한국지능시스템학회 논문지 2009, Vol. 19, No. 1, pp. 122-127

Broca 영역에서의 뇌파 변화에 기반한 뇌-컴퓨터 인터페이스

Brain-Computer Interface based on Changes of EEG on Broca's Area

염홍기 · 장인훈 · 심귀보*

Hong-Gi Yeom, In-Hun Jang, and Kwee-Bo Sim*

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

본 논문에서는 피험자가 A, B, C, D 글자를 말하는 상상을 할 때 사고중추에서와 Broca's area 에서 EEG 신호를 측정하였으며 이 신호를 Event-Related Spectral Perturbation (ERSP), Inter-Trial Coherence (ITC) 그리고 Event Related Potential (ERP) 방법을 통해 분석하여 보았다. 그 결과 F7, FT7 영역의 뇌파에서 각 문자를 보여주는 자극 제시 후 0~300ms 동안의 1~13Hz에서 높은 coherence를 보였으며, P300 이 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 ERP를 통해 분석해본 결과 각 글자에 대한 차이를 구분하고자 하였던 처음 연구의 동기와 달리 각 글자를 말할 때 ERP가 약간의 차이를 보이기는 하였으나 각 문자에 대한 차이라거나 이 차이를 통해 문자를 구별할 수 있다고 하기는 어려웠다. 하지만 본 논문에서는 이 실험결과를 통해 기존에 운동관련 뇌 영역에 국한되어 있던 BCI 연구의 한계를 극복하고 보다 다양한 서비스를 제공할 수 있는 응용 시스템을 제안하였다.

Abstract

In this paper, we measured EEG signals on frontal and Broca's area when subjects imagine to speak A or B or C or D. These signals were analyzed by Event-Related Spectral Perturbation (ERSP), Inter-Trial Coherence (ITC) and Event Related Potential (ERP) methods. As a result, high coherences were showed at 1~13Hz during 0~300ms after the stimuli of each character and P300 was seen clearly and there are several differences between the ERP results. However, unlike the motivation of this study to classify the characters, it is impossible that we can classify each intention or each character cause these differences. Nevertheless, this paper suggest an application system using this results so BCI can provide various services.

Key Words : Event-Related Synchronization(ERS), Event-Related Desynchronization(ERD), Intention Recognition, Brain-Computer Interface(BCI), EEG Signals

1. 서 론

뇌는 사람에게 있어서 신체 중 가장 중요한 부분으로 의학계를 비롯한 많은 연구단체에서 뇌와 관련된 여러 가지 연구를 진행해 왔다. 지금까지의 연구들을 살펴보면 fMRI와 같은 장비들을 통해 뇌의 영역별 기능을 확인하는 연구가 있었는가하면 최근에는 EEG나 NIRS와 같은 장비를 통하여 뇌의 활동에 따라 발생하는 변화를 이용한 Brain-Computer Interface (BCI)와 같은 연구들이 진행되고 있다[1, 2]. BCI란 사람이 생각을 하거나 상상을 할 때 뇌에서 발생하는 변화에 따라 컴퓨터를 제어하는 것을 말한다. 이 연구가 중요한 이유는 미래에 사람들의 생활을 편리하게 해줄 수 있을 뿐만 아니라 몸이 불편하거나 전혀 움직이지 못하는 장애인들도 이를 통하여 움직이거나 의사소통이 가능하기 때문이다.

접수일자 : 2008년 11월 1일
완료일자 : 2009년 1월 31일
* 교신 저자
이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. R01-2008-000-20658-0). 연구비지원에 감사드립니다.

현재 BCI에 대한 실험들은 대부분이 움직임과 관련된 뇌 영역에 관한 실험들로 피험자가 움직임을 상상하면 뇌의 각 영역별 활성화 정도에 따라 마우스 커서를 움직이거나 휠체어를 원하는 방향으로 움직이는 것과 같은 연구들이었다[2]. 이러한 연구들을 통해 장애인들에게 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 예상되며 따라서 매우 가치 있는 연구들이라 할 수 있겠다. 하지만 BCI와 관련된 연구들이 아직은 시작단계로 몇 가지 의도를 인식하는 정도이며 움직임과 관련된 연구에만 초점이 맞추어져 있는 경향이 있다. 차후에 BCI에 관한 연구가 단순한 몇 가지 의도를 인식하는 것뿐만 아니라 그 사람의 생각을 인식할 수 있거나 이를 표현해 주어 의사소통이 가능하게 해주거나 이에 따른 서비스를 제공한다면 더 큰 도움이 될 것이다.

지금까지 움직임과 관련된 뇌 영역에 대한 연구만 있었던 것은 아니다. 언어와 관련된 뇌 영역을 비롯해 감정, 시각과 관련된 뇌 영역 등에 대한 연구들도 활발히 이루어져 왔다[3~5]. 하지만 이러한 연구들이 아직까지 BCI에 적용되지 못하고 있을 뿐이다. 언어와 관련된 뇌 영역에 대한 연구를 살펴보면 가장 중요한 실험 결과로 그림 1과 같은 Broca's area와 Wernicke's area의 발견을 들 수 있다. 전자는 언어를 말하는 것과 관련이 있는 반면 후자는 언어를 이해하고 문장을 구성하는 것과 관련이 있다고 한다[6]. 이

러한 연구 이후에 fMRI와 NIRS를 이용하여 언어를 생각할 때 Broca's area가 활성화 된 것을 확인하는 실험이 있었다[3]. 하지만 이 실험들은 기존 연구에 대한 새 장비로의 확인일 뿐 어떠한 진보가 있다고 보기는 어렵다.

2008년 Neural Computation에 발표된 논문을 보면 원숭이의 뇌 활동 신호를 침습적으로 측정하여 제시된 이미지의 회전 각도에 따라 뇌의 전기신호가 어떻게 변화하는지를 구분하는 것과 관련된 내용을 볼 수 있으며 본 연구의 동기도 이와 같이 신호를 직접 분석하여 피험자의 의도를 분석하고자 하였다[7]. 이를 위해 Broca's area에서 EEG신호를 측정하여 이 신호를 분석해 보았다. 뇌는 수많은 뉴론들로 이루어져 있는데 뉴론은 활동전압을 통해 신호를 전달한다. 이 활동 전압은 일정 전압 이상의 신호가 들어오면 똑같은 크기의 활동전압을 발생시켜 그 빈도수에 따라 정보를 전달하는 Pulse Frequency Modulation (PFM)방식을 취한다고 한다.

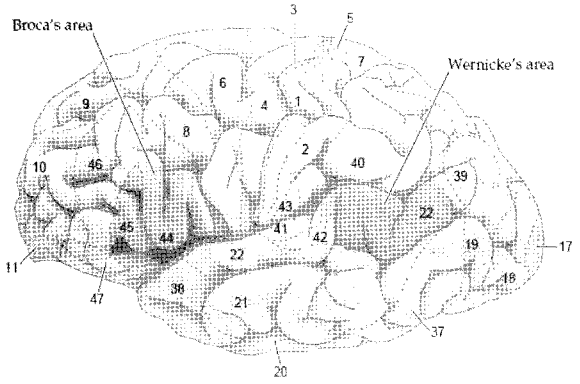


그림 1. 언어와 관련된 뇌 영역
Fig. 1. Brain area associated with language

본 연구에서는 통신 분야에서 사용되는 기술과 같이 이 신호를 demodulation하여 원래 신호를 분석하면 피험자의 생각을 분석할 수 있지 않을까라는 생각에서 시작하게 된 것이다. 하지만 우리가 측정하는 EEG 신호는 그림 2.에서와 같이 뇌에서 발생한 전기신호가 3층의 막 조직을 지나고 비 전도체인 두개골을 지나 두피를 거쳐 측정되기 때문에 이 과정에서 우리가 측정하고자 하는 신호가 왜곡되거나 정보가 소멸되어 실험결과 EEG 신호로 원래의 신호를 분석하는 것은 어려울 것으로 보인다[3]. 그렇지만 Inter-Trial Coherence(ITC) 분석결과 0~300ms 사이 1~13Hz에서 높은 상관성을 보이는 것을 확인할 수 있었으면 P300을 뚜렷이 발견할 수 있었다.

본 논문에서는 이 실험에 대한 소개와 분석방법, 분석결과와 이를 응용 시스템에 어떻게 적용하면 좋을지를 제안하였다.

2. 뇌파 측정

뇌파측정 시 사용한 장비는 LAXTHA의 QEEG-8 장비를 사용하였으며, 동 회사의 프로그램인 TeleScan을 이용하여 EEG신호를 컴퓨터로 전송받고, 이렇게 획득된 EEG 신호를 TXT파일로 변환하여, 좀 더 정확한 분석을 위해 센

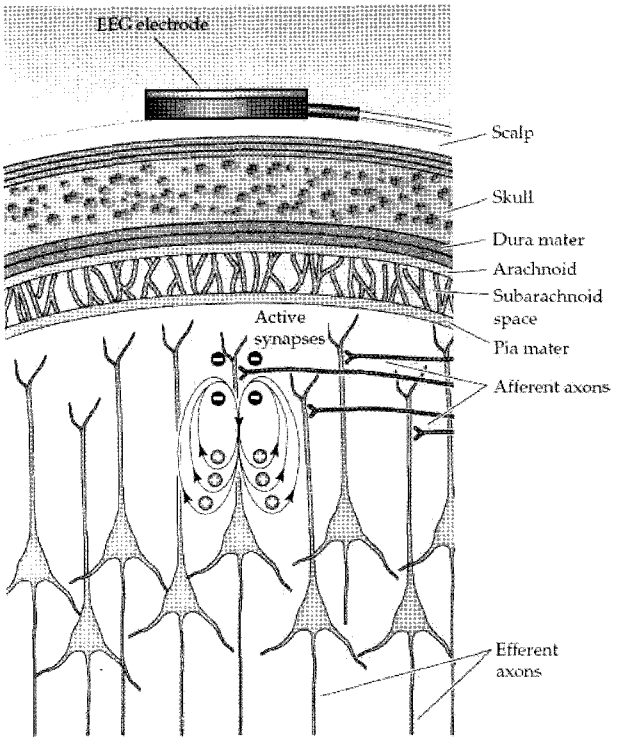


그림 2. 뇌와 피질 사이 구조도
Fig. 2. Structure between a brain and scalp

디에고대학의 SCCN 연구실에서 제공하는 EEGLAB v6.01에 이를 재입력하여 뇌파를 분석하였다[8]. 본 논문의 목적은 피험자가 말하는 것을 상상할 때 EEG 신호의 변화를 관찰하고 이를 분석하는 것이므로 Broca's area를 위주로 관찰하였으며 이때 Broca's area에서 어떤 변화가 나타나는지와 우뇌에서는 어떤 변화가 발생하는지를 관찰하였다. (왼손잡이를 포함한 대부분의 사람(약97%)이 언어와 관련된 주요 언어 기능을 좌측 대뇌반구에 가지고 있다[3].)

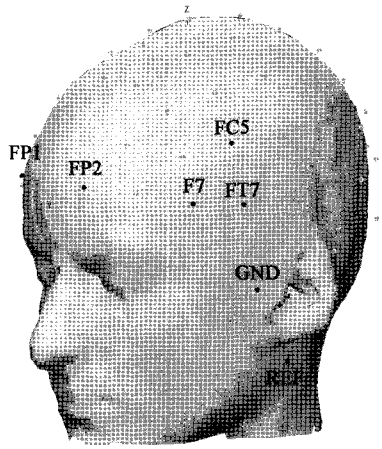


그림 3. 뇌파 측정 영역
Fig. 3. Electrode locations

이를 위해 본 실험에서는 그림 3에서 Fp1, Fp2, F7, F8,

FT7 FT8, FC5, FC6 영역의 EEG 신호를 측정하였으며, 뇌파 측정 10초 후부터 자극 이미지로 A, B, C, D 중 한 글자를 2초 동안 보여주고 다시 백지를 5초 동안 보여주고 다시 2초 동안 글자를 보여주는 방식으로 10번 실험을 1세트로 3세트를 실험하여 각 문자당 30번의 실험을 실시하고 이에 대한 평균값을 아래 소개된 ERSP와 ITC를 이용하여 분석하였다.

3. 뇌파 분석

3.1 Event-Related Spectral Perturbation (ERSP)

본 연구에서는 시간에 따른 주파수의 변화를 관찰하기 위해 Event-Related Spectral Perturbation (ERSP) 방법을 사용하였다[9]. ERSP는 시간의 흐름에 따라 각 해당 시간의 EEG신호에 대한 Power Spectrum을 보여주어 시간별 어느 주파수에서 어떤 변화가 발생하였는지 알 수 있게 해 준다.

ERSP 분석을 위해 먼저 전체 EEG 신호 중 자극 제시 전후의 원하는 데이터의 구간으로 잘라 각 회의 실험 구간의 평균값으로 결과를 나타낸다. 본 실험에서는 자극 전 1초 전에서 자극 후 2초까지의 신호를 사용하였으며 필요 없는 시간대의 신호를 제거하고 자극 제시 전과 후의 차이를 관찰하였다. 이렇게 평균값을 사용하는 것은 잡음의 영향이 통계적으로 상쇄되어 이러한 잡음의 영향을 줄일 수 있어 보다 정확한 분석을 할 수 있기 때문이다. ERSP는 좁은 대역에서의 ERS와 ERD 측정을 일반화 해준다. ERSP의 계산방법은 다음과 같다. 우선, 각 반복된 실험별 해당 시간과 주파수 대역의 Power Spectrum을 구하고 각 실험 데이터의 절대 값의 제곱의 평균을 구한다. 그러면 각 이미지 점에서의 색은 해당 시간과 주파수에서의 Power를 나타낸다. 일반적으로, 실험 n번 동안, 주파수 f, 시간 t에서 k번째 실험의 Power Spectrum을 $F_k(f,t)$라 하면 ERSP는 다음 식 (1)과 같다.

$$ERSP(f,t) = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}|F_k(f,t)|^2 \quad (1)$$

위 식(1)의 $F_k(f,t)$을 계산하기 위해, EEGLAB은 short-time Fourier transform, a sinusoidal wavelet transform이나 Slepian multitaper decomposition을 사용하였다.

3.2 Inter-Trial Coherence (ITC)

Inter-Trial Coherence (ITC) 는 특정 시간 과 주파수에서의 활동의 동기화를 주파수 영역에서 측정하는 것이다. 이 측정방법은 Tallon Baudry et al. (1996) 에 의해 소개되었다. 'inter-trial coherence'는 이것의 해석을 event-related phase coherence (ITPC) 나 event-related linear coherence (ITLC) 라고 부른다.

Inter-trial phase coherence 는 다음과 같이 정의된다.

$$ITPC(f,t) = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\frac{F_k(f,t)}{|F_k(f,t)|} \quad (2)$$

Inter-trial linear coherence는 다음과 같이 정의된다.

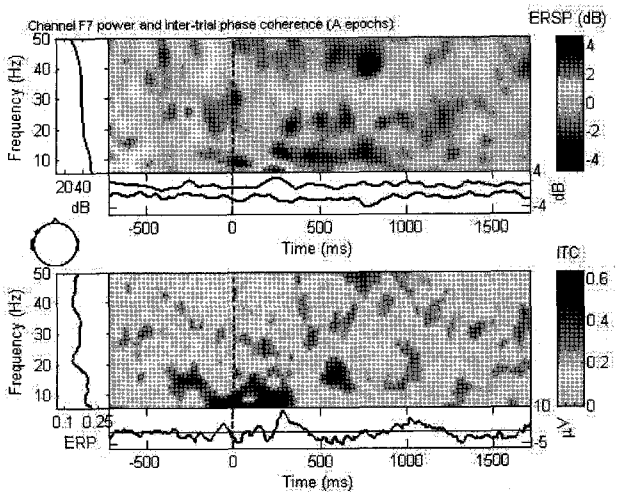
$$ITLC(f,t) = \frac{\sum_{i=1}^{n}F_k(f,t)}{\sqrt{n\sum_{k=1}^{n}|F_k(f,t)|^2}} \quad (3)$$

위의 | | 는 complex norm을 나타낸다. 가장 일반적인 것은 inter-trial phase coherence이다. ITC는 0에서 1사이의 값을 취하는데 0은 EEG 신호와 이벤트 간의 동기화가 없음을 나타내고 1은 완벽한 동기화를 나타낸다.

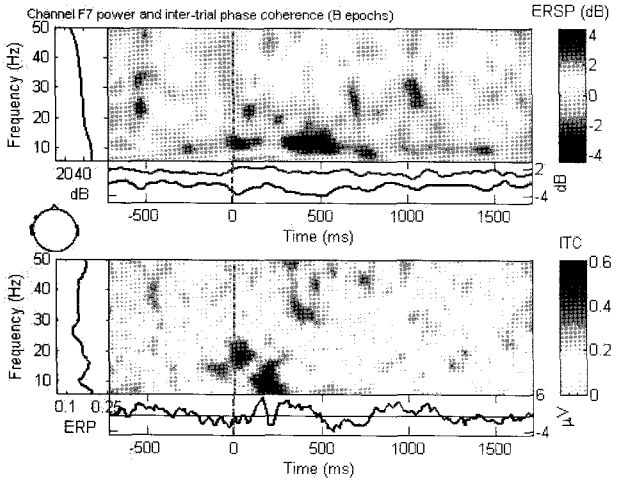
4. 실험 결과

EEGLAB v6.01을 이용하여 피험자가 A, B, C, D 문자를 상상 시 측정한 EEG 신호의 데이터를 분석해 보았다. 그 결과 뇌파를 측정한 영역 중 사고와 관련이 있는 Fp1, Fp2 영역과 언어와 관련이 있는 F7, FT7 영역에서 ITC 분석결과 문자를 상상하는 시점에서 coherence가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 그 외의 측정영역에서도 해당 시점에 coherence가 발생하긴 하였으나 전체에 걸쳐 분산되어 나타나 실험과 관련성이 있다고 말하기 어려웠다.

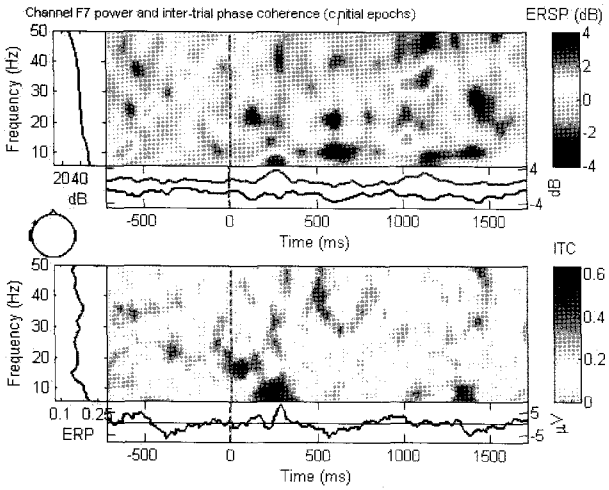
좀 더 자세히 살펴보면 문자 상상 후 Fp1, Fp2영역에서 1~5Hz에 ERD현상이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 또한 본 실험에서 가장 중요한 F7과 FT7에서의 변화를 보면 자극 제시 후 300ms 동안 1~13Hz 사이에서 높은 coherence를 보이는 것을 그림 4.를 통해 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 F7, FT7의 EEG 신호를 1~13Hz의 밴드패스 필터를 통과시킨 후 0~300ms의 신호를 비교해보았다. 그 결과 그림 5와 같이 조금씩의 차이를 보였으나 이것이 각 단어에 대한 차이인지와 이것으로 각 문자를 구분할 수 있을지를 얘기하기는 어려울 것으로 보인다. 하지만 그림에서 보듯 네 경우 모두 P300현상이 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.



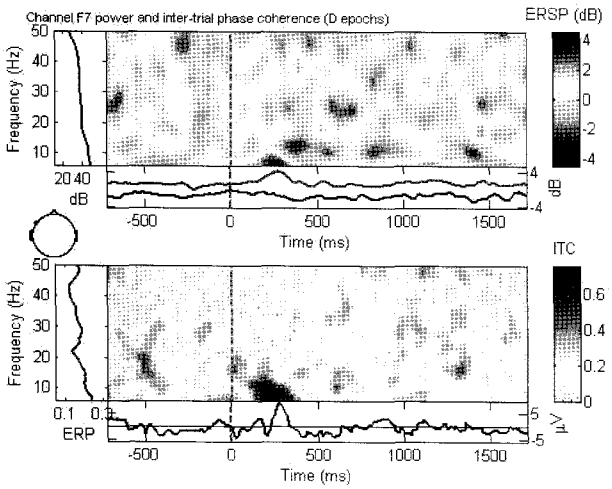
(a) A 상상 시의 ERSP와 ITC
(a) ERSP and ITC associated with A



(b) B 상상 시의 ERSP와 ITC.
(b) ERSP and ITC associated with B

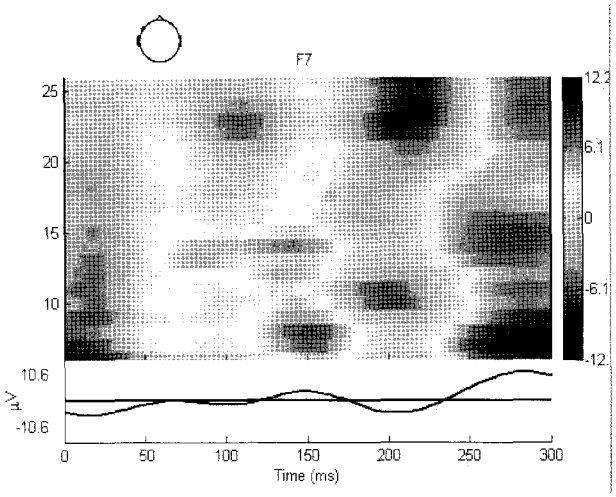


(c) C 상상 시의 ERSP와 ITC
(c) ERSP and ITC associated with C

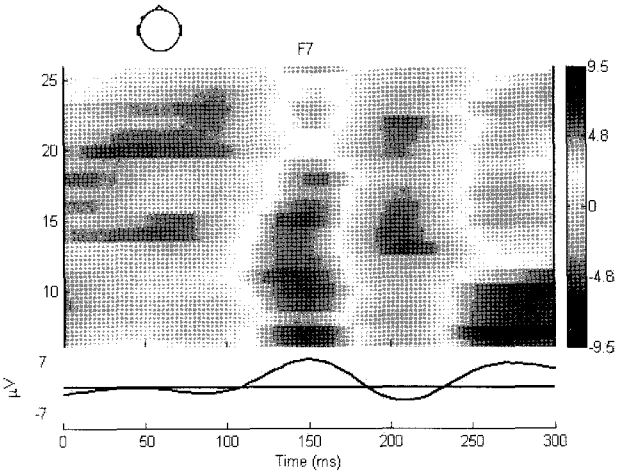


(d) D 상상 시의 ERSP와 ITC
(d) ERSP and ITC associated with D.

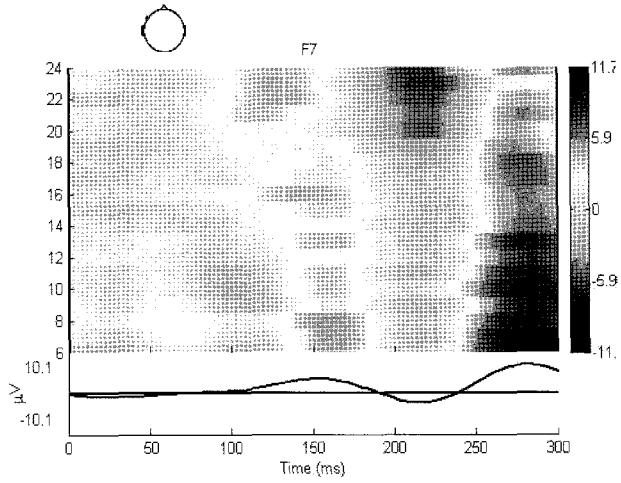
그림 4. 각 문자를 말하는 상상에 따른 F7에서의 ERSP와 ITC 분석
Fig. 4. ERSP and ITC Analysis on F7 during the imaginary speaking



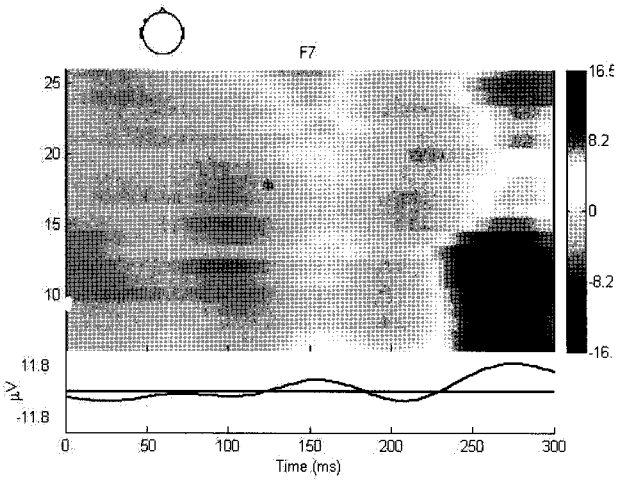
(a) A 상상 시의 ERP
(a) ERP associated with A



(b) B 상상 시의 ERP
(b) ERP associated with B



(c) C 상상 시의 ERP
(c) ERP associated with C



(d) D 상상 시의 ERP
(d) ERP associated with D

그림 5. 각 문자를 말하는 상상을 할 때의 뇌파 신호를 1~13Hz band pass 후 0~300ms의 F7에서의 ERP 비교
Fig. 5. ERP comparison on F7 at 0Fig. 5. ERP comparison on F7 at 0~300ms between 1~13Hz during the imaginary speaking (smoothing=10)~300ms between 1~during the imaginary speaking (smoothing=10)

5. 결 론

뇌와 두피 사이에는 비전도체인 두개골과 3층의 막이 있어 실험 결과에서 확인 할 수 있었던 것과 같이 뇌파의 정보가 손실되어 각 단어를 말하는 상상에 대한 차이를 구별하는 것은 어려울 것으로 보인다. 하지만 본 연구 결과 알게 된 내용으로 말하는 상상을 할 때 F7과 FT7 영역에서 P300이 뚜렷하게 발생하는 것을 알 수 있었는데 이를 기존 운동중추에 관한 연구와 병행하면 움직임과 관련된 제어와 의사표현과 관련된 제어를 동시에 할 수 있는 시스템 제작이 가능할 것으로 생각되어진다.

선행연구를 보면 F8, C3, Cz, P3 영역에서의 활성화에 따라 마우스를 4방향으로 제어하는 연구가 있다[10]. 또한 이러한 결과로 전동 휠체어를 4방향으로 제어하거나 마우스 커서를 4방향으로 제어하여 타이핑 작업이 가능하도록 하는 실험들이 이루어지고 있다. 하지만 이러한 연구들은 같은 영역의 활성화를 다른 응용분야에 적용한 것으로 전동 휠체어도 제어하고 마우스 커서도 제어하는 일은 불가능하다.

하지만 본 실험 결과를 활용하면 그림 6과 같이 평소에는 피험자가 움직이고자 하는 방향으로 휠체어를 제어하고 피험자가 4방향 중 한 방향을 말하는 상상을 하며 움직이고자 할 경우에는 제어모드를 의사표현 모드로 변환하여 마우스 커서를 제어하는 방법으로 알파벳을 선택하여 피험자의 의사를 표현하는 것이 가능해 지게 되는 것이다. 아직 완전하지는 않지만 본 연구를 통하여 Broca 영역에서 말하는 상상에 따른 뇌파의 변화를 분석해 보았고 이에 따라 움직임과 관련된 제어와 표현 시스템과 관련된 제어를 동시에 할 수 있는 시스템을 제안하였다.

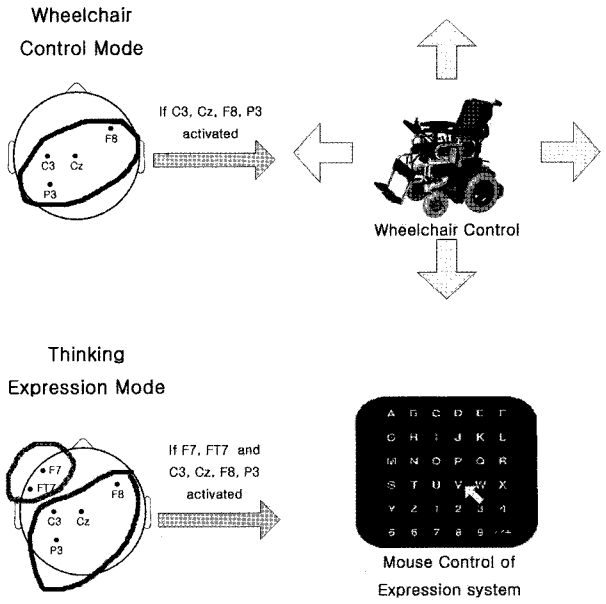


그림 6. 휠체어 제어모드(상)와 의사표현모드(하)
Fig 6. Wheelchair Control Mode(top) and Thinking Expression Mode(bottom)

실험을 하며 아쉬웠던 부분과 향후 연구주제는 다음과 같다. 서론에서 이야기 한 것과 같이 뇌를 구성하는 뉴론들은 활동전압을 통해 신호를 전달하는데 이 활동전압은 1ms 간격으로 발생한다고 한다 [3]. 따라서 Sampling theorem에 따라 샘플링을 2kHz이상으로 해 주는 것이 필요하다. 하지만 본 실험에서 사용한 장비는 512kHz까지의 sampling만 지원하기 때문에 하드웨어적 문제가 아쉬웠다. 하지만 신호가 두개골을 지나며 많이 소멸되어 2kHz로 sampling을 하여도 비슷한 결과가 나오지 않을까 생각한다. 따라서 언어를 구분하고자 하는 실험을 비 침습적으로 하고자 한다면 간접적 측정방법이긴 하지만 뇌 속의 활동을 보고자 산화헤모글로빈/헤모글로빈의 양을 측정하는 fMRI나 NIRS를 활용한 연구가 필요하지 않을까 생각되어진다.

[주] 본 논문은 2008년도 한국지능시스템학회 추계학술대회에서 발표된 우수논문[11]으로 개정된 것임.

참 고 문 헌

[1] Jobsis FF, "Noninvasive infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters," *Science, 198*, 1264-1267, 1977.

[2] L. Kauhanen, P. Jylanki, J. Lehtonen, P. Rantanen, H. Alaranta, and M. Sams, "EEG-Based Brain-Computer Interface for Tetraplegics," *Hindawi Publishing Corporation Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2007, Article ID 23864*, 11pages doi:10.1155/2007/23864.

[3] A. Uchibori, T. Kojima, H. Tsunashima and T.

Shiozawb, "Near-Infrared Spectroscopic Measurement of Brain Activity for Syntactic Processing," IEEE, 2004.
[4] Le Doux J. E., "Emotion, memory and the brain", Scienrific American, 270, 32-39.
[5] Kendrick N. Kay, T. Naselaris, R. J. Prenger and J. L. Gallant, "Identifying natural images from human brain activity", *Nature*, Vol. 452, 20 March 2008.
[6] D. Puevse, G. J. Augustine, D. Fitzpatrick. W. C. Hall, A. S. Lamantia, J. O. Mcnamara and S. M. Williams, "NEUROSCIENCE," 3rd ed., Sunderland, MA, Sinauer Associates, 2004.
[7] K. Kang, S. Amari, "Discrimination with Spike Times and ISI Distributions", *Neural Computation*, Vol. 20, No. 6, pp. 1411-1426, June 2008.
[8] http://www.sccn.ucsd.edu/eeglab.
[9] A. Delorme, S. Makeig, "EEGLAB:an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis," *Journal of Neuroscience Methods 134*, pp. 9-21, 2004.
[10] L. Citi, R. Poli, C. Cinel, and F. Sepulveda, "P300-Based BCI Mouse With Genetically-Optimized Analogue Control," *IEEE Trans. on Neural System and Rehabilitation Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp. 51-61, Feb. 2008.
[11] 염홍기, 장인훈, 심귀보, "말하는 상상 동안 Broca 영역에서 뇌파의 변화 분석", *2008년도 한국지능시스템학회 추계학술대회 학술발표 논문집*, 18권, 제2호, pp. 257~260, 2008. 10. 31~11. 1.

저 자 소 개

염홍기(Hong-Gi Yeom)
2008년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사
2008년~현재 : 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 석사과정

관심분야 : Brain-Computer Interface, Rehabilitation, Neuroscience 등

장인훈(In-Hun Jang)
1993년 : 중앙대학교 제어계측공학과 공학사
1999년 : 동대학원 제어계측공학과 공학석사
1999년~2000년 : (주)신도리코 기술연구소 연구원

2000년~현재 : (주)아로마솔루션 기술연구소 책임연구원
2004년~현재 : 중앙대학교 대학원 전자전기공학부 박사과정

관심분야 : Machine Learning, 지능형 홈 및 홈네트워킹, Multi-Agent Robotic Systems(MARS), Reinforcement Learning

심귀보(Kwee-Bo Sim)
1990년 : The University of Tokyo 전자공학과 공학박사
1991년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

[제18권 6호 (2008년 12월호) 참조]

E-mail : kbsim@cau.ac.kr
Homepage URL : http://alife.cau.ac.kr