

RESEARCH ARTICLE

A sLORETA Study about the Effects of Scientific Observation Learning Program based on Universal Design for Learning

Yong-Seong Kim¹ · Jin-Su Jeong^{1*}

¹Daegu University

UDL 기반 과학적 관찰 학습 효과에 관한 sLORETA 분석 연구

김용성¹ · 정진수^{1*}

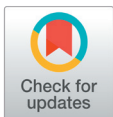
¹대구대학교

*Corresponding Author: jjs@daegu.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify the educational effects of scientific observation learning programs based on universal design for learning (UDL) from a cognitive thought process perspective through EEG activation analysis. To this end, we developed EEG measurement tasks and scientific observation learning programs based on the UDL. The study involved 14 high school students. EEG data collection took place while students performed scientific observation tasks before and after their experience with scientific observation learning programs based on the UDL. Comparative analysis of pre & post EEG data was performed using the sLORETA analysis method. The results of the study are as follows. First, The experimental group students scored higher on the scientific observation knowledge generation in the post-task than the control group students. And the scientific observation knowledge generation scores of the students in the experimental group were further improved than control group student. Second, in the case of the theta band, activation was significantly decreased in cuneus, middle occipital gyrus, lingual gyrus, and angular gyrus during performing the post-tasks compared to performing the pre-tasks. For the alpha band, activation was significantly decreased in superior frontal gyrus, middle frontal gyrus, inferior frontal gyrus, and superior temporal gyrus during performing the post-tasks. On the other hand, the alpha band activation was increased in precuneus and angular gyrus during post-task performance. For the beta band, activation was decreased during preforming the post-tasks compared to performing the pre-tasks in superior parietal lobule, inferior parietal lobule, precuneus, angular gyrus, and postcentral gyrus. Finally, for the gamma band, when performing the post-tasks compared to performing the pre-tasks, activation was decreased in superior parietal lobule, inferior parietal lobule, precuneus, angular gyrus, postcentral gyrus, and cingulate gyrus. This result shows that scientific observation learning programs based UDL have a positive impact on cognitive thinking process performed by students performed to identify the entire and partial elements of an observation object. This cognitive thinking process included recognition of visual information, retrieval and review of long-term memory, and ascription of meaning to collected visual information, and working memory about visual information.

Key words: Scientific observation, universal design for learning, brain activation, sLORETA, cognitive thinking



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2021, Vol. 11, No. 4, 713-736.

<https://doi.org/10.31216/BDL20210046>

Received: December 07, 2021

Revised: December 13, 2021

Accepted: December 16, 2021

© 2021. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

과학자들은 자연 현상의 원인을 설명하기 위해서 과학탐구를 수행하며 이를 통해 생성한 지식은 우리가 미처 알지 못했던 세상에 대한 이해를 높여 준다(Kwon, et al., 2011). 과학탐구는 객관적 사실을 기반으로 특정한 자연 현상을 구성하고 있는 요소, 요소들 사이의 관계, 자연 현상의 변화 양상을 관찰하는 과정으로부터 시작하며, 관찰을 통해 문제를 인식하고, 그와 관련된 정보를 수집하는 과정을 통해 문제 해결의 실마리를 발견한다(Park, 2020). 관찰은 시각, 청각, 후각, 미각, 촉각을 바탕으로 현미경, 망원경, 돋보기 등과 같은 관찰 범위를 확장할 수 있는 도구를 활용하여 특정 현상이나 사물에 대한 정보를 얻는 과학탐구의 가장 기본이 되는 과정이다(Ministry of Education, 2019). 학생들이 객관적 사실을 기반으로 하는 과학적 관찰을 올바르게 정확하게 수행할 수 없다면 더 높은 수준의 통합탐구 기능 또한 제대로 수행할 수 없게 될 것이다. 따라서 학생들에게 관찰 능력을 함양하는 기회를 제공해주는 것은 매우 중요하기 때문에, 과학교육에서 과학탐구는 그동안 훌륭한 과학 수업이 갖추어야 할 요소로 그 중요성이 강조됐으며, 과학 교과가 다른 교과와 구분되는 중요한 학습 활동으로 다루어져 왔다(Anderson, 2002; Jang & Hong, 2020). 이에 2015 개정 교육과정에서는 과학 수업이 탐구중심의 학습 활동으로 이루어져야 하며, 이러한 학습 활동을 학생들에게 제공하여 이들이 과학 과 핵심역량을 함양할 기회를 얻게 하는 것이 중요하다고 강조하였다(Ministry of Education, 2015). 그리고 관찰을 필두로 하는 기초탐구기능에 대한 이해와 올바른 수행 능력을 바탕으로 좀 더 높은 수준의 탐구 기능인 통합탐구기능을 적용하도록 안내하고 있다(Ministry of Education, 2015). 뿐만 아니라, 탐구중심의 과학 수업은 학생들의 과학 지식이해뿐만 아니라 과학적 사고력 증진, 과학의 본성에 대한 이해, 과학에 대한 긍정적 태도 측면에서 긍정적인 효과가 있다고 여러 선행연구를 통해 밝혀져 왔다(Jang & Hong, 2020; Lee & Jeong, 2016; Sadeh & Zion, 2009; Yang & Choi, 2020).

이처럼 과학교육 영역에서 그 중요성이 강조되고 있는 관찰은 다양한 연구자의 연구주제로 다루어져 왔다. 관찰을 연구주제로 하는 선행연구로는 감각을 이용한 관찰 방법과 유형(Kim et al., 2006), 관찰에 대한 이해와 인식(Kim & Park, 2010), 관찰을 활용한 수업의 효과(Kim & Ha, 2010), 관찰 활동의 구조화(Byeon et al., 2009), 관찰과 측정 기준 분석(Lee & Kim, 2007), 관찰 학습 프로그램(Kim & Shin, 2015; Park, 2020) 등과 같이 관찰사고 과정과 수행성과를 중요하게 다루는 연구형태로 진행되었다. 이상의 연구를 통해 관찰은 시각·청각·후각·미각·촉각의 다섯 가지 감각을 지각하는 감각 기관을 통해 사물이나 현상에 대한 정보를 수집, 분석하여 그 실태를 파악하는 사고 과정이며, 과학 학습의 출발점이 되는 중요한 탐구요소라는 것이 강조되었다. 그리고 관찰 학습 프로그램의 효과에 관한 연구들도 수행되었다. 예를 들어, Kim et al. (2013)은 생명체를 소재로 수행하는 관찰 활동에서 감각 기관 기반의 단일 대상 관찰, 정성관찰보다 정량관찰, 조작 관찰, 다수 대상 관찰 등과 같이 다양한 측면에서의 접근 방식에 의한 관찰 활동을 유도하는 것이 학생들의 과학적 관찰 지식생성 능력 함양에 더 긍정적인 영향을 미칠 수 있다고 제시하였다. 그리고 Cho & Choi (2017)는 초등학생들의 과학적 의문생성을 함양하기 위한 목적인 관찰 학습 프로그램을 개발한 연구에서 과학적 의문생성을 위한 관찰 학습 프로그램이 과학적 의문 생성능력, 과학탐구 능력, 과학적 태도 함양에 긍정적인 영향을 미친다고 말하였다. 또한, Kim & Jeong (2018)은 관찰의 유형을 수준별로 구분하여 쉬운 수준의 관찰인 전체관찰에 대한 이해를 기반으로 어려운 수준의 관찰인 부분관찰을 적용하는 방향의 교수 접근이 학생들의 관찰 능력 함양에 효과적이라고 밝혔다. 한편 Kim & Shin (2015)은 관찰 활동에 대한 교사의 명시적 안내와 학생들끼리 관찰 전략과 그 결과물을 공유하는 학습 활동 등이 초등학생들의 관찰 능력 함양에 중요한 교수·학습 전략이라고 안내하였다.

이처럼 관찰의 하위요소나 관찰 학습 전략 등에 대한 정보가 다양한 연구를 통해 제안되었음에도 여전히 학교 현장에서 과학 수업 중에 진행되는 관찰 학습은 교사가 제시한 과학적 내용을 확인하는 형태의 탐구 활동에 머물러 있다. 더 나아가 장애 학생이나 학업성취 수준이 낮은 학생들을 위한 효과적인 관찰 학습에 관해 제안한 연구는 찾아보기 어렵다.

앞서 살펴본 관찰 방법과 유형, 관찰에 대한 이해와 인식, 관찰을 활용한 수업의 효과, 관찰 활동의 구조화, 관찰과 측정 기준 분석, 관찰 학습 프로그램 등에 대한 정보를 제공한 연구들은 인지심리학 연구 방법을 통해 수행되었다. 여기서 인지심리학 연구 방법은 면담, 행동관찰, 지필 평가 등의 방법을 통해 피험자의 행동 반응을 근거로 특정 사고 수행과 관련된 정보를 파악하는 연구 방법을 말한다(Kim & Jeong, 2020). 과학적 관찰과 같은 인지 사고는 뇌에서 발생한 신경 활동으로 일차적으로 이뤄지고 언어나 행동 등의 활동으로 이차적으로 발현된다(Kwon, et al., 2006). 이와 관점에 의하면 과학적 관찰과 같은 인지 사고 관련 연구는 뇌에서 발생하는 신경 활동을 근거로 사고 수행에 필요한 인지 사고를 파악할 필요가 있다. 하지만, 인지심리학 연구는 피험자의 행동 측면의 변화에 의존하여 뇌에서 일어나는 반응을 간접 추론하기 때문에 뇌에서 발생하는 신경 활동을 근거로 하는 인지 사고의 변화에 대한 실재적인 정보를 기술하는 데 한계가 있다고 볼 수 있다(Ansari & Coch, 2006; Hansen & Monk, 2002; Kim & Jeong, 2020; Kwon, et al., 2006). 이에 반해 EEG, MEG, fMRI, PET 등과 같은 뇌 영상측정기술은 특정 사고에 의하여 뇌에서 발생하는 신경 활동 변화를 측정하여 특정 사고 수행 시 뇌에서 일어나는 사고 과정에 대한 정보를 제공할 수 있다(Kim & Jeong, 2016). 이와 같은 견해에 따라 생명과학교육 연구자들은 뇌 영상측정기술을 활용하여 과학적 관찰과 같은 인지 사고를 발현하는 원인에 해당하는 뇌 수준의 신경 활동 변화를 탐색하여 인지 사고 수행에 필요한 인지기능을 파악하는 연구를 수행하였다. Yago & Ishai (2006)은 시각적 유사성이 재인 기억에 영향을 미친다는 사실을 밝혔고, Kwon et al. (2006)은 과학적 관찰을 수행하는 과정에서 발생한 후두엽의 시각피질, 전두엽의 하전두이랑, 중전두이랑, 좌뇌의 해마옆이랑 등과 같은 뇌 영역에서의 활성을 통해 과학적 관찰은 단순한 시각정보 처리에 국한된 활동이 아닌 대상의 세부적 관찰, 장기기억 상태로 저장된 정보의 인출과 부호화 사고 과정 등이 포함된 종합적 뇌 작용에 의한 사고 활동이라고 발표하였다. Lee et al. (2008)은 학생들이 일상생활에서 흔히 경험할 수 있는 놀이인 숨은그림찾기와 과학적 관찰 차이를 fMRI 분석을 통해 밝히는 연구를 진행하였다. 이 연구에서 연구자들은 숨은그림찾기 활동은 하향식 정보 처리 과정이 주로 수행되므로 두정엽 영역에 해당하는 중심후이랑(BA 30) 영역에서 높은 활성이 관찰되지만, 과학적 관찰 활동에는 상향식 정보 처리 과정이 필요하므로, 하전두이랑에서의 높은 활성이 관찰됨을 보고한 바 있다.

이 연구들로 뇌 수준의 신경 활동 변화에 기인하여 과학적 관찰사고 수행에 필요한 인지기능들이 밝혀졌다. 하지만, 과학적 관찰 능력 함양을 목적으로 하는 학습 프로그램의 효과를 뇌 수준의 신경 활동 변화 측면에서 다룬 연구는 찾아보기 힘든 것이 현실이다.

한편, 보편적 학습설계(Universal Design for Learning, 이하 UDL)는 장애 학생을 포함한 학습 부진 학생을 위한 효과적인 교수 설계 이론으로 소개되었다(Kim et al., 2019). UDL 개발과 적용 측면에서 선도적 임무를 수행하고 있는 미국의 응용특수교육공학센터(Center for Applies Special Technology, 이하 CAST)에 의하면 UDL은 다양한 교육적 요구를 가진 학생들을 위하여 교육과정 및 방법을 융통성 있게 제공하는 것을 지향하는 교수 계획을 세우는 것이 특징이며, 다양한 제시방식에 의한 정보 제공(표상의 원리), 다양한 행위와 표현 수단 제공(행동과 표현의 원리), 다양한 학습 참여 방법 제공(참여의 원리)과 같은 3가지 원리를 핵심 원리로 한다

(Rose & Meyer, 2002). UDL은 3가지 핵심 원리와 핵심 원리의 하위요소인 9가지 가이드라인(guideline) 그리고 가이드라인의 하위요소인 31개의 체크포인트(checkpoints)로 구성되어 있다(CAST, 2018). 이 중 표상의 원리는 학습자가 학습정보에 대한 이해를 돕기 위해 시·청각 정보의 대안 제공, 언어·수식·기호의 다양한 선택 제공, 배경 지식의 제공 등의 교수 지원을 제공하는 것을 의미한다(CAST, 2018; Ok & Choi, 2018). 과학교육 분야의 UDL 관련 선행연구들은 UDL 기반 과학 수업이 학생들의 학업성취 수준과 정의적 특성 등에 긍정적인 영향을 미친다고 제안하고 있다(Cho & Park, 2011; Kim et al., 2019; Kwon & Park, 2012; Lee et al., 2015).

EEG, MEG, fMRI, PET 등과 같은 뇌 영상측정기술 중 EEG는 조작이 간편하고, 측정 비용이 상대적으로 저렴하며, 측정 기기의 이동성을 지녀 측정 장소 선택 측면에서 장점이 있는 뇌 영상측정기술이다. 더 나아가 EEG는 다른 뇌 영상측정기술과 비교하면 측정 부위가 두피로 제한적이지만, 뇌 활동에 의한 시공간적 변화 과정 탐색이 가능하다는 장점도 지니고 있다(Jeong & Yun, 2008). 이러한 장점이 있는 EEG는 주로 파워스펙트럼 분석을 통해 특정 과제 수행 시 발생하는 뇌 활동에 기초한 실제적인 정보를 제공해주지만, 뇌 활동을 유발하는 내부 신경 전류원 추적이 불가능하다는 단점이 있다(Pascual-Marqui, 2002). 이 단점을 보완하기 위해 sLORETA 분석 방법이 제안되었다. 이 sLORETA 분석 방법에 의해 두피 상에서 측정된 뇌파 활성 변화를 3차원 공간 영상으로 변환시키는 것이 가능해졌으며, 특정 사고를 수행할 때 발생하는 뇌 활성 변화를 유발하는 내부 신경 전류원 탐색에 대한 신뢰성을 확보할 수 있게 되었다(Pascual-Marqui, 2002).

따라서 이 연구의 목적은 신경생리학적 연구 방법의 하나인 뇌파 활성 변화를 분석하는 sLORETA 분석 방법을 활용하여 고등학생 대상 UDL 기반 과학적 관찰 학습의 효과를 분석하는 것이다. 그리고 인지심리학적 접근을 통해 파악한 학생들의 과학적 관찰 능력 변화를 학생들의 인지기능 측면으로 분석하여 학생들의 관찰 능력 향상을 증거기반의 객관적이고 풍부한 결과를 제시하고자 한다.

Materials and Methods

Participants

이 연구의 목적은 UDL의 교수-학습 전략을 적용한 과학적 관찰 학습 프로그램의 교육적 효과를 뇌 활성 변화를 통해 알아보는 것이다. 이를 위해 경상북도 M시의 여자고등학교에 재학 중인 14명의 학생을 모집하였다. 연구에 참여한 학생들은 1학년 학생들을 대상으로 진행한 과학적 관찰 능력 평가에서 낮은 성취 수준을 나타낸 학생들이었으며, 모두 오른손잡이 학생들이었다. 과학적 관찰 능력 평가에는 연구 목적, 연구 진행 절차, 뇌파 측정 과정, 부작용, 위험요소 등에 대한 설명을 숙지한 후 연구 참여에 대한 학생 본인과 학부모의 동의를 얻는 학생들이 참여하였다. 14명의 학생 중 7명의 학생은 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램에 참여할 실험집단으로, 나머지 7명의 학생은 실험집단 학생들과 비교할 비교집단으로 연구에 참여하였다.

본 연구는 인간 대상 연구에 해당하기 때문에 연구 시행 전 연구의 목적 및 배경, 연구수행 절차 및 방법, 연구대상자 안정성 및 동의 등의 내용에 대한 보건복지부 지정 공공기관 생명윤리위원회의 IRB 사전 심사 및 심의(승인번호 1040621-202109-HR-053)를 받은 후 진행되었다. 또한, 연구 참여 학생들의 눈 뜨고 안정 상태 및 과학적 관찰과제 수행 시 수집한 자료만을 분석에 사용하는 2차 자료 분석 방법을 적용하여 수행되었다. 이때 수집한 자료 정보는 숫자와 영문으로 구성하여 개인정보를 식별할 수 없도록 하여 연구윤리 규정에 위반되지 않도록 하였다. 더불어 연구에 참여한 학생들은 연구팀에서 제시한 연구 참여 동의서에 서명하였다.

Procedure

이 연구의 목적은 뇌 활성 변화를 통해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 교육적 효과를 알아보는 것이다. 이를 위해 연구는 연구윤리심의, 과학적 관찰과 저성취 학생을 위한 학습 절차와 교육 프로그램에 관한 선행연구 및 문헌 내용 고찰, 피험자 선정, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 및 뇌파 측정 과제 개발, 연구 집단 분류를 위한 과학적 관찰 능력 평가, 뇌파 측정에 대한 사전교육, 사전 뇌파 측정, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 적용, 사후 뇌파 측정, sLORETA 분석, 결론 및 시사점 도출의 과정으로 진행되었다(Fig. 1). 먼저, 과학적 관찰사고 과정, 과학적 관찰 학습요소, UDL 등과 관련된 선행연구와 문헌들을 분석하여 과학적 관찰 학습 프로그램을 개발하였다. 그리고 개발한 과학적 관찰 학습 프로그램의 타당도를 높이기 위한 목적으로 과학교육전문가 2인, 현장교육전문가 1인, 과학교육전공 대학원생 1인으로 구성된 전문가 세미나를 진행하였다. 이 전문가 세미나를 통해 프로그램의 학습 내용 및 초점질문 등을 검토 및 수정하였으며, 최종 8차시로 구성된 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램을 개발하였다. 다음으로 뇌파 측정 과제를 통해 연구 참여 학생들이 과학적 관찰 지식을 생성하는 동안 발생하는 사전 뇌파를 측정하였다. 이후 8차시의 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램을 실험집단 학생들에게 적용하였으며, 이어서 사후 뇌파를 측정하였다. 그리고 sLORETA 분석을 통해 사전 및 사후 뇌파 검사에서 나타난 뇌 활성 차이를 비교 분석하였다.

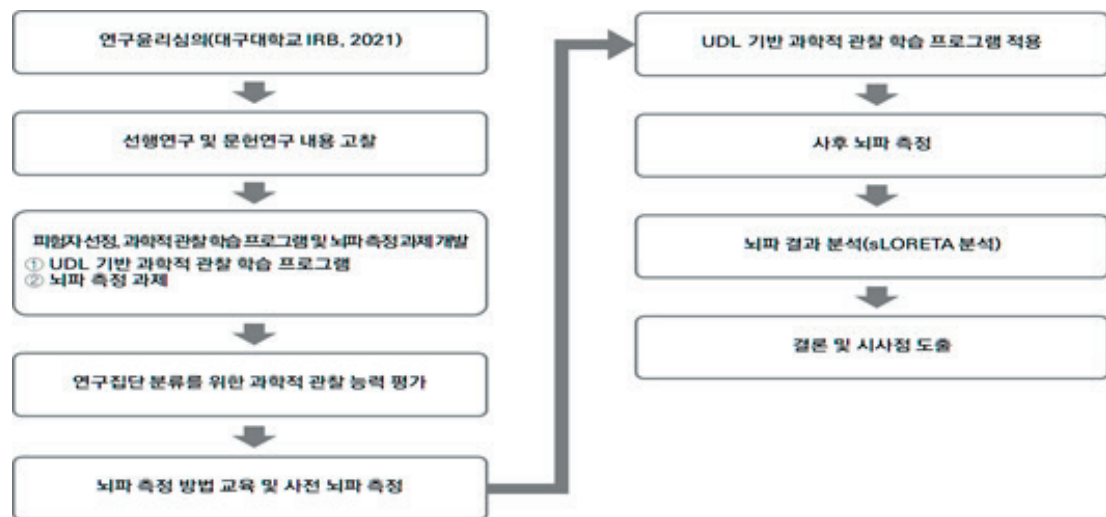


Fig. 1. Study procedure

Scientific Observation Learning Program

본 연구에 적용한 과학적 관찰 학습 프로그램의 학습 내용은 Kim et al. (2017)이 과학적 관찰 능력이 낮은 학생을 위하여 개발한 관찰 교수 전략을 발췌하여 개발하였다. Kim et al. (2017)은 관찰 활동과 관련된 뇌 과학 이론을 종합 분석하여 실물 또는 모형 대상 안내된 전체관찰, 사진 또는 그림 자료 대상 어려운 수준의 안내된 전체관찰, 단서 제시 없이 수행하는 실물 또는 모형 대상 어려운 수준의 독립적 전체관찰, 단서 제시 없이 수행하는 사진 또는 그림 자료 대상 어려운 수준의 독립적 전체관찰, 실물 또는 모형 대상 안내된 부분관찰, 사진 또는 그림 자료 대상 어려운 수준의 안내된 부분관찰, 단서 제시 없이 수행하는 실물 또는 모형 대상 어려

운 수준의 독립적 부분관찰, 단서 제시 없이 수행하는 사진 또는 그림 자료 대상 어려운 수준의 독립적 부분관찰의 뇌 과학 이론 기반 과학적 관찰 교수 전략을 발표하였다. 여기서 안내된 관찰은 교사의 지시로 관찰을 수행하는 활동을 말하고 독립적 관찰은 교사의 지시 없이 학생 스스로 관찰을 수행하는 활동을 말한다. 또한, 전체관찰은 제시된 대상의 전체적 특성을 파악하는 활동을 말하고 부분관찰은 제시된 대상의 부분적 특성을 파악하는 활동을 말한다. Kim et al. (2017)은 관찰 활동 수행 시 실물 또는 모형이 제공될 때가 컬러사진, 흑백 사진, 선으로만 구성된 그림 자료가 제공될 때보다 인지적 및 정서적으로 안정된 상태에서 다양한 유형의 관찰 수행이 가능하다고 말하였으며, 컬러사진 자료보다는 흑백사진 자료가 제공될 때, 흑백사진 자료보다는 선으로만 구성된 그림 자료가 제공될 때 인지적 및 정서적으로 어려움을 겪는다고 말하였다. 이와 같은 견해에 따라 쉬운 수준의 관찰은 실물 또는 모형과 같이 학습자가 인지적으로 좀 더 편안하게 접근 가능한 학습 소재를 활용한 관찰 활동을 수행하는 것으로 구성하였으며, 어려운 수준의 관찰은 학습자가 사진과 그림 자료와 같이 인지적으로 좀 더 어렵게 접근하는 학습 재료를 활용한 관찰 활동을 수행하는 것을 구성하였다.

본 연구에서 사용한 초점질문은 Table 1의 내용과 같다.

과학적 관찰 학습을 과학적 관찰 학습 프로그램의 학습 내용은 Table 2의 내용과 같이 선정하였다. 그리고 과학적 관찰 학습 프로그램의 학습 내용은 과학교육전문가 2인, 과학교육전공 대학원생 1인, 과학교육 현장 교육 전문가 1인으로 구성된 전문가 세미나를 통해 내용의 검토 및 점검한 후 최종 선정되었다.

한편, 장애 여부와 관계없이 모든 학습자의 의미 있고 성공적인 학습을 위해 제안된 UDL은 Table 3의 내용과 같이 표상의 원리(Representation principle), 행동 및 표현의 원리(Action & expression principle), 참여의 원리(Engagement principle)와 같은 3개의 원리, 원리별 지침, 지침별 체크포인트로 구성되어 있다(CAST, 2018).

본 연구에서 사용한 표상의 원리 전략은 주로 학습지 제작에 활용하였으며, 구체적 내용은 다음과 같다.

첫째, 인지 방법의 다양한 선택 제공 지침을 기초로 다른 폰트와 다른 색깔의 글씨체 사용 등과 같은 시각적 강조기법을 활용하여 활동의 내용을 설명하는 지시문의 내용을 시각적으로 강조하였다.

둘째, 어휘와 기호에 대한 설명 제공 지침을 기초로 학습지에서 안내한 활동에 대한 설명을 모형과 그림 자료를 활용하여 구체적으로 설명하였다.

셋째, 이해를 위한 옵션 제공 지침을 기초로 활동지에 학습 내용 관련 개요 제시, 교사의 시범을 통한 학습 활동 사전교육 진행, 시각적 강조기법을 통해 활동지에 안내된 내용 중 핵심 활동 관련 어휘에 대한 시각적으로 강조하였다.

Table 1. Content of focus question

Section	Subsection	Focus question
Guided observation	Overall observation	What's the overall shape?, What's the overall color?, etc.
	Partial observation	Where's the head?, What does the body look like?, What's the size of the body compared to the head? (The length of the neck, the size and shape of the dot, the shape of the tail, etc.)
Independent observation	Overall observation	Observe the overall characteristics and write down all result of observations.
	Partial observation	Observe the partial characteristics and write down all result of observations.

Table 2. Information of learning content

Lessons	Learning content
1	Performing an easy level of guided overall observation task for insect models using focus questions.
2	Performing a difficult level of guided overall observation task for the caminalcules picture materials using focus questions.
3	Perform an easy level of independent overall observation task for insect models performed by learners themselves without any clues.
4	Perform a difficult level of independent overall observation task for the caminalcules picture materials by the learner themselves without any clues.
5	Performing an easy level of guided partial observation task for insect models using focus questions.
6	Performing a difficult level of guided partial observation task for the caminalcules picture materials using focus questions.
7	Perform an easy level of independent partial observation task for insect models performed by learners themselves without any clues.
8	Perform a difficult level of independent partial observation task for the caminalcules picture materials by the learner themselves without any clues.

Table 3. Information of the UDL Guidelines

Principle I. Provide multiple means of Representation		Principle II. Provide multiple means of Action & Expression		Principle III. Provide multiple means of Engagement	
1.	Provide options for Perception	4.	Provide options for Physical Action	7.	Provide options for Recruiting Interest
1.1	Offer ways of customizing the display of information	4.1	Vary the methods for response and navigation	7.1	Optimize individual choice and autonomy
1.2	Offer alternatives for auditory information	4.2	Optimize access to tools and assistive technologies	7.2	Optimize relevance, value, and authenticity
1.3	Offer alternatives for visual information			7.3	Minimize threats and distractions
2.	Provide options for Language & Symbols	5.	Provide options for Expression & Communication	8.	Provide options for Sustaining Effort & Persistence
2.1	Clarify vocabulary and symbols	5.1	Use multiple media for communication	8.1	Heighten salience of goals and objectives
2.2	Clarify syntax and structure	5.2	Use multiple tools for construction and composition	8.2	Vary demands and resources to optimize challenge
2.3	Support decoding of text, mathematical notation, and symbols	5.3	Build fluencies with graduated levels of support for practice and performance	8.3	Foster collaboration and community
2.4	Promote understanding across languages			8.4	Increase mastery-oriented feedback
2.5	Illustrate through multiple media				
3.	Provide options for Comprehension	6.	Provide options for Executive Functions	9.	Provide options for Self Regulation
3.1	Activate or supply background knowledge	6.1	Guide appropriate goal-setting	9.1	Promote expectations and beliefs that optimize motivation
3.2	Highlight patterns, critical features, big ideas, and relationships	6.2	Support planning and strategy development	9.2	Facilitate personal coping skills and strategies
3.3	Guide information processing and visualization	6.3	Facilitate managing information and resources	9.3	Develop self-assessment and reflection
3.4	Maximize transfer and generalization	6.4	Enhance capacity for monitoring progress		

Source: CAST (2018). Universal Design for Learning Guidelines version 2.2. Retrieved from <http://udlguidelines.cast.org>.

연구에서는 학생들의 적극적인 학습 참여를 위한 목적으로 행동 및 표현의 원리 전략 중 표현과 의사소통을 위한 옵션 제공의 지침을 활용하여 관찰 내용을 표현할 때 글로 표현하기, 언어로 표현하기, 그림으로 표현하기 등과 같은 다양한 방법 중 학생이 선호하는 방법으로 표현하도록 하였다. 그리고 실행 기능을 위한 옵션 제공의 지침을 활용하여 차시별 학습 목표와 과정에 관한 구체적 사례나 모델을 안내하였으며 자신의 학습 과정을 점검하는 평가도구를 학습지에 제공하여 자기 스스로 본인의 학습 과정의 수행 수준을 점검하도록 유도하였다.

연구에서 학생들의 학습 동기를 지속하는 것을 유도하기 위한 목적으로 흥미를 끌기 위한 선택 제공을 기초로 모형과 그림 자료 등과 같이 다양한 유형의 학습 자료를 제공하고 교사의 도움을 요청하는 방법을 시범을 통해 구체적으로 안내하였다. 그리고 노력과 지속성 유지를 위한 선택 제공 지침을 기초로 학습 목표 도달의 수준에 따라 보상과 긍정적 피드백을 제공하였으며 올바르게 못한 학습 활동 또는 오답에 대한 언어적 피드백을 제공하였다. 마지막으로 자기조절의 선택 제공의 지침을 기초로 하여 학생이 학습 목표에 도달하지 못한 결과물을 반복적으로 나타낼 경우 본인의 선택에 따라 이전 차시의 활동을 수행하는 것을 허용하였다. 또한, 학습지에 제공한 학습 수준 자기 점검표를 기초로 본인의 학습 진도를 점검하도록 안내하였다.

EEG Measurements and Analysis

이 연구의 목적은 뇌 활성 차이 분석을 통하여 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 효과를 인지 사고 과정 측면에서 알아보는 것이다. 이를 위해 뇌 활성과 관련된 시계열 정보를 높은 시·공간 분해력을 통해서 확인하고 분석하는 것이 가능한 EEG를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 뇌파 측정 장비는 호주의 Compumedics사에서 개발한 E-series system이고 뇌파 수집은 같은 회사에서 개발한 Profusion EEG Program이었다(Compumedics, 2002).

EEG 측정은 조용한 환경의 교실에서 진행되었으며, EEG 측정 준비 1시간(캡형 전극 배치 및 교정 40분, 뇌파 사전 훈련 20분) → 눈감고 안정 상태 1분 → 눈뜨고 안정 상태 1분 → 2문항의 과학적 관찰 지식 생성과제 수행 2분(첫 번째 과제 수행 30초 → 휴식 30초 → 두 번째 과제 수행 30초 → 휴식 30초)의 순서로 진행되었다(Fig. 2). 2문항의 과학적 관찰 지식 생성과제를 1세트로 구성하였으며, 총 3세트의 과제가 제시되었다. 같은 소재와 활동으로 구성된 과제 수행으로 인하여 발생할 수 있는 인지적 부담감을 최소화하기 위하여 1세트 과제 수행 후 1분 30초의 휴식 시간을 추가로 부여하였다.

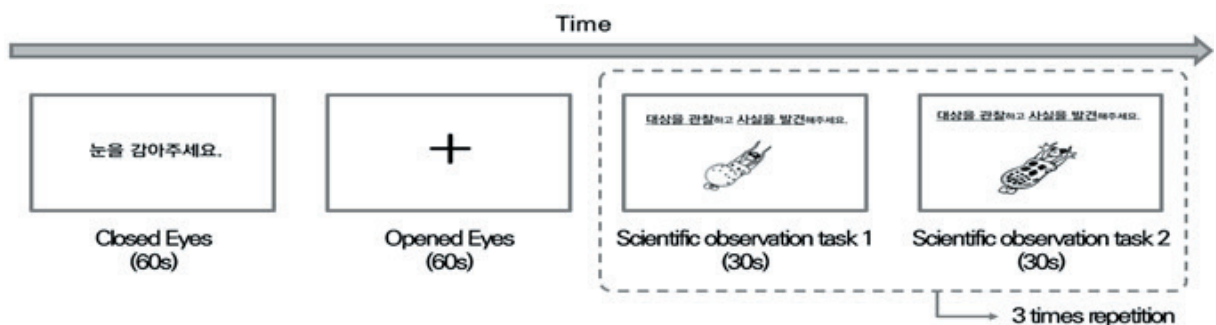


Fig. 2. EEG task paradigm

연구 참여 학생이 과학적 관찰 지식을 생성할 때 30채널의 전극을 통해서 수집된 뇌파 데이터의 Sampling rate는 256 Hz였고, 뇌파 자료수집을 위하여 1 Hz의 고역 통과 필터(high pass filter), 70 Hz의 저역 통과 필터(low pass filter)를 적용하였다. 그리고 교류 전류에 의해서 발생하는 인공잡파(artifact) 제거를 위하여 Notch filter 값은 60 Hz로 설정하였다.

뇌파 측정은 10-20 국제 전극 배치법(Jasper, 1958) 규정에 따라 전극이 배치된 Compumedics사의 32채널 Quik-cap (Compumedics, 2002)을 연구 참여 학생에게 착용시킨 후 두피와 전극 사이의 저항값(impedance)이 10 kΩ 이하로 낮아지도록 전극 부착상태를 교정한 후 진행되었다. 뇌파 측정에는 4개의 참조 전극(EOL, EOR, M1, M2)과 30개 채널 전극(전두엽 : Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, FC3, FC4, FT7, FT8, FCz / 두정엽 : C3, C4, Cz, CP3, CP4, CPz, P3, P4, Pz / 측두엽 : T7, T8, TP7, TP8, P7, P8 / 후두엽 : O1, O2, Oz)을 사용하였다. EOL, EOR 전극은 눈 깜빡임 등과 같이 안구의 움직임에 의하여 발생하는 인공잡파 탐색의 목적으로 부착하였으며, M1 전극과 M2 전극은 뇌의 우반구와 좌반구 사이의 편차값을 바로잡는 목적으로 좌·우측 귓볼에 부착하였다. 그리고 30개 채널 전극은 과학적 관찰과제를 수행하는 과정에서 발생하는 뇌 활성을 측정하기 위하여 부착하였다.

UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 효과를 인지 사고 과정 측면에서 알아보기 위하여 제작한 EEG 측정 과제는 과학적 관찰 수행을 위한 인지적 사고 과정에 대한 기저 조건에 해당하는 배경 뇌파를 측정하는 목적의 기준과제, 과학적 관찰의 인지적 사고 과정을 유발하는 과학적 관찰 학습 과제의 순서대로 연구 참여 학생들에게 제시하였다.

기준과제의 예시와 제시 순서는 Fig. 3과 같다. 안정한 상태에서 발생하는 뇌파의 양은 개인마다 다를 수 있다. 이러한 이유로 특정 인지 사고 과정을 수행하면서 과제를 수행할 때 발생하는 뇌파를 측정하기 위해서는 과제 해결 수행을 위한 인지 사고를 수행하지 않는 상황에서 측정하는 배경 뇌파를 개인별 뇌파 변화의 기준점으로 지정할 필요가 있다(Kim et al., 2019). 기준과제는 이러한 견해를 바탕으로 연구 참여 학생의 배경 뇌파를 수집하기 위한 목적으로 수행되었으며, 시각적 주의집중 및 특정한 의미를 포함하지 않는 시각적 표시 기호인 ‘+’ 표시를 평온한 상태로 의자에 앉아서 바라보는 활동으로 구성하였다.

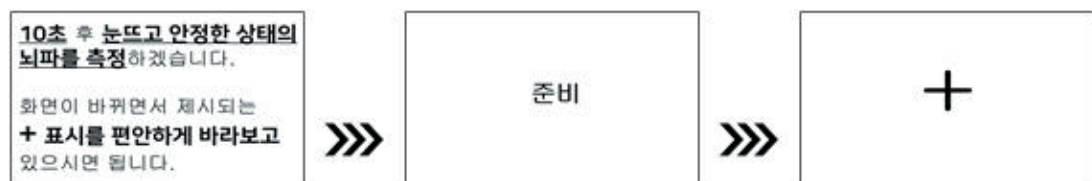


Fig. 3. Criteria task example and presentation order

과학적 관찰 수행을 위한 인지적 사고 과정을 알아보기 위한 목적의 과학적 관찰 학습 과제 예시는 Fig. 4와 같다. 과학적 관찰 학습 과제는 학생들이 화면에 제시되는 Caminalcules (Gendron, 2000) 그림 자료를 보면서 가능하면 많은 수의 과학적 관찰 사실을 발견하는 과제이다. Caminalcules는 Joseph H. Camin이 처음으로 개발한 가상 동물 그림 세트로서 Caminalcules 그림 세트는 전체적인 생김새는 유사하지만, 전체적 또는 부분적 모양과 무늬가 조금씩 다른 77개의 그림 자료로 구성되어 있다(Gendron, 2000). 과학적 관찰과제 개발에는 Caminalcules 세트 중 1개의 그림을 임의 추출하여 활용되었다.



Fig. 4. Scientific observation learning task example and presentation order

sLORETA 분석에는 연구 참여 학생이 30초의 시간 동안 과학적 관찰 지식 생성과제를 수행할 때 수집한 뇌파 데이터 중 눈 깜빡임, 말하기, 얼굴 찌푸리기 등과 같은 인체 유래 인공산물의 유입이 적은 것으로 판단되는 20초 구간의 뇌파 데이터를 사용하였다. 그리고 sLORETA 분석에는 세타파(4.0~7.9 Hz), 알파파(8.0~12.9 Hz), 베타파(13.29~18.75 Hz), 감마파(30.0~50.0 Hz) 대역의 뇌파 데이터를 사용하였다. 또한, sLORETA 분석 프로그램을 통해 의미 있는 뇌 활성이 감지된 뇌 영역을 3차원 영상으로 표현하고, 그 뇌 영역에 해당하는 브로드만 영역(brodmann area) 번호와 탈라이락 뇌지도(talairach & tourmoux, 1998) 기반의 탈라이락(talairach) 좌표값을 산출하였다.

Results and Discussions

Result of Performing the Scientific Observation Task

실험집단 및 비교집단 학생들이 과학적 관찰 사전 검사와 사후 검사에서 수행한 행동 결과를 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 결과와 같이 실험집단 학생들은 사전 검사에서 16.00점의 점수를 획득하였으나 사후 검사에서 31.86점의 점수를 획득하였다. 통제집단 학생들은 사전 검사에서 20.71의 점수를, 사후 검사에서 27.71 점수를 각각 획득하였다. 사전-사후 검사 결과를 비교하면 실험집단 학생들은 사전 검사와 비교하여 사후 검사에서 15.86점의 점수가, 비교집단 학생들은 7.00점의 점수가 향상된 것으로 나타났다. 이는 실험집단 학생들과 비교집단 학생들 모두 사전 검사 때보다 사후 검사에서 더 높은 과학적 관찰 지식 생성능력을 보였다는 것을 나타내는 결과이다. 이와 같은 차이는 집단별 대응표본 T 검정 분석결과 Table 4와 같이 통계적으로도 유의미한 것으로 나타났다($p < 0.01$).

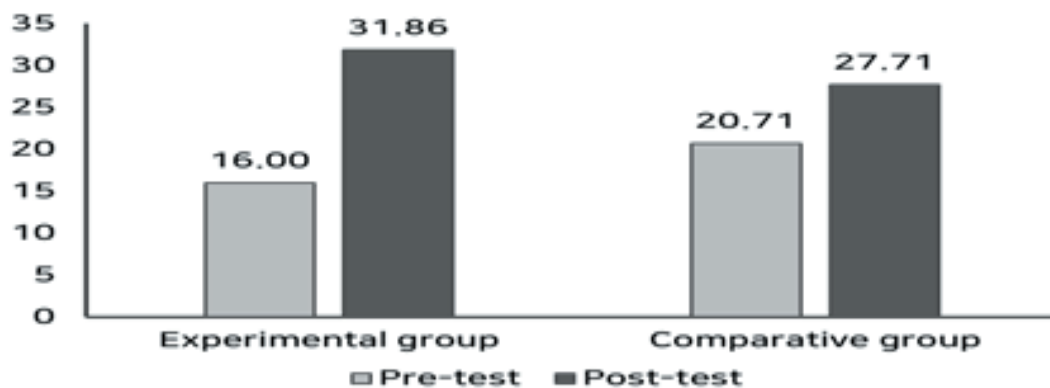


Fig. 5. Results of performing the scientific observation task

Table 4. Statistical analysis results about performing the scientific observation task

Group	Pre-test	Post-test	Significance level
Experimental group	16.00	31.86	0.001***
Comparative group	20.71	27.71	0.004***

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

비교집단 학생들의 과학적 관찰 지식 생성능력의 향상은 Caminalcules라는 같은 소재로 구성된 과제를 대상으로 과학적 관찰의 동일한 활동을 반복적으로 수행한 것으로 인한 과학적 관찰과제 수행의 반복 연습 효과에 의한 결과라고 볼 수 있으며, 실험집단 학생들의 과학적 관찰 지식 생성능력의 향상에도 비교집단 학생들과 같은 유사한 소재로 구성된 과제의 반복 수행이 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

이와 같은 결과는 하노이 탑 과제를 단순 반복수행할 경우 피험자들의 과제 수행 시간이 짧아지는 현상은 단순 반복에 의한 연습의 효과에 의하여 나타났다고 설명한 선행연구 결과(Choi & Woo, 1996)를 다시 한번 확인해준 결과라고 할 수 있다.

하지만, 실험집단 학생의 과학적 지식 생성능력이 더 높게 향상된 것은 교사의 단서에 의해 진행되는 모형 대상 쉬운 수준의 안내된 관찰, 교사의 단서에 의해 진행되는 그림 자료 대상 어려운 수준의 안내된 관찰, 단서 없이 수행하는 모형 대상 쉬운 수준의 독립적 관찰, 단서 없이 수행하는 그림 자료 대상 어려운 수준의 독립적 관찰의 과정을 대상의 전체적 특성을 파악하는 전체관찰과 대상의 부분적 특성을 파악하는 부분관찰 학습에 적용하여 진행하고 교수학습 활동 진행 시 UDL 교수-학습 전략을 적용한 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램이 학생들의 과학적 관찰 지식 생성능력에 긍정적인 영향을 미쳤음을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

이와 같은 결과는 학생들의 과학적 관찰 수행 능력에 긍정적인 영향을 미치는 교수-학습을 위해서 비교 관찰을 위한 체계적인 지도(Kim & Park, 2010), 쉬운 수준 관찰인 전체관찰에 대한 이해를 기반으로 어려운 수준의 관찰인 부분관찰을 수행하도록 하는 과제 구성(Kim & Jeong, 2018), 관찰 활동에 대한 교사의 명시적 안내가 필요하다(Kim & Shin, 2015)는 선행연구 결과를 뒷받침하는 결과라고 할 수 있다.

Analysis Results of EEG Activation Difference

본 연구의 목적은 뇌 활성 분석을 통하여 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 교육적 효과를 인지 사고 과정 측면에서 파악하는 것이다. 이를 위하여 sLORETA 분석을 통해 사전 및 사후 뇌파 검사에서 발생한 뇌 활성 변화를 연구 집단별로 비교 분석하였다. 분석결과, 비교집단 학생들은 사전 뇌파 검사와 사후 뇌파 검사 사이에 유의미한 뇌 활성 차이는 발견되지 않았으며, 실험집단 학생들은 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 대역의 뇌파에서 유의미한 뇌 활성 차이가 관찰되었다. 비교집단 학생들이 사전 뇌파 검사에서 나타난 뇌파 활성과 비교하여 사후 뇌파 검사에서 나타난 뇌파 활성이 유의미한 차이가 발생하지 않았다는 것은 비교집단 학생들이 사전 및 사후 뇌파 검사를 수행할 때 비슷한 인지적 노력과 유사한 패턴의 인지 사고 수행을 통해 과제를 수행하였음을 보여주는 결과라고 할 수 있다. 실험집단 학생들은 사전 검사 때와 비교하여 사후 검사 때 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 대역의 뇌파에서 유의미한 활성이 관찰되었다는 것은 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험이 과학적 관찰 수행에 필요한 인지 사고에 영향을 미쳤다는 것을 의미한다. 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 대역의 뇌파 활성 차이 분석을 통해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램이 실험집단 학생들의 과학적 관찰 수행 능력에 미친 영향을 뇌 인지기능 측면에서 추론하였다.

The Theta Band Activation

UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 전과 비교하여 경험 후 나타난 실험집단 학생의 유의미한 세타파 활성화 변화가 관찰된 뇌 영역은 Table 5와 같다.

Table 5에서 보이는 것과 같이, 사전 뇌파 측정 때보다 사후 뇌파를 측정할 때 세타파의 활성화는 후두엽(occipital lobe)의 췌기소엽(cuneus), 중후두이랑(middle occipital gyrus), 혀이랑(lingual gyrus)과 두정엽(parietal lobe)의 각이랑(angular gyrus)에서 상대적으로 유의미하게 감소한 것이 관찰되었다.

췌기소엽은 시각피질에 의한 시각정보 인식, 시각정보와 관련된 기억을 유지하는 시각적 작업기억(visual working memory)의 인지적 사고 과정과 연관된 뇌 영역으로 알려져 있다. 사후 검사에서 상대적으로 낮아진 세타파 활성화가 나타난 췌기소엽은 BA17, BA18, BA18 영역이었다. 췌기소엽 BA17 영역은 V1으로 명명되는 일차 시각피질에 해당하는 뇌 영역으로, 시각 정보 처리를 일차적으로 처리하는 뇌 영역이다(Kim & Jeong, 2020; Ward, 2017). 그리고 췌기소엽 BA18 영역은 이차 시각피질에 해당하는 뇌 영역으로, 대상의 명암, 움직임

Table 5. Brain region with decreased the theta band activation

Talairach coordinates			VoxelValue	BA	Lobe	Structure
X	Y	Z				
15	-96	19	-3.92204	18	Occipital Lobe	Cuneus
15	-96	14	-3.92191	18	Occipital Lobe	Middle Occipital Gyrus
20	-91	23	-3.83366	19	Occipital Lobe	Cuneus
10	-97	5	-3.77395	17	Occipital Lobe	Cuneus
10	-97	-4	-3.60504	18	Occipital Lobe	Lingual Gyrus
50	-66	36	-3.58989	39	Parietal Lobe	Angular Gyrus
10	-92	0	-3.57075	17	Occipital Lobe	Lingual Gyrus

임, 깊이, 높낮이, 외곽선 등의 요소를 인식하는 뇌 영역이다(Kim & Jeong, 2020; Ward, 2017). 마지막으로 췌기소엽의 BA19 영역은 V3, V4, V5로 명명되는 시각피질이 모인 연합 시각피질에 해당하는 뇌 영역이다(Kim & Jeong, 2020; Ward, 2017). V3 영역은 주로 형태 관련 시각정보를, V4 영역은 주로 형태 및 색 관련 시각정보를, V5 영역은 주로 시각적 움직임 관련 시각정보와 특정 요소가 어느 부위에 위치하는지에 대한 공간적 시각정보를 담당하는 뇌 영역이다(Kim & Jeong, 2020; Ward, 2017).

중후두이랑은 시각정보의 조직화와 같은 시각정보 처리 과정과 관련된 뇌 영역으로, 시각피질을 통한 직접적인 시각적 자극 없이 과거 경험과 같은 심상을 통한 자극을 통해서도 활성화가 나타난다(Gerlach et al., 2002; Kim & Jeong, 2020). 즉, 과학적 관찰과제 수행 시 중후두이랑에서의 뇌 활성을 통해 관찰 대상에 대한 시각정보에 대한 의미를 파악하기 위하여 기존에 알고 있던 내용과 관찰 정보와 비교를 하기 위해 심상을 표상하는 과정을 수행하였다는 것을 알 수 있다.

혀이랑은 특정 부위가 어떤 요소로 구성되었는지 등과 같은 부분적 위치 정보를 인식하는 공간 학습 능력과 관련 있는 뇌 영역이다(Choi et al., 2018; Kim & Jeong, 2020).

각이랑은 제시된 자극을 기반으로 문제 해결 활동을 수행할 때 활성화되는 뇌 영역이다. 그리고 학습자의 다양한 선행 경험 등을 통해 보유하고 있는 사전지식을 기준으로 관찰 대상의 세부정보를 인식하는 규칙 기반 범주화의 인지 사고 수행과 연관이 있는 뇌 영역(Byeon, 2021; Seger & Peterson, 2013)이다.

이들 영역에서 발생한 뇌 활성화의 의미는 기억에 대한 부하에 높아질 때 즉, 과제 수행에 대한 난이도가 높아질 때 활성화가 증가하는 세타파의 활성화 양상(Korean Society for EEG and Neurophysiology, 2017)을 통해 파악할 수 있다. 즉, 췌기소엽(cuneus), 중후두이랑(middle occipital gyrus), 혀이랑(lingual gyrus), 각이랑(angular gyrus)에서 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 전과 비교하여 수행 후 세타파의 활성화가 감소하였다는 것은 학생들이 과학적 관찰과제를 해결하기 위하여 대상의 전체적 및 부분적 형태·색·모양·무늬의 패턴 등에 대한 시각정보를 파악하는 사고 과정, 관찰 정보의 의미를 파악하는 과정에서의 내적 심상 표상과 같은 인지 사고를 수행하였으며, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 후 이 사고 과정 수행 시 학생들이 느끼는 인지 부하가 줄어들었다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 다시 말해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 관찰 대상에 대한 시각적 정보를 파악하기 위해서 수행하는 인지 사고를 좀 더 쉽게 수행하는 것을 돕는 측면에서 유의미한 효과가 있다고 할 수 있다.

The Alpha Band Activation

UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 전과 비교하여 경험 후 나타난 실험집단 학생의 유의미한 알파파 활성화 변화가 발견된 뇌 영역은 Table 6과 같다. 하지만, 알파파 대역에서는 세타파 대역에서의 활성화 변화와는 달리 사전 뇌파 측정 시보다 사후 뇌파를 측정할 때 알파파의 활성화가 상대적으로 증가한 뇌 영역과 상대적으로 감소한 뇌 영역이 모두 관찰되었다(Table 6, Table 7).

Table 6. Brain region with increased the alpha band activation

Talairach coordinates			VoxelValue	BA	Left / Right hemisphere	Lobe	Structure
X	Y	Z					
-45	31	31	5.10623	9	Left	Frontal Lobe	Middle Frontal Gyrus
-40	36	30	4.77495	9	Left	Frontal Lobe	Superior Frontal Gyrus
-45	30	22	4.75359	46	Left	Frontal Lobe	Middle Frontal Gyrus
-50	25	22	4.53297	45	Left	Frontal Lobe	Inferior Frontal Gyrus
-40	40	21	4.28246	10	Left	Frontal Lobe	Middle Frontal Gyrus
64	-33	20	4.17481	42	Right	Temporal Lobe	Superior Temporal Gyrus
-50	21	22	4.16066	9	Left	Frontal Lobe	Inferior Frontal Gyrus

Table 7. Brain region with decreased the alpha band activation

Talairach coordinates			VoxelValue	BA	Left / Right hemisphere	Lobe	Structure
X	Y	Z					
-40	-66	36	-3.57807	39	Left	Parietal Lobe	Precuneus
-45	-66	36	-3.57379	39	Left	Parietal Lobe	Angular Gyrus

사전 뇌파 측정과 비교하여 사후 뇌파 측정 때 상대적으로 높은 뇌 활성화 변화가 관찰된 뇌 영역은 전두엽(frontal lobe)의 중전두이랑(middle frontal gyrus), 상전두이랑(superior frontal gyrus), 하전두이랑(inferior frontal gyrus) 영역과 측두엽(temporal lobe)의 상측두이랑(superior temporal gyrus) 영역이었다(Table 6).

UDL 학습설계 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 후 활성화가 증가한 것으로 나타난 상전두이랑과 중전두이랑은 배외측전전두피질에 속하는 뇌 영역으로 각각 다음과 같은 인지기능과 관련이 있다. 먼저, 배외측전전두피질은 작업기억, 주의집중, 정보 기반 논리적 판단의 인지기능 수행에 중요한 역할을 하는 연합 피질

로 알려져 있다(Koch, 2006). 여기서 배외측전전부피질이 수행하는 정보 기반 논리적 판단의 인지기능은 과제 수행에 필요한 정보에 대한 기억을 조절하고 필요하지 않은 정보에 기억을 억제하는 하향식 정보 처리를 의미한다(Slotnick, 2017). 그리고 중전두이랑(BA46)은 문제 해결을 위한 정보에 대한 주의집중 중요도 배분 및 주의집중 수준 조절, 작업기억 내에 복수의 정보들에 대한 기억 유지, 탐색 정보 조작의 인지 사고 수행 시 활성이 관찰되는 뇌 영역이다(Cummings & Miller, 2007; Deppe et al., 2005; Huettel & McCarthy, 2004; Kwon et al., 2016; Ranganath, Johnson & D'Esposito, 2003; Zhang, Leung & Johnson, 2003). 마지막으로 상전두이랑은 도형의 위치 기억하기 등과 같은 공간 정보 지향 정보 처리에 관여하는 것으로 밝혀졌다(Boisgucheneuc et al., 2006).

하전두이랑은 운동언어영역으로 말하기와 같은 언어의 표현 기능을 수행하는 것으로 밝혀진 브로카 영역(Broca's area)에 속하는 뇌 영역이다(Kwon et al., 2016).

상측두이랑은 청각 연합 피질에 속하는 영역으로, 시각적 위치 정보에 대한 선택적 주의집중이 이루어질 때 활성화되는 뇌 영역(Schultz et al., 2004)이다. 그리고 청각 연합 피질은 시각적 이미지와 언어적 정보와 연결하는 인지기능과 연관된 뇌 영역(Gluck, Mercado, & Myers, 2011)이다.

앞에서 살펴본 뇌 영역에서 발생한 알파파 활성의 의미는 높은 알파파의 활성이 내부지향성의 뇌 상태를 말해주며, 인지적으로 좀 더 편안한 상태에서 활성이 증가하는 알파파의 활성 양상(Korean EEG Study Group, 2017; Korean Society for EEG and Neurophysiology, 2017)을 통해 파악할 수 있다. 즉, 중전두이랑(middle frontal gyrus), 상전두이랑(superior frontal gyrus), 하전두이랑(inferior frontal gyrus), 상측두이랑(superior temporal gyrus)에서 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 전과 비교하여 수행 후 알파파의 활성이 증가하였다는 것은 학생들이 과학적 관찰과제를 해결하기 위하여 대상의 부분적 형태·색·모양·무늬의 패턴 등과 같은 공간 정보를 처리하는 인지 사고, 과제 해결 관점에서 선택적 정보 선택과 주의집중 수준 조절, 과제 해결에 중요한 정보에 대한 작업기억, 파악한 정보에 대한 언어적 내면화와 같은 인지 사고를 수행하였으며, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 후 이와 같은 인지 사고 수행 시 학생들은 뇌 내부 정보를 바탕으로 추론하는 하향식 사고를 수행하였다고 할 수 있다. 다시 말해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 관찰 대상에 대한 시각적 위치 정보에 대한 의미를 파악하는 사고 과정을 뇌 내부 정보 기반의 사고인 하향식 사고 과정 수행으로 인한 인지적으로 좀 더 편안한 상태에서 수행하는 것을 돕는 측면에서 유의미한 효과가 있다고 할 수 있다.

한편, 상대적으로 낮은 뇌 활성 변화가 관찰된 뇌 영역은 두정엽의 뿔기전소엽과 각이랑 영역이었다(Table 7).

뿔기전소엽은 후측대상피질(posterior cingulate cortex), 내측전전두피질(medial prefrontal cortex), 측두두정 접합부(temporoparietal junction) 등과 같은 뇌 영역과 연합하여 디폴트모드네트워크(DMN; Default Mode Network System)를 구성하는 뇌 영역이다. DMN은 외부 자극으로부터 받아들인 정보와 뇌 내부에 내재화된 장기기억 상태의 정보를 점검하면서 집중해야 할 정보와 그렇지 않은 정보를 재정리하는 활동을 수행할 때 활성화되는 뇌 기능적 네트워크를 말한다(Kim & Jeong, 2019). 이 중 뿔기전소엽은 기억 탐색, 모니터링, 검토 등의 인지 사고 수행 중 활성이 증가하는 것으로 밝혀졌다(Li et al., 2019).

각이랑은 제시된 자극을 기반으로 문제 해결 활동을 수행할 때 활성화되는 뇌 영역이다. 그리고 학습자의 다양한 선행 경험 등을 통해 보유하고 있는 사전지식을 기준으로 관찰 대상의 세부정보를 인식하는 규칙 기반 범주화의 인지 사고 수행과 연관이 있는 뇌 영역(Byeon, 2021; Seger & Peterson, 2013)이다.

앞에서 살펴본 뇌 영역에서 발생한 알파파 활성의 의미는 높은 알파파의 활성이 뇌 인지 시스템이 감각 기관을 통해 수집되는 정보 처리에 집중하는 외부지향성의 뇌 상태를 말해주며, 인지적으로 좀 더 편안한 상태에서 활성이 증가하는 알파파의 활성 양상(Korean EEG Study Group, 2017; Korean Society for EEG and Neurophysiology, 2017)을 통해 파악할 수 있다. 즉, 췌기전소엽(precuneus)과 각이랑(angular gyrus)에서 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 전과 비교하여 수행 후 알파파의 활성이 감소하였다는 것은 학생들이 과학적 관찰과제를 해결하기 위해서 과제 해결을 위해 중요한 정보를 선택하는 사고 과정, 이미 알고 있는 지식을 준거로 대상의 세부정보를 인식하는 사고 과정을 수행할 때 뇌 외부 정보 처리에 더 집중하였다고 할 수 있다. 또한, 이 사고 과정을 인지적으로 좀 더 집중하여 긴장한 상태에서 수행하였음을 알 수 있다. 다시 말해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 관찰 대상에 세부정보를 인식하는 데 필요한 기억을 선택하기 위해 시각 기관으로부터 수집된 정보 처리에 더 집중하는 것을 돕는 측면에서 유의미한 효과가 있다고 할 수 있다.

The Beta Band Activation

베타파는 세타파와 같이 사전 뇌파 측정과 비교하여 사후 뇌파 측정 때 상대적으로 낮은 뇌 활성을 나타낸 뇌 영역은 Table 8의 내용과 같이 두정엽의 상두정소엽(superior parietal lobule), 하두정소엽(inferior parietal lobule), 췌기전소엽(precuneus), 각이랑(angular gyrus), 중심후이랑(postcentral gyrus) 영역과 전두엽의 중심전이랑(precentral gyrus)이었다.

상두정소엽은 시간적 공간 정보에 대한 주의집중, 물체의 심적 회전 등과 연관된 인지기능에 관여하는 뇌 영역이다(Kim, 2012). 그리고 하두정소엽은 정보 선택 및 인출의 인지 사고를 수행할 때 활성화되는 뇌 영역이다(Hester et al., 2007). 특히, 과제 해결 시간 동안 정보 운용을 위한 한시적 저장소인 작업기억(working memory)의 한 부분에 관여하는 것으로 밝혀졌다(Caveza & Nyberg, 2000). 이 두 영역에서 유의미한 활성이 관찰된 뇌 영역은 BA7, BA40으로 동일한 영역에서 관찰되었다. 이는 과학적 관찰과제 수행 시 상두정소엽과 하두정소엽이 같이 활성이 이루어졌다는 것을 의미한다.

Table 8. Brain region with decreased the beta band activation

Talairach coordinates			VoxelValue	BA	Left / Right hemisphere	Lobe	Structure
X	Y	Z					
40	-71	45	-5.68603	7	Right	Parietal Lobe	Superior Parietal Lobule
40	-66	45	-5.61744	7	Right	Parietal Lobe	Inferior Parietal Lobule
40	-71	40	-5.25917	19	Right	Parietal Lobe	Precuneus
45	-61	45	-5.23598	40	Right	Parietal Lobe	Inferior Parietal Lobule
40	-66	40	-5.23277	39	Right	Parietal Lobe	Inferior Parietal Lobule
35	-51	49	-5.06032	40	Right	Parietal Lobe	Superior Parietal Lobule
30	-51	49	-4.70753	7	Right	Parietal Lobe	Precuneus
35	-61	35	-4.56923	39	Right	Parietal Lobe	Angular Gyrus
40	-66	36	-4.48016	39	Right	Parietal Lobe	Precuneus
40	-21	56	-4.34695	4	Right	Frontal Lobe	Precentral Gyrus
40	-22	52	-4.33387	3	Right	Parietal Lobe	Postcentral Gyrus
45	-26	61	-4.31451	1	Right	Parietal Lobe	Postcentral Gyrus

Table 9. Brain region with decreased the gamma band activation

Talairach coordinates			VoxelValue	BA	Left / Right hemisphere	Lobe	Structure
X	Y	Z					
40	-71	45	-5.03403	7	Right	Parietal Lobe	Superior Parietal Lobule
45	-66	45	-4.98018	7	Right	Parietal Lobe	Inferior Parietal Lobule
40	-66	40	-4.95734	39	Right	Parietal Lobe	Inferior Parietal Lobule
40	-71	40	-4.85186	19	Right	Parietal Lobe	Precuneus
45	-61	45	-4.81128	40	Right	Parietal Lobe	Inferior Parietal Lobule
35	-61	35	-4.52996	39	Right	Parietal Lobe	Angular Gyrus
35	-51	49	-4.50459	40	Right	Parietal Lobe	Superior Parietal Lobule
40	-66	36	-4.44580	39	Right	Parietal Lobe	Precuneus
10	-27	38	-4.28987	31	Right	Limbic Lobe	Cingulate Gyrus
5	-13	33	-4.26418	23	Right	Limbic Lobe	Cingulate Gyrus
5	-3	28	-4.24835	24	Right	Limbic Lobe	Cingulate Gyrus
25	-32	48	-4.24313	3	Right	Parietal Lobe	Postcentral Gyrus

깨기전소엽에서 유의미한 뇌 활성 차이가 나타난 영역은 BA 7, BA 19, BA 39 영역에 속해 있는 깨기전소엽 영역이었다. 특히, 깨기전소엽 BA7 영역은 공간 및 위치에 대한 시각적 정보와 관련된 내적 심상으로부터의 정보 인출, 깨기전소엽 BA19 영역은 시각적 공간 정보에 대한 작업기억의 인지 사고 수행과 연관된 뇌 영역이다(Kim & Jeong, 2020).

각이랑은 외부 자극 기반 문제 해결 사고를 수행할 때와 뇌 내부에 이미 가지고 있는 사전지식을 기초로 관찰 대상의 세부 특성을 평가하는 규칙 기반 내용 범주화의 인지 사고를 수행하는 것과 관련이 있는 것으로 알려졌다(Byeon, 2021; Seger & Peterson, 2013).

중심후이랑은 시각적 정보와 공간의 관계를 연결하여 시공간 정보를 표상하고, 이에 대한 기억을 유지하는 인지 사고와 관련이 있다(Gazzaniga et al., 2002). 또한, 이 뇌 영역은 과제의 수준이 높아질수록, 문제 해결이 어려울수록 활성이 더 높아지는 특성이 있다(Gazzaniga et al., 2002).

전두엽에서 활성화된 중심전이랑은 대상에 대한 정보나 기억의 의도적인 인출과 연관이 있는 영역으로 알려져 있다(Kim & Jeong, 2016).

앞에서 살펴본 뇌 영역에서 발생한 베타파 활성의 의미는 과제 수행 난이도와 주의집중 수준에 비례하여 활성이 증가하는 경향이 있는 베타파의 활성 양상(Korean Society for EEG and Neurophysiology, 2017)을 통해 파악할 수 있다. 즉, 상두정소엽(superior parietal lobule), 하두정소엽(inferior parietal lobule), 깨기전소엽(precuneus), 각이랑(angular gyrus), 중심후이랑(postcentral gyrus), 중심전이랑(precentral gyrus)에서 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 전과 비교하여 수행 후 베타파의 활성이 감소하였다는 것은 학생들이 과학적 관찰과제를 해결하기 위해서 관찰 대상의 세부정보를 파악하기 위해서 관찰 대상의 시공간 정보 표상, 시간적 위치 정보에 대한 작업기억, 관찰 대상의 세부 특성의 의미를 평가하기 위한 사전지식의 의도적 인출과 비교와 같은 사고 과정을 수행할 때 느끼는 어려움이 줄어들었다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 다시 말해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 관찰 대상에 세부정보를 인식하는 데 필요한 시각적 위치 정보 표상, 관찰 대상의 세부 특성의 의미를 평가하기 위하여 사전지식에 비추어 수집한 시각정보의 의미를 파악하는 사고 과정을 좀 더 쉽게 수행하는 것을 돕는 측면에서 긍정적인 효과가 있다고 할 수 있다.

The Gamma Band Activation

감마파도 세타파와 같이 사전 뇌파 측정 때보다 사후 뇌파 측정 때 상대적으로 낮은 뇌 활성을 나타낸 뇌 영역이 관찰되었다. 이 영역은 두정엽의 상두정소엽(superior parietal lobule), 하두정소엽(inferior parietal lobule), 췌기전소엽(precuneus), 각이랑(angular gyrus), 중심후이랑(postcentral gyrus) 영역과 변연엽의 대상이랑(cingulate gyrus)이었다.

상두정소엽은 시각적 공간 정보에 대한 주의집중의 인지기능(Kim, 2012)과 하두정소엽은 정보 선택 및 인출의 인지기능 및 한시적 작업기억의 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이다(Hester et al., 2007). 췌기전소엽은 시각적 공간 정보와 관련된 장기기억 인출, 시각적 공간 정보 작업기억의 인지기능과 관련이 있는 뇌 영역이다(Kim & Jeong, 2020). 각이랑은 뇌 내부 정보를 기반으로 하여 물체의 세부 특성의 의미를 평가하는 인지기능 수행과 관련이 있는 뇌 영역이며(Byeon, 2021; Seger & Peterson, 2013), 중심후이랑은 시각적 공간 정보 표상 및 표상 정보에 대한 작업기억 수행과 연관된 뇌 영역으로, 중심후이랑에서의 활성화는 과제의 수준과 정적 상관관계가 있는 특징이 있다(Gazzaniga et al., 2002).

앞에서 살펴본 뇌 영역에서 발생한 감마파 활성화의 의미는 정보를 통합할 때나 전력을 다해 과제 수행에 집중할 때 활성이 증가하며, 기억을 단기적으로 유지하거나 장기기억을 다시 불러올 때 활성이 나타나는 경향이 있는 감마파의 활성 양상(Korean EEG Study Group, 2017; Korean Society for EEG and Neurophysiology, 2017)을 통해 파악할 수 있다. 즉, 상두정소엽(superior parietal lobule), 하두정소엽(inferior parietal lobule), 췌기전소엽(precuneus), 각이랑(angular gyrus), 중심후이랑(postcentral gyrus), 대상이랑(cingulate gyrus)에서 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 수행 전과 비교하여 수행 후 감마파의 활성이 감소하였다는 것은 학생들이 과학적 관찰과제를 해결하기 위해서 관찰 대상의 부분 정보를 파악하기 위하여 관찰 대상의 요소에 대한 한시적 기억 유지와 이미 알고 있는 정보와의 비교를 통하여 의미를 파악하기 위한 장기기억 인출 및 파악한 요소에 대한 작업기억의 사고 과정을 좀 더 낮은 수준의 집중으로 수행하였다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 다시 말해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 관찰 대상에 부분 정보의 의미를 좀 더 낮은 수준의 집중으로도 파악하는 것을 돕는 측면에서 긍정적인 효과가 있다고 할 수 있다.

Conclusions and Implications

이 연구의 목적은 UDL를 적용한 과학적 관찰 학습 프로그램의 교육적 효과를 뇌 활성 변화를 통해 알아보는 것이다. 이를 위해 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 적용 전과 후에 고등학생들이 과학적 관찰과제를 수행하는 동안 나타나는 뇌 활성을 측정함으로써, 학습 프로그램의 교육적 효과를 인지적 차이 측면에서 알아보려고 하였다. 이와 같은 과정을 통해 수집한 자료를 분석하여 아래와 같은 결론을 내릴 수 있었다.

첫째, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 고등학생들의 과학적 관찰 능력 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 실험집단 학생들은 사전 검사 때보다 사후 검사 때 15.86점의 점수향상을 나타냈으며, 통제집단 학생들도 사후 검사 때 7.00점의 점수향상이 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 실험집단 및 비교집단 학생들보다 사후 검사에서 더 향상된 과학적 관찰 지식 생성능력을 보였다는 것을 보여준다고 할 수 있다.

통제집단 학생들이 사후 검사에서 더 나은 과학적 관찰 지식 생성능력을 보인 것은 같은 소재로 구성된 과제를 반복하여 수행한 것에 대한 반복된 활성화에 의한 연습의 효과라고 볼 수 있다. 연습의 효과는 실험집단 학생들에게도 동일하게 나타났다. 하지만 과학적 관찰 능력 점수의 향상 수준은 실험집단 학생들이 통제집단 학생보다 더 높게 나타났다. 이는 같은 소재로 구성된 과제 수행으로 인한 반복의 효과와 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 교육 효과가 중복되어 영향을 미친 결과라고 할 수 있다. 이와 같은 연구결과는 학생들의 과학적 관찰 지식 생성능력 함양을 위해서는 비교 관찰을 위한 체계적인 지도, 쉬운 수준의 관찰인 대상의 전체적 특성을 파악하는 전체관찰에 대한 이해를 바탕으로 대상의 부분적 특성을 파악하는 부분관찰을 수행하도록 지도하는 수준별 과제 제시, 관찰 활동 이해를 위해 수행하는 교사의 활동에 대한 명시적 안내가 중요하다는 선행연구 결과를 뒷받침하는 결과라고 할 수 있다. 더 나아가 이 연구결과는 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램이 학생들의 과학적 관찰 지식 함양에 긍정적인 학습 프로그램이라는 것을 말해준다고 할 수 있다.

둘째, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 과학적 관찰과제 해결을 위해 수행하는 인지 사고에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

비교집단 학생들은 사전 뇌파 검사와 사후 뇌파 검사 사이에 유의미한 뇌 활성화 차이는 발견되지 않았다. 이와 같은 결과는 비교집단 학생들이 사전 및 사후 검사에서 유의미한 뇌 활성화 차이가 관찰되지 않았다는 것은 같은 소재로 구성된 과학적 관찰과제를 반복적으로 수행한 것에 의한 연습 효과로 인하여 같은 수준의 인지적 노력과 유사한 패턴의 인지 사고 수행으로도 과학적 관찰과제 수행 점수에 긍정적인 결과가 나타났다고 볼 수 있다. 이와 비교하여 실험집단 학생들은 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 대역의 뇌파에서 유의미한 뇌 활성화 차이가 관찰되었다. 실험집단 학생들이 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 후 나타난 인지 사고의 변화를 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 대역의 뇌파 활성화 차이 분석을 통해 다음과 같이 추론하였다.

사전 뇌파 측정 때와 비교하여 사후 뇌파를 측정할 때 세타파의 활성화는 후두엽의 췌기소엽, 중후두이랑, 허이랑과 두정엽의 각이랑에서 상대적으로 유의미하게 감소한 것으로 나타났다. 이들 영역에서 발생한 세타파 활성화 변화의 의미는 과제 수행을 위한 사고 및 주의집중의 수준이 증가할수록 더 높은 활성을 나타내는 세타파의 활성화 특성과 유의미한 활성화 변화가 관찰된 뇌 영역 관련 인지기능을 통해 파악할 수 있다.

췌기소엽은 색상, 형태, 방향, 전체적 또는 부분적 시각정보 인식과 시각적 정보에 대한 작업기억과 연관된 뇌 영역이다. 중후두이랑은 내적 심상 회상을 통한 시각정보의 부호화와 관련된 뇌 영역이다. 허이랑은 시각적 공간 정보를 인식하는 인지 사고와 관련이 있는 뇌 영역이다. 마지막으로 각이랑은 뇌 내부 및 외부 정보를 기반으로 관찰 대상의 세부정보를 인식하는 인지 사고와 관련이 있는 뇌 영역이다.

사전 뇌파 측정에서 뇌 활성화와 비교하여 사후 뇌파 측정에서 췌기소엽, 중후두이랑, 허이랑, 각이랑 영역에서 세타파의 활성화가 낮아졌다는 것은 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 경험을 통해 학생들이 관찰 대상의 시각적 정보를 파악하는 사고 과정에서 주의집중 및 사고의 수준이 낮아졌다는 것을 의미한다. 즉, 좀 더 낮은 수준의 주의집중으로 내부 정보 회상과 시각 피질을 통해 뇌 외부 정보 수집 활동으로 관찰 대상의 시각적 전체적 및 부분적 특성을 인식하고 인식한 정보에 대한 기억을 유지하는 인지 사고를 수행하였다고 할 수 있다. 이러한 결과는 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램은 학생들이 과학적 관찰 수행 시 관찰 대상의 전체적 및 부분적 시각정보를 인식하는 데 긍정적인 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

알파파의 경우, 사전 뇌파 측정 때보다 사후 뇌파 측정 때 활성이 증가한 뇌 영역과 활성이 감소한 뇌 영역이 동시에 관찰되었다. 먼저, 알파파의 활성이 증가한 뇌 영역은 전두엽의 상전두이랑, 중전두이랑, 하전두이랑 영역과 측두엽의 상측두이랑 영역이었다. 이들 영역에서 발생한 알파파 활성의 의미는 인지적으로 편안한 상태와 뇌 내부 정보 기반의 하향식 사고를 수행할 때 활성이 증가하는 알파파의 특성과 유의미한 활성 변화가 관찰된 뇌 영역 관련 인지기능을 통해 파악할 수 있다.

상전두이랑에서 알파파의 활성이 증가하였다는 것은 학생들이 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 후 과학적 관찰사고를 수행할 때 관찰 대상의 특성을 파악하는 과정에서 대상의 부분적 정보를 인식한 후 이에 대한 기억을 유지하면서 집중하는 사고를 인지적으로 좀 더 편안한 상태의 하향적 사고를 통해 수행하였다는 것을 알 수 있다.

중전두이랑에서 알파파의 활성이 증가하였다는 것은 UDL 기반 과학적 관찰 학습 경험 후 학생들이 인지적으로 좀 더 편안한 상태의 하향식 사고를 통해 과학적 관찰과제를 해결하기 위하여 수행하는 관찰 대상의 다양한 개념들에 대한 주의집중의 수준 조절, 작업기억, 문제 상황의 의도와 목적 기반의 추론 사고를 수행하였다는 것을 알 수 있다.

하전두이랑은 말하기와 같은 표현 언어와 관련 있는 뇌 영역이고 상측두이랑은 시각적 위치 정보에 대한 선택적 주의집중과 관련 있는 뇌 영역이다. 이 두 영역에서 알파파의 활성이 증가하였다는 사실은 학생들이 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 후 과학적 관찰과제 수행 시 인지적으로 좀 더 편안한 상태에서 대상의 부분적 시각정보에 대한 언어적 부호화 사고를 수행하였으며, 특정 시각적 정보에 대한 선택적 주의집중을 수행하였음을 말해준다고 할 수 있다. 또한, 이와 같은 인지 사고를 하향식 사고를 통해 수행하였음을 알 수 있다.

한편, UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 이전 뇌파 측정 때보다 경험 이후 뇌파 측정 때 알파파 활성이 감소한 뇌 영역은 두정엽의 뺨기전소엽과 각이랑 영역이었다. 뺨기전소엽은 기억 탐색 및 검토 등의 인지 사고와 관련 있는 뇌 영역이며, 각이랑은 사전지식을 기준으로 관찰 대상의 세부정보를 범주화하는 인지 사고와 관련 있는 뇌 영역이다. 이 두 영역에서 알파파의 활성이 감소하였다는 사실은 학생들이 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램을 경험함에 따라 학생들이 과학적 관찰과제 해결을 위해 인지적으로 좀 더 긴장한 상태에서 기억 탐색 및 검토와 같은 모니터링, 사전지식을 규칙으로 삼아 관찰 대상의 세부정보를 범주화하는 규칙 기반 범주화와 같은 인지 사고를 수행하였다는 것을 말해준다고 할 수 있다.

베타파의 경우, 사전 뇌파 측정 결과와 비교하여 사후 뇌파 측정 때 전두엽의 중심전이랑과 두정엽의 상두정소엽, 하두정소엽, 뺨기전소엽, 각이랑, 중심후이랑 영역에서 활성이 감소하는 결과를 보였다.

전두엽의 중심전이랑은 대상의 특성 관련 기억의 의도적 인출과 같은 인지기능과 연관된 뇌 영역이다. 그리고 두정엽의 상두정소엽은 시각적 공간 정보에 대한 주의집중의 인지기능과 연관된 뇌 영역이고 하두정소엽은 정보의 선택 및 인출과 같은 인지기능과 연관된 뇌 영역이다. 그리고 두정엽의 뺨기전소엽은 내적 심상으로부터의 시각적 공간 정보 관련 정보 인출, 시각적 공간 정보에 대한 작업기억과 같은 인지기능과 연관된 뇌 영역이다. 또한, 두정엽의 각이랑은 사전지식 기반 관찰 대상의 세부 특성 평가의 인지기능과 관련이 있으며, 중심후이랑은 시각적 정보와 공간의 관계를 결합하여 시간적 공간 정보를 표상하는 것과 관련 있는 뇌 영역이다.

이들 영역에서 발생한 베타파 활성의 의미는 과제 수행 난이도와 주의집중의 수준이 높아질수록 활성이 증가하는 베타파의 특성과 유의미한 활성 변화가 관찰된 뇌 영역 관련 인지기능을 통해 파악할 수 있다.

UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램 경험 이전보다 경험 후 앞서 언급한 중심전이랑, 상두정소엽, 하두정소엽, 뿔기전소엽, 각이랑, 중심후이랑 영역에서 베타파의 활성이 감소하였다는 것은 학생들이 과학적 관찰과제 수행 과정 중 다음과 같은 인지 사고를 좀 더 낮은 수준의 주의집중으로 수행하였다는 것을 말해준다. 학생들은 관찰 대상의 특성을 파악하기 위해 관찰 대상의 부분적 특성을 파악하기 위해 특정 시각적 정보와 공간의 관계를 결합하여 시각적 공간 정보를 표상하고 시각적 공간 정보의 의미를 파악하기 위해 정보와 관련된 기억을 의도적으로 인출하는 인지 사고를 수행하였음을 알 수 있다. 그리고 과제 해결 과정 동안 의미를 파악한 시각적 공간 정보에 대한 기억을 유지하는 노력을 하였다는 것도 알 수 있다. 즉, UDL 기반 과학적 관찰 학습 경험은 학생들이 시각적 공간 정보 생성 및 의미 부여를 위한 의도적 기억 인출, 시각적 공간 정보에 대한 작업기억과 같은 인지 사고를 좀 더 낮은 수준의 집중으로 수행할 수 있도록 도와주었다고 할 수 있다.

감마파의 경우, 사전 뇌파 측정 때보다 사후 뇌파 측정 때 두정엽의 상두정소엽, 하두정소엽, 뿔기전소엽, 각이랑, 중심후이랑 영역과 변연엽의 대상이랑에서 활성이 감소하였다. 이들 영역에서 발생한 감마파 활성 변화 의미는 과제 해결을 위해 전력을 다할 때와 정보의 통합이 활발하게 이루어질수록 활성이 증가하는 감마파의 특성과 유의미한 활성 변화가 관찰된 뇌 영역 관련 인지기능을 통해 파악할 수 있다.

상두정소엽은 시각적 공간 정보에 대한 주의집중, 하두정소엽은 정보 선택 및 인출의 인지기능, 뿔기전소엽은 시각적 공간 정보와 관련된 장기기억 인출 및 시각적 공간 정보 작업기억의 인지기능, 각이랑은 뇌 내부 정보를 기반으로 하여 물체의 세부 특성의 의미를 평가하는 인지기능, 중심후이랑은 시각적 공간 정보 표상 및 표상 정보에 대한 작업기억 수행의 인지기능과 연관된 뇌 영역들이다.

UDL 기반 과학적 관찰 학습 수행 이전보다 수행 후 이들 영역에서 감마파의 활성이 감소하였다는 사실은 과학적 관찰 학습 수행 후 학생들이 관찰 대상의 부분적 특성을 파악하기 위하여 수행하는 시각적 공간 정보 관련 장기기억 선택-인출-장기기억 기반 대상의 시간적 공간 정보에 대한 의미 부여의 사고 수행 과정을 좀 더 낮은 수준의 노력으로 수행하였다는 것을 말해준다고 할 수 있다. 또한, 관찰 대상의 부분적 특성의 의미를 부여하기 위하여 수행하는 인지 사고 수행 중 시각피질을 통해 인지한 시각적 공간 정보에 대한 기억을 유지하는 사고 수행 역시 좀 더 낮은 수준의 인지적 노력으로 수행하는 것이 가능해졌다는 것을 말해준다고 할 수 있다.

이와 같은 결론을 통해 제안할 수 있는 교육적 함의는 다음과 같다.

첫째, 학생들의 과학적 관찰 능력을 함양하는 것을 목적으로 하는 교수-학습 프로그램에서 관찰 대상의 전체적 및 부분적 시각정보를 탐색하는 것을 돕는 과정이 매우 중요하다는 것이다.

둘째, 관찰 활동에 대한 교사의 시범과 명시적 안내, 쉬운 난이도의 과제 제시 후 어려운 난이도의 과제 제시, 비교 관찰을 유도하기 위한 초점질문 제공, 초점질문에 의한 과제 수행 후 독립적 과제 수행, 동기 유발을 위한 목표의 지속적 제시와 긍정적 피드백 제공 등과 같은 UDL 기반 교수-학습 전략이 과학적 관찰 수행을 위한 뇌 인지 네트워크를 자극한다는 것이다. 또한, 이러한 뇌 네트워크 자극이 성공적이고 긍정적인 과학적 관찰과제 수행으로 이어진다는 것이다.

셋째, 본 연구의 결과는 UDL 기반 교수-학습 전략을 적용한 과학적 관찰 학습 프로그램은 관찰 대상의 부분적 세부 특성을 파악하는 부분관찰과 대상의 시각적 정보의 의미를 판단하기 위한 사전지식 의도적 인출 및 제공 측면에서 효과가 있다는 것을 밝혔다는 데 의의가 있다.

넷째, 본 연구는 학생들의 과학적 관찰을 수행할 때 발생하는 뇌 활성 변화를 근거로 하여 UDL 기반 과학적 관찰 학습 프로그램의 교육적 효과를 밝혔다. 2015 개정 교육과정에서 과학적 문제 해결력을 핵심역량으로 다룬다는 측면에서 과학적 문제 인식과 해결방안 고안 능력을 함양하는 UDL 기반 교수-학습 전략의 교육적 효과를 파악하는 연구로 추가로 진행되어 과학과 핵심역량을 함양하는 것을 목적으로 진행하는 프로그램 개발의 증거기반 기초 자료 제공 연구가 진행될 필요가 있다.

Acknowledgements

This research was supported by Daegu University Research Grant, 2019.

References

- Anderson, R. D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13, 1-12.
- Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in cognitive sciences*, 10, 146-151.
- Boisgueheneuc, F. D., Levy, R., Volle, E., Seassau, M., Duffau, H., Kinkingnehun, S., ... Dubois, B. (2006). Functions of the left superior frontal gyrus in humans: a lesion study. *Brain*, 129, 3315-3328.
- Byeon, J. H. (2021). The cognitive analysis of classification strategy by comparison of science pre-service teachers' brain activations during animate and inanimate classification. *Brain, Digital, & Learning*, 11, 183-197.
- Byeon, J. H., Lee, J. K., & Kwon, Y. J. (2009). An analysis of meanings and processes about scientific observation in the science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29, 531-540.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1-47.
- CAST (2018). Universal Design for Learning Guidelines version 2.2. Retrieved from <http://udlguidelines.cast.org>.
- Cho, E. K. & Choi, S. Y. (2017). The development and application of the observational learning program to create scientific questions in elementary science class. *Biology Education*, 45, 148-158.
- Cho, S. H., & Park, S. H. (2011). Effects of universally designed inclusive elementary science classes on the science achievement of students without and with disabilities. *Korean Journal of Special Education*, 46, 51-84.
- Choi, M. O., & Woo, N. H. (1996). An analytic study of children's problem solving process with Tower of Hanoi. *The Korean Journal Of Developmental Psychology*, 9, 217-228.
- Choi, Y. S., Kwon, S. H. & Kwon, Y. J. (2018). College student's brain connectivities in life science learning with VR contents – resting state fMRI approach –. *Biology Education*, 46, 71-79.
- Compumedics(2002). Profusion EEG User Guide. VIC: Compumedics Limited.
- Cummings, J. L., & Miller, B. L. (2007). *The human frontal lobes; Functions and Disorders*. New York, NY: Guilford.
- Deppe, M., Schwindt, W., Kugel, H., Plassmann, H., & Kenning, P. (2005). Nonlinear responses within the medial prefrontal cortex reveal when specific implicit information influences economic decision making. *Journal of Neuroimaging*, 15, 171-182.

- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2002). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (2nd ed.). New York: W. W. Norton & Company.
- Gendron, R. P. (2000). The classification & evolution of Caminalcules. *The American Biology Teacher*, 62, 570-576.
- Gerlach, C., Aaside, C. T., Humphreys, G. W., Gade, A., Paulson, O. B., & Law, L. (2002). Brain activity related to integrative process in visual object recognition : bottom-up integration and the modulatory influence of stored knowledge. *Neuropsychologia*, 40, 1254-1267.
- Gluck, M. A., Mercado, E., & Myers, C. E. (2011). *Learning and Memory: From Brain to Behavior* (Choi, J. S., Kim, H. T., & Shin, M. S., Trans.) Seoul: Sogmapress. (Original work published in 2008).
- Hansen, L., & Monk, M. (2002). Brain development, structuring of learning and science education: Where are we now? a review of some recent research. *International Journal of Science Education*, 24, 343-356.
- Hester, R., Barre, N., Mattingley, J. B., Foxe, J. J., & Garavan, H. (2007). Avoiding another mistake: Error and posterior neural activity associated with adaptive posterior behavior change. *Cognitive Affective Behavior Neuroscience*, 7, 317-326.
- Huettel, S. A., & McCarthy, G. (2004). What is odd in the oddball task?: Prefrontal cortex is activated by dynamic changes in response strategy. *Neuropsychologia*, 42, 379-386.
- Jang, W. H. & Hong, H. G. (2020). Development and application of semi-structured group inquiry program. *Journal of Science Education for the Gifted*, 12, 104-116
- Jeong, J. S., & Yun, S. G. (2008). The relative power spectral analysis of eeg activity during the inductive inquiry task performance with caminalcules. *Biology Education*, 36, 456-467.
- Kim, J. H. & Ha, K. Y. (2010). The effects of science education using natural observation activities on pre-service early childhood teachers' attitudes toward science and science teaching efficacy. *The Journal of Korean Teacher Education*, 27, 149-178.
- Kim, M. J., Byeon, J. H., Lee, I. S., Kwon, Y. J. (2013). Analysis of elementary school students' observation knowledge generation by the strategies of observing activity on living things. *Biology Education*, 41, 657-674.
- Kim, S. H. (2012). Current practices and prospect of educational neuroscience from the review of research on developmental dyscalculia. *The Korea Journal of Learning Disabilities*, 9, 71-91.
- Kim, S. S. & Park, J. W. (2010). Investigation of science teachers' and students' comprehension of theory-laden scientific observation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30, 157-169.
- Kim, Y. R. & Shin, D. H. (2015). Development of observing and classifying process skill enhancement program using scientific thinking strategy model for elementary school students. *The Journal of Korea Elementary Education*, 26, 195-214.
- Kim, Y. S. & Jeong, J. S. (2020). The influence of background knowledge on eeg activation in high school students' life science hypothesis generation process. *Biology Education*, 48, 521-534.
- Kim, Y. S., & Jeong, J. S. (2019). The influence of number of targets on commonness knowledge generation and brain activity during the life science commonness discovery task performance. *Journal of Science Education*, 43, 157-172.
- Kim, Y. S. & Jeong, J. S. (2018). Analysis of the effects of observation and classification learning program for students with low inductive inquiry achievement: An EEG study. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*, 57, 1-23.
- Kim, Y. S. & Jeong, J. S. (2016). A SLORETA study of the effects of task similarity on brain activation during life science commonness discovery. *Biology Education*, 44, 372-382.
- Kim, Y. S., Jeong, J. S., & Park, C. U. (2017). Search for observational teaching strategies of students with intellectual disability based on brain science theory. *The Journal of Special Education: Theory and Practice*, 18, 105-123.

- Kim, Y. S., Jeong, J. S., Park, S. Y., Lee, H. J. (2019). The effects of scientific hypothesis learning based on the principle of udl representation on eeg activation of low and general achieving students. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*, 58, 187-215.
- Kim, Y. S., Jung, J. S., & Yoon, K. Y. (2006). Research articles: A comparison of science gifted and general students' observational way and activity in elementary school. *Biology Education*, 34, 432-438.
- Kim, Y. S., Kim, N. J., Lee, h. J., & Kim, Y. W. (2019). The effect of udl based science instruction on science positive experience of middle school student. *Journal of Special Education & Rehabilitation Science*, 58, 49-79.
- Koch, C. (2006). *The Quest for Consciousness a Neurobiological Approach* (Kim, M. S., Trans.) Seoul: Sogmapress. (Original work published in 2004).
- Korean EEG Study Group (2017). *Techniques and Applications of EEG Analysis: From Basics to Clinicla Researches*. Seoul: Daehanuihak.
- Korean Society for EEG and Neurophysiology (2017). *Understanding and application of EEG*. Seoul: Hakgisa.
- Kwon, H. J., & Park, H. S. (2012). The effects of science class applied udl on science achievement of students with and without disabilities in a general middle school. *Korean Journal of Special Education*, 47, 229-259.
- Kwon, S. H., Oh, J. Y., Lee, Y. J., Eom, J. T., & Kwon, Y. J. (2016). Brain activation pattern and functional connectivity during convergence thinking and chemistry problem solving. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60, 203-214.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Shin, D. H., Lee, J. K., Lee. I. S., Byeon, J. H. (2011). *The Generation and Evaluation of Scientific Knowledge to Improve Scientific Inquiry Skills* (2nd ed.). Seoul: Hakjisa.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H., & Lee. H. N. (2006). Biology educators' brain activation on scientific observation about biological phenomena and famous paintings appreciation: An fMRI study. *Secondary Education Research*, 54, 475-500.
- Lee, B. W. & Kim, H. K. (2007). An analysis of observation and measurement standards in foreign national science curriculums. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 26, 87-96.
- Lee, E. S. & Jeong, E. Y. (2016). Investigation on the difficulties during pre-service science teachers' free-inquiry activities and perception about free-inquiry. *Biology Education*, 44, 763-774.
- Lee, J. K., Jeong, J. S., Yang, I. H., & Kwon, Y. J. (2008). Neural substrates during finding target objects and observing natural phenomena: An fMRI study. In *Advances in Cognitive Neurodynamics ICCN 2007* (pp. 587-593). Springer: Dordrecht.
- Lee, K. R., Back, N. G., & Park, J. H. (2015). Analysis of the structural relationship among learning outcomes in science classes applying universal design for learning. *The Journal of Korea Elementary Education*, 34, 1-14.
- Li, R., Utevsky, A. V., Huettel, S. A., Braams, B. R., Peters, S., Crone, E. A., & van Duijvenvoorde, A. C. (2019). Developmental maturation of the precuneus as a functional core of the default mode network. *Journal of cognitive neuroscience*, 31, 1506-1519.
- Ministry of Education (2015). *2015 Revised National Science Curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education (2019). *5-2 Teacher's Guides for Science*. Seoul: Visang.
- Ok, M. W. & Choi, N. R. (2018). Universal design for learning in pre-k to high school classrooms: effects and methodological quality focusing on child's academic and social outcomes. *Institute of Special Education & Rehabilitation Science*, 57, 19-40.
- Park, H. M. (2020). Analyses of changes in elementary school students' science-related attitudes through app-based learning of observing and recording living things. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 39, 307-322.

- Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): Technical details. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, 24, 5-12.
- Ranganath, C., Johnson, M. K., & D'Esposito, M. (2003). Prefrontal activity associated with working memory and episodic long-term memory. *Neuropsychologia*, 41, 378-389.
- Rose, D., & Meyer, A. (2002) *Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design for Learning*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD).
- Sadeh, I., & Zion, M. (2009). The development of dynamic inquiry performances within an open inquiry setting: A comparison to guided inquiry setting. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46, 1137-1160.
- Schultz, J., Imamizu, H., Kawato, M., & Frith, C. D. (2004). Activation of the human superior temporal gyrus during observation of goal attribution by intentional objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 1695-1705.
- Seger, C. A., & Peterson, E. J. (2013). Categorization=decision making+generalization. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37, 1187-1200.
- Slotnick, S. D. (2021). *Cognitive Neuroscience of Memory*(Nam, K. C., Trans.) Seoul: Pymate. (Original work published in 2017).
- Talairach, J., & Tournoux, P.(1988). *Co-planar Stereotaxic atlas of the Human Brain: Three Dimensional Proportional System*. Stuttgart: Georg Thieme.
- Yago, E., & Ishai, A. (2006). Recognition memory is modulated by visual similarity. *NeuroImage*, 31, 807-817.
- Yang, J. E. & Choi, A. R. (2020). Science Teachers' Orientation toward Scientific Inquiry-Based Teaching. *Journal of the Korean Chemical Society*, 64, 210-224.
- Zhang, J. X., Leung, H. C., & Johnson, M. K. (2003). Frontal activations associated with accessing and evaluating information in working memory: An fMRI study. *Neuroimage*, 20, 1531-1539.

Authors Information

Kim, Yong-Seong: Daegu University, First Author

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6782-335X>

Jeong, Jin-Su: Daegu University, Professor, Corresponding Author