KiSPS 신호처리 · 시스템 학회 논문지 Vol. 17, No. 2 : 77~82 December. 2016

SSVEP 기반 졸음 퇴치 도로시설물 개발

한형섭[1], 류장협[2], 정의필[1]
[1]울산대학교 전기공학부, [2]한국도로공사

Development of SSVEP-based drowsiness extermination road facility

Hyungseob Han[1], Janghyub Ryu[2], Uipil Chong[1]
[1]School of Electrical Engineering, University of Ulsan, [2]Korea Expressway Corporation

요 약 운전자에게 각성뇌파를 생성할 수 있는 SSVEP기반의 졸음퇴치 도로시설물 시제품 개발을 위하여 실험을 통한 표준 인터페이스 모델의 개발 및 실험 검증 자료를 구축하는데 있다. 먼저 프로그램 시뮬레이션으로 SSVEP 자극 프로그램을 만들어서 체커 보드의 자극패턴을 만들었고 SSVEP의 주파수를 베타파 영역(13~30Hz) 내에 설정하였다. 고속도로 졸음취약지점에서 설치하여 운전중에 SSVEP 광자극에 대한 효과검증에 관한 실험 결과 주간과 야간 모두 고속도로 운전 중 SSVEP 광자극을 받으면 순간 베타파가 증가하는 것을 확인하였고, 5분 유지기 동안 보다 높은 각성상태를 유지하는 것으로 확인되었다.

• 주제어 : EEG, 운전자졸음예방, SSVEP, 반복시각자극, 각성상태

Abstract The purpose of this paper is to develop the algorithm of human arousal inducing interface using steady-state visual evoked potential(SSVEP) and its verification through experiments. In order to develop the model, computer-based SSVEP program simulation is preliminary performed. From the results of the simulation, stimulus pattern is decided to checkerboard and SSVEP frequency range is set into beta wave (13~30Hz). After the experiment on proving the effect of SSVEP flashing stimulation while driving by installing it at the location of people mostly falling asleep in the highway, the result confirms that both during the night and the day, after SSVEP flashing stimulation, a wave Beta immediately increases and the subjects keep high stimulation for the 5 minute maintaining stage

• Key Words : EEG, Driver Drowsiness Prevention, Steady-State Visual Evoked Potential(SSVEP), Repetitive Visual Stimulus, Arousal State

Received 19 November 2016, **Revised** 7 December 2016, **Accepted** 21 December 2016

* Corresponding Author Uipil Chong, School of Electrical Engineering, University of Ulsan, 93, Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, Korea. E-mail: upchong@ulsan.ac.kr

Ⅰ. 서 론

운전 인구의 증가와 자동차 보급률의 지속적인 증가로 인하여 고속도로는 국가경제 발전 촉진, 지역경제 활성화, 국민생활 편의 증진과 지역 간 교류확대를 통한 국민통합의 중요한 역할을 하고 있다. 그럼에도 불구하고 고속도로 교통사고는 계속 감소 추세이나, 2010년 도로교통공단의 통계에 따르면 졸음운전으로 인한 교통사고는 평년 수준에 머물러 있으며, 졸음으로 인한 사망자수는 전체의 약 40%를 차지하여 사회적 비용은 연간 527억 원(2010년 기준)에 이르고 있다[1].

이러한 졸음운전을 예방하기 위해서 졸음쉼터 확충, 캠페인 등 지속적인 노력을 통해 운전자에게 선택적 및 일시적인 효과를 주고 있으나 근본적인 졸음방지 대책이 되지 않으며, 운전자에게 청각, 촉각적인 자극을 주기 위하여 설치된 안전시설물의 경우에도 설치구간 및 효과가 극히 제한적이어서 그 실효성이 저하되고 있다[2].

지금까지의 졸음에 관한 연구는 “운전자의 졸음상태”와 “졸음상태에서 운전자의 행동변화 현상”에 대한 연구가 진행되었다[3]. 그러나 실제로 운전자가 졸음상태에 빠진다면 이미 교통사고는 발생된다는 것을 감안할 때 운전자가 졸음상태에 빠지기 전에 운전자의 각성수준을 일정하게 유지해주는 것이 중요하며, 특히, 졸음운전을 보다 효과적으로 예방하기 위해서는 운전자의 생리적 신호를 다루는 인간공학적 측면에서 접근이 필요하며, 이러한 신호를 이용하여 운전자의 졸음상태를 각성상태로 변환시켜 줄 수 있는 도로시설물의 개발이 절실히 요구된다.

본 연구의 기본 가정은 반복적 패턴 주파수의 변화로 시각을 광자극하면 후두엽에서 그와 동일한 주파수, SSVEP가 유발되는데, 이 후두엽에서 발생한 SSVEP가 인간의 사고를 관장하는 전두엽까지 영향을 준다는 것이다. 실제로 여러 연구에서 SSVEP의 영향이 전두엽에 영향을 준다는 연구결과가 있어 본 연구의 가정을 뒷받침 해준다[4-7].

따라서, 본 연구진은 SSVEP를 이용한 각성뇌파유도 모델을 세우고 자극 전후의 전두엽의 베타파를 분석하는 실험을 진행하였다. 14명의 피험자중 11명의 피험자에서 평상시 뇌파와 비교하여 SSVEP 광자극으로 인하여 평소보다 높은 각성상태를 5분 동안 유지하여 의미있는 결과를 보였다[8]. 본 연구는 앞선 연구의 결과를 바탕으로 고속도로 현장실험을 진행하였고 앞선 연구 결과를 바탕으로 SSVEP 기반의 LED 전광판을 고속도로 졸음취약지점에서 설치하여 운전 중에 SSVEP 광자극에 대한 효과검증에 관한 실험을 하였다. 실험 결과 주간과 야간 모두 고속도로 운전 중 SSVEP 광자극을 받으면 순간 베타파가 증가하는 것을 확인하였고, 5분 유지기 동안 보다 높은 각성상태를 유지하는 것으로 확인되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 BCI와 SSVEP에 대한 배경 지식을 설명한다 III장은 제안하는 모델을 고속도로 현장에서의 적용환경에 대해서 설명한다. IV장은 실험에 따라 운전 시간에 따른 베타영역의 스펙트럼을 분석한 후, 마지막으로 결론과 향후 과제에 대해서 요약한다.

Ⅱ. 배 경 지 식

2.1. 뇌전도 기반 BCI 시스템

뇌전도는 1929년 독일의 Hans Berger에 의해 처음으로 사람을 대상으로 측정되었다[5]. 두부내에 같은 방향으로 뻗어있는 수천/수만 뉴런들이 동시에 활성화되어 이온 전류를 발생시키면, 전자기파가 발생하여 두부밖에서 측정 가능하다.

뇌전도 데이터는 BCI 시스템의 입력으로 들어가게 되는데, BCI 시스템은 기계 학습법(machine learning)의 단계와 비슷하게 크게 훈련 단계(Calibration Phase)와 시험 단계(Feedback Phase)로 나뉜다. 훈련 단계에서는 사용자로부터 반복된 뇌 신호를 대량으로 측정해서 전처리(Preprocessing)를 통해 불필요한 데이터를 제거하고, 뇌 신호 데이터에 두드러진 특징을 추출(Feature Extraction)한 다음, 특징적인 뇌 신호를 구별하는 분류기(Classifier)를 생성한다. 이렇게 생성된 분류기는 시험 단계에 서 실시간으로 들어오는 사용자의 뇌 신호를 분류하고, 분류된 결과는 로봇 팔, 단말기, 휠체어와 같은 어플리케이션의 명령으로 입력될 수 있으며, 어플리케이션의 피드백을 통해서 사용자는 자신의 의도가 전달되었음을 확인한다. 최근 뇌전도 기반 BCI 연구에서 가장 많이 사용

되고 있는 표 1과 같이 뇌파(brain wave), ERP(event related potential), SSEP(steady-state evoked potential)가 있다. 대표적인 뇌파로는 SMR(sensorimotor rhythm, 혹은 mu rhythm으로 불림)가 있고, ERP에서는 P300(자극 제시 이후 300ms에서 나타나는 양의 피크)와 Error Potential, 그리고 SSEP에서는 SSVEP(steady-state visual evoked potential), SSSEP(steady-state sensory evoked potential)등이 있다.

2.1. 뇌전도 기반 BCI 시스템

SSVEP는 사람의 안구에 일정한 주파수의 섬광 자극을 주게 되면, 후두엽 시각피질의 뉴런들도 그와 동일한 주파수로 반응하게 되며, 이러한 뇌 활동이 뇌전도를 통해서 측정되게 되는데, 측정된 뇌전도를 주파수 도메인에서 확인해보면 안구에 제시한 주파수 값에 피크가 있음을 확인할 수 있다[6]. 4가지 심볼을 서로 다른 주파수로 깜빡이며 안구에 자극을 주게 되면, 4개의 피크가 뇌전도의 주파수 도메인에서 측정되는데, 원하는 명령을 내리고자 하는 심볼에 집중하게 되면, 현재 집중하고 있는 심볼의 주파수 피크가 다른 주파수 피크에 비해 상대적으로 높아지게 된다. 이것은 우리가 시끄러운 시장 바닥에서 내가 대화하고 있는 가게 주인의 말만 듣는 것과 마찬가지로, 사용자가 주시하고 있는 심볼의 주파수를 구별하는 것이 가능하다는 것이다. SSVEP BCI는 2000년에 Middendorf 등에 의해 처음으로 소개 되었다. 이러한 연구결과를 착안하여 본 연구에서는 인간의 각성상태에서 주로 차지하게 되는 베타파 영역(13~30Hz)에서 SSVEP 자극을 받았을 경우 각성을 유도할수 있다는 것을 가정으로 하고 이러한 가정을 바탕으로 실험을 설계 하였다.

Ⅲ. 고속도로 현장적용

3.1 고속도로 현장 실물 적용안

앞서 진행한 실내, 실외 실험결과를 바탕으로 실질적으로 효과를 내기 위하여 고속도로 현장에 실물을 적용해 보기로 한다.

- 도로조건은 편도 2차로 구간 및 제한속도 100km/h로 시인성을 위하여 직선 또는 좌로 굽은 도로의 갓길 측에 설치하기로 한다.
- 30초간 광 자극시 5분간 각성상태를 유지한다는 전제조건으로 최근 5년간 교통사고 통계자료를 분석한 결과 표1과 같이 졸음취약지점 3곳을 선정하여 실험구간 내에 졸음취약지점이 위치하도록 하고, 휴게시설이 있는 경우 실험구간 종점에 휴게시설이 위치하도록 설계한다.

Table 1. 졸음취약지점 선정
(최근 5년간 반경 200m 내 2건 이상 졸음사고 발생지점)

우선순위	노선명	이정	방향	사고건수	인명 피해		비고
					사망	부상	
1	중부내륙선	62.8k	창원	4	0	1	고령분기점
2		73.2k	양평	3	0	0	남성주IC 부근
3		85.6k	창원	2	0	1	성주IC 부근

- LED 전광판으로 이번 실험에서 중요한 30Hz 주파수의 체크무늬를 구현함에 있어 무늬의 변화를 감지할 수 있는 가시거리를 약 300m로 정의하였다. 고속도로에서 100km/h로 주행할 경우 초당 약 30m를 주행하게 되므로 LED 전광판 하나당 약 10초의 노출시간을 갖게 된다. 따라서 그림 1에서와 같이 30초간의 노출시간을 구현하기 위하여 LED 전광판을 300m 간격으로 3개를 연속하여 설치한다.

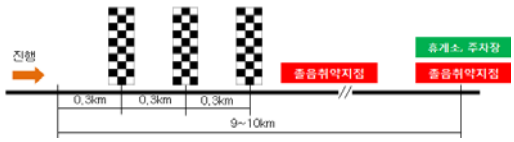


Fig. 1. 고속도로 현장 실물 적용 설치 개요도

- 실험적용구간에 대한 노선도를 그림 2에 나타내었다.

Fig. 2. 실험적용구간

• 각각의 LED 전광판은 그림 3에서와 같이 크기는 가로 50cm, 세로 150cm로 백색 고휘도 LED를 16×48 dots로 제작하고, 전력용량을 감안하여 태양열 집열판으로 주간 밝기 80%, 야간 밝기 30%를 적용하여 24시간 작동하게 하였다.

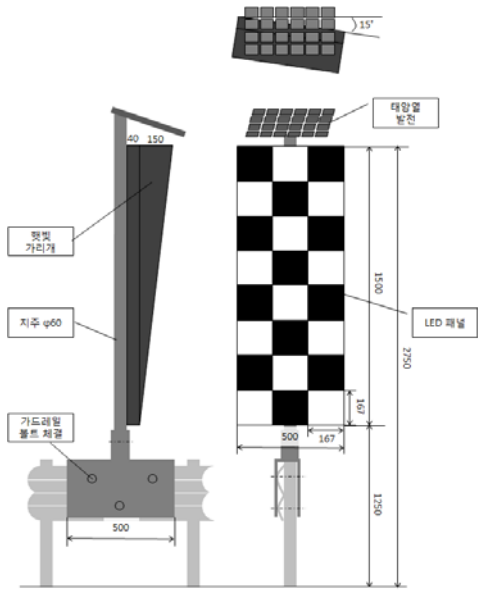


Fig. 3. SSVEP 구현을 위한 LED 전광판 설치사양

3.2 실험환경 및 방법

그림 4는 실제 고속도로 현장에 적용한 예를 보여준다. 실물 적용안에서 제시한대로 300m 간격으로 LED 전광판을 3개 연속으로 설치하였다.

Fig. 4. 고속도로 실물 적용 사진
(중부내륙선 창원방향 88km 지점)

• LED 전광판은 가로 3개×세로 8개의 격자로 형성된 흑백의 체크무늬 패턴을 30Hz의 속도로 반복 표출하였다.

• 태양열 집열방식으로 구동하여야 하기 때문에 전력 용량을 감안하여 주간의 경우 LED의 밝기는 최대의 80%로 제한하였고, 최대 밝기 때와 큰 차이는 보이지 않는다.

실험은 주간 및 야간으로 각각 2회에 걸쳐 진행하였고, 실험장비는 주행 중 실험의 편의성을 위하여 2채널 밴드타입의 뇌파측정장비를 사용하였다.

• 그림 4의 실험적용구간에서 실험대상은 중부내륙선 창원방향 72km 지점과 양평방향 67km 지점으로 하였다.

• 평상시 대비 자극기와 유지기 때의 뇌파특성을 비교하기 위하여 실험은 대상지점의 2~3km 이전부터 진행하여 약 2~3분 정도의 평상시에 해당하는 뇌파를 측정하고, 이후 유지기는 5분간 뇌파를 측정하기로 한다.

• 실험을 시작하기 전 휴게소 또는 지사 마당에서 2채널 밴드 뇌파측정장비를 10-20 국제표준에 의거 Fp1과 Fp2에 위치하도록 피험자에게 장착을 하였다. 이 때 차량에는 에어컨의 시동을 켜 노이즈의 발생을 최소화하였다.

Ⅳ. 실험결과

그림 5과 그림 5는 72k 지역에서의 베타파를 그래프로 표현한 것이다.

• SSVEP LED 자극은 200프레임 전후방에서 일어났으며 그래프를 보면 200프레임 이후로부터 베타파가 상승(1.5에서 3.5)한 것을 확인 할 수 있다.

• 이때는 명절을 앞두고 교통량이 평소보다 많아 LED 전광판을 계속 주시하는 것이 힘든 환경이었음에도 불구하고 자극기부터 350프레임까지는 베타파가 두드러지게 나타남을 확인 할 수 있다.

- 여기서 1 프레임은 파워스펙트럼의 중첩으로 길이는 1초에 해당한다. 따라서 150초 동안 각성상태가 지속이 되어 주행거리는 약 4km에 해당한다.
- 피험자의 평상시 뇌파에서 알파블락킹의 졸음현상은 찾아볼 수 없었기에 운전중 기본적인 각성상태는 유지 하고 있었다는 것을 참고로 할 사항이다.

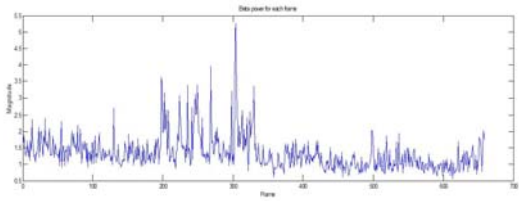


Fig. 5. 베타파 평균 그래프(72K 지역)

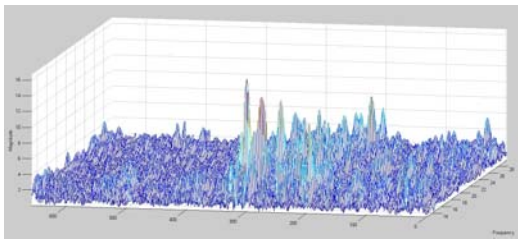


Fig. 6. 베타영역 스펙트럼(72K 지역)

그림 7와 그림 8은 67k 구간에서의 베타파를 그래프로 표현한 것으로 앞서 72k 구간의 실험이 있은 후의 실험 결과이다.

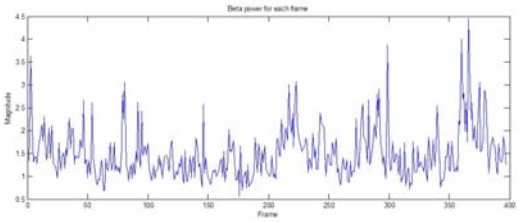


Fig. 7. 베타파 평균 그래프(67K 지역)

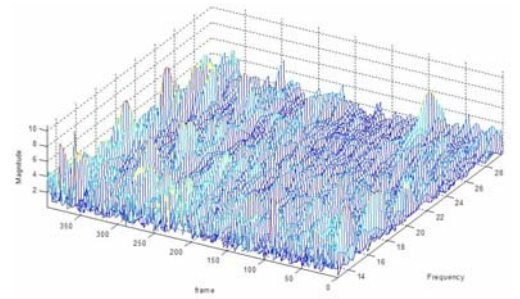


Fig. 8. 베타영역 스펙트럼(67K 지역)

- 1차 실험때와 마찬가지로 72k 지점의 광자극의 영향이 두 번째 실험대상인 67k 지점에 영향을 준다는 점이 이번 실험에도 나타났다.
- 그림 7을 보면 전 구간 베타파의 평균값이 높게 형성된 것을 볼 수 있다. 동영상 육안 검사결과 자극기는 80프레임부터 발생하여 이후 유지기 동안 높은 베타파를 계속 유지하는 것을 확인할 수 있다.
  - 그림 8에서 단순히 베타 값만 높은 뿐만 아니라 하이베타영역도 많이 검출 된 것을 확인할 수 있다. 이는 제안하는 LED 전광판이 피험자의 각성상태를 유지 또는 향상 시키는 데 기여하였다고 볼 수 있다.
  - 1차 실험과 동일하게 피험자의 뇌파를 분석한 결과 알파블락킹은 발생하지 않았기 때문에 피험자는 운전 중 기본적인 각성상태는 계속해서 유지하고 있었다.

Ⅵ. 결 론

고속도로 졸음취약지점에서 설치하여 운전중에 SSVEP 광자극에 대한 효과검증에 관한 실험결과 주간과 야간 모두 고속도로 운전 중 SSVEP 광자극을 받으면 순간 베타파가 증가하는 것을 확인하였고, 5분 유지기 동안 보다 높은 각성상태를 유지하는 것으로 확인되었다.

본 연구에서 정상시각유발전위(SSVEP)를 이용한 LED 체크보드가 운전자를 각성상태로 이끌어 내는 효과가 있다는 것이 이번 실험결과를 통해 검증 되었다. 그러므로 본 연구에서 개발된 뇌파를 이용한 졸음퇴치 도로시설물을 이용할 경우 고속도로 졸음사고를 감소시키는 데에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

[1] 한국도로공단, “2010년 교통사고 통계분석”, 2011.
[2] 한국도로공사, “졸음방지 시설의 효과 향상 방향”, 2014.
[3] 정의필, 한형섭, “선형예측계수와 뇌파의 변화를 이용한 신경회로망 기반 운전자의 졸음 감지 시스템”, 한국신호처리시스템학회, 13(3), pp.136-141, 2012.

[4] Gebhard Sammer et al, “Acquisition of typical EEG waveforms during fMRI: SSVEP, LRP, and frontal theta”, NeuroImage, Vol 24, p 1012-1024, 2005

[5] Richard B Silberstein, et al, “Frontal steady-state potential changes predict long-term recognition memory performance”, International Journal of Psychophysiology, Vol 39, p 79-85, 2000

[6] Richard B et at, “Steady state visually evoked potential (SSVEP) topography in a graded working memory task”, International Journal of Physiology, Vol 42, p 219-232, 2001

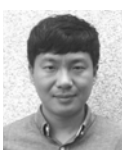
[7] William M. Perlstein et al, “Steady-state visual evoked potentials reveal frontally-mediated working memory activity in humans”, Neuroscience Letters, Vol 342, p 191-195, 2003

[8] 한형섭, 정의필, “졸음 예방 운전자를 위한 각성 뇌파 유도 인터페이스 개발”, 한국공학예술학회 논문지, 8권, 1호, 5-12, 2016.

저자소개

한 형 섭 (Hyung-seob Han)

2009년 2월 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부(공학사)
2011년 2월 울산대학교 컴퓨터정보통신공학과(공학석사)
2017년 2월 울산대학교 컴퓨터정보통신공학과(공학박사)
2016년 3월~현재 주식회사 에이치에이치에스 대표
※관심분야: 기계고장진단, 생체신호처리, 인공지능



류 장 협 (Jang-hyub Ryu)

2004년 2월 울산대학교 기계공학과(공학사)
2004년 3월~현재 한국도로공사 교통차장
※관심분야: 도로교통공학, 졸음방지 시설

정 의 필 (Ui-Pil Chong)

1978년 2월 울산대학교 전기공학과(공학사)
1980년 2월 고려대학교 전기공학과(공학석사)
1985년 5월 미국 오레곤 주립대학교 전기 및 컴퓨터 공학과(공학석사)
1996년 12월 미국 뉴욕 대학교(폴리테크닉 공대) 전기 및 컴퓨터 공학과(공학박사)
1997년 4월~현재 울산대학교 전기공학부 교수
※관심분야: 신호처리, 멀티미디어, 컴퓨터음악