

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.3.83>
JIIBC 2019-3-11

주의력 훈련 게임 콘텐츠에 대한 EEG 신호 분석

Analysis of EEG Signals for Attention Training Game Contents

강성호*, 박정현**, 신성욱***, 정성택****

Sung-Ho Kang*, Jung-Hyun Park**, Sung-Wook Shin***, Sung-Taek Chung****

요 약 최근 들어 노년기의 인지기능장애에 대한 예방 또는 치료의 필요성이 대두되고 있다. 특히 알츠하이머 치매의 진단단계로서 경도인지장애(Mild Cognitive Impairment) 여부를 조기에 진단하고, 인지기능 훈련을 통하여 치매로의 진행을 지연시키고자 노력하고 있다. 대부분의 인지기능 훈련은 여러 가지 인지능력과 관련한 게임 콘텐츠로 제작되지만, 피험자들이 인지기능 훈련에 집중하고 있는 지에 대한 정량적 검증이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 제작된 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행하는 동안 뇌 활성화에 대한 EEG 신호를 측정하여 분석하였다. 분석 방법으로는 게임 콘텐츠에 얼마나 집중하고 있는 지를 나타내는 주의집중 지표(Concentration Index)와 휴식 상태에서의 안정을 나타내는 이완 지표(Relaxation Index)를 사용하였다. 이에 대한 본 연구에서의 결과는 피험자들의 CI는 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 피험자들이 집중하여 게임 콘텐츠를 수행하였다고 볼 수 있는 것이다.

Abstract Recently, the need to prevent or treat cognitive impairment in older adults has been arising. In particular, they tried to diagnose MCI as an early stage of Alzheimer's disease and to delay the progression to dementia through training cognitive function. Most of cognitive function training have been manufactured to game contents which related to several cognitive function, and it needs to be verified quantitatively whether subjects are paying attention to cognitive function training. Thus in this study, we measured and analyzed EEG signals while performing attention training game contents. As an analysis method, we utilized CI, which shows how much they are focusing on, and RI, which shows how stable they are. The result of this study can be seen that all the subjects' CI were increased, which means that the subjects performed game contents with concentration.

Key Words : Concentration Index, Cognitive Function, EEG, MCI, Relaxation Index, Serious Game

I. 서 론

현대 사회에서 인구 구조의 고령화는 다른 선진국들도 이미 경험한 현상이지만, 우리나라에서도 심각한 저출산과 함께 급격한 고령화의 진행은 사회·경제적으로 큰 과

급효과를 미칠 것으로 예상된다. 생산가능인구의 감소는 국가경쟁력 약화를 초래하며, 경제성장 둔화에 따른 세입 감소와 복지지출 확대에 따른 재정부담 증가 등에도 부정적인 영향을 미치기 때문이다. 특히, 인구의 빠른 고령화로 인한 노년기의 인지저하 문제는 매우 큰 사회적 비

*준회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 박사과정

**준회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 석사과정

***정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 조교수

****정회원, 한국산업기술대학교 컴퓨터공학과 교수
접수일자 2019년 5월 20일, 수정완료 2019년 6월 3일
게재확정일자 2019년 6월 7일

Received: 20 May, 2019 / Revised: 3 June, 2019 /

Accepted: 7 June, 2019

****Corresponding Author: unitaek@kpu.ac.kr

Professor, Dept. of Computer Engineering, Korea Polytechnic University, Korea

용이 발생한다는 측면에서 국가적 문제로 대두되고 있다. 그 중 대표적인 인지기능 장애로는 단순한 인지저하와 구분하기 어렵고, 신경정신학적 증상과 병리학적 변화를 동반하는 치매가 있다. 치매 환자의 대부분을 차지하는 알츠하이머 치매의 증상은 단기 기억 상실, 단어를 선택하는 것과 길 찾기와 같은 시공간 인식이 어려움을 겪으며, 추론과 판단, 통찰력 등에서 기능저하가 발생하는 것이다^[1]. 이에 대한 치료는 죽은 뇌세포를 되살려야 하기 때문에 현대 의학으로는 불가능하다고 알려져 있다^[2]. 그래서 치매로 발전하는 것을 예방하기 위한 여러 가지 연구가 진행되고 있으며, 이러한 연구 결과들 중에는 치매의 전 단계인 경도인지장애(MCI: Mild Cognition Impairment) 단계에서 치매 단계로 진행되는 과정을 지연시키려는 연구가 이루어지고 있다^[3].

일반적으로 뇌 기능의 활성화가 치매 예방에 도움이 된다고 알려져 있으며, 이에 대한 방법으로 인지기능 활성화를 위한 게임 콘텐츠를 활용하는 방법이 있다. 인지 기능 훈련은 노인들이 흥미와 몰입을 극대화하여 집중할 수 있는 게임 콘텐츠로 구성되어 있다. 대부분의 기능성 게임 콘텐츠의 영역으로는 주의력(attention), 실행기능(executive function), 기억력(memory), 지남력(orientation), 일상생활 수행능력(activities of daily life) 등과 같다^[4]. 이와 같은 기능성 게임 콘텐츠를 사용한 인지기능 훈련이 치매 예방에 많은 도움이 된다는 연구 결과를 바탕으로 노년기의 경도인지장애를 조기 발견하고, 예방하기 위한 인지기능훈련 게임 콘텐츠 개발이 많이 연구되고 있다^[5]. 하지만 기능성 게임 콘텐츠들이 실제 환자들의 훈련에 대한 효과나 훈련과정 동안 뇌 기능 활성화가 이루어지는 지에 대한 검증과정 연구가 부족하다. 그러므로 본 논문에서는 위의 5가지 인지기능 영역들 중에서 기억이나 언어, 복합적인 인지기능에 필요한 주의력을 향상시키기 위한 기능성 게임 콘텐츠를 개발하고, 이것을 피험자가 게임 콘텐츠 수행 시 얼마나 집중하는 지에 대한 검증을 하였다.

주의력이란 뇌가 받아들이는 수많은 정보 중 특정 정보만을 의도적으로 선택하여 처리하는 능력이다. 주의력이 부족한 경우 뇌가 자극을 인지하거나 필요한 정보를 인출하지 못하여 기억이나 언어, 고위 인지기능이 제대로 기능하기 어렵고, 충동적인 행동이나 지나친 활동을 하는 등 일상생활에서 많은 문제점을 야기할 수 있다. 또한, 뇌의 전체적인 정보처리과정을 가능하게 하기 때문에 여러 가지 인지기능 중에서 매우 중요한 요소라고 할 수 있다^[6].

일반적으로 뇌 기능의 활성화 정도를 측정하는 방법으로는 뇌 기능 MRI(functional Magnetic Resonance Imaging), PET(Positron Emission Tomography), MEG(Magnetoencephalography), EEG(Electroencephalography) 등이 있다. 이들 중에서 EEG는 매우 간편하면서도 시시각각으로 변화하는 뇌 활동의 변동에 대한 시간적 분해능이 매우 높기 때문에 게임 콘텐츠를 수행하는 동안 실시간으로 뇌의 변화를 측정하여 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 측정된 EEG 신호는 FFT 처리한 후 얻어진 주파수 별 스펙트럼으로부터 집중의 수준과 관련 있는 세타파, 알파파, 베타파를 이용하여 정량적으로 뇌의 활동을 측정할 수 있는 주의집중 지표(CI: Concentration Index)와 이완 지표(RI: Relaxation Index)를 도출하였다. CI는 피험자가 한 가지 과제에 집중하는 정도를 나타내며, RI는 피험자가 과제 난이도로 인하여 스트레스를 받고 있는 정도를 나타낸다^[7-8]. 이 두 가지 지표를 사용하여 휴식을 취할 때와 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행할 때의 뇌 기능 변화를 비교할 수 있다. 또한 게임 콘텐츠의 인지기능 훈련 효과를 높이기 위하여 피험자의 참여도를 높이고, 보다 집중할 수 있게 몰입을 유도하고자 하였다. 그래서 앞선 실험과 같은 방식으로 게임 콘텐츠에서 기본적으로 구성된 순차적인 난이도 단계의 게임 콘텐츠를 수행했을 때와 몰입 이론(Flow Theory)을 적용하여 난이도를 조절한 단계의 CI와 RI의 변화를 비교분석하였다.

II. 본 론

1. 실험 대상

본 연구에서의 첫 번째 실험은 20대 성인 12명(남성 9명, 여성 3명)을 대상으로 휴식 상태와 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행 중인 상태에 대한 EEG 신호 변화를 측정하였다. 두 번째 실험은 20대 성인 6명(남성 6명)을 대상으로 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 순차적으로 난이도를 증가시킬 때와 개인의 인지능력 및 과제의 난이도가 적절한 균형을 이룰 때 몰입하기 쉽다는 몰입 이론을 적용하여 난이도를 조절하였을 때의 EEG 신호 변화를 비교하였다. 전체적으로 본 연구에 참여하는 20대 피험자들은 EEG 신호의 활성화도 및 전반적인 인지기능이 MCI 환자에 비하여 높은 수준이기 때문에 주의력 훈련 게임 콘텐츠의 난이도를 상향 조정하여 이루어졌다.

2. 실험 장비

EEG 신호 측정 장비로 OpenBCI사의 Cyton Board를 장착한 Ultracortex Mark IV를 사용하였다. 전극은 그림 1과 같이 국제 기준 10-20 전극법에 따라 좌우 후두부(Occipital, O1, O2), 좌우 전두극(Frontal-pole, Fp1, Fp2) 및 좌우 전두부(Frontal, F3, F4)에 부착하였고, 참조 전극은 좌우 귓볼(A1, A2)에 부착하였다^[9]. 또한 모든 전극은 습식 전극으로, 머리카락 접촉으로 인한 노이즈와 임피던스를 줄이기 위해 EEG용 젤을 사용하였다.



그림 1. (a) EEG 측정 모습 (b) 전극 부착 위치
 Fig. 1. (a) EEG measurement (b) Electrode attachment positions

3. 실험 방법

실험은 소음이나 간섭과 같은 외부 요인이 차단되는 공간에서 진행하였으며, 측정 중에는 피험자가 몸을 움직이는 것을 방지하기 위해 바른 자세로 측정하도록 하였다. 또한 눈을 깜빡이거나 조는 것은 신호에 있어서 많은 영향을 끼치므로 최대한 자제하도록 설명하였다.

가. 휴식 상태와 주의력 훈련 게임 콘텐츠 수행 중의 EEG 신호 비교

첫 번째 실험의 목적은 개발된 주의력 훈련 게임 콘텐츠의 인지기능훈련에 대한 실효성을 검증하기 위한 것이다. 그림 2와 같이 피험자가 눈을 뜨고 아무것도 하지 않는 상태에서 EEG 신호의 안정화를 위한 10초 동안 일정한 상태로 파형이 유지되면, 2분 동안 눈을 뜨고 진행한 휴식 상태와 2분 동안의 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행 중의 EEG 신호를 측정하였다.



그림 2. 실험 순서
 Fig. 2. Order of Experiment

실험에 사용된 게임 콘텐츠는 순서판단(order determination) 게임 콘텐츠로 지속적 주의력(sustained attention)을 요구한다. 순서판단 게임 콘텐츠는 그림 3 (a)에서 보여주듯이 4가지의 색상 중 임의로 하나의 색상이 순차적으로 나타나고, 이 순서를 암기하여 그림 3 (b)에서 보여주듯이 중앙의 하얀색 원이 밝아지면 암기해둔 색상의 순서대로 선택하여 수행한다. 색상 선택이 완료되면 난이도를 변경하여 반복 수행을 한다. 또한 각 난이도마다 3번의 기회가 제공되며 난이도가 높을수록 획득하는 점수가 더 높아진다.

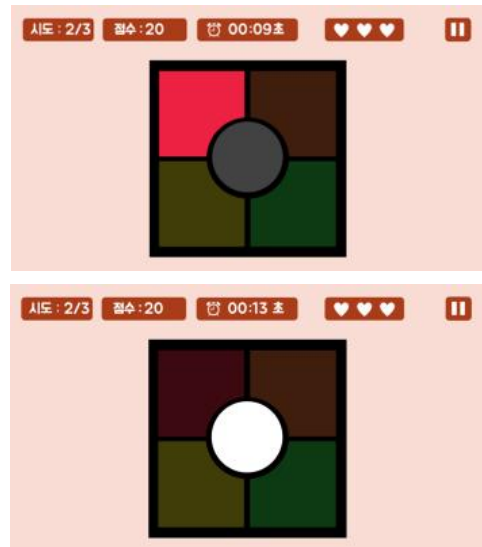


그림 3. 지속적 주의력 훈련 게임 콘텐츠(순서판단) 화면 (a) 임의의 색상이 나타나는 화면 (b) 색상 선택 가능한 화면
 Fig. 3. Display of sustained attention training game contents (order determination) (a) Page showing a random color (b) Page to select colors

실제 MCI 환자들을 대상으로 하는 게임 콘텐츠는 난이도가 1개의 색상순서를 암기하는 Level 1부터 6개의 색상순서를 외우는 Level 6까지 주어지지만, 20대의 피험자들에게는 해당 난이도가 쉽게 느껴지므로 Level 4에서 Level 9까지 난이도를 상향하여 진행하였다.

나. 순차적인 난이도 조절 시와 몰입 이론 적용 시에서의 EEG 신호 비교

두 번째 실험은 그림 4 (a)의 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 순차적으로 난이도를 증가시킬 때와 그림 4 (b)와 같이 난이도를 칙센트미하이(M. Csikszentmihalyi)의 몰입 이론을 적용하였을 때의 EEG 신호를 비교하는 것이다. 몰입이란 어떤 행위에 깊게 몰입하여 시간의 흐름이

나, 공간, 더 나아가서는 자신에 대한 생각까지도 잊어버리게 되는 심리적 상태를 의미한다^[10]. 또한 몰입을 유지하기 위해서는 피험자의 인지 능력 수준과 과제의 난이도가 적절히 균형을 이루어야 하므로 개인마다 다른 난이도가 제공되어야 한다. 하지만 비교의 용이함을 위해 본 연구에서는 20대 피험자들의 인지능력 수준이 비슷하다고 고려하여, 몰입 이론을 적용한 난이도 조절은 그림 4 (b)와 같이 모든 피험자가 동일한 순서로 게임 콘텐츠를 진행하였다.

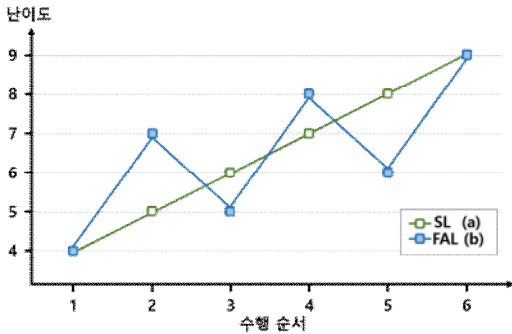


그림 4. 순차적인 난이도 단계와 몰입 이론을 적용한 난이도 단계의 실험 순서

Fig. 4. Experiment order of SL and FAL

4. EEG 신호 처리 및 분석

EEG 신호는 뇌의 신경계에서 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름이다. 이것은 10 μ V 정도로 전압이 매우 작고 잡음에 민감하기 때문에 사람이나 상태 또는 환경에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 256Hz 샘플링 주파수로 측정된 EEG 신호는 DC Offset을 제거하고, 60Hz의 전원잡음을 제거하기 위해 Notch Filter를 적용하였다. 전체적인 EEG 신호 처리 과정은 그림 5에 나타냈다. 여기서, 델타파(0.4~4Hz)에서 감마파(30~55Hz)까지의 범위를 포함하는 EEG 신호만을 측정하기 위하여 대역 통과 필터(0.4~55Hz)를 적용하였다.

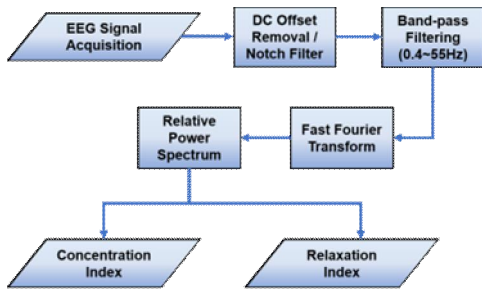


그림 5. EEG 신호 처리 순서도

Fig. 5. EEG signal processing flowchart

전처리된 EEG 신호를 분석하는 방법으로는 시간 분석, 주파수 분석, 유발 전위 분석 등이 있지만, 본 연구에서는 개인 편차를 제거할 수 있는 상대 파워 스펙트럼 분석을 사용하였다. 상대 파워 스펙트럼이란 분석하고자 하는 주파수 대역의 절대 파워에 대한 전체 주파수 대역 절대 파워 비율을 계산한 스펙트럼이다^[11].

그림 6은 본 연구에서 측정된 EEG 신호를 FFT 한 후, 주파수 대역에 따른 델타파(0.4~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파(8~12Hz), 베타파(12~30Hz), 감마파(30~55Hz)를 보여주고 있다.

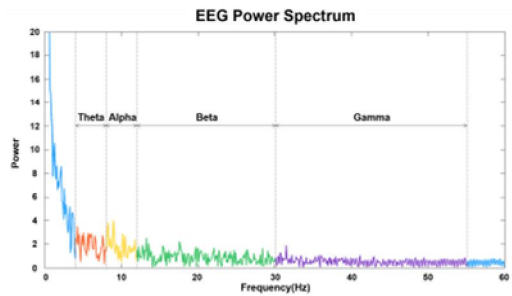


그림 6. FFT 처리한 주파수 대역

Fig. 6. FFT-processed frequency band

위와 같이 주파수 대역별 파워 스펙트럼과 식(1)을 이용하여 상대 파워 스펙트럼을 계산하였다. 여기서 비교적 잡음이 많고 미세한 움직임에 영향을 많이 받는 델타(0.4~4Hz)는 계산에서 제외하였다. 이 결과를 바탕으로 Low-베타파(12~15Hz)에 해당하는 감각 운동파(SMR: Sensory Motor Rhythm), Mid-베타파(16~20Hz), High-베타파(20~30Hz)를 분리한 후, 식(2)를 이용하여 주의집중 지표(CI: Concentration Index)와 이완 지표(RI: Relaxation Index)를 계산하였다.

$$Relative\ Power \begin{cases} \theta = \frac{\theta}{(\theta + \alpha + \beta + \gamma)} \\ \alpha = \frac{\alpha}{(\theta + \alpha + \beta + \gamma)} \\ \beta = \frac{\beta}{(\theta + \alpha + \beta + \gamma)} \\ \gamma = \frac{\gamma}{(\theta + \alpha + \beta + \gamma)} \end{cases} \quad (1)$$

$$CI = \frac{(SMR + Mid\beta)}{\theta} \quad (2)$$

$$RI = \frac{\alpha}{High\beta}$$

CI는 주의집중력을 나타내는 지표로 세타파에 대한 감각운동파와 Mid-베타파의 비율로 정량화된 것이다. 감각운동파는 집중이 시작되는 내면의식이 외부로 나타나는 출발점으로써, 각성이나 학습, 운동에 이르는 준비상태로의 주의집중이 시작될 때 뇌의 감각운동피질 부분에서 나타나고, Mid-베타파는 한 가지 주제에 집중하면서 정신부하가 동반되는 활동을 할 때 우세하게 나타난다^[12-13]. 이것은 정상인이 흥분하거나 특정한 과제에 주의를 집중할 때 대뇌피질의 세포들이 상호작용하여 진동하지 않는 비동기화 현상에 의해 13Hz보다 빠른 베타파가 활성화되기 때문이다. 반면에 세타파는 졸고 있거나 육체나 사고활동이 깊이 내면화된 상태에서 나타난다^[14]. 따라서 집중력이 늘어난다는 것은 현재 어떤 자극에 대해 지속적으로 각성상태를 유지할 수 있다는 것을 의미한다.

RI는 이완 지표로서 안정을 취하고 있을 때 대뇌피질의 다수 세포가 거의 동시에 활동하는 동기화현상에 의해 알파파가 우세해진다. 알파파는 정신과 육체의 긴장이 완화될 때 상승하는 것이 일반적이고 정상인에게 주의를 요하는 과제를 제시하면 알파파의 억제 현상이 나타난다^[15]. 반면에 High-베타파는 긴장과 불안상태를 반영하는 주파수로 어려운 과제 수행 등으로 인해 인지기능을 수행할 때 나타난다. 따라서 알파파에 대한 High-베타파의 비율로 산출할 수 있는 RI가 높을수록 편안하게 안정되었다는 것을 의미한다.

III. 결 과

1. 주의력 훈련 게임 콘텐츠에 대한 결과

첫 번째 실험결과는 피험자가 휴식을 취하고 있는 상태와 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행하는 동안 측정된 EEG 신호를 상대 파워 스펙트럼으로 변환한 후 CI와 RI를 비교하여 표 1에 나타냈다.

표 1과 같이 모든 피험자들이 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행 중인 상태에서 휴식 상태보다 CI가 더 높게 나타났다. 이것은 게임 콘텐츠를 수행할 때 베타파가 우세하게 나타나고, 세타파가 줄어들었다는 것이다. 즉, 피험자가 게임 콘텐츠를 수행하면서 받아들이는 자극에 대해 주의집중이 유지되고, 능동적으로 문제해결을 하는 인지적 활동이 늘었다는 것을 의미한다. 결과적으로 CI가 높을수록 뇌가 맑게 각성되어 학습능력과 면역기능이 높아지는 것이다. 또한 RI는 12명 중 7명이 하락하고, 5명은

증가하였다. 이는 긴장과 불안상태를 반영하는 High-베타파가 늘어나고, 긴장이 완화될 때 나타나는 알파파가 줄어들어 RI 값이 하락한 것이다. 즉, 피험자 중 7명은 게임 콘텐츠 수행에 어려움을 느껴 스트레스가 증가하였고, 5명은 게임 콘텐츠 수행에 어려움이 없었다는 것으로 해석 할 수 있다.

표 1. 휴식 상태와 주의력 훈련 게임 콘텐츠 수행 시 CI와 RI 비교
 Table 1. CI and RI comparison during Relaxation and Performing attention training game contents

피험자	Concentration Index			Relaxation Index		
	휴식 상태	게임 수행	증감률 (%)	휴식 상태	게임 수행	증감률 (%)
A	0.55	0.64	16.4▲	4.90	3.81	22.2▽
B	0.61	0.80	31.1▲	3.68	2.93	20.4▽
C	0.55	0.70	27.3▲	3.96	3.36	15.2▽
D	0.61	0.83	36.1▲	3.08	2.86	7.1▽
E	0.68	0.71	4.4▲	3.12	3.14	0.6▲
F	0.66	0.72	9.1▲	3.24	2.66	17.9▽
G	0.66	0.79	19.7▲	2.51	3.76	49.8▲
H	0.68	0.71	4.4▲	2.75	2.78	1.1▲
I	0.49	0.68	38.8▲	3.47	2.91	15.6▽
J	0.61	0.62	1.6▲	3.02	3.05	1.0▲
K	0.68	0.72	5.9▲	2.69	3.30	22.7▲
L	0.71	0.72	1.4▲	2.70	2.59	4.1▽

2. 몰입 이론을 적용한 난이도에서의 결과

주의력 훈련 게임 콘텐츠를 순차적으로 난이도를 조절하였을 때는 암기해야 하는 색상의 수는 난이도 단계와 비례한다. 즉, 암기해야 하는 색상의 수도 순차적으로 증가하게 된다. 반면에 몰입 이론을 적용한 난이도에서는 피험자가 암기해야 하는 색상의 수가 난이도 단계에 따라 달라진다. 이에 대한 실험결과는 표 2와 표 3과 같이 순차적인 난이도 단계(SL: Sequential Level)와 몰입 이론을 적용한 난이도 단계(FAL: Flow Applied Level)에 대한 CI와 RI를 나타냈다.

표 2. 순차적인 난이도 단계와 몰입 이론을 적용한 난이도 단계에서의 CI 변화 비교

Table 2. CI comparison between SL and FAL

피험자	A	B	C	D	E	F
CI of SL	0.78	0.69	0.78	0.71	0.73	0.70
CI of FAL	0.94	0.71	0.87	0.77	0.82	0.75

표 3. 순차적인 난이도 단계와 몰입 이론을 적용한 난이도 단계에서의 RI 변화 비교

Table 3. RI comparison between SL and FAL

피험자	A	B	C	D	E	F
RI of SL	2.82	3.02	2.52	2.76	2.40	2.83
RI of FAL	2.36	2.31	2.36	2.46	2.48	2.60

표 2에서 모든 피험자의 CI 값은 순차적인 난이도 단계에 비하여 몰입 이론을 적용한 난이도 단계에서 높게 나왔다. 또한 표 3과 같이 RI의 경우 대부분의 피험자들이 순차적인 난이도 단계에 비하여 몰입 이론을 적용한 단계에서 낮게 나타났다. 이는 피험자들이 긴장과 불안상태를 반영하는 주파수 High-베타파가 높다는 것으로 어려운 과제 수행 등으로 인해 스트레스를 받았다는 것을 의미한다.

그림 7은 모든 피험자의 순차적인 난이도 단계별 평균 CI와 몰입 이론을 적용한 난이도 단계별 평균 CI를 게임 콘텐츠 수행 순서에 따른 변화를 보여주고 있다. 전체적으로 순차적인 난이도 단계보다 몰입 이론을 적용한 난이도 단계에서 더 높은 CI가 나타났다. 또한 순차적인 난이도 단계의 경우 3번째 순서까지 CI가 증가하였지만 4번째 순서에 접어들면서 하락하였다. 반면에 몰입 이론을 적용한 난이도 단계는 지속적으로 높은 CI가 유지되었다. 이는 순차적인 난이도 단계가 시간이 경과함에 따라 주의력이 떨어지기 때문에 지루함의 원인이 되었으며, 반대로 몰입 이론을 적용한 난이도 단계는 피험자의 주의력이 떨어지지 않고 지속적으로 유도하였다고 볼 수 있다.

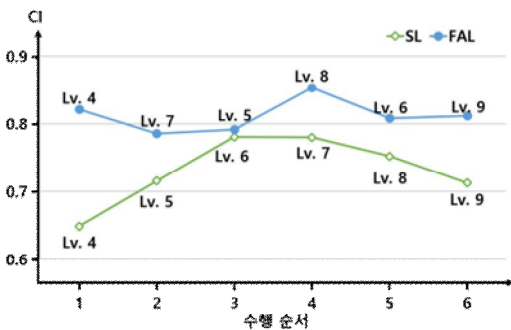


그림 7. 수행 순서에 따른 CI 비교
Fig. 7. CI comparison by procedure

IV. 결론

치매는 현대 의학 기술로 이미 죽은 뇌세포를 재생할

방법이 없기 때문에 불치의 병이라 할 수 있다. 따라서 치매의 조기 발견 및 사전 예방이 매우 중요하므로 사전 연구에서 치매로 가기 전 단계인 MCI 환자를 대상으로 인지기능을 훈련할 수 있는 다양한 인지기능 훈련 게임 콘텐츠를 포함한 기능성 게임을 제시하였다. 또한 이 기능성 게임의 인지기능훈련 효과에 대한 실효성을 검증하기 위해 비교적 비용이 적게 들고, 실시간으로 뇌 활동의 변화를 추적할 수 있는 EEG 신호를 측정하는 방식을 채택하였다. 측정된 EEG 신호를 처리하는 방법으로, 휴식 상태와 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 수행하는 상태에서 EEG를 측정하였고, 전처리 과정을 거쳐 상대 파워 스펙트럼으로 변환하였다. 그 후 CI와 RI를 계산하여 휴식 상태보다 게임 콘텐츠를 수행 중일 때 CI가 증가하여 모든 피험자의 주의력이 높아졌다는 것을 보였으므로 게임 콘텐츠가 20대 정상인들에게 인지기능을 훈련하는 것에 대한 실효성이 있다고 볼 수 있다. 또한 피험자들 중에 RI가 감소한 경우는 게임 콘텐츠가 어려워 스트레스가 증가하였고, RI가 증가한 경우에는 게임 콘텐츠가 어렵지 않아 스트레스가 적었다고 할 수 있다. 즉, 피험자에게 적당한 수준의 게임 콘텐츠가 제공되었다는 것을 의미한다.

또한 주의력 훈련 게임 콘텐츠를 진행하면서 몰입을 유도하여 주의력이 극대화되는 방법을 제시하였다. 게임 콘텐츠는 기본적으로 가장 쉬운 단계부터 순차적으로 증가하는 난이도 방식이다. 이를 몰입 이론을 적용한 단계와 비교 실험한 결과, 모든 피험자가 몰입 이론을 적용한 난이도 단계에서 더 높은 CI가 발견되었다. 또한 두 가지 방식에서 수행하는 순서가 같을 때, 몰입 이론을 적용한 난이도 단계가 순차적인 난이도 단계보다 높은 CI가 발견 및 유지되었고, 동일한 난이도 단계를 수행하는 경우에도 게임 콘텐츠의 수행 순서에 따라 피험자의 집중도가 달라졌다. 이를 기반으로 몰입 이론을 통하여 사용자의 능동적인 참여 및 동기를 유발시킨다면, 기능성 게임의 사용자의 참여도가 인지기능 훈련 효과에 상당한 영향을 미치기 때문에, 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 주의력은 실험이 지속될수록 떨어지기 마련이지만, 두 번째 실험에서 몰입 이론을 적용한 난이도 단계를 순차적인 난이도 단계를 수행한 후에 진행하였음에도, CI가 더욱 높았다는 것이 매우 고무적이었다.

본 연구에서는 지속적 주의력인 순서관단 게임 콘텐츠를 측정하였기 때문에 향후 다른 인지기능 영역의 게임 콘텐츠들에 대한 EEG신호 변화 실험을 진행하여 해당 인지기능 영역에 대한 게임 콘텐츠의 인지기능 훈련의 실효성 검증이 필요하다. 또한 보다 정확한 실효성 검증

을 위해서 실제 경도인지장애 환자의 임상시험을 진행하여 본 연구에서의 결과와 비교하여 기능성 게임 콘텐츠의 효과를 높인다면 인지능력 훈련에 보다 도움이 될 것으로 기대 된다.

References

- [1] S. H. Kim, S. Y. Kim, K. Y. Bae, S. W. Kim, J. M. Kim, I. S. Shin and J. S. Yoon, "Quality of Life in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease", *Journal of The Korean Society of Biological Therapies in Psychiatry*, Vol. 18, No. 2, pp. 194-200, Dec 2012. <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02077468>
- [2] S. Y. Kim, "Past and Future of Drug Treatments for Alzheimer's Disease", *Journal of Korean Neuropsychiatric Association*, Vol. 57, No. 1, pp. 30-42, Feb 2018. DOI: <https://doi.org/10.4306/jknpa.2018.57.1.30>
- [3] S. K. Yang, B. S. Ko, J. H. Park, "Domestic Research Trends of The Dementia Prevention Programs for The Elderly", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 1, pp. 131-143, Jan 2019. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.1.131>
- [4] H. Y. Cho, H. M. Lee, H. S. Moon, S. W. Shin and S. T. Chung, "Improvement of Cognitive Rehabilitation Method using K-means Algorithm", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC)*, Vol. 18, No. 6, pp. 259-268, Dec 2018. DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.6.259>
- [5] J. W. Ko, S. J. Park, "Serious Game of Increase Cognitive Function for Elderly Using Arduino", *Journal of KIIT*, Vol. 13, No. 4, pp. 111-119, Apr 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2015.13.4.111>
- [6] R. A. Cohen, Y. A. Sparling-Cohen and B. F. O'Donnell, "The Neuropsychology of attention", New York: Plenum Press, 1993.
- [7] J. O. Lubar and J. F. Lubar, "Electroencephalographic Biofeedback of SMR and Beta for Treatment of Attention Deficit Disorders in a Clinical Setting", *Biofeedback and self-regulation*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-23, 1984.
- [8] L. J. Prinzel III and F. G. Freeman, "Task-specific sex differences in vigilance performance: subjective workload and boredom", *Perceptual and motor skills*, Vol. 85, issue 3_suppl, pp. 1195-1202, 1997.
- [9] G. H. Klem, H. O. Lüders, H. H. Jasper and C. Elger, "The ten-twenty electrode system of the International Federation", *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, Vol. 52, No. 3, pp. 3-6, 1999.
- [10] J. Nakamura and M. Csikszentmihalyi, "The Concept of Flow", *Flow and the foundations of positive psychology*, Springer, Dordrecht, pp. 239-263, 2014.
- [11] D. M. Ok and H. S. Park, "A Study on Applicability of EEG Spectral Relative Power as a Measure of Expertise Level", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 29, No. 5, pp. 741-750, Oct 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2010.29.5.741>
- [12] T. Rossiter, "Neurofeedback for AD/HD: A Ratio Feedback Case Study and Tutorial", *Journal of Neurotherapy*, Vol. 6, No. 3, pp. 9-35, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1300/J184v06n03_03
- [13] L. Thompson and M. Thompson, "The Neurofeedback Book: An Introduction to Basic Concepts in Applied Psychophysiology", *The Association for applied psychophysiology and Biofeedback*, 2003.
- [14] W. Klimesch, "EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis", *Brain research reviews*, Vol. 29, No. 2-3, pp. 169-195, 1999. PII: S0165-0173(98)00056-3
- [15] P. C. Lo, M. L. Huang and K. M. Chang, "EEG Alpha Blocking Correlated with Perception of Inner Light During Zen Meditation", *The American Journal of Chinese Medicine*, Vol. 31, No. 4, pp. 629-642, 2003.

저자 소개

강 성 호(준회원)



•Sung-Ho Kang studied Biomedical Engineering, and received his M.S.(2018) from Kyungpook National University. He is currently a Ph.D. of science course at the department of Computer Engineering from Korea Polytechnic University. His research interests include EEG & Signal Processing, Hearing aid, Rehabilitation and Healthcare, etc.

박 정 현(준회원)



•Jung-Hyun Park studied Computer Engineering, and received his B.S.(2019) from Korea Polytechnic University. He is currently a master of science course at the department of Computer Engineering from Korea Polytechnic University. His research interests include EEG & Signal Processing and Healthcare, etc.

신 성 욱(정회원)



• Sung-Wook Shin studied Computer Engineering, and received his Ph.D. (2016) from Korea Polytechnic University. He is currently a professor at the department of Computer Engineering at Korea Polytechnic University. His research interests include Embedded System, Serious Game, Rehabilitation and Healthcare, etc.

정 성 택(정회원)



• Sung-Taek Chung studied Electrical Engineering, and received his Ph.D. (2000) from KAIST. He is currently a professor at the department of Computer Engineering at Korea Polytechnic University. His research interests include Biomedical Image & Signal Processing and Serious Game, etc.

※ 본 논문은 산업통상자원부 R&D사업 '창조혁신형 디자인고급인력양성사업'의 지원으로 진행되었습니다.
※ 본 연구는 산업통상자원부의 산업기술혁신사업의 연구결과로 수행되었음(10062378, 난치성 뇌질환의 치료용 3.5T급 6채널 자기자극 및 정보피드백을 위한 진단·훈련용 융합부품 개발)