

# 주행속도와 기하구조에 따른 운전자 불안뇌파 분석 -고속주행시를 중심으로-

임준범<sup>†</sup> · 이수범 · 김근혁 · 김상엽 · 최재성  
서울시립대학교 교통공학과  
(2012. 2. 24. 접수 / 2012. 5. 24. 채택)

## A Study of the Relationship between Driver's Anxiety EEG & Driving Speed in Motorway Sections

Joon-Bum Lim<sup>†</sup> · Soo-Beom Lee · Keunhyuk Kim · Sangyoun Kim · Jaisung Choi  
Department of Transportation Engineering, University of Seoul  
(Received February 24, 2012 / Accepted May 24, 2012)

**Abstract :** For establishing a standard of design element of the smart highway, this study investigated driver's anxiety EEG according to running speeds and geometric designs. Also, the experiment was implemented on 60 subjects. Based on running speed data and brainwave data, which were obtained from the experiment, this study analyzes anxiety EEG according to running speeds and geometric designs, and finally draws a forecasting model of anxiety EEG by selecting affecting factors of anxiety EEG. Forecasting model shows that left curve is the most influential on anxiety EEG figure. The reason is because when driver is driving on the first-lane, his or her visibility is impeded by a median strip. For this reason, anxiety EEG figure increases. And also steep downward slope and large radius of curve are heavily influential on driver's anxiety EEG figure. It is judged that anxiety EEG figure is increased by high speed on those section. Thus, the forecasting model of anxiety EEG suggested on this study will be utilized for design phase, and will decide the design speed on the superhighway. So, it will be used to make practical and safety road.

**Key Words :** driving speed, anxiety EEG, geometry, motorway

### 1. 서론

#### 1.1. 연구의 배경 및 목적

운전자들이 수송수단이나 노선을 선택하는데 있어서 가장 중요하게 고려하는 요인 중 하나는 속도로 대표되는 이동성이다. 정보화시대에 진입하면서 사람들은 속도에 대한 요구가 커졌으며, 이 요구는 사람과 물건의 이동속도에서도 나타나고 있다. 또한 세계적인 자동차생산국으로 거듭나면서 자동차의 성능은 점점 더 좋아지고 있다. 그러나 우리나라의 고속도로는 1970년 최초의 고속도로(경부고속도로) 개통 이후로 현재까지 설계속도의 최대값은 120 km/h로 나타내고 있다. 그러나 오스트리아는 140 km/h를 설계속도로 설계한 고속도로 사례가 있으며, 독일은 130 km/h를 권장속도로 제시하고 있다(도로의

구조·시설 기준에 관한 규칙 해설, 국토해양부, 2009년). 이에 우리나라도 국외 교통선진국에서 이미 운영되고 있는 설계속도 140 km/h이상의 고속도로에 대한 관심은 증가하고 있으며, 이에 대한 연구가 본격적으로 진행되고 있다. 설계속도 140 km/h이상의 고속도로는 현재 우리나라 설계기준에서 제시되는 설계속도 최대값보다 상향되기 때문에 그에 대한 도로설계요소들도 재정립되어야 한다. 최근에는 도로설계 기준들을 정립하는 단계에서 운전자(인간)의 특성을 반영하려는 노력이 많이 있다. 특히 미국에서는 AASHTO의 도로설계기준을 바탕으로 NCHRP<sup>5)</sup>(National Cooperative Highway Research Program) Report라는 Human Factor를 강조한 설계 가이드라인을 만들고 있다. 이에 우리나라도 초고속도로 건설에 필요한 도로설계지침 작업을 위해서 운전자(인간)의 특성이 반영된 지침을 만드는 것이 필요하다. 본 연구의 목적은 설계속도 140 km/h 이상의 고속도로 설계요소 기준 정립을 위한 기초단계로서, 운전자들이

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
t\_safety@hanmai.net

주행속도별로 불안감을 가지는 정도를 분석하여 고속도로의 설계속도 상향정도를 결정하는데 도움을 주는 데 있다. 또한 운전자의 불안감 크기에 영향을 미치는 변수는 어떤 것이 있는지를 알아보는데 있다.

### 1.2. 연구의 방법

본 연구는 고속주행시 운전자들의 불안뇌파를 분석하기 위함이기 때문에 고속주행이 가능한 설계요소를 갖는 도로를 실험구간으로 선정하여 현장 실차주행 실험을 실시하였다. 실차로 고속주행시 위험성을 감안하여 시뮬레이터 실험을 고려하였으나, 시뮬레이터로 고속주행의 차이를 반영하기는 어려워 현장실차 주행을 통해 분석하였다.

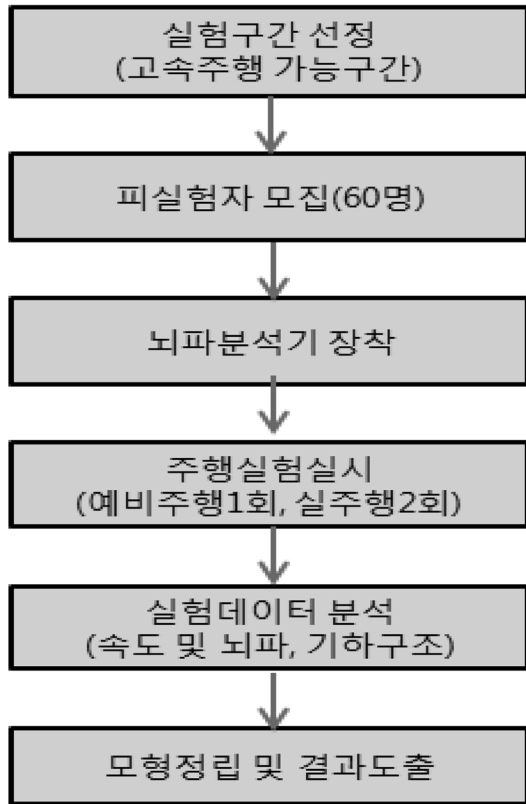


Fig. 1. Flow of study.

### 2. 문헌고찰

박성석(2009)<sup>1)</sup> 등은 한국표준과학연구원에서 뇌파, 눈깜박임, 심전도, 피부 전기저항, 피부 온도변화 등 운전자 생체신호를 측정하고 터널내 위치별 불안·긴장감 발생위치, 졸음·피로감 발생위치와 정도를

분석함으로써 선형개선과 교통안전시설, 운전자 긍정적 각성시설 등의 최적위치를 추적하여 결정하였다. 특히,  $\beta$ 파형의 분석으로 터널내에서 큰 곡선으로부터 작은곡선으로 진입구간에서 운전자 불안감이 최고조에 이르는 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서도 고속주행으로 인한 불안감 측정뇌파는  $\beta$ 파로 측정하였다.

김정룡(1999)<sup>2)</sup>은 고속도로 주행시 나타나는 운전자의 생리신호중 뇌파 신호를 추출하여 각 Lobe에서 뇌파의 특성이 운전 작업부하를 얼마나 민감하게 나타내는지 조사하였다. Relative Energy Parameter가 비운전상황과 운전상황의 차이를 확연히 구분할 수 있었으며, Alpha파와 Beta파의 비는 각 운전상황별 부하를 부분적으로 구분해 주는 것으로 나타났다. 또한 EEG 신호의 해석방법으로 Coope(1980)<sup>3)</sup>는 뇌파 데이터의 처리를 위해 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 통해 각 뇌파의 상대 파워 스펙트럼을 구하였다. 본 논문에서도 뇌파분석에 있어서 절대파워분석보다는 상대파워분석 방법인 Alpha파와 Beta파의 비를 계산하여 적용하였다.

배준형(2008)<sup>4)</sup>등은 돌발상황에 따른 연령별 운전자 생리반응 비교를 위한 생체신호 추출, 선정 및 정량화에서 돌발상황에 따른 생리반응에는 생체신호의 크기를 나타내는 변수와 생체신호 변화의 양을 나타내는 변수가 동시에 사용되면 더욱 정확하게 측정됨을 증명하였다.

Kecklund와 Akersted(1993)<sup>6)</sup>은 28명의 트럭운전자를 대상으로 장시간 트럭운전 시 운전자가 피로하거나 졸음상태가 되면서 뇌의 중심엽부에서 세타파와 알파파가 증가함을 밝혔다.

Cabon(1992)<sup>7)</sup>은 긴장감이 없는 주행을 할 때 알파파가 증가하고, 스트레스를 받는 주행을 할 때는 세타파가 증가한다고 제시하였다. 한국표준과학연구원에서는 터널내에서 큰 곡선으로부터 작은 곡선으로 진입구간에서 운전자 불안감이 최고조에 이르는 것을  $\beta$ 파 분석을 통해서 제시하였다.

### 3. 실험개요

#### 3.1. 피실험자 및 조사지점

본 연구의 피 실험자는 남자 45명, 여자 15명이며, 이들의 연령대는 20대 16명, 30대 20명, 40대 14명, 50대 10명이다. 피 실험자의 구성 및 실험 구간에 대한 정보는 아래 Table 1 과 같다. 실험 구간은 고속국도 15호선 서해안고속도로 대천IC~무창포IC, 약 11

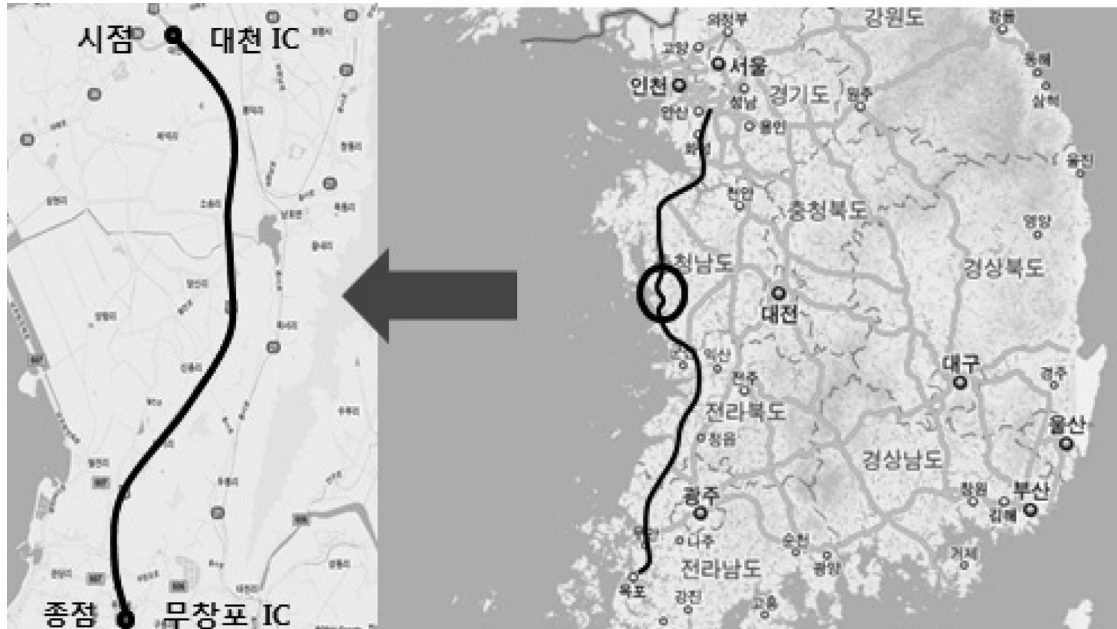


Fig. 2. Test field and section information.

km이다. 구간은 분석의 용이를 위하여 곡선반경 별 11개, 종단곡선 별 13개, 복합선형 23개로 구분 하였다. 실험구간에 대한 정보는 아래 Fig. 2와 같다.

Table 1. Experiment details and characteristics of test drivers

구분	내용
날짜 / 시간	- 2011.09.16~2011.10.15 - 14:00~16:00, 23:00~02:00
구간정보 / 구간길이	- 고속국도 15호선 서해안고속도로 대전 IC ~ 무창포 IC - 길이 : 약 11km
기상	- 맑음
피실험자 특성	- 전체 피실험자 : 60 - 남자 (n=45), 여자 (n=15) - 연령: 20's(n=16), 30's (n=20), 40's (n=14), 50's (n=10)

### 3.2. 실험과정

본 연구의 실험은 두 가지 시나리오로 구분된다. 첫 번째 시나리오는 운전자가 정해진 주행속도(110 km/h~160 km/h) 로 주행했을 때 불안뇌파 파워를 비교하는 것이다. 두 번째 시나리오는 운전자가 자유롭게 낼 수 있는 속도만큼 주행하라고 했을 때 기하구조와 속도, 불안뇌파를 분석하여 보는 것이다. 두 번째 시나리오 실험 시 피 실험자가 자신의 속도를 확인하면 주행속도에 영향을 미칠 수 있으므로 계기판을 가리고 단속카메라 및 타 차량의 영향을 최소화시켜 주행하도록 하였다. 주행속도와 GPS좌표를

기록할 수 있는 지능형 주행기록계를 실험차량에 부착하고, 운전자들에게 뇌파분석기를 머리에 부착하여 실험을 하였다. 주행실험으로 수집된 자료를 가지고 불안뇌파 분석은 각 구간별로 기록된 주행속도와 GPS좌표를 이용하여 주행거리를 산출하고 사전에 조사된 구간 기하구조를 주행거리에 따라 20 m 간격으로 매칭 시켰다. 이를 바탕으로 뇌파 데이터 분석 시 특정 구간을 지날 때, 구간의 진입/진출시간을 산출하고 Telescan S/W을 이용해 해당 피 실험자의 해당구간 뇌파를 추출하여 분석을 실시하였다.

### 3.3. 실험장비

#### 3.3.1. 뇌파측정시스템

뇌파(brainwave)는 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름이다. 심신의 상태에 따라 각각 다르게 나타나며 뇌의 활동 상황을 측정하는 가장 중요한 지표이다. 이러한 뇌의 전기적 활동을 두피에 부착한 전극을 통해서 기록하게 되며, 이 결과 얻어지는 궤적을 뇌전도(EEG: electroencephalogram) 또는 뇌파(brainwave)라고 부른다(위키백과사전).

본 연구에서 PolyG-I시스템은 운전자의 뇌파를 기록하는데 사용되었으며 운전자의 상태를 나타낼 수 있는 측정 가능한 여러 종류의 뇌파가 있지만 본 연구에서는 운전자의 불안감을 나타낼 수 있는 HB

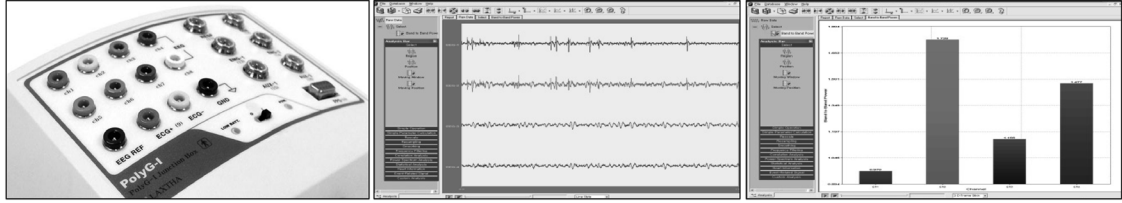


Fig. 3. PolyG-I(H/W) & Telescan(S/W).

Table 2. Frequency band and characteristics of each brain wave

구분	주파수	의식상태	주요 생성부분
$\delta$ (delta wave)	1-3.99 Hz	깊은수면	-
$\theta$ (theta wave)	4-7.99 Hz	졸림, 내면의식	전두엽, 측두엽
$\alpha$ (alpha wave)	8-12.99 Hz	휴식, 명상	후두엽, 두정엽
$\beta$ (beta wave)	13-29.99 HZ	활성상태, 불안 / 긴장 표면의식	전두엽, 중심엽, 측두엽
$\gamma$ (gamma wave)	30-50 HZ	각성상태, 동조의식, 흥분	-

(High Beta)파만 사용하기로 한다. 운전자의 뇌파 측정을 위하여 운전자의 전두엽 왼쪽과 오른쪽, 측두엽 왼쪽과 오른쪽 두피에 전극을 부착하여 뇌파 측정을 실시하였다.

Table 2는 뇌파의 주파수 대역과 PolyG-I에 의하여 측정할 수 있는 뇌파의 특징을 보여준다. Software “Telescan”은 측정된 뇌파의 분석을 위하여 사용되며 해당 Software는 뇌파 분석시 쉽게 시간, 채널, 주파수 대역을 설정하여 분석 할 수 있고 파워스펙트럼을 통하여 분석결과 출력이 가능하다.

### 3.3.2. 지능형주행기록계

GPS 모듈, G-센서, yaw-Rate 센서를 탑재하여 현재위치, 속도, 시간, 회전 각속도(yaw-Rate), 횡 방향 가속도, 종 방향 가속도, 종 방향 감속도 등을 알 수



Fig. 4. Intelligent driving recording device.

있고, 어떠한 차량에도 간편하게 탈부착이 가능하도록 소형화 된 장비이다.

### 3.4. 뇌파기록

생리신호 측정을 위한 전극 배치법으로 국제전극 배치법(10-20법)을 사용하며, 본 연구에서 운전자의 졸음 현상 및 스트레스 여부 측정을 위해 필요한 뇌파는 불안뇌파( $\beta$ 파)이므로 주요 불안뇌파( $\beta$ 파) 생성 부분인 전두엽(Fp1, Fp2)과 평상시 발생하는 알파( $\alpha$ )파 생성부분인 측두엽(T3, T4)에서 측정을 실시하였다.

뇌파 분석의 종류는 상대파워분석(Band to Band Power Spectrum)과 절대파워분석(Absolute Power Spectrum)으로 나눌 수 있다. 상대파워분석은 분석대상 파형과 다른 파형과의 비율을 보는 것이며, 절대파워분석은 분석대상 파형의 절대적 수치를 보는 것이다. 본 연구에서 불안뇌파의 산출은 상대 파워분석(Band to Band Power Spectrum)를 사용하였다. 상대 파워분석(Band to Band Power Spectrum) 분석 방

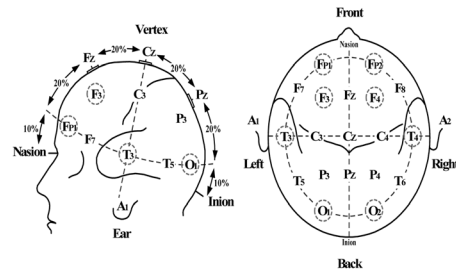
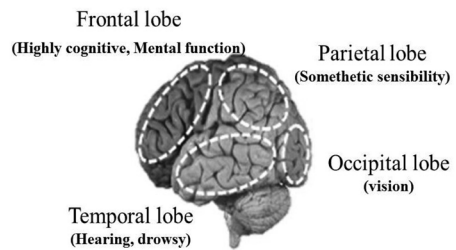


Fig. 5. Brain wave creation & measurement spot.

법은 평상시 평온할 때 발생하는 알파파( $\alpha$ 파)에 비하여 도로주행시 나타나는 불안뇌파( $\beta$ 파)의 크기를 산출하도록 한다.

$$(\text{산출식} : \frac{\beta \text{ wave}(13\text{Hz} - 29.99\text{Hz})}{\alpha \text{ wave}(8\text{Hz} - 12.99\text{Hz})})$$

#### 4. 실험결과 분석

##### 4.1. 주행속도에 따른 불안뇌파

피실험자들에게 110 km/h부터 160 km/h까지(10 km/h 단위) 주행하도록 하였다. 피 실험자 60명의 속도별 불안뇌파 파워를 분석한 결과, 110 km/h에서 140 km/h까지는 평균값이 비슷하게 나타났다. 150 km/h와 160 km/h는 평균값이 눈에 띄게 올라간 것을 알 수 있다. 또한 불안뇌파 파워의 최대값은 속도가 증가할수록 같이 증가하는 경향을 보이고 있다. 표준편차 역시 속도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 보아, 불안뇌파 파워의 정도가 운전자마다 차이는 있으나 민감하게 반응하는 것으로 해석할 수 있다. 우리는 이러한 속도별 불안뇌파의 수치를 일반화 할 수 있는지 확인하기 위해 가설을 세웠다.

귀무가설H0: 불안뇌파 수치는 정규분포를 따른다.  
대립가설H1: 불안뇌파 수치는 정규분포를 따르지 않는다.

각 주행속도별 운전자들의 불안뇌파 수치가 정

Table 3. Anxiety EEG power according to driving speed

주행속도	110 km/h	120 km/h	130 km/h	140 km/h	150 km/h	160 km/h
평균	2.508	2.51	2.547	2.594	3.333	4.384
표준편차	0.459	0.491	0.487	0.616	0.929	1.417
최대	3.561	3.676	3.746	4.438	6.546	9.275
최소	1.707	1.722	1.709	1.681	1.593	2.409
p-value (K-S 검정)	0.217	0.594	0.732	0.143	0.112	0.82

규분포를 따르는지 정규성 검증(K-S검정)을 해 본 결과 모든 속도에서 p-value가 0.05 이상으로 95% 신뢰수준에서 귀무가설을 기각하지 못하는 것으로 나타났다.

우리는 속도에 따른 불안뇌파 파워분석 결과에 따라 어느 주행속도에서 불안뇌파가 증가하는지 통계적으로 검증하였다. 각 주행속도 별로 쌍을 만들어 불안뇌파 파워의 평균값이 차이가 있는지 paired t-test를 실시하였다. t-test를 위한 귀무가설과 대립가설을 설정하였다.

귀무가설H0: 두 속도 대응 쌍의 불안뇌파 파워의 평균값은 같다.

대립가설H1: 두 속도 대응 쌍의 불안뇌파 파워의 평균값은 같지 않다.

paired t-test를 시행 후 결과 값으로 나온 유의확률을 유의수준과 비교하여 귀무가설 기각여부를

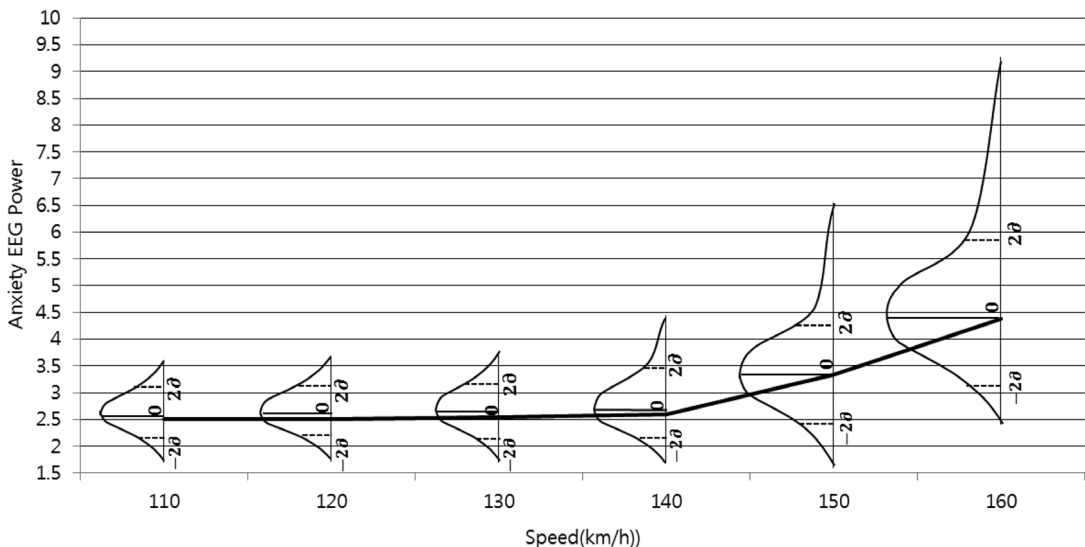


Fig. 6. Anxiety EEG power analysis.

결정하였다. 유의확률이 유의수준( $\alpha$ : 0.05)보다 클 경우 귀무가설을 기각 할 수 없다. 결과 값으로 110 km/h - 120 km/h 쌍의 유의확률은 0.960 (p-value > 0.05), 120 km/h -130 km/h 쌍의 유의확률은 0.445 (p-value > 0.05), 130 km/h - 140 km/h쌍의 유의확률은 0.471 (p-value > 0.05) 이므로 귀무가설을 기각 할 수 없다. 그러나 140 km/h - 150 km/h 쌍의 유의확률은 0.001 (p-value < 0.05)이므로 귀무가설을 기각한다. 이는 주행속도 150 km/h일 때 불안뇌파는 그 이하의 속도로 주행했을 때와는 평균값이 다르다는 것을 의미한다. 그 외의 쌍들의 비교를 위해서 110 km/h - 130 km/h, 110 km/h - 140 km/h, 120 km/h - 140 km/h 쌍을 비교해 본 결과 3개의 쌍의 유의확률이 각각 0.310, 0.122, 0.071로 유의수준보다 크므로 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 나타났다. 결론적으로 110 km/h 에서 140 km/h 까지 운전자들이 느끼는 불안뇌파 파워 평균은 통계적으로 같다고 할 수 있으며, 150 km/h 주행 시 불안뇌파의 평균은 높다고 할 수 있다.

**4.2. 기하구조에 따른 불안뇌파**

우리는 도로기하구조 구분에 따른 주행속도와 불안뇌파 파워를 분석하였다. 도로기하구조는 첫번째로 종단경사에 따라 구분하였고, 두번째로 곡선반경에 따라 구분하였고, 세번째로 곡선반경과 종단경사를 모두 고려하여 구분하였다. 종단경사에 따라 나눈 구간에서 피 실험자들의 주행속도와 불안뇌파 파워의 평균을 산출하였다. 내리막 경사의 경우 주행속도가 오르는 경향을 보이면서 불안뇌파도 조금 상승하였다. 특히 속도가 150 km/h 근처로 가면 불안뇌파가

상승하는 것으로 나타난다.

두 번째 곡선반경에 따른 구간별 주행속도와 불안뇌파는 다음과 같다. 7번 직선구간과 9번 직선구간 사이에 8번 곡선구간은 곡선반경이 7700 m로 운전자들은 곡선이 아닌 직선으로 느껴 속도를 줄이지 않는 것으로 판단된다. 이에 속도가 150 km/h이상이나 오면서 불안뇌파는 증가하는 것으로 나타난다.

세 번째 곡선반경과 종단경사를 모두 고려한 구간별 주행속도와 불안뇌파는 다음과 같다. 2번, 18번, 19번 구간은 구간길이가 너무 짧아 불안뇌파를 계산할 수 없었다. 주행속도가 점점 증가하여 150 km/h이상이나오는 15번 구간(내리막 곡선반경 7700 m)과 20번 구간(내리막 R=1845 m)에서 불안뇌파가 최대가 되었다.

**4.3. 실험조건에 따른 뇌파특성**

운전자 나이, 성별, 주/야에 따른 뇌파특성 분석결과는 다음 Table 5, Table 6, Table 7과 같으며 Table 8의 상관분석결과 각 실험조건별 뇌파 평균은 차이가 없는 것으로 나타났다.

**4.4. 불안뇌파 수치에 영향을 미치는 요인**

우리는 위에서 간단한 데이터 분석을 통해서 주행속도, 혹은 기하구조와 불안뇌파가 어느 정도 상관성이 있을 것 이라는 추측을 할 수 있었다. 그리하여, 기하구조와 피 실험자 속성, 실험시간, 주행속도, 불안뇌파의 상관분석을 실시하였다. 여기서 23개 구간 중 구간길이가 짧아 결측 된 3개에 구간에 대해선 제외하고 20개 구간, 60명의 실험자의

Table 4. Paired t-test analysis data

paired	means	standard deviation	standard error	t	degree of freedom	p - value
110km/h - 120km/h	-0.002	0.203	0.037	-0.050	29	0.960
120km/h - 130km/h	-0.037	0.265	0.048	-0.774	29	0.445
130km/h - 140km/h	-0.046	0.346	0.063	-0.731	29	0.471
140km/h - 150km/h	-0.740	1.140	0.208	-3.554	29	*0.001
110km/h - 130km/h	-0.039	0.208	0.038	-1.034	29	0.310
110km/h - 140km/h	-0.086	0.294	0.054	-1.593	29	0.122
120km/h - 140km/h	-0.836	0.244	0.445	-0.175	29	0.071

\*유의수준 0.05 에서 유의하다.

Table 5. EEG characteristic according driver' s age

구분	인원	속도평균	뇌파평균
20~29	16명	137.225	1.288
30~39	20명	141.250	1.224
40~49	14명	138.700	1.219
50~59	10명	136.900	1.278

Table 6. EEG characteristic according day/night

구분	인원	속도평균	뇌파평균
주간	31명	139.021	1.264
야간	29명	138.656	1.231

Table 7. EEG characteristic according driver' s sex

구분	인원	속도평균	뇌파평균
남성	45명	139.442	1.246
여성	15명	137.100	1.257

주행속도와 기하구조에 따른 운전자 불안뇌파 분석  
-고속주행시를 중심으로-

Table 8. Correlation analysis analysis data of the factors influencing anxiety EEG power

구분		성별	나이	실험시각	$\frac{1}{R}$	종단경사	주행속도	직선	우곡선	좌곡선	네파
성별	Pearson 상관계수	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
나이	Pearson 상관계수	-.038	1	-	-	-	-	-	-	-	-
실험시각	Pearson 상관계수	.136**	.008	1	-	-	-	-	-	-	-
$\frac{1}{R}$	Pearson 상관계수	.001	.000	.000	1	-	-	-	-	-	-
종단경사	Pearson 상관계수	.000	.002	-.001	.128**	1	-	-	-	-	-
주행속도	Pearson 상관계수	.088**	-.038	-.014	-.061*	-.402**	1	-	-	-	-
직선	Pearson 상관계수	.000	.003	.000	-.068*	.066*	-.118**	1	-	-	-
우곡선	Pearson 상관계수	-.001	-.001	.002	.251**	-.013	-.257**	-.479**	1	-	-
좌곡선	Pearson 상관계수	.000	.000	.000	-.171**	-.053	.365**	-.538**	-.479**	1	-
네파수치	Pearson 상관계수	-.008	-.016	-.030	-.253**	-.476**	.479**	-.296**	-.291**	.575**	1

\* 0.05 수준(양쪽)에서 유의하다.  
\*\* 0.01 수준(양쪽)에서 유의하다.

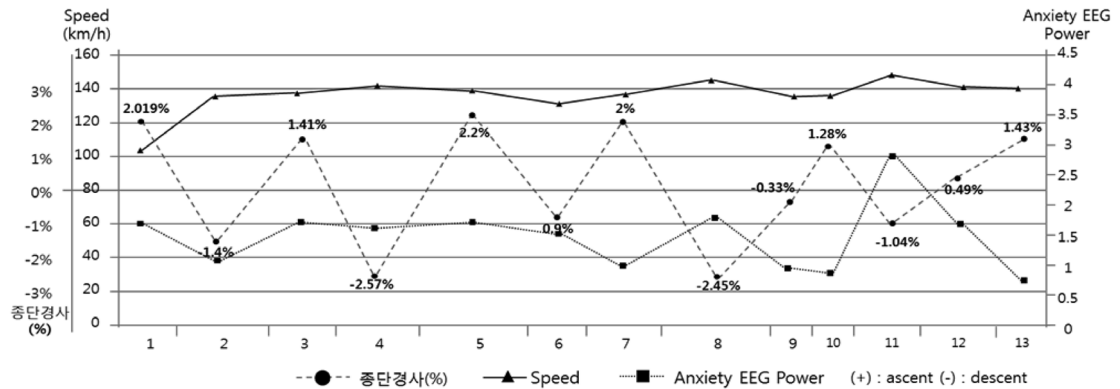


Fig. 7. Anxiety EEG power and speed according to a vertical curve.

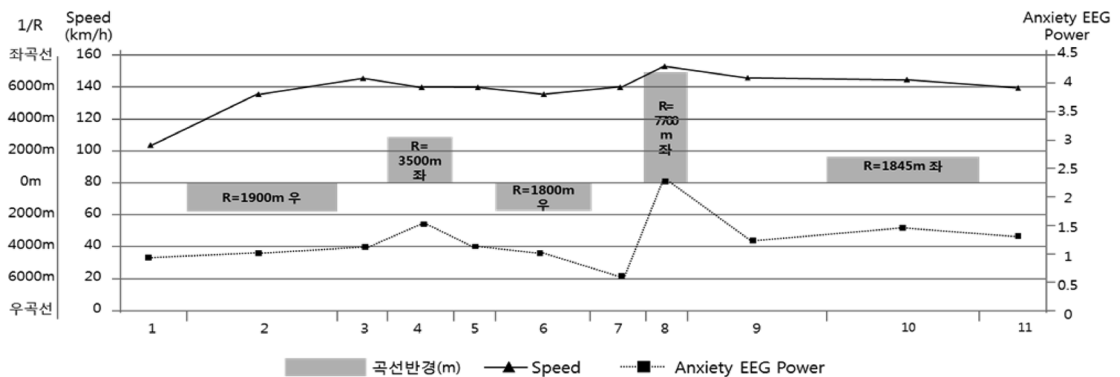


Fig. 8. Anxiety EEG power and speed according to a horizontal curve.

총 1200개 자료를 활용하였다.

상관분석을 실시한 결과, 네파수치에 영향을 끼치는 요소는 좌곡선, 주행속도, 종단경사, 직선, 우

곡선,  $\frac{1}{R}$ , 로 여섯 가지 요소의 상관계수는 0.05 유의수준 하에서 유의한 것으로 나타났다. 불안뇌파

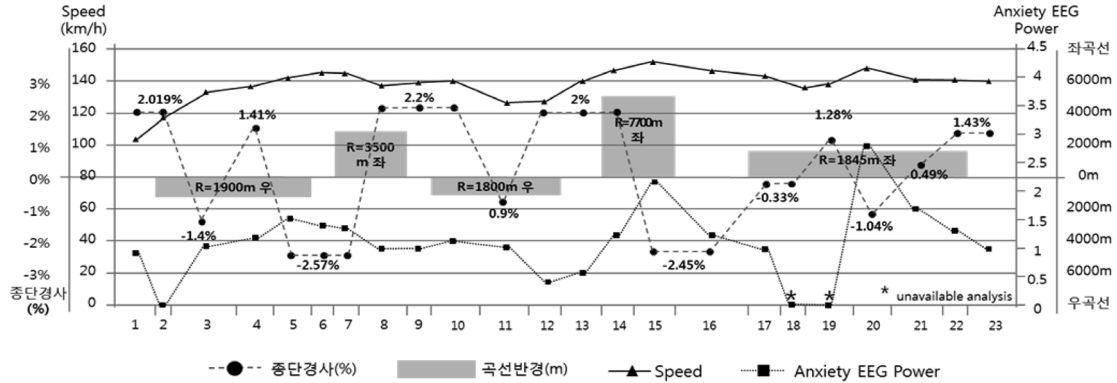


Fig. 9. Anxiety EEG power and speed according to a complex curve.

Table 9. Multiple linear regression analysis data of the factors influencing anxiety EEG power

모형	비표준화 계수		표준화 계수 $\beta$	t	유의확률	공선성 통계량	
	B	표준오차				공차한계	VIF
(상수)	.153	.155		.989	.323**		
좌곡선	.577	.025	.483	22.815	.000**	.830	1.205
종단경사	-.113	.006	-.378	-17.664	.000**	.814	1.229
주행속도	.007	.001	.143	6.290	.000**	.718	1.394
$\frac{1}{R}$	-260.965	45.817	-.113	-5.696	.000**	.953	1.049
통계량	$R^2 = .555$ , 수정된 $R^2 = .554$ , $F=372.443$ , $p=.000$						

\*\* .01 수준(양쪽)에서 유의하다.

수치는 좌곡선과 주행속도와의 관계가 (+)이고  $\frac{1}{R}$  과 종단경사, 직선, 우곡선에 대해 (-)의 관계를 나타내고 있다.

즉, 좌곡선에서 운전자는 불안뇌파가 수치가 상승하고 주행속도가 높을수록 불안뇌파 수치가 상승한다. 그리고 불안뇌파와  $\frac{1}{R}$ , 종단경사, 직선, 우곡선의상관관계는 (-)의 관계로 곡선반경이 작을수록, 내리막 경사 일수록 그리고 직선과 우곡선이 아닌 좌곡선에서 불안뇌파 수치는 상승한다. 상관관계분석을 통해 불안뇌파수치에 영향을 미치는 요소들을 알아 본 후, 상관관계결과를 토대로 다중 회귀 분석을 실시하였다. 불안뇌파수치를 향상시킬 수 있는 변수들 간의 상대적 영향력을 살펴보면 좌곡선( $\beta = .483$ )이 가장 큰 영향력을 보이는 변수로 나타났다. 다음으로 종단경사( $\beta = -.378$ )이 두 번째로 큰 영향력을 보이고 있고 속도( $\beta = .143$ ),  $\frac{1}{R}$  ( $\beta = -.113$ ), 순서로 나타났다. 공차한계는 모두 0.1 이상의 수치를 보여 다중공선성에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 다중 회귀분석결과 도출된 식은 다음과 같다.

$$Y(\text{불안뇌파 파워}) = 0.153 + (0.577 \times L.C) - (0.113 \times S) + (0.007 \times V) - (260.965 \times \frac{1}{R})$$

여기서, L.C = 좌곡선 여부 (1=좌곡선, 0=직선, 우곡선)  
 S= 종단경사(%),  
 V= 주행속도(km/h)  
 R = 곡선반경(m) 이다.

위의 결과를 분석해보면 가장 큰 영향을 미치는 좌곡선은 1차로 주행 시 중분대의 영향으로 시선에 제약이 생기게 되어 불안뇌파수치가 증가하는 것으로 판단된다. 종단경사의 경우 Fig. 7을 보면 종단경사 -2.45%의 8번 구간에서 불안뇌파가 증가하였다가 오르막 경사 구간이 되자 불안뇌파수치가 감소한다. 그리고 다시 -1.04%의 내리막 경사가 시작되자 불안뇌파수치가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 평지나 오르막경사에서 내리막경사 구간으로 진입하게 되면 주행속도가 증가하게 되어 나타나는 결과로 사료된다. 실험구간의 곡선반경은 1800~



7700 m로 큰 곡선반경으로 인해 모든 구간에서 140 km/h 정도의 주행속도를 나타내고 있다. 하지만 가장 큰 곡선반경 7700 m 구간에서는 150 km/h 이상으로 주행하여 불안뇌파수치가 증가한 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 현장주행실험을 통해 고속주행 시 운전자 불안뇌파를 분석하고 불안뇌파에 영향을 미치는 요인을 연구하였다. 분석을 하기 위해 본 연구에서는 두 가지로 나누어 분석하였는데 첫째로, 주행속도와 불안뇌파와의 관계 둘째, 도로기하구조와 불안뇌파와의 관계이다. 실험과정에서 뇌파측정시스템 장비와 지능형주행기록계를 이용하여 운전자의 주행 자료와 불안뇌파 자료를 수집하였고 이를 토대로 연구를 진행하였다.

60명의 피실험자를 모집하여 주행실험을 실시한 결과 연령, 성별, 주야에 따른 주행속도 평균과 불안뇌파의 평균은 큰 차이가 없었다. 실험data를 가지고 주행속도와 기하구조, 운전자 특성을 독립변수로 한 운전자 불안뇌파 모형을 산출하였다. 연구결과를 살펴보면, 150 km/h를 초과하여 주행 할 경우 불안뇌파수치가 낮은 속도에 비해 증가함을 나타내고 기하구조에 따라 특히, 좌곡선과 내리막 경사에서 불안뇌파가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 결과적으로 운전자 불안뇌파는 좌곡선의 가장 큰 영향을 받고 종단경사, 주행속도, 그리고 곡선반경에 영향을 받는 것으로 나타났다. 주행속도가 클수록 곡선반경이 작을수록, 종단경사가 내리막일수록 불안뇌파가 커지는 것을 알 수 있다. 앞에서 말했듯이 성별, 연령, 주야에 따라 주행속도의 차이가 없다면, 운전자의 불안뇌파도 비슷한 수치를 보이는 것을 알 수 있다. 주행속도를 높이는 조건이 되는 기하구조 조건에서 불안뇌파가 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 안전시설이나 선형개량을 통해 반영해야 할 부분이라고 판단된다.

산출된 모형을 사용하면 향후 설계속도가 상향된 고속도로를 설계하는데 있어 운전자의 특성이 반영되어 현실적이고 안전한 도로가 건설되리라 전망한다. 향후연구과제로는 설계속도 상향 고속도로에서 고속주행중에도 경관디자인 등을 통해서 불안감을 줄일 수 있는지 비교분석하는 것이 있다.

**감사의 글 :** 본 연구는 스마트하이웨이 사업단을 통하여 지원된 SMART Highway 기하구조 기본연구(R&D 07 기술혁신 A01)과업에 의하여 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 1) 박성석, 심재만, 한주현, 장석부, 최부식, “산악지 초장대터널 기술력 제고를 위한 설계사례 분석”, 유신기술회보, pp. 264-283, 2009.
- 2) 김정룡, “고속도로의 직선 구간별 운전자 생리반응 분석”, 대한인간공학회 학술대회 논문집, 1999.
- 3) Cooper, R., Osselton, J.W., and Shaw, J.C, EEG Technology, 3rd edition, Butter worths & Co Ltd; Cuild ford & london, 1980.
- 4) 배준형, “돌발상황에 따른 연령별 운전자 생리반응 비교를 위한 생체신호 추출, 선정 및 정량화”, 한국자동차공학회, 학술대회 논문집, 2008.
- 5) NCHRP, washington, D. C., 2008.
- 6) Goran Kecklund and Torbjorn Akerstedt, “Sleepiness in Long Distance Truck Driving; an Ambulatory EEG Study of Right Driving”, Ergonomics, vol. 36, No. 9, 1993.
- 7) Cabon, P., Maintien de la vigilance et gestion du sommeil dans les systèmes automatisés. Doctoral thesis, Université René Descartes, Paris, France, 1992.