

# EEGNet과 SSVEP를 이용한 운동 재활 중 집중 방해 분류

임현미<sup>1</sup>, 구정훈<sup>1\*</sup>

계명대학교 의용공학과<sup>1</sup>

## Distraction classification during motor rehabilitation using EEGNet and steady state visually evoked potentials (SSVEP)

Hyunmi Lim<sup>1</sup>, Jeonghun Ku<sup>1\*</sup>

Department of Biomedical Engineering, College of medicine, Keimyung University, Daegu, Korea

\*kujh@kmu.ac.kr

### Abstract

Keeping patients from being distracted while performing motor rehabilitation is important. Here, we suggest a BCI-based monitoring method using a flickering cursor and target that can evoke a steady-state visually evoked potential (SSVEP) using the fact that the SSVEP is modulated by a patient's attention. Fifteen healthy individuals performed a tracking task where the target and cursor flickered. There were two tracking sessions, one with and one without flickering stimuli, and each session had two conditions in which each had no distractor, and distractors. An EEGNet was trained as a classifier using only non-D and both-D conditions to classify whether it was distracted and validated with a leave-one subject-out scheme. The results reveal that the proposed classifier demonstrates superior performance when using data from the task with the flickering stimuli compared to the case without the flickering stimuli. Therefore, the proposed method is advantageous because it can reveal a robust and continuous level of a patient distraction. This facilitates its successful application to the rehabilitation systems that use computerized technology, such as virtual reality to encourage patient engagement.

### 1. 연구 배경

재활훈련 시 환자의 적극적인 재활 참여에 대한 중요성이 강조되고 있다[1]. 그러나 재활훈련 중 주의를 산만하게 하는 여러 요소로 인하여 환자는 주의력을 잃게 된다. 이는 적극적인 재활 참여를 저하시켜 치료에서 뇌 가소성의 효과를 감소시킬 수 있다[2].

뇌 컴퓨터 인터페이스 (brain-computer interface; BCI) 기술 중 하나인 정상 상태 시각적 유발 전위(SSVEP) 패러다임은 환자가 자극을 보고 있을 때 깜박이는 시각 자극과 동일한 주파수의 진동 패턴이 뇌파에서 관찰되는 것이다. 이를 통해 EEG의 주파수 스펙트럼을 관찰하여 환자가 자극을 보고 있는지 여부를 감지할 수 있다. 또한 여러 자극 중에서 특정 자극을 주의 깊게 응시할 때 대상 자극에 대한 SSVEP 반응이 향상되는데, 이는 SSVEP 반응이 자극을 주의 깊게 보고 있는지 또는 주의가 산만하게 되는지에 의해 조절된다는 것을 보여준다[3-5].

따라서 본 연구에서는 운동 재활을 수행하는 동안 EEG 반응이 주의력에 의해 조절됨을 이용하여 딥러닝 기술을 통해 산만 상태를 분류하는 시스템을 제안하고자 한다.

### 2. 연구 방법

#### 2.1. 피험자

건강한 성인 15명을 대상으로 실험을 수행했다 (남 8명, 여 7명, 평균 나이 25.67세 ± 3.48세).

#### 2.2. 프로그램 구성

손 움직임을 지시하는 반원(target)이 화면에서 움직이고, 마우스(cursor)를 이용해 target을 추적하도록 했다[그림 1]. target은 15Hz로 깜빡이며, cursor는 12Hz로 깜빡였다. 운동 과제 집중을 방해하여 주의를 산만하게 하는 요소로 시각적, 인지적 두 가지의 방해 요소를 구성했다. 시각적 방해는 target과 동일한 모양의 반원 20개를 뒷 배경에 배치하여 움직이게 하였다. 인지 방해 요소는 운동 과제를 수행함과

동시에 2초에 한 번씩 제시되는 빠기 연산을 암산하여 답을 소리내어 대답하도록 하였다.

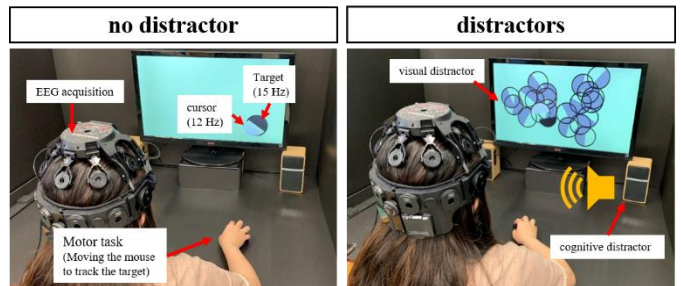


그림 1 프로그램 구성 및 방해요소 구성

### 2.3. 실험 구성

운동 중 방해요소 유무에 따른 주의력 차이를 분류함에 있어 SSVEP 자극이 분류성능에 미치는 영향을 확인하기 위하여 아래의 4가지 컨디션을 구성했다 [표 1].

	Distraction 없음	Distraction 있음
SSVEP 없음	(1) target, cursor 단색. 방해 없이 운동과제만을 수행	(2) target, cursor 단색. 시각적, 인지적 방해요소 있음
SSVEP 있음	(3) target, cursor가 깜빡임. 방해 없이 운동과제만을 수행	(4) target, cursor가 깜빡임. 시각적, 인지적 방해요소 있음

표 1 target, cursor의 SSVEP 자극 유무 및 방해요소 유무로 구성된 4가지 컨디션 각 조건은 2분간 수행되었으며, 무작위 순서로 제공되었다.

### 2.4. EEG 데이터 측정 및 분석

EEG 데이터는 DSI-24 (wearable sensing, San Diego, USA)를 사용하여 측정하였다. 19채널 건식 전극이며 (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2) 샘플링 주파수는 300Hz로 구성했다.

측정된 뇌파의 신호 품질 개선을 위한 전처리 과정을 수행했다. 먼저 4~30Hz의 대역필터를 통과하여 신호를

필터링 하였다. 그런 다음 artifact subspace reconstruction (ASR)과 independent component analysis (ICA)를 수행하여 뇌파 데이터에서 불필요한 잡음을 제거하였다. 전처리된 뇌파 신호를 방해요소 유무를 판별하는 딥러닝 모델을 훈련하는데 사용했다.

### 2.5. EEGNet 훈련 및 검증

딥러닝 모델 훈련을 위하여 각 컨디션에서의 뇌파 신호를 1초 크기로 잘라냈다. 방해요소로 인한 주의력 차이를 분류하기 위하여 EEGNet 모델을 사용했다. 모델의 optimizer는 Adam을 사용했으며 learning rate는 0.01로 구성했다. 최적의 모델을 찾기 위하여 훈련 횟수(epoch) 200회 중 validation loss가 가장 낮은 모델 가중치를 저장했다. 훈련한 모델의 성능을 평가하기 위하여 총 15명의 데이터 중 14명의 데이터로 모델을 훈련하고, 훈련에 사용되지 않은 한 명의 데이터로 모델을 검증하는 leave-one-subject-out cross-validation을 수행했다.

## 3. 연구 결과

### 3.1. SSVEP 반응

cursor와 target의 SSVEP 반응은 아래와 같다 [그림 2]. 방해요소가 없는 경우 cursor의 SSVEP 진폭이 크게 나타났으며 target의 진폭은 낮게 나타났다. 운동과제 시 방해요소가 있는 경우 cursor의 SSVEP 진폭의 감소를 보였으며, target의 진폭이 증가됨을 보였다.

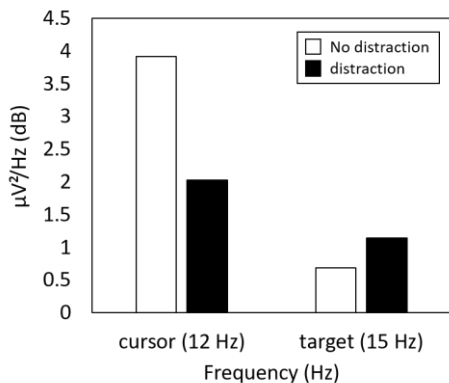


그림 2 방해요소가 없는 운동과 시각적 인지적 방해요소가 있는 운동을 수행할 때의 cursor와 target의 SSVEP 진폭 크기.

### 3.2. 운동과제 집중방해 분류

target과 cursor를 깜빡이는 조건에서 측정된 뇌파로 훈련한 모델의 방해유무예측 평균 정확도는 78%를 나타낸 반면, 깜빡이지 않은 조건의 경우 61.5%로 비교적 낮은 정확도를 보였다 [표 2].

		SSVEP 있음		SSVEP 없음	
		예측 결과		예측 결과	
		방해 없음	방해 있음	방해 없음	방해 있음
실제 상태	방해 없음	<b>0.82</b>	0.18	<b>0.64</b>	0.36
	방해 있음	0.26	<b>0.74</b>	0.41	<b>0.59</b>

표 2 깜빡임이 있는 경우와 깜빡임이 없는 경우 두 조건에서의 방해자극 유무를 판별하는 분류기의 분류 결과 혼동행렬. SSVEP 자극이 있는 경우 더 우수한 분류 결과를 나타냄.

SSVEP 자극이 있는 경우 방해유무 분류 정확도가 16.5% 더 높게 나타났다.

## 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 운동 수행 중 주의 산만에 대한 분류 패러다임을 제안했다. 이를 위해 마우스를 이용해 타겟을 추적하는 운동과제를 구성하였으며 타겟과 커서를 서로 다른 주파수로 깜빡였다. 주의가 산만하지 않은 상태, 그리고 여러 방해요소로 인해 주의가 산만해진 상태를 분류하기 위하여 EEGNet 모델을 훈련하였으며 Leave-One-Out 교차검증을 수행했다. EEGNet 모델은 타겟과 커서가 깜빡이는 경우 주의가 산만해진 상태를 높은 정확도로 분류했지만 깜빡임이 없는 경우 비교적 낮은 정확도를 나타냈다. 이러한 결과는 본 연구에서 제안하는 방법이 사용자의 주의 산만 상태를 측정하는 데 적합함을 나타낸다. 또한 내인적인 뇌파 특성을 이용하는 것 보다 외부의 깜빡임 자극에 의한 뇌파 반응이 주의력 상태 분류에 더 중요한 역할을 했음을 시사한다. 본 연구에서 제안하는 운동수행 중 주의력 산만 분류 방법은 재활 중 환자의 참여를 관찰하는데 사용될 수 있으며 실시간 피드백을 제공하여 즉각적으로 환자의 상태를 모니터링하는데 사용될 수 있을 것이다. 또한 재활 게임 및 가상 현실 시스템과 같은 재활 시스템에 적용하여 재활치료 중 환자의 적극적인 참여를 유도하고 재활 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. Acknowledgements

이 연구는 National Research Foundation of Korea (NRF) 과제의 지원을 받아 수행하였음. (NRF-2022R1A2B5B01001443)

## 6. 참고 문헌

- [1] J. H. Song, "The role of attention in motor control and learning," *Curr Opin Psychol*, vol. 29, pp. 261-265, Oct, 2019.
- [2] M. R. Kamke, M. G. Hall, H. F. Lye, M. V. Sale, L. R. Fenlon, T. J. Carroll, S. Riek, and J. B. Mattingley, "Visual attentional load influences plasticity in the human motor cortex," *J Neurosci*, vol. 32, no. 20, pp. 7001-8, May 16, 2012.
- [3] Z. Iscan, and V. V. Nikulin, "Steady state visual evoked potential (SSVEP) based brain-computer interface (BCI) performance under different perturbations," *PLoS One*, vol. 13, no. 1, pp. e0191673, 2018.
- [4] M. Ordikhani-Seyedlar, H. B. Sorensen, T. W. Kjaer, H. R. Siebner, and S. Puthusserypady, "SSVEP-modulation by covert and overt attention: Novel features for BCI in attention neuro-rehabilitation," *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, vol. 2014, pp. 5462-5, 2014.
- [5] H. Lim, and J. Ku, "A Brain-Computer Interface-Based Action Observation Game That Enhances Mu Suppression," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, vol. 26, no. 12, pp. 2290-2296, Dec, 2018.