

■ 論 文 ■

장대터널에서의 운전자 시각각성변화 분석연구 (육십령터널을 대상으로)

Analyzing drivers' visual response variation in very long expressway tunnel ;
the Yuksimnyeong tunnel

김 주 영

(교통안전공단 교통안전연구원
선임연구원)

김 현 진

(교통안전공단 교통안전연구원
선임연구원)

장 명 순

(한양대학교 교통시스템공학부
교수)

목 차

- | | |
|--|---|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구의 배경 2. 연구의 목적 <p>II. 문헌고찰</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 터널구간 주행특성 2. 터널구간에서의 교통특성 및 운전자 반응 <p>III. 자료수집</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구대상구간 선정 | <ol style="list-style-type: none"> 2. 피실험자 선정 3. 자료수집 및 분석방법 <p>IV. 자료분석 결과</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 터널 진입구간에서의 반응분석 2. 장대터널내에서의 반응분석 3. 장대터널내에서의 구간별 반응변화 분석 <p>V. 결론
참고문헌</p> |
|--|---|

Key Words : 장대터널, Human Factor, 생체신호, 뇌파, 운전자
long tunnel, Human Factor, Biosignal, beta wave, driver

요 약

본 연구에서는 중부고속도로 대전~통영구간의 장대터널인 육십령터널(L=3.1km)을 대상으로 터널진입부에서부터 터널구간주행을 포함한 터널 진출부까지의 운전자의 시각적 각성수준(Workload)변화를 뇌의 후두엽부분의 생체신호 중 베타파를 이용하여 분석하였다. 실험에 참여한 피실험자는 총 10명으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 운전자의 시각적 각성수준은 터널 진입전 200m지점과 비교시 터널입구에서는 약 41% 증가하는 것으로 나타났다. 둘째, 장대터널내에서 주행중인 운전자의 시각 각성값은 터널진입전 200m 지점과 비교시 34.5%증가하였다. 셋째, 장대터널구간을 200m 단위구간으로 나누어 분석한 결과 터널진입후 1.0km구간과 2.4km구간에서 타 구간과 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 장대터널내에서 운전자는 안전한 운전을 위해 평균적인 시각 각성수준을 유지한다고 가정할 때, 시각 각성수준이 터널주행시의 평균수준 이하로 내려간다는 것은 적절한 주행상황이라고 볼 수 없다. 따라서 이 구간은 터널을 주행 중인 운전자가 교통사고를 유발할 수 있는 개연성이 존재하는 지점으로 볼 수 있다.

This research analyzed the changes of drivers' visual workload with beta wave of bionic signals from brain's occipital lobe from entrance to exit section of the Yuksimnyeong tunnel which is 3.1km long in Daejeon-Tongyeong section of Jungbu expressway. There are 10 subjects who participate our experiments and the results are as follows.

First, the drivers' visual workload is higher about 41% in entrance section of the tunnel than 200m in advance of the section of the tunnel. Second, it is higher than 200m in advance of the section of the tunnel by 34.5% that the value of the drivers' visual workload who is driving in the tunnel. Third, as a result of analyzing the tunnel into 200m unit section, it is statistically different from other sections' at the 1.0km and 2.4km section from the entrance of the tunnel. If drivers sustain average visual workload for safe driving in very long tunnel, it's not desirable environment that drivers' visual workload goes under the average workload. Therefore, it would be the section where drivers who is driving in tunnel could cause a traffic accident.

1. 서론

1. 연구의 배경

우리나라는 국토의 70%가 산지 및 구릉지로 구성되어 있다. 도로선형을 직선화하고 환경 친화적인 도로건설이 대두되면서 서울외곽순환고속도로 및 신설 민자고속도로, 국도 등에서 터널이 계속 증가하는 추세에 있고 도로설계 시 기본 및 실시설계단계와 노선선정과정에서도 독립된 장대터널이나 연속되는 터널이 상대적으로 증가하고 있는 실정이다. 이로 인해 터널의 개소수가 지속적으로 증가하여 고속도로의 경우 1995년 54개소이던 것이 2003년 274개소, 2007년 496개소로 증가하였으며 터널연장 또한 1994년 26,697m에서 2007년 388,997m로 90% 이상 증가되었다.(건설교통부 도로환경팀, 2008)

최근 들어서는 터널공법기술과 도로설계기술의 비약적인 발전으로 인하여 1.5km 이상의 연장을 가진 장대터널이 꾸준히 늘고 있다. 2007년을 기준으로 국내의 고속도로 장대터널은 총 30개소로 평균연장은 2.44km이며, 이 중 최연장 고속도로 터널은 죽령터널로 연장이 무려 4.6km에 이른다.

장대터널은 도로시설물로서의 기하구조적 특징으로 인해 한번 진입하여 터널로 들어서게 되면 최소 1.5km 이상을 터널 내에서 계속 주행하게 되어 기존의 보통터널과 달리 다양한 운전자 부작용을 낳을 수 있다고 보고되고 있다.(K. Jurgen Bieger, 1999) 특히 국내에서도 도로관리청 홈페이지 민원게시판에 장대터널을 주행 중인 운전자가 운전중의 환각증세를 호소한 사례가 있어 장대터널에 대한 다양한 연구가 필요한 시점이라 하겠다.

2. 연구의 목적

운전자가 운전 중 받아들이는 정보의 약 80% 이상이 시각정보일 정도로 운전자의 시지각 활동의 변화는 매우 중요한 요소이다.(남궁문(1996), Bosurgi G.(2005)) 특히 터널전방에서는 터널입구가 블랙홀처럼 보여 터널로의 진입 시 운전자의 긴장감이 고조되며, 터널입구에서의 어두움에 대한 적응이 늦어지게 되어 잠깐동안 주행에 필요한 정보획득이 불완전한 상태가 된다. 그러나, 기존연구에서는 터널구간에서의 속도저하 및 용량감소 등 교통특성 변화에만 관심을 가져왔을 뿐이며 최근 들어 시지각 활동에 대한 객관적인 측정이 가능함에 따라

운전자의 시지각에 대한 관련연구가 다양하게 수행되고 있다.

특히 장대터널의 개소수 및 연장은 증가추세에 있으므로 도로설계시에 터널설계와 관련된 기하구조적 특성인 터널내 도로의 곡선반경, 차로수, 터널 진입부 및 진출부 설계공법, 환기팬 설치, 조명등의 종류 외에도 실제로 터널을 주행하는 운전자의 주의력을 향상시키는 시설물, 터널내 사고시의 정보체계, 주행특성, 표지판 설치, 터널의 연속설치 등에 대해서는 관련연구가 확대되어야 할 필요가 있다고 하겠다.

이에 본 연구에서는 중부고속도로 대전~통영구간에 위치한 장대터널인 육십령터널을 대상으로 실제 현장주행실험을 실시하였으며, 운전자 뇌파 중 베타파를 이용하여 운전자의 시각 각성량(Workload)을 정량화함으로써 터널진입에서부터 장대터널을 주행중인 운전자의 반응변화를 분석하였다. 본 연구에서는 터널을 주행 중인 운전자는 안전한 운전을 위해 터널내에서 일정수준의 시각 각성수준을 유지한다고 가정하였고, 장대터널로 인한 운전자의 반응변화를 분석·제시함으로써 장대터널 설계 등을 위한 기초자료를 제공하는데 연구의 목적이 있다.

본 논문에서 사용한 용어를 정리하면 아래와 같다.

- 각성수준(workload) : 작업부하라고도 하며 외부 작업시, 한사람이 감수해야 할 능력을 의미하며 인적능력과 작업에서 요구하는 정도와 관련이 된다고 말할 수 있다. 즉, 어느 작업에서 요구되는 자원이 적정 수준 이상으로 많아질수록 작업부하량은 증가되고 작업의 수행도는 떨어지게 되는 것이다.(이근희(1994), Charles E.(1984))
- 후두엽(Occipital lobe) : 두뇌의 각 부분은 인간의 지각 및 반응에 대해 고유한 영역을 갖는데, 후두엽 부위는 시각정보처리(visual information)를 관할하는 부위로 머리 뒷부분에 위치하고 있다.(R. Cooper, 1980)
- 베타파(β wave) : 두피에 전극을 부착하여 유도한 뇌파신호를 주파수대별로 분리하여 α 파, β 파, δ 파, θ 파로 보통 구분하며 이 중 베타파는 2~20 μ V의 진폭과 14~30Hz의 주파수를 갖는 파형으로 주로 정신적이거나 신체적인 활동이 활발해 질 때 나타나는 파형이다.(R. Cooper, 1980)
- 분산분석(ANOVA, Analysis of Variance) : 세 집단 이상의 집단 평균치 차이를 검정하고자 사용하는 통계적 기법으로 독립변수가 두 가지 값을 가지는

경우에 적용하는 t-검정도 일원분산분석법(one-way ANOVA)의 일종이다.(정영해 외, 1998)

- Duncan test : 분산분석에서 유의한 결과가 나온 경우 과연 어느 집단과 어느 집단간에 차이가 있는지 알아야 할 때가 많다. 전체적으로 유의수준을 유지하면서 집단간의 비교를 하는 것을 다중비교라고 하는데, LSD test, Scheffe test, Tukey test, Duncan test가 많이 쓰인다. 이 중 Duncan test는 검정력이 높고 유의한 결과를 상대적으로 쉽게 얻을 수 있는 방법이다.(정영해 외, 1998)

II. 문헌고찰

1. 터널구간 주행특성

주행 중인 차량이 터널부 접근 시에는 터널구간의 기하구조(종단구배, 터널 전방의 곡선반경, 터널 길이, 터널내부의 총 폭, 터널내의 조도 등)와 터널에 대한 운전자의 심리적인 요인 등에 의해 속도저하 및 용량감소 현상으로 차량의 지체를 유발하게 된다. 터널입구 부근에서 속도저하 및 용량감소 현상을 일으키는 요인을 살펴보면 다음과 같다.(장현봉(1998), 정충근(2002))

- 터널전방에서는 터널입구가 블랙홀(Black hole)처럼 보여 터널진입시 긴장감이 고조된다.
- 터널진입부에서는 어두움에 대한 적응이 늦어지므로 잠깐동안 주행에 필요한 정보획득이 불완전한 상태가 된다.
- 길어깨 폭, 시계(視界), 측방여유폭이 좁아지며 압박감이 생긴다.
- 장시간 터널 내 주행은 운전자에게 압박감 및 폐쇄감을 주어 심리적으로 불안한 상태가 된다.

터널진입부에서는 밝은 곳에서 어두운 곳으로 이동함에 따라 어두움에 적응하는 단계인 암순응 과정(Dark adaptation)을 거치게 되며, 급격한 명암 반응의 변화는 순응에 장애를 일으킬 수 있다. 또한 어두운 곳에서 밝은 곳으로 나올 때에는 밝음에 순응하는 명순응(Light adaptation)과정이 있으며, 의학적인 측면에서 완전히 회복되는데 필요한 시간은 약 30~40초가 소요된다.

2. 터널구간에서의 교통특성 및 운전자 반응

유경수외(1995)는 터널이 속도저하에 미치는 영향을

분석하였으며 터널로 인한 속도감소는 단순한 오르막경사 구간보다 더 크게 나타난다고 주장하였다. 특히 터널부 지체추정 모형을 개발하여 적용한 결과, 터널진입부의 속도감소는 터널전방 종단구배, 곡선반경, 터널연장에 의해 가장 크게 영향을 받음을 증명하였다. 김호영(1999)은 운전자의 시각행태를 분석할 수 있는 TALK EYE장비를 이용하여 고속도로 터널구간에서의 운전자 시각반응을 분석하였다. 연구결과, 터널진입후 200m 사이에서 주행속도, 좌·우 주시영역 폭, 동체속도가 최저가 되며, 고속도로 터널구간에서 나타나는 조도의 변화, 측방여유폭의 감소, 암순응 등의 과소부하(Under load)는 좌·우 주시 영역 폭을 좁아지게 하고 동체속도를 감소하게 하며, 이것은 운전자의 운전수행 능력을 저하시켜 주행속도를 감소시킨다고 하였다.

D. Diamantidis 외(2000)는 장대터널에서의 안전에 관해 언급하면서 안전성 결정도구로서 장대터널에서의 위험분석인자들로 터널길이 등을 서술하였다. Hirata and Yai(2005)는 도시부 연속류 구간에 설치된 지붕형식의 터널에서의 운전자 인지정도를 컴퓨터 드라이빙 시뮬레이터를 제작하여 분석하였다. 지붕형식 터널내 분석결과 분류부 및 합류부의 중간 직선주행구간에서 운전자의 인지력이 저하되는 것을 밝혔다. 그리고 운전자의 인지력이 저하되는 구간인 분류부에서 오디오정보를 제공할 경우 운전자의 인지력이 복원되는 것을 밝혔다. 신용균외(1996)는 터널 진입전 200m 지점과 터널진입후 운전자의 운전행동 및 생리반응을 연구하였는데 터널구간에 진입후 운전자의 중추신경계 및 자율신경계가 터널 진입전에 비해서 활성화 된 것으로 나타났으며, 터널내에서의 주행속도는 터널구간에 따라 다르나 터널구간 진입후 부터 속도가 감소하다가 터널 중간지점을 지나면서 완만한 속도의 상승을 보이면서 터널후반부에서 주행속도가 뚜렷이 증가하는 추세를 나타내는 것을 증명하였다. 김종민(2006)은 터널시뮬레이터 실험을 통해 운전자 및 차량 주행특성을 주관적 설문조사와 생체 반응자료를 수집하였다. 운전자는 터널진입시와 터널내에서 심리적 압박감이 발생하였으며, 폐쇄된 터널특성으로 인해 시각적 피로를 느끼는 것으로 분석하였다. Bosurgi G.(2005)는 운전자의 행동에 따른 눈동자의 움직임을 시각부하기준(the visual load index)으로 표현하여 운전자를 설명하는 주요요인으로 시각의 중요성을 증명하였다.

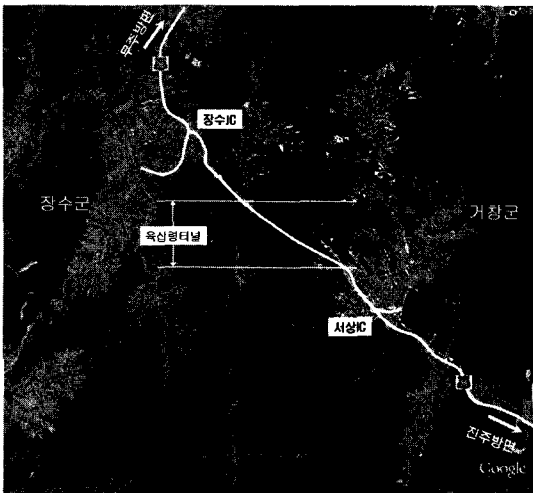
〈표 1〉 육십령터널의 기하구조 특성

터널명	위치	평면선형	종단경사(%)	개문형식		노선	이정(km)
				시점	종점		
육십령터널	전라북도 장수군 장계면	직선 (L=3.170m)	±0.8	벨마우스	벨마우스	통영대전 중부고속도로	128.1

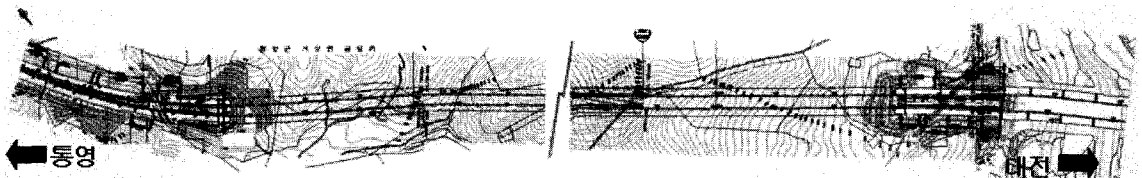
III. 자료 수집

1. 연구대상구간 선정

현장실험을 위한 터널 대상구간은 터널길이 및 연구



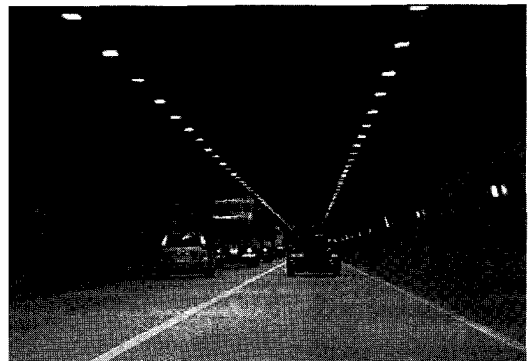
〈그림 1〉 연구대상구간 위치도



〈그림 2〉 육십령터널의 기하구조



〈그림 3〉 육십령터널 진입부



〈그림 4〉 육십령터널 내부

의 시·공간적 제약을 고려하여 아래와 같은 기준으로 결정하였다.

- ① 터널연장은 1.5km 이상의 충분한 연장을 가져야 함
- ② 데이터 수집의 용이성
- ③ 가까운 거리에 틀게이트가 있어 현장주행실험의 용이성
- ④ 운전자의 각성변화에 영향을 크게 미치지 않는 구간(표지판이 과도하게 설치되거나 사고발생과 같은 이벤트가 발생하지 않는 구간)
- ⑤ 교통량의 변화가 크지 않아 교통량으로 인한 각성 변화가 크지 않은 구간

이러한 조건을 고려하여 중부고속도로 대전~통영구간의 터널 중 육십령터널을 선정하였으며, 〈표 1〉, 〈그림 1〉, 〈그림 2〉는 터널의 기하구조 특성 및 위치를 나타내고 있다. 육십령터널은 종단경사가 ±1% 내외이며, 평면선형은 연장이 3.1km의 직선도로로 설계되어 있으며 〈그림 3〉, 〈그림 4〉에서 보듯이 상·하행 분리 형태의 터널로 각각 편도 2차로로 구성되어 있다.

〈표 2〉 피실험자 특성자료

구분	나이(세)	신장(cm)	체중(kg)	운전경력(년)
피실험자 1	33	167	68	2
피실험자 2	29	172	67	6
피실험자 3	29	170	60	2
피실험자 4	44	177	80	8
피실험자 5	44	176	70	4
피실험자 6	46	175	63	20
피실험자 7	34	176	76	12
피실험자 8	59	162	58	30
피실험자 9	39	182	71	15
피실험자 10	35	169	59	8
평균	39.2	172.6	67.2	10.7



〈그림 5〉 실험중인 피실험자 모습

2. 피실험자 선정

모평균의 추정에 있어서 표본의 크기가 작고 모집단이 정규분포를 따른다고 확신할 수 없는 경우 신뢰도도가 정확하다고 볼 수 없다. 그러나 표본의 크기가 30 이상인 경우에는 모집단이 어떠한 분포를 따르더라도 통계적으로 유의한 수준을 만족할 수 있는 것으로 알려져 있다. 사람을 대상으로 하는 Human Factors 분야의 연구에 있어서는 데이터 수집의 어려움으로 인해 5~10명 내외의 피실험자를 대상으로 자료를 수집, 분석하는 것을 인정하고 있다¹⁾. 따라서 본 연구에서는 10명의 피실험자를 대상으로 현장 주행실험을 실시하였다.

고속도로에서 운전 중인 운전자에게서 계측장비를 이용하여 데이터를 수집하는 것은 교통 안전상 위험요인이 될 수 있어 피실험자는 가능한 운전경력이 많은 운전자를 선정하였다. 피실험자들은 자의적으로 실험에 참여하였으며 실험에 대한 대가는 지불되지 않았다.

피실험자는 과거에 뇌질환이나 심장질환으로 인해 입원하거나 치료를 받은 적이 없고, 색맹, 색약 등 시각 기능에 이상이 없는 신체 건강한 정상인을 대상으로 하였다. 실험실시 전에는 약물복용이나 흡연, 커피, 알코올(술)을 복용하지 않도록 하였으며, 피실험자는 피로가 누적되지 않은 상태에서 실험에 참여하도록 하였다. 또한 피실험자는 과거의 사고나 운전경력 등을 고려하여 선정하였다. 본 연구에서는 피실험자 배치에 있어 성별 및 연령에 대한 운전자의 반응차이를 고려하지 않았으며, 실험에 참여한 피실험자의 특성자료는 〈표 2〉와 같다.

3. 자료수집 및 분석방법

실험은 주행조건이 양호한 맑은날 평일 14:00~18:00 시간대에 수행되었으며 자료수집시의 교통량 조

건은 서비스 수준 "C"수준이었다. 실험차량은 주행차로인 2차로로 주행토록 하였으며, 주행속도는 최고제한속도인 100km/h로 주행토록 하였다.

피실험자가 도착하면 먼저 피실험자에게 본 실험의 목적과 절차를 간략하게 설명하고, 실험과 관련된 주의사항을 설명하였다. 그리고 피실험자의 인체계측자료(키, 몸무게)를 측정하고, 실험과 관련된 운전경력, 주관적인 건강상태, 주관적인 심리상태 등에 관한 설문조사를 실시하였다.

생체신호 측정장비를 차량에 설치하고 신호수집을 위한 센서를 부착한 뒤 운전자의 거부반응이 없도록 충분한 휴식시간을 주었다. 생체신호 측정장비로는 Biopac사의 뇌파측정장비(MP100SWS)를 이용하여 자료를 수집하였다.〈그림 5〉

구두를 통해 운전자가 충분한 안정을 찾은 경우 안정상태의 운전자 생체신호를 5분 이상 수집하였다. 안정상태에서 수집된 생체신호는 Normalization 분석과정에서 사용되며 이러한 과정을 통해 개개인의 차이를 없앨 수 있다.(식2) 실험은 장수IC에서 출발하여 육십령터널을 지나 서상IC에서 복귀하는 과정으로 진행하였다.

수집 자료에는 생체신호(뇌의 후두엽 뇌파)와 실험차량의 속도, 주변 주행환경 자료를 수집하였다. 뇌의 후두엽은 시각적인 정보처리 감각영역으로 알려져 있어(R. Cooper(1980), 김주영(1999), 정봉조(2002)) 본 실험의 목적에 부합되어 선정되었다. 본 연구에서 수집된 생체신호의 정량화 방법은 FFT(Fast Fourier Transform) 분석을 통하여 뇌파의 주파수 대역별로 상대 파워스펙트럼 값(식(1))을 구하고 이 중에서 운전자의 각성과 관련

1) Helander 외, Usability Engineering : Our experience and evolution, Elsevier North-Holland, 1985

을 가지는 것으로 알려진 베타파 값을 분석하였다. 분석 파라미터로는 상대 파워스펙트럼 분석에서 얻어진 값을 Normalization 분석하여 얻어진 값(식(2))을 사용하였다. 자료수집 및 분석과정에서 최대값 및 최소값을 제거하는 노이즈 필터링을 포함하였다.(정봉조, 2003) 분석은 7.2초(약 200미터 주행거리)를 단위로 분석하였다.(식(3))

$$R_{power} = \frac{E_{power}}{\sum(A_{power})} \quad (1)$$

여기서, Rpower : 상대 파워스펙트럼 값
 Epower : 특정 파워스펙트럼 값
 Apower : 모든 파워스펙트럼 값

$$N_p = \frac{P_{driving}}{P_{resting}} \quad (2)$$

여기서, Np : Normalization 값
 Pdriving : 운전상황 생체신호 값
 Presting : 무자극시 생체신호 값

$$N_n = 7.2sec \times n (n = 1, 2, 3...) \quad (3)$$

여기서, Nn : 분석기준 시간
 n : 상수(n=1,2,...)

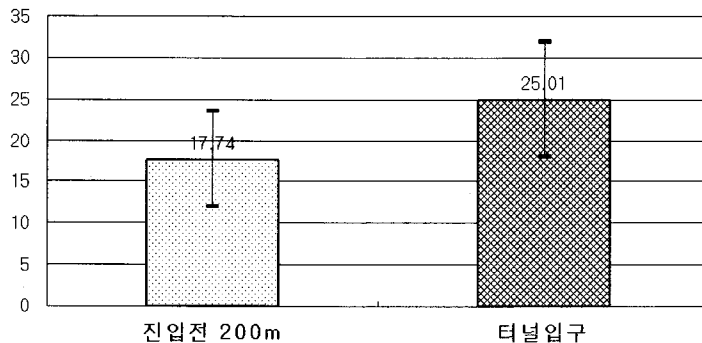
IV. 자료분석 결과

1. 터널 진입구간에서의 반응분석

육십령터널을 주행하는 운전자 시각수준반응은 터널 진입전 200m 지점과 터널입구에서 <그림 6>과 같으며 피실험자 총 10명의 평균값이다. 분석결과 운전자 시각수준변화량은 터널 진입전 200m 지점에서 17.74로 나타났으며 터널입구에서는 25.01로 나타나 약 41%의 증가를 보이는 것으로 나타났다. 이 차이는 일원분산분석법을 통해 분석한 결과, 통계적으로 유의하게 나타났으며 그 분석결과는 <표 3>에 제시하였다.

2. 장대터널내에서의 반응분석

육십령터널로 진입하여 터널내를 주행 중인 운전자의 시각수준반응을 분석하였다. 터널내부 주행평균값은 23.86으로 터널 진입전 200m 지점의 반응값 17.74보다 34.5% 높았으며 집단간의 차이를 보기위한 분산분석 및 Duncan test 결과, A그룹과 B그룹이 터널진입전 200m 지점과 장대터널내로 구분되어 통계적으로 유의하였다. 터널 진출후 200m 지점의 반응값은 20.63으로 터널주행 구간보다 15.6% 낮은 것으로 나타났으나 Duncan test 결과에서 통계적으로는 유의하지 않게 나타났다. 분석결과는 <그림 7>과 <표 4>, <표 5>에 제시하였다.



<그림 6> 터널 진입구간에서의 운전자 시각수준 변화

<표 3> 터널 진입구간에서의 운전자 반응 통계분석 결과

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	1	389.5182163	389.5182163	9.60	0.0037**
Error	38	1542.5327655	40.5929675		
Total	39	1932.0509818			

주) **: significant in level of 0.05

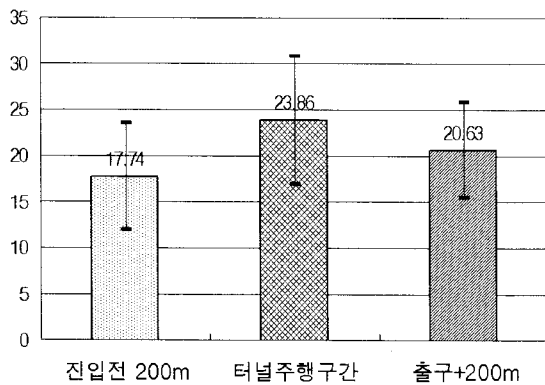
〈표 4〉 터널내의 운전자 반응 분산분석 결과

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	2	867.1250712	433.5625356	9.44	0.0001**
Error	377	17316.2570138	45.931716		
Total	379	18183.3820850			

주) ** : significant in level of 0.05

〈표 5〉 Duncan Test 분석결과

Duncan Grouping	Mean	n	대전방면 Section
A	17.737	20	터널 진입전 200m지점
B	23.863	340	장대터널내
A B	20.635	20	터널 진출후 200m지점



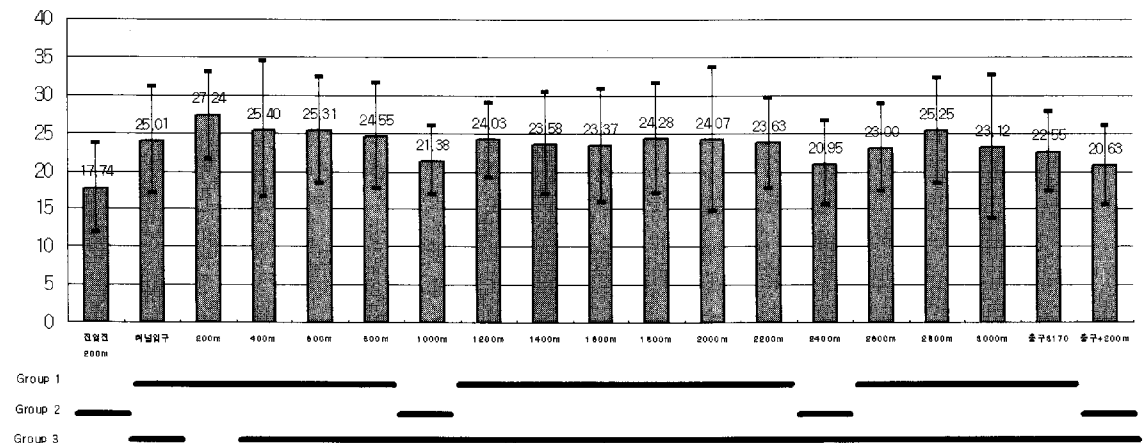
3. 장대터널내에서의 구간별 반응변화 분석

육십령터널 주행시 터널진입부터 터널진출까지의 운전자 시각수준반응을 약 200m 단위구간(7.2초)으로 나누

어 비교분석하였다. 통계적으로 어느 지점에서 차이가 나기 시작하는지를 분석하기 위하여 분산분석과 Duncan Test를 수행하였다. 그 결과는 〈표 6〉과 〈표 7〉에 제시하였다.

〈그림 7〉은 터널구간내에서의 각성변화를 종합하여 그래프로 나타낸 것이며, 터널진입후 1.0km구간과 2.4km구간에서 운전자가 장대터널에서 갖는 평균각성(Value=23.86)보다 낮게 나타났으며 이는 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다. 추가적으로 각 집단들의 분산동질성을 확인하기 위한 leven의 등분산 검증결과 등분산 가정을 만족했기 때문에(P).05) 통계적으로 집단간의 비교가 가능한 것으로 나타났다.

분산분석 결과 F-통계량의 값이 0.05보다 작기 때문에 19개구간에 차이가 있는 것으로 해석되며, 어느 구간과 어느 구간 간에 차이가 있는지 알기위해 다중비교 방법중 Duncan test를 실시하였으며, 〈표 7〉의 Duncan Grouping에서 보듯이 3개의 그룹(〈표 7〉에서 A, B, C그룹)으로 집단이 분류되었으며 이 중 C그룹(〈그림 8〉에서 Group 2)은 1.0km, 2.4km구간(〈표 7〉에서 A그룹과 C그룹이 서로 겹치지 않는 구간)에서 타그룹(A그룹과 B그룹)과 유의미한 결과를 보였다.



* Group 1, 2, 3은 〈표 7〉의 Duncan Grouping결과(A, C, B)를 막대로 표시한 것임

〈그림 8〉 터널내에서의 구간별 운전자 시각수준 변화

〈표 6〉 터널내에서의 구간별 운전자 반응 분산분석 결과

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	18	1598.456964	88.80316	1.93	0.0128**
Error	361	16584.925121	45.941621		
Total	379	18183.382085			

주) **: significant in level of 0.05

〈표 7〉 Duncan Test 분석결과

Duncan Grouping	Mean	n	대전방면 Section
C	17.737	20	터널 진입전 200m
A B	25.010	20	터널입구
A	27.242	20	터널 진입후 200m
A B	25.398	20	터널 진입후 400m
A B	25.312	20	터널 진입후 600m
A B	24.545	20	터널 진입후 800m
B C	21.380	20	터널 진입후 1,000m
A B	24.031	20	터널 진입후 1,200m
A B	23.577	20	터널 진입후 1,400m
A B	23.368	20	터널 진입후 1,600m
A B	24.278	20	터널 진입후 1,800m
A B	24.071	20	터널 진입후 2,000m
A B	23.626	20	터널 진입후 2,200m
B C	20.954	20	터널 진입후 2,400m
A B	23.000	20	터널 진입후 2,600m
A B	25.252	20	터널 진입후 2,800m
A B	23.119	20	터널 진입후 3,000m
A B	22.548	20	터널출구
B C	20.635	20	터널 진출후 200m

V. 결론

우리나라는 산지 및 구릉지가 많아 도로설계·건설시 터널이 많으며 최근들어 최신기술의 터널공법들이 개발되면서 1.5km 이상의 장대터널이 증가하고 있는 실정이다. 운전자가 운전중 받아들이는 정보의 약 80% 이상이 시각 정보이며, 터널내에서 장시간 주행시 운전자는 환각증세를 일으키는 등 주행에 필요한 정보획득의 오류를 범할 수 있다고 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 중부고속도로 대전~통영구간의 장대터널인 육십령터널을 대상으로 터널 진입부에서부터 터널구간주행을 포함한 터널 진출부까지의 운전자 시각수준변화를 후두엽부위의 뇌파 중 베타파를 측정하여 분석하였다. 실험에 참여한 피실험자수는 총 10명으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 운전자의 시각 각성수준은 터널 진입전 200m 지점(value=17.74)에서 터널입구(value=25.01)까지 약 41% 증가하는 것으로 나타났다. 이는 운전자가

시각적으로 각성되는 양이 증가한 것으로 II.문헌고찰 -1.터널의 주행특성에서 제시한 기존의 연구결과를 살펴볼 때 터널입구의 블랙홀효과와 진입부 어두움에 대한 적응으로 불안정한 정보획득상태, 압박감 및 폐쇄감에서 그 원인을 유추할 수 있다.

둘째, 장대터널을 주행 중인 운전자의 평균 시각 각성값은 23.86으로 터널 진입전과 비교시 34.5%증가하여 장대터널 진입후 주행상황에서도 시각적 각성상태가 꾸준히 유지되는 것을 알 수 있다. 이 또한 터널의 기하구조(터널길이, 터널내부의 총폭, 터널내의 조도 등)와 터널주행에 대한 운전자의 심리적인 요인에서 그 원인을 유추할 수 있다.

셋째, 장대터널구간을 200m 단위구간(7.2초)으로 나누어 분석한 결과 터널 진입후 1.0km구간과 2.4km 구간에서 통계적으로 타 구간과 유의한 차이를 보였다. 이러한 차이는 앞서 설명한 바와 마찬가지로 터널의 기하구조와 터널주행에 대한 운전자의 심리적인 요인으로 인한 시각반응의 변화에서 그 원인을 유추할 수 있다. 이 구간은 도로의 선형변화 및 긴급대피로 등의 터널내부구조변화, LCD(Lane Control System)등의 표지판 및 안전시설, 환기팬 등이 설치되지 않아 운전자에게 시각적인 영향을 주지 않는 구간이다.

장대터널 내에서 운전자는 안전한 운전을 위해 평균적인 시각 각성수준을 유지한다고 가정할 때, 시각 각성수준이 터널주행시의 평균수준 이하로 내려간다는 것은 적절한 주행상황이라고 볼 수 없다. 따라서 이 지점은 터널을 주행 중인 운전자가 교통사고유발의 개연성이 존재하는 지점으로 볼 수 있다. 따라서 이 지점에는 터널내에 설치하는 줄음방지 시설 등 운전자의 각성상태를 호전시킬 수 있는 안전시설물, 차로제어시스템(LCS : Lane Control System) 및 부가적인 노면표시의 설치위치로 고려해볼 수 있을 것이다.

본 연구는 장대터널 중에서 육십령터널에 한정된 결과이므로 컴퓨터 드라이빙 시뮬레이터 등을 통한 장대터널연구 혹은 현재 고속도로 최장터널인 죽령터널(L=4.6km)등을 대상으로 운전자 각성변화에 대한 추

가적인 연구가 요구되며 다양한 운전연령층을 대상으로 한 연구도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부 도로환경팀(2008), "2007년 교량 및 터널현황", 건설교통부.
2. 정충근·서승환·원제무(2002), "연속터널구간에서 터널간격에 따른 속도변화특성에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.49~58.
3. 장현봉·장덕형(1998), "터널부 교통류 특성 및 용량 산정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제16권 제3호, 대한교통학회, pp.15~24.
4. 김호영(1999), "고속도로 터널구간에서의 운전자 시각행태 분석에 관한 연구", 명지대학교 공학석사 학위논문.
5. 유경수(1995), "고속도로 교통지체구간 개선방안 연구", 한국도로공사.
6. 신용균·이건호·강수철(1996), "고속도로 가하구조가 운전자 운전행동에 미치는 영향", 도로교통안전협회.
7. 김주영(1999), "고속도로 합류부에서 운전자의 심리·생리적 작업 부하 연구", 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.69~79.
8. 정봉조외(2002), "운전자 작업부하를 고려한 최장 허용 직선길이 결정에 관한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp17~26.
9. 남궁문·서승환(1996), "주행속도 및 시각밀도에 대한 운전자의 인지특성", 대한토목학회논문집, 16권 III-5, pp.379~38.
10. 한국도로공사(2003), "터널구간 조명 및 교통안정성 개선방안 수립 기초연구".
11. 김종민(2006), "터널시뮬레이터를 이용한 장대터널 내에서의 특성연구", 한국도로공사.
12. 이근희(1994), "인간공학", 상조社.
13. 정영해 외(1998), "통계강의 및 자료분석", 광주사회조사 연구소.
14. Hirata and Yai(2005), "An Analysis of Driver's Awareness Level And Support System While Driving in Long Urban Expressway Tunnel", TRB Annual Meeting.
15. Bosurgi G., D'Andrea A.,and Pellegrino O.(2005), "A Methodology to Study Driving Behaviour Based on the Visual Activity", TRB Annual Meeting.
16. D. Diamantidis et al.(2000), "Safety of Long Railway Tunnels", Reliability Engineering and System Safety 67.
17. K. Jurgen Bieger, DB Netz AG(1999), "Tunnel Rescue for New Main Lines of DB", Tunnel Fires and Escape from Tunnels, int. Con., France, pp.543~550.
18. R. Cooper(1980), "EEG Technology", London Boston Butterworths.
19. Wickens(1984), "Engineering psychology and human performance", Charles E. merrill publishing company.

✉ 주 작 성 자 : 김주영
 ✉ 교 신 저 자 : 김주영
 ✉ 논문투고일 : 2008. 8. 13
 ✉ 논문심사일 : 2008. 11. 25 (1차)
 2009. 1. 13 (2차)
 2009. 1. 22 (3차)
 ✉ 심사판정일 : 2009. 1. 22
 ✉ 반론접수기한 : 2009. 6. 30
 ✉ 3인 익명 심사필
 ✉ 1인 abstract 교정필