Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 2 pp.89-102, May 2007

시뮬레이터를 이용한 장대터널 내에서의 운전자 특성 연구*

박형진[1] · 황경주[1] · 신현주[2]

[1]한국도로공사 도로교통기술원 / [2]한양대학교 산업공학과

A Study on Driver's Characteristics in Long Tunnel Using Driving Simulator

Hyung Jin Park[1], Kyung Joo Hwang[1], Hyun Joo Shin[2]

[1]Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation, Gyonggi-do, 445-812
[2]Industrial Engineering, Hanyang University, Gyonggi-do, 426-791

ABSTRACT

Generally, it is well known that driving in tunnel imposes large burden to driver because of spatial constraint, limited visual field and so on. And such a burden of driver result in high accident occurrence. In this reason, studies dealing with features of driving and traffic flow in tunnel have been performed. However, information about characteristics of drivers and traffic in a very long tunnel is not accumulated yet. The purpose of this study is to identify the relations between tunnel length and burden of driver, driving patterns, traffic flow characteristics using the tunnel simulator that realizing various tunnel situations. For this, the tunnel simulation program was developed along 11km-length section. And biological data of 10 subjects gained from driving condition in simulation program was analyzed and compared with the result of real driving condition.

Keyword: Simulation program, Traffic Safety, Human Factor, Driver's Awareness, EEG

1. 서 론

우리나라의 고속도로 경우 2005년 말 기준 총 터널 수는 354개소이며, 연장은 약 262km에 달하고 있다(한국도로공사 2006). 이는 2005년 말 기준 전체 고속도로 연장 2,968 km의 8.8%에 해당하는 길이이다. 또한, 국토의 70% 이상이 산지로 구성된 국내 지형 여건상 현재 고속도로 및 국도에는 다수의 터널이 건설되어 있고, 환경에 대한 사회적 관심 증가로 인해 터널 건설은 계속해서 증가하고 있는 추세이다. 이렇듯 터널은 환경피해를 최소화하면서 이동시간을 단축할 수 있는 효과적인 도로시설이라 할 수 있다.

최근 고속도로는 보다 높은 서비스 수준을 이용객에게 제공하기 위해 기하구조를 대폭적으로 개선한 쾌적한 도로환경을 제공하고 있다. 특히, 최근 건설된 동해, 중부내륙 고속도로를 비롯하여 영동고속도로 확장에서 알 수 있듯이 환경보전과 이용객의 주행 편의를 위해 많은 터널이 건설되고 있다.

현재 국내 최장 고속도로 터널은 죽령터널(L=4.6km)이나 앞으로는 자연훼손을 최소화 하는 친환경적인 고속도로 터널에 대한 건설 요구의 증가로 인하여 10km 이상의 장대터널이 건설될 예정이다. 하지만 아직까지 국내의 경우 장대

교신저자: 박형진
주 소: 445-812 경기도 화성시 동탄면 산척리 50-5, 전화: 031-371-3428, E-mail: jehskill@paran.com

터널에서 운전자의 특성 및 교통흐름 특성에 대한 정보가 부족한 실정이며, 특히 건설 후 시설의 변경이 어려운 터널 특성상 도로설계 단계에서부터 도로의 안전성과 차량의 주행성을 미리 검증하여 이에 대한 적절한 대책을 수립하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 터널설계 단계에서부터 도로의 안전성 및 주행성을 미리 검증하기 위하여 터널 주행 시뮬레이터를 이용하여 실제 터널환경과 유사한 여러 가지 다양한 터널환경을 설정하고 운전자의 생체반응을 측정하고 분석하여 터널 조건에 따른 도로의 안전성 및 주행성 측면에서 다양한 안을 제시하고자 한다.

기존 터널 주행 시뮬레이터를 이용한 연구로는 네덜란드 TNO의 터널 입구의 정지신호의 성능평가 및 좌측 차선 접근성 평가와 터널 내의 조명과 차로 여유 폭에 대한 연구가 있으며, 일본도로 공단(JH)&오사카대학의 터널 입구의 교통정체 발생을 줄이기 위한 터널 입구 형상에 대한 주행안전성 평가 연구로 호쿠리쿠 자동차도로의 아크가 터널 진입 500m전 구간에 대한 주행속도, 액셀 사용량, 심박수, 주시점에 대한 연구결과 터널 진입시 속도저하 경감에 효과적인 터널은 종래의 면벽식 터널 입구 형상보다 입구의 콘크리트 면적이 적은 원통절계형이 좋은 것으로 나타났다.

조도관련 연구로는 엄기수, 박근상은 조도의 변화가 VDT 작업자에게 미치는 심리적 영향에 대하여 연구한 결과, 조도의 급격한 변화보다는 서서히 변화되었을 때 긍정적인 결과가 도출된다고 하였으며, H. W BODMANN(1962)은 조명에 따른 문자, 기혼 판별 및 반독 연구 수행에서 밝기와 명암대조의 중요성을 주장하였다.

터널 시설관련 연구로는 Blaauw와 Leebeek(1974)는 비디오 촬영을 통하여 터널 이용자의 편측 위치에 대하여 조사하였으며, 연구결과 2차로 터널에서 운전자가 우측 차로로 운전하는 동안 도로 이용자는 갓길이 줄어든 벽의 시작점에서 더 왼편으로 치우쳐 운전하는 것으로 나타났다. Blaauw와 Van der Horst(1982)는 측방여유에서만 차이가 있는 서로 다른 두 개의 터널에서 운전행동을 관찰한 결과 측방여유가 없는 터널의 입구 전방 115m에서 우측 차로 옆의 포장된 갓길이 4.05m에서 0.80m로 감소로 인하여 갓길이 좁아지기 시작한 지점부터 0.33m까지 측방이동하였으며, Vlake 터널은 갓길이 4.05m로 유지하여 갓길이 계속해서 지속되어 측방이동이 발견되지 않았다. Bampfylde 등은(1978) 편측 거리의 제한이 속도와 터널 입구부 근처의 자동차의 차두거리(headway)에 미치는 영향을 조사하였다. 또한, 도로표지 신호에 관한 연구로서 Naris ada와 Yoshikawa(1974)는 터널에 진입하기 전 마지막 150m 동안 상대적으로 많은 눈의 고착(Eye Fixation)이 터널 입구로 향해 있다고 하였다. 이와 더불어 Amundsen's(1992)는 운전자들은 터널 상황이 안전하다는 것을 나타내는 표지판이 운전자들의 긴장감을 감소시킨다고 하였다.

Cristensen 등(1993)은 터널 내에서 발생하는 심리적 두려움에 대하여 운전자 설문조사 결과, 벽이나 다른 대상에 충돌할 것 같은 심리적인 두려움과 화제 등과 같은 위험한 상황에서 벗어나고 싶다는 욕구 등에서 오는 두려움이라 해석하고 있다.

Amundsen & Cristensen 등(1992)은 터널 길이가 증가함에 따라 문제점이 증가한다고 하였으며, 이는 긴 터널에서 운전한다는 것은 위험한 상황에 더욱 많이 노출되는 것으로 설명하고 있다.

운전자 생체신호에 대한 연구로는 O'Hanlon과 Kelly(1977)는 장시간 야간주행에 따른 운전자 생리반응의 변화를 연구한 결과, 주행시간이 길어질수록 운전자 뇌파에서 delta파와 theta파의 증가하였으며, 졸음운전을 유발할 가능성이 있다는 것을 객관적으로 규명하였다. Kecklund와 Akersted(1993)는 장시간 트럭 운전을 하는 동안 중심엽에서 뇌파 변화를 측정하였는데 alpha파와 beta파가 증가하였음을 밝혔다.

정봉조, 박재범(2002)은 연속하여 2시간 동안 운전을 하도록 하고 중심엽을 중심으로 뇌파 변화를 측정한 결과, 90분을 경계로 alpha파와 beta파의 각성상태의 저하를 발견하였다. 이와 유사한 연구로 김주영(1999)은 후두엽의 beta파 변화를 각성 변화라고 정의하고 고속도로 합류부에서 운전자의 심리 · 생리적 작업부하를 측정한 결과, 가속차로를 주행하면서 합류를 할 때까지의 각성수준이 기본 주행구간에 비하여 유의한 수준에서 증가한 것으로 나타났다. 이순철, 신용균(1996)은 터널 진입전 200m와 터널 진입 후 운전자의 운전행동 및 생리반응을 연구한 결과, 터널 진입 후 운전자의 중추신경계 및 자율신경계가 터널 진입 전에 비해서 활성화되는 것으로 나타났으며, 터널 내에서의 주행속도는 터널 진입 후부터 감속 추세를 보이다가 중간지점을 지나면서 완만한 속도의 상승을 보이고 터널후반부에서 점점 주행속도가 증가하는 추세를 보인다고 하였다.

안구운동 연구로는 김호영, 금기정(1999)은 Talk eye를 이용한 시지각활동을 측정하여 정량화한 결과 터널 구간에서 좌 · 우 주시영역폭과 주행속도가 비례관계임을 파악하였다.

본 연구는 장대터널 내에서의 내부디자인 조건별, 교통안전시설(LED램프), 교통관리시설(VMS) 설치 유 · 무에 따른 운전자의 심리 및 작업부하 영향을 주관적 설문조사와 안구운동, 뇌파 측정을 통하여 규명할 할 것이다. 또한, 새로운 터널 설계기준을 제안 하고자 한다.

2. 모의실험 대상

본 실험을 위하여 현 터널 설계기준[1]을 바탕으로 8종류의 가상터널을 제작하였으며, 제작된 가상터널을 이용하여 터널 주행시 실험자의 주관적 심리상태를 확인하기 위하여 주관적 설문조사와 안구운동과 뇌파반응상태를 측정하였다.

2.1 터널 조건별 시뮬레이션

실험을 위하여 제작된 시뮬레이션 터널은 총 13.9km로 진입부 2km, 터널부 10.9km, 진출부 1km의 길이로 구성되어 있으며, 터널 내벽디자인 4종류, 교통안전시설(LED램프), 교통관리시설(VMS) 설치 유·무 등 총 8종의 시뮬레이션이 제작되었다(표 1).

표 1. 터널디자인 제작 종류

	조명	내벽디자인	특이사항
1	주간	내벽디자인 0	주간 백색무변화(비교안)
2	주간	내벽디자인 1	주간 청색/녹색 띠(기본안)
3	야간	내벽디자인 1	야간 청색/녹색 띠(비교안)
4	주간	내벽디자인 2	주간 황색/황색 띠(비교안)
5	주간	내벽디자인 1	LED 시선유도 등
6	주간	내벽디자인 1	VMS(평상시)
7	주간	내벽디자인 1	VMS(유고시)
8	주간	내벽디자인 3	주간 2km색변경

2.2 실험참가자

실험참가자는 총 10명으로 남자 9명과 여자 1명으로 구성되었으며, 이들의 평균연령은 26.4세이다. 실험참가자는 운전면허를 취득하기 위한 현 도로교통법상의 교정시력 0.8 이상의 운전면허 소지자를 대상으로 하였다. 본 실험참가는 20대가 주류를 이루므로 모집단에 비해 다소 운전능력이 뛰어난 집단으로 볼 수 있다.

2.3 실험장비

2.3.1 도로주행 시뮬레이터(K-ROADS)

가상도로주행실험을 위하여 "한국건설기술연구원"의 도로주행 시뮬레이터(K-ROADS)를 이용하였다. 본 장비는 실제와 같은 도로주행이 가능하도록 가상현실기법을 활용한 장비로 다양한 도로주행환경(터널 및 교차로 등)의 재현을 위해서 차량의 진행방향 이외에도 측·후방의 교통 및 경관까지 재현 가능하며, 미세한 노면요철 등의 미세충격까지 재현 가능한 장비이다.

[1] 건설교통부, 도로안전시설 설치 및 관리지침-통합 편, 2002

그림 1. Case 5(주간 청록색/LED유/VMS무)

그림 2. Case 6(주간 청록색/LED무/VMS평상시)

2.3.2 생체신호 측정 장비

실험참가자들의 안구운동과 뇌파신호를 측정하여 터널 주행시 작업부하를 측정하기로 하였다. 이를 위해 운전자 눈동자 움직임을 측정할 수 있는 안구운동측정 장치로는 호주의 Seeingmachines사의 FaceLab 4.0과 뇌파반응을 측정하기 위하여 LAXTGA에서 개발한 PolyG-I를 사용하였다.

2.4 실험과정

실험참가자에게 실험 목적과 과제 그리고 실험 진행에서 이루어지는 세부적인 부분들을 설명하였으며, 완전한 이해가 이루어질 수 있도록 설명한 후, 실험을 시작하였다. 본 실험에 들어가기 전 시뮬레이터 상황에 익숙해 질 수 있도록 연

습 주행을 실시하였고, 최대한 실제 도로에서 운전할 때처럼 운전하도록 요청하였다.

실험 조건은 모두 8가지이며, 8가지 경우 모두를 실시하였다. 실험참가자 모두에 대해 1회 주행을 마친 후 주행 조건에 대한 주관적 설문조사를 실시하였다. 주관적 설문조사를 마친 후 충분한 휴식을 가진 후, 다음 주행 조건을 실시하였다. 8개 조건 모두를 수행한 후에는 각 조건들 중 내벽 디자인 조건, LED 유 · 무 조건, VMS 유 · 무 조건들 간에 비교하는 주관적 설문조사를 실시하였다. 따라서 실험참가자는 총 9번의 주관적 설문조사를 실시하였다.

실험 조건의 순서는 학습효과 등을 방지하기 위하여 실험참가자마다 무작위로 실시하였으며, 각 실험참가자들의 실험순서는 표 2와 같다.

표 2. 실험참가자들 실험순서

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	무변화	주간 2km 변화	야간 청록	주간 청록	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 청록 LED	주간 황노	주간 2km 변화	주간 황노
2	주간 청록	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 청록 LED	주간 청록 VMS1 (평상시)	야간 청록	주간 황노	주간 2km 변화	주간 청록	무변화	주간 청록 VMS2 (유고시)
3	야간 청록	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 청록 VMS2 (유고시)	무변화	주간 2km 변화	무변화	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 청록	주간 2km 변화
4	주간 황노	주간 청록 LED	주간 황노	주간 2km 변화	주간 청록	주간 청록 LED	야간 청록	무변화	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 청록 LED
5	주간 청록 LED	주간 황노	주간 2km 변화	주간 황노	주간 청록 LED	주간 청록	무변화	야간 청록	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 청록 VMS1 (평상시)
6	주간 청록 VMS1 (평상시)	야간 청록	무변화	주간 청록 VMS (유고시)	무변화	주간 2km 변화	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 황노	주간 청록
7	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 청록	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 청록 LED	주간 황노	야간 청록	주간 청록	주간 2km 변화	야간 청록	무변화
8	주간 2km 변화	무변화	주간 청록	야간 청록	주간 청록 VMS1 (평상시)	주간 청록 VMS2 (유고시)	주간 황노	주간 청록 LED	주간 청록 LED	야간 청록

3. 분석 결과

3.1 주관적 설문조사 결과

3.1.1 변량분석 결과

각 조건별 실험 후 실시한 주관적 설문조사에 대한 문항별 평균 및 표준편차와 변량분석을 수행한 결과는 표 3과 표 4에서 보여주고 있다.

변량분석 결과 2개 문항(지루함, 빨리 통과욕구)에서 각 조건에 따른 평균이 유의한 수준에서 차이를 보였다. 이와 같은 유의한 차이가 어떤 조건들 간의 차이 때문에 발생했는

표 3. 조건별 각 문항 응답결과의 평균과 표준편차

조건		안정감	졸음	눈의피로	안전감	불안감	지루함
1	평균	3.10	4.29	3.20	2.40	3.10	4.40
	SD	1.60	0.76	1.48	0.97	0.99	0.70
2	평균	3.20	3.29	2.50	2.70	2.80	3.40
	SD	0.92	1.38	1.18	1.42	1.23	1.17
3	평균	3.30	3.29	2.80	3.20	2.90	3.60
	SD	0.48	1.50	1.40	0.42	0.99	0.70
4	평균	3.10	3.14	3.20	3.20	3.00	3.70
	SD	0.57	1.22	1.14	0.79	1.16	0.95
5	평균	3.00	3.29	3.50	3.20	2.60	3.40
	SD	0.94	1.38	1.35	1.03	1.43	1.08
6	평균	3.30	3.00	3.10	3.30	2.50	3.30
	SD	0.82	1.00	0.57	0.95	0.71	0.82
7	평균	3.60	2.29	2.90	3.70	2.50	2.40
	SD	1.35	1.50	1.20	1.25	1.18	1.08
8	평균	3.00	3.14	3.50	2.70	2.70	2.50
	SD	1.63	1.34	1.43	1.16	1.10	1.08

조건		긴장감	실도로상 위험도	실도로상 안전도	출구에서 편안함	출구에서 해방감	빨리통과 하고 싶은욕구
1	평균	2.90	3.60	2.60	4.10	4.10	3.86
	SD	0.99	1.35	1.17	0.99	0.74	1.07
2	평균	3.30	2.80	3.10	3.60	4.20	3.86
	SD	0.94	1.40	1.10	0.70	0.79	0.69
3	평균	3.00	2.70	3.50	3.10	3.80	3.00
	SD	0.82	0.82	0.85	0.99	1.03	1.29
4	평균	3.30	2.90	2.80	4.10	4.40	4.14
	SD	1.16	1.29	0.92	0.57	0.70	0.90
5	평균	2.60	2.80	3.10	3.80	4.30	4.29
	SD	1.08	1.32	1.20	0.92	0.68	0.76
6	평균	2.80	2.30	3.40	3.70	3.50	3.00
	SD	0.92	0.95	0.97	1.06	0.97	1.16
7	평균	3.00	2.00	3.90	3.50	3.80	4.00
	SD	1.16	1.05	0.99	0.97	1.23	1.16
8	평균	2.80	2.90	2.90	3.60	4.00	4.29
	SD	1.03	1.20	1.10	1.27	0.82	0.76

※ 조건
1 = 백색무변화, 2 = 주간청록, 3 = 야간청록, 4 = 주간황노
5 = LED, 6= VMS1(평상시), 7 = VMS2(유고시), 8 = 2km색변화

지를 확인하기 위하여 사후분석을 실시하였다. 사후분석은 Duncan test를 이용하였다.

표 4. 변량분석 결과

		제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
안정감	집단-간	2.80	7	0.40	0.32	0.94
	집단-내	90.00	72	1.25		
눈의 피로	집단-간	8.29	7	1.18	0.76	0.62
	집단-내	112.10	72	1.56		
안전감	집단-간	12.20	7	1.74	1.62	0.14
	집단-내	77.60	72	1.08		
불안감	집단-간	3.59	7	0.51	0.42	0.89
	집단-내	88.90	72	1.24		
지루함	**집단-간**	**29.19**	**7**	**4.17**	**4.50**	**0.00**
	집단-내	**66.70**	**72**	**0.93**		
긴장감	집단-간	4.19	7	0.60	0.58	0.77
	집단-내	74.70	72	1.04		
실터널상 위험도	집단-간	15.40	7	2.20	1.56	0.16
	집단-내	101.60	72	1.41		
실터널상 안전도	집단-간	12.39	7	1.77	1.62	0.14
	집단-내	78.50	72	1.09		
출구에서 편안함	집단-간	7.49	7	1.07	1.17	0.33
	집단-내	65.70	72	0.91		
출구에서 해방감	집단-간	6.29	7	0.90	1.14	0.35
	집단-내	56.70	72	0.79		
빨리 통과하고 싶은욕구	**집단-간**	**13.41**	**7**	**1.92**	**1.94**	**0.08**
	집단-내	**47.43**	**48**	**0.99**		
졸음	집단-간	14.57	7	2.08	1.27	0.29
	집단-내	78.86	48	1.64		

*p<0.1 미만에서 유의

표 5. 안전감에 대한 Duncan test 결과

안전감	유의수준 = .05에 대한 부집단	
	1	2
무변화	2.40	
청록색	2.70	2.70
색변화	2.70	2.70
야간	3.20	3.20
황노색	3.20	3.20
LED	3.20	3.20
VMS1	3.30	3.30
VMS2		3.70

3.1.2 Duncan test 결과

Duncan test 결과 전체 변량분석에서 유의하였던 2가지 문항 이외에 유의하지 않았던 4가지 문항에서 일부 조건들이 서로 다른 집단으로 구분되었다.

유의한 결과가 나타났던 '지루함'(표 6)과 '빨리 통과하고 싶은 욕구'(표 10)의 설문조사 결과, '지루함'(표 6)은 VMS2

표 6. 지루함에 대한 Duncan test 결과

지루함	유의수준 = .05에 대한 부집단			
	1	2	3	4
VMS2(유고시)	2.40			
주간 2km색변화	2.50	2.50		
VMS1(평상시)	3.30	3.30	3.30	
청록색		3.40	3.40	
주간청록LED		3.40	3.40	
야간청록색			3.60	3.60
황노색			3.70	3.70
무변화				4.40

표 7. 실제 터널상의 위험수준에 대한 Duncan test 결과

실제 터널상 위험도	유의수준 = .05에 대한 부집단	
	1	2
VMS2(유고시)	2.00	
VMS1(평상시)	2.30	
야간청록색	2.70	2.70
청록색	2.80	2.80
주간청록LED	2.80	2.80
황노색	2.90	2.90
주간 2km색변화	2.90	2.90
무변화		3.60

표 8. 실제 터널상의 안전수준에 대한 Duncan test 결과

실제 터널상 안전도	유의수준 = .05에 대한 부집단	
	1	2
무변화	2.60	
황노색	2.80	
주간 2km색변화	2.90	2.90
청록색	3.10	3.10
주간청록 LED	3.10	3.10
VMS1(평상시)	3.40	3.40
야간청록색	3.50	3.50
VMS2(유고시)		3.90

표 9. 출구에서의 편안함에 대한 Duncan test 결과

출구에서의 편안함	유의수준 = .05에 대한 부집단	
	1	2
야간청록색	3.10	
VMS2(유고시)	3.50	3.50
청록색	3.60	3.60
주간 2km색변화	3.60	3.60
VMS1(평상시)	3.70	3.70
주간청록LED	3.80	3.80
무변화		4.10
황노색		4.10

표 10. 빨리 통과하고 싶은 욕구에 대한 Duncan test 결과

빨리 통과욕구	유의수준 = .05에 대한 부집단	
	1	2
야간청록색	3.00	
VMS1(평상시)	3.00	
무변화	3.86	3.86
청록색	3.86	3.86
VMS2(유고시)	4.00	4.00
황노색	4.14	4.14
주간청록LED		4.29
주간 2km색변화		4.29

의 평균은 2.4이고, 무변화의 평균은 4.4로 서로 다른 집단으로 구분되었으며, '빨리 통과하고 싶은 욕구'(표 10)는 야간청록과 VMS1의 평균은 3.0인 반면 주간청록 LED와 주간 2km색변화의 평균은 4.29로 서로 다른 집단으로 구분되었다. 이러한 결과는 터널환경에서 내벽디자인이 청록이면서 거리정보나 사고정보를 제공받을 수 있는 VMS시설이 설치된 경우에 심리적으로 가장 안정된 상태를 보이는 것으로 나타났다.

표 11. 졸음수준에 대한 Duncan test 결과

졸음	유의수준 = .05에 대한 부집단	
	1	2
VMS2	2.29	
VMS1	3.00	3.00
황노색	3.14	3.14
색변화	3.14	3.14
청록색	3.29	3.29
야간	3.29	3.29
LED	3.29	3.29
무변화		4.29

3.2 터널 내벽디자인

3.2.1 주관적 설문조사 결과

실험참가자는 4가지(청록색, 황노색, 무변화, 2km색변화) 내벽디자인 조건들을 주행 후 서로 비교하였다. 표 12는 터널 주행 중 4종류의 터널 내벽디자인이 운전자에게 주는 긍정적인 정서와 부정적인 정서로 구분하여 나타내고 있으며, 숫자는 응답한 운전자를 나타내고 있다. 표 13은 4종류의 터널 내벽디자인 조건에 대한 긍정적인 정서와 부정적인 정서에 대한 평가 중 가장 많은 운전자들에 의해 선택된 값을 표기한 것이다.

이와 같은 결과는 터널 내벽디자인 중 실험참가자들이 심리적 측면에서 가장 긍정적인 정서 상태를 유지할 수 있었던 조건은 청록 조건이었으며, 반대로 무변화 조건이나 2km마다 내벽색을 변화시키는 조건은 실험참여자들의 심리적인 측면에서 부정적인 영향을 주는 것으로 나타났다.

3.2.2 안구운동 측정결과

그림 3은 터널 내에서 1km지점마다 10초간의 안구운동 데이터(수평, 수직각)를 이용하여 각 구간마다의 편차(중앙값)를 구한 결과이다.

표 12. 질문내용에 따라 각 조건을 선택한 실험참여자 수(단위: 명)

질문내용 / 내벽디자인	안정감 높음	안정감 낮음	졸림 높음	졸림 낮음	눈피로 높음	눈피로 낮음	안전감 높음	안전감 낮음	지루함 높음	지루함 낮음	긴장 높음	긴장 낮음	실제로 가장 위험	실제로 가장 안전	운전하기 위해 선택	피하고 싶은 조건
무변화		1	**6**		3	1		1	**10**		1	**3**	**4**			**6**(1)
청록색	**6**	1		**6**(1)	1(1)	**6**	**5**			4		2	1(1)	**5**	**5**	
황노색	3	1			2(1)	3	3	2			2	1	2(1)	3	2	2(1)
2km색변화	1	**4**	1	2(1)	**5**		2	**4**		**6**	**5**	1	**4**		3	3
해당 조건없음											1					
모두 비슷함											1			1		

※ 음영부분은 부정적 측면의 질문내용
강조부분은 가장 많은 피실험자들에 의해 선택된 조건, (숫자) – 다른 조건과 중복으로 선택한 피실험자 수

표 13. 설문조사 중 가장 부합하는 조건으로 선택된 문항 수

질문내용 / 내벽 디자인 조건	긍정적인 정서(개)	부정적인 정서(개)	비고
무변화	1	4	
청록	6	–	
황노	–	–	
2km색변화	1	5	

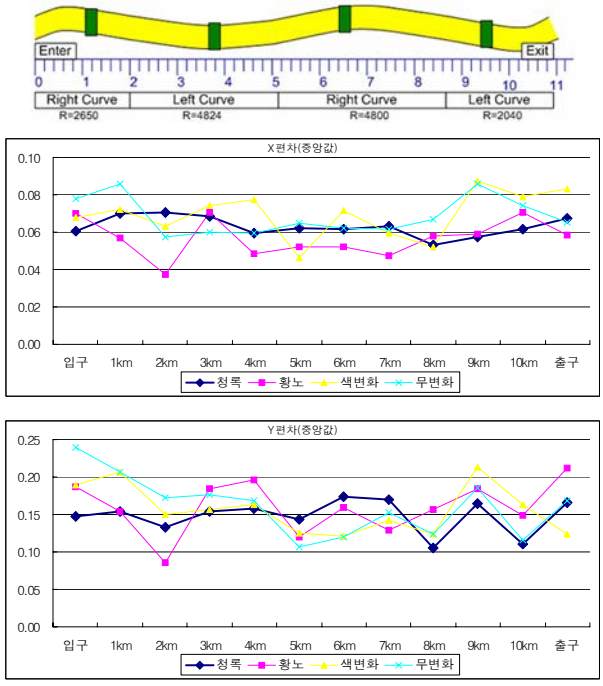

그림 3. 내벽디자인별 안구운동 표준편차의 중앙값

내벽디자인이 청록색의 경우 전 구간에서 수평안구 운동의 변화는 크지 않으나, 황노색의 경우는 도로선형에 의해 강조구간이 길게 보이는 지점(3km, 9km지점)에서 안구운동이 분산되고 있음을 알 수 있다. 반면 색변화 디자인은 터널 중앙부분에서 2km마다 내벽색이 변화하게 되어 내벽색에 의해 안구운동이 분산이 커짐이 나타났으며, 무변화는 중앙부분에서 안구운동이 집중되어 있지만 도로의 평면선형이 급한 터널 입구와 출구부분 구간에서 안구운동의 편차가 커짐이 나타났다. 표 14의 결과를 토대로 청록색의 내벽디자인이 수평 및 수직안구운동에서 변화가 가장 적은 것으로 나타났다.

3.2.3 뇌파 측정결과

수집된 뇌파는 개인 간의 민감도 차이를 보정하기 위하여 Normalization을 실시하였으며, 선행 연구에서 사용한 뇌파

표 14. 내벽디자인별 안구운동 표준편차

표준편차	청록	황노	색변화	무변화
수평안구운동	0.0052	0.0101	0.0123	0.0100
수직안구운동	0.0222	0.0358	0.0321	0.0397

활성비(β spectrum/α spectrum) 파라미터를 이용하여 전두엽과 후두엽에서 수집된 뇌파를 분석하였다.

전두엽

그림 4는 내벽디자인에 따른 뇌파 활성비의 구간별 변화를 나타낸 것이며, 표 15는 뇌파 활성비의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다.

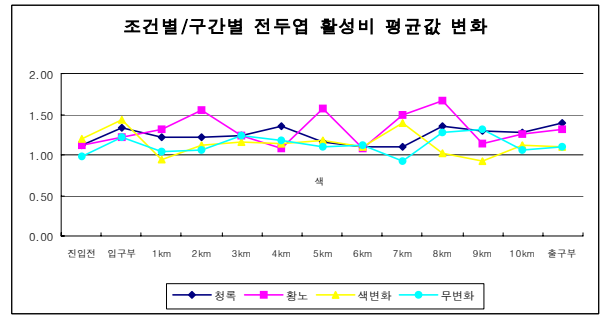

그림 4. 내벽디자인별 전두엽 활성비 구간별 변화

표 15. 내벽디자인별 전두엽 활성비 평균과 표준편차

전두엽 활성비	청록	황노	색변화	무변화
평균	1.25	1.31	1.14	1.13
대표값 표준편차	0.10	0.20	0.15	0.12

황노색 조건은 활성비(1.31)는 가장 높았지만, 전체적인 변화 패턴과 표준편차 값이(0.20) 다른 조건에 비하여 높은 것으로 나타났다. 청록색 조건은 활성비(1.25)는 황노색 조건보다 낮지만 무변화나 2km색변화 보다는 높았고, 그래프의 전체적인 변화 패턴과 표준편차(0.10)으로 다른 조건에 비하여 작은 것으로 나타났다.

후두엽

그림 5는 내벽디자인 조건별로 활성비의 구간별 변화를 나타낸 것이고, 표 16은 평균과 표준편차를 나타낸 것이다.

내벽디자인 조건별 평균은 황노색 조건에서 가장 높았으며(1.21), 표준편차의 경우 2km색변화, 무변화 조건과 같았다. 청록 조건은 활성비 평균이 1.04로 황노색 보다는 낮지만 표준편차가 조건 중 가장 작았다(0.08).

내벽디자인에 대한 주관적 설문조사, 안구운동, 뇌파반응

을 분석한 결과 4가지 대안 중 청록 조건일 때 가장 안정적인 주행 결과를 나타내고 있다.

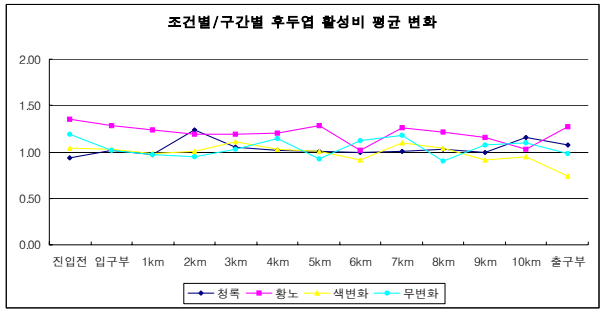

그림 5. 내벽 조건별로 후두엽 활성비의 구간별 변화

표 16. 내벽디자인별 후두엽 활성비 평균과 표준편차

후두엽 활성비	청록	황노	색변화	무변화
평균	1.04	1.21	0.99	1.05
대표값 표준편차	0.08	0.10	0.10	0.10

3.3 교통안전시설(LED램프 시선유도시설)

3.3.1 주관적 설문조사 결과

표 17은 LED램프 시선유도시설 유 · 무에 따라 운전자에게 주는 긍정적인 정서와 부정적인 정서로 구분한 것이다.

표 17. 질문내용에 따라 각 조건을 선택한 실험참여자 수

	안정감	졸림	안전감	불안감	지루	긴장	운전하기 위해 선택	실제로 위험	비고
유	**6**	**1**	**6**	**4**	2	**6**	**6**	**4**	
무	4	**5**	4	2	**6**	1	3	**4**	
해당 조건 없음				1	1				
모두 비슷함		**1**		3	1	3	1	2	

※ 음영부분은 부정적 측면의 질문내용
강조부분은 가장 많은 실험참가자들에 의해 선택된 조건

표 18은 시선유도시설 유 · 무 조건이 긍정적인 정서와 부정적인 정서를 평가하는 것으로 몇 개의 문항에서 가장 많은 운전자들에게 선택되었는지를 표시한 것이다.

설문조사 결과 LED램프 시선유도시설이 설치된 조건에서 3개의 긍정적인 문항이 선택된 반면, 부정적인 문항도 3개 항이 선택되었다. LED램프 시선유도시설이 미설치된 조건의 경우 긍정적인 문항에 대하여는 선택되지 않았으며, 부정적인 응답만 2개 선택되었다. 이와 같은 조사 결과 LED램프

표 18. 설문조사 중 가장 부합하는 조건으로 선택된 문항 수

	긍정적인 정서에 관한 문항(개)	부정적인 정서에 관한 문항(개)	비고
유	3	3	
무		2	

시선유도시설물로 인하여 실험참가자들은 심리적으로 긍정적인 영향뿐만 아니라 부정적인 측면도 같이 존재하는 것으로 나타났다.

3.3.2 안구운동 측정결과

그림 6은 LED램프 시선유도시설 유 · 무에 따른 안구운동의 편차를 표시한 것이다.

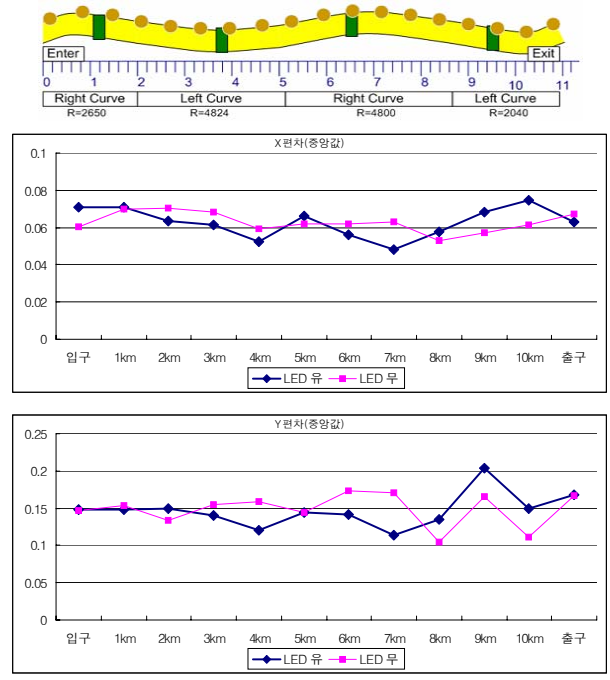

그림 6. LED램프 유 · 무별 안구운동 표준편차의 중앙값

표 19. LED 유 · 무별 안구운동 표준편차

표준편차	LED 유	LED 무
수평안구운동	0.0080	0.0052
수직안구운동	0.0227	0.0222

곡선반경이 큰 중앙부 구간에서 LED 시선유도시설이 있는 경우, 안구수평운동 및 안구수직운동의 표준편차가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 즉, LED램프 시선유도시설은 표지병과 같이 노면표시의 기능을 보완하고 있어 곡선반경

이 큰 구간에서는 잘 보이지 않는 원거리의 노면표시를 LED 램프 시선유도시설이 보완해 줌으로써 실험참가자들의 주시점이 집중된 것으로 판단할 수 있다. 반면 곡선반경이 상대적으로 작은 입구부와 출구부 부근에서는 LED 시선유도시설이 있는 경우에 반대로 표준편차가 커지는 것으로 나타났다. 전체 구간에 대한 표준편차 분석결과, LED램프 시선유도시설이 설치된 경우와 설치되지 않은 경우의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

3.3.3 뇌파 측정결과

전두엽

LED램프 시선유도시설 유 · 무에 따른 구간별 활성비의 전체적인 패턴은 LED램프 시선유도시설이 미설치된 조건이 설치된 조건에 비하여 활성비 평균값이 높은 수준에서 분포하고 있었다. 하지만 터널 후반부로 갈수록 시선유도시설이 미설치된 조건의 경우 초반부와 마찬가지로 활성비가 계속해서 등락을 거듭하는 반면 시선유도시설이 설치된 조건의 경우 5km 이후에는 활성비 변화가 미미한 일정한 수준을 유지하는 패턴을 보이는 것으로 나타났다.

LED램프 시선유도시설 유 · 무별 표준편차의 차이는 없는 것으로 나타났으나, 평균은 미설치된 조건이 높았다.

특히, 터널 입구부의 경우 일반적으로 터널 진입시 불안감으로 인해 운전자의 집중력 증가 등 각성수준이 증가하는 것이 일반적인 현상이나, 본 연구 결과에서는 LED램프 시선유도시설이 설치되어 있는 조건에서는 입구부에서 각성수준의 증가가 없는 것으로 나타났으며, 이러한 패턴은 출구부에서도 유사한 것으로 나타났다. 이는 시선유도시설로 인하여 실험참여자들이 터널 진입시 터널의 선형 및 폭을 기존 터널에 비하여 정확히 인지할 수 있어 일반도로와 비슷한 수준의 긴장감을 유도한 것으로 추정할 수 있다.

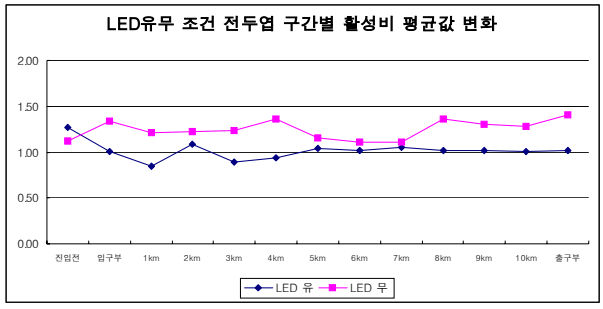

그림 7. LED 유 · 무별 전두엽 활성비 구간별 변화

표 20. LED 유 · 무별 전두엽 활성비 평균과 표준편차

	전두엽	
	LED 있음	LED 없음
평균	1.01	1.25
대표 값 표준편차	0.10	0.10

후두엽

LED램프 유 · 무에 따른 구간별 활성비의 평균값은 두 조건에서 비슷한 경향을 보이고 있었으나, LED램프 시선유도시설이 미설치된 조건에서 활성비의 평균이 약간 높게 나타났다. 표준편차에서는 두 조건에서 큰 차이가 나타나지 않았다.

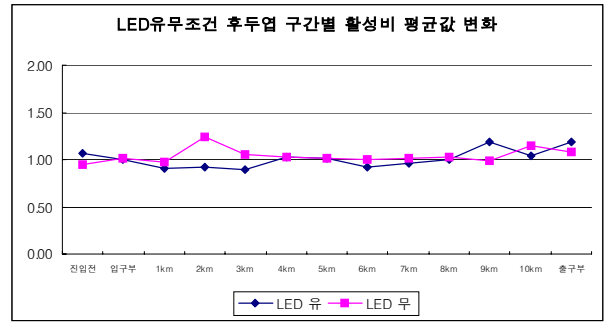

그림 8. LED 유 · 무별 후두엽 활성비 구간별 변화

표 21. LED 유 · 무별 후두엽 활성비 평균과 표준편차

	후두엽	
	LED 있음	LED 없음
평균	1.01	1.04
대표 값 표준편차	0.09	0.08

LED램프 시선유도시설 유 · 무에 따른 결과 시선유도시설 설치 효과를 증대시키기 위하여 설치 간격을 좁히고, 입구부부터 출구부까지 계속 설치되어 있는 부분에서 실험참가자들이 심리적 불안감을 느낀 것으로 조사되는 등 보완이 필요한 것으로 나타났다. 또한, LED램프 시선유도시설 유 · 무에 따른 장대터널 내에서의 운전자 특성 실험은 시뮬레이터를 이용한 실험인 관계로 LED광원 표현이 불가능하여 LED 광원은 빛이 산란되게 표현하였고, 근거리에서 LED광원이 도로노면에 비치는 빛의 영향은 고려하지 못한 실험적 한계가 있었다.

3.4 교통관리시설(VMS)

3.4.1 주관적 설문조사 결과

표 22는 VMS설치 유 · 무에 따른 실험참여자들의 각 조건에 따른 선택 결과들이며, 표 23은 VMS 시설 유 · 무에 따라 실험참여자들에게 주는 긍정적인 정서와 부정적인 정서를 나누어 나타낸 것이다.

표 22. 질문내용에 따라 각 조건을 선택한 실험참여자 수

질문내용 / VMS	안정감	졸림	안전감	긴장	실제로 위험	운전하기 위해 선택	비고
유	9	1	10	2	1	10	
무		6		5	7		
해당 조건없음							
모두 비슷함	1	1		3	2		

표 23. 설문조사 중 가장 부합하는 조건으로 선택된 문항 수

	긍정적인 정서에 관한 문항	부정적인 정서에 관한 문항	비고
유	3	–	
무	–	3	

설문조사 결과, VMS시설이 설치 유 · 무 조건에 따라 긍정적 질문인 '안정감', '안전감', '운전하기 위해 선택' 조건에서 각각 9명, 10명, 10명이 VMS시설이 설치된 조건을 선택한 반면, 부정적 질문인 '졸림', '긴장', '실제로 위험'할 것 같은 조건에서는 각각 6명, 5명, 7명이 VMS시설이 미설치된 조건을 선택하였다. 실험참가자들은 VMS시설이 설치된 조건에서는 긍정적인 문항이 전부 선택되었고, VMS시설이 미설치된 조건에서는 부정적인 문항만이 선택되었다. 이러한 결과를 토대로 표 24는 제공된 정보가 운전에 유익했던 수준과 제공되는 정보의 길이(글자수)의 적정성, 정보제공 빈도가 적절했는지에 대한 결과를 나타내고 있다.

표 24. VMS 정보의 수준

VMS 정보 유형	정보의 유익성	정보글자수 수준	정보제공 빈도	비고
거리정보	다소 높다	적당	적당	
사고정보	높다	적당	적당	

조사 결과, 정보의 유익성에서는 사고정보와 거리정보 모두 운전에 도움이 된다고 응답하였으며, 제공되는 정보의 글자 수 및 제공빈도에서도 역시 적절하다는 조사 결과가 나타났다.

3.4.2 안구운동 측정결과

VMS시설이 설치된 경우에서 안구운동의 표준편차가 큰 것으로 나타났다.

3.4.3 뇌파 측정결과

전두엽

VMS 유 · 무에 따른 구간별 활성비 변화는 VMS시설이

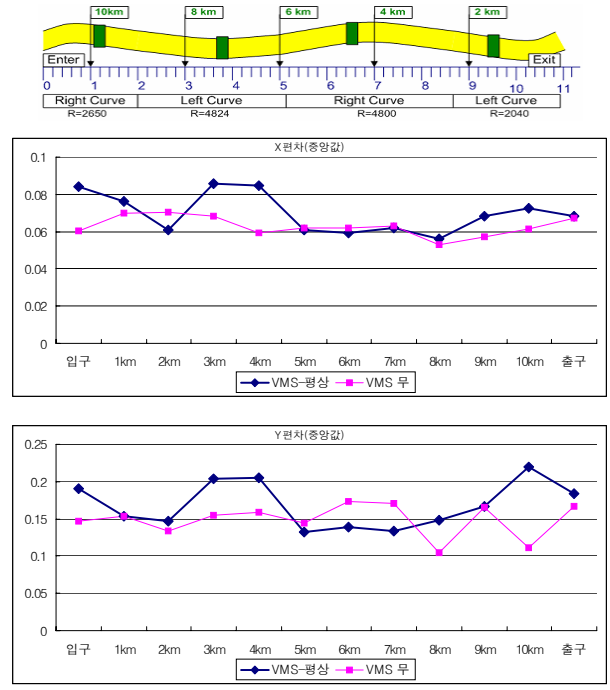

그림 9. VMS 유 · 무별 안구운동 표준편차의 중앙값

표 25. VMS 유 · 무별 안구운동 표준편차

표준편차	VMS 유	VMS 무
수평안구운동	0.0106	0.0052
수직안구운동	0.0308	0.0222

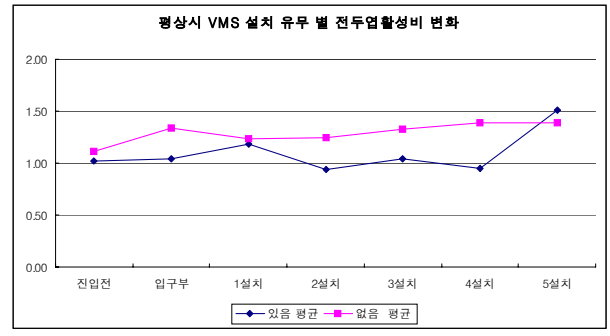

그림 10. VMS 유 · 무별 전두엽 활성비 구간별 변화

표 26. LED 유 · 무별 전두엽 활성비 평균 및 표준편차

	전두엽	
	VMS 있음	VMS 없음
평균	1.10	1.29
대표 값 표준편차	0.20	0.10

미설치된 조건에서 활성비가 높게 나타났으며, 표준편차는 낮게 나타났다.

후두엽

전반적으로 두 조건에서 활성비 평균값의 차이는 미미한 정도로 나타났으며, 표준편차 역시 그 차이가 미미하였다.

VMS시설의 유 · 무 조건에 대한 주관적 설문조사, 안구운동, 뇌파반응에 대한 결과 VMS시설이 설치된 조건이 주행에 도움이 되는 것으로 설문조사 결과 나타났으며, 뇌파반응 결과에서도 뒷받침 되고 있다. 터널이라는 특수한 기하구조로 인해 높은 긴장감을 가지고 주행할 수밖에 없는 환경에서 VMS시설로 인하여 운전자들의 각성상태를 전체적으로 낮추어 주었으며, 이러한 주행환경 변화는 터널이라는 폐쇄적이고 지루함을 상쇄시킨 결과를 보여주고 있다. 또한, VMS시설지점 통과시 운전자들은 VMS정보로 인하여 터널 내부 상황을 인지할 수 있으며 이러한 정보는 운전자에게 안정감을 주는 것으로 나타났다.

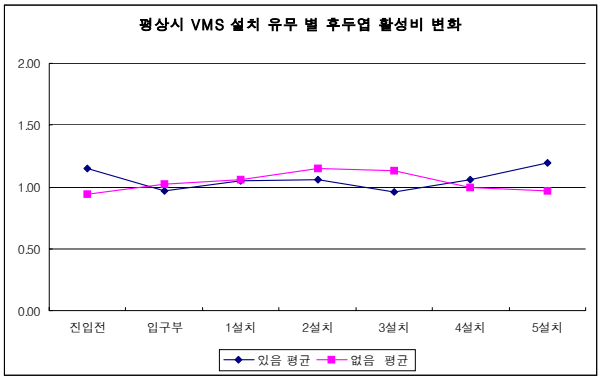

그림 11. VMS 유 · 무별 후두엽 활성비 구간별 변화

표 27. VMS 유 · 무별 후두엽 활성비 평균 및 표준편차

	후두엽	
	VMS 있음	VMS 없음
평균	1.06	1.04
대표 값 표준편차	0.09	0.08

4. 결론 및 향후 연구과제

현재 운전자는 보다 안전하고 쾌적한 도로환경에 대한 요구가 늘어나고 있다. 이에 본 연구에서는 새로운 터널 주행환경이 운전자에게 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 시뮬레이터를 이용한 가상실험을 통해 운전자 및 차량주행특성을 분석하였다.

분석에 있어 주관적 설문조사를 통해 운전자의 심리적인 경향을 알아보고, 부가적으로 안구운동(주시영역분포)과 뇌파신호(전두엽, 후두엽)를 수집하여 터널 조건에 기인한 특징 및 경향을 분석하였다.

본 연구는 터널의 내벽디자인 조건(청록색, 황노색, 2km색변화, 무변화), LED램프 시선유도시설 설치 조건, 거리정보 제공 VMS설치 조건에 대한 시뮬레이션 시나리오를 제작하여 각 조건별로 운전자 측면의 안전성을 분석하였다.

내벽디자인 분석 결과 청록의 내벽디자인에 VMS시설이 설치되어 있는 상황에서 가장 긍정적인 결과가 도출되었고, 각 시설에 대해서는 청록 내벽디자인이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이와는 반대로 무변화 조건과 2km색변화 조건에서는 부정적인 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 안구운동과 뇌파 데이터에 대한 분석결과에서도 주관적 설문조사의 결과를 뒷받침하는 것으로 나타났다.

LED램프 시선유도시설에 대한 분석결과 시선유도시설이 설치되어 있는 조건이 심리적인 부분뿐만 아니라 생체신호에서도 도움이 되는 것으로 나타났으나, 시선유도시설물에 대한 일부 개선이 필요한 것으로 나타났다.

끝으로 VMS시설에서는 실험참여자들의 주관적 설문조사 결과 도움이 된다고 하였으며, VMS설치 간격이나 정보량에 대해서도 적절한 것으로 조사되었으며, 뇌파반응 결과에서도 설문조사 결과와는 일치한 결과를 도출하였다.

본 연구 결과 장대터널 설계시 내벽디자인은 청록 조건이며, 교통안전시설로 LED램프가 설치되어 있으며, 교통관리시설로 터널의 거리를 제공하는 VMS가 설치된 터널을 제시할 수 있다. 이러한 조건이 수행된 터널은 운전자에게 더욱 안정된 주행을 제공할 수 있을 것이다.

한편 본 연구의 한계와 향후 수행해야 할 연구 과제를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 실내 모의실험에 의한 접근방법으로 현장을 직접 모사하지 못하는 실험결과만을 제공하였다. 즉, 운전자의 실제 주행에서 오는 실제 운전부하, LED램프와 VMS시설의 현실성 등을 고려하지 못하는 제한점이 있다.

둘째, 채택된 실험참가자 10인(남9, 여1)은 전체 운전자인 모집단을 대표하는 선택 집단으로 보기 어렵다. 만약 모형상에 실험참가자의 나이 및 연령, 운전경력 등의 운전자의 개인 특성변수가 채택되었다면, 이에 대한 간접적인 보정이 가능하나 이러한 변수가 선택되지 못하였다. 따라서 추후 더 많은 실험참가자에 대한 실험을 통해 전체 운전자를 대표하는 객관적인 모형으로의 발전을 모색해야 한다.

이러한 실험적 한계에도 불구하고 본 연구는 장대터널 등 현실적으로 실험이 불가능한 부분에 대하여 시뮬레이터를 이용하여 설계중인 도로에 대한 사전 검증을 하였다는데 그

의의가 있다고 할 수 있다.

참고 문헌

건설교통부, "도로안전시설 설치 및 관리지침-통합 편", 2002.

건설교통부, "도로설계편람", 1999.

한국도로공사, "2005 고속도로 교통량 통계", 2006.

한국도로공사, "도로설계요령", 1992.

정봉조, 박재범, "운전자 행동 및 반응 검지차량을 활용한 도로 위험구간 판별기법 적용연구", 2002.

한국도로공사, "터널구간 조명 및 교통안정성 개선방안 수립 및 기초연구", 2003.

김주영, 장명순, 고속도로 합류부에서의 운전자의 심리 · 생리적 작업부하 연구. *대한교통학회지* 제17권 제2호. 1999.

이순철, 신용균, 오애령(1995). 속도증가에 따른 운전자 반응특성. *교통안전연구논집* 제14권.

엄기수, 박근상 조명의 심리적 영향을 고려한 동적조명 설계, *한국조명 · 전기설비학회지*.

김종민 외 2인, "교통기능면에서 본 터널 입구에 관한 연구(3) 드라이빙 시뮬레이터를 이용한 실내 실험의 신뢰성 평가 및 실험 방법 검토", (위탁) 일본도로공단시험연구소 (재) 재해과학연구소, 1998

Amundsen, F. H., "Driver Behaviour in Norwegian Road Tunnels", Toward a Deeper Understanding. Directorate of Public Roads, Oslo, 1992

Bampfylde, A. P., Porter, G. J. D. & Priest, S. D., "speed/flow relationships in road tunnels. traffic Engineering and Control", Aug./Sept., pp 377-382, 1978.

Blaauw, G. J. & Leebeek, "Verkeersvoorzieningen bij het aquaduct in Rijksweg 4[Traffic management at the aqueduct in Highway 4] (Memo IZF June 1974)", Soesterberg: The Netherlands: TNO Instiute for perception., 1974.

Blaauw, G. J. & Van der Horst, A. R. A., "Lateral positioning behaviour of car drivers near tunnels - Final Report(Report IZF 1982 C-30)", Soesterberg: The Netherlands: TNO Institute for Perception., 1982.

Brookhuis, K. A., De Waad. D. and Mudler, L. J. M., Measuring driving performance by car following in traffic, *Ergonomics*, 1993.

Bourdy, C. et al., Visibility at a tunnel entrance: effect of temporal adaptation, Lighting Res. *Technol*. 19, 35-44, 1987.

H. W. BODMANN., Illumination levels and visual performance, *International Lighting Review*, Vol 13, 1962.

Martens, M. H. and Kaptein, N. A., "Effects of tunnel design characteristics on driving behaviour and traffic safety: a literature review", Report TNO Human factors Research Institute(TM-97-B005). Soesterberg: The Neterlands., 1997.

Ray Fuller & Jorge A. Santons, Human Factors for highway Engineers, Elsevier *Science*, 2002.

R. Cooper, "EEG Technology third edition", Butterworths, 1980.

Schreuder, D. A., "Lighting for Safety[Openbare verlichting voor verkeer enveiligheid)", London, UK: Thomas Telford., 1996.

W. Adrian, A method for the design of tunnel entrance lighting, *Journal of the Illuminating Engineering Sociery*, winter, 1990.

Wilson, J. R. & Rutherford, A. mental models : Theory and application in human factors, *Human Factors*, Vol 31 No 6, 1989.

Wickens, C. D. "Engineering psychology and human performance, Charles E". Merrill Publishing Company, 1992.

부 록 1

각 케이스 종료 후 주관적 설문조사

1. 운전할 때 터널환경에서 심리적 안정감을 느낀 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

2. 운전할 때 터널환경에서 졸음을 느낀 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

3. 운전할 때 터널환경 때문에 눈의 피로를 느낀 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

4. 운전할 때 터널환경 때문에 안전하다고 느낀 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

5. 운전할 때 터널환경 때문에 불안하다고 느낀 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

6. 운전할 때 터널환경 때문에 지루하다고 느낀 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

7. 운전할 때 터널환경 때문에 긴장의 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

8. 실제로 이와 같은 터널을 운전한다면 터널환경 때문에 위험하다고 느껴지는 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

9. 실제로 이와 같은 터널을 운전한다면 터널환경 때문에 안전하다고 느껴지는 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

10. 터널출구가 보이기 시작했을 때 느껴지는 편안함 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

11. 터널출구가 보이기 시작했을 때 느껴지는 해방감 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

12. 터널을 통과하면서 터널환경 때문에 빨리 통과하고 싶었던 정도는

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

부 록 2

모든 실험 종료 후 주관적 설문조사

◆내벽디자인 간 비교◆

1. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 심리적인 안정감을 느꼈습니까?
2. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 심리적인 안정감을 느끼지 못했습니까?
3. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 졸렸습니까?
4. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 졸리지 않았습니까?
5. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 눈의 피로가 가장 덜했습니까?
6. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 눈의 피로가 가장 심했습니까?
7. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 안전하다고 느껴졌습니까?
8. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 안전하지 않다고 느껴졌습니까?
9. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 지루했습니까?
10. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 지루하지 않았습니까?
11. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 긴장했습니까?
12. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 긴장하지 않았습니까?
13. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 위험하다고 느껴질 것 같습니까?
14. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 때문에 가장 안전하다고 느껴질 것 같습니까?
15. 어느 조건을 운전할 때 내벽디자인 중 어느 것을 선택하겠습니까?
16. 실제로 터널을 운전한다면 내벽디자인 때문에 어느 것을 피하고 싶습니까?

◆LED 유 · 무 간 비교◆

1. LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 도로에서 안정감이 더 느껴졌습니까?
2. LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 도로에서 졸림이 더 느껴졌습니까?
3. LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 도로에서 안전감이 더 느껴졌습니까?
4. LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 도로에서 불안감이 더 느껴졌습니까?
5. LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 도로에서 지루함이 더 느껴졌습니까?
6. LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 도로에서 긴장감이 더 느껴졌습니까?
7. 실제로 운전한다면 LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 조건을 운전할 것입니까?
8. 실제로 운전한다면 LED가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 어느 조건에서 더 위험하다고 느껴질 것 같습니까?

◆VMS 정보 유 · 무 간 비교◆

1. VMS가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 조건에서 더 안정감을 느껴졌습니까?

2. VMS가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 조건에서 더 졸음이 느껴졌습니까?
3. VMS가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 조건에서 더 안전하다고 느껴졌습니까?
4. VMS가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 중 어느 조건에서 더 긴장했습니까?
5. 실제로 운전한다면 VMS가 설치된 도로와 설치되지 않은 도로 어느 조건에서 더 위험하다고 느껴질 것 같습니까?
6. 실제로 선택하여 운전할 수 있다면 어느 조건을 선택하겠습니까?
7. VMS(거리정보) 정보의 유익한 수준은 어느 정도였습니까?

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

8. VMS(거리정보) 정보길이는 어느 수준이었습니까?

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

9. VMS(거리정보) 정보의 출현 간격은 어느 수준이었습니까?

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

10. VMS(사고정보) 정보의 유익한 수준은 어느 정도였습니까?

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

11. VMS(거리정보) 정보길이는 어느 수준이었습니까?

낮음	조금낮음	보통	조금높음	높음

12. VMS(거리정보) 정보의 출현 간격은 어느 수준이었습니까?

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 형 진 ❖ jehskill@paran.com
한양대학교 산업공학과 석사
현 재: 한국도로공사 도로교통기술원 교통연구실 연구원
관심분야: 인체공학, 인지심리학, 교통안전

❖ 황 경 주 ❖ elliswonberland@ex.co.kr
서울시립대학교 교통공학과 석사
현 재: 한국도로공사 도로교통기술원 교통연구실 연구원
관심분야: 교통안전, 교통공학, 인지심리학

❖ 신 현 주 ❖ shjoo0907@hanyang.ac.kr
한양대학교 산업공학과 박사과정
현 재: 한양대학교 산업공학과
관심분야: 인체공학, 생체신호, 인지심리학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 01월 11일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 05월 15일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 05월 21일