

이두근의 근전도 출력과 동기화된 뇌파의 활성화도 변화와 신호의 제어 가능성

Changes in EEG Activity Synchronized with EMG output of Biceps and Signal Control Possibility

전 부 일*, 조 현 찬*

Bu-Il Jeon*, Hyun-Chan Cho*

Abstract

This paper interprets the relationship between the physical activity of the human and the signal of the brain to show the meaningful results in the process of sending and receiving information to the connected muscles. When a person works or thinks, a specific brain signal is generated from the brain and being transmitted to the connected part. The EMG signal, which has muscle activity information, outputs the result of the muscle activation as an electrical signal, which outputs muscle activity information usually due to muscle contraction and relaxation. The purpose of this study is to analyze the relationship between the two signals, which are difficult to identify easily by visual data extraction and data acquisition by extracting such EMG and EMG in real time.

요 약

본 논문은 인간의 신체활동에 있어서 뇌의 신호가 연결된 근육으로 정보를 제공하고 받아오는 과정에서 유의미한 결과를 나타내는데에 관한 관계를 해석한다. 사람의 의식적 활동은 활동에 필요한 근육의 동작을 위하여 뇌로부터 생성된 전기신호의 전달에 의해 가능해진다. 근육의 활성정보를 가지고 있는 근전도 신호는 근육활성화의 결과를 전기적인 신호로 출력하는데, 이 출력은 보통 근육의 수축과 이완에 따른 근육활성 정보를 출력한다. 본 연구에서는 이런 뇌전도와 근전도를 실시간으로 추출하여 데이터를 획득하고, 데이터 분석을 통해 눈으로 쉽게 확인하기 어려운 두 신호간의 관계를 분석하는데 목적이 있다.

Key words : EMG, EEG, signal analysis, user intention, FFT

* School of Electrical, Electronics and Communication Engineering, KOREATECH

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

This work was supported by 2016 Education and Research promotion program funded by KOREATECH.

Manuscript received Dec. 14, 2018; revised Dec. 22, 2018; accepted Dec. 24, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

인간의 신체는 여러 가지 생체 신호들의 상호 연결에 의해 서로 소통하고 있다. 뇌 신호는 사람의 의지나 의도, 연산능력, 사고 능력에 관한 정보를 연산하여 행동을 하도록 신호를 보낸다.

뇌를 통해 전달된 신호는 신경계를 따라 전기적인 신호를 근육표면으로 출력하며 이러한 신호는 근육이나 관절에 전해져 행동의 결과를 되돌려 주고 뇌는 다시 이러한 행동의 변화를 감지한다. 하지만 이러한 과정은 여러 로봇시스템을 통해 제어기

를 운용하면 이해가 가능하도록 시연이 가능하지만 정확하게 전달되는 신호의 유형이나 행동 및 의지의 구분을 하는 부분은 어려움이 많이 존재한다. 최근에는 이러한 뇌의 신호를 통해 사람의 의도를 파악하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 사람의 뇌 안에 칩을 삽입하여 측정된 전위의 변화를 통해 신호의 유형을 파악하기도 하고[1], 비침습적인 방법을 통해 뇌전도(EEG : Electroencephalogram)를 측정하기도 한다. 본 연구에서는 후자의 비침습적인 방법을 통한 뇌전도 측정 데이터를 이용하여 근육 활동의 신호인 근전도 신호와의 관계를 분석한다. 뇌의 신호는 근육의 동작에 따른 특정한 신호를 신경계를 통해 전달한다. 근육의 동작에 따라 이두근과 삼두근은 수축과 이완을 하며, 동작에 따른 근전도 신호(EMG : Electromyogram)를 출력한다. 뇌에서의 의지 전달과 근육의 동작에 따라 끊임없이 교환되는 신호의 양은 방대하다. 본 연구의 목적은 방대한 데이터를 추출하고 처리하는 과정에서 뇌와 근육간의 유의미한 신호를 찾고, 전달된 신호를 해석하여 동작의 근거를 제시하는데 궁극적인 목적이 있다. 이를 위해 본 논문에서는 연구를 위한 신호 추출방법과 데이터를 얻는 방법을 제시한다. 또한 처리할 데이터의 분석과 근전도와 뇌전도의 출력특성을 보여주고 동작에 따른 해석 방법을 제시한다.

최근에는 뇌 회로를 구성하여 파킨슨병의 유발원인을 밝혀내는 연구[2]가 진행되고 있으며, ICA나 뉴럴 네트워크를 활용하여 다른 부분의 생체신호들과의 연관성을 밝혀내는 연구[3]도 다수 진행되고 있다. 하지만 뇌의 신호가 미약하고 변화가 심하기 때문에 특정한 결과에 신뢰성을 부여하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 근육의 동작을 한정하고 동작이 이루어짐에 따른 뇌파의 출력을 분석하여 근육활동과의 연관성이 있는지를 탐색한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 1단계는 실험을 하기 위해 근전도와 뇌전도를 측정하고 데이터를 취득하는 방법을 설명한다. 2단계는 두 신호의 분석 방법 및 실험방법에 관한 내용이며, 3단계는 시뮬레이터를 통해 데이터가 가진 두 신호의 유사성을 확인하기 위한 부분으로 데이터의 분석 및 제어 가능성을 예측하며, 마지막의 결론을 통해 결과를 고찰하고 향후 연구방향을 제시한다.

II. 본론

1. EMG 및 EEG 신호의 추출과 측정

사람이 동작을 할 경우 근육의 수축과 이완을 함에 따라 해당 근육에서는 특별한 전기 신호를 출력한다. 그 크기가 수 m에서 수 u단위의 작은 출력이기 때문에 일반적인 방법으로는 추출할 수 없고 근전도 센싱을 위한 특별한 패드와 전극을 사용하여 추출한다. 이 신호는 유발되는 형태가 매우 비선형적이기 때문에 센서와 추출회로의 신뢰성이 없다면 매우 제어하기 힘든 형태로 출력된다. 이를 위해 본 연구에서는 락싸(주)에서 공급하는 근전도 및 뇌전도 측정기기인 QEEG 64X를 사용한다. 본 기기는 최대 64개의 뇌전도를 측정할 수 있으며 안구전도 및 근전도와 심전도를 별도로 3채널 까지 측정할 수 있다.

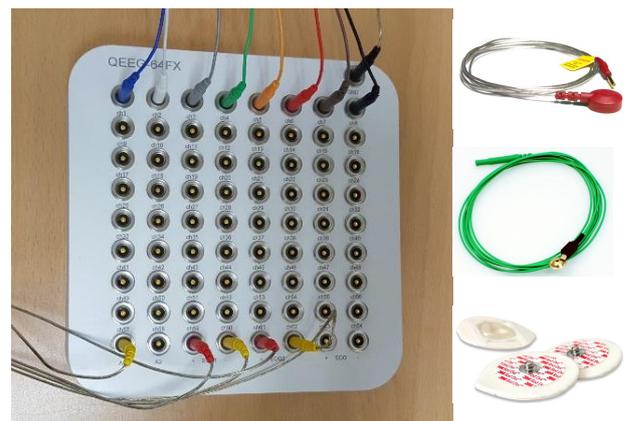


Fig. 1. EEG and EMG measurement system and electrode.
그림 1. 뇌전도 및 근전도 측정 시스템 및 전극

일반적으로는 각각의 센서나 활용목적에 따라 별도의 회로를 구성하여 시스템의 제어에 활용하기 위한 신호로 사용하기도 하지만 본 논문은 별도의 제어기를 구동하지 않기 때문에 다음 그림 1에서 사용하는 QEEG 64X의 기기와 각종 필요한 스냅 전극을 뇌의 8채널과 근육의 이두근에 부착하여 신호를 추출하였다.

가. 근전도와 뇌전도의 출력

근전도는 이두근을 통해 출력하도록 센서의 위치를 고정하였고 하나의 근전도를 얻기 위해서는 각각 기준전극과 활성전극 및 접지전극을 부착한다. 뇌파의 측정은 각각 8채널을 통해 추출하는데 뇌파

템에서 특정 시점에서의 자극을 제시받으면 이두근을 굽혔다 펴는 동작을 하게 되며 1개의 실험 세트는 1분으로 제한하였으며, 자극은 비프음(Beep Sound) 자극으로 실험 간에 1분 동안 10번의 자극을 제시하도록 설계하였다. 안구운동에 따른 노이즈를 제한하기 위해 눈을 감은 채로 실험을 수행하였고 이와 같은 세트를 1세트로 정의하고 1세트의 동작을 30회 반복하여 실시하였으며, 각각 우완과 좌완으로 나누어 실험을 진행하였다. 자극을 제시하는 것은 동작간의 두 출력(EMG, EEG)이 변화하는 시점의 데이터 추출을 위한 것이며 반복 제시하는 것은 유사동작을 반복할 경우 특별한 신호가 동작을 구분할 수 있는 신호가 너로부터 검출되는지 알아보기 위한 목적이 있다.

(2) 실험 방법

실험은 피험자의 동작을 제한하고, 의자에 앉은 상태에서 눈을 감고 데이터를 측정하였으며 실험에 관한 순서는 다음 그림 4와 같다.

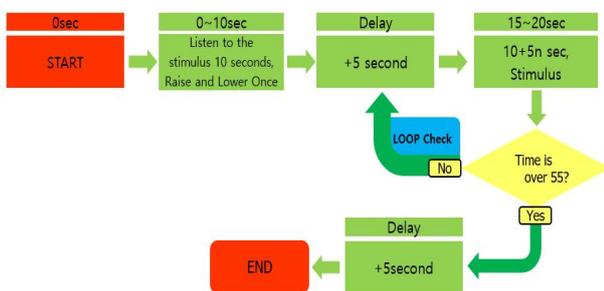


Fig. 4. Experiment configuration for data acquisition.

그림 4. 데이터 취득을 위한 실험 구성

10초까지는 데이터의 안정화를 위해 자극이 제시되기 전까지 안정화 상태를 유지하며 자극을 받을 준비를 한다. 자극을 받으면 이두근을 올렸다가 내리고 다음 자극이 제시될 때까지 5초간 유지하다 자극이 제시되면 다시 올렸다 내린다. 이를 9번 반복한 후 마지막 5초간 대기하고 1분이 되는 시점에서 1 세트를 마무리한다.

3. 데이터의 분석

데이터를 추출하여 시간에 관한 9채널의 데이터를 확인하는 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 데이터는 250Hz의 샘플링레이트(sampling rate)를 사용하였으며 추출된 데이터는 각각 정규화된 수식

을 통해 제로 베이스(Zero base)를 기준으로 표시하였고, 각 구간별 정규화 주파수를 통해 변환하였다. 단위 세트별 데이터 중 두 세트의 표본을 각각 좌측과 우측으로 나누어 그래프로 출력하였다. 데이터의 정규화와 구간별 FFT[7]에 관한 수식은 다음 식1, 2 와 같다. 아날로그 신호를 분석할 때에는 신호의 형식을 디지털로 변화시키는데 디지털 주파수의 표현 방식을 정규화하여 0.0 ~ 1.0 사이의 값을 표시하도록 정규화 과정을 거쳤다. 신호의 주파수 영역 추출을 위해 이산 푸리에 변환 방법(FFT: Fast Fourier Transform)을 사용하였으며, 이를 통해 주파수의 크기에 따라 신호가 그래프에 배열되어 눈으로 확인할 수 있도록 시뮬레이션 하였다.

$$f = Digital F = \frac{Af : Analog Frequency}{250hz : Sampling Rate} \quad (1)$$

$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-j2\pi kn/N} = H_n \quad (2)$$

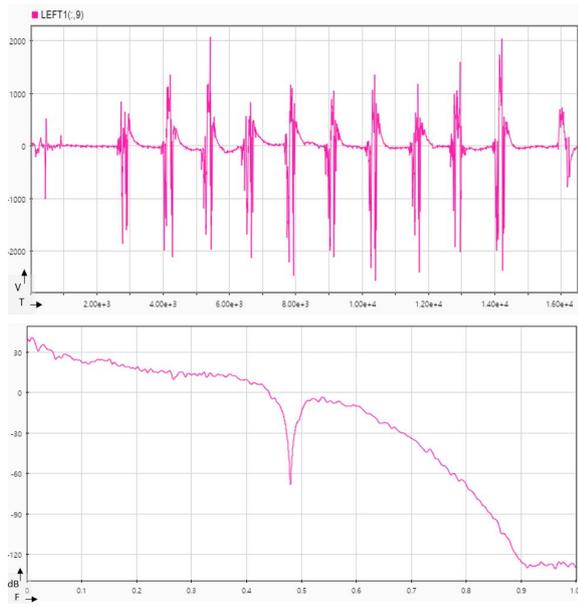
가. 이두근의 근전도 출력

실험 세트의 이두근의 좌우 출력은 각각 다음 그림 5와 같다. 자극을 받은 직후 뇌파의 전도에 의해 전달된 신호는 근육의 수축을 통해 발현되는데 이 근육의 신호는 수축과 이완에 따라 다르게 나타난다. 본 실험에서는 10초 이후 데이터를 자극이 처음 발현되는 10초를 기준으로 5초 간격으로 10회 측정하여 출력되는 신호를 활용하였다. 일반적으로 근전도는 사용자의 의지를 통해 수축과 이완을 반복하게 되면 활성화된 전극을 통해 두 전극의 전위 차이가 증폭도에 따라 증폭되어 접지전극을 기준으로 실시간으로 표시된다.

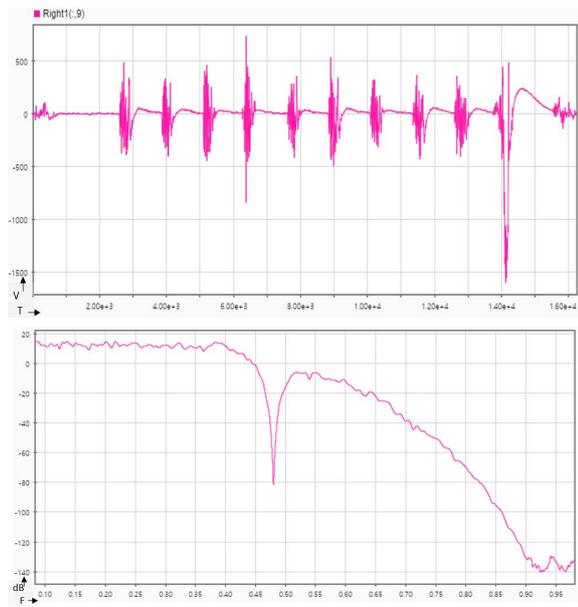
수축의 정도에 따라 근육의 활성 지속시간은 달라지고 근육의 활성정도나 피시험자의 상태에 따라 출력되는 유형이 상이한 특징을 가질 수 있으나 일반적인 피험자의 경우 동작에 따른 활성 정도는 근육의 수축과 이완 정도에 따라 비례하는 특징을 가진다[5].

나. 뇌전도 출력

근전도와 동기화된 뇌전도의 채널 별 데이터는 다음 그림 6과 같다. 뇌파의 출력은 각각 기준전극과 뇌의 각 채널별 출력 데이터의 차에 의해 출력되고 뇌전도와 근전도의 출력을 동기화 하였으며



a. The output of the left biceps (above) and the frequency spectrum (below)



b. The output of the right biceps (above) and the frequency spectrum (below)

Fig. 5. Left and right biceps output and power spectrum by frequency.

그림 5. 좌/우 이두근의 출력과 주파수 별 전력 스펙트럼

접지 전극은 목 뒤 부분에 부착하여 데이터를 측정하였다. 뇌파의 데이터는 출력이 근전도에 비해 낮은 값을 가지기 때문에 다수의 채널을 중첩시킬 경우에 채널 별 데이터가 가지는 값이 무엇을 의미하는지 육안으로 식별하기 어렵다. 본 연구에서는 채널별 데이터의 분석은 별도로 다루지 않고 전체 데이터의 흐름과 근전도 데이터와의 관계를 해석한다.

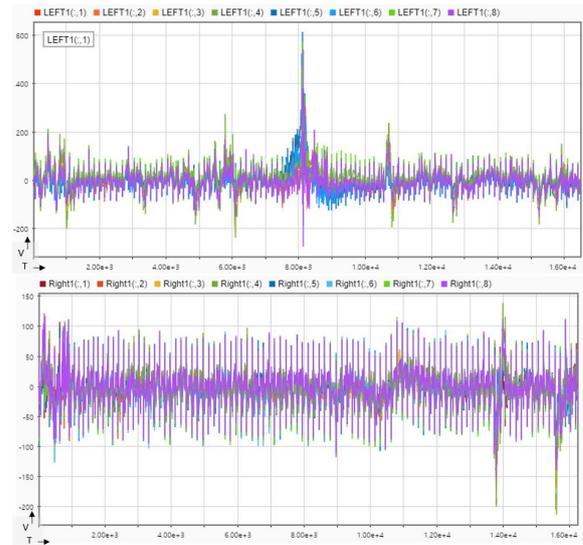
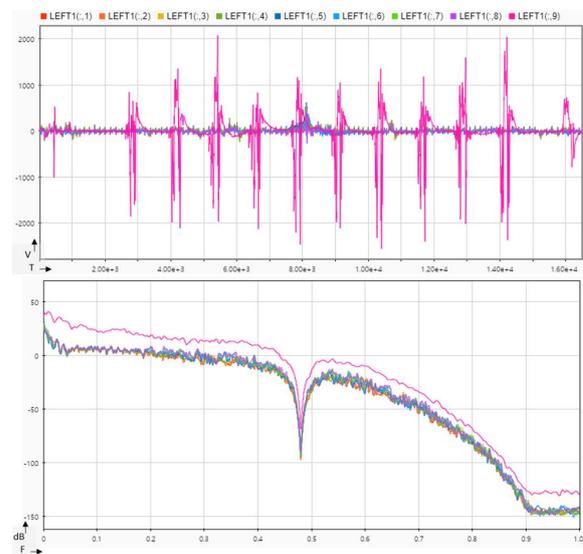


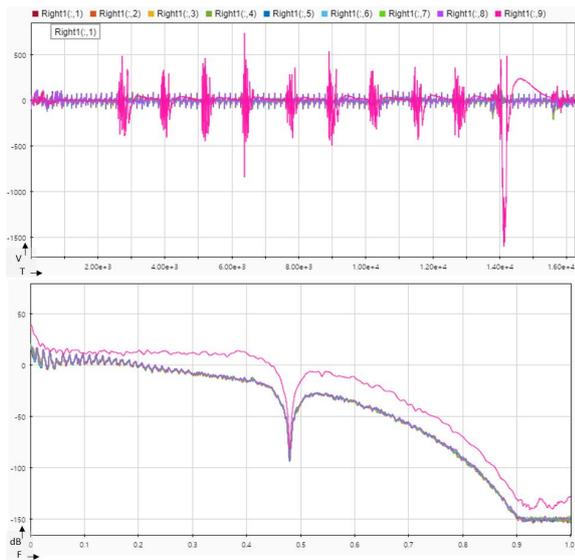
Fig. 6. 8-channel EEG output(Left(above), Right(below)).
그림 6. 8채널 뇌파의 출력(좌완(위), 우완(아래))

다. 뇌전도와 근전도 출력

근전도 신호출력에 따른 뇌전도 출력의 변화는 다음 그림 7과 같다. 근전도 출력의 변화는 뇌전도에 비해 상대적으로 수십 배 이상 크기 때문에 눈으로 확인이 가능하다. 또한 근전도의 출력은 근육 활성화도와 피험자의 근육 발달 상태에 따라 다소 개인간의 편차를 보이지만 일반적인 경우에는 근수축이 증가하면 출력의 평균데이터가 상승하는 모습을 확인할 수 있다, 반면에 뇌신호의 출력을 통해서서는 두신호의 10회에 걸친 반복적인 동작에 관해 제어기의 입력으로 활용할 수 있는 신호를 확인할 수 없다.



a. The output of the left biceps EEG and EMG(above) and the frequency spectrum (below)

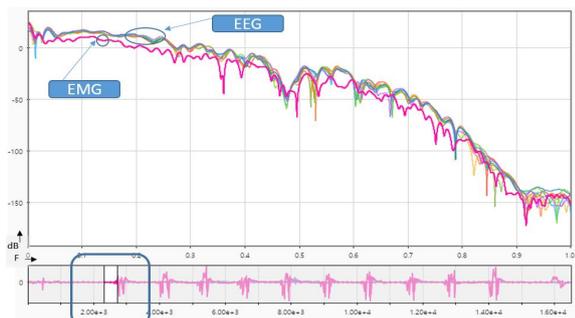


a. The output of the right biceps EEG and EMG(above) and the frequency spectrum (below)

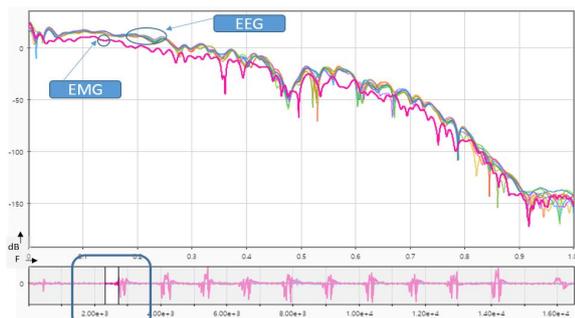
Fig. 7. Synchronization of EEG output according to EMG signal change.

그림 7. 근전도 신호 변화에 따른 뇌전도 출력 동기화

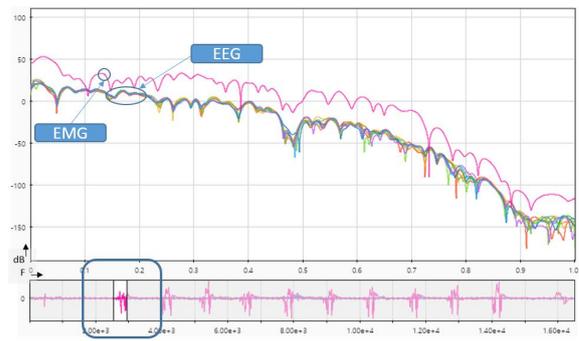
따라서 동작이 이루어지는 자극의 제시점을 기준으로 동작이 이루어지기 전과 후의 데이터를 비교하기 위한 출력을 그림 8을 통해 보인다. 근전도 신호가 발생하는 시점을 기준으로 시간영역의 데이터 샘플을 400개로 고정하고 자극 제시점을 기준으로 앞뒤의 데이터를 각각 나누어 정해진 샘플링 구간 내의 뇌전도 출력을 비교하여 실험과 분석을 진행하였다.



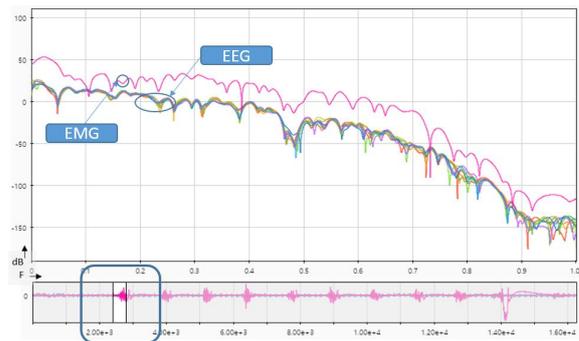
a. EMG and EEG in left arm exercise before stimulation



b. EMG and EEG in right arm exercise before stimulation



c. EMG and EEG in left arm exercise after stimulation



d. EMG and EEG in right arm exercise after stimulation

Fig. 8. Analysis of frequency characteristics before and after stimulation.

그림 8. 자극 전후의 주파수 특성 분석

동작이 이루어지기 전의 뇌파의 주파수 정보는 근전도보다 높은 스펙트럼 값을 나타내고 저주파 영역(Delta and Theta Range)에서부터 서서히 감소하기 시작하여 동작이 이루어지는 시점을 지나면서 근전도의 전력 스펙트럼 값이 증가하여 뇌전도보다 높은 값을 나타낸다. 본 논문에서는 주파수 대역별 데이터를 고려하지 않았으나 이와 같은 현상을 통해 근육신호의 발현 유무를 뇌파 데이터와의 비교를 통해 충분히 제어신호로 활용할 수 있을 것으로 판단할 수 있다.

실제 뇌파 측정을 하게 되면 눈으로 확인하는 것보다 주파수의 변화가 빠르기 때문에 쉽게 제어신호로 사용하기 어렵다. 특히 뇌파의 경우는 비주기 신호로써 외부 간섭이나 노이즈에 민감하기 때문에 신호로 사용하기 위해서는 정밀하고 신뢰도 높은 측정 및 데이터 추출 시스템이 반드시 필요하다. 또한 좌우 팔의 신호를 보면 좌완이 우완에 비해 출력되는 전력 스펙트럼의 값의 차이가 더 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 근육활성도에 있어서 우완의 근전도가 좀 더 숙련되거나 자주 활용하는 근육일 것으로 해석할 수 있다. 그림 8에서 나타난 신호는 동작이 이루어지는 시점을 기준으

로 전구간에 걸쳐 유사한 특징이 나타나는 것으로 확인되었으며, 동기화된 출력 신호 분석을 통해 근육의 동작을 뇌파정보를 해석하는 데 도움이 될 것으로 보인다.

III. 결론

근전도 출력을 통해 얻은 데이터와 뇌전도 데이터를 통해 출력 신호를 비교하여 주파수 영역에서 자극을 받은 후 동기화된 두 신호의 비교를 통한 제어 신호로서의 뇌파를 분류하기 위한 실험을 진행하였다. 실험 결과 뇌전도 데이터만으로는 근전도의 수축이 일어나게 하는 정확한 신호를 찾지는 못하였으나, 근육이 활성화되는 시점의 주파수 변화와 근육출력이 나타나는 시점의 전압출력의 변화를 기준으로 뇌파의 전력 스펙트럼과 변화의 차이를 통해 향후의 제어기 제어신호로서의 가능성을 확인하였다. 향후 연구에서는 뇌전도 데이터 안에 존재하는 근육 전도 유발 전위의 탐색에 관한 실험 및 분석을 지속할 예정이며, 제어 신호로서 다양한 제어 알고리즘 및 시스템 제어 방법을 고안하여 로봇시스템이나 지능형 제어 시스템의 제어 요소로서의 신뢰성을 높이고 사용자의 의지를 뇌파와 근전도를 통한 다수의 생체신호를 활용해 근거를 찾고 활용가능성을 탐색하는 연구로 발전시킬 필요가 있다.

References

- [1] Vassanelli, S., Mahmud, M., Girardi, S., & Maschietto, M. "On the way to large-scale and high-resolution brain-chip interfacing," *Cognitive Computation*, 4(1), 71-81. 2012. DOI:10.1007/s12559-011-9121-4
- [2] Kim, J. W., Kwon, Y. R., Eom, G. M., Jun, J. H., Yi, J. H., Lee, J. W., ... & Park, B. K. "Comparison of movement of rapid alternating movements of hands in idiopathic Parkinson's disease patients and normal subjects using angular velocity measurement system," *The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers*, 59(3), 674-677. 2010.

- [3] Kim, S. H., Yang, H. J., Ng, K. S., & Jeong, J. M. "Feature Analysis of Multi-Channel Time Series EEG Based on Incremental Model," *The KIPS Transactions: PartB*, 16(1), 63-70. 2009. DOI:10.3745/KIPSTB.2009.16-B.1.63
- [4] Hamel, W., Fietzek, U., Morsnowski, A., Schrader, B., Herzog, J., Weinert, D., ... & Mehdorn, H. M. "Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus in Parkinson's disease: evaluation of active electrode contacts," *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 74(8), 1036-1046. 2003. DOI:10.1136/jnnp.74.8.1036
- [5] Han, H., & Chong, U. "Electroencephalogram-based Driver Drowsiness Detection System Using AR Coefficients and SVM," *Journal of Korean institute of intelligent systems*, 22(6), 768-773. 2012. DOI:10.5391/JKIS.2012.22.6.768
- [6] Walker, J. E. "QEEG-guided neurofeedback for recurrent migraine headaches," *Clinical EEG and Neuroscience*, 42(1), 59-61. 2011. DOI:10.1177/155005941104200112
- [7] Akin, M. "Comparison of wavelet transform and FFT methods in the analysis of EEG signals," *Journal of medical systems*, 26(3), 241-247. 2002. DOI:10.1023/A:1015075101937

BIOGRAPHY

Bu-II Jeon (Member)



2009 : BS degree in Electrical, Electronics and Communication Engineering, in Koreatech.
2011: MS degree in Electrical, Electronics and Communication Engineering, in Koreatech.

Hyun-Chan Cho (Member)



1991 : PhD degree in Electronics Engineering, Chung Ang University.
1991~2018 : Professor of Electrical, Electronics and Communication Engineering, in Koreatech.