감성과학, Vol. 13, No. 1, pp.121-128, March 2010

이완에 따른 EEG 코히런스 변화에 대한 연구*

A research on EEG coherence variation by relaxation

김종화**† · 황민철** · 우진철*** · 김치중*** · 김용우*** · 김지혜*** · 김동근****

Jong Hwa Kim**† · Min Cheol Whang** · Jin Cheol Woo*** · Chi Joong Kim***

Young Woo Kim*** · Ji Hye Kim*** · Dong Keun Kim****

상명대학교 일반대학원 감성공학과**

Department of Emotion Engineering, Sangmyung Graduate School**

상명대학교 일반대학원 컴퓨터과학과***

Department of Computer Science, Sangmyung Graduate School***

상명대학교 소프트웨어대학 디지털미디어학부****

Division of Digital Media Technology, Sangmyung Univercity****

Abstract

This study is to analyze change of connectivity between brain positions caused by relaxation through EEG coherence. EEG spectrum analysis method has been used to analyze brain activity when relaxation was experienced. However, the spectrum analysis method has a limit that could not observe interactive reaction between brain-functional positions. Therefore, coherence between positions was analyzed to observe connectivity between the measurement positions in this study. Through the method, the reaction of the central nervous system caused by the emotion change was observed. Twenty-four undergraduates of both genders(12 males and 12 females) were asked to close their eyes and listen to the sound. During experiment, EEG was measured at eight positions. The eight positions were F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1, and O2 in accordance with International 10-20 system. The sounds with white noise and without were used for relaxation experience. Subjective emotion was measured to verify whether or not they felt relaxation. Subjective emotion of participants were analyzed by ANOVA method(Analysis of Variance). In the result, it was proved that relaxation was subjectively evoked when participants heard sound. Accordingly, it was proved that relaxation could be enhanced by the mixed white noise. EEG coherence between the measurement positions was analyzed. T-test was performed to find its significant difference between relaxation and not-relaxation. In the results of EEG coherence, connectivity with occipital lobes has been increased with relaxation, and connectivity with parietal lobes has been increased with non-relaxed state. Therefore, brain connectivity has shown different pattern between relaxed emotion and non-relaxed emotion.

Keywords : EEG Coherence, Relaxation, emotion measurement, Brain connectivity, White noise sound

* 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2009년도 문화콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수행되었음.

† 교신저자 : 김종화 (상명대학교 감성공학과 박사과정)

E-mail : rmx2003@naver.com

TEL : 02-2287-5473

요 약

본 연구는 이완에 따른 뇌 영역간의 연결성을 코히런스 분석방법으로 확인하고자 한다. 기존의 이완유발에 따른 뇌 활동 변화는 EEG 스펙트럼 분석방법을 사용하여왔다. 하지만 스펙트럼 분석방법으로는 측정영역에서의 반응만을 관찰할 수 있고, 뇌 영역간의 연결성을 분석하기는 힘들다. 따라서 측정점 사이의 연결성을 관찰할 수 있는 코히런스 분석방법으로 이완에 따른 뇌 영역 간의 연결성을 확인하였다. 이를 통해 감성 변화에 따른 중추신경계의 변화를 관찰할 수 있었다. 실험은 24명의 대학생을 대상으로 눈을 감고 이완음향을 듣도록 지시하고 8개의 위치에서 EEG를 측정하였다. EEG측정위치는 국제적인 10-20법에 의거한 F3, F4, T3, T4, P3, P4, O1, 그리고 O2지점을 사용하였다. 실험에 사용된 음향은 White noise를 혼합한 음향과 혼합하지 않은 음향을 사용하였다. 그리고 실제로 이완이 되었는지 확인하기 위해 주관적 감성을 함께 측정하였다. 주관적 감성 응답은 ANOVA(Analysis of Variance)하였다. 음향을 들었을 때 실제로 이완효과가 발생하며, White noise가 이완을 증가시키는 것을 확인하였다. EEG는 측정영역 사이의 코히런스를 측정하였다. 그리고 White noise를 혼합한 음향과 혼합하지 않은 음향을 들었을 때의 코히런스 결과를 t-test하여 유의성을 확인하였다. 분석결과 White noise를 혼합한 음향에서 후두엽과의 연결성이 증가하였고, White noise를 혼합하지 않은 음향에서는 두정엽과의 연결성이 증가하는 결과를 확인하였다. 이를 통해 이완일 때의 뇌 기능 연결성의 변화를 관찰할 수 있는 중요한 결과를 도출하였다.

주제어 : EEG 코히런스, 이완, 감성평가, 뇌 연결성, White noise 음향

1. 서론

본 연구는 이완에 따른 뇌 영역간의 연결성을 코히런스 분석방법으로 확인하고자 한다. 기존의 이완에 따른 뇌 활동 변화는 EEG 스펙트럼 분석방법을 사용하여왔다(Jausovec, 1996; Takahashi 외, 2005; Knott 외, 1997; Isotani 외, 2001). 뇌파(EEG)를 분석하는 방법은 Linear spectral measure, Nonlinear measures of complexity 그리고 Interdependency measures로 나눌 수 있다(Teplan 외, 2006a; Teplan 외, 2006b). Liner spectral measure가 많이 사용되는 이유는 일반적이며, 분석이 간단하여 빠르게 결과를 확인할 수 있기 때문이다. 특히 이완유발에 따른 뇌파변화를 분석하는 방법에서는 알파(8-13 Hz), 베타(13-20 Hz), 델타(l-4 Hz) 그리고 세타(4-8 Hz)등의 주파수 대역으로 나누어 분석하는 방식이 주로 사용되었다(Knott 외, 1997; Isotani 외, 2001). 그 예로 이완과 각성일 때 EEG의 alpha-2(10.5~13Hz)를 비교한 결과 각성일 때 우측 전두엽에서 활발한 것을 확인하였다(Isotani 외, 2001). 또한 클래식 음향 4종류를 들려주고 좌/우 전두부(F3,F4)와 좌/우 두정부(P3,P4)에서 EEG를 측정한 연구결과 이완의 경우 좌반구 보다 우반구에서 EEG 알파파가 높은 결과를 보였다(Schmidt 외, 2001). EEG의 Liner spectral measure로 변화를 관찰할 수 있으며, 이완 시에 특정영역에서 알파파가 증가하는 결과를 보였다.

EEG 스펙트럼 분석으로는 측정점에서의 반응만을 관찰할 수 있고, 이완으로 인한 뇌 기능의 통합적인 활동을 확인하기에는 얻을 수 있는 정보가 부족하다. 영역 간 연결성을 관찰하기 위해서 코히런스 분석방법으로 이완이 되었을 때의 뇌 기능의 통합적인 활동 관찰 및 확인이 필요하다(Ruchkin, 2005). 코히런스란 Interdependency measurement방법의 하나로 생리학적 발생(event)시 측정한 두 신호간에 동기화된 정도를 분석할 때 사용되는 방법으로, 신경시스템의 동작 매커니즘에 관한 연구에 사용되었다(Baker 외, 1997; Grosse 외, 2002; Rosenberg 외, 1989; Salenius 외, 1996). 이러한 연구동향으로 볼 때 코히런스 분석을 통해 본 연구에서 관찰하고자 하는 이완에 따른 뇌의 영역간 활동변화를 확인할 수 있을 것이다. 코히런스 분석을 사용한 영역간 활동을 관찰한 예로 손동작 의도의 발생 및 뇌의 영역 간 전이에 대한 연구 결과 EEG 코히런스의 증가를 관찰할 수 있었다(김영주 외, 2008; 김영주 외, 2007; 우진철 외, 2008).

감성 반응시의 EEG 코히런스의 변화를 관찰하여 영역간 활동을 관찰한 연구도 진행된 바 있다. 그 예로 이완의 일종인 Audio-visual stimulation(AVS)의 Long-term effect로 인한 효과로 frontal parts의 Alpha-1

band에서 코히런스의 증가를 확인한 연구결과가 보고되었다(Teplan 외, 2006). 본 연구에서는 코히런스 분석방법을 사용하여 이완에 따른 뇌 영역간의 연결성을 확인하고자 하였다. 이를 통해 이완일 때의 뇌 기능 연결성의 변화를 관찰할 수 있는 중요한 결과가 될 것으로 예상된다.

2. 방법

본 연구에서는 이완에 따른 뇌 영역간의 연결성 변화를 코히런스분석으로 확인할 수 있을 것으로 예상하였다. 그리고 이완 정도를 다르게 하여 EEG를 측정하고, 코히런스 분석으로 변화를 관찰하여 결과를 검증하였다.

2.1. 독립변수와 종속변수

이완유발을 위해 음향을 피실험자에게 들려주었다. 음향은 다른 종류의 음향 2곡을 사용하여 특정 음향에서 발생할 수 있는 이완 이외의 감성반응 효과를 배제하였다. 그리고 이완 정도를 다르게 하기 위해 기존연구에서 이완증가가 검증된 White noise음향을 혼합하여 사용하였다(김종화 외, 2008; 김종화 외, 2009; Combs & Polich, 2006). 따라서 독립변수는 '청각 무자극', 'White noise를 혼합 안한 음향', 'White noise를 혼합한 음향'으로 하였다.

종속변수로는 이완에 따른 주관적 이완정도를 측정하기 위해 음향을 듣기 전후의 이완 정도를 7점 척도로 응답하게 하였다. 그리고 중추신경계의 반응을 측정하기 위해 그림 1과 같이 8 개의 지점에 전극을 부착하여 EEG를 측정하였다(10-20법, F3,F4, T3,T4, P3,P4, O1,O2). 선택한 측정위치는 전두엽(Frontal Lobes), 두정엽(Parietal Lobes), 측두엽(Temporal Lobes), 후두엽(Occipital Lobes) 영역에 있는 대표적인 측정점으로 감성측정을 비롯한 다양한 뇌 활동에 관한 연구에서 사용되어진다.

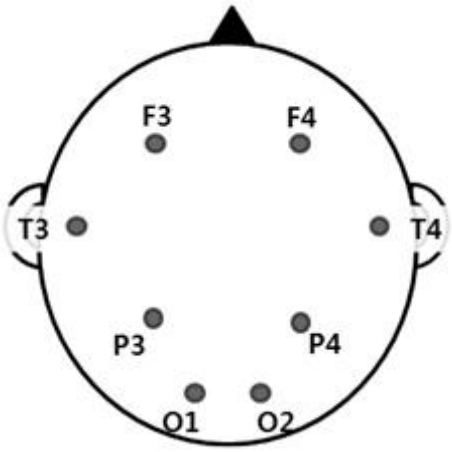

그림 1. 8 Channel EEG 측정지점

2.2. 피실험자와 실험방법

본 연구에는 평균연령 23.7세의 대학생 24명이 참여하였다. 피실험자들에게는 실험전일 숙면을 지시하였으며, 카페인으로 인한 각성효과를 방지하기 위해 음료 섭취를 제한하였다. 그리고 사전에 이완정도에 대한 주관적 응답훈련을 실시하고, 보상을 통해 실험 참여도를 높였다.

실험은 피실험자가 실험장에 도착을 하면 주변 환경에 적응하도록 10분간 휴식을 취하게 하고, 실험순서에 대한 교육을 실시하는 것으로 시작하였다. 휴식 후에는 EEG 측정센서를 그림 1의 위치에 부착한 뒤 측정 테스트를 통해 제대로 데이터가 측정되는지 확인하였다.

실험 데이터의 측정은 그림 2와 같은 순서로 하였다. 첫 번째로 시각 자극만을 1분간 제시하여 청각 자극으로 인한 영향을 최소화 하였다. 두 번째로 현재의 '각성-이완'상태에 대해 주관적 설문 응답을 20초 동안 측정하였다. 세 번째로 2분 30초간 눈을 감고 White noise 혼합 안한 음향을 청취하게 한 뒤 다시 20초간 '각성-이완' 상태에 대해 주관적 설문 응답을 측정하였다. 네 번째로 눈을 감고 White noise 혼합한 음향을 2분 30초간 음향 청취하게 하였다. 마지막으로 '각성-이완'에 대한 주관적 설문 응답을 다시 한 번 20초간 측정하였다. 그리고 5분의 휴식 후에 다른 음향을 사용하여 그림 2의 과정을 다시 한 번 수행하였다. 이때 사용되는 음향의 순서는 피실험자마다 다르게 하여 음향 청취 순서에 따른 EEG 변화를 제거하였다. 실험결과 48쌍의 데이터가 측정되었다(24명의 피실험자 * 두 종류의 음향).

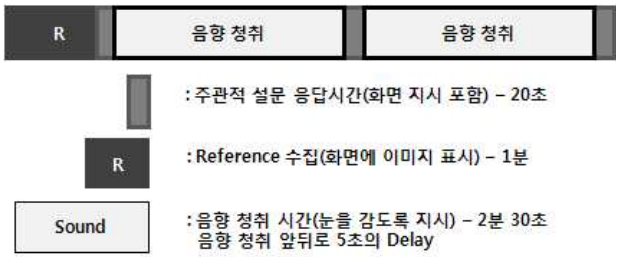

그림 2. 실험진행순서

3. 분석

데이터의 분석은 주관적 응답결과를 분석하여 실제로 이완이 되었는지를 확인하였다. 그리고 이완정도에 따른 EEG 코히런스 변화를 확인하기 위해 음향효과에 따른 t-test를 실시하였다.

주관적 설문 응답은 청각 무자극 상태(시각자극 제시)와 White noise 혼합 안한 음향과 White noise 혼합한 음향을 청취한 후로 분류하여 ANOVA(Analysis of Variance)하였다. 그리고 유의한 결과들을 post-hoc test하여 이완유발의 증가를 확인하였다.

EEG 측정결과의 분석은 세 단계로 하였다 먼저 0.5초 단위로 채널별 코히런스를 측정하여 피실험자 1명당 1,440개의 데이터(무자극 1분: 120개, White noise 혼합 안한 음향 2분30초: 300개, White noise 혼합한 음향 2분30초: 300개, 음원 2곡), 총 34,560개(피실험자 24명)의 데이터로 변환하였다. 두 번째로 코히런스의 측정값이 1이 넘은 결측값은 노이즈로 판단하여 삭제하였다. 그리고 데이터의 결측률을 (식 1)로 계산하여 10%이상의 값은 분석에서 배제하였다. 세 번째로 White noise 혼합 안한 음향과 White noise 혼합한 음향의 코히런스 값을 t-test 하였다. 주관적 설문의 ANOVA와 코히런스의 t-test는 SPSS 17을 사용하여 유의성을 확인하였다.

$$\text{결측률} = \frac{\text{삭제된 데이터의 개수}}{\text{총 데이터의 개수}} \times 100 \qquad \text{(식 1)}$$

코히런스 분석은 두 개의 시 계열 주파수인 x, y간의 상관관계를 측정한다. 코히런스 분석은 (식 2)로 분석된다. 크로스 스펙트럼(Γ_{xy})은 공분산 함수 C_{xy}로부터 정의되다. 크로스 파워(Pxy)는 x, y의 공분산의 실수와 허수를 더하여 구한다. 공식에서 Re 는 실수, Im 은 허수이다. 마지막으로 크로스 파워의 제곱에서 x의 공분산과 y의 공분산을 곱하여 나누면 코히런스 Coherence xy를 구할 수 있다(Ruchkin 외, 2005).

$$\Gamma_{xy}(w) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} C_{xy} \exp -2\pi i r w,\ w \in [-1/2, ..., 1/2]$$

$$P_{xy}(w)^2 = Re(\Gamma_{xy}(w))^2 + Im(\Gamma_{xy}(w))^2$$

$$Coherence_{xy}(w) = \frac{P_{xy}(w)^2}{\Gamma_{xx}(w)\Gamma_{yy}(w)}$$

(식 2)

4. 결과

주관적 응답은 ANOVA분석 후 post-hoc test하였다. 분석결과 두 음향 모두 '청각 무자극−White noise 혼합 안한 음향'과 '청각 무자극−White noise 혼합한 음향'에서 유의한 차이를 나타냈다. 그리고 White noise 혼합한 음향과 White noise 혼합 안한 음향 사이에서는 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았다. 결과는 그림 3과 같다. 그림 3에서 두 음향 모두 '청각 무자극−White noise 혼합한 음향' 조건이 '청각 무자극−White noise를 혼합 안한 음향' 조건보다 이완유발 정도가 더 큰 것을 확인할 수 있다(음향 1: $p<0.01$, 음향 2: $p<0.01$).

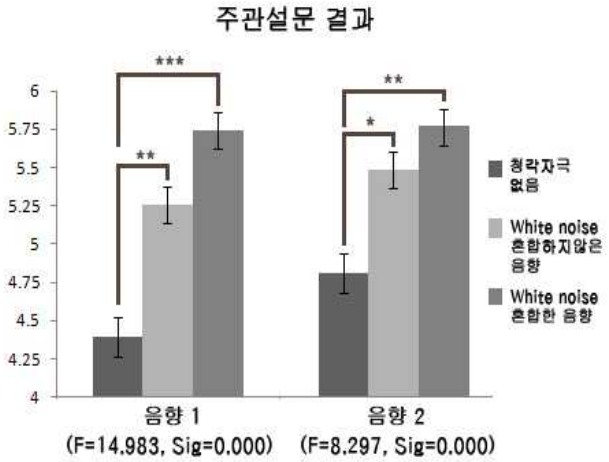

그림 3. 주관적 응답 분석 결과

코히런스는 White noise 혼합 안한 음향과 White noise 혼합한 음향 조건으로 t-test하여 이완에 따른 뇌영역간의 연결성 변화를 확인하였다. 표 1은 알파대역의 코히런스 값을 t-test하여 유의한 결과만을 표시한

것이고, 표 2는 베타대역의 유의한 결과를 표시한 것이다. 표 1과 2에서 볼 수 있듯이 알파대역과 베타대역에서 모두 9개의 연결성을 확인 할 수 있었다. 그림 4는 알파대역의 연결성을 측정위치별로 표시한 것이다. 그림 4에서 위는 White noise 혼합 안한 음향에서 연결성이 강해지는 경우이며, 아래는 White noise 혼합한 음향을 들었을 때 강해지는 경우를 표시하였다. 알파대역의 경우 이완정도가 낮은 경우에는 우측 두정엽과 좌우전두엽, 우측 후두엽의 연결성이 강해지는 것을 확인하였다. 그리고 이완정도가 높은 경우에는 우측 후두엽과 우측 전두엽, 좌우 측두엽, 좌측 두정엽, 좌측 후두엽의 연결성이 강해지는 것을 확인하였다.

표 1. 알파대역의 코히런스 t-test 결과

코히런스 영역 (t-test 결과)	White noise 혼합안한 음향	White noise 혼합한 음향
F3-P4 alpha*** (df=28797, T=2.716, p=.006)	.000032	.000008
F4-P4 alpha** (df=28681, T=2.497, p=.012)	.001795	.001022
F4-O2 alpha*** (df=27037, T=-4.12, p=.000)	.073027	.081100
O1-O2 alpha*** (df=2702, T=-6.96, p=.000)	.229224	.301890
P3-O2 alpha*** (df=16105, T=-4.43, p=.000)	.155186	.172054
P3-P4 alpha*** (df=28724, T=4.823, p=.000)	.001477	.000425
P4-O2 alpha** (df=28491, T=2.563, p=.010)	.013692	.011847
T3-O2 alpha*** (df=27822, T=-3.36, p=.000)	.036047	.040515
T4-O2 alpha*** (df=27114, T=-4.47, p=.000)	.066075	.074760

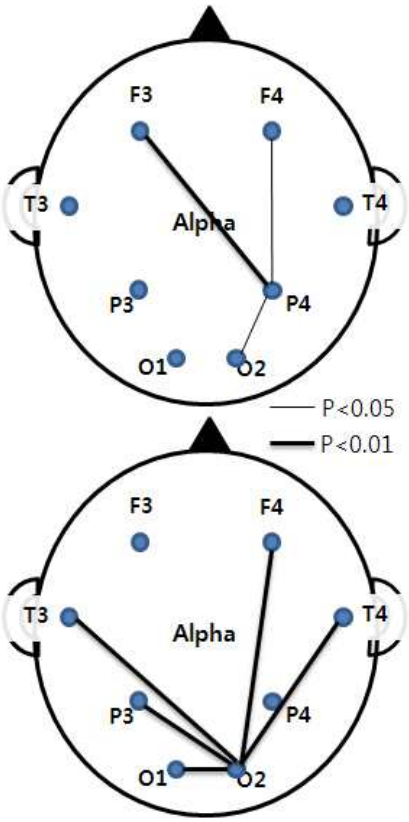

그림 4. 알파대역의 영역 간 연결성
(위: White noise 혼합 안한 음향의 Coherence가 큼,
아래:White noise 혼합한 음향의 Coherence가 큼)

그림 5는 베타대역의 연결성을 측정위치별로 표시한 것이다. 그림 5에서 위와 아래의 배치는 그림 1과 같다. 베타대역에서는 이완정도가 낮은 경우에는 알파대역과 동일하게 두정엽과의 연결성이 강해지는 경향을 보였다. 하지만 연결위치는 좌측 전두엽을 제외하고는 다른 경향을 보였다. 다른 경향을 보인 위치는 좌우 측두엽이었다. 또한 좌측 두정엽과 후두엽의 연결성이 강해진것도 확인할 수 있었다. 이완정도가 높은 경우에는 우측 후두엽에서 알파대역과 동일하게 우측 측두엽, 좌측 두정엽, 우측 후두엽의 연결성이 강해지는 것을 확인하였다. 하지만 알파대역에서 확인된 좌측 측두엽, 우측 전두엽과의 연결성은 발생하지 않았다. 그리고 우측 전두엽의 경우 좌측 후두엽과 연결성이 강해지는 경향을 보였다.

표 2. 베타대역의 코히런스 t-test 결과

코히런스 영역 (t-test 결과)	White noise 혼합안한 음향	White noise 혼합한 음향
F4-O1 beta*** (df=14761, T=-3.90, p=.000)	.262077	.280637
F4-P4 beta*** (df=28639, T=3.483, p=.000)	.002350	.001167
O1-O2 beta*** (df=1746, T=-4.11, p=.000)	.290342	.345693
P3-O1 beta*** (df=4950, T=-9.59, p=.000)	.005262	.005113
P3-O2 beta*** (df=12496, T=-3.70, p=.000)	.007441	.007692
P3-P4 beta*** (df=28688, T=3.592, p=.000)	.002145	.001104
P4-T3 beta*** (df=28644, T=2.599, p=.009)	.001736	.000989
P4-T4 beta*** (df=28644, T=3.134, p=.001)	.002015	.001029
T4-O2 beta*** (df=24779, T=-3.42, p=.000)	.095835	.104088

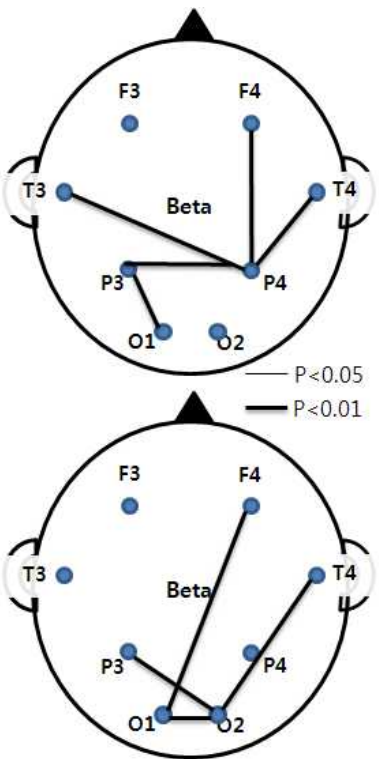

그림 5. 베타대역의 영역간 연결성
(위: White noise 혼합 안한 음향의 Coherence가 큼,
아래:White noise 혼합한 음향의 Coherence가 큼)

5. 결론

기존의 이완분석은 EEG 스펙트럼 분석으로 알파파와 베타파를 측정하여 알파파가 증가하고 베타파가 감소하는 것을 확인하였다(Jausovec, 1996; Takahashi 외, 2005). 하지만 스펙트럼 분석으로는 이완으로 인한 뇌영역의 연결성을 확인하기 위한 정보가 부족하다. 본 연구에서는 연결성을 확인하기 위해 이완일 때의 EEG 코히런스를 분석하였다.

이완일때의 EEG 코히런스 측정을 위해 24명의 피실험자를 대상으로 실험을 실시하였다. 실험은 2종류의 음향과 이완효과를 크게 하기 위해 제작한 White noise 혼합 음향을 눈을 감고 듣도록 한 뒤 8개의 위치에서 EEG를 측정하였다. 주관적 이완 응답은 ANOVA하여 실제로 음향으로 인한 이완을 확인하였으며, White noise 혼합 음향의 경우 White noise 혼합 안한 음향보다 이완이 더 큰 것을 확인하였다.

White noise 혼합 음향과 White noise 혼합 안한 음향의 코히런스는 t-test하여 연결성의 차이를 확인하였다. t-test 결과 알파대역은 White noise 혼합안한 음향을 들을 때 두정엽과 전두엽, 후두엽의 연결성이 강해졌다. 그리고 White noise 혼합한 음향을 들을 때 후두엽과 뇌의 전반적인 영역에서 연결성이 강해지는 것을 확인하였다. 베타대역은 전반적으로 알파대역의 결과와 유사하게 나타났지만 White noise 혼합안한 음향을 들을 때 알파대역과는 다르게 측두엽과의 연결성도 강해지는 것을 확인하였다.

전반적인 연결성의 패턴은 눈을 감았을 때 발생하는 뇌파의 패턴에 관한 연구결과와 유사하게 나타났다. 눈을 감았을 때 뇌파는 전반적으로 측두엽과 후두엽에서 강해지며, 베타대역의 경우 눈을 떴을 때와 비교해서 후두엽에서 전두엽에까지 강한 패턴을 보였다(Barry 외, 2007). 본 연구의 결과도 이와 유사하게 두정엽, 후두엽과 다른 영역의 연결성이 강해지는 결과를 볼 수 있었다. 특히, 베타영역의 경우 후두엽과 뇌영역 전반적으로 연결성이 강해지는 결과를 보였다. 이는 이완이 증가할 경우 두정엽과의 연결성이 후두엽과의 연결성으로 변화되는 것으로 보여진다.

본 연구 결과를 바탕으로 이완이 증가하게 되면 뇌영역 간 연결성이 어떠한 형태로 변화하는지 알 수 있었다. 결국 이러한 이완의 증가는 시간이 흐름에 따라 점차적으로 발생하는 형태로 볼 수 있다. 따라서 추가적으로 연결성의 변화를 시간에 따른 차이로 확

인하면 이완으로 인한 전반적인 뇌 영역 간 연결성이 어떠한 형태로 이루어지는지 알아 낼 수 있을 것으로 기대한다. 또한 중추신경계 반응 뿐만 아니라 자율신경계의 반응을 함께 고려한다면 이완으로 인한 신체의 전반적인 반응을 관찰할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

김영주, 황민철, 강희 (2008). EEG와 EMG의 coherence을 이용한 BCI 연구. *대한인간공학회지 27(2),* 9-14.

김영주, 황민철, 강희, 김종화 (2007). 동작에 의한 EMG와 EEG의 coherence 연구. *대한인간공학회 추계 학술대회,* 55-59.

김종화, 황민철, 우진철, 김종서, 최원민, 윤중삼, 황병철 (2009). 음향효과를 위한 White noise의 마스킹(Masking)이 이완에 미치는 영향 관한 연구. *HCI 학회 학술대회.*

김종화, 황민철, 우진철, 김종서, 최원민, 윤중삼, 황병철 (2008). White noise를 혼합한 음향의 이완효과에 관한 연구. *2008 추계 통합 감성 국제학술대회.*

우진철, 황민철, 김영주, 김종화 (2008). EEG의 편측성 coherence를 이용한 손동작 예측 기술. *대한인간공학회 춘계 학술대회,* 202-205.

Baker, S.N., Olivier, E. & Lemon, R.N. (1997). Coherent oscillations in monkey motor cortex and hand muscle EMG show task-dependent modulation. *The Journal of Physiology 501,* 225-241.

Barry, R., Clarke, A., Johnstone, S., Magee, C., & Rushby, J. (2007). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions, *Clinical Neuro- physiology, Volume 118, Issue 12,* 2765-2773.

Combs, L.A. & Polich, J. (2006). P3a from auditory white noise stimuli. *Clinical Neurophysiology 117(5),* 1106-1112.

Grosse, P., Cassidy, M.J., & Brown, P. (2002). EEG-EMG, MEG-EMG and EMG-EMG frequency analysis: physiological principles and clinical applications. *Clinical Neurophysiology 113,* 1523-1531.

Hall, E.E., Ekkekakis, P., & Petruzzello, S.J. (2007). Regional brain activity and strenuous exercise: Predicting affective responses using EEG asymmetry. *Biological Psychology 75(2),* 194-200.

Isotani, T., Tanaka, H., Lehmann, D., Pascual-Marqui, R.D., Kochi, K., Saito, N., Yagyu, T., Kinoshita, T. & Sasada, K. (2001). Source localization of EEG activity during hypnotically induced anxiety and relaxation. *International Journal of Psychophysiology 41,* 143-153.

Jausovec, N. (1996). Differences in EEG alpha activity related to giftedness. *Intelligence 23,* 159-173.

Knott, V., Bakish, D., Lusk, S., & Barkely, J. (1997). Relaxation-induced EEG alterations in panic disorder patients. *Journal of Anxiety Disorders 11,* 365-376.

Moore, R. A., Gale, A., Morris, P.H., & Forrester, D. (2008). Alpha power and coherence primarily reflect neural activity related to stages of motor response during a continuous monitoring task, *International Journal of Psychophysiology, 69,* 79-89.

Passynkova, N.R. & Volf, N.V. (2001). Seasonal affective disorder: spatial organization of EEG power and coherence in the depressive state and in light-induced and summer remission. *Psychiatry Research: Neuroimaging 108(3),* 169-185.

Rosenberg, J.R., Amjad, A.M., Breeze, P., Brillinger, D.R., & Halliday, D.M. (1989). The Fourier approach to the identification of functional coupling between neuronal spike trains. *Progress in Biophysics and Molecular Biology 53,* 1-31.

Ruchkin, D. (2005). EEG coherence, *International Journal of Psychophysiology, 57,* 83-85.

Salenius, S., Salmelin, R., Neuper, C., Pfurtscheller, G. & Hari, R. (1996). Human cortical 40 Hz rhythm is closely related to EMG rhythmicity. *Neuroscience Letters 213,* 75-78.

Schmidt, L.A. & Trainor, L.J. (2001). Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions. Cognition & Emotion 15(4), 487-500.

Takahashi, T., Murata, T., Hamada, T., Omori, M., Kosaka, H., Kikuchi, M., Yoshida, H., & Wada, Y. (2005). Changes in EEG and autonomic nervous activity during meditation and their association with personality traits. *International Journal of Psychophysiology 55,* 199-207.

Teplan, M., Krakovska, A., & Štolc, S. (2006a). EEG responses to long-term audio-visual stimulation.

International Journal of Psychophysiology 59, 81-90.

Teplan, M., A. Krakovská, & S. Štolc(2006b). Short-term effects of audio-visual stimulation on EEG. *Measurement science review 6(2),* 67-70.

Travis, F., Tecce, Joe, Arenander, Alarik & Wallace, R. Keith(2002). Patterns of EEG coherence, power, and contingent negative variation characterize the integration of transcendental and waking states. *Biological Psychology 61(3),* 293-319.

원고접수 : 10.01.11
수정접수 : 10.03.09
게재확정 : 10.03.16