

RESEARCH ARTICLE

An Analysis of EEG Activation Differences during the Inductive and the Deductive Inquiry Task Performance

Jin-Su Jeong¹ · Yong-Seong Kim^{2*}

¹Daegu University

²Research Institute for Special Education & Rehabilitation Science, Daegu University

귀납적 탐구 과제와 연역적 탐구 과제 수행에서 나타난 뇌 활성 차이 분석

정진수¹ · 김용성^{2*}

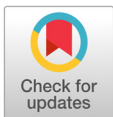
¹대구대학교 · ²대구대학교 특수교육·재활과학연구소

*Corresponding Author: dr-kys@naver.com

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze changes in EEG activation that occur when performing the inductive inquiry tasks and the deductive inquiry tasks. EEG measurement tasks were developed which were divided into criteria tasks and scientific inquiry tasks. The scientific inquiry tasks were developed by dividing them into the inductive inquiry tasks and the deductive inquiry tasks. EEG data were collected from 12 university students in Busan. Relative power spectrum activity difference analysis and the sLORETA analysis method was performed from the collected EEG data. The results of the study are as follows. First, the theta band showed relatively higher activation in the frontal lobe and the parietal lobe when performing the inductive inquiry task than when performing the deductive inquiry task. The alpha band showed relatively higher activity in the frontal lobe, the parietal lobe, and the temporal lobe when performing deductive inquiry tasks than when performing inductive inquiry tasks. In addition, the beta band and the gamma band showed relatively higher activity in the frontal and parietal lobes when performing deductive inquiry tasks than when performing inductive inquiry tasks. Second, as a result of the sLORETA analysis, when performing the deductive inquiry task compared to the inductive inquiry task, higher activity was found in the precentral gyrus and the middle frontal gyrus. These results show that inductive and deductive thinking have different cognitive characteristics in terms of planning and performing task solving, comparing information on targets and target elements, selecting appropriate information, goal-oriented attention, selective memory retention and forgetfulness, spatial information recognition of targets, and visual working memory. Through this, we propose a neurophysiological basis for the validity of cognitive psychological explanations for inductive and deductive exploration and the possibility of follow-up studies in various aspects.

Key words : Inductive inquiry, deductive inquiry, EEG activation, sLORETA, cognitive thinking



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2022, Vol. 12, No. 2, 193-209.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20220013>

Received: May 25, 2022

Revised: June 07, 2022

Accepted: June 07, 2022

© 2022. 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

과학적 탐구는 연구를 목적으로 수행하는 과학자들의 과학적 활동과 과학 수업 시간에 학습을 목적으로 수행하는 학생들의 학습 활동으로 구분할 수 있다(Seoul National University Science Education Research Center, 2011). 따라서 과학적 탐구는 과학자와 학생이 자연현상과 관련된 질문을 생성하고 그 현상을 조사하여 얻어진 과학적 증거를 바탕으로 자연현상의 원인에 대한 설명을 제공하고 새로운 사실을 예측하는 활동과 같은 일련의 과정으로 정의할 수 있다(Chiappetta et al., 1998; Jeong & Jeong, 2018). 특히 과학적 활동으로써 과학적 탐구는 과학자가 자연현상을 대상으로 조사 또는 실험을 수행하여 그 과정에서 산출한 증거를 바탕으로 자연현상의 원인에 대한 설명을 제공하는 과학적 연구를 말하고, 과학 학습으로써 과학적 탐구는 과학 지식을 획득하는 대표적 활동으로 학생이 과학자가 자연현상을 연구하는 방법 및 절차를 수행하는 것을 통해 탐구 주제와 관련된 개념적 지식뿐만 아니라 과학적 탐구를 수행하는 과정적 지식과 과학의 본성에 대한 이해를 도모하는 학습을 의미한다(Jeong & Jeong, 2018). 이러한 과학적 탐구는 제3차 과학 교과 교육과정에서 탐구 중심의 과학교육이 본격적으로 그 중요성이 강조되기 시작한 이후 지금까지 중요한 과학교육 목적 중 하나이다(Kim et al., 2016). 특히 제6차, 제7차, 2007 개정, 2009 개정, 2015 개정 과학과 교육과정에서 다양한 형태로 과학적 탐구를 반영하고 있다. 예를 들어 2007 개정 교육과정에서는 단원별 탐구 활동과 자유 탐구 주제를 제시하였으며(Seoul National University Science Education Research Center, 2011), 2015 개정 과학과 교육과정에서는 과학적 탐구 능력을 과학과 핵심역량을 하위 영역으로 제시하고 있다(Jeong & Jeong, 2018; Ministry of Education, 2015).

이처럼 과학교육에서 과학적 탐구는 중요한 지위를 차지하고 있기에 그동안 과학탐구 또는 탐구 기반 과학교육을 주제로 하는 다양한 연구를 통해 탐구에 대한 다양한 측면의 설명을 제공해왔다. 다양한 선행연구 및 문헌들을 통해 제시된 과학적 탐구는 탐구 기능 요소 측면에서의 접근, 탐구모형 측면에서의 접근, 과학적 사고 측면에서의 접근의 3가지 접근으로 정리할 수 있다(Cheong, 2019). 여기서 탐구 기능 요소 측면에서의 접근은 과학적 탐구를 수행할 때 필요한 기능적 요소를 추출하고 이 요소를 기반으로 수행하는 활동으로 과학적 탐구를 설명한다. 현행 교육과정에서는 과학적 탐구를 구성하는 기능적 요소를 관찰, 분류, 예상, 측정, 추리, 의사소통과 같은 기초 탐구기능과 문제 인식, 가설 설정, 변인 통제, 자료 변환, 자료 해석, 결론 도출, 일반화와 같은 통합 탐구기능으로 구분하고 있다(Ministry of Education, 2015). 그리고 탐구 기반 교수-학습 상황에서는 기초 탐구기능과 통합 탐구기능에 수준 차이를 고려하여 기초 탐구기능의 성공적 수행을 기반으로 통합탐구기능을 적용하도록 안내하고 있다(Ministry of Education, 2015). 다음으로 탐구모형 측면에서의 접근은 과학적 탐구 과정을 도식하여 모형화하여 정보를 제공하는 것을 말한다. 예를 들어, Kwon et al. (2011)이 제시한 가설 생성 과정 모형은 귀추적 탐구 수행과정을 ‘인과적 의문 생성 → 인과적 의문 상황 분석 → 의문 상황과 유사한 과거 경험 상황 동정 → 의문 상황과 유사한 과거 경험 상황을 설명했던 원인적 설명자 탐색 → 원인적 설명자 차용에 의한 가설적 설명자 고안’으로 설명하고 있다. 마지막으로 과학적 사고 측면에서의 접근은 과학적 탐구의 바탕이 되는 귀납적 추론, 연역적 추론, 귀추적 추론 측면에서의 접근을 말한다. 여기서 귀납적 추론, 연역적 추론, 귀추적 추론은 논리적 측면에서 서로 구별되는 논증 양식이다(Cheong, 2019; Kim & Park, 2008). 이 중, 귀납적 추론은 관찰된 특수한 사례에 관한 사실로부터 규칙성을 발견하여 일반화하는 진술을 제시하는 추론이며, 연역적 추론은 이미 검증된 명제들을 전제로 새로운 명제를 결론으로 추론하는 사고 과정을 의미한다. 즉, 연역적 추론은 논리적 조건을 기반으로 하는 과학적 설명이라고 할 수 있다.

또한, Kwon et al. (2003)은 탐구에 의한 과학 지식 생성과정을 귀납적 추론에 의한 과학 지식 생성과정, 연역적 추론에 의한 과학 지식 생성과정, 귀추적 추론에 의한 과학 지식 생성과정으로 구분하였다. 그들에 의하면 귀납적 추론에 의한 과학 지식 생성과정은 ‘단순 관찰 또는 조작 관찰에 의한 과학적 관찰 → 공통성 발견 → 분류 → 위계’ 또는 ‘단순 관찰 또는 조작 관찰에 의한 과학적 관찰 → 공통성 발견 → 경향성 발견 → 위계’의 절차를 통해 진행된다(Kwon et al., 2003). 또한, 연역적 추론에 의한 과학 지식 생성과정은 ‘가설 검증 방법 고안 → 가설 평가 기준 고안 → 결과 수집 → 가설 진위 평가 → 결론 진술’의 절차를 통해 수행된다(Kwon et al., 2011).

이처럼 귀납적 및 연역적 탐구는 과학교육에서 중요한 지위를 차지하고 있으며, 두 탐구 과정에 대한 인지심리학적 설명은 명확하게 제시되어 있다. 그러나 이러한 인지심리학적 설명은 눈으로 보는 것이 불가능한 구성적 개념을 기반으로 구성되어 있으므로 구체적이지 않고 이론적이다(Jeong & Yun, 2008). 즉, 귀납적 및 연역적 탐구와 관련된 인지심리학적 설명은 주로 면담, 행동 관찰, 지필 평가, 문헌 연구 등의 방법을 통해 피험자들의 행동 반응을 바탕으로 특정 사고 수행과 관련된 가상의 인지 기능 및 인지 구조를 파악하는 연구 방법을 통해 수행되었다. 하지만, 귀납적 탐구와 연역적 탐구는 외부 자극에 반응하여 뇌에서 이뤄지는 신경세포의 활동에 따라 일차적으로 일어나고 말과 행동 등의 이차적 행동을 통해 외부로 드러나게 된다(Kim & Jeong, 2021; Kwon et al., 2006). 따라서, 귀납적 탐구와 연역적 탐구의 인지 사고 과정에 관한 과학적 정보를 제공하기 위해서는 해당 사고 수행 과제를 해결하는 과정에서 발생한 뇌 활성 양상을 분석하는 것이 타당하다고 할 수 있다. 또한, 이를 통해 탐구 과정에서 나타난 뇌 활성 양상에 관한 분석을 바탕으로 어떠한 인지 사고가 수행되었는지 기술하는 과정이 필요하다고 할 수 있다. 즉, 귀납적 탐구와 연역적 탐구의 서로 구별되는 논증이라는 인지심리학적 설명은 뇌에서 활성 변화가 일어난 영역과 관련된 인지 사고 측면에서 확인할 필요가 있다고 할 수 있다.

한편, EEG, MEG, fMRI, PET 등과 같은 뇌 영상 측정 기술을 활용한 인지 신경과학 연구 방법은 특정 사고로 인하여 발생하는 뇌 수준에서의 신경 활동 양상을 측정하여 특정 사고 수행을 위해 필요한 인지 사고 과정에 대한 정보를 제공해주는 것이 가능하다(Kim & Jeong, 2021). 이중 EEG는 다른 뇌 영상 측정 기술과 비교하여 간편하고 쉬운 조작 방법, 상대적으로 저렴한 측정 비용, 측정 기기의 이동성에 의한 장소 선택의 자유로움 등의 측면에서 장점이 있다(Kim & Jeong, 2021). 또한, EEG는 다른 뇌 영상 측정 기술과 비교하여 측정 부위가 두피로 제한되어 있다는 단점이 있기는 하지만, 뇌 신경 활동 변화를 시공간적 차원에서 탐색하는 것이 가능하다는 장점도 있다(Kim & Jeong, 2021). 이러한 장점이 있는 EEG는 전체 주파수 대역의 파워값을 기준으로 특정 주파수 대역의 파워값을 살펴보는 상대 파워스펙트럼 분석을 통해 특정 사고 수행 시 수행되는 인지 사고의 특성에 대한 실제적인 정보를 제공해준다는 장점이 있다. 하지만, 상대 파워스펙트럼 분석은 뇌 활성을 대뇌 피질 수준에서만 살펴볼 수 있어서, 특성 사고 수행 시 발생하는 뇌 활성을 유발한 내부 신경 전류원의 추적이 불가능하다는 단점이 있다(Pascual-Marqui, 2002). 이러한 EEG 상대 파워스펙트럼 분석의 단점을 보완하기 위해서 제안된 EEG 분석 방법이 sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography) 분석 방법이다. sLORETA 분석 방법은 두피 상에서 측정한 뇌파 활성 영상을 3차원 공간 영상으로 변환하여 제시하는 것이 가능하다(Kim & Jeong, 2021). 또한, sLORETA 분석 방법을 통해 특성 사고 수행 시 발생하는 뇌 활성을 일으킨 내부 신경 전류원에 대한 신뢰할 수 있는 정보를 제공하는 것이 가능하다(Pascual-Marqui, 2002).

이상의 논의를 통해 살펴본 것과 같이, 귀납적 탐구와 연역적 탐구는 인지심리학 측면에서 서로 다른 인지 과정이다. 그러나 귀납적 또는 연역적 탐구와 관련된 인지심리학적 설명은 이론적 개념을 기반으로 구성되어 있으므로 탐구와 관련된 행동의 근원에 해당하는 실제 우리 뇌에서 이루어지는 사고 양상을 기반으로 하는 설명을 제공해주는데 제한이 있다. 그런데 EEG 상대 파워스펙트럼 분석 방법은 여러 가지 측정 변인을 통제하는 것이 가능하며, 대뇌 피질 수준에서의 뇌 영역 관련 인지 기능과 뇌파 활성의 관련성을 잘 보여줄 수 있는 방법이다(Jeong & Yun, 2008). 또한, sLORETA 분석을 통해 두피에서 측정한 EEG 활성 변화를 3차원 공간 영상으로 변환하는 것이 가능하며, 특정한 두뇌 활성을 탐색하여 기능적 영상을 추출할 수 있다(Kim & Jeong, 2021; Pascual-Marqui, 2002). 따라서 이 두 가지 EEG 분석 방법은 사고에 의한 EEG 활성 변화를 대뇌 피질 및 피질하 영역 수준에서 파악하는 것이 가능하다고 할 수 있다. 이와 같은 판단으로 본 연구의 EEG 활성 분석 방법으로 상대파워스펙트럼 분석 및 sLORETA 분석을 활용하였다.

이와 같은 연구의 필요성에 따라 설정한 연구의 목적은 EEG 상대 파워스펙트럼 활성 차이 및 sLORETA 분석을 통해 귀납적 또는 연역적 탐구 과제를 수행할 때 나타나는 뇌 활성 양상을 파악함으로써 귀납적 탐구 및 연역적 탐구에 대한 인지심리학적 설명의 타당성을 검토하는 것이다. 그리고 이를 통해 과학적 탐구와 관련된 인지 신경과학적 설명을 위한 기초 근거를 탐색하고자 하였다.

Materials and Methods

Participants

부산에 소재한 대학교의 인문학 계열 학과 또는 전공에 재학 중인 학생 중 연구에 동의한 지원자 12명을 선정하여 뇌파를 측정하였다. 연구 참여 학생들은 남학생이 11명, 여학생이 2명이었으며, 평균 연령은 24세 ($SD=1.9$)였다. 이들은 인지적 또는 정서적으로 특별한 이상 증세를 보이지 않는 학생들이었다. 또한, 연구 참여 학생들이 새로 접하게 되는 EEG 측정 경험에 의한 인지적 및 심리적 불안을 줄이기 위하여 연구 참여 전 EEG 측정에 대한 세부 절차와 주의사항 등과 같은 측정과 관련된 세부적인 내용에 대하여 상세히 설명하였으며, 측정 관련 개인별 의문 사항에 대하여 상세히 답변하였다. 본 연구는 연구윤리심의위원회 심의 승인 후 진행하였으며, 연구 수행 전 절차와 수행 중 수집한 자료는 연구윤리심의위원회 심의 규정에 따라 관리되었다. 또한, EEG 측정 진행 과정 동안 학생이 경험하는 인지적 및 심리적 안정 상태를 유도하기 위하여 조용한 분위기의 연구실에서 EEG를 측정하였다.

Procedure

본 연구는 귀납적 탐구와 연역적 탐구에 관련된 선행연구 및 문헌 분석, EEG 측정 과제 개발, EEG 측정 사전 훈련, EEG 측정, 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석, sLORETA 분석, 결론 및 제언 도출의 과정으로 진행되었다. EEG 측정 과제는 기준과제와 과학적 탐구 과제로 구분하여 개발하였다. 더 나아가 과학적 탐구 과제는 귀납적 탐구 과제와 연역적 탐구 과제로 세분화하였다. 여기서 귀납적 탐구 과제는 화면으로 제시되는 개체에 존재하는 공통적인 속성을 찾는 과제이고, 연역적 탐구 과제는 화면의 왼쪽 위에 제시되는 개체의 특정 속성을 확인한 후 나머지 개체 중 확인한 속성을 가진 개체를 찾는 과제이다. 개발한 EEG 측정 과제의 타당도를 높이기 위하여 과학교육 전문가 2인이 참여하는 과학교육 전문가 세미나를 진행하였다. 이 전문가 세

미나를 통해 EEG 측정 과제의 소재, 제시되는 개체의 수, 과제를 통해 수행할 행동 등을 검토하여 수정하였다. 연구 참여 학생들은 2회에 걸쳐 진행한 사전 훈련에 참여하여 EEG 측정 순서, EEG 측정 과제에서 수행할 행동, EEG 측정 시 유의 사항, EEG 측정 시 도움 요청 방법 등을 습득하는 기회를 경험하였다. 이후 연구 참여 학생들을 대상으로 귀납적 탐구 및 연역적 탐구 과제 수행 시 발생하는 EEG를 측정하였다. 그리고 수집한 EEG 자료를 기반으로 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석과 sLORETA 분석을 시행하여 귀납적 탐구 및 연역적 탐구 과제 수행 시 발생하는 EEG 활성 차이를 비교 분석하였다.

EEG Measurements and Analysis

본 연구에서 연구 참여 학생들의 EEG 측정을 위해 호주의 Compumedics 회사에서 개발한 E-series EEG system 기기를 사용하였다(compumedics, 2002). 그리고 EEG 자료를 수집하기 위하여 같은 회사에서 개발한 Profusion EEG software를 사용하였다(compumedics, 2002). EEG 측정은 10-20 국제 전극 배치법(Jasper, 1958)의 규정을 준수하여 전극을 배치한 캡형 전극인 32채널 Compumedics Neuroscan Quik-Cap(compumedics, 2002)을 연구 참여 학생에게 착용시킨 후 진행하였다. EEG 측정을 위해 부착한 전극은 30개 채널의 활성 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), 4개의 참조 전극(EOL, EOR, M1, M2), 1개의 접지 전극이었다. 30개 채널의 활성 전극은 과제 수행 시 발생하는 EEG 수집을 위하여, 4개의 참조 전극 중 EOL/EOR 전극은 눈 깜빡임, 얼굴 찡푸림 등과 같은 인공잡과 탐색을 위하여, 4개의 참조 전극 중 M1/M2 전극은 대뇌 양 반구의 편차를 보정하기 위하여 부착하였다. 전극의 부착은 두피와 전극 사이의 저항값이 10 kΩ의 값이 될 수 있도록 두피 부위에 전극 부착상태를 교정하면서 진행하였다. EEG 측정 시 표본 주파수는 512 Hz로 하였고, 하드웨어 필터링 중 특정 주파수보다 높은 주파수 대역 성분만 통과시키고 나머지는 걸러내는 역할을 하는 필터인 고역통과필터 값으로는 0.1 Hz, 고역통과필터와는 반대로 특정 주파수보다 낮은 주파수 성분은 걸러내어 특정 주파수보다 낮은 주파수 대역 성분만 통과시키는 필터인 저역통과필터 값으로는 70 Hz, 특정 주파수 대역 성분만을 제거하는 필터인 노치필터 값으로는 60 Hz로 설정하였다.

EEG 측정은 조용한 분위기의 연구실에서 진행되었으며, EEG 측정 준비 시간 3,000초(캡형 전극 부착 및 교정 1,800초, EEG 사전 훈련 1,200초)→눈 감고 안정 상태 60초→휴식 30초→눈 뜨고 안정 상태 60초→휴식 30초→4개 문항의 귀납적 탐구 과제 210초(첫 번째 과제 30초→휴식 30초→두 번째 과제 30초→휴식 30초→세 번째 과제 30초→휴식 30초→네 번째 과제 30초)→휴식 120초→4개 문항의 연역적 탐구 과제 210초의 순서로 진행되어, 개인당 3,720초(12분)의 시간이 소요되었다.

같은 개체로 구성된 과제가 같은 순서로 제시되는 것이 연구 참여자의 과제 수행 수준에 영향을 줄 가능성을 줄이기 위해 귀납적 및 연역적 탐구 과제의 제시 순서는 피험자마다 무작위로 하였다.

기준과제의 예시와 진행 순서는 Fig. 1과 같다.

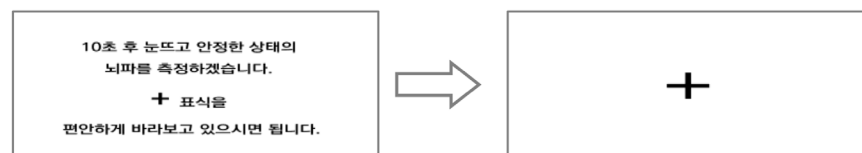


Fig. 1. Criteria task example and progress order

기준과제는 귀납적 또는 연역적 탐구 과제를 수행할 때 발생하는 EEG 활성의 기준점 구실을 하는 배경 뇌파 측정을 목적으로 수행하는 과제로, 화면으로 제시되는 시각적 주의집중 등과 같은 특정한 인지 사고 측면의 의미를 포함하지 않는 시각적 표식인 “+” 기호를 의자에 편안하게 앉아서 바라보는 활동을 수행하는 과제이다[Fig. 1].

귀납적 탐구 과제와 연역적 탐구 과제 수행하는 과정에서 발생하는 EEG 활성을 파악하기 위하여 제시되는 과제의 예시는 Fig. 2, Fig. 3과 같다.



Fig. 2. Criteria task example and progress order

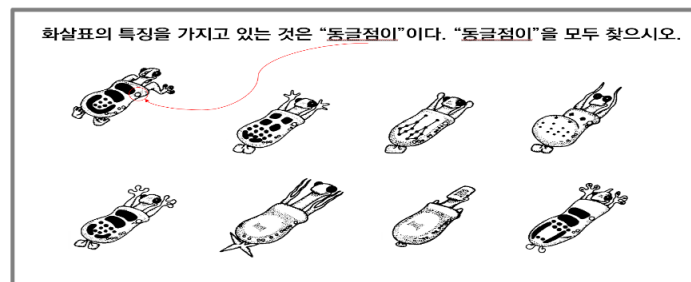


Fig. 3. Criteria task example and progress order

Fig. 2를 통해 알 수 있듯이 귀납적 탐구 과제는 화면에 제시되는 다양한 Caminalcules 개체에 공통으로 존재하는 요소를 주어진 시간 내에 최대한 많이 찾아내는 활동을 수행하는 과제이다. 이 과제 수행과정에서 소재의 반복이 과제 수행에 미치는 영향을 통제하기 위한 목적으로 과제 순서마다 과제의 난이도를 조정하였으며, 과제의 난이도는 과제에서 제시되는 개체의 수를 8, 10, 12, 14개와 같이 다르게 제시하는 방법을 통해 조절하였다. Fig. 3을 통해 알 수 있듯이, 연역적 탐구 과제는 화면의 왼쪽 위쪽에 제시된 Caminalcules 개체에서 지정된 요소의 속성을 파악한 후 파악한 요소에 대한 정보를 나머지 Caminalcules 개체에서 확인하는 과제이다. 연역적 탐구 과제도 제시되는 개체의 수를 8, 10, 12, 14개와 같이 다르게 제시하는 방법으로 과제의 난이도를 다르게 조정하였다.

EEG 자료 분석은 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석과 sLORETA 분석의 두 가지 방법을 이용하여 진행되었으며, 눈 깜빡임, 얼굴 찌푸림 등과 같은 행동으로 인하여 발생하는 인공산물의 유입으로 의하여 EEG 자료에 오염이 되지 않은 것으로 판단되는 20초 구간의 자료를 분석에 활용하였다. 그리고 EEG 자료 분석에 사용한 주파수 대역은 4.0~50.0 Hz 사이 대역의 주파수로, 세타파 대역은 4.0~7.9 Hz, 알파파 대역은 8.0~12.9 Hz, 베타파 대역은 13.0~29.9 Hz, 감마파 대역은 30.0~50.0 Hz였다.

귀납적 및 연역적 탐구 과제를 수행하는 과정 중에 발생하는 뇌 활성 차이를 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽의 4가지 대뇌 피질 영역별로 살펴보기 위하여 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석 방법을 사용하였다. 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석은 안정 상태에서 발생하는 개인별 EEG 발생량이 다르므로 뇌파 변화량을 파악하기 위한 기준점 구실을 하는 EEG 기저 수준(baseline)이 개인별로 다를 수 있다는 견해에 의해 제안된 EEG 분석 방법이다. 이런 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석은 특정 과제를 수행할 때 발생한 EEG의 상대 파워값에서 기준과제를 수행할 때 발생한 EEG의 상대 파워값을 빼는 과정을 통해 수행된다. 여기서 상대 파워값은 전체 주파수 대역(4.0~50.0 Hz)의 파워값을 기준으로 특정 주파수 대역별 파워값을 구하는 방법을 통해 산출된다. 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석 결과를 대뇌 피질 영역별로 살펴보는 것을 통해, 과제 유형별 대뇌 피질에서의 뇌 활성과 인지 기능 사이의 관련성을 알아보는 것이 가능하다. 이를 위해 각 주파수 대역에서 발생한 과제 유형별 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석 결과를 표와 그림의 형태로 제시하였으며, 뇌 활성 차이의 통계적 의미를 살펴보기 위한 목적으로 대응 표본 T 검정 분석을 수행하였다.

또한, 귀납적 탐구 과제와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 발생한 뇌 활성 차이를 대뇌 피질하 영역과 대뇌 피질의 기능적 구분 영역인 브로드만 영역 수준에서 살펴보기 위하여 sLORETA 분석을 수행하였다. sLORETA 분석은 뇌 전체를 5 mm×5 mm×5 mm 크기의 3차원 6,239개 복셀(voxel)로 구분한 뒤 복셀(voxel) 별 전류밀도 값을 추정하는 방식으로 진행된다(Kwon, 2022). 비모수 통계 매핑(statistical nonparametric mapping) 방식으로 귀납적 또는 연역적 탐구 과제 수행의 과제 유형별 뇌 전류밀도에 대한 복셀 데이터를 무작위로 비교하는 과정을 5,000번 수행하였으며, 과제 유형별 의미 있는 활성이 발생한 것으로 보이는 대뇌 피질하 영역과 브로드만 영역(brodmann area)은 대응 표본 t-검정 시 복셀 별 전류밀도 값으로 추정하였다. 추정된 결과는 표와 그림으로 제시하였다.

Results and Discussions

Relative Power Spectrum Analysis Results by Task Type

The Theta Band Activation

세타파 상대 파워 활성 차이 값을 정리한 결과는 Table 1, Fig. 4와 같다. Table 1과 Fig. 4의 내용과 같이, 연구 참여 학생들은 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제를 수행할 때 세타파의 활성이 전두엽과 두정엽에서 상대적으로 유의미하게 더 높게 나타났다. 이러한 차이의 통계적 의미를 살펴보기 위하여 수행한 대응 표본 T 검정 결과에서도 유의미한 차이인 것으로 나타났다.

Table 1. Analysis of differences in the theta band activation by brain lobe

Division	Inductive Inquiry Task		Deductive Inquiry task		t	p
	Mean	SD	Mean	SD		
Frontal lobe	0.034	0.120	0.005	0.128	5.920	0.000
Parietal lobe	0.032	0.090	0.010	0.094	4.883	0.000
Temporal lobe	0.024	0.113	0.018	0.099	1.111	0.267
Occipital lobe	0.044	0.123	0.036	0.108	1.415	0.160

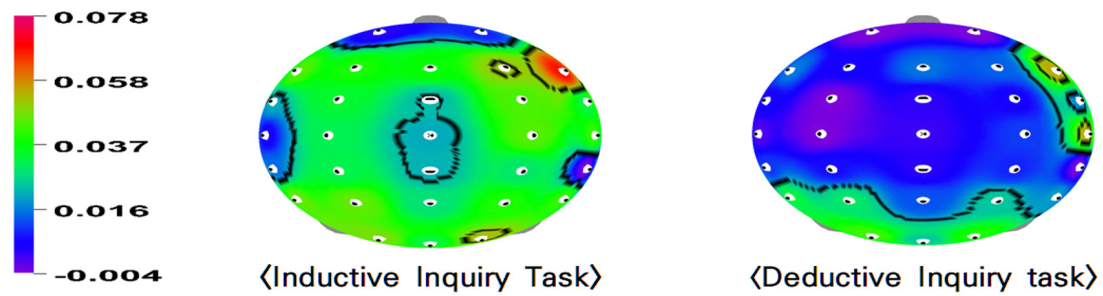


Fig. 4. Difference of the theta band activation

이상의 분석 결과에 의하면, 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽과 두정엽에서 발생한 세타파의 활성이 상대적으로 더 높게 나타났다. 이러한 과제 유형별 세타파의 활성 차이는 세타파의 활성 특성과 세타파의 유의미한 활성 차이가 발견된 전두엽과 두정엽 관련 인지 기능을 통해 의미를 파악할 수 있다. 먼저, 세타파는 창의적 또는 과학적 사고의 수준이 높아질수록 활성이 증가하는 특성이 있으며, 특히, 과제 해결을 위해 수행하는 행동의 수준이 높아질수록 증가하는 특성이 있는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2019; Korean Brain Wave Research Association, 2017). 그리고 전두엽은 목표지향적 주의집중, 다양한 감각을 통해 부호화된 정보의 추상적 2차 통합, 과제 해결을 위해 정보의 필요성 수준에 의한 선택적 기억유지(작업기억) 및 망각, 확실치 않은 상황에서의 의사결정, 논리 기반의 사고 수행, 과제 해결을 위한 행동 계획 수립 및 수행, 의도적 기억 인출 등과 같은 높은 수준의 인지 사고와 연관된 뇌 영역이다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 또한, 두정엽은 대상 속성의 부분적 위치 및 공간 정보 탐색에 의한 공간 정보 처리, 시각적 작업기억 수행과 관련이 있는 뇌 영역이다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017).

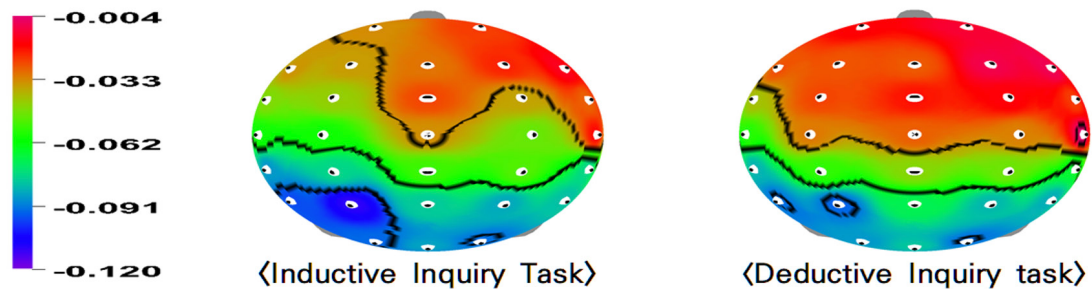
따라서 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽과 두정엽에서 세타파의 활성이 더 높게 발생하였다는 것은 하나의 대상에게 파악한 속성에 대한 정보를 다른 대상의 속성에서 확인하는 연역적 사고보다는 하나의 관찰 대상에서 추출한 요소에 대한 정보와 다른 대상에서 추출한 요소와 비교하여 발견한 잠정적 공통성을 다른 대상에서 탐색한 후 최종 공통성을 생성하는 귀납적 추론 중 일반화 전략이 더 높은 수준의 사고를 요구하는 탐구 활동이라는 것을 말해준다. 더 나아가 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제 해결을 위하여 대상의 속성에 대한 위치 정보 파악을 통한 대상의 공간 정보 인식 및 부호화, 부호화한 공간 정보의 의미를 부여하기 위한 의도적 기억 인출, 과제에서 요구하는 설명을 선택하기 위한 목표지향적 주의 집중, 선택적 기억유지, 대상 속성을 비교 및 판단하는 사고를 수행할 때 더 높은 수준의 사고를 수행하였다고 할 수 있다.

The Alpha Band Activation

알파파 상대 파워 스펙트럼 활성 차이 분석 결과는 Table 2, Fig. 5와 같다. Table 2와 Fig. 5에서 보는 것과 같이, 귀납적 탐구 과제보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때, 알파파 활성은 전두엽, 두정엽, 측두엽에서 상대적으로 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 과제 유형별 알파파의 활성 차이는 통계적으로도 유의미한 차이인 것으로 나타났다.

Table 2. Analysis of differences in the alpha band activation by brain lobe

Division	Inductive Inquiry Task		Deductive Inquiry task		t	p
	Mean	SD	Mean	SD		
Frontal lobe	-0.031	0.086	-0.021	0.086	-3.855	0.000
Parietal lobe	-0.067	0.109	-0.054	0.118	-3.218	0.001
Temporal lobe	-0.070	0.111	-0.064	0.113	-1.804	0.072
Occipital lobe	-0.090	0.133	-0.086	0.134	-0.899	0.370

**Fig. 5.** Difference of the alpha band activation

이 연구에서 나타난 과제 유형별 알파파의 활성화 차이 양상은 알파파의 활성화 특성과 유의미한 활성화 차이가 나타난 전두엽, 두정엽, 측두엽 관련 인지 기능을 통해 의미를 파악할 수 있다. 먼저, 알파파는 정신적으로 이완되어 안정적인 상태일수록 활성화가 증가하는 특성이 있으며, 과제 해결을 위하여 수행하는 사고가 복잡하고 어려울수록 더 많이 감소하는 특성이 있는 주파수 대역이다(Kim et al., 2019; Korean Brain Wave Research Association, 2017). 그리고 전두엽은 과제 해결에 필요한 정보에 대한 목표지향적 주의집중 및 선택적 작업 기억, 과제 해결에 필요하지 않은 정보에 대한 망각, 불확실한 상황에서의 의사결정, 대상의 속성이나 대상에 대한 정보를 비교·판단·선택하는 사고 수행, 이전 경험 또는 통찰 기반 사고에 대한 정보에 대한 기억의 의도적 인출 등과 같은 높은 수준의 인지 기능과 연관된 뇌 영역이다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 또한, 두정엽은 대상 속성에 대한 위치 정보 탐색에 의한 대상의 공간 정보 파악, 시공간적 작업기억 수행과 관련이 있는 뇌 영역이다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 마지막으로 측두엽은 대상 또는 현상 전체의 형태적 세부 특성을 파악하는 인지 사고와 관찰한 대상 요소의 의미를 부여하는 인지 사고 수행과 관련이 있는 뇌 영역이다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 따라서 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제를 해결하는 과정 중 전두엽, 두정엽, 측두엽에서 상대적으로 더 낮은 알파파 활성이 관찰되었다는 것은 특정 대상의 정보를 다른 대상에서 확인하는 연역적 탐구 과제보다 다른 대상에서 추출한 요소에 대한 기억을 회상하여 다음 대상의 요소와 비교하여 얻는 잠정적 공통성을 다른 대상에서 탐색하여 최종 공통성에 대한 정보를 생성하는 귀납적 탐구 중 일반화 전략이 더 어려운 수준의 사고라는 것을 말해준다.

한편, 귀납적 탐구 과제와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 모두 기준과제를 수행할 때보다 전두엽, 두정엽, 측두엽에서 알파파의 활성이 낮았다는 것은 다음과 같은 의미가 있다. 먼저, 연역적 탐구 과제 해결을 위해서 수행하는 지정된 속성에 대한 정보 파악을 위한 대상의 공간 정보 인식 사고, 지정된 속성 정보에 대한 기억

을 유지한 채 다른 대상에서 그 속성을 확인하는 사고를 인지적으로 긴장된 상태에서 수행하였다는 것을 말해준다. 그리고 귀납적 탐구 과제 해결을 위해서 수행하는 하나의 대상에서 비교할 요소 추출을 위한 대상의 전체적 및 부분적 특성을 파악하는 사고, 잠정적 공통성을 다른 대상에서 비교하여 최종 공통성에 대한 정보 생성을 위한 과제 해결을 위해 주요한 정보에 대한 기억유지 및 필요하지 않은 정보에 대한 망각의 사고, 기억을 유지한 잠정적 공통성을 다른 대상의 요소와 비교하는 사고를 인지적으로 긴장된 상태에서 수행하였다는 것을 말해준다. 하지만, 앞서 언급한 귀납적 탐구 과제 해결을 위해 수행하는 사고가 더 복잡하고 인지적으로 어려운 사고라는 것을 말해준다.

The Beta Band Activation

과제 유형별 베타파 상대 파워 활성 차이를 정리한 결과는 Table 3 및 Fig. 6과 같다. Table 3 및 Fig. 6의 결과가 보여주는 것과 같이, 귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 모두 전두엽에서는 베타파의 활성이 감소하였으나, 두정엽에서는 활성이 증가하였다. 그리고 전두엽과 두정엽에서 발생한 베타파의 활성은 귀납적 탐구 과제보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때 상대적으로 더 높았다.

Table 3. Analysis of differences in the beta band activation by brain lobe

Division	Inductive Inquiry Task		Deductive Inquiry task		t	p
	Mean	SD	Mean	SD		
Frontal lobe	-0.015	0.083	-0.005	0.089	-3.413	0.001
Parietal lobe	0.001	0.059	0.007	0.073	-1.936	0.054
Temporal lobe	0.013	0.081	0.012	0.087	0.143	0.886
Occipital lobe	0.020	0.061	0.025	0.075	-1.348	0.180

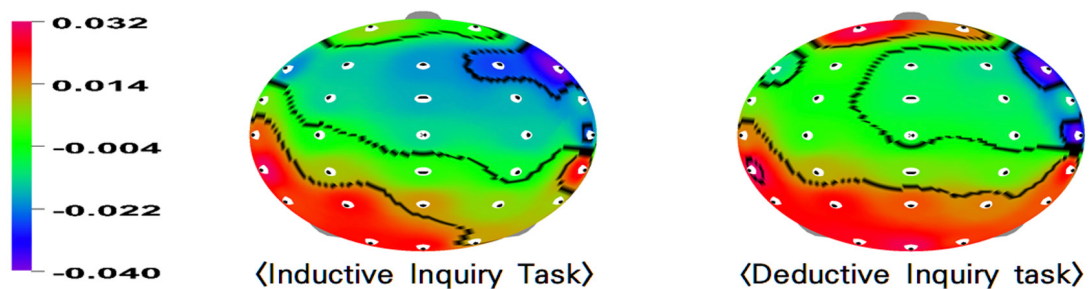


Fig. 6. Difference of the beta band activation

이 연구에서 나타난 과제 유형별 베타파의 활성 차이는 베타파의 활성 특성과 유의미한 활성이 관찰된 전두엽과 두정엽 관련 인지 기능을 통해 의미를 추론할 수 있다. 먼저, 베타파는 주의집중 및 각성의 수준이 높아질수록 뇌 외부 정보를 활발히 받아들이는 사고를 수행할수록 활성이 증가하는 특성이 있는 EEG 주파수 대역이다(Kim et al., 2019; Korean Brain Wave Research Association, 2017). 그리고 전두엽은 다양한 감각을 통해 수집한 정보의 2차 통합, 과제 해결에 필요한 주요 정보에 대한 목표지향적 주의집중과 그 정보에 대한 기억을 과제 해결 동안 유지하는 선택적 기억유지, 대상의 요소에 대한 정보를 비교하여 확실치 않은 상황에서의 최종 정보를 선택하는 의사결정 등과 같은 높은 수준의 집행 기능 수행과 연관된 뇌 영역이다(Bernard &

Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 두정엽은 후두엽과 연계하여 대상의 요소가 어디에 있는지를 표상하여 대상 또는 요소의 위치 및 공간 정보를 부호화하는 시각 경로인 “Where pathway”를 수행한다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 따라서 연역적 탐구 과제를 수행할 때보다 귀납적 탐구 과제를 수행할 때 베타파의 활성이 기준과제 수행 시 활성보다 전두엽에서 낮게 발생한 것은 두 과제를 수행할 때 모두 과제 해결을 위한 대상 요소에 대한 정보를 비교 또는 확인하는 사고를 수행할 때 뇌 외부에서 받아들인 정보 기반의 사고보다 뇌 내부에서 부호화하여 생성한 정보에 대한 기억 기반의 사고를 더 많이 수행하였다는 것을 말해준다. 하지만, 두정엽에서의 베타파의 활성은 기준과제 수행 시 베타파의 활성보다 높았다. 이는 귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 모두 대상의 공간 정보 인식을 위해 요소의 위치 정보를 표상하기 위하여 뇌 외부 정보를 활발히 받아들였다는 것을 말해준다. 또한, 귀납적 탐구 과제보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽과 두정엽에서의 베타파 활성이 상대적으로 더 높았다는 것은 특정 대상에서 존재하는 요소에 대한 정보를 다른 개체에 존재하는 요소에 대한 정보를 비교하여 최종 정보를 선택하는 귀납적 사고보다 하나의 대상에서 파악한 정보를 다른 개체에서 확인하는 연역적 사고에서 비교할 속성에 대한 특정 정보 활성 유지가 더 필요하다고 할 수 있다. 이에 연역적 탐구 과제를 올바르게 해결하기 위하여 다른 대상에서 확인할 속성에 대한 정보 활성을 유지하는 사고를 주의 집중하여 수행하였다는 것을 알 수 있다.

The Gamma Band Activation

감마파 대역의 상대 파워스펙트럼 활성 차이 값을 정리한 결과는 Table 4, Fig. 7과 같다. Table 4와 Fig. 7을 통해 알 수 있듯이, 전두엽과 두정엽에서 발생한 감마파의 활성은 귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 모두 증가하는 것으로 나타났다. 전두엽과 두정엽에서 관찰된 감마파 활성 증가 폭은 귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 비교하여 연역적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽에서 베타파의 활성이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 차이의 통계적 의미를 탐색하기 위하여 대응 표본 T 검정을 수행하였으며, 그 결과 전두엽과 두정엽에서 나타난 감마파의 활성 변화는 유의미한 것으로 나타났다.

Table 4. Analysis of differences in the gamma band activation by brain lobe

Division	Inductive Inquiry Task		Deductive Inquiry task		t	p
	Mean	SD	Mean	SD		
Frontal lobe	0.011	0.050	0.021	0.057	-4.923	0.000
Parietal lobe	0.034	0.034	0.037	0.042	-1.750	0.081
Temporal lobe	0.033	0.081	0.034	0.073	-0.229	0.819
Occipital lobe	0.026	0.061	0.025	0.062	0.343	0.732

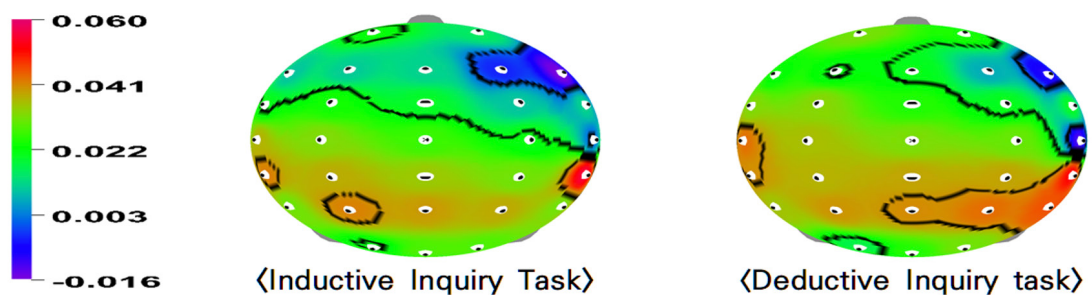


Fig. 7. Difference of the gamma band activation

이 연구에서 나타난 과제 유형별 감마파의 활성 차이를 감마파의 활성 특성과 유의미한 활성이 관찰된 전두엽과 두정엽 관련 인지 기능을 통해 살펴본 결과는 다음과 같다. 먼저, 감마파는 과제 해결을 위해 전력을 다해 집중할 때, 정보의 통합이 활발히 이루어질 때 활성이 증가하는 특성이 있는 EEG 주파수 대역이다(Kim et al., 2019; Korean Brain Wave Research Association, 2017). 그리고 전두엽은 다양한 감각을 통해 수집한 정보들의 2차 통합, 통합하여 부호화한 정보를 비교하여 최종 정보를 선택하는 사고 과정, 과제 해결을 위해 필요한 주요 정보에 대한 목표지향적 주의집중과 그 정보에 대한 기억을 과제 해결 동안 유지하는 선택적 기억유지와 같은 인지 사고 수행과 연관된 뇌 영역이다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 두정엽은 후두엽과 연계하여 “Where pathway” 시각 경로 사고를 수행하여 대상의 요소가 어디에 있는지를 파악하는 대상에 대한 공간 정보 인지 사고를 수행한다(Bernard & Nicole, 2010; Kim et al., 2019; Ward, 2017). 따라서 연역적 탐구 과제와 귀납적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽과 두정엽에서의 감마파의 활성이 증가하였다는 것은 연역적 탐구 과제와 귀납적 탐구 과제를 수행할 때 대상 요소의 위치 정보를 부호화하여 대상에 대한 공간 정보를 인식하는 사고를 수행하기 위하여 부호화한 대상의 시각적 요소와 그 요소에 대한 위치 정보 사이의 통합이 활발히 이루어졌으며, 이 과정에 전력을 다해 집중하였다는 것을 알 수 있다. 그리고 귀납적 탐구 과제를 수행할 때보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽과 두정엽에서 감마파의 활성이 상대적으로 더 높게 관찰되었다는 것은 다양한 개체 중 특정 개체에서 존재하는 요소에 대한 정보를 다른 개체에 존재하는 요소에 대한 정보와 비교하여 과제에서 제시된 대상들에 존재하는 공통적인 정보를 최종 선택하는 귀납적 사고보다 지정된 대상의 부분적 정보를 다른 개체에서 확인하는 연역적 사고를 수행할 때 더 높은 수준으로 집중하였다는 것을 알 수 있다.

sLORETA Analysis Results by Task Type

귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 비교하여 연역적 탐구 과제를 수행할 때 EEG 활성이 어떠한 차이가 있는 지 알아보기 위하여 수행한 sLORETA 분석 결과는 Table 5, Table 6, Fig. 8과 같다.

Table. 5를 통해 알 수 있듯이, 귀납적 탐구 과제 수행 때와 비교하여 연역적 탐구 과제 수행 후 알파파 대역(8~12.9 Hz)에서 통계적으로 유의미한 전류밀도 활성이 관찰되었다(One-tailed $A < B$, $P = 0.05180$). Table. 6 및 Fig. 8의 내용과 같이 귀납적 탐구 과제를 해결할 때보다 연역적 탐구 과제를 해결할 때 상대적으로 더 높은 활성이 관찰된 뇌 영역은 BA 6에 속해있는 전두엽의 우측 중심앞이랑(Precentral gyrus)과 중전두이랑(middle Frontal gyrus, MFG) 영역이었다.

Table 5. Analysis result of differences in brain activation areas according to task types

Division	Log of F ratio of spectral densities			Extreme P
	0.01	0.05	0.10	
One-Tailed ($A > B$)	0.496	0.442	0.410	0.57620
One-Tailed ($A < B$)	-0.487	-0.443	-0.410	0.05180
Two-Tailed ($A > B$)	0.508	0.466	0.443	0.10160

Table 6. Analysis result of differences in brain activation areas according to task types

Lobe	Region	BA	Cerebral Hemisphere	MNI Coordinate value			Voxel value
				X	Y	Z	
Frontal Lobe	Precentral Gyrus	6	R	40	-10	35	-0.44
Frontal Lobe	Middle Frontal Gyrus	6	R	40	0	40	-0.42

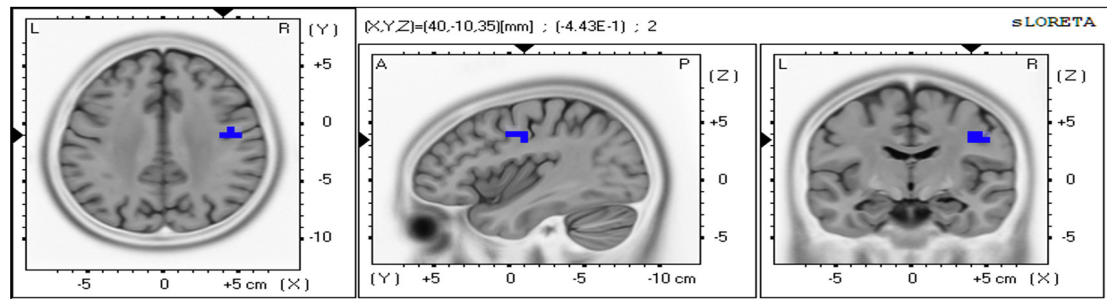


Fig. 8. Differences in brain activation regions according to task types

중심앞이랑은 머릿속으로 표상한 정보를 부호화하는 사고 과정인 의미적 처리 과정(semantic processing)과 연관이 있는 뇌 영역이다(Jeong & Kim, 2016; Green et al., 2006). 그리고, 중전두이랑은 다른 뇌 영역을 통해 수집하여 전달된 정보들의 추상적 수준에서의 2차 통합 역할 수행과 관련 있는 뇌 영역으로(Jeong & Kim, 2016), 특히, 우측 중전두이랑은 두 가지의 그림에서 속성의 패턴을 파악하여 동일 여부를 비교하여 판단하는 그림 변별(Same-different discrimination) 과제를 수행할 때 높은 활성이 관찰되는 영역이다(Kwon et al., 2016). 중심 앞이랑과 중전두이랑의 활성이 관찰된 브로드만 6번 영역은 해마 영역과 함께 정보에 대한 기억의 의도적 인출의 인지 사고가 일어나는 영역으로(Jeong & Kim, 2016; Green et al., 2006), 작업기억, 의사결정, 과제 해결을 위한 계획 수립 및 수행의 인지 기능과 관련이 있는 뇌 영역이다.

이 영역에서 인지적으로 편안한 상태일수록 활성이 증가하고 뇌 내부 정보 기반의 Top-down 사고를 수행할 때 활성이 높아지는 특성이 있는 알파파의 활성(Kim et al., 2019; Korean Brain Wave Research Association, 2017)이 귀납적 탐구 과제를 수행할 때보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때 상대적으로 더 높았다는 것은 연역적 탐구 과제를 수행할 때 다른 뇌 영역을 통해 부호화한 과제에서 제시한 개체의 속성에 대한 정보를 다른 대상의 속성과 비교하여 확인하는 계획을 세우고 실천하는 사고를 수행할 때 인지적으로 편안한 상태에서 뇌 내부 정보 기반의 사고를 수행하였다는 것을 말해준다고 할 수 있다.

Conclusions and Implications

이 연구의 목적은 EEG 상대 파워스펙트럼 활성 차이 및 sLORETA 분석을 통해 귀납적 및 연역적 탐구 과제를 해결하는 과정 중 발생하는 뇌 활성 양상을 파악함으로써 귀납적 탐구 및 연역적 탐구에 대한 인지심리학적 설명의 타당성을 검토하는 것이다. 이를 위해 연구 참여 학생들이 귀납적 및 연역적 탐구 과제를 수행하는 동안 발생하는 뇌 활성을 측정하였으며, 뇌 활성 분석 방법인 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석, sLORETA 분석을 수행하였다. 뇌 활성 분석을 통하여 인지 사고 측면에서의 귀납적 및 연역적 탐구의 다른 점을 알아보고자 하였다. 이를 통해 파악한 결론은 다음과 같다.

첫째, 귀납적 탐구와 연역적 탐구는 주로 전두엽과 두정엽에서 발생한 뇌 활성 양상이 다른 것으로 나타났다. 귀납적 및 연역적 탐구 과제를 수행할 때 발생한 EEG 상대 파워스펙트럼 활성 차이는 전두엽, 두정엽, 측두엽에서 관찰되었다. 전두엽은 목표지향적 주의집중, 선택적 기억유지 및 억제, 대상 속성의 비교 및 판단

등의 인지 사고 수행과 관련이 있는 뇌 영역이다. 두정엽은 대상 속성의 위치 정보 탐색에 의한 대상의 부분 정보 생성 등의 인지 사고 수행과 관련이 있는 뇌 영역이다. 마지막으로 측두엽은 대상의 전체적 특성과 속성의 의미 부여 등의 인지 사고 수행과 관련이 있는 뇌 영역으로 알려져 있다. 이러한 뇌 영역별 인지 기능 측면에서 살펴본 EEG 상대 파워스펙트럼 활성 차이 분석 결론은 다음과 같다.

세타파의 경우, 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제를 해결할 때 전두엽, 두정엽에서 활성이 더 높게 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 연역적 탐구 과제보다 귀납적 탐구 과제를 해결하기 위해 특정 개체와 관련된 부분 관찰 정보 생성, 특정 개체의 부분 관찰 정보에 대한 기억을 유지하면서 다른 개체의 부분 관찰 정보와 비교하여 최종 정보를 선택하는 사고를 수행할 때 더 집중하여 높은 수준의 사고를 수행하였다고 볼 수 있다.

알파파의 경우, 귀납적 탐구 과제보다 연역적 탐구 과제를 해결할 때 전두엽, 두정엽, 측두엽에서 활성이 상대적으로 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 귀납적 탐구 과제를 해결하기 위하여 수행하는 대상의 전체적 및 부분적 특성을 탐색하여 생성한 정보와 다른 대상의 특성을 탐색하여 얻은 정보를 비교하여 최종 공통성을 발견하는 사고 과정보다 연역적 탐구 과제를 해결하기 위하여 수행하는 개체의 부분적 특정 요소를 다른 대상에서 특정 위치에서 확인하는 사고 과정을 좀 더 인지적으로 편안한 상태에서 수행하였다는 것을 말해준다.

베타파와 감마파의 경우, 귀납적 탐구 과제보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽과 두정엽에서 상대적으로 활성이 더 크게 나타났다. 이는 귀납적 탐구 과제를 통해 공통성을 추출하기 위하여 특정 개체를 대상으로 부분 관찰을 수행하여 파악한 부분적 특성 정보와 다른 개체의 부분적 특성을 탐색하여 추출한 정보를 비교하는 사고 과정보다 연역적 탐구 과제를 해결하기 위하여 제시된 개체의 부분적 속성을 다른 개체의 특정 부위에서 확인하는 사고를 수행하는 동안 관련 정보에 대한 기억을 유지할 때 전력을 다해 좀 더 높은 수준으로 집중하였다는 것을 말해준다.

이상의 결과를 정리하면, 귀납적 탐구 과제는 연역적 탐구 과제보다 좀 더 복잡한 사고 과정을 통해 수행되며, 특히 연역적 탐구 과제 수행을 위해서는 다른 대상에서 확인할 특정 요소 정보에 대한 기억 활성 유지가 중요하다라는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결론은 귀납적 사고와 연역적 사고는 논리적으로 서로 다른 사고(Cheong, 2019; Kim & Park, 2008; Song, 2017)이며 연역적 추론 과정인 가설 평가 사고의 올바른 수행을 위해서 평가 기준에 대한 정보 활성을 유지하는 것이 중요하다는 선행연구 결과를 지지한다고 할 수 있다(Lee et al., 2009).

둘째, 귀납적 탐구와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 발생한 EEG 활성은 브로드만 6번 영역에 속해있는 전두엽의 중심앞이랑(precnetral gyrus)과 중전두이랑(middle frontal gyrus) 영역에서 서로 다른 것으로 나타났다. 귀납적 탐구와 연역적 탐구 과제를 수행할 때 발생한 EEG에 대한 sLORETA 분석 결과는 다음과 같다. 귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 비교하여 연역적 탐구 과제를 수행할 때 발생한 유의미한 활성 차이는 세타파, 알파파, 베타파, 감마파 대역 중 알파파 대역에서만 관찰되었다. 알파파의 경우, 귀납적 탐구 과제를 수행할 때보다 연역적 탐구 과제를 수행할 때 전두엽의 우측 중심앞이랑과 우측 중전두이랑에서 상대적으로 활성이 더 크게 발생한 것으로 나타났다.

중심앞이랑은 머릿속으로 표상한 정보를 부호화하는 사고 과정인 정보의 의미적 처리 과정(semantic processing)과 연관된 뇌 영역이다. 그리고 중전두이랑은 다른 뇌 영역을 통해 전달받은 정보의 추상적 2차 통합, 대상 속성 사이의 패턴 비교의 인지 사고 수행과 관련이 있는 뇌 영역이다. 또한, 중심앞이랑과 중전두이랑의 활성이 발견된 브로드만 6번 영역은 기억의 의도적 인출, 작업기억, 의사결정, 과제 해결을 위한 계획 수립 및 수행의 인지 사고 수행과 관련이 있는 브로드만 영역이다. 따라서, 귀납적 탐구 과제를 수행할 때와 비교하

여 연역적 탐구 과제를 수행할 때 알파파의 활성이 브로드만 6번 영역의 우측 중심앞이랑과 우측 중전두이랑에서 더 크게 났다는 것은 연역적 탐구 과제 해결을 위하여 다른 뇌 영역에서 부호화한 개체의 속성에 대한 정보를 다른 개체의 속성에서 확인하는 과정에 대한 계획을 세우고 실천하는 사고를 수행하는 과정이 인지적으로 좀 더 편안한 상태에서 수행되었다는 것을 의미한다. 즉, 대상에서 추출한 속성에 대한 정보와 다른 대상에서 추출한 속성에 대한 정보를 비교하여 최종 공통성을 산출하는 귀납적 탐구 과제보다 대상에서 추출한 속성에 대한 정보를 다른 대상에서 확인하는 연역적 탐구 과제를 인지적으로 좀 더 편안한 상태에서 수행하였다는 것을 말해준다. 또한, 연역적 탐구 과제를 수행할 때 수행하는 명제화된 정보를 특정 조건에서 확인하는 사고는 하향식 사고를 통해 수행되었다는 것도 알 수 있다. 이와 같은 결과는 중전두이랑이 연역적 사고에 핵심적인 임무를 수행한다고 보고한 선행연구 결과(Kwon et al., 2016)를 뒷받침하는 결과라고 할 수 있다.

이와 같은 결론을 통해 제안할 수 있는 교육적 함의는 다음과 같다.

첫째, 귀납적 탐구와 연역적 탐구는 대상의 부분적 패턴이나 속성 정보를 다른 대상과 비교하여 결론을 내리는 인지 사고의 수행 패턴 측면에서 차이가 있는 추론이라는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 귀납적 탐구는 다양한 환경에서 서식하는 많은 수의 무당벌레가 3쌍의 다리, 2쌍의 날개, 다양한 색의 점 또는 무늬 등을 가지고 있음을 확인한 후 무당벌레는 3쌍의 다리, 2쌍의 날개, 다양한 색의 점 또는 무늬를 가지는 동물이라는 결론을 내리는 사고를 말한다. 즉, 귀납적 탐구는 특정 대상이나 환경에서 추출한 속성에 대한 정보와 다른 대상이나 환경에서 추출한 속성에 대한 정보를 비교하여 생성한 규칙성을 일반화하여 결론을 내리는 사고를 말한다. 그리고 연역적 탐구는 ‘딱충새우가 불가사리로부터 산호를 보호한다.’라는 가설을 검증하기 위해 딱충새우와 같은 서식지에서 살아가는 산호가 불가사리에게 잡아먹히는 A 사례에서 불가사리에게 잡아먹힌 산호의 개체 수와 딱충새우가 없는 환경에서 사는 산호가 불가사리에게 잡아먹히는 B 사례에서 불가사리에게 잡아먹힌 산호의 개체 수를 비교하는 실험을 설계한다. 실험을 통해 B 사례에서 불가사리에게 잡아먹힌 산호가 더 많다는 결과를 확인한다. 이러한 절차를 통해 ‘딱충새우가 불가사리로부터 산호를 보호해 준다.’라는 결론을 내린다. 즉, 대상이나 환경의 속성에 대한 정보를 다른 대상이나 환경에서 확인하여 결론을 내리는 사고를 말한다.

둘째, EEG 활성의 의미는 상대 파워스펙트럼 분석과 sLORETA 분석을 통해 파악하는 것이 가능하다. 상대 파워스펙트럼 분석 방법은 전두엽, 두정엽, 측두엽, 후두엽과 같은 대뇌 피질 수준에서 EEG 활성의 의미를 파악하는 것이 가능하며, sLORETA 분석 방법은 두피 상에서 관찰된 EEG 활성 변화를 유발한 내부 신경 전류원인 특정 뇌 영역의 추출이 가능하다. 따라서 이 두 가지 EEG 분석 방법은 특정 사고에 대한 뇌 활성 변화를 대뇌 피질과 내부 신경 전류원인 특정 뇌 영역 수준에서 의미를 파악하는 것이 가능하다고 할 수 있다. 이에 이 두 가지 EEG 분석 방법은 이 연구의 결과를 통해 다시 확인한 귀납적 및 연역적 탐구에 대한 인지심리학적 설명뿐만 아니라 과학교육 영역에서 제시되고 있는 사고 및 학습에 대한 다양한 이론들에 대한 객관성이 확보된 과학적 근거를 확보하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

Acknowledgements

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

References

- American Association for the Advancement of Science. (1990). Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report. New York: Oxford University Press.
- Bernard, J. & Nicole, M. Gage. (2010). Cognition, Brain, and Consciousness : Introduction to Cognitive Neuroscience(1st Ed.)(Kaang, B. K., Trans.). Seoul: Kyobo Book Centre. (Original work published in 2007).
- Cheong, Y. W. (2019). Confusion in the meaning of induction, deduction, hypothetical deductive method, and abduction in science instruction textbooks. *Journal of Science Education*, 43, 79-93.
- Chiappetta, E. L., Koballa, T. R., & Collette, A. T. (1998). *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools*(4th ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Merrill.
- Compumedics (2002). Profusion EEG User Guide. VIC: Compumedics Limited.
- Green, A. E., Fugelsang, J. A., Kraemer, D. J. M., & Sha-mosh, N. A. (2006). Frontopolar cortex mediates abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096, 125-137.
- Jasper, H. H. (1958) The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- 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.
- Jeong, J., & Kim, Y. (2016). A sLORETA study of the effects of task similarity on brain activation during life science commonness discovery. *Biology Education*, 44, 372-382.
- Jeong, S. Y., & Jeong, E. Y. (2018). comparison of science inquiry ability and scientific thinking ability between gifted and non-gifted students. *Journal of Science Education for the Gifted*, 10, 171-185
- Kim, H., & Park, E. J. (2008). *Logic for Critical Thinking*. Seoul: Acanet.
- Kim, Y. M., Park, Y. B., Park, H. J., Shin, D. H., Jeong, J. S., & Song, S. S. (2016). *World of Science Pedagogy*. Seoul: Bookshill.
- Kim, Y. S., & Jeong, J. S. (2021). A sLORETA study about the effects of scientific observation learning program based on universal design for learning. *Brain, Digital, & Learning*, 11, 713-736.
- 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.
- Korean Brain Wave Research Association. (2017). *The Techniques and Application of EEG Analysis : From Foundation to Clinical Studies*. Seoul: Daehanuihak.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Park, Y. B., & Kang, M. J. (2003). A philosophical study on the generating process of declarative scientific knowledge - Focused on inductive, abductive, and deductive processes. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 23, 215-228.
- 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.
- 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, S. W. (2022). Effects of attributional feedback in the life science teaching and learning process to elementary school students' default mode networks(DMN): EEG study. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 22, 461-471.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Shin, D. H., Lee, J. K., Lee, I. S., & Byeon, J. H. (2011) (for Improving Scientific Quest) *Generation and Evaluation of Scientific Knowledge*(2nd Ed.) Second Edition. Seoul: Hakjisa.

- Lee, J. K., Lee, I. S., & Kwon, Y. J. (2009). Brain activation pattern and functional connectivity network during hypothesis-evaluating on biological phenomena. *Biology Education*, 37, 309-320.
- Ministry of Education (2015). 2015 Revised National Science Curriculum. Seoul, Korea: Author.
- 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.
- Seoul National University Science Education Research Center (2011). Middle School 2nd and 3rd-grade Science Open Inquiry Teaching-Learning and Evaluation. Seoul: Seoul National University Science Education Research Center.
- Ward, J. (2017). *Cognitive Neuroscience Introductory*(Lee, D. H., Kim, H. J., Lee, D. J., & Cho, S. H., Trans.). Seoul: Sigmappress. (Original work published in 2015).

Authors Information

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

Kim, Yong-Seong: Research Institute for Special Education & Rehabilitation Science, Daegu University, Research Professor, Corresponding Author

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