

## Identification of fNIRS Brain Activity and Exploration of Deep Learning-Based Predictive Model in Self-Regulation Process Taking Mirror Task

Seung-Hyuk Kwon<sup>1)</sup> · Sang-Hee Park<sup>1)</sup> · Jin-Sun Park<sup>1)</sup> · Na-Rae Hwang<sup>1)</sup> · Yong-Ju Kwon<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>Korea National University of Education

### 거울 과제에 대한 자기조절 과정의 fNIRS 두뇌 활성 규명과 딥러닝 기반 예측 모델 탐색

권승혁<sup>1)</sup> · 박상희<sup>1)</sup> · 박진선<sup>1)</sup> · 황나래<sup>1)</sup> · 권용주<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>한국교원대학교

#### <ABSTRACT>

Self-regulation is one of important cognitive processes in learning to change the learner's schema by itself. However, its definition and process have yet been clearly clarified and no strategies that can be systematically measured have been proposed. In this study, we tried to find out the neural characteristics of self-regulation process consisting of assimilation, conflict and accommodation by analyzing subject's brain activity using fNIRS. In addition to the brain activity, a deep learning model was also developed for the process prediction of self-regulation. Forty-six high-school students were administered to take a mirror task inducing self-regulation, and their brain activities were measured and analyzed using fNIRS. As a result, the activities of both OFC and left DLPFC were found in the entire process of self-regulation. It can be seen that the process of self-regulation is mainly based on monitoring and evaluation of one's performance. In addition, the activities of FP and VLPFC were additionally shown in the accommodation phase. These results are presumably proposed that the goal-oriented multitasking and clarification using language might be two of major players in this process. In addition, a predictive model was developed through a deep learning process with an accuracy of 72.8% and a loss value of 0.309. These results are possibly suggested to know the characteristics of the brain level in self-regulation process and provided a basic information for the development and improvement of self-regulation. In addition, it can be used as a basis for developing a system capable of fast and accurate diagnosis and treatment for self-regulation.

**Key words** : Self-regulation, mirror task, assimilation, accommodation, fNIRS, OFC, DLPFC, deep learning

---

\* Corresponding Author : Yong-Ju Kwon, [kwonjy@knue.ac.kr](mailto:kwonjy@knue.ac.kr)

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea(No. 2019R1F1A1058641).

Received November 10, 2020; Reviewed November 14, 2020 Corrected November 19, 2020; Accepted November 19, 2020

© 2020. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

## I. Introduction

자기조절(Self-regulation)은 한 인간이 자신의 상태와 기능을 변화시키기 위해 스스로 행동과 생각을 변화시키고 통제하는 과정이다(Vohs & Baumeister, 2004). 자기조절은 사고력과 개념 구성 및 발전에 핵심적인 과정으로서, 학습자는 학습 과정에서 자신이 가진 자기조절 능력을 활용하게 되므로 학습에서 매우 중요하다고 여겨진다(Lawson, 1995). 자기조절의 개념은 생물학적 측면에서부터 시작한다. 생물에서의 자기조절은 생리학적 일정한 상태인 항상성(Homeostasis)을 유지하기 위한 내부 조절 기작 기능의 발현으로 볼 수 있다. 인지심리학에서는 자신의 의도와 목표, 자기 개념이 드러나도록 행동으로 옮기고 이를 수정하거나 외부 환경을 변화시켜 목표와 개념이 합치되는 결과를 가져오는 사고와 행동의 과정을 자기조절이라 한다(Fiske & Taylor, 1991). 이와 함께 피아제의 평형화 이론을 바탕으로 학습 이론까지 자기조절은 개인의 학습에서 바탕이 되는 근간을 차지하고 있으며 교육에서는 학습자의 조절 과정을 반드시 고려하는 중요성을 가진다.

그러나 자기조절을 통한 학습은 그 중요성에 비해 정의, 과정 등의 개념이 불명확하다. 앞서 언급한 생물학, 인지심리학, 교육학 뿐 아니라, 행동경제학, 조직심리학 등 많은 분야에서 다루어지고 있고, 오랜 기간 다루어오면서 그 개념 또한 매우 다양하게 분화된 상황임에 따라, 통합이 어려워 다양성이 오히려 연구의 장애가 되고 있는 상황이다(Winne, 1995). 또한 개인 학습 관점에서 자기조절을 대상으로 연구할 때의 큰 제약은 바로 행동으로 쉽게 관찰할 수 없다는 점이다. 자기조절의 특징으로서 ‘도식의 변화’가 대표적이다. 도식 변경에 의한 인지과정의 변화 중 일부가 행동으로 나타나게 되는데, 문제는 우리가 자기조절의 핵심 단계인 도식 변화를 실제로 관찰할 수 없다는 것이다. 실제 관찰이 불가능하다는 점은 자기조절의 특징에 대한 객관적이며 정량적인 연구를 어렵게 하고 학습자의 자기조절에 대한 판단을 어렵게 하여, 결국 높은 신뢰도를 가진 이론 수립과 학습 전략 개발에 어려움을 주고 있는 상황이다.

이에 따라 최근 교육 연구에서는 기존 연구 방법의 제한점을 보완하고자 다양한 시도를 하고 있으며 그 중에는 인지적 활동의 과정을 직접 관찰할 수 있는 신경과학적 접근이 널리 활용되고 있다. 신경과학적 접근은 뇌전도, 뇌자도, 기능적 자기공명영상, 근적외분광법, 시선추적 등의 연구 방법을 활용하여 실제 학습 과정의 두뇌 활성 또는 시선을 실시간으로 측정하고 이를 분석한다. 이를 활용하여 과학적 탐구, 융합 사고와 같이 고차원적이며 복잡한 사고 과정을 규명한 사례가 있으며(Kwon & Lee, 2000; Kwon et al., 2016), 청소년 발달에 대한 설득력 있는 모형을 실제적인 증거와 함께 제시하기도 한다(Blakemore & Choudhury, 2006).

신경과학적 연구방법 중 최근 각광을 받는 기술로서 기능적 근적외분광법(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)이 있다(Park et al., 2020b). 이 방법은 신체를 투과하는 빛의 특성을 이용하여 혈중 산소헤모글로빈 및 탈산소헤모글로빈의 농도 변화를 산출할 수 있다. 따라서 이를 두뇌에 적용하면 산소헤모글로빈의 농도와 상관성이 매우 높은 두뇌 활성을 측정할 수 있다. 또한 이를 위하여 조영제 등이 필요 없는 비침습적 방법이다. 특히 다른 신경과학 연구방법과 비교하여 측정 장비의 크기가 작아 이동이 가능하며, 피험자의 움직임에 비교적 자유로워 피험자가 수행 가능한 과제의 폭이 넓다. 이와 같은 이유로 최근 학습 연구에서 활발히 활용되고 있다.

더불어, 최근 복잡한 데이터 속에서 경향성을 찾아 결과를 예상하거나 분류해내는 방법으로 딥러닝(Deep Learning) 기술이 각광을 받고 있다. 딥러닝은 인간의 신경 구조를 단순화하여 표현한 인공신경망을 근간으로 하는 기술이며, 특정 입력값에 대한 계산을 거친 출력값을 예측값으로 하여 사전 레이블링 된 데이터와의 오차를 교정하는 전략으로 모델을 생성한다(Schmidhuber, 2015). 두뇌 데이터 또한 이러한 방식으로 모델링과 예측이 가능하다(Kevric & Subasi, 2017).

따라서 본 연구에서는 fNIRS를 활용하여 자기조절에 대한 과학적이고 정량적인 연구 결과를 제시하여 설득력 있고 실제적인 자기조절의 특성을 규명하고 평형/비평형 예측 전략을 제시하고자 한다. 이를 위해 Park et al. (2020a)이 제시한 거울 과제

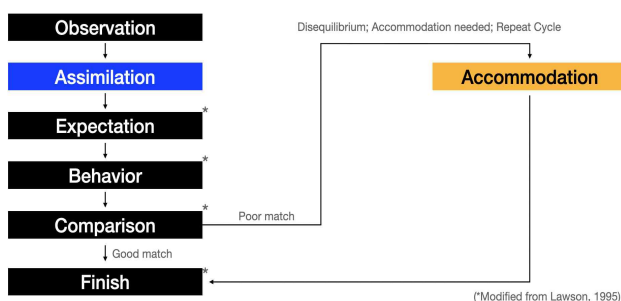
를 활용하여 고등학생들이 과제 수행에서 나타나는 학습자의 자기조절 과정에서의 두뇌 활성을 측정하였다. 또한 측정에 앞서, 기존의 Park et al. (2020a)이 제시한 자기조절 모형이 갖고 있는 일부 불분명한 제한점을 보완하고, 자기조절의 과정을 세분화하여 조작적이며 분석적으로 접근할 수 있도록 수정모형을 제시하여 이에 따라 자기조절의 두뇌 활성을 분석하였다. 또한 이 결과를 바탕으로 딥러닝 기술을 이용하여 예측 모형을 탐색적으로 개발하였다.

## II. Process of Self-regulation

### 1. Limitations of the Self-regulation Model

자기조절 학습을 위한 대표적인 모형으로는 Lawson (2003)의 자기조절 모형(Self-regulation model)이 있다. 이에 의하면, 과제의 관찰(Observation)된 정보는 현재의 도식에 의해 동화(Assimilation)를 시작하고 예상 결과를 도출(Expectation)하며 실제 수행(Behavior) 후 결과를 확인하여 예상 결과와 비교(Comparison)한다. 만약, 예상 결과와 실제 결과가 일치한다면(Good match), 동화는 완료되며 과제는 끝나게 된다. 그러나 일치하지 않는다면(Poor match) 비평형(Disequilibrium)이 발생하게 된다. 불평형은 대안적인 정신 구조를 형성하는 조절(Accommodation)을 추구하며 결과적으로, 대안적인 도식을 고안하고 평형을 회복하기 위해 예상 결과와 실제 결과 사이에 일치가 일어날 때까지 사이클을 반복한다. 이상을 도식화하면 다음 [Figure 1]과 같다.

위 모형은 동화와 조절을 바탕으로 새로운 지식을 생성하기 위한 과정을 명확히 나타낸 모형이다.



[Figure 1] The process model of self-regulation (Lawson, 2003)

그러나 지금까지 연구된 결과들에 비추어 본 모형은 몇 가지 제한점을 가진다. 우선, 비평형에 대한 상세한 설명이 부족하다는 것이다. 과제 수행의 예상 결과와 실제 결과를 비교하여 정합하지 않을 때는 비평형 상태로 진입한다. 비평형상태에서는 평형상태로 도달하기 위하여 새로운 도식을 생성하려는 자발적인 조절이 발생할 수 있다. 그러나 모든 학습자에게 동일하게 조절이 일어나지 않으며 성공 및 실패도 조건에 따라 다르게 발생한다. 그렇다면 비평형 상태는 모든 학습자에게 항상 동일한 것인가? 아니면 과제마다 다른 것인가? 무엇이 이러한 차이를 만드는가? 위 모형은 이러한 질문에 대한 답을 내어 놓지 못하고 있다.

비평형 상태에 대한 널리 알려진 이론으로는 인지갈등모형이 대표적이다. Hashweh (1986)는 선입개념과 새로운 현상 사이의 갈등, 선입개념과 과학개념 사이의 갈등을 겪는다고 하여 갈등의 개념을 구체화시켰다. 따라서 자기조절 모형의 비평형상태에서는 기존 도식과 가상의 새로운 도식이 있으며 관찰된 사실과 기존 도식 사이에는 갈등이 존재한다. 따라서 비평형상태를 갈등(Conflict) 상태로 표현하여 갈등의 대상을 구체화 시킬 수 있을 것이다.

다음으로 조절이 어떻게 일어나는지, 다시 말해 새로운 도식은 어떻게 생성되는지 그 과정을 자세히 제시하지 못하고 있다는 것이다. 새로운 도식의 생성은 자기조절 모형에서 학습의 주요 기작이다. 이 과정이 원활히 일어나지 않을 경우 학습이 완료되지 못한다. 그러나 위 모형에서는 조절이 필요하고, 조절이 일어난다고 언급할 뿐, 구체적인 절차나 과정, 조건 등을 제시하지 못하고 있다.

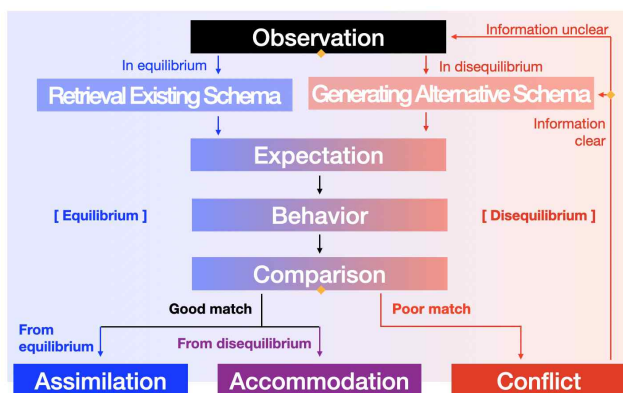
대안적 도식 고안을 세부적으로 설명한 가장 대표적인 연구는 Kwon et al. (2011)의 연구가 있다. 이 연구에서는 관찰, 분류, 의문생성과 함께 과학학습에서 대안적 도식인 가설을 창안하는 과정을 의문 상황 동정, 경험상황 동정, 원인적 설명자 동정, 가설적 설명자 고안으로 제시한다. 이후 실험을 설계하고 수행하여 가설을 평가하여 새로운 가설의 생성을 완료한다. 이와 같은 가설의 고안, 적용, 평가의 과정을 대안적 도식 생성을 위한 조절 과정의 세부 과정으로 제안할 수 있을 것이다.

이 외에도 반복 회로(Repeat cycle)를 제대로 표현

하고 있지 못한 점 또한 제한점이 된다. 자기조절의 과정에서 대안적 도식 생성을 위한 조절을 위하여 관찰, 도식 고안, 예상, 적용, 평가를 반복하는 것으로 예상할 수 있을 것이다. 또한 동화와 조절 과정의 범위의 명확한 구분이 불가능하다. 동화와 조절 모두 외부 환경이 자신의 도식으로 설명이 가능할 때 완료된다(Lawson, 2003). 따라서 평형상태에서는 기존 도식 또는 비평형 상태에서는 대안적 도식의 활용부터 예상, 행동, 비교를 통해 일치가 이루어지는 과정을 각각 동화와 조절의 범위로 설정해야 한다.

## 2. Modified model of Self-regulation

이상의 논의를 바탕으로 Lawson (2003)의 자기조절 모형을 수정하면 다음 [Figure 2]와 같다. 처음 과제를 시작할 때, 학습자는 관찰 후 평형 상태에서 과제와 관련된 기존 도식을 자신의 인지구조에서 인출한다. 과제 정보를 기존 도식으로 해석하여 예상 결과를 산출하고 실제 행동 후 예상과 실재를 비교한다. 일치할 경우 동화 과정이 완료되며, 불일치할 경우 갈등 과정으로 종료되고, 비평형상태가 된다. 비평형상태에서는 과제 정보가 명확한 정보에 따라 관찰 단계로 되돌아간 후, 비평형상태에서 대안적 도식을 생성하거나, 바로 대안적 도식을 생성하는 단계로 들어선다. 대안적 도식이 생성되면 처음과 마찬가지로 예상, 행동, 비교 과정이 진행되며, 일치할 경우 조절이 완료되어 자기조절이 완료된다. 그러나 불일치할 경우 갈등 과정으로 종료되어 이상을 반복한다. 학습자는 언제든지 과제를 포기할 수 있으며 이 경우 자기조절은 실패한다.



[Figure 2] Modified process of self-regulation.

이상의 과정에 따라, 자기조절은 ‘과제를 수행할 때, 관찰된 자연 현상과 기존 도식의 합치 여부를 판단하여 평형상태를 유지하거나, 불합치에 따라 비평형상태로 변경되어, 판단과 피드백을 통해 자연현상과 합치되는 새로운 도식을 생성하여 다시 평형상태에 도달하는 과정’으로 정의할 수 있다.

또한 동화는 ‘과제를 수행하는 과정에서, 자연 현상을 관찰하며, 기존의 도식을 불러오고 이를 이용하여 예상, 행동 후 예상 결과와 행동 결과를 비교한 결과, 서로 합치되어 기존 도식이 유지되고 평형이 유지되는 과정’이라고 정리할 수 있다. 갈등의 경우 ‘과제를 수행하는 과정에서 평형 상태에서 자연현상을 관찰하며 기존 도식을 불러오거나, 비평형 상태에서 자연 현상을 다시 관찰하거나 대안적 도식을 형성하고 이를 이용하여 예상, 행동 후 예상 결과와 행동 결과를 비교한 결과, 서로 불합치 되어 비평형상태로 변경되거나, 기존의 비평형상태가 유지되는 과정’이라 정리할 수 있다. 마지막으로 조절은 ‘과제를 수행하는 과정에서 비평형상태에서 자연현상을 다시 관찰하거나 대안적 도식을 형성하고, 이를 이용하여 예상 및 행동 후 예상 결과와 행동 결과를 비교한 결과, 서로 합치되어 대안적 도식이 기존 도식을 대체하고 평형이 유지되는 과정’으로 정의할 수 있다.

## III. Materials and Methods

### 1. Participants

본 연구는 실제 연구 수행 및 피험자 모집 전, 한국교원대학교 생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받았다(KNUE-2019-H-00242). 연구 참여자는 중부지역 일반계 고등학생 46명(F:31)을 선정하였으며, 평균 나이는 17.02(SD=2.56)세였다. 모든 피험자는 본인 및 보호자를 대상으로 연구에 대한 자세한 설명과 개인정보 보호에 대하여 설명하고 및 자발적 연구 참여 동의를 받았다. 거울 과제 수행에 어려움이 없는 정상적인 시력임을 확인하였고, 수지운동능력 또한 정상임을 확인하였다. 또한 두뇌 활성 측정을 위하여 오른손잡이만을 선발하였고, 정신질환 및 신경

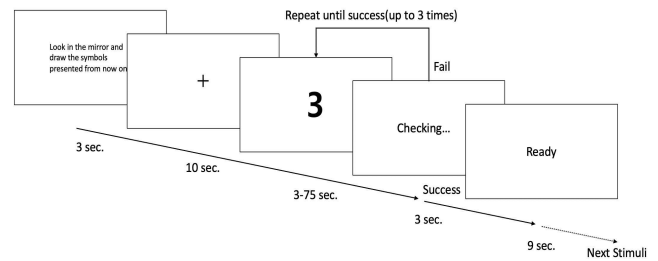
학적 수술 및 처치가 없는 학생만을 선발하였다. 수행 후에는 인지적 또는 정서적으로 정상적인 수행을 하였는지 간단히 면담하였고, 46명 모두 안정적인 측정이 이루어졌음을 확인하였다.

## 2. fNIRS Task Design

자기조절 과정에서의 두뇌 활성을 측정하기 위하여 Park et al. (2020a)이 제안한 거울 과제(Mirror task)를 선정하였다. 이 연구에 따르면, 자기조절을 위해서는 학습자가 부분적으로는 이해할 수 있으나 완전히 이해할 수는 없는, 도전적이지만 해결할 수 있는 과제가 자기조절을 일으킬 수 있다고 한다. 거울 과제는 이러한 조건을 만족시켜 탐구 학습에서 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 Park et al. (2020a)의 과제 수행 절차를 그대로 따랐으며, 거울로 제시할 기호와 각 기호의 제시 순서는 학습연구 전문가 2인과, 현직 교사 3인의 5차례에 걸친 세미나를 통해, 거울 수행의 어려운 정도와 과제 제시의 점진성에 따라 3, 7, 4, 5, y를 대상으로 하고, 본 순서로 제시할 것을 설계하였다. 피험자는 제시된 기호를 보고, 거울에 비춰진 모습이 제시된 기호와 동일하도록 그리게 된다. 그 과정에서 상이 상하반전임을 파악해야 하며, 이를 자신의 그리기 행동에 반영해야 한다. 또한 그리는 과정에서 거울을 보고 실시간으로 자신의 그리기 결과를 파악한다.

## 3. Experiment Procedure

자기조절의 동화, 갈등, 조절에 해당하는 각 과정의 두뇌 활성을 측정하기 위하여 Park et al. (2020a)이 제시한 거울 과제 수행 방법을 그대로 따랐다. 이를 위하여 다음 [Figure 3]과 같이 과제를 구성하였다. 거울을 보고 그려야 할 기호 1개당 기호 제시 전에 과제 안내 3초, 고정 10초를 배치하였고, 기호 그리기는 3초에서 최대 75초 이내에 진행하도록 하였다. 각 시도(trial)는 그리기 시작할 때부터 종이로부터 펜을 들어올리기까지를 범위로 하였으며 시도가 끝나면 연구자가 성공 여부를 판단한다. 실패한 경우 다시 기호를 보여주어 다음 시도를 진행하도록 하였으며, 각 시도는 75초 이내에서 최



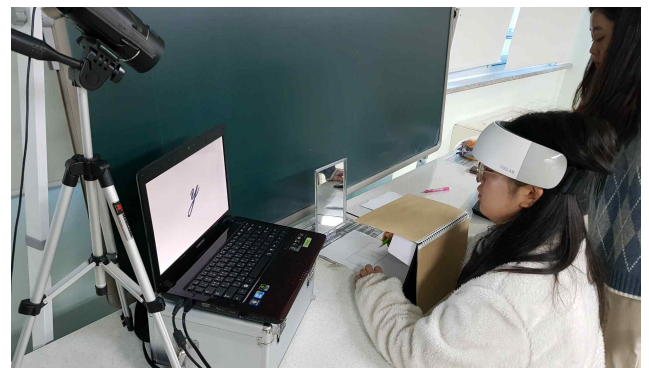
[Figure 3] Task paradigm for mirror task

대 3회 반복 가능하도록 하였다. 성공하거나, 또는 한 기호 당 75초를 모두 사용하였거나, 또는 반복 횟수가 3회를 초과하면 다음 기호로 자동으로 넘어가도록 하였다.

본 과제 수행 전에는 하트 모양의 연습 과제를 수행하게 하여 과제 진행에 대해 익숙해지도록 하였으며, 별도의 평가를 진행하지 않아 거울 과제의 수행 전략을 사전에 세우는 것을 방지하였다.

## 4. Data Collect

두뇌 활성 자료 수집을 위하여 Park et al. (2019)이 사용한 연구 장비와 수행한 연구 방법을 그대로 따랐다. 다만 거울 과제 수행을 위하여 측정 환경을 그림 [Figure 4]와 같이 조성하였다. 그러낼 기호 제시를 위해 피험자 정면에 노트북을 제시하고 그 오른 쪽에 거울과 피험자가 사용할 펜과 종이를 배치하였다. 자신의 손이 보이지 않도록 가림막을 종이와 피험자 사이에 배치하였다. 연구자는 피험자의 옆에서 과제 수행 결과 판정과 자극 진행, 특이사항 점검을 하였다. 모든 수행은 캠코더를 이용하여 녹화하였다.



[Figure 4] Experiment environment and scene of experiment execution

피험자의 두뇌 활성 측정을 위하여 f-NIRS 기반 두뇌 활성 측정 기기인 NIRSIT (OBELAB, Seoul, Korea)을 활용하였으며 과제 제시용 시스템과 별도의 시스템에서 자료를 수집하였다. 피험자 시야의 밖에 측정 시스템을 두어 피험자가 연구자의 화면에 주의를 기울이는 것을 방지하였다.

## 5. Data Analysis

두뇌 활성 분석을 위하여 48개 채널의 자료를 대상으로 전처리를 수행하였으며 혈중 산소 헤모글로빈 농도 변화를 계산하기 위한 1차 전처리 방법은 Park et al. (2019)와 같다. 동화, 갈등, 조절의 단계 코딩을 위하여 각 단계를 수정된 자기조절 모형의 단계별 조작적 정의에 따라 분류하였다. 새로운 기호를 대상으로 과제를 수행할 때 처음 시도에서 성공하는 경우를 동화라고 분류하였다. 그리고 시도가 실패한 경우 전체를 갈등으로 분류하였으며, 직전 시도에서 실패한 후 성공한 시도를 조절로 분류하였다. 측정 시 그리고 촬영된 영상을 바탕으로 5인의 연구자들이 검토 후 전원 일치로 각 과정을 분류하였으며, 각 과정에 해당하는 자료를 대상으로 통계 처리를 진행하였다.

1차 전처리를 통해 계산된 피험자별 혈중산소헤모글로빈 변화량을 대상으로 wavelet-MDL (Minimum Description Length) detrending을 활용하여 잡음 및 인공 신호를 제거하고 혈류역학함수(HRF)를 적용하기 위하여 Matlab (v2020b)와 NIRS\_SPM (Ye et al., 2009)를 이용하여 2차 전처리를 수행하였다.

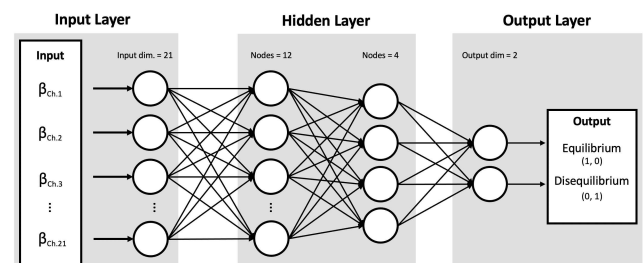
피험자별 동화, 갈등, 조절의 각 과정별 활성을 도출하기 위하여 피험자별로 1수준 통계 분석과 집단 분석을 위해 2수준 통계분석을 실시하였다. 마찬가지로 Matlab (v2020b)와 NIRS\_SPM (Ye et al., 2009)를 이용하였다. 일반화선형모형(GLM)을 구성하여 피험자별, 채널별, 과정별 활성 계수를 산출하였으며, 이를 활용하여 과정별 활성 영역을 도출하였다. 한편 채널별 단일표본t검정을 통해  $\alpha = 0.05$  수준에서 각 과정별로 유의미한 활성을 보인 채널을 도출하였고, 이를 해부학적 영역별, 브로드만 영역별, 좌우 반구별로 정리하였다. 그리고 채널의 해부학적 위치와 활성 정도를 BrainNet Viewer v1.7 (Xia, Wang & He, 2013)을 이용하여 시각화하였다.

## 6. Deep Learning Modeling

딥러닝 모델 개발은 Python 3.6, TensorFlow 2.0, Keras 2.4, Numpy 1.18 환경에서 이루어졌다. 모델의 데이터 셋은 앞서 1수준 통계분석에서 산출한 각 피험자의 채널별, 과정별 활성 계수 중에서 활성 분석 결과 과정별로 유의미한 차이를 보인 21개 채널의 활성계수를 대상으로 하였다. 또한 평형과 비평형 예측을 위하여 동화 과정은 평형, 갈등 및 조절 과정은 비평형으로 라벨링하였다.

모델 구조 아래의 [Figure 5]와 같다. 1개의 입력층, 2개의 은닉층, 1개의 출력층으로 구성하였다. 입력층의 노드는 데이터셋과 동일하게 21개로 구성하였다. 첫 번째와 두 번째의 은닉층의 노드의 수는 각각 12, 4이며 활성화함수는 각각 'relu'와 'swish'이다. 출력층의 노드의 수는 평형 또는 비평형을 나누기 위하여 2개로 설정하였으며, 이에 따라 활성화함수는 'softmax'로 설정하였다.

모델 훈련을 위해 epoch는 3,500, batch size는 3으로 하였으며 과적합을 피하기 위해 데이터 셋 중 20%를 평가 셋으로 'early\_stopping\_callback' 함수를 활용하였다. 이 후 정확도와 손실값을 계산하였다.



[Figure 5] Structure of deep learning model

## IV. Results

### 1. Brain Activation of the Assimilation during Self-regulation

거울 과제 수행 중 동화 단계에서 나타나는 유의미한 두뇌활성은 <Table 1> 및 [Figure 5]와 같다 ( $p < 0.05$ ). 좌우 반구의 배외측전전두피질(Dorsal

Lateral Prefrontal Cortex, DLPFC) 및 브로드만 영역(Brodman Area, BA) 10에 해당하는 18번과 20번 채널에서 유의미한 활성이 나타났다. 또한, 좌우 반구의 안와전두피질(Orbitofrontal Cortex, OFC) 및 BA 11에 해당하는 15번, 29번, 30번, 31번, 32번 채널에서 유의미한 활성이 나타났다.

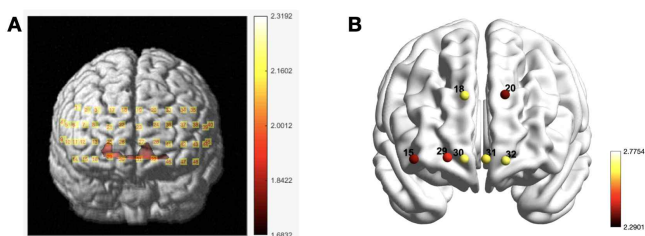
OFC는 좌우 반구 모두 넓은 영역에 걸쳐 활성이 나타났으며, DLPFC는 좌우 반구 모두 활성이 나타났으나 활성영역은 좁고, 각 반구 당 단일 채널에 한정되었다. t-value의 최댓값 또한 OFC에 해당하는 32번 채널에서 나타났으며, 최솟값은 DLPFC에 해당하는 20번 채널에서 나타났다. 따라서 동화 과정에서 OFC와 DLPFC가 활성화되며, OFC는 비교적 넓은 범위에서 활성화가 일어남을 확인하였다.

거울 과제의 동화 과정에서는 기존의 도식에 기반하여 기호를 그리게 되며, 이 과정에서 자신의 수행 결과를 매 순간마다 확인하고 평가한다. 이러한 과정은 학습 과정에서 동기-보상 측면에서 중추적인 역할을 하며(Lee, Byeon & Kwon, 2012), 최근 Ballesta et al. (2020)과 Stalnaker, Cooch & Schoenbaum (2015)의 연구에서 보고되듯 자신의 인지적 선택에 대한 주관적 가치 부여를 통해 동기화에 기여한다고 여겨지는 OFC의 기능과 일치한다.

<Table 1> Activation channels of the assimilation

| Region | BA | Hemisphere | Channel | t       |
|--------|----|------------|---------|---------|
| DLPFC  | 10 | R          | 18      | 2.65991 |
|        |    | L          | 20      | 2.38107 |
| OFC    | 11 | R          | 15      | 2.39659 |
|        |    |            | 29      | 2.46363 |
|        |    | L          | 30      | 2.68165 |
|        |    |            | 31      | 2.64002 |
|        |    |            | 32      | 2.68437 |

(BA: Brodmann Area, DLPFC: Dorsal Lateral Prefrontal Cortex, OFC: Orbitofrontal Cortex,  $p<.05$ )



[Figure 6] Brain activation of the assimilation. (A: Significant area of activation, B: Significant channel of activation,  $p<.05$ )

따라서 자기조절의 동화 과정에서는 자신의 선택에 평가 및 가치 부여가 중요하게 작용하며 이것이 학습동기에 영향을 줄 수 있음을 예상할 수 있다.

한편, 거울 과제의 수행을 위해서 시각적으로 제시된 과제 관련 정보와 자신의 도식에 의한 전략을 통합하는 작업이 필수적이라 예상할 수 있다. 두뇌의 좌우 반구에서 활성이 보고된 DLPFC는 집행기능을 수행할 때, 특히 작업 기억의 정보 조작 시 높은 활성이 일어나는 것으로 알려져 있다 (Mars & Grol, 2007; Schmidt et al., 2018). 따라서 자신의 행동과 수행에 집중하고 있으며, 이 과정에서 눈앞의 시각적 정보에 도식을 적용하는 것으로 볼 수 있다.

## 2. Brain Activation of the Conflict during Self-regulation

거울 과제 수행 중 갈등 단계에서 나타나는 유의미한 두뇌 활성은 <Table 2> 및 [Figure 6]과 같다 ( $p<.05$ ). 좌반구의 DLPFC 및 BA 10에 해당하는 20번 채널과, 좌우반구의 OFC 및 BA 11에 해당하는 15, 29, 30, 31, 32번 채널에서 유의미한 활성이 나타났다.

OFC는 동화 과정과 마찬가지로 좌우 반구에 모두 활성이 나타났으며, DLPFC는 좌반구의 일부 영역, 단일 채널에 한정되었다. 우반구의 DLPFC의 경우, 3번 채널 주변에서 유의미한 영역이 보고되었으나, 실측된 채널 데이터 상 유의미한 활성이 나타나지 않았다( $p=0.21$ ). t-value의 최댓값은 OFC의 30번 채널에서 나타났으며, 최솟값은 OFC 내의 32번 채널에서 나타났다. 따라서 갈등 과정에서는 양측 OFC와 좌측 DLPFC가 활성화되며, 동화 과정과 마찬가지로 OFC에서 더 넓은 영역의 활성화를 확인하였다.

거울 과제의 갈등 과정은 기존의 도식에 기반하여 기호를 그린 결과, 동일하게 그리지 못하여 과제 수행에 실패하는 과정이다. 동화 과정과 마찬가지로 자신의 수행 결과를 실시간으로 평가하지만, 자신의 수행 결과가 목표에 부합하지 않아, 기존 도식을 적용하지 못하는 인지적 갈등 또는 부조화를 겪는다. 따라서 갈등 과정에서는 동화와 마찬가지로 OFC 및 DLPFC의 활성을 예상할 수 있으며, 학습동기,

&lt;Table 2&gt; Activation channels of the assimilation

| Region | BA | Hemisphere | Channel | t       |
|--------|----|------------|---------|---------|
| DLPFC  | 10 | L          | 20      | 2.70256 |
|        |    |            | 15      | 2.58488 |
|        |    | R          | 29      | 2.70725 |
| OFC    | 11 | R          | 30      | 2.83485 |
|        |    |            | 31      | 2.74559 |
|        |    | L          | 32      | 2.27754 |

(BA: Brodmann Area, DLPFC: Dorsal Lateral Prefrontal Cortex, OFC: Orbitofrontal Cortex,  $p < .05$ )

선택 및 수행 평가로 대표되는 OFC의 기능(Ballesta et al., 2020; Lee, Byeon & Kwon, 2012; Stalnaker, Cooch & Schoenbaum, 2015)이 중요한 역할을 하고 있는 것으로 추정할 수 있다.

그러나 DLPFC의 경우 좌반구 편측성이 나타났다. Murphy et al. (1998)의 연구에 따르면, 시각적 작업 기억의 조작 시에는 우측, 언어적 작업 기억의 조작 시에는 좌측 편측성이 나타난다. 따라서 시각적 정보와 언어적 정보 모두를 대상으로 처리하는 것으로 여겨지는 동화 과정과 달리, 갈등 과정에서는 언어적 정보의 조작을 중심으로 도식의 인출(retrieval)과 행동 결과의 평가가 이루어지는 것으로 추측할 수 있다.

한편 비평형 상태의 갈등 과정과 동화 과정의 두뇌 활성이 매우 유사하게 도출된 점은 비평형 상태가 조절을 이끄는 특성이 있으며, 인지갈등으로 인한 감정의 변화 등을 유도한다는 점에서, 비평형 상태에 대한 인지적 접근을 통한 동화와 갈등의 구분이 명확하지 않을 수 있음을 뜻한다. 따라서 비평형 상태의 특성과 이와 관련된 조절 수행의 추가 연구가 필요해 보인다.

### 3. Brain Activation of the Accommodation during Self-regulation

거울 과제 수행 중 조절 단계에서 나타나는 유의미한 두뇌 활성은 <Table 3> 및 [Figure 7]과 같다( $p < 0.05$ ). 양반구의 DLPFC 및 BA 9에 해당하는 3, 33번 채널, BA 10에 해당하는 18, 20, 43번 채널, 좌우반구의 복외측전전두피질(Ventral Lateral Prefrontal Cortex, VLPFC) 및 BA 10에 해당하는 44번 채널,

BA 45에 해당하는 45번 채널에서 유의미한 활성이 나타났다. 또한 좌우 반구의 전두극(Frontal Pole, FP) 및 BA 10에 해당하는 7, 8, 21, 23, 24, 27, 28, 36번 채널과 좌우 반구의 OFC 및 BA 11에 해당하는 15, 29, 30, 31, 32번 채널, 좌측 OFC 및 BA 47에 해당하는 48번 채널에서 유의미한 활성이 나타났다.

활성 데이터 수집이 가능한 좌우 반구 총 8개 영역 중 7개 영역에서 유의미한 활성이 관찰되었으며, DLPFC, FP, OFC의 경우 양측 반구 모두 활성이 나타났다. VLPFC는 좌측만 활성이 나타났다. t-value의 최솟값은 좌측 VLPFC의 45번 채널에서 관측되었으며, 최댓값은 좌측 VLPFC의 44번 채널에서 관측되었다. 이는 동화, 갈등 과정에 비해 훨씬 넓은 영역의 활성화 결과로서 조절 과정에서 전전두엽이 광범위하게 활성화가 되는 것으로 볼 수 있다.

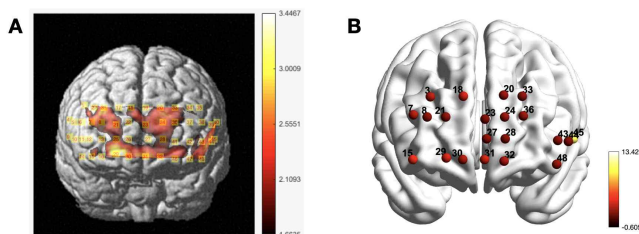
조절 과정은, 기존의 도식으로 거울 과제의 해결이 불가능함을 깨닫고, 인지적 갈등 상황에서 목표로 하는 기호를 그려내기 위한 전략을 고안하여 적용 및 평가하여 기존과 다른 새로운 도식을 형성하는 과정이다. 따라서 동화 및 갈등 과정에 동일하게 학습동기, 선택 및 가치화, 언어적 정보 기반의 작업 기억을 조작하는 좌우측 OFC 및 좌측 DLPFC에서 유의미하게 활성화되었음을 알 수 있다. 특히 동화 및 갈등에 비해 두 영역에 해당하는 채널의 t-value가 높게 산출된 점은, 새로운 도식을 생성하고 적용, 평가하는 과정에서 해당 영역의 기능을 적극적으로 활용했을 수 있음을 나타낸다.

조절 과정에서 특이적으로 활성이 나타난 45번 채널과 48번 채널은 각각 좌측 VLPFC 및 OFC로 언어적 정보처리를 담당하는 것으로 널리 알려진 Broca 영역이다. 이 영역은 인지적 처리와 관련하여 작업 기억 내의 정보를 명확하게 하는 데에 기여한다(Badre & Wagner, 2007). 48번 채널에 해당하는 BA 47은 기억된 개념에 대한 접근을 조절하고, 45번 채널에 해당하는 BA 45는 활성화된 정보의 경정 중에서 정보를 선택하는 기능을 담당한다. BA 45, 47을 대상으로 한 유사한 활성이 과학적 가설 생성에 대한 연구들(Kwon & Lee, 2009; Lee & Kwon, 2012)에서 보고되었다. 과학 학습에서 가설을 생성하는 과정과 거울 과제에서 새로운 도식을

&lt;Table 3&gt; Activation channels of the assimilation

| Region | BA | Hemisphere | Channel  | t       |
|--------|----|------------|----------|---------|
| DLPFC  | 9  | R          | 3        | 3.07005 |
|        |    | L          | 33       | 2.36473 |
|        | 10 | R          | 18       | 3.64408 |
|        |    | L          | 20       | 2.52812 |
| 43     |    |            | 2.37130  |         |
| VLPFC  | 45 |            | 44       | 2.02480 |
|        |    | 45         | 10.79292 |         |
| FP     | 10 | R          | 7        | 3.09529 |
|        |    |            | 8        | 2.23531 |
|        |    |            | 21       | 2.26231 |
|        |    | L          | 23       | 2.14581 |
|        |    |            | 24       | 2.59014 |
|        |    |            | 27       | 2.20862 |
|        |    |            | 28       | 2.10340 |
|        |    |            | 36       | 2.53217 |
| OFC    | 11 | R          | 15       | 4.65095 |
|        |    |            | 29       | 3.92435 |
|        |    |            | 30       | 2.85460 |
|        |    | L          | 31       | 3.61901 |
|        |    |            | 32       | 3.05097 |
|        |    |            | 47       | 48      |

(BA: Brodmann Area, DLPFC: Dorsal Lateral Prefrontal Cortex, VLPFC: Ventral Lateral Prefrontal Cortex, FP: Frontal Pole, OFC: Orbitofrontal Cortex,  $p < .05$ )



[Figure 7] Brain activation of the accommodation. (A: Significant area of activation, B: Significant channel of activation,  $p < .05$ )

고안하는 과정은, 과제를 해결하기 위하여 이와 관련된 과거의 경험들을 떠올리고 이 중에서 관련성 또는 해결 가능성이 높은 것을 선택하여 새로운 가설적 인지구조를 고안한다는 점에서 매우 유사하다. 이 과정에서 BA 47은 외측측두피질과 기능적으로 연결되어 장기 기억의 개념에 접근하여 발산적 정보 인출을 수행한다. 본 과제에서도 거울과 관련하여 반사, 대칭, 거울상 등의 개념을 인출하여 대안적 인지구조의 고안에 활용했을 것으로 여겨진다.

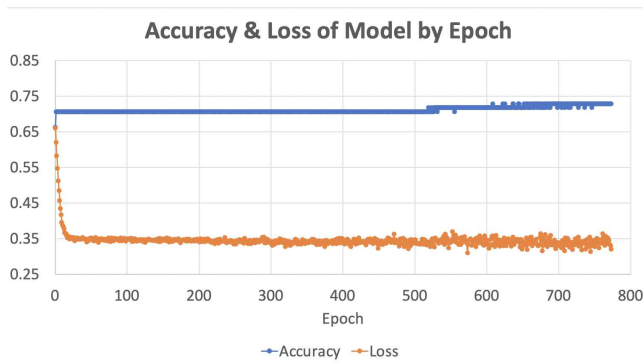
조절 과정에서 유의미한 활성이 보고된 FP는 인지적 가지치기, 계획 등 목표 지향적 다중작업에서 주로 활성을 나타내는 것으로 알려져 있으며 OFC의 조절을 받는 것으로 알려져 있다(Koechlin & Hyafil, 2007; Kwon, Eom & Kwon, 2014). 조절 과정에서는 목표가 뚜렷하게 정해져 있으며, 자신의 움직임에 따라 피드백이 연속적으로 일어난다. 따라서 목표 상황에 대한 인지, 거울에 비친 손의 관찰, 손 움직임의 조절, 결과의 평가가 동시에 다중으로 일어나게 된다. 따라서 목표 지향적인 다중 작업으로 인하여 FP의 활성이 나타난 것으로 보이며, 특히 FP의 활성은 목표 부합과 관련된 동기보상에 따라 OFC의 조절을 받으므로 동시에 활성이 나타난 것으로 보인다.

또 다른 유의미한 채널인 3번과 33번의 경우 BA 9에 해당하며 이 영역은 오류 탐지, 공간 정보를 대상으로 한 연역적 추론, 가설 생성 등 추상적 정보의 2차적 통합에 관여하는 것으로 알려져 있다(Chevrier, Noseworthy & Schachar, 2007; Green et al., 2006; Kwon & Lee, 2009). 2차적 정보 통합의 관점에서 FP는 목표지향적인 다중작업에 관련되어 있다면, BA 9는 추론의 기능을 담당한다. 대안을 고안하고 평가하는 과정에서 언어적 추론은 물론 거울 과제 수행에서 필기구의 움직임에 따라 그려지는 결과를 예상하는 활동이 주로 이루어지므로 이 영역의 활성이 유의미하게 관찰된 것으로 여겨진다.

#### 4. Deep Learning based Predictive Modeling in Self-regulation

자기조절의 각 과정에서 확인된 유의미한 채널과, 산출된 채널별 활성 계수를 대상으로 모델을 구성하여 학습시킨 결과를 그림으로 나타내면 아래의 [Figure 9]와 같다.

학습은 과적합을 회피하기 위하여 773번에서 종료되었으며, 최종 모형의 정확도는 72.83%, 손실값은 0.3093이었다. 이와 같은 정확도는 거울 과제를 수행하는 피험자의 두뇌 활성을 측정하여 활성 계수를 바탕으로 평형 또는 비평형 여부를 예측했을 때 100번 중 약 73번 맞출 수 있다는 뜻이다. 손실값 그래프는 초반에 급격히 감소하였다가 0.35에 도



[Figure 8] Graph of accuracy and loss values for model training.

달하고부터는 조금씩 감소하며 수준을 유지하였으나 각 학습횟수마다 편차를 보여 안정성은 많이 높지 않은 것으로 보인다. 따라서 더 큰 데이터셋을 대상으로, 은닉층과 은닉층의 노드 수를 조절하거나, 또는 NIRS 데이터의 활성 계수의 계산 뿐 아니라 합성곱 방법을 이용한 신경망 구축을 한다면 더 높은 정확도와 낮은 손실값의 안정적인 모델을 구축할 수 있을 것이다.

## V. Conclusions

본 연구에서는 거울 과제 수행을 통한 자기조절의 각 단계의 두뇌 활성을 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 거울 과제 수행에서 자기조절의 동화 과정 중에는 좌우 반구의 OFC와 DLPFC에서 유의미한 두뇌 활성이 나타났다. 이는 기존의 도식으로 과제를 해결하는 자기조절의 동화 과정에서 학습자의 선택과 그 적용 결과의 평가가 주로 작용함을 뜻한다. 더불어, 과제 정보와 기존 도식이 포함된 작업 기억 내의 정보를 조작하는 활동이 주로 이루어지는 것으로 보인다.

둘째, 거울 과제 수행에서 자기조절의 갈등 과정 중에는 양측의 OFC와 좌측 DLPFC에서 유의미한 활성을 보였다. 이는 기존 도식의 적용, 평가, 작업 기억의 조작이 동화와 동일하게 이루어짐을 나타낸다. 반면에 DLPFC의 좌향 편측성으로 미루어보아, 동화와 달리 갈등 상황에서는 언어적 정보를 중심으로 작업 기억의 조작이 이루어지며 이는 갈등 상

황을 인식하고 파악하는 인지 과정이 시각보다는 언어를 중심으로 이루어지는 것이라 할 수 있다.

셋째, 거울 과제 수행에서 자기조절의 조절 과정 중에는 동화 및 갈등 과정과 같이 양측의 OFC, DLPFC의 활성 뿐 아니라, FP 및 좌측 VLPFC의 활성도 추가로 확인되었다. 이는 수행을 선택하고 평가하며, 작업 기억의 거울 과제 수행 상황 및 전략을 시각 및 언어적으로 조작하는 활동 외에 새로운 도식을 고안하는 과정에서 VLPFC 중심의 언어적 정보의 명료화와, FP 중심의 목표 지향적 다중작업 정보처리가 이루어짐을 뜻한다.

넷째, 거울 과제 수행에서의 학습자의 두뇌 활성을 바탕으로 딥러닝 기술을 활용한 자기조절의 과정 예측 모델을 구성할 수 있었다. 비록 본 연구의 모델은 탐색적 수준이나, 데이터와 특징 추출 등의 과정에서 보완을 거친다면, 실제 학습자의 자기조절 과정을 쉽게 판별할 수 있는 도구를 개발하여 자기조절 학습을 도울 수 있는 단계별 전략 수립이 가능할 것이다.

이상의 결론을 토대로 한 교육적 함의는 다음과 같다. 첫째, 자기조절의 과정은 자신의 수행에 대한 평가와 작업 기억 내 정보 조작을 중심으로 이루어지므로, 자기조절 학습을 위해서는 학습자가 자신의 수행을 스스로 반성적이며 명확하게 파악하는 능력을 갖춰야 한다. 자신이 거울 과제를 수행할 때, 어떠한 전략을 적용하였고, 왜 이런 전략을 적용하였으며, 그 결과는 성공과 실패 뿐 아니라 실패하였다면 어떻게 실패하였는지까지 스스로 파악하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 자신의 수행을 스스로 돌아보는 회상과 백브리핑 등으로 향상시킬 수 있을 것이다.

둘째, 새로운 도식을 고안하고 평가하는 과정에서는 목표지향적인 다중작업과 언어적 정보의 명료화가 관여할 수 있으므로, 새로운 도식을 고안하기 위하여 과제 상황과 관련성이 높은 개념 등을 떠올릴 때 과제 목표로부터 설정된 기준을 적절히 선정하여 적용해야 한다. 이를 위하여 과제와 관련된 정보를 잘 선별하는 훈련이 효과적일 수 있다. 예를 들어, 거울 과제 해결을 위한 새로운 도식을 형성할 때, 대칭, 반사 중에서 반사라는 ‘현상’보다 이에 의한 ‘원리’인 대칭이 중요하다는 것을 파악하는 훈련이 있다. 또한 대칭의 종류에 대한 사전 지식으로서 ‘유클리드 좌표계’를 떠올려 상하, 좌우, 전후의 3가

지 축의 대칭으로 유형화 하고 이 중 좌우 및 전후의 대칭이 작용한다는 것과 같이 중요 정보를 파악하는 훈련이 가능할 수 있다. 또한 이러한 사고를 구술 또는 서술과 함께 그림으로 그려서 정보를 명확히 하는 활동을 병행하여 훈련한다면 정보의 명료화에 도움이 될 수 있을 것이다.

마지막으로 위와 같은 전략을 적용할 대상을 선별하는 과정에서 본 연구의 딥러닝 모형을 적용하여 빠르게 파악할 수 있을 것이다. 실제로 거울 과제 수행 후 약간의 전처리를 거치면 바로 모델을 통해 평형/비평형 여부를 파악할 수 있다. 따라서 이를 교육 현장에 활용하여 선별을 수행한 후 앞에 서술한 전략들을 적용함으로써 빠르고 정확한 선별과 체계적 처치가 가능한 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

## References

- Badre, D., & Wagner, A. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, 45(13), 2883-2901.
- Ballesta, S., Shi, W., Conen, K., & Padoa-Schioppa, C. (2020). Values encoded in orbitofrontal cortex are causally related to economic choices. *Nature*, 588, 450-453.
- Blakemore, S., & Choudhury, S. (2006). Development of the adolescent brain: Implications for executive function and social cognition. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(3-4), 296-312.
- Chevrier, A., Noseworthy, M., & Schachar, R. (2007). Dissociation of response inhibition and performance monitoring in the stop signal task using event-related fMRI. *Human Brain Mapping* 28(12), 1347-1358.
- Fiske, S. T., & Taylor, S. E. (1991). *McGraw-Hill series in social psychology. Social cognition* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill Book Company.
- Green, A., Fugelsang, J., Kraemer, D., Shamos, N., & Dunbar, K. (2006). Frontopolar cortex mediates abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096(1), 125-137.
- Hashweh, M. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8, 229-249.
- Kevric, J., & Subasi, A. (2017). Comparison of signal decomposition methods in classification of EEG signals for motor-imagery BCI system. *Biomedical Signal Processing and Control*, 31, 398-406.
- Koechlin, E., & Hyafil, A. (2007). Anterior Prefrontal Function and the Limits of Human Decision-Making. *Science*, 318(5850), 594-598.
- Kwon, S. H., Eom, J. T., & Kwon, Y. J. (2014). Brain regions associated with digital contents addiction: Focus on brain-imaging for internet and video game addiction. *Brain, Digital, & Learning*, 4(1), 11-20.
- Kwon, S., Oh, J., Lee, Y., Eom, J., & Kwon, Y. (2016). Brain activation pattern and functional connectivity during convergence thinking and chemistry problem solving. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(3), 203-214.
- Kwon, Y. J., & Lee, J. K. (2009). Brain activations on the hypothesis-generating and hypothesis - understanding in pre-service teachers not majoring in biology, preservice teachers majoring in biology and biologists. *Journal of Science Education*, 33(2), 173-183.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Shin, D. H., Lee, J. K., Lee, I. S., & Byeon, J. H. (2011). Generation and evaluation of scientific knowledge. Seoul: Hakjisa.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A. E. (2003). *The neurological basis of learning, development and discovery*. Heidelberg, Germany: Springer.
- Lee, I. S., Byeon, J. H. & Kwon, Y. J. (2012). Development of a learning model for improvement

- of biology learning motivation based on the brain motivation and reward system. *Biology Education*, 40(1), 109-120.
- Lee, J., & Kwon, Y. (2012). Learning-related changes in adolescents' neural networks during hypothesis-generating and hypothesis-understanding training. *Science & Education*, 21(1), 1-31.
- Mars, R., & Grol, M. (2007). Dorsolateral prefrontal cortex, working memory, and prospective coding for action. *The Journal of Neuroscience*, 27(8), 1801-1802.
- Murphy, D., Daly, E., Amelsvoort, T., Robertson, D., Simmons, A., & Critchley, H. (1998). Functional neuroanatomical dissociation of verbal, visual and spatial working memory. *Schizophrenia Research*, 29(1-2), 105-106.
- Park, S. H., Hwang, N. R., Park, J. S., Lee S. R., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2020a). An analysis of the meaning, process, and learning task of self-regulation in science learning. *Biology Education*, 48(3), 477-488.
- Park, S. H., Park, J. S., Hwang, N. R., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2019). An exploration of the brain study through a practical measurement and application using f-NIRS in educational research. *Brain, Digital, & Learning*, 9(3), 213-231.
- Park, S. H., Park, J. S., Hwang, N. R., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2020b). The effect of realistic contents(ar, vr) on the brains of middle school students-using f-NIRS study. *Brain, Digital, & Learning*, 10(2), 157-166.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117.
- Schmidt, L., Tusche, A., Manoharan, N., Hutcherson, C., Hare, T., & Plassmann, H. (2018). Neuroanatomy of the vmPFC and dlPFC predicts individual differences in cognitive regulation during dietary self-control across regulation strategies. *Journal of Neuroscience*, 38(25), 5799.
- Stalnaker, T., Cooch, N., & Schoenbaum, G. (2015). What the orbitofrontal cortex does not do. *Nature Neuroscience*, 18(5), 620-627.
- Vohs, K. D., & Baumeister, R. F. (2004). Understanding Self-Regulation. *Handbook of self-regulation*, 19. New York, NY: Guilford Press.
- Winne, P. H. (1995). Self-regulation is ubiquitous but its forms vary with knowledge. *Educational Psychologist*, 30(4), 223-228.
- Xia M, Wang J, He Y (2013) BrainNet viewer: A network visualization tool for human brain connectomics. *PLoS ONE*, 8: e68910.
- Ye, J. C., Tak, S., Jang, K. E., Jung, J., & Jang, J. (2009). NIRS-SPM: Statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. *NeuroImage*, 44, 428-447.

[저자의 소속과 직위]

권승혁: 한국교원대학교, 시간강사, 제1저자

박상희: 한국교원대학교, 박사과정 대학원생, 공동저자

박진선: 한국교원대학교, 석사과정 대학원생, 공동저자

황나래: 한국교원대학교, 석사과정 대학원생, 공동저자

권용주: 한국교원대학교, 교수, 교신저자