Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 27, No. 2 pp.9-14, May 2008

EEG와 EMG의 Coherence을 이용한 BCI 연구*

김영주[1] · 황민철[2] · 강 희[3]

[1]상명대학교 컴퓨터과학과 / [2]상명대학교 디지털미디어학부 / [3]상명대학교 뇌정보통신연구소

A Research on BCI using Coherence between EEG and EMG

Young-Joo Kim[1], Min Cheol Whang[2], Hee Kang[3]

[1]Department of Computer Science, Sangmyung University, Seoul, 110-743
[2]Division of Digital Media Engineering, Sangmyung University, Seoul, 110-743
[3]Brainware Research Center, Sangmyung University, Seoul, 110-743

ABSTRACT

Coherence can be used to evaluate the functional cortical connections between the motor cortex and muscle. This study is to find coherence between EEG (electroencephalogram) and EMG (electromyogram) evoked by movement of a hand. Seven healthy participants were asked to perform thirty repetitive movement of right hand for ten seconds with rest for ten seconds. Specific feature of EEG components has been extracted by ICA (independent component analysis) and coherence between EEG and EMG was analyzed from data measured EEG in five local areas around central part of head and EMG in flexer carpri radialis muscle during grabbing movement. Coherence between EEG and EMG was successfully obtained at 0.025 confidence limit during hand movement and showed significant difference between rest and movement at 13~18Hz.

Keyword: Electroencephalogram, Electromyogram, Independent component analysis, Coherence

1. 서 론

사용자의 의도를 파악하기 위한 방법으로 뇌파를 통한 인터페이스의 활용은 꾸준히 연구되고 있다. 이러한 뇌파 인터페이스 기술(BCI: Brain Computer Interface)은 인간 컴퓨터 인터페이스(HCI: Human Computer Interface)의 차세대 컴퓨터 기술 중 하나로 다양한 방면의 활용이 이루어지고 있다(Wolpaw et al., 2000). 차세대 컴퓨터 인터페이스를 제공하기 위한 기술은 다양한 입력장치를 통하여 인식된 음성, 동작, 정황(context)등을 처리하여 인간의 감성을 이해하고, 사용자의 의도나 의지에 따라 컴퓨터가 반응하게 되는 기술을 의미한다. 그 중에서 뇌파를 분석하여 동작을 예측하거나 인지하는 방법을 BCI 기술에 적용하는 연구가 진행되고 있다. Pfurtsheller(1997)는 사지마비 환자에게 뇌파의 로봇팔 등의 인공 수족을 제어하는 연구를 통해 제어명령의 성공률을 80%까지 향상시켰다. 또한 일반적인 컴퓨터 입력장치 대신 생각만으로 커서를 상하 및 좌우 4방향으로 제어하는 연구를 통해 50% 이상의 커서 움직임의 정확성을 향상시켰다(Wolpaw et al., 1994; 1991).

영장류나 사람의 움직임을 감각운동 피질과 근육과의 관계를 도출하여, 정보처리 메커니즘을 이용한 차세대 인터페이스 기술이 개발되어져 왔다(Halliday et al., 1995; 1998, Mima et al., 1999). 뇌파와 동작 인지를 변수로써 뇌파의 ERS(event related synchronization)와 ERD(event related desynchronization)의 변화량으로 동작유무를 예측

*본 연구는 2007년도 의료공학융합기술사업의 차세대 능동형 동작 기능 회복 기술 개발 과제의 지원과제임.
교신저자: 김영주
주 소: 136-732 서울시 종로구 홍지동 7번지, 전화: 02-2287-5474, E-mail: kirarei@smu.ac.kr

가능성을 보고하고 있다(황민철 외, 2007). 이러한 뇌파의 스펙트럼(spectrum)의 변화뿐만 아니라 근육 움직임과의 동기화를 이용하여 인지적인 동작의도가 생체역학적 동작과의 상관성 연구가 진행되고 있다. Mima(2001)는 뇌파와 EMG(electromyogram)간의 coherence를 이용하여 뇌의 동작 제어를 담당하는 피질 영역에 따른 coherence의 변화가 있음을 확인하였다. Coherence란 하나의 생리학적 발생(event)에 대해 두 신호간의 동기화된 리듬 정도를 측정하는 것으로 신경시스템의 동작 매커니즘에 관한 연구에 사용되고 있다(Rosenberg et al., 1989; Baker et al., 1997; Salenius et al., 1996; Grosse et al., 2002). 그러므로 EEG와 EMG의 coherence는 동작 제어를 위한 인터페이스 변수로 응용할 가능성을 보인다.

그러나 인지적인 기능과 생체역학적 기능을 잘 규명할 수 있는 coherence이지만 측정신호 샘플링 수와 신뢰수준에 따라 결정되기 때문에(Mima et al., 2001) 그 수치가 낮아서 동작에 따른 변화 특성을 파악하기가 명확하지 않은 단점을 가지고 있다. Coherence를 높이는 방법에 대한 연구로 Bortel(2006)은 coherence 분석 전에 EEG 신호의 필터처리를 통해 동작 발생 부분만을 신호로 추출하는 방법을 통해 노이즈를 제거하는 방법을 사용하였고, Yao(2007)는 EMG 신호에 스펙트럼을 이용한 신호 값의 조정을 통해 coherence의 값을 약 15% 향상시켰다.

뇌파는 다른 생리 신호에 비해 매우 미약하고 여러 가지 형태의 잡음이 존재하므로, 이로 인해 복잡한 동적 특성을 가지게 된다. 이러한 뇌파의 다양한 잡음 신호를 제거하고 주성분을 추출하는 방법으로 파워 스펙트럼이나 필터링, 독립성분분석(ICA: Independent Component Analysis) 방법 등이 활용되기도 한다(김응수 외, 2002). 그 중에서 ICA는 다양한 독립 신호들의 선형결합으로 이루어진 신호에서, 독립 신호를 추출하고 잡음을 제거하는 통계적인 방법으로 뇌파의 효율적인 분석을 위해 활발히 응용되고 있다. Xue(2006)는 눈 깜박임과 전원 노이즈를 제거하는 방법으로 ICA을 사용하여 보다 명확한 뇌파 신호를 추출하였다. 그러므로 뇌파의 잡음 제거에 ICA 분석 방법이 효율적으로 활용됨을 알 수 있다. Coherence 분석을 위해 사전에 ICA로 뇌파의 노이즈를 최소화 한다면 coherence 수치를 높일 수 있다는 것을 고려해 볼 수 있다.

본 연구는 EEG와 EMG coherence를 이용하여 뇌파를 통한 자동 동작 예측 시스템을 개발하고자 한다. 기존 연구의 56채널보다 적은 5개의 채널을 가지고 EEG를 측정하고, 동작과 관련한 뇌파를 분리하기 위한 방법으로 ICA를 이용하였으며, 이를 통해 분류된 5개의 채널로부터 EMG와의 coherence 유의성을 향상시키고 coherence를 이용하여 동작유무의 통계적 검정을 실시하였다.

2. 연구 방법

ICA를 활용한 실시간 뇌파 분석을 통하여 동작에 관련한 유의한 EEG를 추출하여, EEG와 EMG의 coherence을 통한 동작 예측의 가능 여부를 분석하기 위해 동작에 따른 뇌파 측정 실험을 다음과 같이 실시하였다.

2.1 실험 대상

참여한 피실험자는 7명이며, 평균나이 26세의 신체 건강한 대학생을 대상으로 실험을 실시하였다. 피실험자들은 실험하기 전에 충분히 설명을 듣게 하고, 실험이 진행되는 동안에는 최대한 움직이지 말 것, 실험에 집중하고 잡념을 버릴 것 등의 주의사항을 지키도록 하였다.

2.2 실험 장비

실시간으로 EEG 및 EMG를 측정하기 위해 Biopac사의 MP100과 TEL100을 이용하였으며, 데이터의 수집 및 분석을 위해 National Instrument사의 Labview 8.2를 사용하여 구현하였다. 뇌파 측정 방법은 기존 연구에서 제안한 뇌파 측정 부위의 일관된 패턴으로 센서를 배열하는 매트릭스(matrix)형 어레이(array) 방식을 활용하였다(황민철 외, 2007). 왼손동작과 관련된 뇌파를 추출하기 위해서 그림 1과 같이 국제 10~20방식에 의한 C4와 그 주변의 전, 후, 좌, 우로 2.5cm의 간격을 두고 4개의 전극을 부착하여 채널당 200Hz로 데이터를 수집하였다. 또한 귓볼과 외이하 연점에 그라운드(ground)를 설정하였다. EMG를 측정하기 위해 왼손의 요측수근굴근에 상, 하에 EMG 센서를 부착하고 척골 경상돌기에 그라운드를 설정하였다.

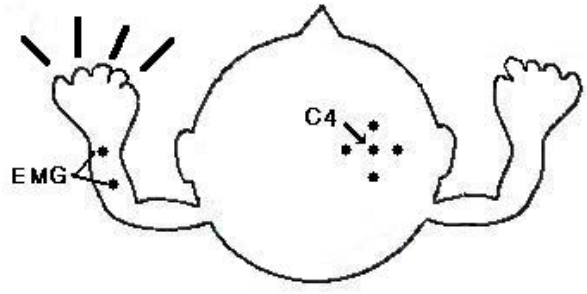


그림 1. EEG 측정 부위

2.3 실험 과정 및 설계

피실험자는 그림 2에서와 같이 LED를 응시하게 하고

LED가 켜지고 꺼질 때 손동작을 행하도록 하였다. 동작은 왼손으로 주먹을 쥐는 것으로 했으며, 1초에 2회로 제한했다. 동시에 오른편 창을 통해 실험자는 실시간으로 수집된 피실험자의 EEG 및 EMG 데이터를 그래프로 확인할 수 있게 하였다. 그러나 피실험자는 동작 시점을 지키기 위해 LED에 집중하도록 하여 10초마다 동작 시점에 정확히 동작하도록 하였다.

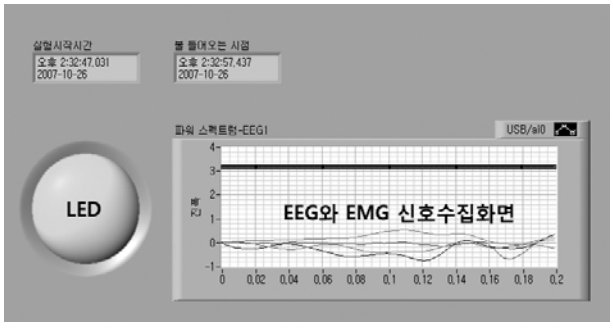


그림 2. 실험 화면

본 연구의 독립변수는 손동작에 유무에 따른 행위(동작, 휴식)이며, 종속변수는 EMG와 EEG의 coherence를 측정하였다. 실험 시간은 그림 3과 같이 정의하였다. 1set의 동작 수행은 10초씩 6번 동작과 6번 휴식을 반복하여 총 2분으로 하였고, 한 사람당 5set를 반복하여 총 35set(7명 * 5 set)를 실시하였다. 그러므로 동작과 휴식데이터는 각각 210개의 데이터 set을 얻을 수 있도록 하였다. 데이터 중에 신뢰할 수 있는 5명의 데이터를 이용하여 동작유무에 따른 EMG와 EEG의 coherence의 차이를 분석하였다. 분석 방법으로는 t-test를 사용하였으며, SPSS 12.0를 사용하여 통계처리를 하였다.

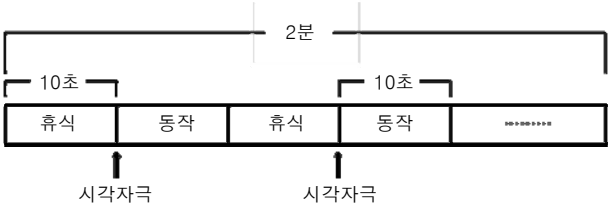


그림 3. 시간에 따른 동작 수행 순서

2.4 자료 분석

EEG는 노이즈에 취약하여 오염되기 쉬운 단점을 가지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 ICA를 이용하여 향상된 EEG를 얻도록 하였다. 5개의 채널에서 측정된 신호를 ICA 모듈을 통해 분석처리 후 5개의 독립된 성분으로 분리하였다. ICA의 과정은 다음 식 1과 같이 측정된 신호인 $\chi(t)$는 시간에 따른 s(독립적인 신호)의 선형결합으로 이루어진다고 가정하였다.

$$x(t) = \sum_{i=1}^{n} a_i s_i(t) \qquad \text{(식 1)}$$

측정된 신호 $\chi(t)$로부터 원신호 s(t)를 분류하기 위해 X=AS라는 행렬식을 세우고, 이로부터 A의 역행렬을 구하여 S를 구하도록 하였다. 알려지지 않은 A로부터 A의 역행렬을 구하기 위해 FastICA, Infomax ICA, JADE 등 다양한 방법이 사용되고 있다(Jung et al., 2001). 본 연구에서는 negentropy를 통한 separate matrix를 조정하는 FastICA 방법을 이용하여 빠른 실시간 처리를 하도록 하였다. ICA 처리 후 동작과 직접 관련된 뇌파를 선택하기 위해 분리 후 각 채널별 EEG에 대해 EMG와의 coherence를 분석하였다. 본 실험의 coherence의 값이 유의미하기 위해서는 식 2와 같이 confidence limit(α=95%, L=sample 수)을 만족해야 한다(Mima et al., 2001).

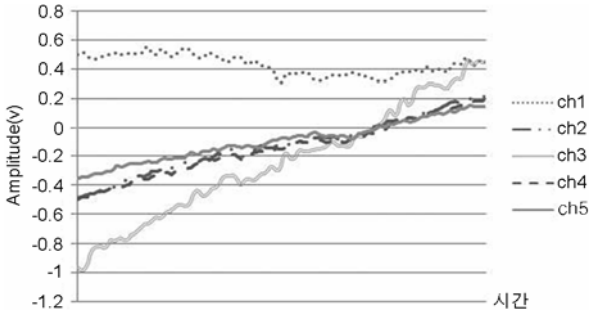
$$\text{Confidence limit} = 1-(1-\alpha)^{1/(L-1)} \qquad \text{(식 2)}$$

Confidence limit을 만족하는 채널을 선택한 후에 스펙트럼 분석을 통하여 주파수대역 별로 나누어 EMG와 EEG의 coherence값을 구하였다.

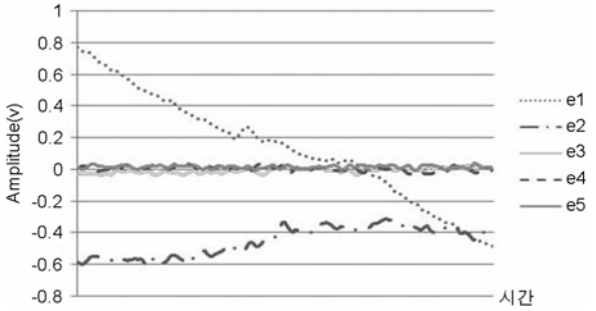
3. 연구 결과

5개의 채널에서 측정된 EEG에 FastICA를 처리하여 서로 다른 성분 5개로 재 분류하였다. 그림 4에서는 ICA 처리 결과로, (A)는 원래의 EEG 신호를 나타내며, (B)는 ICA로 분류한 EEG 신호를 보여준다. ICA 처리 후의 신호는 원 신호에 대해 특정 패턴을 극대화 시켜 신호를 구성하게 된다. 그림 4는 ICA 분석 전의 5개 채널(ch1~ch5)의 EEG와 ICA 분석 후 새로운 5개의 채널(e1~e5)로 재구성됨을 예로 제시하였다. 그림 4에 의하면 ICA에 의해 분석 전에서 볼 수 없었던 동작과 관련된 e1과 e2를 명확히 관찰할 수 있었다. 그러나 유효성 검증을 위해 다음과 같은 분석을 실시하였다.

재구성된 EEG와 손동작에 의한 EMG의 coherence 유효성을 검증은 confidence limit에 의해 결정되었다. 식 2을 이용하여 신뢰수준 95%, 샘플링 수를 200으로 계산한 결과 0.025로 분석되었다. 새롭게 구성된 5개의 채널 중 그림 5에서 제시된 바와 같이, confidence limit 값(0.025)



(A) ICA 처리 전



(B) ICA 처리 후

그림 4. ICA 처리 전과 후의 뇌파데이터 비교

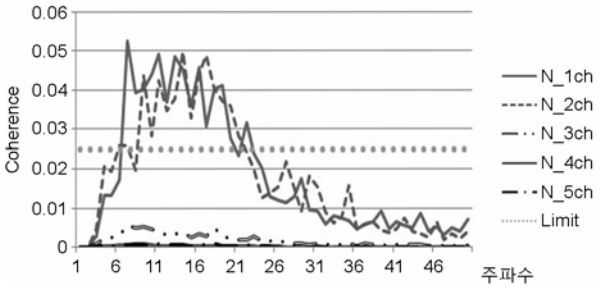


그림 5. 채널 별 coherence 값의 변화

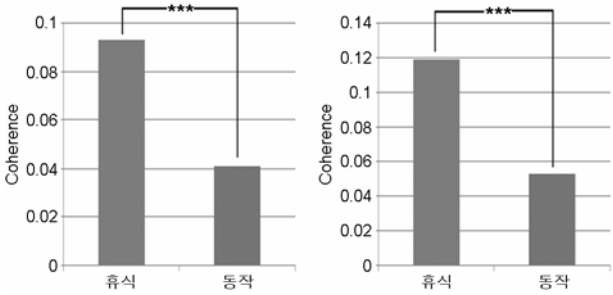
을 만족시키는 coherence 값을 가진 채널(1, 2채널)을 성공적으로 추출할 수 있었다.

또한, 추출된 채널에서 confidence limit보다 큰 값을 가지는 해당 주파수 범위는 뮤파와 베타파 영역임을 확인할 수 있었다. 따라서 뮤파와 베타파 영역으로 coherence의 가장 큰 값(coherence peak)을 통해 동작과 휴식에 따른 coherence 값의 차이를 분석하였다. Coherence는 뮤파 및 베타파 영역에서 동작유무에 따라, 유의한 차이를 보이는지 two-tail t-test를 실시하였다. 표 1과 그림 6은 그 결과를 제시하고 있다.

표 1과 그림 6에서 제시한 바와 같이, 가장 큰 coherence 값을 포함하는 하나의 채널을 중심으로 뮤파 영역(8~12 Hz)과 베타파 영역(13~30Hz)을 나누어 분석한 결과 뮤파

표 1. 동작 여부에 따른 coherence T검정(Two-tail)

	동작 여부	Mean	S.D	t	DF	P값
뮤파	휴식	0.093	0.036	5.98	48	0.00
	동작	0.041	0.025			
베타파	휴식	0.119	0.067	4.73	48	0.00
	동작	0.053	0.020			



(a) 뮤파 영역 (b) 베타파 영역

그림 6. 동작 여부에 따른 주파수 대역 별 coherence peak 비교

영역과 베타파 영역 모두 동작시보다 휴식시의 coherence 값이 감소됨을 확인할 수 있었다(p<0.0001). 각 개인별로 차이는 있었지만, 휴식 때의 coherence 값은 동작시보다 60% 이상 향상되었다.

주파수대역별 coherence에 대해 분석한 결과, 손동작과 관련된 coherence 값은 low 베타파 영역(13~18Hz)에서 coherence peak을 가지는 것으로 나타났다. 또한, 손동작 시의 보여지는 coherence 파형의 패턴은 피실험자마다 차이가 존재하는데, 크게 2가지 패턴으로 나눠 볼 수 있었다. 피실험자의 coherence 패턴의 70%는 그림 7의 유형 A와 같이 low 베타파 영역에서 두드러지는 peak가 관찰되었고, 그 외의 30%는 그림 8의 유형 B와 같이 뮤파 영역과 low 베타파 영역의 전체에 걸쳐 높은 coherence를 보이는 경우로 분류할 수 있었다. 이러한 차이는 동작 시간 10초 동안 피실험자들간에 손을 쥐는 동작의 연속성의 차이에서 생기

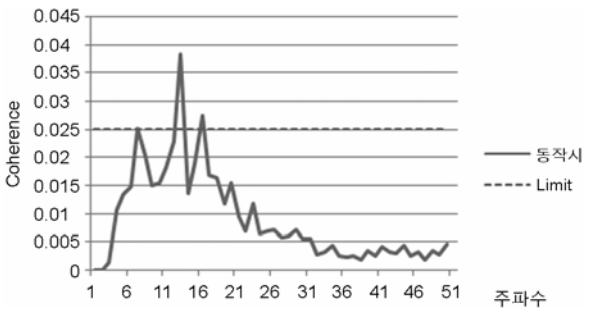


그림 7. 동작 시의 coherence(유형 A)

는 것으로 사료된다.

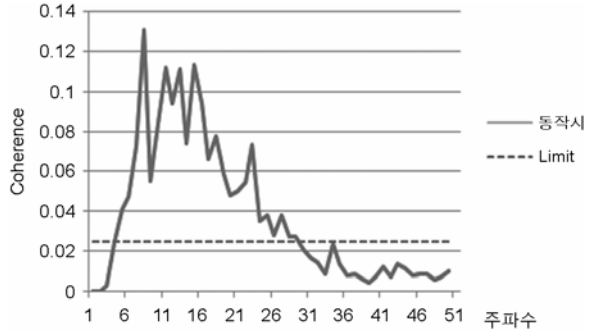


그림 8. 동작 시의 coherence(유형 B)

한편, 그림 9에서와 같이 동작 전과 후의 휴식 시간 동안의 coherence는 뮤파 영역과 베타파 영역까지 높은 값을 유지하고 특정 주파수대역에서 두드러진 peak가 나타나지 않는 것을 알 수 있었다.

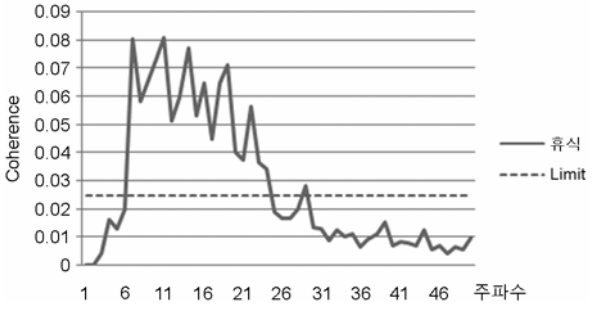


그림 9. 휴식 시의 coherence

4. 토론 및 결론

동작과 관련한 뇌파는 데이터를 측정하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 여러 요인으로 인해 활성화된 뇌파 데이터에서 동작관련 주성분을 추출하는 것은 중요한 문제이다. ICA 처리와 같은 기존의 많은 연구가 이루어져 왔으나, 이렇게 분리된 뇌파 데이터로부터 주성분을 추출하기 위해 다양한 방법론적 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 5개의 뇌파 채널에서 ICA를 통하여 추출된 뇌파와 동작시에 발생되는 EMG의 coherence의 분석을 통하여 손동작에 대한 주성분이라 추측되는 뇌파를 추출할 수 있었다. 그 결과 유의미한 coherence 값을 포함하는 채널에서 동작과 휴식시의 coherence의 차이를 확인할 수 있었다. 또한 주파수 대역에 대한 분석은 low 베타파 영역(13~18Hz)의 범위에서 손동작시의 coherence의 peak를 보이는 특징을 성공적으로 관찰할 수 있었다. 이는 기존의 침습적 뇌파 측정(Baker et al., 1997)과 비침습적 뇌파 측정을 통한 결과와 동일함을 알 수 있다(Halliday et al., 1995; 1998). 그러나 휴식과는 달리 동작 시에서는 두 개의 coherence 패턴을 확인할 수 있었다. 이는 피실험자의 동작에 대한 준비 및 주의 집중에 따른 개인별 차이에서 비롯되는 것으로 보인다. 따라서 동작과 연관지어 기계나 의수족을 제어하고 작동시키는 기술을 개발하기 위해서는 이러한 패턴을 개인화하여 분석하는 연구가 고려되어야 한다.

또한, Neidermeyer(1999)에 따르면 8~13Hz의 성분은 동작시에 줄어들었다가 동작이 끝나는 시점에서 증가하게 된다. 이러한 점은 뉴런 집단의 동기화된 활동 정도를 반영하는 것으로 특정한 뇌파의 파워의 감소 및 증가를 ERD/ERS를 통해 확인해 볼 수 있다. 본 연구에서 이루어진 EEG와 EMG의 coherence 분석 결과 휴식시에 동작시보다 coherence peak 값이 60% 이상 증가함을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 결과는 기존의 동작시에 나타나는 ERD/ERS 현상과 EEG와 EMG의 coherence가 밀접한 관련이 있는 것으로 보여진다. 따라서, 향후 이에 대한 연구를 통해 동작 변수로의 정확성과 효율성의 증대를 증명할 수 있는 방법으로써 활용될 수 있을 것이다. 또한 실제 동작뿐만 아니라 동작의 상상에 따른 coherence 분석에 따른 비교 연구가 흥미로울 것으로 사료된다.

참고 문헌

김응수, 신동선, 양은주, 조덕연, 이유정, "다양한 정신상태에 의한 뇌파 신호의 ICA 분석과 기능영역추정에 관한 연구", 한국정보통신연구진흥원, 2002.

황민철, 고상태, 김규태, 정병용, "뇌 컴퓨터 인터페이스를 위한 뇌파와 동작 인지와의 동기화에 관한 연구", *대한인간공학회지*, 26(2), 2007.

American Electroenceohalpgraphic Society, Guideline Thirteen: Guidelines for standard electrode position nomenclature, *J. Clin. Neurophysiol*., 11, 111-113, 1994.

Baker, S. N., Olivier, E. and Lemon, R. N., Coherence osillations in monkey motor cortex and hand muscle EMG show task dependent modulation, *J. Physiol*., 501, 225-241, 1997.

Bortel, R. and Sovka, P., EEG-EMG coherence enhancement. *Signal Processing*, 86, 1737-1751, 2006.

Conway, B. A., Halliday, D. M., Farmer, S. F., Shahani, U., Maas, P., Weir, A. I. and Rosenberg, J. R., Synchronization between motor cortex and spinal motoneuronal pool during the performance of a maintained motor task in man, *J. Physiol*., 489, 917-924, 1995.

Grosse, P., Cassidy, M. J. and Brown, P., EEG-EMG, MEG-EMG and

EMG-EMG frequency analysis: physiological principles and clinical application, *Clin Neurophysiol*., 113, 1523-1531, 2002.

Halliday, D. M., Conway, B. A., Farmer, S. F. and Rosenburg, J. R., Using electroencephalograpy to study functional coupling between cortical activity and electromyograms during voluntary contractions in humans, *Neuroscience Letter*, 241, 5-8, 1998.

Jung T. P., Makeig, S., McKeown, M. J., Bell, A. J., Lee, T. W., and Sejnowski T. J., Imaging Brain Dynamics Using Independent Component Analysis, *Proceedings of the IEEE*, 89(7), 1107-1122, 2001.

Mima, T., Toma, K., Koshy, B. and Hallertt, M., "Coherence Between Cortical and Muscular Activities After Subcortical Stroke", *Stroke*, 32, 2597-2601, 2001.

Neidermeyer, E., The normal EEG of the waking adult. In: Neidermeyer E, Lopes da Silva F, eds. *Electroencephalography: Basic principles, Clinical Applications and Related Fields*, 4nd ed., Williams and Wilkins, Philadelphia, PA, 149-173, 1999.

Pfurtscheller, G. R., Neupera, C., Flotzingera, D., Pregenzerb, M., EEG-based discrimination between imagination of right and left hand movement, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 103(6), 642-651, 1997.

Rosenberg, J., Amjad, A., Breeze, P., Brillinger, D. Halliday, D., The Fourier approach to the identification of functional coupling between neuronal spike trains, *Prog. Biophys. Mol. Biol*., 53, 1-31, 1989.

Salenius, S., Salmelin, R., E.A.C. Neuper, Human cortical 40-Hz rhythm is closely related to EMG rhythmicity, *Neurosci. Lett*, 21, 75-78, 1996.

Wolpaw, J. R., McFarland, D. J., Neat, G. W. and Forneris, C. A., An EEG-based brain-computer interface for cursor control, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*,78, 252-259, 1991.

Wolpaw, J. R. and McFarland, D. J., Multichannel EEG-based brain-computer communication, *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 90(6), 444-449, 1994.

Wolpaw, J. R., McFarland, D. J. and Vaughan, T. M., Brain-computer interface research at the Wadsworth Center. *IEEE Tran Rehabil Eng*., 8, 222-225, 2000.

Xue, Z., Li, J., Li, S. and Wan, B., Using ICA to Remove Eye Blink and Power Line Artifacts in EEG, Proceedings of the First international Conference on Innovative Computing, *Information and Control*, 2006.

Yao, B., Salenius, S., Yue, G. H., Brown R. W. and Liu J. Z., Effects of surface EMG rectification on power and coherence analyses: An EEG and MEG study, *Journal of Neuroscience Methods*, 159(2), 215-223, 2007.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 김 영 주 ❖ kirarei@smu.ac.kr

상명대학교 소프트웨어학부 학사
현 재: 상명대학교 컴퓨터과학과 석사과정
관심분야: Human computer interface, Brain computer interface, 감성공학

❖ 황 민 철 ❖ whang@smu.ac.kr

Georgia Institute of Technology Bioengineering 박사
현 재: 상명대학교 디지털 미디어학부 교수
관심분야: Brain computer interface, Human computer interface, Perceptual Interface, 감성공학, 인간공학

❖ 강 희 ❖ hkang@smu.ac.kr

이화여자대학교 수학과 박사
현 재: 상명대학교 뇌정보통신연구소 연구원
관심분야: Brain computer interface, 감성공학, 신호처리

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2008년 03월 06일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2008년 05월 14일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2008년 05월 30일