

# BCI 기반 로봇 손 제어를 위한 악력 변화에 따른 EEG 분석

## EEG Analysis Following Change in Hand Grip Force Level for BCI Based Robot Arm Force Control

김동은 · 이태주 · 박승민 · 고헌은 · 심귀보<sup>†</sup>

Dong-Eun Kim, Tae-Ju Lee, Seung-Min Park, Kwang-Eun Ko, and Kwee-Bo Sim<sup>†</sup>

중앙대학교 전자전기공학부

<sup>†</sup> School of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University

### 요 약

BCI (Brain Computer Interface)는 인간의 뇌에서 측정된 EEG (Electroencephalogram)를 활용하여 의수와 같은 기기를 조종할 수 있는 좋은 방법 중 하나이다. 본 논문에서는 EEG와 힘과의 관계를 알아보고자 최대수축악력 (MVC)의 25%, 50%, 75%로 3개의 등급으로 나누어 EEG 변화를 측정하였다. 얻어진 EEG data를 FFT와 power spectrum analysis로  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 파로 나누어 각 파형의 파워 값을 구한 뒤, 구해진 EEG 파워 값을 PCA와 LDA를 사용하여 특징 추출 및 분류를 하였다. 실험 결과 25%의 악력을 가할 때 보다 75%의 악력 때 더 높은 EEG 파워의 증가를 확인하였고, 왼손과 오른손은 각각 52.03%와 77.7%의 분류율을 나타내었다.

**키워드** : Brain Computer Interface, EEG, Robot Arm Force Control, PCA, LDA

### Abstract

With Brain Computer Interface (BCI) system, a person with disabled limb could use this direct brain signal like electroencephalography (EEG) to control a device such as the artifact arm. The precise force control for the artifact arm is necessary for this artificial limb system. To understand the relationship between control EEG signal and the gripping force of hands, We proposed a study by measuring EEG changes of three grades (25%, 50%, 75%) of hand grip MVC (Maximal Voluntary Contract). The acquired EEG signal was filtered to obtain power of three wave bands (alpha, beta, gamma) by using fast fourier transformation (FFT) and computed power spectrum. Then the power spectrum of three bands (alpha, beta and gamma) of three classes (MVC 25%, 50%, 75%) was classified by using PCA (Principal Component Analysis) and LDA (Linear Discriminant Analysis). The result showed that the power spectrum of EEG is increased at MVC 75% more than MVC 25%, and the correct classification rate was 52.03% for left hand and 77.7% for right hand.

**Key Words** : Brain Computer Interface, EEG, Robot Arm Force Control, PCA, LDA

## 1. 서 론

2011년 보건복지부에서 발표한 장애인 통계 조사를 따르면 국내 추정 장애 인구는 2000년 약 1,449,496명에서 2011년 2,683,477명으로, 10년간 1,233,981명이 증가하였다.

통계를 보면 장애의 원인 중 90.5%가 후천적 질환이나 사고로 말미암아 발생하는 것으로 보고되어 불의의 사고나

예상치 못한 질병으로 장애 인구가 증가하는 것으로 나타났다. 이 중에서도 사지가 불편한 지체장애(53.1%)나 뇌병변장애(10.4%)가 각각 1, 2위의 높은 비중을 차지하고 있다. 지체장애나 뇌병변장애의 경우 신체적 기능을 잃거나 일상생활 시 행동이 제한된 사람으로 정의된다[1].

이러한 장애를 가진 사람일수록 타인에 의존하지 않고 자신의 의지로 신체를 자유자재로 움직일 수 있도록 도와주는 기구가 필요하지만, 현재 국내는 보조 기구나 인공 신체에 관한 연구와 지원이 부족한 현실이다. 최근 이러한 점을 해결하고자 세계적으로 뇌파를 이용한 연구 사례들이 많이 나오고 있다. 인간의 뇌에서 생각하거나 행동을 할 때 20-100 $\mu$ V의 낮은 전압을 측정할 수 있는데 이를 EEG라 하며, 측정방식에 따라 침습적 방법과 비침습적 방법으로 나뉘게 된다. 비침습적 방법은 머리 두피에 전극을 부착하여 측정할 수 있는데, 이렇게 측정된 EEG 신호를 전처리과정을 거쳐 사용자로 하여금 기계를 조종할 수 있는 이른바 BCI기술이 급속히 발전 중이다. 국내에서는 신체 마비 환자를 위한 근전도를 활용한 휠체어 연구가 보고된 바 있고[2], 약한 힘을 가진 노인 등을 대상으로 하는 보조 로봇 팔 정

접수일자: 2013년 2월 10일

심사(수정)일자: 2013년 3월 25일

게재확정일자: 2013년 3월 26일

<sup>†</sup> Corresponding author

본 논문은 한국연구재단 중견연구자지원사업(No.2012-0008726)에서 지원하여 연구하였습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

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.

밀제어연구가 진행되며 있으며[3], 유럽의 최근 연구에 따르면 사지 마비환자들을 대상으로 EEG를 활용한 로봇 팔 제어에 성공한 사례가 있다[4]. 본 연구에서는 자신이 원하는 힘을 가할 수 있는 실제 팔과 같은 성능을 가진 인공 팔의 구현 가능성을 가늠해 보고자 피험자의 악력에 차등을 두어 뇌의 운동영역 (C3, C4)의 EEG를 측정 후 상대적인 파워값을 비교하고자 파워스펙트럼을 통한 각 파형( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 파)의 분석을 하였고, 이후 PCA와 LDA의 분류알고리즘으로 악력의 단계별세기와 EEG의 변화를 분류하였다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 EEG

인간은 신체적 또는 정신적인 변화가 있을 때 두뇌 신경세포에 변화가 있게 되는데, 이때 20-100 $\mu V$ 의 작은 전기신호가 측정되는데, 이를 EEG라 한다.

EEG는 목적에 따라 5개의 주파수 대역으로 분류되며, 그 종류는  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 로 나뉘며, 파형별 특성은 다음과 같다.  $\delta$ (0.5-4Hz)파는 깊은 잠과 관련이 있고, 작은 근육의 움직임 등으로 인공잡음이 섞일 위험이 있다. 보통 의식이 깨어있을 때 실험을 하는 경우 Band pass filter로 제외 후 분석을 한다.  $\theta$ (4-7.5Hz)파는 얇은 수면과 깊은 명상 시 나타나며, 신생아나 아이들의 EEG분석에 중요하게 활용되며, 감정 관련 연구가 주를 이룬다.  $\alpha$ (8-13Hz)파는 보통 두정부와 후두부 지역에서 발견되며, 안정된 상태, 폐안 시 잘 발견되며, 눈을 뜨거나 흥분 시 억제되는 경향이 있는데 이를  $\alpha$ 파 억제현상이라 한다.  $\beta$ (13-30Hz)파는 전두부에서 많이 나타나며, 의식이 있는 상태 및 활동 시, 집중하여 문제를 해결 시 잘 나타난다.  $\gamma$ (30-)파는 빠른 불리기도 하며, 고도의 인지 정보처리와 관련이 깊다[5,6].

### 2.2 PCA (Principal Component Analysis) 와 LDA (Linear Discriminant Analysis)

PCA는 선형변환 특징추출 방법 중 한 가지로 서로 연관성이 있는 데이터를 특징 벡터에 사영하여 고차원의 데이터 분포를 차원을 축소하여 공간상에 시각화하는데 용이하다[7]. 또한, LDA는 2가지 이상의 클래스의 분석법으로 클래스 간 분산과 클래스 내 분산의 비율을 최대화하는 차원축소 및 분류 방법이다[8].

본 논문에서는 파워스펙트럼 분석으로 구하여진 EEG의 3차원 파워값을 PCA를 통한 최적화된 차원축소와 2차원으로 변환된 파워값을 LDA를 이용하여 각 클래스의 분류율을 구하였다.

## 3. 실험 방법

본 연구에서는 건강한 남자 5명(25-28세)이 실험에 참여하였으며, 실험 전 특별한 약물이나 과도한 운동은 금한 상태로 실험에 임하였다. 실험 부위는 양손으로 임하였으며, 기본적인 실험과정을 숙지하고 연습된 상태로 실험에 임하였다.

### 3.1 실험도구

#### 3.1.1 디지털 손 악력계

본 연구에서는 악력 측정을 위하여 (주)라비센에서 개발된

디지털 손 악력계(KS-301, 최대측정:90[kg]/198[lb], 측정단위:0.1[kg]/0.2[lb], 허용오차:0.5[kg]/1[lb])으로 악력을 측정하였으며, 고정밀 Stain Guage Sensor로 악력을 측정하고 디지털 LCD(21mm)로 자신의 측정된 악력을 확인하였다.

#### 3.1.2 뇌파측정도구

피험자의 EEG 변화를 측정하는 기기로 LAXTHA사의 8채널 뇌파측정 장비 QEEG-8(모델명:LXE3208)로 상태별 뇌파 측정, 측정된 데이터는 TeleScan Ver 2.0으로 분석하였다. 뇌파 측정부위로 international 10-20 system의 왼손/오른손 운동변화 측정과 관련된 해부학적 부위인 체성감각영역(somatosensory area)을 지나는 C3, C4영역에 접지전극을 부착하였고, 기준전극(reference)은 왼쪽 귓볼에 부착 접지전극(ground)은 오른쪽 귓볼에 부착하였다. 각 전극은 전극 풀(paste)을 사용하여 부착 후 실험을 시행하였으며, 샘플링 주파수는 256Hz로 하였다[9].

### 3.2 실험절차

실험은 1일 10회 실행 5일에 걸쳐 총 50회 실시하였고, 피험자 양손의 최대수축 악력 MVC (maximal voluntary contract)의 25%, 50%, 75% 순으로 실험을 진행, 자신의 악력 수치를 디지털 손 악력계의 LCD를 보며 실험 수치에 맞추어 조절하였다. 피험자는 실험 전 자신의 악력 수치를 기억 후 2초 이내에 설정된 목표치까지 힘을 가할 수 있도록 훈련되었다. 수축은 5초간 지속하였고, 지속 시 오차범위( $\pm 5\%$ ) 내에 수치를 유지할 수 있도록 하였다. 각 행동 후 10초간 휴식 후 다음 동작을 실행하였다. 실험 절차는 그림 1과 같다.

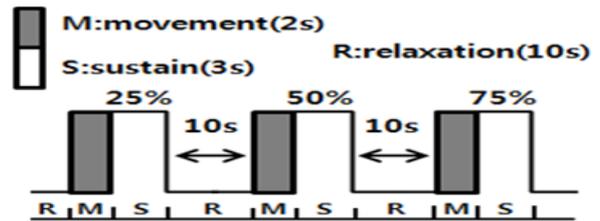


그림 1. 실험 절차

Fig. 1. The procedure of experiment

실험 측정 시간은 총 40초로 진행되었으며, 휴식상태 (R)과 힘을 가하려 움직이는 상태 (M), 힘의 지속상태 (S)를 비교하기 위해 각 2초씩 데이터를 추출하여 비교하였다. 25%는 3~5초를 휴식상태 (R)로, 5~7초를 움직임 상태 (M), 9~11초를 지속상태 (S)로 추출하였고, 50%는 15~17 (R) 초, 18~20초 (M), 21~23초 (S) 그리고 75%는 30~32초 (R), 33~35초 (M), 36~38초 (S)에서 데이터를 추출하였다.

표 1. 피험자의 단계별 측정된 평균 악력 [단위:kg/오차 $\pm 5\%$ ]

Table 1. Grip strength table of subject

MVC	25%	50%	75%	100%
오른손	17.12 13.7-20.6	34.3 30.9-37.7	51.5 48.0-54.9	68.6
왼손	14.2 11.4-17.1	28.5 25.6-31.3	42.7 39.8-45.4	56.9

표 1은 피험자의 원활한 실험 진행을 위해 근육의 피로에 영향을 받지 않도록 실험 진행 전 자신의 최대 악력(MVC)을 측정하였고, 단계별로 수치화한 표이다. 인간을 대상으로 하는 실험으로 허용오차범위는 ±5% 이내로 설정하였다.

실험 시 잡음 방지를 위해 피험자는 조용한 방에서 실험을 실행, 큰 호흡이나 말하기 눈 깜빡임 등의 불필요한 행동을 최소화한 상태에서 실험에 임하였고, 악력을 실험 목표 값에 맞추기 위하여 디지털 손 악력기의 LCD 측정값을 응시하며 음성 신호 시 힘을 가하도록 실험을 진행하였다.

### 4. 실험 분석 및 결과

표 2. 피험자 양손 힘의 단계/EEG 파형별 평균값 [ $\mu V^2$ ]  
Table 2. Mean value of both hands grip strength and EEG [ $\mu V^2$ ]

		MVC	Relax	Movement	Sustain
Left (C4)	$\alpha$	25%	9.4	11.4	12.4
		50%	7.7	12.6	21.3
		75%	8.1	13.5	25.8
	$\beta$	25%	16.7	16.5	12.5
		50%	13.6	13.1	12.5
		75%	12.9	13.6	17.5
	$\gamma$	25%	14.5	12.8	9.6
		50%	10.0	9.0	6.4
		75%	9.2	8.9	7.0
Right (C3)	$\alpha$	25%	7.4	7.8	8.8
		50%	6.2	7.8	8.5
		75%	6.3	10.3	16.2
	$\beta$	25%	19.8	17.7	15.5
		50%	15.7	14.8	18.7
		75%	13.3	16.3	16.4
	$\gamma$	25%	28.1	22.0	21.3
		50%	21.0	18.1	16.5
		75%	15.4	16.8	14.8

표 2는 총 50회씩 실험된 각 피험자들의  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  파형 및 악력의 단계별 측정 EEG의 평균값이다. 측정은 왼손과 오른손으로 분류되었으며, 왼손실험 시 C4지역의 EEG파워 값을 오른손실험 시 C3지역의 EEG 파워 값으로 분석하였다.  $\alpha$ 파는 전체적으로 힘의 지속상태(S)에서 가장 큰 EEG 평균값이 측정되었고, 움직임상태(M) 그리고 휴식상태(R) 순으로 EEG 평균값이 측정되었다(S>M>R). 반면,  $\beta$ 파는 75%로 힘을 가한 상태에서만  $\alpha$ 파와 동일한 지속, 움직임, 휴식상태 순으로 평균값이 측정되었고(S>M>R), 오른손 50%를 제외한 나머지 결과(오른손25%, 왼손25%, 50%)에서 휴식상태→움직임상태→지속상태 순으로 평균값이 점점 감소하는 것을 발견할 수 있었다(R>M>S). 이는 작은 힘을 점차 증가시킬 때보다 그리고 힘을 점차 감소시킬 때보다 휴식상태(R)에서 더욱 높은 EEG를 측정할 수 있었다는 선행 연구 결과와 일치한다[10].  $\gamma$ 파는 이러한 현상이 전반적

으로 일어났다. 오른손 MVC 75%를 제외한 모든 결과가 지속상태보다 움직임상태에서 움직임상태보다 휴식상태에서 더 높은 EEG가 평균적으로 측정되었다(R>M>S).

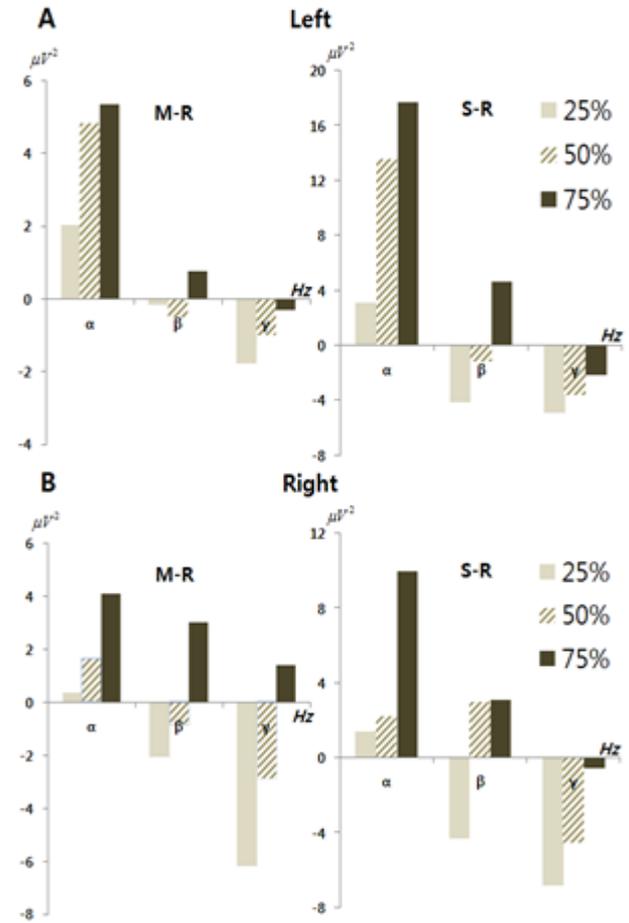


그림 2. 왼손[A]/오른손[B]의 움직임상태 (M)와 지속상태 (S)에서 휴식상태 (R)를 뺀 변화량

Fig. 2. variation subtracted from movement (M)/sustain (S) to relaxation(R) of left[A]/right[B] hand

그림 2는 악력의 변화에 따른 EEG변화의 관계를 알기 위해 움직임상태에서 휴식상태를 빼주고 (M-R), 같은 방법으로 지속상태에서 휴식상태를 빼준 후 (S-R) 변화량을 막대 그래프로 나타내었다. 그림 2의 M-R과 S-R의 변화량 결과 왼손[A]과 오른손[B]에서 모두  $\alpha$ 파에서 두드러지게 EEG가 증가함을 보였고, 전체적으로 감소하는 성향을 보였던  $\gamma$ 파에서도 힘을 가장 강하게 가한 75% 더 적은 감소량을 보였다(75%>50%>25%). 이는 선행 연구된 J. Liu의 연구결과에서 볼 수 있듯이 더 강한 힘을 가할 때 더 높은 EEG가 검출된다는 연구를 확인할 수 있었다[11].

이러한 현상으로 미루어보아  $\alpha$ 파에서는 휴식상태(R)보다 힘을 가하려 움직이거나 (M) 유지할 때 (S) 왼손[A]과 오른손[B]에서 모두 더 높은 EEG가 측정되었고, 이와 반대로  $\gamma$ 파는 휴식상태→움직임상태→지속상태로 갈수록 뇌파가 감소하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

$\beta$ 파는 가장 강한 힘을 가할 때 (MVC 75%)를 제외한 나머지 단계 (MVC 25%, 50%)에서는  $\gamma$ 파와 비슷하게 왼손[A]과 오른손[B]에서 모두 감소하는 성향을 보였다.

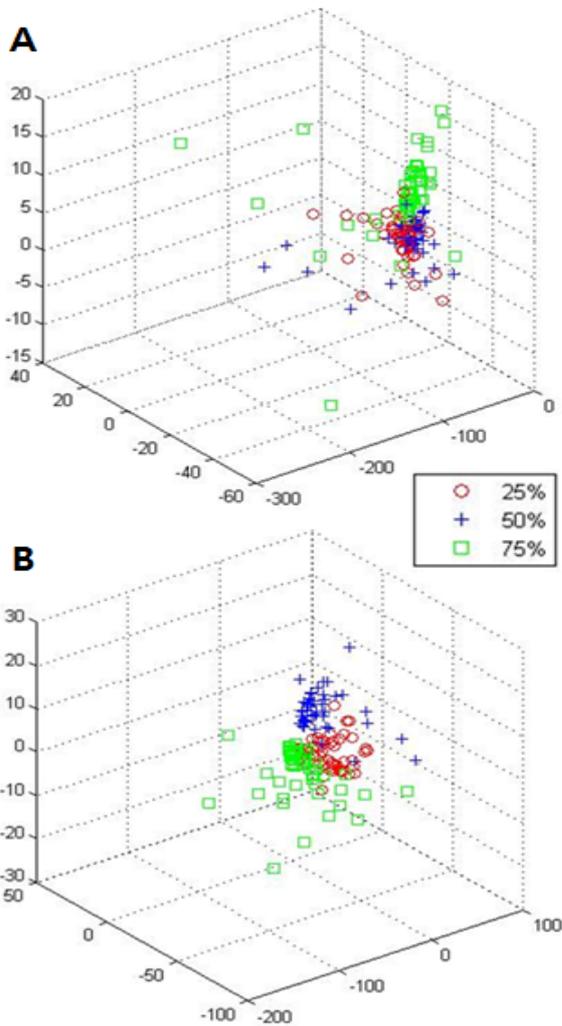


그림 3. 왼손[A]/오른손[B]의 PCA로 사영된 3차원 EEG data  
Fig. 3. 3-D EEG data of left[A]/right[B] hand using PCA

이후 분류율을 확인하기 위하여 PCA를 이용하여 주축성분으로 방향을 변환시킨 후 차원을 축소, 클래스별 분류를 위해 LDA를 이용하여 데이터를 분류하였다.

그림 3은 왼손[A]/오른손[B]의 3개의 클래스로 나눈 EEG raw data를 고유벡터를 이용하여 주축성분으로 사영된 그림이다. 3개의 클래스는 악력의 세기인 MVC 25%, 50%, 75%로 나누었다. 양손의 그림을 비교해 본 결과 오른손[B]보다 왼손[A]이 더욱 복잡하게 얽혀있음을 확인할 수 있었다. 이후 LDA 분류고리즘을 사용하여 양손의 데이터의 분류율을 구하였다.

표 3. 각 MVC의 평균 LDA 분류확률

Table 3. LDA classification rate of each MVC

MVC	Classification Rate [%]	
	Left	Right
25%	50.11%	72.2%
50%	45.5%	81.75%
75%	60.47%	79.25%

표 3은 왼손과 오른손의 분류율 표이다. 그림 4에서 알 수 있듯이 육안으로 복잡하게 얽혀 있는 왼손 [A]의 분류율 보다 오른손 [B]의 분류율이 더 높음을 확인할 수 있었다. 또한, MVC가 가장 높은 75%와 가장 낮은 25%의 분류율을 비교 시 왼손[A]과 오른손[B] 모두 높은 힘을 가할수록 더 높은 분류율을 나타내었다. 그러나 왼손 MVC 50%의 경우 그림 4에서 볼 수 있듯이 명확하게 분류가 되지 않아 가장 낮은 분류율을 나타내었다.

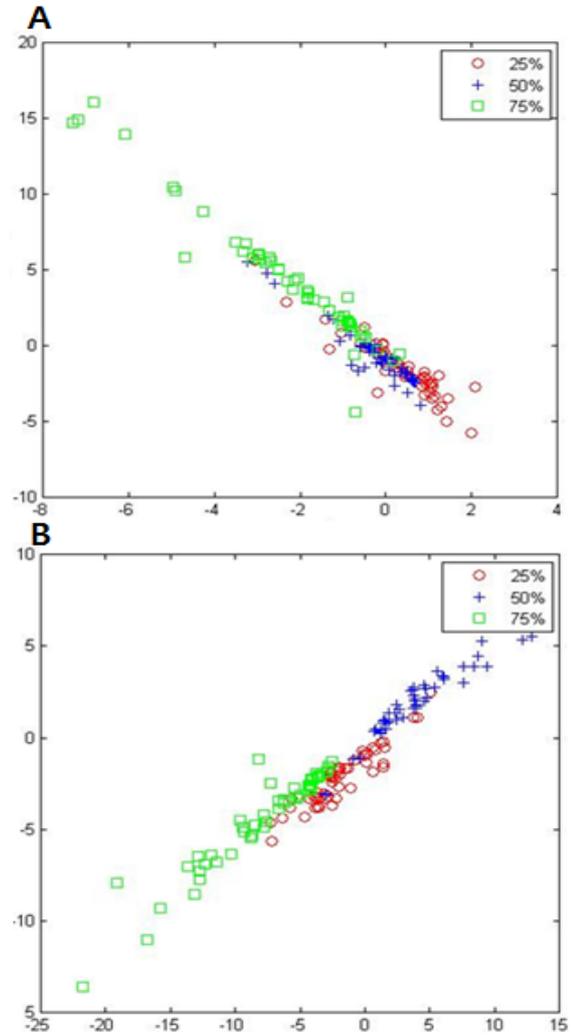


그림 4. 왼손[A]/오른손[B]의 2차원으로 축소된 EEG data  
Fig. 4. reduced to 2-D EEG data of left[A]/right[B] hand

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 힘과 EEG의 연관성을 알아보기로 하자 악력에 차등을 두어 3단계로 나누고, 행동별 (R, M, S)변화에 따른 EEG의 파형별 ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )변화를 파워스펙트럼분석으로 상대파위를 행동별로 비교 및 분석 후, 분류되지 않은 EEG raw data를 분류기법인 PCA와 LDA를 활용하여 차원의 줄이며 분류를 하였다. 각 행동 시 EEG 변화측정을 위해 뇌

의 운동감각과 밀접한 지역인 C3, C4에 전극을 부착하여 EEG 값을 측정하였다. 모든 값이 유의미한 결과를 나타내지는 않았지만, 힘을 가장 강하게 가하였던 MVC 75%에서 EEG 파워의 가장 큰 증가를 확인할 수 있었고, 가장 적은 MVC 25%의 힘을 줄 시 평균적으로 휴식상태에서 가장 큰 파워 값을 얻을 수 있었다. 또한,  $\alpha$ 파에서는 휴식상태 (R) 보다 힘을 줄 때나 지속할 때 증가하는 양상을 띠는 반면,  $\gamma$ 파는 전체적으로 감소하였다. 이를 Matlab을 이용하여 각 힘의 단계별로 클래스를 분류하였고, PCA와 LDA로 분류한 결과 분류 전 3-D 파워 값과 비교했을 때, 오른손의 평균 분류율(77.7%)이 왼손의 평균 분류율 (52.03%)보다 높은 분류율을 보여주었다. 이번 연구가 힘과 관련된 EEG의 연구로 시작되었지만, 실험이 악력에만 국한되어서 다른 힘과 관련된 행동 시에도 이러한 EEG 변화가 나는지는 미지수이다. 선행연구로 행동에 따라 뇌파의 변화양상이 다르고 또한 근육 피로 정도에 따라 뇌파의 변화가 달라지며, 같은 실험을 하더라도 피험자마다 다른 측정값을 얻을 수 있다고 보고된 바가 있다[4][12][13]. 그러나 이러한 결과 값이 유의미하게 분석이 된다면 머지않아 불의의 사고로 신체 일부를 잃은 환자들에게 현재 근전도 기술에 의존하고 있는 의수 기술개발에 자신의 EEG를 활용하여 더욱 정확한 동작을 수행할 수 있는 향상된 인공보조기구 및 의수 등의 개발 가능성을 보여주었다. 향후 계획으로 피험자 수를 늘려 더욱 많은 표본을 확보하고 다른 분석법으로 EEG를 분석할 예정이다.

## References

- [1] S. H. Kim, Y. C. Byun, C. G. Son, Y. H. Lee, M. K. Lee, S. H. Lee, D. W. Kang, S. J. Kwon, H. K. Oh, S. Y. Yoon, S. Y. Lee, "Suvey of People with Disabilities," *Ministry of health*, 2011.
- [2] S. Y. Hwang, "Development of a headband based automated wheelchair control system for quadriplegia disabled," *Graduate School of Konkuk University*, thesis, 2009.
- [3] B. I. Jeon, H. C. Cho, "EXOSKELETON ROBOT ARM Control By Fuzzy Algorithm Using EMG Signal," *Proceeding of KIIS Fall Conference*, vol. 19, No. 2, pp.218-221, 2009.
- [4] G. Onose, C. Grozea, A. Anghelescu, C. Daia, C. J. Sinescu, A. V. Ciurea, T. Spircu, A. Mirea, I. Andone, A. Spanu, C. Popescu, A. -S. Mihaescu, S. Fazli, M. Danoczy, F. Popescu, "On the feasibility of using motor imagery EEG-based brain-computer interface in chronic tetraplegics for assistive robotic arm control: a clinical test and long-term post-trial follow-up," *Spinal Cord*, vol. 50, pp. 599-608, Mar 2012.
- [5] Saeid Sanei, J. A Chambers, *EEG signal processing*, John Wiley & Sons Inc, 2007.
- [6] J. H. Kang, J. Y. Kim, C. S. Kim, S. Y. Song, Y. S. Choi, *fiction test neurology*, Korea medical book publisher, 2012.
- [7] I.T. Jolliffe, *Principal Component Analysis*, 2nd Ed.,

Springer, 2002.

- [8] H. Han, *Introduction to pattern recognition*, Hanbit-media, 2009.
- [9] B. Jin, *Clinical Physiology Electroencephalogram*, Korea medical book publisher, 2011.
- [10] Toshiaki Wasaka, Tetsuo Kida, Ryusuke Kakigi, "Modulation of somatosensory evoked potentials during force generation and relaxation," *Experimental Brain Research*, vol. 219, Issue. 2, pp. 227-233, June, 2012.
- [11] J. Z. Liu, Q. Yang, B. Yao, R.W. Brown, G.H. Yue, "Linear correlation between fractal dimension of EEG signal and handgrip force," *Biological Cybernetics*, vol. 93, Issue. 2, pp.131-140, Aug, 2005.
- [12] Paul A. Pope, Andrew Holton, Sameh Hassan, Dimitrios Kourtis, Peter Praamstra, "Cortical control of muscle relaxation: A lateralized readiness potential (LRP) investigation," *Clinical Neurophysiology*, vol. 118, Issue. 5, pp. 1044-1052, May. 2007.
- [13] Jing Z. Liu, Bing Yao, Vlodek Siemionow, Vinod Sahgal, Xiaofeng Wang, Jiayang Sun, Guang H. Yue, "Fatigue induces greater brain signal reduction during sustained than preparation phase of maximal voluntary contraction," *Brain Research*, vol. 1057 Issues. 1-2, pp. 113-126, Sep, 2005.

## 저 자 소 개

### 김동은(Dong-Eun Kim)

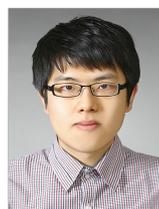
2012년 : 한경대학교 전자전기공학부 공학사  
 2013년~현재 : 중앙대학교 대학원  
 전자전기공학부  
 석박사통합과정.



관심분야 : Brain-computer Interface, pattern recognition  
 Phone : +82-2-820-5319  
 E-mail : jounj333@gmail.com

### 이태주(Tae-Ju Lee)

2012년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사  
 2013년~현재 : 중앙대학교 대학원  
 전자전기공학부  
 석박사통합과정.



관심분야 : Brain-computer Interface, Intention recognition, Neuro-Robotics, Soft Computing  
 Phone : +82-2-820-5319  
 E-mail : bindaman@cau.ac.kr



**박승민(Seung-Min Park)**  
2010년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사  
2010년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원  
전자전기공학부  
석박사통합과정

관심분야 : Brain-Computer Interface, Intention Recognition  
Soft Computing 등.  
Phone : +82-2-820-5319  
E-mail : sminpark@cau.ac.kr



**고광은(Kwang-Eun Ko)**  
2007년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사  
2007년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원  
전자전기공학부  
석박사통합과정

관심분야 : Multi-Agent Robotic Systems (MARS),  
Machine Learning, Context Awareness,  
Emotion Recognition Systems 등.  
Phone : +82-2-820-5319  
E-mail : kkeun@cau.ac.kr



**심귀보(Kwee-Bo Sim)**  
1990년 : The University of Tokyo  
전자공학과 공학박사  
1991년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수  
2006년~2007년 : 한국지능시스템학회 회장

관심분야 : 인공생명, 뇌-컴퓨터 인터페이스, 의도인식, 감성인식,  
유비쿼터스 지능형로봇, 지능시스템, 컴퓨테이셔널  
인텔리전스, 지능형 홈 및 홈 네트워크, 유비쿼터스  
컴퓨팅 및 센서 네트워크, 소프트 컴퓨팅(신경망,  
퍼지, 진화연산), 다개체 및 자율분산로봇시스템,  
인공면역시스템, 지능형 감시시스템 등.  
Phone : +82-2-820-5319  
E-mail : kbsim@cau.ac.kr  
Homepage URL : <http://alife.cau.ac.kr>