

상이한 설계속도 도로에서의 주행속도별 불안뇌파 분석

임준범* · 이수범** · 주성갑*** · 신준수****

Lim, Joon Beom*, Lee, Soo Beom**, Joo, Sung Kab***, Shin, Joon Soo****

Analysis of Anxiety EGG per Driving Speed on Different Design Speed Road

ABSTRACT

With the advance in information communication, the information age has come, and desire of human being is increasing. In this circumstance, the necessity for design for building of superhighways is arising to improve the mobility in the field of transportation, too. This study was conducted to analyze if driver can drive at a design speed on a superhighway with a design speed exceeding 120km/h. For this study, it was experimented if the running speed that makes a driver feel anxious, increased, when road alignment and standard improved, due to the differences of design speed. For the experiment, 30 subjects were asked to attach brain wave analyzers to bodies. Then, this study compared powers of β waves generated, when they felt anxious, driving on the roads with different design speeds, and driving virtually through a simulator. Here, Kangbyeonbukro (90km/h), Jayuro(100km/h), Joongang Expressway(110km/h), and Seohaean Expressway(120km/h) were selected as experimental sections. While drivers drove on the Kangbyeonbukro and Jayuro at a speed of 80km/h - 130km/h, on the Joongang Expressway at a speed of 100km/h - 150km/h, and Seohaean Expressway at a speed of 110km/h - 180km/h, powers of anxiety EEGs(electroencephalogram) were compared, and during the simulation driving at the same speed of 110km/h - 180km/h, powers of anxiety EEGs were compared and analyzed. Moreover, the speed when anxiety EEGs increased, was statistically verified through paired t-test. As the result, the speed when anxiety EEGs increased during the simulation driving was nearly 30km/h higher than when they increased during the actual driving on the expressways, and anxiety EEGs increased at the same speed, when subjects drove on the roads with a design speed of 90km/h and 100km/h. It means that there were small differences in road alignment and standard. However, the running speed to make drivers feel anxious was increased at both roads with a design speed of 110km/h and 120km/h. It implies that drivers can drive at a higher speed, as road alignment and standard improve.

Key words : Anxiety EEGs, Smart highway, Design speed, Driving Simulator, t-test

초록

정보통신의 발달로 정보화시대가 도래하면서 속도에 대한 인간의 욕구가 증가하고 있는 가운데, 교통분야에서도 이동성을 증대시키기 위한 초고속도로 건설에 대한 설계가 제기되고 있다. 본 연구는 설계속도가 120km/h를 초과하는 초고속도로 건설시 운전자가 설계속도의 수준으로 주행할 수 있는가를 분석하기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구를 수행하기 위해서 설계속도가 상이하여 도로의 선형과 규격이 향상되면 운전자가 불안을 느끼는 주행속도도 증가하는지를 알아보았다. 실험은 피실험자 30명을 모집하여 뇌파분석기를 장착시킨 후 설계속도가 상이한 도로를 실제로 주행하고, simulator를 통해 가상으로 주행하면서 불안감을 느낄 때 발생하는 β 파의 파워를 비교하였다. 이를 위한 실험구간은 강변북로(90km/h), 자유로(100km/h), 중앙고속도로(110km/h), 서해안고속도로(120km/h)로 선정하였다. 강변북로와 자유로는 주행속도가

* 정회원 · 교신저자 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수료 (Corresponding Author · University of Seoul · t_safety@hanmail.net)

** 정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (mendota@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (suckap@hanmail.net)

**** 한국도로공사 스마트 하이웨이 사업단 차장 (halfwing27@ex.co.kr)

Received May 14, 2013/ revised June 1, 2013/ accepted June 4, 2013

80km/h - 130km/h, 중앙고속도로는 100km/h - 150km/h, 서해안고속도로는 110km/h - 160km/h 일 때의 불안뇌파 파워를 비교하였고, 시뮬레이션 주행은 일괄적으로 110km/h - 180km/h로 주행할 때 발생하는 불안뇌파 파워를 비교 분석하였다. 또한 paired t-test 검정을 통하여 불안뇌파가 증가하는 시점 속도를 통계적으로 검증하였다. 그 결과 시뮬레이션 주행 시 불안뇌파 증가시점의 속도는 실제 도로를 주행할 때 불안뇌파 증가시점보다 약 30km/h 높게 나타났으며, 설계속도가 90km/h인 도로와 100km/h도로는 같은 속도에서 불안뇌파가 증가하여 도로의 선형과 규격에 차이가 적은 것으로 나타났다. 하지만 설계속도가 110km/h도로와 120km/h인 도로에서는 불안감을 느끼는 주행속도가 모두 증가하여 운전자는 도로의 선형과 규격이 향상됨에 따라 더 높은 속도로 주행할 수 있는 것으로 나타났다.

검색어 : 불안뇌파, 초고속도로, 설계속도, 주행속도, Simulation, T-test

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라에서 운영되고 있는 고속도로는 경부고속도로 등 총 35개 노선이며(도로공사 노선 27개, 민자노선 8개), 건설중인 노선은 8개 노선으로 향후 총 43개 노선이 7×9 축을 구성하여 전국에서 운영 중일 것으로 보인다(한국도로공사, 2011). 고속도로는 철도와 함께 우리나라에서 사람, 물자의 지역간 이동에 가장 큰 축을 차지하고 있으며, 고속도로는 이동성이 주기능인 만큼 설계속도에 대한 논의는 끊임없이 되어오고 있다. 사회적으로 정보화시대가 도래하면서, 인터넷 등 통신분야는 하루가 다르게 변화하고 있으며, 사람에게 속도에 대한 욕구는 계속 커지고 있다. 이러한 사회적 분위기와 인간의 욕구와 맞물려 교통 분야에서도 속도에 대한 인간의 끊임없는 요구는 제기되어왔고, 이에 맞추어 하이패스 차로와 ITS 시스템(VMS 등)을 도입하여 운영하고 있다. 그러나 고속도로 설계속도(또는 제한속도) 자체의 상향에 대한 시각은 안전과 환경적인 문제로 부정적인 면도 부각되어 왔다.

우리나라에서 운영 중인 고속도로들의 최고 설계속도는 120km/h이며(국토해양부, 2009), 서울외곽선, 제2경인선, 고창~담양선, 대구~포항선, 대전남부선, 중앙지선의 6개 노선만 설계속도 100km/h를 적용하여 설계되었고, 나머지 고속도로는 모두 설계속도 120km/h를 적용하여 설계되었다(홍정표, 2011). 제한속도는 최소 70km/h(88올림픽선 일부)에서 최고 110km/h(서해안선 등)로 규정되어 있다(한국도로공사, 2012).

반면, 국외에서는 이미 설계속도가 120km/h 이상되는 도로들이 많이 운영되고 있다. 프랑스는 130km/h, 룩셈부르크, 이탈리아는 140km/h 설계속도인 고속도로도 운영중이며, 미국의 유타, 텍사스의 경우 제한속도가 80mile/h(128km/h), 독일의 경우 제한속도가 무제한인 고속도로도 운영중이다(홍정표, 2011). 또한 대부분의 국가에서 고속도로의 설계속도와 제한속도는 동일하거나, 제한속도를 설계속도보다 5km/h~10km/h 정도 낮추어 운영하고 있는 것으로 나타났다(홍정표, 2011).

현재 고속도로가 건설된지 40년이 넘어서면서 차량의 성능은 날로 발전하고, 빠른 속도를 원하는 인간의 욕구에 따라 설계속도

120km/h 초과되는 초고속도로 또는 Smart highway¹⁾에 대한 연구가 우리나라에서도 본격적으로 시작되었다. 그러나 과연 초고속도로 또는 Smart highway 등 기존 도로보다 한단계 발전된 고속도로가 설계속도를 어느 수준으로 해야 적절한지에 대한 명확한 연구와 검증은 이루어지지 않았다. 환경적인 측면을 제외하고 안전측면에서 본다면, 설계속도를 상향하여 고속도로를 건설하였을 때, 운전자는 과연 그 설계속도에 맞게 고속주행을 할 수 있는지, 어느 속도에서 불안감을 느끼는지 검증해 볼 필요가 있다고 판단된다. 이러한 연구의 기초연구로 본 연구의 목적은 현재 운영 중인 고속도로를 설계속도별로 운전자들이 느끼는 불안감의 속도가 차이가 있는지 판단해보고자 한다. 즉, 설계속도가 높은 도로는 도로의 조건(평면선형, 종단선형, 횡단구성)이 설계속도가 낮은 도로보다 규격이나 시야면에서 운전자들이 주행하기 더 좋다는 것을 의미하는데 이것이 운전자의 불안감과 상관관계가 있는지 분석하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구의 목적은 앞서 언급했듯이 상이한 설계속도의 고속도로를 주행할 때 운전자들이 불안감을 느끼는 주행속도를 알아보는 것이다. 그리하여 설계속도가 상이한 4개의 고속도로인 강변북로(90km/h), 자유로(100km/h), 중앙고속도로(110km/h), 서해안고속도로(120km/h)를 선정하여 simulator를 이용한 가상주행 실험과 현장실차 실험을 실시하였다. 강변북로와 자유로는 도시고속도로에 속하여 지방부도로인 고속도로와는 교통량 등 교통특성이 다를 수 있으나, 본 연구에서는 교통량의 영향이 거의 없는 시간대에 주행을 하기 때문에 그 영향은 없다고 가정하였다.

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 불안뇌파 관련 연구

배준형(2008) 등은 돌발상황에 따른 연령별 운전자 생리반응

1) 주행 중인 자동차 안에서 도로상황 등 각종 교통정보를 실시간으로 주고받으며, 교통체증을 줄여 시속 160km로 주행할 수 있는 도로기술

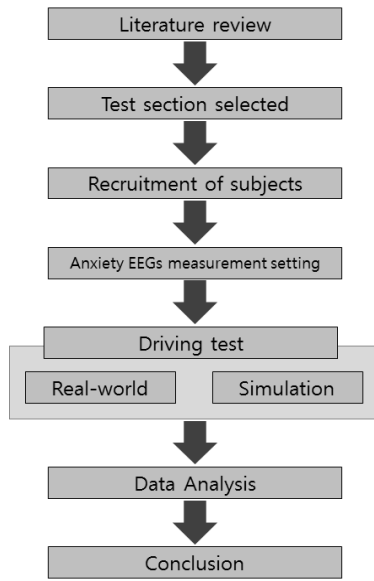


Fig. 1. Flowchart of Research

비교를 위한 생체신호 추출, 선정 및 정량화에 대해서 연구하였다. 연구결과 돌발상황에 따른 생리반응을 위해서는 생체신호의 크기를 나타내는 변수와 생체신호 변화의 양을 나타내는 변수가 동시에 사용되면 더욱 정확하게 측정됨을 증명하였다.

Kecklund와 Akersted(1993)은 28명의 트럭운전자를 대상으로 장시간 트럭운전 시 운전자가 피로하거나 졸음상태가 되면서 뇌의 중심엽부에서 θ 파와 α 파가 증가함을 밝혔다.

박성석(2009) 등은 한국표준과학연구원에서 뇌파, 눈깜박임, 심전도, 피부 전기저항, 피부 온도변화 등 운전자 생체신호를 측정하고 터널내 위치별 불안긴장감 발생위치, 졸음 피로감 발생위치와 정도를 분석함으로써 선형개선과 교통안전시설, 운전자 긍정적 각성시설 등의 최적위치를 추적하여 결정하였다. 특히, β 파형의 분석으로 터널내에서 큰 곡선으로부터 작은곡선으로 진입구간에서 운전자 불안감이 최고조에 이르는 것으로 나타났다. 이에따라 본 연구에서도 고속주행으로 인한 불안감 측정뇌파는 β 파로 측정하였다.

Cabon(1992)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 이른다는 것을 β 파 분석을 통해서 제시하였다.

김정룡(1999)은 고속도로 주행시 나타나는 운전자의 생리신호 중 뇌파 신호를 추출하여 각 Lobe에서 뇌파의 특성이 운전 작업부하를 얼마나 민감하게 나타내는지 조사하였다. Relative Energy Parameter가 비운전상황과 운전상황의 차이를 확연히 구분할 수 있었으며, α 파와 β 파의 비는 각 운전상황별 부하를 부분적으로

구분해 주는 것으로 나타났다. 또한 EEG(electro-enceph-logram) 신호의 해석방법으로 Coope(1980)는 뇌파 데이터의 처리를 위해 FFT(Fast Fourier Transform)분석을 통해 각 뇌파의 상대 파워 스펙트럼을 구하였다. 본 논문에서도 뇌파분석에 있어서 절대파워 분석보다는 상대파워분석 방법인 α 파와 β 파의 비를 계산하여 적용하였다.

임준범외(2012)는 높은 이동성을 원하는 인간의 요구에 부합할 수 있는 초고속도로의 설계속도를 운전자(인간)의 특성을 반영하여 결정하는 연구를 수행하였다. 운전자가 정해진 주행속도(110km/h~160km/h)로 주행했을 때 불안뇌파 파워를 비교하고, 운전자가 자유롭게 낼 수 있는 속도로 주행할 때의 기하구조, 속도, 불안뇌파를 분석하였다. 불안뇌파는 생리신호 중 β 파를 분석하여 수행하였고, 그 결과 운전자는 150km/h이상 주행시 불안감을 느끼는 것으로 나타났다.

2.2 시뮬레이션 관련 연구

Terumitsu Hirata(2007)는 MOVIC-T4라는 Driving Simulator를 이용하여 도시 지하고속도로의 안전성을 분석하고, Simulator와 실제 주행하였을 때의 속도, 차두간격거리, 감속도 등을 비교하였다. 그 결과 속도와 차두간격거리, 생리학적인 데이터들은 실제 주행과 simulator에서 대부분 유사한 추세를 나타냈으나 감속도는 simulator에서 더 크게 나타났다.

Stuart T. Godley(2002)는 과속대책을 평가하기 위해 고급 드라이빙 Simulator를 이용하였으며, 평가는 평균속도에 의해 수행되었다. 이 과정에서 피실험자 24명은 계측차량으로 실제 도로를 주행하였고, 20명은 simulator를 통해 실험을 실시하였다. 피실험자들은 transvers rumble stripe이 설치된 3개 지점의 도로를 운전하였고, 그에 따른 감속도와 평균속도를 비교하였다. 그 결과 실제 도로와 simulator 주행에서 모두 transvers rumble strip에서 감속하는 것으로 나타났으며 감속패턴이 유사하게 나타났다. 그러나 평균속도는 일반적으로 simulator 보다 실제 계측차량에서 더 빠르게 운전한 것으로 나타났다.

3. 실험개요

3.1 피실험자 및 조사지점

본 연구의 피실험자는 남성 20명, 여성 10명이며, 20대 16명, 30대 10명, 40대 2명, 50대 2명이다. 피실험자의 구성 및 실험 대상 노선은 Table 1과 같다. 설계속도에 따른 운전자 심리를 분석하기 위해 설계속도가 90km/h, 100km/h, 110km/h, 120km/h인 고속도로 및 도시간선도로 연속류 구간에 대하여 실험을 실시하였다.

Table 1. Experiment Details and Characteristics of Test Drivers

Classification		Content
Date		- 2013.04.01~2013.4.6 - 14:00~16:00, 23:00~02:00
Design speed	90km/h	Kangbyeonbukro
	100km/h	Jayuro
	110km/h	Joongang Expressway
	120km/h	Seohaean Expressway
weather		serenity
Experiment Participator		- Total : 30 - Male (n=20), Female (n=10) - Age: 20's(n=16), 30's (n=10), 40's(n=2), 50's (n=2)

3.2 실험방법

본 연구의 실험은 실제 도로 주행과 가상 시뮬레이션 주행 두 가지로 구분된다. 실제 도로 주행실험은 운전자 실제 도로에서 정해진 주행속도로 주행했을 때 불안뇌파 파워를 비교하였고, 가상 시뮬레이션 주행 실험은 시뮬레이션 상에 실제 도로를 구현한 다음 가상 주행하였을 때 불안뇌파 파워를 비교하였다. 시뮬레이션 S/W는 UC-win/road를 사용하였으며, 실험 주행속도는 실제도로 주행실험인 경우 설계속도가 90km/h, 100km/h인 도로는 80km/h~130km/h, 110km/h인 도로는 100km/h~150km/h, 120km/h인 도로는 110km/h~160km/h로 주행하였다. 시뮬레이션 주행실험은 모든 도로에 대하여 110km/h~180km/h로 주행하였다.

실차 주행실험은 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 20m간격으로 매칭 시켰다. 이를 바탕으로 뇌파 데이터 분석 시 특정 구간을 지날 때, 구간의 진입/진출시간을 산출하고 Telescan S/W를 이용해 해당 피실험자의 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).

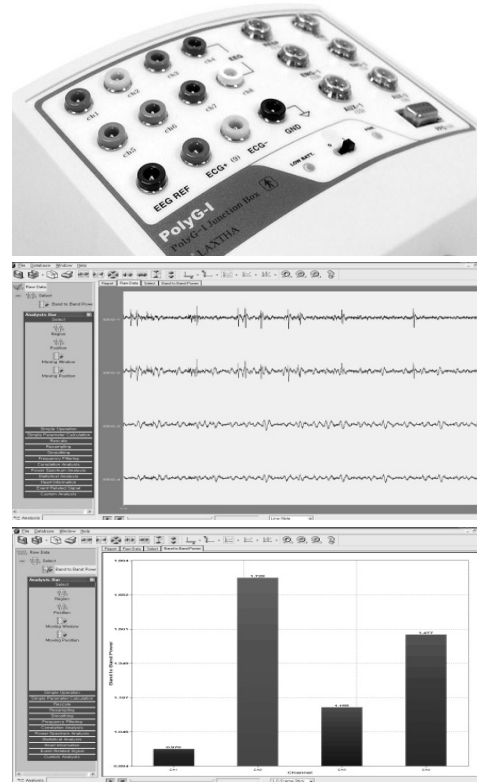


Fig. 2. PolyG-I(H/W) & Telescan(S/W)



Fig. 3. Intelligent Driving Recording Device

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 Hβ(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.

Table 2. Frequency Band and Characteristics of Each Brain Wave

Deviation	Wave	Status	
δ (delta wave)	1-3.99 Hz	deep sleep	-
θ (theta wave)	4-7.99 Hz	drowsy	Frontal lobe, Temporal loce
α (alpha wave)	8-12.99 Hz	relax	Parietal lobe,
β (beta wave)	13-29.99 HZ	Anxiety	Temporal lobe, Frontal lobe,
γ (gamma wave)	30-50 HZ	Awakening	-

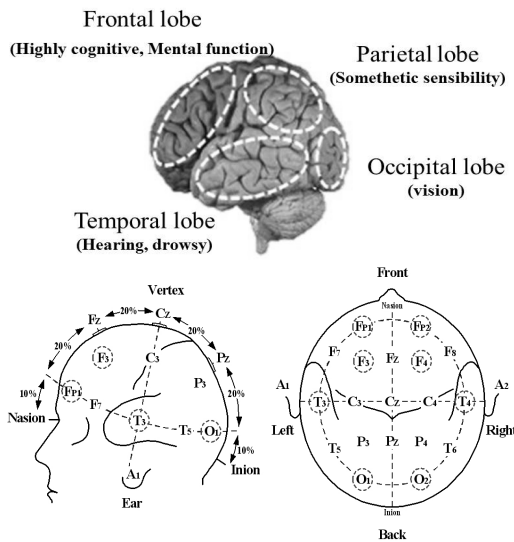


Fig. 4. Brain Wave Creation & Measurement Spot

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 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(β파)이므로 주요 불안뇌파(β파) 생성 부분인 전두엽(Fp1, Fp2)과 평상시 발생하는 α파 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. 상대파워분석(Band to Band Power Spectrum) 분석 방법은 평상시 평온할 때 발생하는 알파파(α파)에 비하여 도로주행시 나타나는 불안뇌파(β파)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 실제로로 주행시 불안뇌파

피실험자 30명의 불안뇌파를 분석한 결과, 설계속도 90km/h와 100km/h인 도로의 경우 80km/h부터 100km/h까지는 불안뇌파 파워의 평균값이 비슷한 것으로 나타났다. 110km/h~130km/h에서는 불안뇌파 파워의 평균값이 급증하여 운전자가 불안감을 느끼는 것으로 나타났다. 설계속도가 110km/h인 도로에서는 100km/h부터 120km/h까지는 불안뇌파 파워 평균값이 비슷하게 나타났고, 130km/h부터 불안뇌파 파워 평균값이 증가하였다. 설계속도가 120km/h인 도로에서는 불안뇌파 파워 평균값이 110km/h부터 140km/h까지는 비슷하고, 150km/h에서 증가하는 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 결정하였다. 유의확률이 유의수준(α: 0.05)보다 클 경우 귀무가설을 기각 할 수 없다. 설계속도가 90km/h인 도로와 100km/h인 도로는 100km - 110km/h 쌍의 유의확률이 0.000으로 0.05보다 작아 110km/h에서 불안뇌파가 증가하는 것으로 나타났으며, 설계속도가 110km/h도로는 120km - 130km/h쌍의 유의확률이 0.000으로 0.05보다 작아 130km/h에서 불안감을 느끼는 것으로 나타났다. 설계속도가 120km/h인 도로에서는

140km/h - 150km/h쌍의 유의확률이 0.001로 나타나 150km/h에서 불안뇌파가 증가하는 것으로 나타났다. 그 결과를 정리하면 Table 4와 같다.

Table 3. Anxiety EEG Power According to Driving Speed(Real-World)

Design speed	Driving speed	EEG power	std. dev	Max.	Min.
90	80	2.427	0.349	3.152	1.752
	90	2.438	0.341	3.122	1.817
	100	2.502	0.315	3.139	1.862
	110	3.227	0.291	3.769	2.805
	120	3.583	0.350	4.125	2.962
	130	4.448	0.365	5.025	3.705
100	80	2.494	0.363	3.129	1.706
	90	2.507	0.363	3.071	1.815
	100	2.623	0.325	3.212	1.991
	110	3.303	0.347	3.985	2.775
	120	3.726	0.286	4.321	3.085
	130	4.104	0.283	4.715	3.605
110	100	2.621	0.274	3.142	1.961
	110	2.683	0.373	3.415	1.818
	120	2.704	0.309	3.315	2.022
	130	3.125	0.395	3.877	2.474
	140	3.455	0.425	4.040	2.715
	150	3.996	0.440	4.802	3.201
120	110	2.508	0.459	3.561	1.707
	120	2.510	0.492	3.676	1.722
	130	2.547	0.487	3.746	1.709
	140	2.594	0.616	4.438	1.681
	150	3.333	0.929	6.546	1.593
	160	4.384	1.417	9.275	2.409

Table 4. Paired t-test Analysis Data(Real-World)

V_d (km/h)	paired (km/h)	means	std. dev	std. err	t	df	p-value
90	80-90	-0.011	0.539	0.098	-0.111	29	0.912
	90-100	-0.064	0.495	0.090	-0.709	29	0.484
	100-110	-0.725	0.452	0.082	-8.793	29	0.000
100	80-90	-0.013	0.509	0.093	-0.139	29	0.890
	90-100	-0.116	0.438	0.080	-1.450	29	0.158
	100-110	-0.680	0.494	0.090	-7.533	29	0.000
110	100-110	-0.062	0.444	0.081	-0.765	29	0.450
	110-120	-0.021	0.519	0.095	-0.222	29	0.826
	120-130	-0.421	0.496	0.090	-4.649	29	0.000
120	110-120	-0.002	0.203	0.037	-0.050	29	0.960
	120-130	-0.037	0.265	0.048	-0.774	29	0.445
	130-140	-0.046	0.346	0.063	-0.731	29	0.471
	140-150	-0.740	1.140	0.208	-3.554	29	0.001

*P < 0.05

4.2 가상 시뮬레이션 주행시 불안뇌파

피실험자 30명의 가상 시뮬레이션 주행시 불안뇌파파워 평균을 분석한 결과, 설계속도 90km/h와 100km/h인 도로의 경우 140km/h에서 불안뇌파 파워의 평균값이 급증하였고, 설계속도가 110km/h인 도로에서는 160km/h, 설계속도가 120km/h인 도로에서는 180km/h에서 증가하는 것으로 나타났다. 운전자는 시뮬레이션에서 주행할 때가 실제 도로를 주행할 때 보다 불안감을 더 조금 느끼고, 더 높은 속도로 주행하는 것으로 나타났다. 가상 시뮬레이션 주행시 불안뇌파 파워 평균값 또한 통계적으로 검증하기 위해 실제도로 주행시와 같은 귀무가설과 대립가설을 설정하여 t-test를 수행하였다.

귀무가설 H_0 : 두 속도 대응 쌍의 불안뇌파 파워의 평균값은 같다.
 대립가설 H_1 : 두 속도 대응 쌍의 불안뇌파 파워의 평균값은 같지 않다.

Table 5. Anxiety EEG Power According to Driving Speed(Simulation)

Design speed	Driving speed	EEG power	std. dev	Max.	Min.
90	110	1.930	0.334	3.129	1.412
	120	1.972	0.442	3.416	1.352
	130	2.058	0.455	3.326	1.356
	140	2.451	0.443	3.896	1.816
	150	2.648	0.467	3.882	1.590
	160	2.684	0.391	3.815	1.957
	170	2.702	0.593	4.114	1.782
	180	2.721	0.469	3.952	1.763
	100	110	1.937	0.483	3.655
120		2.016	0.461	3.516	1.416
130		2.064	0.541	3.716	1.419
140		2.429	0.440	3.785	1.782
150		2.641	0.522	3.816	1.626
160		2.719	0.405	3.652	2.045
170		2.739	0.515	3.816	1.952
180		2.783	0.493	4.122	2.118
110		110	1.619	0.376	2.716
	120	1.652	0.397	2.586	1.101
	130	1.709	0.390	2.863	1.098
	140	1.791	0.293	2.716	1.352
	150	1.895	0.366	2.976	1.216
	160	2.287	0.491	3.546	1.288
	170	2.511	0.566	3.952	1.326
	180	2.568	0.685	4.885	1.154
	120	110	1.533	0.373	2.552
120		1.541	0.350	2.582	1.059
130		1.564	0.317	2.712	1.103
140		1.603	0.360	2.816	1.122
150		1.690	0.437	2.716	0.595
160		1.702	0.430	2.811	0.922
170		1.816	0.516	3.102	0.815
180		2.523	0.791	5.713	1.115

Table 6. Paired t-test Analysis Data(Simulation)

V_d (km/h)	paired (km/h)	means	std. dev	std. err	t	df	p-value
90	110-120	-0.430	0.458	0.083	-0.514	29	0.611
	120-130	-0.856	0.627	0.114	-0.749	29	0.460
	130-140	-0.393	0.548	0.099	-3.932	29	0.000
100	110-120	-0.079	0.622	0.113	-0.695	29	0.493
	120-130	-0.048	0.730	0.133	-0.362	29	0.720
	130-140	-0.365	0.574	0.104	-3.481	29	0.002
110	110-120	-0.033	0.488	0.089	-0.71	29	0.713
	120-130	-0.057	3.886	0.070	-0.802	29	0.429
	130-140	-0.082	0.385	0.070	-1.159	29	0.256
	140-150	-0.103	0.343	0.062	-1.652	29	0.109
	150-160	-0.393	0.552	0.100	-3.892	29	0.001
120	110-120	-0.008	0.349	0.063	-0.128	29	0.899
	120-130	-0.023	0.307	0.056	-0.417	29	0.680
	130-140	-0.039	0.416	0.076	-0.508	29	0.615
	140-150	-0.877	0.537	0.098	-0.894	29	0.379
	150-160	-0.011	0.534	0.097	-0.118	29	0.907
	160-170	-0.114	0.596	0.109	-1.048	29	0.303
	170-180	-0.706	0.980	0.179	-3.947	29	0.000

*P < 0.05

시뮬레이션 가상 주행실험의 t-test 검정 결과 설계속도가 90km/h인 도로와 100km/h인 도로는 130km/h - 140km/h와의 유의확률이 각각 0.000, 0.002로 0.05보다 작아 140km/h에서 불안뇌파가 증가하는 것으로 나타났다. 설계속도가 110km/h인 도로는 150km/h - 160km/h와의 유의확률이 0.001로 나타나 160km/h에서 불안뇌파가 발생하는 것으로 나타났으며, 설계속도가 120km/h인 도로는 170km/h - 180km/h와의 유의확률이 0.000으로 180km/h에서 불안뇌파가 증가하는 것으로 나타났다. 시뮬레이션 가상 주행실험의 t-test 검정결과를 정리하면 Table 6과 같다.

4.3 실 주행실험과 가상 주행실험 불안뇌파 분석결과

실제도로 주행실험과 가상 시뮬레이션 주행실험의 불안뇌파 파워 평균값이 증가하는 시점을 비교한 결과, 시뮬레이션 주행 실험 시 증가 시점이 실제 도로를 주행 시 증가시점보다 약 30km/h 정도 높은 것으로 나타났다. 또한 가상주행 실험 시 불안뇌파 파워 평균값이 실제 도로를 주행하였을 시 불안뇌파 파워 평균값보다 전체적으로 더 낮게 나타났다. 이는 운전자가 실제도로를 주행할 때 진동, 소리, 삼리적인 요인 등으로 시뮬레이션으로 주행할 때보다 불안감을 더 느끼기 때문이라고 판단된다.

설계속도별 불안뇌파 파워 증가시점을 비교해보면 실 주행실험과 가상 주행실험에서 모두 80km/h 도로와 90km/h 도로는 같은 시점에서 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 설계속도가 80km/h인

Table 7. Anxiety EEGs Power Increased Speed

Design speed	Anxiety EEGs increased speed	
	Real-world	Simulator
90km/h	110km/h	140km/h
100km/h	110km/h	140km/h
110km/h	130km/h	160km/h
120km/h	150km/h	180km/h

도로와 90km/h인 도로는 평면선형, 종단선형, 횡단구성 또는 도로의 규격이나 시야가 차이가 적은 것으로 판단된다. 하지만 110km/h, 120km/h로 설계속도가 높아질수록 불안뇌파 파워가 증가하는 주행속도가 높게 나타나 도로의 선형, 규격이 좋아지면 운전자가 더 높은 속도로 주행할 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 결론

본 연구는 정보통신 발달에 따라 높은 속도를 원하는 인간의 요구를 충족시켜줄 초고속도로 또는 Smart highway에서 상향된 설계속도에 따라 운전자는 불안감 없이 고속으로 주행할 수 있는가에 대한 연구를 불안뇌파 분석을 통해 수행하였다.

이를 위해 피실험자 30명을 대상으로 설계속도가 90km/h, 100km/h, 110km/h, 120km/h인 도시간선도로 또는 고속도로를 운전자가 주행할 때 발생하는 불안뇌파를 분석하였다. 또한 기존 연구고찰에서 MOVIC-T4 시뮬레이션 결과와 실측결과를 비교하였듯이 본 연구에서도 실제로 주행실험을 한 도로를 시뮬레이션 상에 구축하여 가상 주행할 때의 불안뇌파를 분석하고 이 두 가지 결과값을 비교하였다. 불안뇌파 증가시점의 속도를 통계적으로 검증하기 위해서는 paired t-test를 이용하여 평균값을 비교하였다.

그 결과 설계속도가 90km/h, 100km/h인 도로는 실제도로 주행 시 110km/h, 시뮬레이션 주행 시 140km/h로 불안뇌파 증가시점 속도가 같아 도로선형 및 규격에 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 설계속도가 110km/h인 도로는 실제 도로 주행 시 130km/h, 시뮬레이션 주행 시 160km/h에서 불안뇌파가 증가하였고, 120km/h인 도로는 실제 도로 주행 시 150km/h, 시뮬레이션 주행 시 180km/h에서 불안뇌파가 증가하여 도로의 선형과 규격이 좋아짐에 따라 불안을 느끼는 속도도 높아지는 것으로 나타났다. 결론적으로 계속도 80km/h, 90km/h보다는 110km/h, 120km/h로 높아질수록 불안뇌파 파워가 증가하는 주행속도가 높게 나타나 도로의 선형, 규격이 좋아지면 운전자가 더 높은 속도로 주행할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 운전자들은 시뮬레이션 주행을 할 때 실제 도로를 주행할 때 보다 약 30km/h 정도 높은 속도로 주행하는 것으로 나타났다.

5.2 향후 연구과제

본 연구는 장래 초고속도로에서 운전자가 불안감을 느끼지 않고 고속으로 주행할 수 있는지를 알아보기 위해 기존도로를 주행하면서 불안뇌파를 측정하고 분석하였다. 하지만 현재 국내에는 설계속도가 120km/h를 초과하는 도로가 존재하지 않아 실제 초고속도로에서의 불안뇌파를 측정하지 못한 한계가 있다. 따라서 향후 초고속도로의 평면선형, 종단선형, 횡단구성의 기준이 정립된다면, 설계값에 따라 시뮬레이션 상 도로를 구축하여 운전자 불안뇌파에 따른 도로 안전성 분석에 관한 연구가 수행된다면 본 연구가 더 의미있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- Bae, J. H. (2008). "Data collection, variable selection and parameter quantification for driver physiological signal of ages under unexpect events." *The Korea Society of Automotive Engineers*, pp. 1147-1152 (in Korean).
- Cabon, P. (1992). *Maintien de la vigilance et gestion du sommeil dans les systèmes automatisés*, Doctoral Thesis, Université René Descartes, Paris, France (in French).
- Cooper, R., Osselton, J. W. and Shaw, J. C. (1980). *EEG Technology*, 3rd Edition, Butter worths & Co Ltd; Cuild ford & london.
- Define of EEG and brainwaves, Available at: <http://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%87%8C%ED%8C%8C>
- Goran, K. and Torbjorn, A. (1993). "Sleepiness in long distance truck driving; an ambulatory EEG study of right driving." *Ergonomics*, Vol. 36, No. 9.
- Highway construction status, Available at: <http://www.ex.co.kr/>
- Hong, J. P. (2011). *A study on the application of increased max. speed limit on th highways*, Master's Course Paper Jeonnam University (in Korean).
- Kim, S. W. (2003). "Development of evaluation method of driver's fatigue by physiological signal." *The Korea Society of Automotive Engineers*, pp. 1208-1212 (in Korean).
- Lim, J. B. (2012). "A study on the relationship between driver's anxiety EEG & driving speed in motorway sections." *Journal of the KOSOS*, Vol. 27, No. 3, pp. 167-175 (in Korean).
- Kim, J. R. (1999). "Driver psychology reflection analysis at the Highway tangent section." *Ergonomics Society of Korea*, 1999. 1, pp. 7-10 (in Korean).
- NCHRP (2008). *Washington, D. C.*
- Park, S. S., Sim, J. M., Han, J. H., Jang, S. B. and Choi, B. S. (2009). *Design checking and construction management of PFCM span in the incheon bridge*, Yooshin Corporation 16, pp. 264-283 (in Korean).
- Stuart, T. G. (2002). "Driving simulator validation for speed research." *Accident Analysis and Prevention*, 34, pp. 589-600.
- Terumitsu, H. (2007). "Development of the driving simulation system MOVIC-T4 and its validation using field driving data14." *Tsinghua science and technology*, ISSN 1007-0214, pp. 141-150 (in Japanese).