

# Design of User Concentration Classification Model by EEG Analysis Based on Visual SCPT

Jin Hyeok Park\*, Seok Hwan Kang\*, Byung Mun Lee\*, Un Gu Kang\*, Young Ho Lee\*

## Abstract

In this study, we designed a model that can measure the level of user's concentration by measuring and analyzing EEG data of the subjects who are performing Continuous Performance Test based on visual stimulus. This study focused on alpha and beta waves, which are closely related to concentration in various brain waves. There are a lot of research and services to enhance not only concentration but also brain activity. However, there are formidable barriers to ordinary people for using routinely because of high cost and complex procedures. Therefore, this study designed the model using the portable EEG measurement device with reasonable cost and Visual Continuous Performance Test which we developed as a simplified version of the existing CPT. This study aims to measure the concentration level of the subject objectively through simple and affordable way, EEG analysis. Concentration is also closely related to various brain diseases such as dementia, depression, and ADHD. Therefore, we believe that our proposed model can be useful not only for improving concentration but also brain disease prediction and monitoring research. In addition, the combination of this model and the Brain Computer Interface technology can create greater synergy in various fields.

▶ Keyword : EEG, Attention, Concentration, CPT, Visual SCPT

## I. Introduction

인간이 살아가는데 있어서 주의집중력은 아주 중요한 부분을 차지하였다. 주의집중력은 우리에게 주어진 감각 정보 중에서 한 가지를 선택하여 그 감각을 보다 완전히 혹은 더 민감하게 의식할 수 있도록 하는 능력으로 지각 발달을 가능하도록 하는 핵심적 요인이다[1]. 주의집중력은 원하는 목표를 성취하기 위해서 반드시 필요한 능력임과 동시에 어떠한 일을 하더라도 성공과 실패를 좌우할 수 있는 중요한 요소이다[2]. 주의집중력의 결핍은 학습 효과의 저하로 성취감을 얻기 힘들어 충동적이고 공격적인 성향으로 보임으로써 일상생활에 지장을 줄 수 있다.

주의집중력과 관련하여 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔지만 대부분의 연구들에서는 단순히 어떠한 행위를 진행할 때 혹은 온도와 같은 외부 요인에 변화를 주어 사용자의 주의집중도의 변화를 분석하였다[3,4]. 하지만 이러한 연구들은 눈 깜빡임, 호흡등과 같은 외부 노이즈에 민감하게 반응하는 뇌파 데이터만을 사용하여 신뢰성 있는 결과를 나타내지 못하였다는 한계점을 가졌다. 또한 기존의 연구들과 같이 32채널, 64채널의 고가의 뇌파 측정 장비를 개인이 단순히 주의집중도의 변화를 측정하고 개선하기 위한 목적으로 사용하기에는 사용자

\*First Author: Jin Hyeok Park, Corresponding Author: Young Ho Lee

\*Jin Hyeok Park (rev.hyeok@gmail.com), Dept. of IT Convergence Engineering, Gachon University

\*Seok Hwan Kang (shkang@gachon.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Gachon University

\*Byung Mun Lee (bmllee@gachon.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Gachon University

\*Un Gu Kang (ugkang@gachon.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Gachon University

\*Young Ho Lee (lyh@gachon.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Gachon University

• Received: 2018. 05. 23, Revised: 2018. 10. 15, Accepted: 2018. 10. 25.

• "This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2018-2017-0-01630) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion)"

하여금 높은 비용과 많은 시간을 요구하였다는 점에서 한계점을 가진다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 고가의 뇌파 측정 장비 대신, 비침습형 4채널 뇌파 측정 장비를 사용하여 일반인들이 일상적으로 뇌파를 측정하였을 때의 객관적인 집중도를 파악할 수 있는 방법을 제시하였다. 알파파, 베타파 중심의 뇌파 분석과 기존의 주의지속능력 검사 도구인 CPT(Continuous Performance Test)를 간소화한 시각 자극 기반의 연속수행검사(SCPT, Simplified Continuous Performance Test)를 동시에 분석하여 보다 정확하고 객관적인 주의집중도를 산출할 수 있도록 하였다.

## II. Preliminaries

### 1. Brain Signal and Brain's Relationship

뇌는 인간 활동의 전 영역을 총괄하는 중심 기관으로 대뇌 정보기능이 대뇌피질에서 신경에 의해 발현된다고 인식하여, 인지, 사고 등의 역동적인 지식 활동과 다양한 감정, 행동과 고차원적인 정신세계까지도 담당하는 것으로 알려져 있다[5].

인간의 뇌에서는 매 순간 뇌파가 흘러나오고 있으며, 뇌파란 뇌신경 사이에 신호가 전달될 때 생기는 전기의 흐름을 말하였다. 이는 1929년 독일의 생리학자 Hans Berger에 의해 발견되었다. 이러한 전기적 신호를 EEG(electroencephalography)라 명명하였고, EEG가 실험자의 정신적 상태에 따라 변하였다는 것을 보였다[6]. 뇌파는 매우 복잡한 패턴으로 진동하기 때문에 뇌파 파형을 그대로 관찰하는 것은 그다지 유용하지 않다. 따라서 뇌파를 관찰할 때에는 주파수에 따라 분류하는 파워 스펙트럼 분석을 이용하였다. 파워 스펙트럼을 이용하여 뇌파는 그 주파수와 진폭에 따라 크게 델타파(0.2 - 4Hz), 세타파(4 - 8Hz), 알파파(8 - 13Hz), 베타파(13 - 30 Hz), 감마파(30 - 50Hz) 크게 5가지 종류로 분류할 수 있다.

뇌파상의 변화를 주는 요인은 개인차, 연령, 의식상태의 변화, 정신활동 및 지각자극, 신체의 생리변화 등이 있다[1-2]. 뇌는 Table 1과 같이 부위별로 그 기능이 세분화되어 있으며 의식 상태와 정신활동에 따라 뇌파가 수시로 변하여 특정한 패턴을 가지고 있다[7]. 예를 들어, 알파파가 많이 발생하는 경우는 편한 상태나, 눈을 감았을 때, 집중을 할 때 혹은 창의적인 사고를 할 때이며, 베타파가 많이 발생하는 경우는 각성상태, 의식적인 행동을 할 때, 불안하고 긴장할 때, 일반적인 작업을 하고 있는 상태이다. 세타파가 많이 발생하는 경우에는 졸리거나, 깊은 명상 시 발생하였다. 감마파의 경우에는 각성 상태에 주로 나타나며, 델타파의 경우는 뇌종양, 뇌염 등의 병적요인의 판단 척도로도 사용할 수 있으며 일반적으로는 수면 시 많이 발생하였다고 알려져 있다[8,9].

Table 1. EEG Frequency Classification

Indicator	Frequency Definition(Hz)	State
Delta	0.5 - 3.5	Deep Sleep
Theta	4 - 7	Sleep
Alpha	8 - 12	Awake
SMR	12 - 15	Concentration
Beta	13 - 30	Concentration

### 2. CPT(Continuous Performance Test)

CPT는 집중지속력과 행동통제능력을 통해 전두엽 및 측두엽의 발달 정도를 검사할 수 있는 대표적인 검사이다. 이는 뇌 관련 질환의 임상적 보조 진단과 치료효과를 평가하는데 많이 사용된다.

CPT는 아주 짧은 시간 동안(약 0.1 ~ 0.2초) 컴퓨터 화면을 통해 피험자에게 무작위로 숫자나 문자, 도형들이 제시되는 형태로 구성되어 있다. 자극은 표적 자극과 비표적 자극으로 구성되며, 표적 자극이 제시될 때마다 가능한 정확하고 빠르게 반응하여야 하며, 비표적 자극이 제시될 때에는 반응하지 않아도 된다.

이와 같은 종전의 검사는 검사자가 개별적인 평가항목에 대해 피험자가 문제가 있는지 없는지 여부를 쉽게 판단할 수 있게 하지만, 비전문가인 피험자는 종합적으로 자신의 주의력 수준이 어느 정도인지를 파악하기 힘들다는 단점이 있다. 또한 검사에 소요되는 시간이 2~3시간 정도 소요되어 피험자로 하여금 많은 체력을 요구하며, 문자로 구성된 자극을 포함하기 때문에 교육을 충분히 받지 못한 피험자의 경우 검사에 응할 수 없다는 한계점 또한 존재하였다.

따라서, 본 연구에서는 Visual SCPT를 활용하였다. Visual SCPT(Simplified Continuous Performance Test)는 기존의 CPT와 동일하게 집중 상태를 얼마나 잘 유지할 수 있는지를 평가하기 위한 검사이며, 검사의 한계점인 시간 소요와 자극의 종류 부분을 수정한 것이다. 기존의 검사가 약 2시간 정도 걸리던 것을 10분 ~ 15분으로 단축하였고, 여러 가지 자극의 종류로 구성되던 것을 도형으로만 구성하여 누구나 검사에 응할 수 있도록 변경하였다.

## III. Research Design

### 1. Experimental Environment

본 연구에서 진행된 실험은 교내 실험실(가로 4.0M, 세로 6.0M, 높이 2.8M)에서 진행되었으며, 온도 및 조도가 주의집중도에 영향을 미친다는 사전 연구 결과에 따라 실험을 진행하는 동안 실험실의 온도 및 조도는 동일하게 설정하여 진행하였다[10]. 피험자는 헤드밴드 형태로 제작된 뇌파 측정 장비를 착용한 상태로 의자에 착석하여 책상 위의 모니터 쪽을 바라보는 상태로 실험을 진행하였다.

## 2. Experimental Tools

### 2.1 EEG Measurement Tool

뇌파 측정기는 기존의 복잡하고 부착하기 힘든 기존의 침습형 뇌파 장비와 달리 간단하고 빠르게 측정할 수 있도록 Fig. 1과 같이 헤드밴드 형태로 제작된 InteraXon 사의 4채널 EEG 장비인 'Muse 2017'을 사용하여 측정하였다.

'Muse 2017'은 측정할 수 있는 기기로 전두엽의 2채널(AF8, AF9)과 측두엽 2채널(Tp9, Tp10) 총 4채널에서 발생하는 뇌파 데이터 수집할 수 있다. Muse 2017은 다양한 시중의 뇌파 측정 장비들에 비해 비교적 저렴한 가격대를 형성하고 있으며, 간소화된 휴대용 뇌파 측정 장비로서 그 기능을 검증 받았다[11].



Fig. 1. EEG Equipment 'Muse 2017'

뇌파 측정은 피험자의 귓불(A1) 부분을 기준으로 한 단극유도법을 사용하여 Fig. 2에 해당하는 전두엽, 측두엽의 Fp1, Fp2, TP9, TP10 부위를 측정하였다. 뇌파 측정 부위는 Fig. 2와 같이 International 10-20 System를 따랐으며, 전극 부착 위치는 각 전극이 놓이는 위치가 대뇌의 어떤 부분에 속하는지와 좌측과 우측 부위 중 어디 속하는지에 따라 구분된다. Fp(Frontal Polar)는 전두엽, T(Temporal)는 측두엽이 만나는 교차점이다. 또 홀수는 머리의 좌측에 놓이는 전극, 짝수는 우측에 놓이는 전극, 소문자 z는 머리의 중앙을 지나는 부분을 나타낸다.

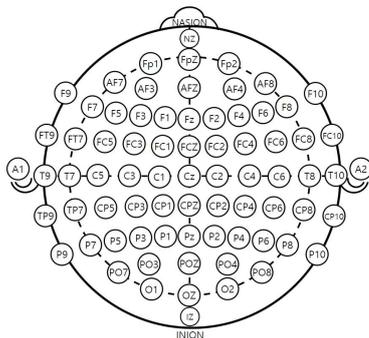


Fig. 2. International 10-20 System

뇌파 신호는 256Hz의 샘플링 주파수, 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform, FFT)를 거쳐 컴퓨터에 저장된다.

### 2.2 Visual SCPT

주의력과 충동성을 검사하기 위해 개발된 검사인 CPT(Continuous Performance Test)는 컴퓨터를 이용하여 실험자가 집중 상태를 얼마나 잘 유지할 수 있는지를 평가하기 위한 검사이다[12,13]. 단순한 도형이나 알파벳의 낱자 등의 표적 자극과 비표적 자극이 1초에서 4초 간격으로 화면에 0.1에서 0.2초 간 무작위로 표시된다. 실험은 특정한 표적 자극이 제시된 경우에만 실험대상자가 반응하도록 하는 형태로 구성되어 있다.

이는 그 유용성이 이미 인정되어 널리 쓰이고는 있지만, 2~3시간씩 소요되어 평가 시간이 너무 길고, 숫자나 문자를 자극으로 사용할 경우에는 언어 능력이나 숫자 능력이 모자라는 아동에게 실시할 수 없다는 한계점을 가지고 있다. 따라서, 앞서 언급된 한계점들을 보완 및 개선하기 위해 본 연구진이 자체 개발한 SCPT(Simplified Continuous Performance Test)를 수행하였다.

본 실험에서 사용한 Visual SCPT 콘텐츠는 Unity 3D로 개발된 프로그램을 컴퓨터 모니터를 통해 제시하였으며, 자극의 제시 프로토콜은 'Oddball Paradigm'에 따라 시행되었다. 'Oddball Paradigm'은 피험자로 하여금 빈번한 비표적 자극과 표적 자극을 분별하게 하는 것으로, SCPT 콘텐츠를 구성하는데 있어서 중요한 역할을 수행하였다[14].

SCPT는 원, 삼각형, 사각형, 오각형, 별 모양 등 간단한 도형 및 모양으로 구성하여 보다 다양한 연령대에 적용할 수 있도록 하였다. 또한, 자극이 시각 자극으로만 제한되는 것이 아닌, 청각, 후각과 같이 다감각적으로 사용자에게 적용될 수 있다. 또한 기존의 CPT가 2~3시간씩 검사를 진행했다면, SCPT는 10~15분 사이로 진행하여 사용자의 검사 부담을 최소화 하였다.

자극은 10분간 제시되며 표적 자극과 비표적 자극은 2:8의 비율로 제시된다. 피험자는 의자에 편히 앉아 모니터의 정면을 응시하여 표적 자극이 제시될 때에만 마우스의 왼쪽 버튼을 눌러 반응하도록 하였다. 제시되는 자극의 종류는 정사각형, 원, 삼각형 등으로 구성된 Fig. 3의 6개의 도형이며, 그 중 표적 자극은 Visual SCPT 수행 전 피험자 본인이 선호하는 표적 자극을 선택할 수 있도록 하였다.

자극은 10분간 제시되며 표적 자극과 비표적 자극은 2:8의 비율로 제시된다. 피험자는 의자에 편히 앉아 모니터의 정면을 응시하여 표적 자극이 제시될 때에만 마우스의 왼쪽 버튼을 눌러 반응하도록 하였다. 제시되는 자극의 종류는 정사각형, 원, 삼각형 등으로 구성된 Fig. 3의 6개의 도형이며, 그 중 표적 자극은 Visual SCPT 수행 전 피험자 본인이 선호하는 표적 자극을 선택할 수 있도록 하였다.

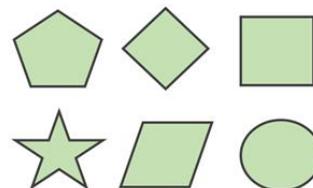


Fig. 3. Types of stimuli

자극 제시 프로토콜은 Fig. 4와 같다. 각 도형은 무작위로 컴퓨터 모니터의 검은 화면 중앙에 나타나며, 자극 제시 시간은 0.5초이다. 다음 자극이 제시될 때까지는 1~4초의 시간 간격을 두었으며, 사용자가 표적 자극에 올바르게 반응했을 때 초록색 바탕을, 반응하지 못했을 때 적색 바탕을 표시하여 집중을 유도하였다.

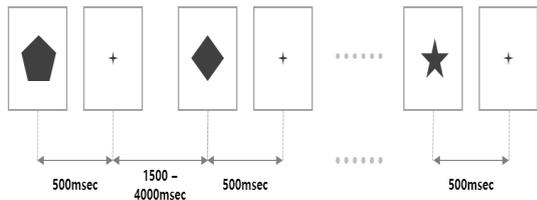


Fig. 4. Stimulus Presentation Protocol

Visual SCPT의 평가 항목은 정반응률, 반응속도 평균, 반응속도 표준편차로 구성되며, SCPT 콘텐츠는 약 10분간 수행되며, 사용자가 콘텐츠를 소비하는 동안 4개의 검사 변수를 통해 사용자의 주의집중능력을 평가하였다. 검사 변수는 ‘정반응수’, ‘반응시간 평균’, ‘반응시간 표준편차’로 구성된다. ‘정반응수’의 경우 사용자에게 표적 자극이 제시되었을 때 올바르게 반응한 경우를 기록하였다. ‘누락수’의 경우 사용자에게 표적 자극이 제시되었을 때 반응하지 못한 경우, ‘오경보오류수’는 비표적 자극에 반응한 경우를 기록하였다. ‘반응시간’의 경우 사용자에게 표적 자극이 제시된 이후 반응 시간을 기록하여 평균치로 환산한 값이다.

### 3. Experimental Procedures and Contents

#### 3.1 Selection of Subjects

실험 대상은 연구 참여에 동의한 20세 이상의 성인 남, 여 각 20명을 대상으로 진행하였다. 모든 대상자는 본 실험의 목적에 충분히 동의하였고 실험에 자발적으로 참여하였다. 본 실험에 앞서 적합한 대상자 선정을 위해 실험의 목적과 과정을 설명하고 동의한 대상자들에게 사전 설문지를 통해 주의력 결핍 장애, 뇌 외상, 간질, 알코올 중독 등의 신경정신계 질환 병력이 없고, 정상 시력을 가지고 있는 이들로 구성하였다. 또한, 실험 당일 피험자의 컨디션 및 수면 상태를 확인하여 정상적인 상태가 아니라고 판단될 경우, 실험에서 제외하여 일관된 데이터를 얻도록 하였다.

오른손잡이와 왼손잡이의 경우 뇌 좌반구와 우반구의 기능적 차이가 있으므로 이에 따라 발생하는 측정 오차를 없애기 위해 오른손잡이로만 제한하였다. 피험자는 실험 하루 전부터 담배, 카페인, 알코올 등 인지 기능에 영향을 줄 수 있는 여타의 약물 복용을 금지하였다.

#### 3.2 Experimental Procedure

본 연구의 실험 진행 절차는 Table 2와 같으며, 약 1주에 걸쳐 1회에 한 명씩 진행하였다. 실험은 시간에 따른 집중의 차이를 줄이기 위해 동일한 시간대에 진행하였다.

Table 2. Experiment Procedure

Sequence	Experiment Procedure
1	Pre-Survey
2	Experiment Explanation
3	Wearing 4-Channel EEG Equipment
4	Meditation(5 min.)
5	Visual SCPT(5 min.)

실험의 진행 절차는 모든 피험자에게 동일하게 적용하였다. 피험자는 실험실에 입실하여 의자에 편히 앉은 상태에서 사전 설문지를 작성하였다. 사전 설문지에는 피험자의 간단한 인적 정보를 파악할 수 있는 질문들과 현재 기분 상태, 수면 시간 등 뇌파에 영향을 줄 수 있는 일반적 특성 질문으로 구성하였다. 인적 특성은 Fig. 5와 같이 피험자가 단답 혹은 객관식으로 작성할 수 있는 질문들로 구성하였다. 일반적 특성의 경우, 태도 및 인식에 대한 응답을 물어보는 대표적 척도인 ‘Likert Scale’의 5점 척도를 사용하였다. ‘Likert Scale’은 문항들에 대해 찬성 또는 반대 정도를 나타내는 응답 범주를 제시하는데, 응답을 위한 잣대는 크게 두 극단으로 나뉘고(낮음-높음 혹은 부정-긍정), 그 사이의 간격은 동일한 것으로 간주하였다.

How much sleep do you have today? How is your mood today?

<input type="radio"/> 1~2 Hours	<input type="radio"/> Very Good
<input type="radio"/> 3~4 Hours	<input type="radio"/> Good
<input type="radio"/> 5~6 Hours	<input type="radio"/> Normal
<input type="radio"/> 7~8 Hours	<input type="radio"/> Bad
<input type="radio"/> Over 9 Hours	<input type="radio"/> Very Bad

Fig. 5. Pre-Survey Example

사전 설문을 마친 후 피험자에게 간소화된 연속수행검사(Simplified Visual Continuous Performance Test, Visual SCPT)에 대한 간단한 설명을 진행하고 헤드밴드 형태의 장비를 머리에 착용하도록 하였다. 장비를 착용한 상태에서 5분간 주의집중 활동을 하기 전인 기준 뇌파를 측정하였다. 이후, 10분간 시각 자극에 대한 간소화된 연속수행검사를 수행하여 뇌파를 측정하였다.

## IV. Analysis

본 연구의 뇌파 데이터는 뇌파 장비인 'Muse 2017'이 자체적으로 제공하는 잡과 등을 제거하고 필터링 한 결과 값을 분석하였다. 뇌파 데이터 중 손실이 있는 부분, 접촉 불량 등의 이유로 비정상적인 값이 기록된 부분의 제외하여 데이터의 일관성을 유지하였다.

주의집중도(Attention and Concentration, AC)는 뇌파 분석에 따른 EEG 주의집중도와 SCPT 평가 결과에 따라 산출되는 SCPT 주의집중도로 나눌 수 있다. EEG 주의집중도와 SCPT 주의집중도를 곱연산하여 최종적인 주의집중도를 산출하였다.

평소 상태와 연속수행검사를 진행할 때의 뇌파 변화를 살펴보기 위해 동일한 표본에서 변수의 차이를 비교하는 대응표본 T 검정(Paired T-test)을 시행하여 비교하였다. 본 연구에서는 명상을 진행할 때와 Visual SCPT 콘텐츠를 진행할 때의 주의

집중도 차이를 분석하기 위해 사용하였다.

데이터 전처리 및 분석을 위해 R(3.5.0 Ver.) 프로그램을 사용하였다.

1. EEG AC Analysis

뇌파의 경우 각 채널(Fp1, Fp2, TP9, TP10)에서의 알파, 베타, 감마, 세타 값이 동시에 나타난다. 각 주파수 값을 분류하고 분석하기 위한 방법으로 파워 스펙트럼 분석을 사용하였다. 파워스펙트럼 분석은 각 주파수 영역이 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는지를 알아보기 위함이다.

효과적인 데이터 분석을 위해 각 채널에서 얻어진 뇌파 데이터는 정규화 과정을 거쳐 0에서 1사이의 값을 가지는 데이터로 변환된다.

EEG 주의집중도는 각 채널에서 주파수 영역에 따라 구분된 5개의 뇌파에서 주의집중과 관련이 있는 알파파, 베타파의 비율과 후식, 수면 시 나타나는 세타파와의 비율로 산출하였으며, 주의집중도를 판단하기 위한 근거로 다양한 연구에서 활용되었다[15-17]. 이는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$EEG\ AC = \frac{\alpha_{power} + \beta_{power}}{\theta_{power}} \quad (1)$$

$\alpha_{power}$  : 알파파  $\beta_{power}$  : 베타파  $\theta_{power}$  : 세타파

2. SCPT AC Analysis

SCPT 주의집중도는 정반응비율, 반응시간 평균점수, 반응시간 표준편차점수 3가지 평가 항목을 모두 더하여 산출하였다. 반응시간의 평균과 표준편차는 작을수록 높게 평가되어야 하기 때문에 최대 반응시간인 1에서 빼는 방식으로 나타내었다. 이는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$SCPT\ AC = \frac{S_{correct}}{S_{target}} + (1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N R_i) + (1 - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}) \quad (2)$$

S : 표적 자극 R : 반응시간 X : 평균

V. Result

명상할 때와 Visual SCPT 콘텐츠를 수행할 때의 주의집중도 차이를 비교분석하기 위해 Paired T-Test를 이용하였다. SCPT를 시청할 때의 동일 집단의 변화를 파악하기 위해 명상할 때와 Visual SCPT 콘텐츠를 수행할 때의 EEG AC를 비교하였다. AF7, AF8, Tp9, Tp10 채널에서의 EEG AC 평균이 명상할 때에 비해 Visual SCPT 콘텐츠를 수행할 때 3.81, 5.3, 4.2, 1.171만큼 증가하였다. 이는 Visual SCPT 콘텐츠를 수행하기 전보다 수행하고 난 이후의 주의집중도가 유의하게 증가 ( $P < 0.05$ )하였음을 나타낸다(Table 3).

Visual SCPT 콘텐츠를 진행할 때의 주의집중도와 SCPT 주의집중도의 상관성을 분석하기 위해 Pearson's product - moment correlation을 이용하였다(Table 4). Fig. 6은 피험자별 EEG AC와 SCPT AC 값을 그래프로 표현한 것이며 좌에서 우, 상에서 하 순을 AF7, AF8, Tp9, Tp10을 의미하고, 선그래프가 EEG AC, 막대그래프가 SCPT AC를 의미한다. 각 채널에서의 피험자별 Visual SCPT를 진행할 때의 EEG AC와 SCPT AC의 변화는 대체로 비슷한 양상을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 각 채널에서 피험자들의 평균으로 계산한 EEG AC와 SCPT AC의 상관계수는 0.574, 0.501, 0.584, 0.527로 뚜렷한 양적 선형 관계를 가지는 것을 확인할 수 있었다. ( $P < 0.05$ ).

Table 3. Comparison of Meditation AC and Visual SCPT AC

Position	EEG Attention and Concentration Power		T	DF	P
	Meditation (Mean ± SD)	Visual SCPT (Mean ± SD)			
AF7	2.122 ± 0.802	2.501 ± 0.742	6.165	299	.0000**
AF8	1.977 ± 0.634	2.507 ± 0.721	-9.630	299	.0000**
Tp9	2.199 ± 0.360	2.519 ± 0.432	-9.449	299	0.0004
Tp10	2.199 ± 0.540	2.540 ± 0.489	-3.695	299	0.0002

\*P < 0.001 \*\*P < 0.0001

Table 4. Correlation Analysis of EEG AC and SCPT AC (During Visual SCPT)

Position	COR	T	DF	P
AF7	0.574	2.897	17	.01
AF8	0.501	2.390	17	.028
Tp9	0.584	2.969	17	.008
Tp10	0.527	2.558	17	.02

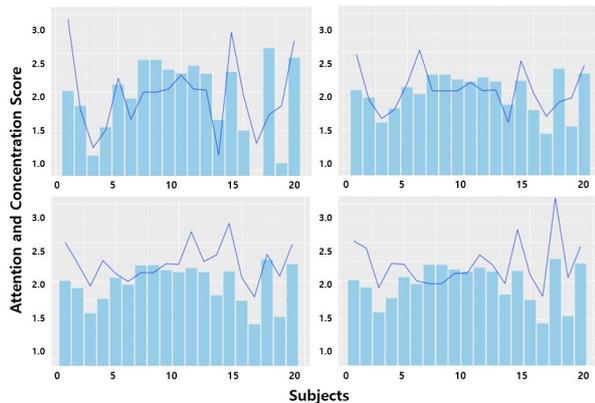


Fig. 6. Comparison of EEG AC and SCPT AC

## VI. Conclusion

주의집중력은 일상생활에서, 혹은 인생의 성공과 실패를 좌우할 수 있는 아주 중요한 능력 중 하나임에도 불구하고, 주의집중도의 변화를 분석하기 위한 기존의 연구들은 오직 EEG 주의집중도 혹은 SCPT 주의집중도만을 고려한 상태로 진행하였다. 외부 요인에 민감하게 반응하는 뇌파의 특성상 하나의 데이터만 고려하였을 때 연구의 객관성 및 신뢰성이 떨어질 수 있다는 문제점을 가지고 있었다. 따라서, 본 연구에서는 보다 정확하고 객관적인 주의집중도 산출 방법을 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 사용자가 SCPT기반의 콘텐츠를 소비함과 동시에 EEG 기기를 통해 EEG 데이터를 획득, 처리하는 과정을 거쳐 집중도 지수를 산출하였다. 전두엽과 측두엽에서 발생하는 뇌파를 4채널 뇌파 장비를 사용하여 측정하였고, 해당 뇌파 데이터는 푸리에 변환을 사용하여 집중력과 관련된 뇌파 신호를 주파수 영역으로 분류하였다. 집중도를 나타내기 위한 알파파, 베타파 등 각각의 뇌파 신호를 추출하여 EEG 평가 지수를 산출하였다. 또한, SCPT 검사 변수들의 평가 값들을 종합하여 SCPT 평가 지수를 산출하였다. 앞서 산출한 두 개의 EEG, SCPT 평가 지수를 통해 집중도 지수를 산출하여 사용자의 객관적인 집중도를 알아볼 수 있도록 하였다.

뇌파 데이터 분석 결과, Visual SCPT 콘텐츠는 주의집중도를 유의하게 증가시켰다. 이를 통해 주의집중과 관련된 콘텐츠를 수행할 때 관련 뇌파의 활성도가 높아짐을 확인할 수 있었다.

또한, Visual SCPT 콘텐츠를 수행할 때의 뇌파 변화와 SCPT 주의집중도의 변화가 양적 선형관계가 있다는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 뇌파 데이터를 사용하여 주의집중도를 측정할 수 있는 것 이외에도 Visual SCPT를 사용하여 주의집중도를 측정할 수 있다는 것을 확인하였다. 이는 외부 노이즈에 민감한 뇌파 데이터를 사용한 연구 결과의 신뢰성을 뒷받침할 때 사용할 수 있으며 보다 객관적인 주의집중도를 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

이러한 방법은 집중도와 밀접한 관련성이 있다고 알려져 있는 뇌질환 ADHD, 치매, 우울증과 뇌질환 예방 및 뇌질환 프리스크리닝 기술 개발에 효과적으로 적용될 것으로 예상되며, 사용자를 대상으로 측정된 주의집중도를 바탕으로 맞춤형 콘텐츠 제공 프로그램에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] Sang-Ho Lee, Sang-Chul Han, and Eun-Kyung Jang, "The Effects of Sports Massage on EEG Changes after Submaximal Exercise," *Korean Journal of Sports Science*, Vol. 17, No. 1, pp. 527-535, 2008.
- [2] In-Soon Park, and Byung-Un Park, "Optimization of brain function using neurofeedback - Focused on Clinical case," *Proceedings of Korean Jungshin Science Symposium*, Vol. 18, pp. 64-85, 2003.
- [3] Ji-Hye Jung, Jung-Yeol Kim, and Sung-Jae Lee, "Effects of Neurofeedback Training on Unstable EEG and Inactive EEG in Growing Children," *Proceedings of Korean Jungshin Science Symposium*, Vol. 25, pp. 205-231, 2006.
- [4] Hyun-Jung Lee, "The Effect of Room Temperature on the Attention of Residents by EEG Analysis", *Yonsei University Graduate School*, 2011.
- [5] Chung-Heon Lee, Jang-Woo Kwon, Gyu-Dong Kim, Jun-Eui Hong, Dae-Seob Shin, and Dong-Hoon Lee, "A Study on EEG based Concentration Transmission and Brain Computer Interface Application," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 46, No.2, pp. 41-46, 2009.
- [6] Hyun-Ju Lee, Dong-Il Shin, and Dong-Kyoo Shin, "The Classification Algorithm of Users' Emotion Using Brain-Wave," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 39C, No. 2, pp. 122-129, 2014.
- [7] Byung-Un Park, "Optimization of Brain Function by Interrelationship of EEG Bands," *Proceedings of Korean Jungshin Science Symposium*, Vol. 21, pp. 103-108, 2004.
- [8] Chung-Heon Lee and Jang-Woo Kwon, Gyu-Dong Kim, Jun-Eui Hong, Dae-Seob Shin, and Dong-Hoon Lee, "A Study on EEG based Concentration Transmission and Brain Computer Interface Application," *The Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control*, Vol. 46, No. 2, pp. 41-46, 2009.
- [9] Jong-Hun Jung and Gui-Bo Sim, "A Study on EEG Signal Analysis using PCA and LDA," *Institute of Control, Robotics and Systems*, pp. 708-711, 2011.
- [10] Hee-Won Lee, Dae-Hye Jeong, Down Ju, and Jin-Sook

- Lee, "A Study on the Electroencephalogram (EEG) Changes of Luminous Intensity and Color Temperature due to Attention," Korea Color Society Conference, pp. 80-83, 2016.
- [11] E. Krigolson, C. Williams, A. Norton, D. Hassall, and L. Colino, "Choosing MUSE : Validation of a Low-Cost," Portable EEG System for ERP Research, Vol. 11, pp. 1-10, 2017.
- [12] Sung-Jin Kim, Joo-Cheol Shim, Bo-Geum Kong, Je-Wook Kang, Jung-Joon Moon, Ji-Seop Lim, Im-Gyu Kim, Yeon-Sue Kim, Min-Kyung Oh, and Do-Un Jung, "Relationship between Psychopathology and Cognitive Function in Patients with Schizophrenia," Journal of the Korean Society of Biological Therapies in Psychiatry, Vol. 19, No. 2, pp. 108-118, 2013.
- [13] Conners CK, "The Continuous Performance Test(CPTII) : Multi - Health Systems Inc.: North Tonawanda," New York, 2004.
- [14] Jun-ho Park, Hyun-wook Kang, Ji-eun Lee, Jin-hyung Park, Dong-ik Lee and Sang-heun Lee, "Auditory Late Response(ALR) and P300 in normal adults," Korean Journal of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Vol. 44, No. 2, pp. 139-143, 2001.
- [15] Jong-Ha Kim, Ju-Yeon Kim, and Sang-Hee Kim, "A Study on the Analysis Method of Attention Characteristics in Convergent Search Situation in Cafe Space," Korean Institute of Interior Design Journal, Vol. 25, No. 2, pp. 30-40, 2016.
- [16] Sung-Su Park, Hwan Hu, and Woon-Sung Lee, "A Study on Pyhysiological Signal Changes Due to Distraction in Simulated Driving," Korean Journal of Ergonomics, Vol. 29, No. 1, pp. 55-59, 2010.
- [17] Joon-Soo Park, and Ju-Yeon Kim, "A Study on the Activation of EEG Attention on Seat Preferences in Cafe Space," Digital Design Studies, Vol. 16, No. 4, pp. 221-229, 2016.

## Authors



Jin Hyeok Park received a bachelor's degree in Computer Engineering from Gachon University in 2018. His primary research interests include Healthcare Information, Artificial Intelligence, Machine Learning.



Seok Hwan Kang received M.S degree in Electronic Engineering from Ajou University in 1997. He has worked for Ericsson-LG R&D Center in LG Group. He is currently a Professor in Department of Computer Engineering at Gachon

University. His primary research interests include Mobile System Architecture(LTE, 5G), AI, U-Healthcare and Project Management.



Byung Mun Lee, He received a B.S. degree in 1988 from Dongguk University, Seoul, Korea and a M.S. degree from Sogang University and a Ph.D. degree from University of Incheon Korea, in 1990 and 2007. He had worked for LG Electronics for

7 years. He is currently a professor in the department of Computer Engineering, Gachon University, South Korea. He had been at California State University Sacramento, USA from 2013 to 2014 as a visiting scholar. His research interests are Edge Computing, Wearable IoT Device, IoT for healthcare, wireless sensor networks, operating system, etc.



Un Gu Kang received Ph.D. degree in Computation Engineering from Inha University in 2001. He is currently a Professor in Department of Computer Engineering at Gachon University. His primary research interests include Mobile

Software, Healthcare Information, U-healthcare.



Young Ho Lee received a M.S. degrees from Hankuk University of Foreign Studies and a Ph.D. degree from Ajou University, Korea, in 1995 and 2007. He has worked for IBM Korea. He is currently a professor in the School of Computer Information

Engineering, Gachon University .of medicine and science, Korea. His research interests include AI and mobile healthcare.