Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 5 pp.741-750, October 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.5.741

뇌파 상대 스펙트럼의 숙련도 평가 척도로의 이용 가능성에 대한 연구

옥 동 민 · 박 희 석

홍익대학교 산업공학과

A Study on Applicability of EEG Spectral Relative Power as a Measure of Expertise Level

Dong Min Ok, Hee Sok Park

Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791

ABSTRACT

The objective of this paper is to study if the EEG spectral relative power would be a reasonable measure of expertise level. EEG electrodes were placed on the locations of Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, O1, O2 while 5 subjects were playing 4 kinds of game on PC. EEG spectral relative power was significantly related with expertise level on the locations of Fp1, T3, T4, O1, O2. And the results showed that the θ and α activities were decreased, while β and γ activities were increased. The results indicated that the EEG spectral relative power would be applicable as a quantitative measure of expertise level.

Keyword: EEG, Relative Power Spectrum, Learning

1. 서 론

숙련도의 평가는 해당 과업에 적합한 숙련도를 보유한 작업자를 선별하는 데 필수적이다. 숙련도 평가가 제대로 이루어지지 않을 경우, 과업의 효율이나 안전성이 저하될 수 있다. 또한 숙련도 평가는 적절한 임금 수준의 결정과 학습 방법의 평가에도 활용될 수 있다.

숙련도를 평가하는 방법은 정성적, 정량적 방법으로 구분할 수 있다. 정성적 방법은 전문가가 작업자의 숙련도를 평가하는 방법으로서, 빠른 시간에 간단하게 측정할 수 있는 장점이 있으나, 평가자의 주관이 개입될 가능성이 크다는 한계점을 지니고 있다. 정량적 방법은 미리 수행완료 시간 또는 성능의 가이드라인을 정해놓고 테스트를 통해 평가하는 등의 방법으로, 각 테스트 대상의 가이드라인을 만들기 위해 충분한 실험을 통한 타당성을 제시해야 한다는 한계점이 있다.

이러한 기존 평가법의 한계점을 보완할 수 있는 방법 중 하나로 뇌파(Electroencephalogram, EEG)를 이용한 방법을 들 수 있다. 뇌파는 주로 의학 분야에서 간질, 뇌손상, 수면장애, 우울증 등 임상 분야에서 주로 활용되어 왔다. 그러나 최근 들어 그 활용도가 확대되면서 교육학, 뉴로 마케팅 등 다양한 분야에서 활용되고 있다(전환성, 2006). 최근에는 뇌에서 발생한 신호로 직접 기계와 상호작용하는 BCI(Brain Computer Interface)분야에서 활용되고 있으며, wearable computer 연구에서도 BCI가 응용되고 있다(Navarro, 2004; Piccini et al., 2005).

본 연구에서는 뇌파가 숙련도 평가의 정량적 척도로 사용

*본 연구는 2009년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.
교신저자: 박희석
주 소: 121-791 서울시 마포구 상수동 72-1, 전화: 02-320-1473, E-mail: hspark@hongik.ac.kr

될 수 있는지를 실험을 통하여 검토하였다. 뇌파와 학습 또는 숙련과 관련한 연구는 국내외에서 다수 행해져 왔다. 오현숙(2007)은 피험자를 숙련자와 비숙련자 두 그룹으로 나누고 PC 게임을 하는 동안 뇌파의 상대 파워 스펙트럼을 비교한 결과, 초보 집단과 숙련 집단은 상대 파워 스펙트럼이 높은 부위나 주파수대에서 유의한 차이를 보였으며, 집단 간 뇌파가 활성화되는 지점과 시기에 차이가 있음을 밝혔다. Luu et al.(2007)은 피험자들이 code learning task를 수행, 학습하는 동안 전두부의 활동이 감소하고, 후두부의 활동이 증가함을 발견하였다. Fairclough et al.(2005)은 과업 난이도에 따라 후두엽에서 θ파의 유의한 차이가 있으며, 다항회귀분석을 통해 학습의 정도를 예측할 수 있음을 제시하였다. 김용진과 장남기(2001)는 시청각 학습을 반복함에 따라 전전두엽에서 습관화 현상이 일어나며, 1회 반복 학습이 적절함을 보고하였다. Gevins and Smith(2003), Klimesch(1999)등의 연구에서는 과업의 난이도가 증가함에 따라 전두엽에서 θ파, β파는 증가하나 α파는 감소함을 보였다. Nakata et al.(2010)의 운동선수들과 일반인들을 비교한 연구에서, 숙련된 운동선수들은 일반인들보다 신경활동의 유연성이 높은 것으로 나타났다.

선행 연구 중 리뷰 논문인 Gevins and Smith(2003), Klimesch(1999), Nakata et al.(2010)을 제외한, 오현숙(2007)의 연구는 피험자 당 한 번씩 측정하였고, Luu et al.(2007)은 피험자 당 하루만 실험하되 총 48회(연습 32회, 측정 16회)반복하였으며, Fairclough et al.(2005)는 피험자 당 하루만 실험하되 총 64회 반복하였고, 김용진과 장남기(2001)는 피험자 당 하루만 실험하되 총 5회 반복한 데이터를 측정하는 등, 단기간 측정한 연구가 대부분이었다. 그러나 본 연구에서는 숙련된 상태와 그렇지 않은 상태를 비교하는 것이 아니라 숙련과정이 관심사이므로, 선행 연구들보다는 장기간에 걸쳐 실험하는 것이 바람직하다 하겠다. 또한 피험자를 숙련자와 비숙련자로 구분하는 경우에는 양 집단 간의 차이를 파악하기에는 용이하나, 비숙련자가 숙련자로 변하는 과정을 관찰할 수 없는 한계점이 있다. 이에 본 연구에서는 과업의 경험이 없는 피험자를 대상으로 일정한 시간 간격을 두고 여러 날에 걸쳐 뇌파를 측정하여, 보다 현실적인 상황 하에서 뇌파가 숙련도 평가의 척도로서 활용이 가능한지를 검토하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 가설 및 과업

본 연구의 귀무 가설은 다음과 같다.

H_0: 피험자가 과업을 반복 수행하면서 숙련도가 증가하여도 뇌의 지점별 뇌파 상대 파워 스펙트럼에 유의한 차이를 보이지 않는다.

뇌파 측정 장비의 특성상 머리를 포함한 몸이 흔들리는 과업을 실행하게 되면 잡파가 발생하거나 전극이 빠질 가능성이 높다. 따라서 전신의 동작을 최소화하는 컴퓨터 작업이 실험 과업으로 적합하며, 그 중 과업의 결과를 점수나 시간으로 측정할 수 있고, 피험자들이 학습하기 용이하고 쉽게 흥미를 가질 수 있는 과업들을 최종 선정하였다. 선정한 과업들은 표 1과 같다.

표 1. 실험 과업의 종류

번호	과업
1	야구 타격 게임
2	영어 단어 시험
3	아래한글에서 수식 타이핑
4	자동차 레이싱 게임

선행 연구를 통해 뇌파를 측정하기 위해 사용된 방법들을 살펴보면 비디오 게임이 종종 이용되었다. 간단한 인터페이스를 가진 비디오 게임(Haufler et al., 2000; Kim et al., 2008; Smith et al., 1999) 뿐만 아니라 온라인 체스 게임(Harreveld et al., 2007)이나 전략 시뮬레이션 게임(오현숙, 2007; 정재범, 2008), 액션 게임(Green and Bavelier, 2003; Boot et al., 2008) 등 다양한 난이도와 종류의 비디오 게임을 이용한 뇌파 측정이 이루어졌다. 과업 1은 컴퓨터 야구 게임 MVP 2005 중 타격 미니 게임으로, 조이스틱을 사용하여 한 단계마다 10번의 타격 기회가 있고, 볼을 외야로 멀리 쳐 낼수록 높은 점수를 획득하게 된다. 10번 이내에 각 단계에서 제시한 목표 점수를 넘겨야 다음 단계로 진행된다. 게임 상에서 설정할 수 있는 4수준 난이도 중 3수준으로 설정하여 실험하였다. 과업 2는 영어 단어 테스트로, 20개의 피험자들이 한 번도 접해보지 않은 의학 용어를 측정 전에 학습하게 하고 그 중 15개를 제시하였다. 과업 3은 아래한글에서 수식을 입력하는 과업으로, 일반 텍스트와 수식을 포함한 900자 정도의 문서를 입력하도록 하였다. 과업 4는 컴퓨터 레이싱 게임 Need For Speed Most Wanted 중 일정 시간 내에 결승점을 통과해야 하는 미니 게임으로, 피험자는 3분 30초 이내에 3번의 체크 포인트를 지나 최종 결승점에 도달해야 하는 게임이다.

2.2 피험자 및 실험 환경

피험자 선정을 위해 20~30대 오른손잡이 남자 대학생/

대학원생 10명을 1차 선발하였다. 김명선 등(2008)에 따르면 오른손잡이와 왼손잡이 간 뇌 활성화 지점의 차이가 있을 뿐 아니라 성별 차이도 관찰되는 경우가 있기 때문에 손잡이와 성별을 지정하였다. 모집된 피험자 중 과거 뇌 질환 병력이 없으며 본 실험에서 선정한 과업의 경험이 없는 5명을 최종 피험자로 선정하였다.

뇌파의 측정에 방해가 될 수 있는 35dB 이상의 외부 소음이나 의도하지 않은 조명 등 외부 환경을 차단할 수 있는 방음실 내에서 실험을 진행하였다. 또한 실험 중에는 내부온도, 습도, 조도를 일정하게 유지하였다.

2.3 뇌파 측정 및 분석

장비로는 LAXTHA사의 8채널 뇌파 측정 시스템 LXE3208과 Telescan 소프트웨어를 이용하였다.

측정 전극은 국제 기준 전극법 10~20 system(Patrcia and Sannit, 1974)에 따라 좌우 전전두극(Frontal-pole, Fp1, Fp2), 좌우 전두부(Middle-posterior frontal, F3, F4), 좌우 측주중부(Mid-temporal, T3, T4) 및 좌우 후두부(occipital, O1, O2)에 부착하였으며, 참조 전극은 귓불(A1, A2), 접지 전극은 목 뒤에 부착하였다(그림 1). 전극 부착 부위는 민윤기 등(2000)의 연구를 참고로 하여 결정하였다.

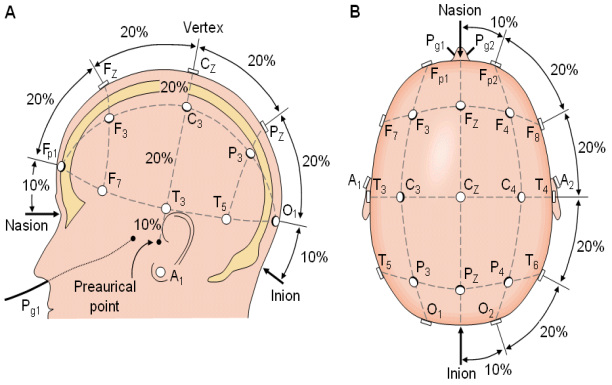

그림 1. 10~20 전극법

전극 부착 후 5분 간 피험자가 안정을 취하게 한 후에 측정을 실시하였고, Sampling rate는 256Hz로 하였다. 피험자는 과업을 4주간 꾸준히 하도록 하였고, 일주일에 한 번씩 데이터를 측정하였다. 이 때 피험자는 각 과업을 5분씩, 3회 반복하였고 그 동안 30초씩, 한 주당 15회의 데이터를 기록하였다. 수집된 raw data는 눈의 깜박임이나 머리 흔들림 등으로 인해 발생하는 잡파, 수면 상태에서 주로 발생하는 δ파, 그리고 γ파 대역을 넘는 주파수 대역을 제거하기 위해 4~50Hz Band Pass Filtering을 거쳐 분석에 이용하였다.

뇌파의 분석법은 시간 분석, 주파수 분석, 시간-주파수 분석, 비선형 동역학 분석, 통계적 모델링, 시공간 분석, 유발 전위 분석 등이 있다(류창수 등, 2001). 다양한 분석법 중 개인 편차를 제거할 수 있는 상대 파워 스펙트럼 분석법(Regan, 1989)은 대표적인 뇌파 분석법으로, μV 단위로 측정된 뇌파를 FFT(Fast Fourier Transform) 변환을 실시해 주파수 대역 별로 데이터를 정렬, 분석하는 방법이다. 상대 파워 스펙트럼을 통해 뇌파를 주파수 대역 별로 나누어 분석하면 뇌의 어느 지점에서 특정 주파수 대역이 우세를 보이고, 어떤 뇌 기능이 활성화되어 있는지 파악할 수 있는 장점이 있어, 본 연구의 분석법으로 채택하였다.

상대 파워 스펙트럼 값은 분석하고자 하는 각 주파수 대역의 절대 파워와 전체 주파수 대역의 파워의 비율이다. 따라서 각 주파수 대역의 상대 파워 스펙트럼 값은 0에서 1사이의 값을 가지며, 그들의 합이 1이 된다. 특정 주파수 대역의 상대 파워 스펙트럼 값이 0에 가까우면 활성도가 낮으며, 1에 가까우면 활성도가 높은 것이라 할 수 있다. 이 상대 파워값은 뇌파 데이터의 개인차를 줄일 수 있고, 상대적으로 우세한 주파수 대역을 파악할 수 있다(김용진 등 2005, Knyazev et al., 2004). 본 연구에서는 주파수 대역을 선행 연구(김용진, 장남기, 2000; 송길섭, 2003; 음태완, 2004; 박병운, 2004)를 참조하여 표 2와 같이 8개로 나누었다.

표 2. 주파수 대역 구분

종류	주파수 대역	종류	주파수 대역
θ파	4~8Hz	Low β파	13~20Hz
Slow α파	8~9Hz	High β파	20~30Hz
Mid α파	9~12Hz	Low γ파	30~40Hz
Fast α파	12~13Hz	High γ파	40~50Hz

수집된 상대 파워 스펙트럼 데이터는 각 주파수 대역과 측정 지점에 대해 실험 주차를 독립변수로 하는 분산분석과 Tukey 사후검정을 실시하였다. 실험을 4주 동안 진행하였으므로 사후검정의 집단군은 2~4개의 집단군으로 나눌 수 있고, 이는 실험 주차 간 상대 파워 스펙트럼 평균값의 차이가 있음을 말한다. 집단군의 수에 관계 없이 모든 과업이 특정 실험 주차를 기준으로 일관된 경향을 보인다면 해당 지점 및 주파수 대역에서 숙련과 관련한 활동이 발생한 것으로 보았다.

3. 결 과

3.1 숙련 상태의 확인

피험자들이 4주 간 획득한 점수를 분산분석 및 Tukey 사후검정한 결과는 표 3 및 표 4와 같다.

표 3. 과업별 획득 점수 분산분석 결과(p=.05)

과업	요인	SS	자유도	F값	유의확률
Task1	Week	3.51	3	4.796	.034
	오차	1.96	8		
Task2	Week	196.58	3	8.936	.006
	오차	58.67	8		
Task3	Week	27844.60	3	5.423	.025
	오차	13693.20	8		
Task4	Week	6370.73	3	7.668	.010
	오차	2215.47	8		

표 4. 과업별 획득 점수 사후검정 결과

과업	실험 주차	집단군	
		1	2
Task1	1	24218.27	
	2	36744.93	36744.93
	3	41071.40	41071.40
	4		44111.93
Task2	1	10.40	
	2		13.80
	3		14.67
	4		14.93
Task3	1	125.87	
	2	158.87	158.87
	3	163.00	163.00
	4		186.27
Task4	1	128.73	
	2	142.00	142.00
	3		152.40
	4		154.87

분산분석 결과 각 실험 주차마다 유의한 차이가 나타나, 실험이 진행될수록 과업의 평균 점수가 높아져서 2~4주차를 경계로 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 즉, 과업을 반복 수행하면서 학습이 이루어져 각 과업의 성과 및 숙련도가 높아졌다고 하겠다.

3.2 상대 파워 스펙트럼 분석 결과

각 주파수 대역 및 측정 부위별로 분산분석을 실시하고 결과를 요약 제시하였으며(유의수준 0.05), 사후검정 결과는 여러 지점 중 가장 뚜렷한 평균 차이를 나타내거나, 상세히 설명할 필요가 있는 지점을 제시하였다.

3.2.1 θ파

θ파 대역에서는 T3, T4, O2 세 지점에서 네 가지 과업 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서의 유의확률은 대부분 0에 가까운 값으로 실험 주차 간 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, T3 지점에 대한 사후검정 결과는 표 5와 같다.

표 5. θ파, T3 지점(좌측두부)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군	
			1	2
T3	Task1	3	.1478	
		4	.1727	
		2		.2144
		1		.2805
	Task2	4	.2123	
		3	.2224	
		1		.2897
		2		.3068
	Task3	4	.3234	
		3	.3464	
		1		.3598
		2		.4102
	Task4	3	.1121	
		4	.1221	
		1		.2117
		2		.2227

T3, T4 지점에서는 실험 시작 3주를 기점으로 하여 θ파의 비율이 감소하는 경향을 보였으며, O2 지점에서는 4주를 기점으로 하여 감소하는 경향을 보였다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균을 비교한 결과, T3 지점은 28.14%(.2854 -> .2051), T4 지점은 12.81%(.3739 -> .3260), O2 지점은 27.7%(.3487 -> .2521) 감소하였다.

3.2.2 Slow α파

Slow α파 대역은 Fp1, T3, O1 지점에서 네 과업 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서 유의확률

은 .000 ~ .005로 실험 주차 간 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. Fp1 지점에 대한 사후검정 결과는 표 6과 같다.

표 6. Slow α파, Fp1 지점(좌전두극)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군	
			1	2
Fp1	Task1	3	.0376	
		2	.0393	
		4	.0405	
		1		.0477
	Task2	3	.0358	
		4	.0359	
		2		.0408
		1		.0444
	Task3	4	.0342	
		2	.0369	
		3	.0371	
		1		.0419
	Task4	3	.0297	
		4	.0317	
		2		.0320
		1		.0363

사후검정 결과 Fp1 지점에서는 2주 또는 3주를 기점, T3와 O1 지점에서는 3주를 기점으로 하여 Slow α파의 비율이 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 전두엽 측정 지점 중에서 유일하게 Fp1 지점만 Slow α 대역에서 유의한 차이를 나타내었다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균 감소율은 Fp1 지점은 16.43%(.0426 -> .0356), T3 지점은 39.63%(.0381 -> .0230), O1 지점은 21.46%(.0522 -> .0410)로 나타났다.

3.2.3 Mid α파

Mid α파 대역은 T3, T4 지점에서 네 과업 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서 유의확률은 .000 ~ .002로 실험 주차 간 매우 유의한 차이를 보였으며, T4 지점에 대한 사후검정 결과는 표 7과 같다.

사후검정 결과 T3 지점에서는 3주를 기점으로 하여 Mid α파의 비율이 감소하고, T4지점에서는 4주를 기점으로 Mid α파의 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균 차이를 비교한 결과 T3 지점은 25.66% 감소(.0838 -> .0623), T4 지점은 31.97% 증가(.0879 -> .1160)한 것으로 나타났다.

표 7. Mid α파, T4 지점(우측두부)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군		
			1	2	3
T4	Task1	1	.0870		
		2	.0904		
		3	.0958	.0958	
		4		.1060	
	Task2	1	.0748		
		3		.0899	
		2		.0902	
		4			.1224
	Task3	1	.1034		
		2	.1111		
		3	.1134	.1134	
		4		.1224	
	Task4	1	.0864		
		2	.0880		
		3		.1062	
		4			.1295

3.2.4 Fast α파

Fast α파 대역은 Mid α파의 결과와 동일하게 T3, T4 2개의 지점에서 네 과업 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서 유의확률은 .000 ~ .021로 실험 주차 간 유의한 차이를 보였으며, T4 지점에 대한 사후분석 결과는 표 8과 같다.

표 8. Fast α파, T4 지점(우측두부)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군		
			1	2	3
T4	Task1	2	.0221		
		1	.0232		
		3		.0278	
		4		.0285	
	Task2	1	.0196		
		2		.0240	
		3		.0266	.0266
		4			.0298
	Task3	1	.0252		
		3	.0286	.0286	
		2	.0287	.0287	
		4		.0298	
	Task4	1	.0256		
		2	.0267		
		3	.0290		
		4		.0348	

사후검정 결과 T3 지점에서는 3주를 기점으로 하여 Mid α파의 비율이 감소, T4 지점에서는 3주를 기점으로 Mid α파의 비율이 증가하는 것으로 나타났다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균 차이를 살펴보면 T3 지점은 22.59% 감소(.0248 -> .0192), T4 지점은 32.05%(.0234 -> .0309) 증가한 것으로 나타났다.

3.2.5 Low β파

Low β파는 네 과업에 모두 유의한 차이 및 사후검정 결과 동일한 경향을 나타내는 지점이 관찰되지 않았다. 단, T4 지점에서 과업 4를 제외한 나머지 과업에서 분산분석 결과가 유의할 뿐만 아니라 사후검정 결과에서 3주를 기점으로 평균값이 증가하는 경향을 보였다.

3.2.6 High β파

High β파 대역은 T3, O1, O2에서 네 과업 모두 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서 유의확률은 모두 .000으로 실험 주차 간 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. O1 지점에 대한 사후검정 결과는 표 9와 같다.

표 9. High β 파, O1 지점(좌후두부)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군			
			1	2	3	4
O1	Task1	2				
		1	.1258			
		4	.1296	.1458		
		3		.1546		
	Task2	2	.1288			
		1	.1368			
		3	.1376			
		4		.1753		
	Task3	1	.1193			
		2		.1307		
		3			.1410	
		4				.1557
	Task4	2	.1517			
		1	.1562			
		3		.1694		
		4		.1776		

사후검정 결과 T3, O1 지점은 3주를 기점으로 증가, O2 지점은 1주와 2주 사이 평균값이 감소 후 증가하는 경향을 보였다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균 차이는 T3 지점은 22.31%(.1724 -> .2109), O1 지점은 20.74%(.1355 -> .1636), O2 지점은 27.82%(.1373 -> .1755)씩 증가한 것으로 나타났다.

3.2.7 Low γ파

Low γ파 대역은 High β파의 결과와 동일한 T3, O1, O2에서 네 과업 모두 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서 유의확률은 모두 .000으로 실험 주차 간 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. T3 지점에 대한 사후검정 결과는 표 10과 같다.

표 10. Low γ파, T3 지점(좌측두부)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군		
			1	2	3
T3	Task1	1	.1472		
		2		.1781	
		4			.2022
		3			.2155
	Task2	2	.1481		
		1	.1539		
		3		.1908	
		4		.1997	
	Task3	2	.0877		
		1	.0918		
		4		.1327	
		3		.1346	
	Task4	1	.1426		
		2	.1565		
		4		.2163	
		3		.2241	

사후검정 결과 세 지점 모두 3주를 기점으로 평균값이 증가하는 경향을 보였다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균은 T3 지점은 40.18%(.1339 -> .1877), O1 지점은 35.54%(.1027 -> .1392), O2 지점은 49.79%(.0974 -> .1459)씩 증가한 것으로 나타났다.

3.2.8 High γ파

High γ파 대역은 High β파 및 Low γ파의 결과와 동일하게 T3, O1, O2에서 네 과업 모두 유의한 차이를 보였다. 분산분석에서 유의확률은 모두 .000으로 실험 주차 간 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. O2 지점에 대한 사후검정 결과는 표 11과 같다.

사후검정 결과 세 지점 모두 3주를 기점으로 평균값이 증가하는 경향을 보였다. 실험 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 값의 평균은 T3 점은 53.30%(.0895 -> .1372), O1 지점은 48.91%(.0691 -> .1029), O2 지점은 55.11%(.0597 -> .0926)씩 증가한 것으로 나타났다.

표 11. High γ파, O2 지점(좌측두부)의 사후검정 결과

지점	과업	주차	집단군			
			1	2	3	4
O2	Task1	1 2 3 4	.0466	.0614	.0829 .0875	
	Task2	2 1 3 4	.0537 .0612	.0791	.1026	
	Task3	2 3 1 4	.0464	.0583	.0660	.0806
	Task4	2 1 3 4	.0619 .0651	.0760	.0997	

4. 고 찰

4.1 결과 요약

3장의 결과를 표 12와 같이 정리하였다. 각 셀의 1열은 증가 및 감소 경향과 경향이 나타난 기점, 2열은 1주차와 4주차의 상대 파워 스펙트럼 비율, 3열은 2열에 나타난 데이터의 증감 비율이다.

T3 지점이 가장 두드러진 결과를 보였다. 서파에 해당하는 θ파와 α파는 실험 시작 3주를 기점으로 감소하는 반면, 속파에 해당하는 β파와 γ파는 동일 시간을 기점으로 증가하는 경향을 보였다(Low β파 제외). T4 지점에서는 θ파가 3주를 기점으로 감소, Mid, Fast α파는 4주를 기점으로 상대 파워 스펙트럼 비율이 증가하였으며 O1, O2 지점에서는 β파와 γ파의 증가 경향이 뚜렷하게 드러났다. 또한 모든 유의한 지점에서 3주 또는 4주를 기점으로 상대 파워 스펙트럼 비율의 평균값이 증가 또는 감소한 것으로 미루어 이 시점에서 숙련과 관련한 사건이 발생한 것으로 볼 수 있다.

4.2 주파수 대역 별 고찰

Low β파 대역을 제외한 7개 대역에서 실험 시작 후 3주 또는 4주를 기점으로 숙련과 관련한 활동이 발생하였고 이를 주파수 대역 별로 선행 연구와 비교 고찰하였다.

θ파는 기억의 유지, 주의 지속 및 단기기억 부호화/인출과 관련이 있고(Klimesch et al., 1999), 창의적 사고와 밀접한 관련이 있으며 문제 해결 과정에서 과제 수준이 높아질 때 그 값이 증가하는 것으로 알려져 있다(Fairclough et al., 2005; Hutchison, 1996; Klimesch, 1995). 또한 과업

표 12. 지점 및 대역 별 사후분석 결과 요약(경향, 기점, 1주 -> 4주 비율, 증감 비율)

지점	θ파	Slow α파	Mid α파	Fast α파	High β파	Low γ파	High γ파
Fp1		감소, 3주					
		.0426 -> .0356					
		−16.43%					
T3	감소, 3주	감소, 3주	감소, 3주	감소, 3주	증가, 3주	증가, 3주	증가, 3주
	.2854 -> .2051	.0381 -> .0230	.0838 -> .0623	.0248 -> .0192	.1724 -> .2109	.1339 -> .1877	.0895 -> .1372
	−28.14%	−39.63%	−25.66%	−22.59%	22.31%	40.18%	53.30%
T4	감소, 3주		증가, 4주	증가, 4주			
	.3739 -> .3260		.0879 -> .1160	.0234 -> .0309			
	−12.81%		31.97%	32.05%			
O1		감소, 3주			증가, 3주	증가, 3주	증가, 3주
		.0522 -> .0410			.1355 -> .1636	.1027 -> .1392	.0691 -> .1029
		21.46%			20.74%	35.54%	48.91%
O2	증가 후 감소, 4주				감소 후 증가, 4주	증가, 3주	증가, 3주
	.3487 -> .2521				.1373 -> .1755	.0974 -> .1459	.0597 -> .0926
	−27.7%				27.82%	49.79%	55.11%

을 학습할 시에 급격히 증가하나 학습이 완료된 후에는 감소하는 것으로 알려져 있다(Knyazev, 2007). 선행 연구 결과에 미루어 실험 시작 후 3주 또는 4주를 기점으로 θ 파가 감소 추세를 보인 것은 해당 시점에서 학습이 완료되어 기억을 유지하는 등에 대한 부담이 줄고, 과업이 실험 초기에 비해 피험자들에게 상대적으로 쉬운 것으로 인지되어 수준이 낮아진 것으로 볼 수 있다.

α파의 결과를 종합해 보면 공통적으로 T3 지점에서 실험 3주차를 기점으로 상대 파워 스펙트럼 비율이 감소하는 경향을 보였다. α파 모든 대역을 분석한 경우에도 T3 지점에서 같은 결과를 얻을 수 있었으며, Slow α파 대역에서 공통적인 유의한 반응을 나타내지 않은 것으로 나타난 T4 지점에서 실험 3주 또는 4주째를 기점으로 증가하는 경향을 보였다. 또한 O1 지점도 공통적으로 유의한 결과를 가진 것으로 나타났는데, 상대 파워 스펙트럼 비율이 지속적으로 감소하거나 다소 증가 후 감소하는 경향을 보였다. 위와 같은 결과를 통해 α파 대역에서는 T3, T4 지점이 학습 또는 숙련과 상관관계가 높은 것으로 볼 수 있으며, O1 지점도 상관관계가 있을 가능성을 추정해 볼 수 있다.

α파는 기억의 출납 요구가 발생할 시 증가하며(Klimsech et al., 1999) 정신활동과 역관계에 있는 것으로 알려져 있다(Jacobs and Lubar, 1989; Larson et al., 1998). 또한 α파의 증대는 기억을 유지시키기 위해 뇌의 다른 활동을 억제시키기 위한 것으로 알려져 있다(Klimesch, 1999). 따라서 T3 지점에서 α파가 감소한 것은 기억의 출납 요구가 줄어들고 정신적으로 안정단계에 들어가는 등 과업에 익숙해지고, 학습도 및 숙련도가 향상되고 있음을 보여준다고 할 수 있다.

β파는 성인이 흥분하거나 과제에 주의 집중할 때 활성화되며(Andreassi, 2006), 각성 태에서 두뇌 외부의 정보를 활발히 받아들이는 활동을 할 때 활성화 된다(김용진과 장남기, 2000). 또한 주의력이 필요한 과제를 수행하는 동안 α파는 억제되고 β파는 증가하는 것으로도 알려져 있다(Fairclough et al., 2005). 실험 결과 Low β파는 공통적으로 유의한 반응을 보인 지점이 없었으나, High β파 대역은 3개 대역에서 실험 3주째 또는 4주째를 기점으로 하여 상대 파워 스펙트럼 비율이 증가하고, 같은 시점에서 α파 대역의 상대 파워 스펙트럼 비율이 감소하였다. 따라서 피험자들이 실험 3주 또는 4주를 기점으로 과업에 더욱 집중하는 것으로 해석할 수 있다. 단, 일반적으로 Low β파는 학습, 암기, 계산과 같은 정신활동 시 발생하는 것으로 알려져 있을 뿐만 아니라 잡념에 빠져있을 시에도 Low β파가 발생한다고 보고하였다(박병운, 2004). 본 연구 결과와 같이 유의미한 차이를 관찰할 수 없는 경우에는 위의 두 가지 활동이 동시에 일어난 것으로 추정해볼 수 있다.

γ파는 Low, High 대역 모두 같은 지점에서 상대 파워 스펙트럼 비율이 실험 시작 후 3주 또는 4주를 기점으로 증가하는 비율을 보여 대역을 나누어 볼 필요성이 낮은 것으로 보인다. 단, Low γ파의 비율이 인접 주파수 대역인 High β파나 High γ파보다 높다는 점은 추후 연구에서 참고할 만 하다. γ파에 대한 연구는 많지 않고 명확한 활동이나 단계를 규명한 연구는 거의 없다. γ파는 기억 프로세스와 연관이 있는 것은 분명하나 특정 과업, 단계와 연결하기 애매한 것으로 보고되었으며(Klimesch et al., 2008), τ파는 운동학습(Miltner et al., 1999), 기억 인출(Babiloni et al., 2006), 부호화(Fell et al., 2001; Fell et al., 2005) 등 다양한 활동과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 Rodriguez et al.(1999), Tallon-Baudry and Bertrand (1999), Howard et al.(2003), Fitzgibbon et al.(2004) 등은 높은 수준의 지각 반응을 요구할 경우 γ파가 증가하는 등 γ파가 지각과 관련된 것으로 보았다. 따라서 선행 연구들의 결과와 본 연구 결과를 연관지어 해석하기에는 한계가 있으나 γ파의 여러 활동 중에 숙련도와 관련한 요소도 연관이 있을 것으로 볼 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 뇌파의 상대 스펙트럼 값이 숙련도를 평가할 수 있는 정량적 척도로서 타당성이 있는지에 대하여 알아보았다. 연구 결과, 여러 주파수 대역 및 지점에서 과업의 종류에 구애 받지 않고 공통적으로 유의한 결과를 보였다. 본 연구는 기존에 유발전위를 이용하거나(Haufler et al., 2000; Kim et al., 2008; Luu et al., 2007), 과업수행의 특정 시점을 측정한(오현숙, 2007) 연구와 달리, 피험자가 과업을 진행하는 동안 발생하는 현실적인 상황 하에서 데이터를 수집한 점이 특징이다.

한편, 본 연구에는 몇 가지 한계점이 있다. 첫 번째는 숙련과정에 대한 해석의 한계성이다. 실험 결과에서 T3 지점이 숙련도와 상관관계가 높은 것으로 추정할 수 있지만, 해당 지점뿐만 아니라 다른 지점에서도 유의미한 차이를 냈다는 것은 숙련도와 관련한 특정 지점을 규정짓기에 한계가 있다는 것을 말한다. Klimesch et al.(2008)의 연구에서도 하나 이상의 주파수 대역이 특정 과업에서 유의한 것으로 나와 해석에 혼란을 빚을 수 있는 문제점이 있음을 보고하였다. 두 번째는 절차적 기억의 생성 지점이다. 숙련은 절차적 기억에 속하며 주로 이마겉질(frontal cortex)에서 관찰되기도 하지만 시상(thalamus)이나 바닥핵(basal ganglia)에서 관찰되는 것으로 알려져 있다(김종만, 2009). 이 부분

은 EEG 측정으로는 한계가 있으며 fMRI 등 다른 측정 방법을 도입해야 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 피험자의 숙련도가 높아질수록 뇌의 특정 지점의 주파수 대역에서 유의한 차이가 발생하는 것이 관측되었으며, 뇌파가 숙련도를 평가하는 지표로 이용될 가능성을 발견하였다. 본 결과는 매우 다양하게 응용될 것으로 예상된다. 즉, 과업에 적합한 작업자를 선발하는 데 사용되거나, 제품 사용자들이 숙련된 사용자로 되기까지의 시간을 예측하는 등 다양한 분야에 응용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

김명선, 장은주, 강연욱, 김현택 역, *인지신경과학과 신경심리학*, 시그마프레스, 2008.

김용진, 장남기, 정신활동의 수준에 따른 우세 뇌파의 분포, *한국행동생물학회지*, 9(1), 51-60, 2000.

김용진, 장남기, 시청각 학습의 반복 수행에 따른 전두부의 뇌파 활성도 변화, *한국과학교육학회지*, 21(3), 516-528, 2001.

김용진, 김재영, 권치순, 창의적 과학문제 해결에서 초등학교 과학 영재아와 보통아의 뇌파 활성 차이, *한국생물교육학회지*, 33, 23-32, 2005.

김종만 외 공역, *신경과학*(3rd ed.), 정담미디어, 2009.

류창수, 송윤선, 김민준, 신승철, 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 동향, *주간기술동향*, 1006, 1-11, 2001.

민윤기, 이강희, 이방형, 민병찬, "*EEG를 이용한 바이오 피드백 게임과 일반 컴퓨터 게임 수행에 따른 뇌파 비교*", 한국감성과학회 학술대회 논문집(pp.53-57), 2000.

박병운, "*뇌파 밴드별 상호 연관성에 따른 뇌 기능 최적화 연구*", 한국정신과학회 학술대회논문집(pp.103-108), 2004.

송길섭, 무선 소형 EEG 측정 장치 개발과 EEG 패턴 분류에 관한 연구, 전남대학교 학위논문, 2003.

오현숙, e-Sports 게임 수행 능력에 따른 뇌파 변화 비교, 한국교원대학교 학위 논문, 2007.

음태완, 움직임의 상상에 대한 뇌파 기반 뇌-컴퓨터 인터페이스, 대전대학교 학위논문, 2004.

전환성, 매체의 종류와 내용에 따른 인지적 특성 연구: 뇌파(Electroencephalogram: EEG) 분석을 중심으로, *한국사회과학연구*, 28(1), 45-75, 2006.

정재범, 게임의 숙련자와 비숙련자의 뇌활성화 차이: 기능적 자기공명영상 연구, 고려대학교 학위논문, 2008.

Andressi, J. L., *Psychophysiology: Human behavior and physiological response*, 5th ed., Hillsdale, NJ: Erlbaum, 2006.

Babiloni, C., Vecchio, F., Cappa, St., Pasqualetti, P., Rossi, S., Miniassi, C. and Rossigni, P., Functional frontoparietal connectivity during encoding and retrieval processes follows HERA model. A high-resolution study, *Brain Research Bulletin*, 68, 203-212, 2006.

Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M. and Gratton, G., The effects of video game playing on attention, memory, and executive control, *Acta Psychologica*, 129, 387-398, 2008.

Evreinova, T. V., Evreinov, G. and Raisamo, R., Non-visual game design and training in gameplay skill acquisition- A puzzle game case study, *Interacting with Computers*, 20, 386-405, 2008.

Fairclough, S. H., Venables, L. and Tattersall, A., The influence of task demand and learning on the psychophysiological response, *International Journal of Psychophysiology*, 56, 171-184, 2005.

Fell, J., Klaver, P., Lehnertz, K., Grunwald, T., Schaller, C., Elger, C. E. and Fernandez, G., Human memory formation is accompanied by rhinal-hippocampal coupling and decoupling, *Nature Neuroscience*, 4, 1259-1264, 2001.

Fell, J., Elger, C. E. and Fernandez, G., Mediotemporal gamma activity and declarative memory, *Clinical Neurophysiology*, 36, 49-59, 2005.

Fitzgibbon, S. P., Pope, K. J., Mackenzie, L., Clark, C. R. and Willoughby, J. O., Cognitive tasks argument gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology*, 115, 1802-1809, 2004.

Gevins, A. and Smith, M. E., Neurophysiological measures of cognitive workload during human-computer interaction, *Theoretical Issues in Ergonomic Science*, 4, 113-121, 2003.

Green, C. S. and Bavelier, D., Action video game modifies visual selective attention, *Nature*, 423, 534-537, 2003.

van Harreveld, F., Wagenmakers, E-J. and van der Maas, H. L. J., The effects of time pressure on chess skill: an investigation into fast and slow processes underlying expert performance, *Psychological Research*, 71, 591-597, 2007.

Haufler, A. J., Spalding, T. W., Santa Maria, D. L. and Hatfield, B. D., Neuro-Cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters, *Biological Psychology*, 53, 131-160, 2000.

Howard, M. W., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Madsen, J. R., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe, R., Schulze-Bonhage, A. and Kahana, M. J., Gamma oscillations correlate with working memory load in humans, *Cerebral Cortex*, 13, 1369-1374, 2003.

Hutchison, M., Megabrain: *New Tools and Techniques for Brain Growth and Mind Expansion*, 2nd ed., New York: Ballantine books, 1996.

Jacobs, G. D. and Lubar, J. F., Spectral analysis of the central nervous system effects of the relaxation response elicited by autogenic training, *Behavioral Medicine*, 15, 125-132, 1989.

Kim, J., Lee, H. M., Kim, W. J., Park, H. J., Kim S. W., Moon D. H., Woo, M. and Tennant, L. K., Neural correlates of pre-performance routines in expert and novice archers, *Neuroscience Letters*, 445, 236-241, 2008.

Klimesch, W., Memory processes described as brain oscillations in the EEG-alpha and theta bands, *Psychology*, 11(2), 134-143, 1995.

Klimesch, W., EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis, *Brain Research Reviews*, 29, 169-195, 1999.

Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schwaiger, J., Auinger, P. and Winkler, T., 'Paradoxical' alpha synchronization in a memory task, *Cognitive Brain Research*, 7, 493-501, 1999.

Klimesch, W., Freunberger, R., Sauseng, P. and Gruber, W., A short review of show phase synchronization and memory: Evidence for control

process in different memory systems?, *Brain Research*, 1235, 31-44, 2008.

Knyazev, G. G., Savostyanov, A. N. and Levin, E. A., Alpha oscillations as a correlate of trait anxiety, *International Journal of Psychophysiology*, 53, 147-160, 2004.

Knyazev, G. G., Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 31, 377-395, 2007.

Larson, C. L., Davidson, R. J., Abercrombie, H. C., Ward, R. T., Schaefer, S. M., Jackson D. C., Holden, J. E. and Perlman, S. B., Relations between PET-derived measures of thalamic glucose metabolism and EEG alpha power, *Psychophysiology*, 35(2), 162-169, 1998.

Luu, P., Tucker, D. M. and Stripling, R., Neural mechanisms for learning actions in context, *Brain Research*, 1179, 89-105, 2007.

Meltzer, J. A., Zaveri, H. P., Goncharova, I. I., Distasio, M. M., Papademetris, X., Spencer, S. S., Spencer, D. D and Constable T., Effects of Working Memory Load on Oscillatory Power in Human Intracrinial EEG, *Cerebral Cortex Advance Access*, 1-13, 2007.

Miltner, W. H., Braun, C., Arnold, M., Witte, H. and Taub, E., Coherence of gamma-band EEG activity as a basis for associative learning, *Nature*, 397, 434-436, 1999.

Navarro, K. F., "Wearable, Wireless Brain Computer Interfaces In Augmented Reality Environments", *Proceedings of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'04)*, 2(pp. 643-647), 2004.

Nakata, H., Yoshie, M., Miura, A. and Kudo, K., Characteristics of the athlete's brain: Evidence from neurophysiology and neuroimaging, *Brain Research Reviews*, 62, 197-211, 2010.

Patrcia, F. H. and Sannit, T., A review of the international ten twenty system of electrode placement, *Grass Instrument Company*, 1974.

Piccini, L., Parini, S., Maggi, L. and Andreoni, G., "A Wearable Home BCI system: preliminary results with SSVEP protocol", *Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 5(1) (pp.5384 -5387), 2005.

Regan, D., *Human Brain Electrophysiology*, Elsevier, New York, 1989.

Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B. and Varela F. J., Perception's shadow: long-distance synchronization of brain activity, *Nature*, 397(6718), 391-393, 1999.

Smith, M. E., McEvoy, L. K. and Gevins, A., Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition, *Cognitive Brain Research*, 7, 389-404, 1999.

Tallon-Baudry, C. and Bertrand, O., Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation, *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 151-162, 1999.

저자 소개

옥 동 민 jamiroquais@naver.com
홍익대학교 산업공학과 학사
현 재: 홍익대학교 대학원 산업공학과 석사과정
관심분야: 인간공학, HCI 등

박 희 석 hspark@hongik.ac.kr
미시간대학교 산업공학과 박사
현 재: 홍익대학교 산업공학과 교수
관심분야: 산업인간공학, HCI 등

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 02월 23일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 05월 20일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 05월 20일