격의 진동폭이 더 크게 나타난 것으로 보아 남성보다는 여성이 도로를 주행하는 데 있어서 평면선형의 변화에 더 민감하게 반응하고 있다고 해석할 수 있다

3. 5. 차량 가 · 감속도 분석

운전자가 도로를 주행하면서 느끼는 쾌적성은 차량의 가 · 감속과 밀접하게 연관되어 있으며 가속도의 변화율로 쾌적한 정도를 평가할 수 있다. 운전자가 정상적인 여건에서 속도를 변화시키는 변화율은 도로의 가 · 감속 차로 및 테이퍼의 설계, 주의표지의

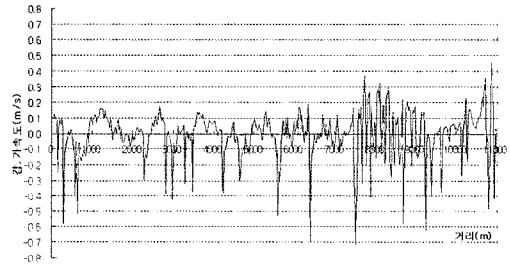


대안 1

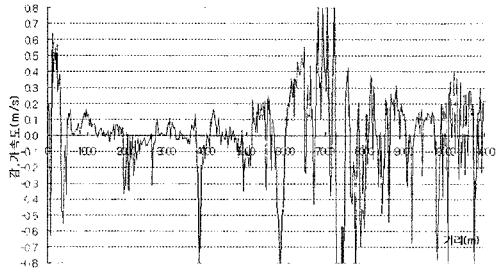


대안 2

그림 10. 가 · 감속도 분석결과 (남성)

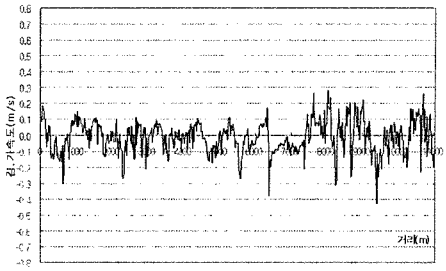


대안 1

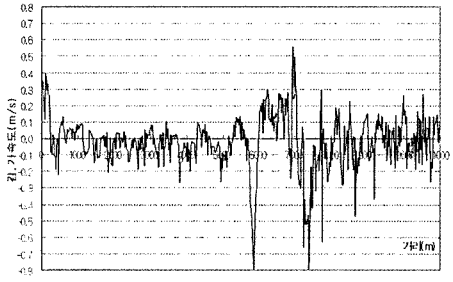


대안 2

그림 11. 가 · 감속도 분석결과 (여성)



대안 1



대안 2

그림 12. 가 · 감속도 분석결과 (전체 피실험자)

위치 선정, 속도변화구간의 설치를 위한 기초자료로서 활용될 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 실험환경에서 추출한 차량의 가 · 감속을 분석하여 가상도로로부터 받은 운전자의 쾌적성 변화를 파악하였다. 다음의 그림 10, 그림 11, 그림 12는 각각 남성, 여성 및 전체 피실험자들의 도로기하구조 변화에 따른 차량 가 · 감속도 분석결과를 나타낸 것이다.

그림 10은 남성 피실험자들을 분석한 결과이며 대안 1이 대안 2보다 가 · 감속의 변화폭이 더 작고 안정적임을 알 수 있다. 특히 대안 2의 Sta. 6.000 ~8.500 구간의 변화가 매우 심한 것으로 보아 남성 피실험자들은 이 구간에서 위험을 느꼈을 것으로 판단된다. 그림 11은 여성 피실험자들을 분석한 결과이며 각 시나리오의 가 · 감속 진동폭은 남성 피실험자들보다 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 주행 실험 중에 급 감속을 하는 빈도가 상대적으로 높았으며 특히 대안 2에서는 가 · 감속도 변화율이 매우 급격한 변화를 보인다. 차량 가 · 감속도 분석의 결과를 종합

하면 남성과 여성의 전체 피실험자들에게서 대안 1이 대안 2보다 더 안정적인 운행이 가능하였으며 여성은 남성보다 급감속을 하는 경향이 더 심하게 나타났으며, 특히 대안 1보다 대안 2에서 가·감속도 변화율이 매우 급격하게 변화하였다.

4. 운전자의 시각정보분석

4. 1. Eyecamera(FaceLAB)실험의 개요

도로 주행시 운전자의 시각이 어떠한 형태로 변화하는가를 파악하는 것은 도로설계시 도로의 안전성을 평가하는데 있어서 대단히 중요한 부분이다. 본 연구에서는 복합선형구간에 대한 시각정보 시험을 위해 시각정보를 획득할 수 있는 Eyecamera(Face LAB)를 이용하였다. Eyecamera(FaceLAB)은 운전자의 시각정보를 획득할 수 있는 시험기로서 운전자의 시각과 데이터 획득을 위한 Setting 장면은 그림 13과 같다.

Eyecamera(FaceLAB)는 사람의 머리 움직임에 대하여 공간상에서 자유도 위치 정보를 회전각도 및 좌표로 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 시선의 방향과 눈 깜박임도 측정할 수 있다. 또한 피험자가 시험 환경내의 어떤 사물을 보고 있는지도 알 수 있고, 피로도 및 눈 깜빡임 속도 및 지속시간, 주기 등의 측정도 가능하다. Eyecamera(FaceLAB)는 기존의 여타 장비와는 달리 피험자가 헬멧이나, 렌즈 등 어떠한 부가장치도 착용할 필요가 없으며, 넓은 범위에서 자연스

그림 13. Eyecamera(FaceLAB) Setting 장면

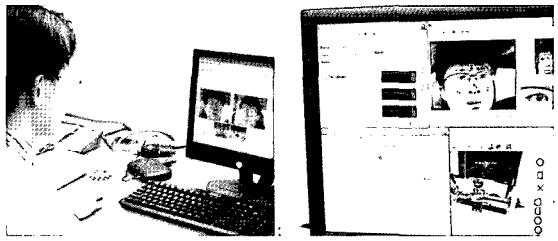


그림 14. EyeCamera(Face Lab) 화면 데이터

러운 움직임을 아무런 데이터의 손실 없이도 추적할 수 있다. 영상의 입력은 두 개의 스테레오 카메라로부터 얻어지며, 카메라가 피실험자와의 거리에 따라 5단계(0.5m, 0.75m, 1.0m, 1.5m 및 2.0m)로 조정이 가능하다.

4. 2. Eyecamera(FaceLAB)실험 구간의 설정

운전자의 종단경사 및 곡선반경에 따른 시선변화, 직선 및 곡선부에서의 시각정보 분석 결과를 토대로 하여 안전성을 평가하기 위한 실험 구간의 현황은 표 6과 같다.

표 6. Eyecamera(FaceLAB)의 실험구간 현황

구 간	평가대안	좌 표	제 원
직선부	대안 1	10+100~10+530	-0.53%
	대안 2	10+100~10+530	-3.50%
곡선부	대안 1	7+562.69~ 8+299.94	R : 1,500ma, L : 732.24m
	대안 2	7+612.70~ 8+195.50	R : 550m, L : 582.80m

4. 3. 각 대안별 직선부 주시영역폭 비교

1) 좌우축 주시영역폭 분석(직선부)

직선부에서의 대안 1과 대안 2의 좌우축 주시영역폭 비교 결과, 대안 2에 비하여 대안 1의 좌우축 관련 시선의 범위가 더 넓게 나타났다. 전체 22명 피실험자의 평균을 낸 결과, 대안 1(경사 양호)의 좌우축 시선 범위는 0.724인 반면, 대안 2의 좌우

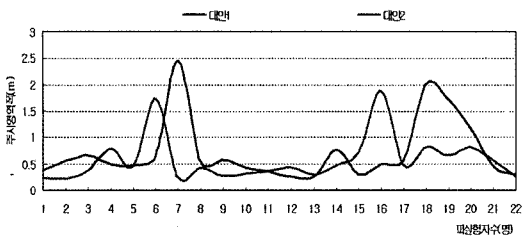


그림 15. 좌우축 주시영역폭 비교(직선부)

표 7. 좌우축 주시영역폭 비교(직선부)

피실험자	대안 1	대안 2	피실험자	대안 1	대안 2
1	0.3823	0.2322	12	0.267	0.4212
2	0.5638	0.2165	13	0.2612	0.3073
3	0.6561	0.3885	14	0.7652	0.4772
4	0.4911	0.787	15	0.2922	0.7346
5	0.4763	0.4409	16	0.4984	1.8781
6	0.6697	1.7395	17	0.5819	0.4632
7	2.4701	0.2458	18	2.0181	0.8237
8	0.5334	0.4208	19	1.7168	0.6552
9	0.5852	0.2731	20	1.1631	0.8203
10	0.43	0.3228	21	0.4475	0.5482
11	0.3546	0.3649	22	0.2998	0.2585
평균	0.724	0.583	비율	1	0.81

시선 범위는 0.583으로 나타났다. 즉, 대안 2에서의 좌우방향 시선범위가 대안 1에 비하여 약 0.81배 좁은 것으로 추정된다.

2) 상하축 주시영역폭 분석(직선부)

직선부에서의 대안 1과 대안 2의 상하축 주시영역폭 비교 결과, 대안 2에 비하여 대안 1의 상하축 관련 시선의 범위가 일반적으로 더 넓은 것을 알 수 있다.

전체 22명 피실험자의 평균을 낸 결과, 대안 1(경사 양호)에서의 상하축 시선 범위는 1.206인 반면, 대안 2에서의 상하축 시선 범위는 1.000으로 나타났다. 즉, 대안 2에서의 상하방향 시선범위가 대안 1에 비하여 약 0.83배로 감소한 것으로 추정된다.

직선부의 대안 1 및 대안 2에 따른 좌우 · 상하 시선의 범위를 분석한 결과, 대안 2에서의 시선 범위가 좌우축에 대해 0.81배, 상하축에 대해 0.83배 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 종단경사가 불량한 경우 운전자의 시선의 폭이 전반적으로 좁아진다고 판단할 수 있다.

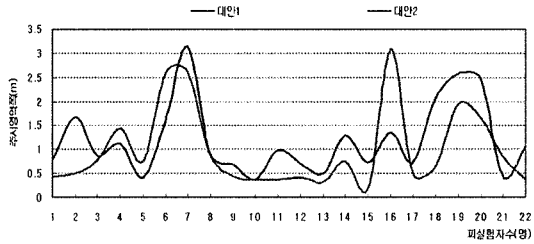


그림 16. 상하축 주시영역폭 비교(직선부)

표 8. 상하축 주시영역폭 비교(직선부)

피실험자	대안 1	대안 2	피실험자	대안 1	대안 2
1	0.797	0.4347	12	0.7036	0.4125
2	1.668	0.5115	13	0.4976	0.3266
3	0.8841	0.7728	14	1.2944	0.76
4	1.1226	1.4457	15	0.7395	0.1939
5	0.4147	0.7577	16	1.3628	3.093
6	1.6179	2.5981	17	0.7342	0.5096
7	3.1384	2.6115	18	2.0816	0.6449
8	0.8924	0.8768	19	2.572	1.956
9	0.6913	0.4297	20	2.4491	1.6657
10	0.3857	0.3848	21	0.4306	0.8589
11	0.9878	0.3852	22	1.0598	0.3711
평균	1.206	1.000	비율	1	0.83

4. 4. 각 대안별 곡선부 주시영역폭 비교

1) 좌우축 주시영역폭 분석(곡선부)

곡선부에서의 대안 1과 대안 2의 좌우축 주시영역폭 비교 결과, 대안 1과 대안 2의 좌우(동서방향)축 시선의 범위는 비슷한 분포를 나타낸다. 전체 22명의 시험자 중, 7번째 시험자에서 이상점이 나타난 것을 제외하면, 전체적으로 비슷하거나 대안 2에서 운전자의 좌우축 시선 범위가 다소 넓어진 것을 알 수

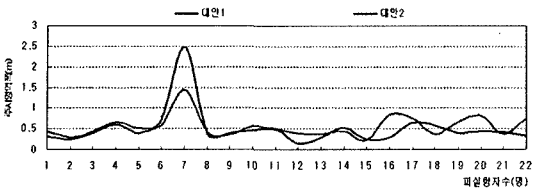


그림 17. 좌우축 주시영역폭비교(곡선부)

표 9. 좌우축 주시영역폭 비교(직선부)

피실험자	대안 1	대안 2	피실험자	대안 1	대안 2
1	0.3049	0.4373	12	0.1510	0.3980
2	0.2555	0.2997	13	0.3029	0.3803
3	0.3964	0.4369	14	0.5304	0.4500
4	0.6143	0.6678	15	0.2489	0.2345
5	0.4011	0.5186	16	0.2902	0.8354
6	0.7043	0.5959	17	0.6411	0.7478
7	2.4791	1.4549	18	0.5824	0.3686
8	0.3787	0.4284	19	0.3967	0.6671
9	0.3944	0.3550	20	0.4416	0.8169
10	0.4513	0.5586	21	0.4277	0.3715
11	0.4856	0.4960	22	0.3285	0.7534
평균	0.5094	0.5579	비율	1	1.10

있다. 대안 1의 좌우축 시선 범위의 평균은 0.5094, 대안 2의 좌우축 시선 범위의 평균은 0.5579로써, 대안 1에 비하여 대안 2가 선형이 좋지 않아 넓은 범위를 주시하고 있는 것으로 판단된다.

2) 상하축 주시영역폭 분석(곡선부)

곡선부에서의 대안 1과 대안 2의 상하축 주시영역폭 비교 결과, 대안 2의 상하축 시선의 범위가 대안 1에 비하여 다소 높은 것으로 나타난다. 대안 1의 상하축 시선 범위의 평균은 0.9346, 대안 2의 상하축 시선 범위의 평균은 1.0226으로 대안 1보다 대안 2가 약 1.09배 넓은 시야가 확보되는 것으로 나타났다.

곡선부의 대안 1 및 대안 2에 따른 좌우 · 상하 시선의 범위를 분석한 결과, 대안 2에서의 시선 범위가 좌우축에 대해 1.10배, 상하축에 대해 1.09배 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 곡선부의 곡선반경이 1,500m에서 550m로 줄어들었을 때, 시야의 범위가 확장되는 것으로 분석되었다. 그러나, 1500m, 550m만을 가지고 실험한 결과이기에, 곡선반경이 줄어들수록 시선의 범위가 넓어진다라고 결론 짓는 것은 성급한 일반화가 된다고 생각한다. 이에, 다양한 곡선반경에 따른 주시영역에 대한 연구가 보다 많이 이루어져야 할것으로 사료된다.

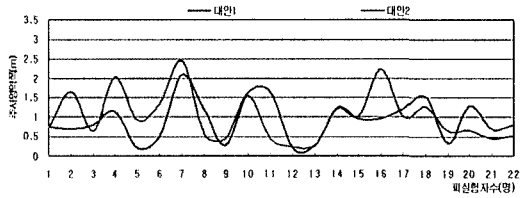


그림 18. 상하축 주시영역폭비교(곡선부)

표 10. 상하축 주시영역폭 비교(곡선부)

피실험자	대안 1	대안 2	피실험자	대안 1	대안 2
1	0.7757	0.7462	12	0.2243	0.2508
2	0.6919	1.6536	13	0.2700	0.2957
3	0.8126	0.6442	14	1.2481	1.2296
4	1.1481	2.0429	15	0.9502	1.0189
5	0.2155	0.9413	16	0.9580	2.2286
6	0.4920	1.3367	17	1.2164	1.0156
7	2.0951	2.4385	18	1.5432	1.2809
8	1.2100	0.5873	19	0.3380	0.6426
9	0.2841	0.4656	20	1.2866	0.6826
10	1.6367	1.5557	21	0.6920	0.4578
11	1.6470	0.4480	22	0.8254	0.5331
평균	0.9346	1.0226	비율	1	1.09

4. 5. 직선부 시각 움직임 분석

1) 좌우축 시각의 움직임(직선부)

대안 1과 대안 2에서의 직선부를 운전하는 운전자들의 좌우 방향 눈동자의 움직임을 나타낸다. X축은 10m 단위의 주행거리를 타나내며, Y축은 눈동자의 좌우 방향 움직임을 나타내는 좌표이다. Y축의 음수 값은 눈동자가 왼쪽을 향하고 있음을 의미하며, 양수

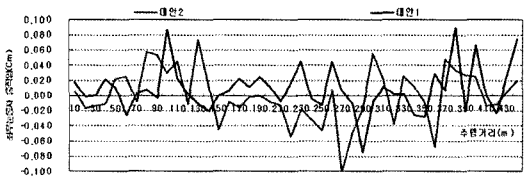


그림 19. 좌우축 시각의 움직임 비교(직선부)

표 11. 좌우축 시각의 움직임 비교(직선부)

주행거리	대안1 X좌표	대안2 X좌표	주행거리	대안1 X좌표	대안2 X좌표
10100	0.018	0.006	10320	0.046	-0.018
10110	-0.001	-0.017	10330	-0.004	-0.032
10120	0.001	-0.014	10340	-0.012	-0.046
10130	0.021	-0.010	10350	0.046	0.008
10140	0.011	0.023	10360	0.006	-0.101
10150	-0.025	0.025	10370	-0.010	-0.048
10160	0.003	-0.008	10380	-0.074	-0.017
10170	0.008	0.058	10390	-0.006	0.056
10180	-0.003	0.053	10400	0.012	0.021
10190	0.087	0.030	10410	0.002	-0.038
10200	0.023	0.045	10420	0.002	0.025
10210	0.002	-0.012	10430	-0.025	0.013
10220	-0.011	0.074	10440	-0.029	-0.010
10230	-0.020	0.013	10450	0.028	-0.067
10240	0.001	-0.045	10460	0.008	0.049
10250	0.007	-0.009	10470	0.089	0.033
10260	0.022	-0.016	10480	-0.018	0.027
10270	0.011	-0.001	10490	0.066	0.025
10280	0.024	0.000	10500	0.000	-0.013
10290	0.012	-0.008	10510	-0.023	-0.011
10300	-0.007	-0.012	10520	0.026	0.005
10310	0.016	-0.055	10530	0.075	0.020

값은 오른쪽을 응시하고 있음을 뜻한다.

대안 1을 운전하는 피험자들의 시선을 보면, 주로 중앙을 기준으로 운행하며 우측(양수)을 자주 응시하는 것으로 나타났다. 반면, 대안 2를 운전하는 피실험자의 시선을 보면, 진행 상황에 따라 우측-좌측-우측-좌측이 반복되는 행태를 나타내고 있다. 주로 한 쪽 방향으로 고정되어 있는 대안 1에서의 운전자의 시선과 달리, 자주 우측과 좌측으로 시선을 옮기는 대안 2에서의 운전 행태는 도로의 선형변화에 따른 심리적 불안 요소에 기인하는 것으로 분석할 수 있다.

2) 상하축 시각의 움직임(직선부)

대안 1과 대안 2에서의 직선부를 운전하는 운전자들의 상하 방향 눈동자의 움직임을 나타낸다. X축은 10m 단위의 주행거리를 나타내며, Y축의 양수 값은 눈동자가 안정 상태를 기준으로 위쪽을 향하고 있음을 의미하며, Y축의 음수 값은 눈동자가 아래쪽을 향하고 있음을 뜻한다. 그래프를 통한 결과를 보면, 거의 모든 구간에서 대안 1을 따라 운전하는 피실험자의 시선이 대안 2의 노선을 따라 운전하는 피실험자의 시선에 비하여 낮은 값을 나타내는 것으로 나타

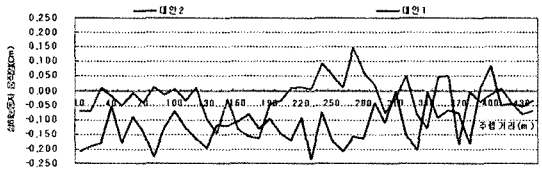


그림 20. 상하축 시각의 움직임 비교(직선부)

표 12. 상하축 시각의 움직임 비교(직선부)

주행거리	대안1 X좌표	대안2 X좌표	주행거리	대안1 X좌표	대안2 X좌표
10100	-0.209	-0.072	10320	-0.237	0.005
10110	-0.191	-0.073	10330	-0.074	0.090
10120	-0.179	0.008	10340	-0.175	0.051
10130	-0.053	-0.020	10350	-0.209	0.009
10140	-0.179	-0.051	10360	-0.159	0.149
10150	-0.090	-0.010	10370	-0.164	0.060
10160	-0.139	-0.041	10380	-0.044	0.017
10170	-0.225	0.011	10390	-0.110	-0.077
10180	-0.129	-0.014	10400	-0.004	-0.026
10190	-0.073	0.003	10410	-0.151	0.052
10200	-0.127	-0.036	10420	-0.202	-0.083
10210	-0.165	0.009	10430	-0.006	-0.131
10220	-0.198	-0.094	10440	-0.093	0.046
10230	-0.120	-0.147	10450	-0.068	0.052
10240	-0.122	-0.030	10460	-0.077	-0.185
10250	-0.107	-0.135	10470	-0.181	-0.004
10260	-0.082	-0.158	10480	0.009	-0.039
10270	-0.132	-0.163	10490	0.082	-0.015
10280	-0.097	-0.048	10500	-0.051	0.006
10290	-0.147	-0.036	10510	-0.045	-0.045
10300	-0.173	0.010	10520	-0.056	-0.083
10310	-0.092	0.012	10530	-0.036	-0.073

났다. 대안 2의 노선에서 종단 경사가 변하는 것을 고려할 때, 종단 경사의 변화에 따라 운전자의 시선이 다소 올라가는 것으로 생각할 수 있다. (200m에서 300m 구간에 걸쳐 운전자 시선의 높이차가 다소 커지는 것을 볼 수 있다.) 종단경사가 양호한 직선부의 경우, 운전자의 시선이 가까운 전방을 보기 위해 낮게 깔리는 반면, 도로에서 종단경사의 변화가 발생하는 경우 운전자의 시선이 보다 먼 전방을 확인하기 위해 다소 높아지는 것으로 추론할 수 있다.

4. 6. 곡선부 시각 움직임 분석

1) 좌우축 시각의 움직임(곡선부)

대안 2를 운전하는 피실험자와 대안 1를 운전하는 피실험자 모두의 시선 방향이 주로 왼쪽(음수)을 향하고 있다. 진행 방향에 따라 왼쪽 방향으로 얼마만큼 시선의 방향이 치우쳤는가의 차이는 존재하지만, 대안 2와 대안 1에서 일관되게 왼쪽을 보며, 운전하고 있음을 판단할 수 있다. 또한 대안 1를 운전하는 경우가 대안 2를 운전하는 경우에 비하여 간헐적으로 우측을 주시함을 볼 수 있다. 이는 곡선반경이 더 큰 대안 1(R=1500m)이 운전자가 주행하기에 여유로운 환경을 제공하는것으로 판단된다.

2) 상하축 시각의 움직임(곡선부)

대안 1과 대안 2를 운전하는 피실험자들 모두 대체로 시선이 아래쪽을 향한 채로 운전함을 알 수 있다. 곡선부에서 일반적으로 운전자의 시선이 가까운 전방을 응시하게 됨으로 추론할 수 있다. 대안 2(R=550m)에서의 시선이 대안 1(R-1500m)에서의 시선에 비하여 다소 높은 것을 볼 때, 곡선반경이 짧을수록 운전자의 시선이 다소 전방을 응시하게 되는 것으로 생각해 볼 수 있다. 또한, 곡선부에서 운전자는 기존의 시선에 비해 아래쪽(가까운 전방)을 응시하게 됨을 분석할 수 있었으며, 곡선반경의 크기가 시선의 상하축에 어떠한 영향을 미치는가는 명확히 드러나지 않았다.

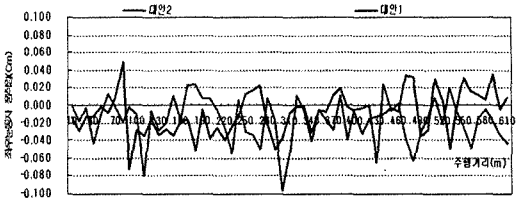


그림 21. 좌우축 시각의 움직임 비교(곡선부)

표 13. 좌우축 시각의 움직임 비교(곡선부)

주행거리	대안1X좌표	대안2X좌표	주행거리	대안1X좌표	대안2X좌표
7620	-0.014	0.000	7930	-0.001	0.011
7630	-0.029	-0.018	7940	-0.001	-0.006
7640	-0.013	-0.003	7950	-0.031	-0.041
7650	-0.013	-0.045	7960	-0.005	-0.005
7660	-0.002	-0.011	7970	-0.008	-0.017
7670	-0.009	0.013	7980	0.011	-0.028
7680	0.009	-0.002	7990	0.019	0.011
7690	0.050	-0.020	8000	-0.001	-0.040
7700	-0.073	-0.002	8010	-0.007	-0.004
7710	-0.029	-0.010	8020	-0.033	-0.003
7720	-0.034	-0.079	8030	-0.015	0.000
7730	-0.016	-0.007	8040	-0.013	-0.066
7740	-0.034	-0.028	8050	-0.009	0.025
7750	-0.027	-0.021	8060	-0.003	-0.007
7760	-0.035	0.010	8070	-0.008	0.002
7770	-0.018	-0.017	8080	0.034	-0.040
7780	-0.016	0.022	8090	0.032	-0.063
7790	-0.051	0.024	8100	-0.035	-0.032
7800	-0.005	0.008	8110	-0.028	-0.013
7810	-0.038	0.008	8120	0.030	0.009
7820	-0.025	-0.005	8130	0.007	-0.022
7830	-0.040	-0.026	8140	-0.050	0.020
7840	-0.024	-0.055	8150	-0.006	-0.005
7850	-0.012	0.007	8160	0.031	-0.026
7860	0.013	-0.030	8170	0.016	-0.050
7870	0.017	-0.033	8180	0.012	-0.015
7880	0.023	-0.051	8190	0.006	-0.004
7890	-0.022	0.008	8200	0.035	-0.019
7990	-0.050	-0.017	8210	-0.005	-0.035
7910	-0.038	-0.097	8220	0.009	-0.044
7920	-0.009	-0.055			

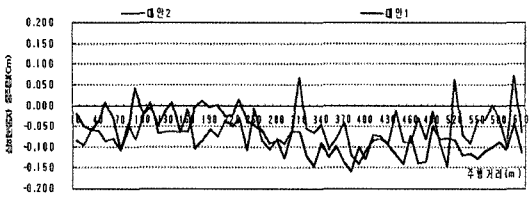


그림 22. 상하축 시각의 움직임 비교(곡선부)

표 14. 상하축 시각의 움직임 비교(곡선부)

주행거리	대안1X좌표	대안2X좌표	주행거리	대안1X좌표	대안2X좌표
7620	-0.019	-0.084	7930	-0.119	-0.053
7630	-0.050	-0.096	7940	-0.148	-0.065
7640	-0.058	-0.056	7950	-0.090	-0.045
7650	-0.034	-0.061	7960	-0.125	-0.105
7660	0.007	-0.086	7970	-0.099	-0.078
7670	-0.028	-0.080	7980	-0.137	-0.040
7680	-0.106	-0.106	7990	-0.159	-0.119
7690	-0.059	-0.043	8000	-0.100	-0.140
7700	0.044	-0.082	8010	-0.127	-0.109
7710	-0.021	-0.021	8020	-0.071	-0.084
7720	-0.003	0.007	8030	-0.076	-0.078
7730	-0.047	-0.066	8040	-0.097	-0.092
7740	-0.011	-0.062	8050	-0.117	-0.011
7750	0.007	-0.061	8060	-0.140	-0.087
7760	-0.063	-0.064	8070	-0.072	-0.091
7770	-0.063	-0.007	8080	-0.139	-0.030
7780	-0.004	-0.103	8090	-0.135	-0.081
7790	0.011	-0.084	8100	-0.050	-0.013
7800	-0.003	-0.057	8110	-0.082	-0.094
7810	0.001	-0.076	8120	-0.076	-0.147
7820	-0.026	-0.035	8130	-0.084	0.062
7830	-0.022	-0.050	8140	-0.121	-0.071
7840	0.017	-0.029	8150	-0.116	-0.093
7850	-0.037	-0.106	8160	-0.127	-0.034
7860	-0.047	-0.004	8170	-0.108	-0.032
7870	-0.058	-0.083	8180	-0.100	0.001
7880	-0.093	-0.105	8190	-0.088	-0.034
7890	-0.083	-0.079	8200	-0.105	-0.096
7990	-0.127	-0.091	8210	-0.044	0.072
7910	-0.060	-0.058	8220	-0.113	-0.065
7920	-0.062	0.070			

4. 7. 통계적 유의성 검증

1) 통계적 유의성 검증 및 분석방법

시지각 특성을 나타내는 요인으로 좌우 주시영역폭, 상하주시 영역폭을 대상으로 대안 1과 대안 2, 직선부와 곡선부을 분석하여, 대안 1과 대안 2에 따른 또는 직선부와 곡선부에 따른 시지각 특성들의 차이가 있는지의 여부를 알아보고자 한다. 2개 이상의 여러 모집단의 모평균을 비교하는데 널리 사용되는 통계기법인 ANOVA 분산분석을 이용하여 분석하였다. 이 분석 방법은 기본 가정은 각 집단 간에 서로 독립이어야 하고, 표본평균의 분포가 정규분포를 따라야 하며, 집단들은 거의 같은 분포를 가져야 한다는 3가지 가정을 만족해야 한다. 이 분석 방법을 통해 평균 간의 차이가 있는지를 판별할 수 있고, 어떤 평균이 다른지를 확인할 수 있다. 분산분석은 유의수준 α일 때, F-value와 F-table의 F(k-1,k(n-1))와 비교하여, F-value 가 F-table보다 클 경우, 귀무가설(H0: 비교 대상들의 평균의 차이가 없다)을 기각하고, 대립가설(H1: 비교 대상들의 평균의 차이가 있다)을 채택한다. 좌우 주시영역폭, 상하주시 영역폭을 대안 1과 대안 2, 직선부와 곡선부에 대하여 분석하기 위하여 다음과 같은 가설을 설정하였다.

- 귀무가설(H0) : 각 구간의 시지각 요인의 평균값에 차이가 없다.
- 대립가설(H1) : 각 구간의 시지각 요인의 평균값에 차이가 있다.

분산분석 결과는 다음 유의성 검증 순서도에 따라 제시하였다.

표 15. 유의성 검토 순서표

직선부 시지각 특성 검증	좌우주시영역폭	곡선부 시지각 특성 검증	좌우주시영역폭
	상하주시영역폭		상하주시영역폭
대안 1 시지각 특성 검증	좌우주시영역폭	대안 2 시지각 특성 검증	좌우주시영역폭
	상하주시영역폭		상하주시영역폭

2) 시지각 특성에 관한 직선부 검증(좌우주시영역폭)

직선부의 대안 1과 대안 2의 좌우 주시영역 분산

분석 결과 유의수준 90%의 자유도(1,42)인 F분포에서 F-value(3.103) 〉 F-table(2.835) 이므로, 귀무가설을 기각한다. 따라서, 직선부의 대안 1과 대안 2의 좌우 주시영역폭에 대한 평균치간에는 유의적 차이가 있음이 증명되었다. 즉, 유의수준 90%에서 종단경사 변경을 통한 좌우 주시영역 범위에 영향력이 있음을 추론할 수 있다.

표 16. 직선부 좌우 주시영역폭 검증 (α=0.10)

구분	구분	자유도	제곱합	제곱평균	F-value	F0.10(1,42)
대안 1 vs 대안 2	처리	1	0.849	0.849	3.103	2.835
	잔차	42	11.485	0.273		
	계	43	12.333			

3) 시지각 특성에 관한 직선부 검증(상하주시영역폭)

직선부의 대안 1과 대안 2의 상하 주시영역 분산분석 결과 유의수준 90%의 자유도(1,42)인 F분포에서 F- value(0.716) 〈 F-table(2.835) 이므로, 귀무가설을 채택한다. 따라서, 직선부의 대안 1과 대안 2의 상하 주시영역에 대한 평균 간에는 유의적 차이가 없음이 증명되었다.

표 17. 직선부 상하 주시영역폭 검증 (α=0.10)

구분	구분	자유도	제곱합	제곱평균	F-value	F0.10(1,42)
대안 1 vs 대안 2	처리	1	0.465	0.465	0.716	2.835
	잔차	42	27.273	0.645		
	계	43	27.738			

4) 시지각 특성에 관한 곡선부 검증(좌우주시영역폭)

곡선부의 대안 1과 대안 2의 좌우 주시영역 분산분석 결과 유의수준 90%의 자유도(1,42)인 F분포에서 F-value(0.184) 〈 F-table(2.835) 이므로, 귀무가설을 채택한다. 따라서, 곡선부의 대안 1과 대안 2의 좌우 주시 영역폭에 대한 평균치간에는 유의적 차이가 없음이 증명되었다.

표 18. 곡선부 좌우 주시영역폭 검증 (α=0.10)

구분	구분	자유도	제곱합	제곱평균	F-value	F0.10(1,42)
대안 1 vs 대안 2	처리	1	0.026	0.026	0.184	2.835
	잔차	42	5.912	0.141		
	계	43	5.938			

5) 시지각 특성에 관한 곡선부 검증(상하주시영역폭)

곡선부의 대안 1과 대안 2의 상하주시 영역 분산분석 결과 유의수준 90%의 자유도(1,42)인 F분포에서 F- value(0.253) 〈 F-table(2.835) 이므로, 귀무가설을 채택한다. 따라서, 곡선부의 대안 1과 대안 2의 상하 주시영역에 대한 평균 간에는 유의적 차이가 없음이 증명되었다.

표 19. 곡선부 상하 주시영역폭 검증 (α=0.10)

구분	구분	자유도	제곱합	제곱평균	F-value	F0.10(1,42)
대안 1 vs 대안 2	처리	1	0.085	0.085	0.253	2.835
	잔차	42	14.139	0.337		
	계	43	14.224			

6) 통계적 유의성 분산분석 결과

대안 1과 대안 2, 직선부와 곡선부에 따른 좌우 주시영역 및 상하 주시영역의 유의성을 분산분석한 결과, 유의수준 95%에서 모든 비교 대상 간의 차이가 존재하지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 유의수준 90%에서 분산분석을 수행한 결과, 대안 1과 대안 2의 직선부 및 대안 1의 직선부와 곡선부에서 주시영역의 차이가 나타나는 것으로 분석되었다. 실험을 통해서 직선부에서 종단경사를 개선해 주는 경우 약 1.24배의 좌우 주시영역 확장이 발생함을 확인했으며, 대안 1(경사 양호, R=1,500m)에서 직선부는 곡선부보다 약1.42배의 좌우 주시영역폭을 갖게 됨을 확인하였다. 시인성 측면에서 종단경사의 개선이나 곡선반경의 확장(직선부에 가깝게 개량)을 통해

표 20. 좌우 주시영역 및 상하 주시영역의 유의성 분산분석 결과(α=0.10)

구 분	대안 1 vs 대안 2		직선 vs 곡선	
	직선	곡선	대안 1	대안2
좌우 주시영역	O	X	O	X
상하 주시영역	X	X	X	X

X : 차이 없음 O : 차이 있음

미세하게 좌우 주시영역의 폭을 넓힐 수 있음이 증명되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 대안 1과 대안 2의 설계안에 대하여 차량 시뮬레이터, Eyecamera방법을 통해 도로설계시 도로 기하구조 변화에 따라 운전자가 느끼는 안전성의 변화를 파악하였다. 또한 도로 기하구조 조건과 안전성의 상관성을 명확하게 규명하고 이를 통해 운전자가 도로 주행시 편안하고 쾌적한 주행을 보장받을 수 있는 도로를 설계 단계에서부터 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 통해 얻은 대안 1과 대안 2의 도로안전성 평가 결과는 다음과 같다.

1. 차량시뮬레이터에 의한 실험 중 주행속도 데이터를 분석한 결과 운전자들은 대안 2보다 대안 1에서 좀더 안정적인 결과를 보였다. 이것은 복합선형구간을 주행할 때 운전자들은 종단경사와 곡선반경 등과 같은 도로기하구조에 영향을 받게 되는데 선형의 변화가 비교적 덜한 대안 1이 운전자가 주행하기에 편안하였기 때문인 것으로 판단된다.
2. 차량시뮬레이터에 의한 실험 중 차량중심과 차로중심과의 거리를 분석한 결과 대안 1이 대안 2보다 차량중심과 차로중심간의 간격에서 조금 더 안정적인 패턴변화를 보이고 있는 것으로 나타났다.
3. 차량시뮬레이터에 의한 실험 중 차량의 가 · 감속을 분석한 결과 대안 1이 대안 2보다 가 · 감속의 변화폭이 더 작고 안정적인 것으로 나타났다.
4. Eyecamera(FaceLAB)실험 중 직선부의 좌우 · 상하 시선의 범위를 분석한 결과, 대안 2에서의 시선 범위가 대안 1보다 좌우축에 대해 0.81배, 상하축에 대해 0.83배 감소하는 것으로 나타났다.
5. Eyecamera(FaceLAB)실험 중 곡선부의 좌우 · 상하 시선의 범위를 분석한 결과, 대안 2에서의 시선 범위가 좌우축에 대해 1.10배, 상하축에 대해 1.09배 증가하는 것으로 나타났다.
6. Eyecamera(FaceLAB)실험 중 직선부를 주행하는 운전자들의 좌우 방향 눈동자의 움직임을 분석한 결과, 주로 한 쪽 방향으로 고정되어 있는 대안 1에서의 운전자의 시선과 달리, 자주 우측과 좌측으로 시선을 옮기는 대안 2에서의 운전 행태는 도로의 종단경사에 따른 심리적 불안 요소에 기인하는 것으로 분석할 수 있다.
7. Eyecamera(FaceLAB)실험 중 곡선부를 주행하는 운전자들의 좌우 방향 눈동자의 움직임을 분석한 결과, 대안 1를 운전하는 경우가 대안 2를 운전하는 경우에 비하여 간헐적으로 우측을 주시함을 볼 수 있다. 이는 곡선반경이 더 큰 대안 1(R=1,500m)이 운전자가 주행하기에 여유로운 환경을 제공하는것으로 판단된다.

이상의 결과를 바탕으로 볼 때, 본 연구에서 제시한 방법인 차량시뮬레이터, Eyecamera방법을 통해서 도로설계 단계에서부터 도로안전성을 평가할 수 있다면 기존에 설계하던 도로보다 편안하고 쾌적한 주행을 보장받을 수 있는 보다 나은 도로를 설계해 나갈 수 있을것이다. 향후에는 인간의 감성적인 측면을 고려할 수 있는 접근이 이루어져야 하며, 교통시설물에 따른 운전자의 시선 변화에 대해서도 연구가 계속 이루어져야 할것으로 판단된다. 또한 본 연구의 실험은 기초 단계적인 실험이라 할 수 있다. 따라서, 지속적인 실험을 실시하여 보다 체계적이고 정도높은 도로 안전성 평가방법을 구축해 나갈 것이다.

참고문헌

1. 장정화, "국도 곡선 구간에서의 운전자 시각행태 특성 분석에 관한 연구", 명지대학교 대학원, 석사학위논문, 2002.
2. 정영훈, "주행 시뮬레이터의 감성공학적 접근과 주행

환경의 속도감 인자분석", 부산대학교 대학원 석사학위논문, 2000.
3. Mattews, G., D. R. Davies, S. J. Westerman and R. B. Stammers(2000). Human Performance: *Cognition, stress and individual difference.* Psychology Press, Hove.
4. Ray Fullr & Jorge A. Santos(2002), *"Human Factors for Highway Engineers"*.

〈접수 : 2005. 11. 16〉