

RESEARCH ARTICLE

Identification of Biology Researcher's Prefrontal Cortex Activation During the Process of Biological Task Commitment

Su-Min Lee, Bo-Mi Kim, Yong-Ju Kwon^{*}
Korea National University of Education

생명과학 과제 집착 과정에서 나타나는 생명과학 연구자의 전전두엽 활성화 규명

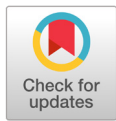
이수민, 김보미, 권용주^{*}
한국교육대학교

^{*}Corresponding Author: Yong-Ju Kwon, kwonjy@knue.ac.kr

ABSTRACT

Biological task commitment plays a crucial role in the discovery of new knowledge and in learning biology. It is essential for becoming a scientist and for successfully engaging in scientific task-solving. Recently, brain-based approaches have been introduced to elucidate the neural mechanisms underlying task commitment. In this study, functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) was used to identify prefrontal cortex activation in biology researchers during biological task commitment. The results showed that biology researchers tend to pursue high goals and persist in completing tasks. Significant activation was observed in the VLPFC, right DLPFC, right FP, and right OFC. The left VLPFC is associated with the inhibitory control of scientific concepts and selective attention, suggesting that researchers selectively process relevant concepts while focusing attention to solve biological tasks. The right FP and right OFC are related to goal-directed thinking and motivational regulation, indicating that researchers maintain goal-directed thinking and regulate their motivation during biological task commitment. Overall, the findings identify the left VLPFC, right FP, and right OFC as key brain regions involved in biological task commitment. These results offer implications for the development of neuroscientific assessment tools for biological task commitment and for designing brain-based biology instruction.

Keywords: Biological task commitment, biology researcher, prefrontal cortex, fNIRS



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2026, Vol. 16, No. 1, 13–28

<https://doi.org/10.31216/BDL.2026.16.1.2>

Received: January 15, 2026

Revised: March 15, 2026

Accepted: March 19, 2026

© 2026 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

과제 집착이란 목표 달성을 위해 오랜 시간 동안 끈기 있게 과제에 몰입하는 것을 의미한다(Renzulli, 2002). 과제 집착은 과학사 속 위대한 과학자들의 창의적인 지식 발견 과정에서 공통으로 강하게 나타났다(Oh, 2022). 유전학에 큰 공헌을 하였던 Gregor Mendel

은 8년 동안 15,000개체 이상의 완두콩을 교배하면서 자료를 기록하고 분석하여 유전법칙을 도출하였다(De Castro, 2016). Charles Darwin의 경우 비글호에 탑승하여 세계를 돌아다니면서 자료를 수집하였고, 이후에도 자연 선택 이론을 검증하기 위해 생애 동안 끊임없이 연구를 수행하였다(Ayala, 2009). mRNA 백신 개발에 기초가 되는 연구로 2023년도 노벨 생리의학상을 수상했던 Katalin Karikó의 생애에서도 과제 집착을 볼 수 있다. 그녀는 어릴 때부터 생명과학을 열심히 공부하였으며, 부족한 자금, 연구 실패, 성과 부족 등 많은 시련에도 포기하지 않고 끈기 있게 연구를 수행하였다(Karikó, 2023). 이처럼 생명과학자들은 연구 과정 중 목표를 달성하기 위해 긴 시간이 걸리거나 어려움이 있더라도 포기 없이 계속해서 연구를 수행하였다. 이는 생명과학 지식 발견이라는 목표를 달성하고자 오랜 시간 동안 과제를 수행하여 해결하는 특성인 과제 집착이 생명과학자에게서 요구되며 연구 과정에서 발현됨을 알 수 있다.

과제 집착은 창의적이고 생산적인 사람들에게서 발견되는 공통된 특성 중 하나이다(Renzulli, 2016). 과학 지식을 생성하고 활용하며 과학적 과제를 해결하는 과정에서 과제 집착이 요구된다(W. J. Kim et al., 2013a, 2013b). 과학자의 연구 과정을 조사한 결과, 문제에 부딪혀 어려운 상황을 마주할 때 과학자는 과제에 집중하고 도전하는 등 이를 해결하기 위해 끊임없이 노력하였다(Jung & Kim, 2024). 실제 과학자에게서도 높은 수준의 과제 집착이 나타났다고 하였다(Lekiqi et al., 2022). 또한, 훌륭한 과학자가 되기 위해 연구 과정 중 겪은 좌절을 이겨내며 나아갈 수 있는 강한 의지가 필요하다고 했다(Hunter et al., 2007). 이는 과학자가 되기 위해서 연구 과정에서 높은 수준의 과제 집착이 필요하다고 볼 수 있다. 과학자 대상으로 과학자가 되기 위해 갖춰야 하는 능력을 설문한 결과 다수가 열정, 끈기, 의지, 근면성 등이 필요하다고 응답하였다(Baek et al., 2023; Ha & Ha, 2021). 그러므로 과제 집착은 성공적인 과학적 발견과 과학자 양성 맥락에서 요구되는 능력이라 볼 수 있다.

과제 집착은 유사 개념으로 인내, 동기, 끈기, 노력, 몰입 등을 내재하고 있다(Datu et al., 2022; Renzulli, 2016; Renzulli & Reis, 2021). 이는 과학자가 되기 전 학생 시기에도 과제 집착이 중요하게 작용함을 알 수 있다. 과제 집착은 고등학생들의 과학 학업 성취도와 과학 과목 참여도에 긍정적인 영향을 미친다고 하였다(Mun & Ham, 2016). 여러 연구에서도 과제 집착이 학생들의 성공적이면서 능동적인 생명과학 학습과 탐구를 위해 주도적이면서 계속해서 도전하는 자세를 가지는 데 있어 중요하게 작용한다고 하였다(Cavanagh et al., 2018; W. J. Kim et al., 2013b; Kwon & Kwon, 2013). 과학 전공 대학생이 되어서도 높은 학업 성취와 이를 유지하는 데 과제 집착이 강하게 작용한다(Vogel & Human-Vogel, 2016). 또한, 과제 집착은 영재의 세 고리 모형 중 하나에 속하며(Renzulli, 2002), 과학교육에서 중요한 정서적 요소이자 과학영재 육성과 교육에서 활용해야 하는 핵심 요소이다(Jang & Kim, 2014). 대학생 이후 과학 진로에 나가서도 장기 근무와 연구 성과 수준에 과제 집착이 크게 관여하였다(Tan et al., 2020). 위 맥락들을 고려할 때, 학생들의 성공적인 생명과학 학습뿐만 아니라 창의적인 지식 발견이 가능한 생명과학자 양성을 위해 과제 집착은 생물교육에 있어 중추적인 요소라고 할 수 있다.

생명과학 과제 집착은 고수준의 목표에 도달하고자 과제와 관련성이 높은 정보에 주의를 집중하여 과제 해결 활동을 지속하는 성향이다(Byeon et al., 2013; W. J. Kim et al., 2013a). 또한 목표를 지속할지 혹은 포기할지 사이에서 현재의 목표를 달성하기 위해 계속해서 수행하는 것이라고 하였다(Holton et al., 2024). 이를 종합하면, 생명과학 과제 집착이란 높은 수준의 목표를 달성하기 위해 관련 정보에 집중하여 생명과학 과제를 포기하지 않고 지속적으로 수행하는 것으로 정의할 수 있다. 생명과학 과제 집착은 목표 설정, 주의 집중 그리고 지속적 수행 총 세 가지의 하위 요소로 구성되어 있다(Byeon et al., 2013; W. J. Kim et al., 2013a, 2013b; Kwon & Kwon, 2013).

첫 번째 요소인 목표 설정(Goal Setting)은 과제를 완료했을 때 얻을 수 있는 결과를 정하는 것이다. 목표는 과제 집착 수준을 높이는 핵심 요소로 과제 수행을 지속하거나 포기하는 데 결정적으로 관여한다(Pedersen, 2016). 두 번째 요소인 주의 집중(Attention)은 과제를 해결하기 위해 과제 수행과 관련된 것에 관심을 두는 것이다. 주의 집중은 과제의 관련성을 토대로 정보를 처리하는 능력으로 과제 수행 과정에 관련이 있다(Kida et al., 2017). 특히, 과제를 해결하는 과정에서 다양한 정보 중 특정 정보에 반응하여 관심을 기울이는 선택적 주의 집중이 요구된다(Kwon & Kwon, 2013; Rouinfar et al., 2014).

마지막 요소인 지속적 수행(Continuous Performance)은 높은 수준의 목표를 달성하기 위해 어려움이 있더라도 포기하지 않고 계속해서 과제를 수행하는 것을 의미한다. 과학 탐구 및 과제 수행 과정을 고려할 때 과제 수행 후 받은 결과에 따라 추가 수행 여부를 결정하며 이에 따라 과제 집착이 변화된다(W. J. Kim et al., 2013b; Kwon & Kwon, 2013). 즉, 과제의 지속적 수행 여부가 과제 집착 수준 변화에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 지속적 수행 대신 자신감을 하위 요소로 언급하기도 하나, 과제 집착은 과제를 해결하기 위해 포기하지 않고 반복적으로 과제를 수행한다는 점에서 끈기와 열정을 강조하고 있다(Datu et al., 2022; Renzulli & Reis, 2021). 그리고 과학자들이 어려운 상황과 좌절을 겪더라도 계속해서 시도한다는 특성을 고려할 때(Hunter et al., 2007; Jung & Kim, 2024), 생명과학 과제 집착의 하위 요소로 자신감 대신 지속적 수행을 제시할 수 있다.

생명과학 과제 집착을 측정하기 위해 자기보고식 설문지를 많이 활용한다(W. J. Kim et al., 2013a). 그러나 자기보고식 설문지는 연구자의 주관성이 개입되어 잘못된 결과를 도출할 수 있으며 복잡한 사고 과정 파악에 제한점이 있다(Wackers & Schille-Rognmo, 2022). 이를 극복하기 위해 시선 추적을 활용하여 사람의 시선이 과제 관련 정보에 얼마나 고정했는지를 바탕으로 정량화하여 측정하기도 하였다(Byeon et al., 2013; S. Y. Kim et al., 2013). 그러나 과제 집착이 비인지적이면서 정서적 특성인 점을 고려할 때(Oh, 2022; Renzulli, 2002), 시각적 데이터를 계산하는 시선 추적만으로 측정하기엔 한계가 있다.

사람의 사고가 일어나는 곳은 결국 뇌이며 근원적인 측정을 위해서는 뇌과학적 연구 방법이 필요하다. 뇌과학적 연구 방법에 의한 두뇌 측정으로 사람의 인지 및 정서를 정량적으로 측정할 수 있다(Amran et al., 2019). 그리고 과제 집착의 유사 개념인 Goal commitment, Grit 등을 뇌과학적으로 접근하여 두뇌에서 일어나는 메커니즘이나 관련 두뇌 영역을 규명하기도 하였다(Holton et al., 2024; Park et al., 2023). 전전두엽의 경우 고차원적 인지 기능 및 과학적 사고와 관련된 두뇌 영역이며(Nenciovici et al., 2019), 과제 수행 과정에서 목표와 주의 집중에 연관된 영역이기도 하다(Holton et al., 2024).

특히, 학습과 관련된 사고 과정을 뇌과학적으로 규명하여 이에 대한 메커니즘을 밝힘으로써 학생들에게 효과적으로 학습을 지원할 수 있다(Goldberg, 2022). 생명과학 연구자와 같이 전문가의 사고 과정을 뇌과학적으로 분석한다면 향후 교수학습 설계에 있어 기초 자료로 활용할 수 있다(Vaughn et al., 2020). 또한, 전문가의 두뇌 데이터를 기반으로 학습자별 개인차를 정량화하여 학습 정도를 효과적으로 평가할 수 있다(Cetron et al., 2019). 그러므로 전문가인 생명과학 연구자에게 뇌과학적 연구 방법을 활용하여 생명과학 과제 집착을 측정한다면 기존 연구 방법의 제한점을 벗어나면서 동시에 사고 과정에 대한 규명과 교육적 의미를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서는 생명과학 연구자가 생명과학 과제 집착 과제를 수행하는 과정에서 유발되는 사고 과정을 전전두엽의 활성을 측정하는 장비인 fNIRS(functional Near-Infrared Spectroscopy)를 활용하여 분석함으로써 이와 관련된 핵심 영역을 규명하고자 한다.

Methodology

Participants

생명과학 과제 집착 과제를 수행하기 위해서는 생명과학 과제 집착과 관련된 경험이 있어야 한다. 앞서 언급했듯이 연구 과정에서 생명과학 과제 집착이 나타나며 최종 성과로 연구 결과를 도출하게 된다. 그러므로 생명과학 연구 경험이 있으면서 연구 결과로 논문을 출판한 경험이 있는 사람을 연구 대상으로 선정하여야 한다. 본 연구에서는 생명과학 연구자를 연구 대상으로 선정하였는데, 최소 생명과학 관련된 전공으로 석사 학위를 가졌으며 현재까지도 연구 활동을 하는 사람들이다. 총 26명의 생명과학 연구자(남: 15명, 여: 11명, 평균 연령: 36.46 ± 6.66)가 fNIRS 측정에 참여하였다. 생명과학 연구자 집단은 최종 학위 기준 석사 10명(남: 6명, 여: 4명), 박사 16명(남: 9명, 여: 7명)으로 구성되어 있다. 석사 학위자 중 1명과 박사 학위자 중 2명은 측정일 기준 1개월 이내에 최종 학위를 취득할 예정이었다. 모든 연구 대상에게 자발적 참여를 확인하는 연구 동의서를 서면으로 받았다. 연구자들의 전공 및 연구 영역을 기준으로 생명과학 연구자의 인원 구성을 정리하면 <Table 1>과 같다.

Table 1. Research area of participants

Research area	Degree		Total
	Master	Ph.D.	
Animal behavior	2	3	5 (Male: 3)
Animal physiology	1	3	4 (Male: 2)
Plant physiology	1	4	5 (Male: 4)
Microbiology	4	3	7 (Male: 3)
Ecology	2	3	5 (Male: 3)

본 연구에서는 fNIRS라는 뇌과학 장비를 활용하여 두뇌 활성을 측정하였다. fNIRS는 연구 대상의 머리에 착용하여 이마에 근적외선을 조사하고 전전두엽 피질의 헤모글로빈 변화량을 이용하여 두뇌 활성을 측정하는 장비이다. 사람 이마에 부착하는 장비를 사용하는 생체 연구이기 때문에 한국교원대학교 생명윤리위원회의 승인을 사전에 받았다. 데이터의 신뢰도 확보와 두뇌 편측성을 고려하여 오른손잡이만 피험자로 선별하였다. 오른손잡이 여부는 손 우세성 검사(Oldfield, 1971)를 통해 확인하였다. 헤모글로빈 변화량을 확인하는 뇌과학 장비이므로 심혈관 그리고 신경학적 질환이 없는 생명과학 연구자만 fNIRS 측정에 참여하였다.

Development of fNIRS Task

fNIRS 측정을 위해 생명과학 과제 집착을 유발할 수 있는 과제를 개발하고자 정의와 요소를 고려하였다. 생명과학 과제 집착을 유발하기 위해 생명과학 오개념을 활용한 OX(True-or-False) 퀴즈를 소재로 선정하였다. 오개념은 과학적으로 정확하지 않으며 다른 사람들에게 널리 퍼져 있는 생각으로(Leonard et al., 2014), 사람의 장기 기억에 존재하면서 새로 얻는 과학적 개념과 계속해서 경쟁하게 된다(Mason & Zaccoletti, 2021). 오개념은 때론 소박한 혹은 순진한 생각(Naive Idea)으로 불리는 데 이는 오개념이 교육 이전에 경험을 통해 생성되며 직관적인 특성을 가진 생각이기 때문이다(Allaire-Duquette et al., 2021; Driver, 1995). 특히, 오개념에 일치

하지 않는 문장에 대한 OX 선택 시 오개념을 억제하고 정확한 과학적 개념으로 판단해야 하는데 이는 오개념에 일치하는 문장을 판단할 때보다 상대적으로 긴 시간이 소요된다(Brookman-Byrne et al., 2018). 또한, 오개념에 일치하지 않는 문장에 대한 OX 판단 시 개념의 억제 조절 과정이 일어나며 정보의 관련성을 기준으로 처리하는 주의 집중이 동반된다(Lin et al., 2023; Wen et al., 2024). 즉, 생명과학 오개념 OX 퀴즈는 주의 집중 측면에서 생명과학 과제 집착을 유발할 수 있다.

또한, 생명과학 과제 집착이 일어나도록 과제를 설계하기 위해서는 과제를 수행하고 해결하는 과정에서 높은 수준의 목표 설정과 과학 지식의 지속적인 활용이 있어야 한다(Byeon et al., 2013). 성공적으로 지식을 활용하고 학습하기 위해서는 기존에 가지고 있는 오개념을 극복하는 것이 핵심적으로 요구되며 이때 개념에 대한 억제 조절이 필요하게 된다(Mareschal, 2016; Potvin et al., 2020). 억제 조절로 인해 계속해서 충돌하게 되는 오개념을 극복함으로써 간섭을 막고 올바른 개념으로 과제를 수행할 수 있기 때문이다. 특히, 도전적인 과제를 포기하려는 충동을 누르고 지속적으로 수행하기 위해서는 억제 조절이 필요하다(Torggrimson et al., 2021). 그러므로 도전적인 오개념 과제를 설계하여 제시하면 피험자는 억제 조절로 과제를 해결해나갈 것이며, 포기하려는 순간에도 억제 조절을 통해 계속해서 도전할지에 대한 여부를 결정할 것이다. 그리고 생명과학 과제 집착은 과제를 그만두지 않고 지속해서 몰두하여 과제를 해결하려는 성향이므로, 과제의 지속적 수행 여부와 오개념의 억제 조절 과정을 fNIRS 과제에 반영한다면 측정할 수 있다.

개발된 fNIRS 과제는 눈 뜨고 십자가를 바라보는 fixation 구간을 제외하면 목표 설정, 과제 수행, 결과 확인, 추가 수행 결정 구간으로 구성된다. 목표 설정 구간에서 과제를 수행하면서 어느 정도의 결과를 얻을 건지 생각하게 된다. 5초가 지난 후 과제 수행 구간으로 OX 퀴즈가 제시되는데, 모두 오개념에 일치하지 않는 문장으로 제시되어 있다. 오개념에 일치하지 않는다는 것은 과학적으로 옳은 개념과 오개념이 서로 충돌하는 문장이라는 것이다(Allaire-Duquette et al., 2019). 예를 들면, ‘움직이는 것은 살아있다’라는 오개념에 일치하지 않는 문장으로는 ‘캠핑장에서 피운 모닥불은 살아있다’가 제시된다. 이러면 인지구조 내 기억 속에 있는 ‘움직이는 것은 살아있다’라는 오개념을 억제해야 본 문장을 과학적으로 올바르게 판단할 수 있다. 위와 같은 문장이 단계별로 6개씩 시간 내에 무작위 순서로 제시된다. 피험자는 화면에서 나오는 문장을 보며 마우스로 O나 X를 클릭하여 판단하게 된다.

과제는 총 6단계로 구성되었는데 1단계의 수행 시간은 총 60초로 한 문장당 제한 시간은 10초로 설정되어 있다. 모든 단계에서 제시되는 문장의 수는 6개로 동일하며, 단계가 올라갈 때마다 문장당 제한 시간이 1초씩 줄어든다. 그래서 최종 6단계는 총 30초의 제한 시간이 걸리게 된다. 단계는 1단계부터 시작해서 6단계까지 존재함으로써 과제의 지속적 수행 여부를 단계별로 결정할 수 있다. 단계가 진행될수록 문장당 제한 시간이 감소하는 구조는 피험자에게 시간 압박과 처리 속도에 영향을 주며 어려움을 느끼게 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 시간 압박 및 단계 구조를 통해 피험자가 과제 목표를 유지하며 오개념의 간섭을 억제하고 과제를 지속하여 수행하려는 경향을 확인할 수 있다. 실제로 Holton et al. (2024)에 따르면 다른 대안이 있더라도 계속해서 현재 과제의 목표를 달성하기 위해 계속해서 수행할수록 집착이 높게 나타난다고 하였다. 즉, 과제의 지속적 수행에 대해 선택하는 방식으로 설계하면서 동시에 목표 설정 및 결과 확인을 통해 생명과학 과제 집착을 유발할 수 있다.

과제 수행이 끝나면 fixation을 본 다음 몇 개의 문장을 맞혔는지 알게 된다. 이후 추가 수행 결정 구간에서 O나 X를 마우스로 클릭하여 다음 단계 진행 여부를 결정한다. O를 클릭하면 다음 단계로 넘어가며, X를 클릭하면 과제가 종료된다. 이처럼 목표 설정과 추가 수행 결정 구간을 제시하여 피험자가 과제의 목표도 세우

면서 지속적 수행이 가능하도록 하였다. 그리고 생명과학 오개념 OX 퀴즈를 단계화하여 제시하였다. 단계마다 동일한 순서로 진행되는데, 목표를 제시하며 과제를 수행한 다음 결과를 확인하여 다음 단계 수행 여부를 결정하는 방식으로 반복하게 된다. 생명과학 과제 집착 과제의 패러다임을 정리하면 <Fig. 1.>과 같다.

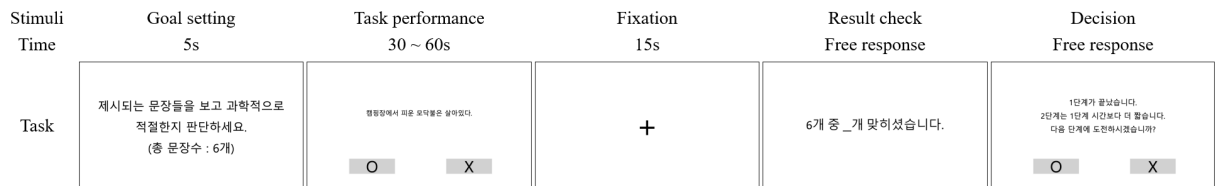


Fig. 1. Biological task commitment task paradigm

생명과학 과제 집착 과제는 전문가와의 세미나와 예비 fNIRS 측정 과정을 통해 개발하였다. 문장별 내용의 균형을 이루기 위해 2022 개정 과학과 교육과정의 지식·이해를 활용하였다. 제시되는 문장의 글자 수는 단계별로 차이가 없게 통제하였다. 최종 개발된 과제에 대해 뇌과학 및 생물교육 전문가 4인에게 내용타당도 검사를 의뢰하였다. 내용타당도 지수는 0.8 이상이면 타당하다고 여겨지는데(Polit & Beck, 2006), 검사 결과 1.0으로 나왔다. 그러므로 본 과제는 생명과학 과제 집착을 측정하는 데 타당하다고 볼 수 있다.

fNIRS Measurement

본 연구에서 사용한 fNIRS 장비는 OBELAB Inc.에서 개발한 NIRSIT(NS1-H20A)이다. 780nm와 850nm 파장대의 근적외선을 전전두엽 피질에 조사하여 다시 돌아오는 빛의 세기를 측정하는 장비이다. 서로 다른 두 파장대의 근적외선 때문에 전전두엽 피질 혈관에 있는 헤모글로빈의 농도를 계산할 수 있다. 측정 장소는 소음이 적으며 독립된 곳으로 빛을 조절할 수 있는 환경이었다. 피험자가 생명과학 과제 집착 과제가 제시되는 노트북 화면을 편히 바라보며 마우스를 클릭할 수 있도록 자리를 조정하였다. 피험자 옆에는 측정 절차와 과제에 대해 안내하는 연구자가 앉았다. 피험자 뒤에는 다른 연구자가 앉아 노트북에 NIRSIT 데이터가 오류 없이 수집되는지 확인하였다. fNIRS 측정이 끝나면 연구자와 사후 인터뷰를 실시하여 과제 수행 시 피험자가 생각했던 것들을 조사하였다.

NIRSIT 데이터 수집 노트북에서는 생명과학 과제 집착을 구간별로 구분하기 위해 구간을 특정 숫자로 표시하는 마커(Marker)를 기록하게 하였다. E-Prime 3.0(Psychology Software Tools, Inc.)을 사용하여 과제를 개발함으로써 OX 응답 결과와 분석을 위한 마커를 자동으로 기록하게 하였다.

Data Analysis

생명과학 과제 집착 과제의 행동 데이터로 개인별 수행 단계와 정답률을 구하였다. 이 데이터를 통해 개인별로 몇 단계까지 수행했는지 확인하였으며 사후 인터뷰를 진행하여 해당 단계까지 수행한 이유를 조사하였다. 퀴즈의 정답률은 E-Prime에 기록된 OX 반응 결과와 연구자가 작성한 퀴즈 결과를 토대로 계산하였다. OX를 시간 내에 클릭하지 못했거나 미수행한 단계는 틀린 것으로 간주하였다.

NIRSIT에서 얻어진 두뇌 활성 데이터는 NIRSIT Analysis Tool v3.8.4를 사용하여 분석하였다. 인체 내 생리학적인 신호와 측정 환경에서 들어오는 빛 등 두뇌 신호 외 잡음을 제거하기 위해 band-pass filter를 사용하여 전처리하였다. Filter의 수치로 low-pass filter는 0.01Hz, high-pass filter는 0.005Hz를 사용하였다. 해당 주파수 영역 사이의 신호만 통과하고 이외 영역에 있는 신호는 제거되었다. 통과한 신호들로 생명과학 과제 집착 구간과 휴식 구간에서의 산소 헤모글로빈 농도 변화량을 계산하였다. 전처리 과정을 거친 개인별 데이터들을 GLM(General Linear Model)을 사용하여 각 구간의 채널별 회귀계수인 β 값으로 산출하였다. 생명과학 과제 집착의 전전두엽 활성을 토대로 핵심 영역을 규명하기 위해 개인별로 얻어진 채널별 β 값으로 단일 표본 t 검정을 시행하였다. 마지막으로 $\alpha = 0.05$ 수준에서 유의미하게 도출된 채널들을 BrainNet Viewer v1.7(Xia et al., 2013)을 사용하여 두뇌의 해부학적 위치에 맞게 시각화하였다.

Results and Discussions

Behavioral Results

생명과학 과제 집착 과제는 총 6단계의 퀴즈로 구성되어 있다. fNIRS 측정에 참여한 생명과학 연구자 26명 중 23명이 6단계까지 수행하였다. 6단계까지 수행하지 않은 3명은 각각 2, 3, 5단계까지 과제를 수행하였으며 이를 정리하면 Fig. 2(A)와 같이 나타났다. 6단계까지 수행한 23명에게 6단계까지 수행한 이유를 인터뷰 및 설문으로 조사한 결과 18명이 다음 단계와 문장에 대한 궁금증을 가졌거나 계속해서 끝까지 과제를 하고 싶다고 보고하였다. 다수의 생명과학 연구자에게서 과제에 대한 높은 호기심과 중단하지 않고 과제를 지속해서 수행하려는 성향이 나타났다고 볼 수 있다. 서론에서 언급했던 것처럼 과학자들은 높은 수준의 과제 집착을 나타내며, 호기심(Sato, 2016)과 외적 보상 없이 스스로 하고 싶은 마음이 생기는 내재적 동기(Lounsbury et al., 2012)도 높은 수준으로 가지고 있다. 이는 과학자들이 강한 호기심과 내재적 동기에 의해 과제에 적극적으로 참여하면서 포기하지 않고 끝까지 수행하려는 성향을 공통으로 가진다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 생명과학 연구자의 행동 결과와 일치한다 볼 수 있다.

6단계까지 수행하지 않은 연구자 중 2단계까지 수행한 1명은 추가 수행 결정 구간을 단계에 대한 재도전으로 이해하였으며, 나머지 2명은 과제에 흥미나 관심이 떨어져서 3단계와 5단계까지 마치고 중단했다고 하였다. 물론 다수의 생명과학 연구자가 끝까지 수행했다 하더라도 소수의 연구자는 6단계까지 수행하지 않았다. 그럼에도 불구하고 W. J. Kim et al. (2013b)은 높은 목표를 설정하면서 최대한 이에 도달하기 위하여 계속해서 과제를 수행하는 사람이 과제 집착이 가장 높다고 하였다. 그리고 과제 집착의 유사 개념인 Grit 또한 높을수록 과제를 덜 포기하고 끈기 있게 과제를 완수한다고 하였다(Lucas et al., 2015). 전반적으로 대부분의 생명과학 연구자는 제시된 과제를 다 맞추기 위해 모든 단계의 과제를 수행하였으므로 생명과학 과제 집착이 높은 수준이라고 볼 수 있다.

생명과학 연구자의 과제 수행 시 OX 퀴즈의 평균 정답률은 70.2%로 나왔다. Allaire-Duquette et al. (2021)에 따르면 과학자들의 오개념 OX 퀴즈 평균 정답률은 76.4% 정도 나왔는데 이와 유사한 수치를 보여줬다. 높은 수준의 과제 집착을 가진 것으로 알려진 과학자와 유사한 정답률이 나타났으므로, 과제를 포기하지 않고 지속적으로 수행하면서 비슷한 성과를 얻어낸 생명과학 연구자 또한 과제 집착이 높다고 볼 수 있다.

Prefrontal Cortex Activation During Biological Task Commitment

생명과학 과제 집착 과정은 높은 수준의 목표를 달성하기 위해 포기하지 않고 생명과학 과제를 지속적으로 수행하는 것이다. 생명과학 과제 집착 과정에서 나타나는 생명과학 연구자의 전전두엽 활성화 결과는 Fig. 2(B) 및 Table 2와 같다.

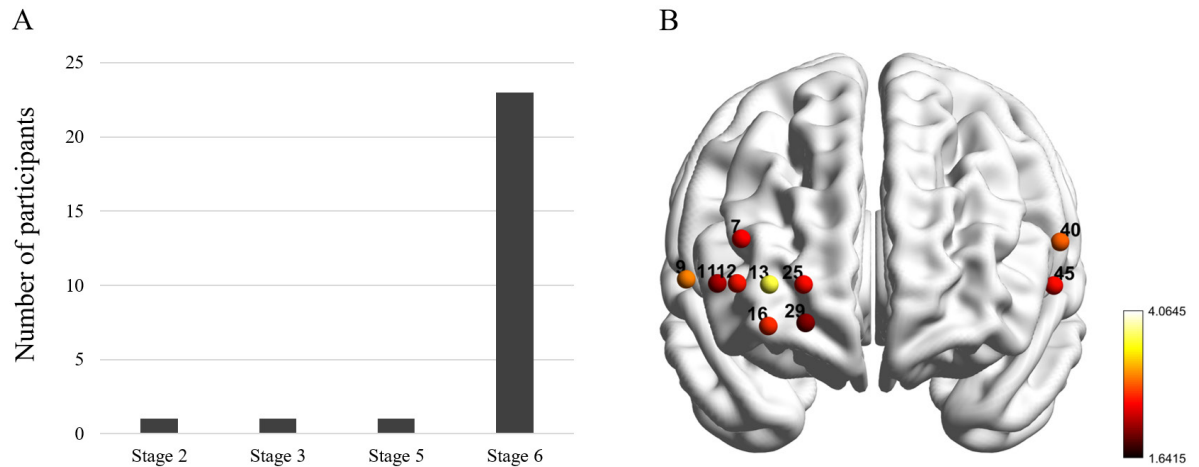


Fig. 2. Results of biology researchers during biology task commitment (A: behavioral results, B: channel-wise prefrontal cortex activation result, $p < 0.05$)

Table 2. Results of prefrontal cortex activation by region in biology researchers ($p < 0.05$)

Region	BA	Hemisphere	Ch	t	MNI coordinates		
					x	y	z
VLPFC	45	L	40	2.881	-60	19.3	19.3
			45	2.554	-58	23.7	5.3
		R	9	2.982	60	27.7	7.3
			11	2.240	50	51	6
DLPFC	10	R	7	2.528	42.3	56.3	20.3
FP	10	R	12	2.597	43.7	60	6
			13	3.610	33.3	67	5.7
			25	2.568	22.3	72	5.7
			16	2.669	33.7	67	-7.7
OFC	11	R	29	2.096	21.7	71	6.7

VLPFC: Ventrolateral Prefrontal Cortex, DLPFC: Dorsolateral Prefrontal Cortex, FP: Frontopolar Prefrontal Cortex, OFC: Orbitofrontal Cortex, BA: Brodmann Area

생명과학 연구자는 좌측 VLPFC(Ventrolateral Prefrontal Cortex)에 속하는 40번 및 45번 채널과 우측 VLPFC에 해당하는 9번 채널에서 높은 활성이 유의미하게 나타났다. 그리고 우측 DLPFC(Dorsolateral Prefrontal Cortex)에 해당하는 10번 채널에서도 높은 활성이 나타났다. 우측 FP(Frontopolar Prefrontal Cortex)에 해당하는 7번, 12번, 13번, 15번 채널에서 광범위하게 활성이 나타났다. 우측 OFC(Orbitofrontal Cortex)에 해당하는 16번 및 29번 채널 또한 높은 활성이 나타났다.

채널 40번과 45번은 좌측 VLPFC 및 BA 45(Brodmann Area)에 속한다. 좌측 VLPFC는 오개념과 과학적 개념과의 경쟁의 억제 조절을 담당하는 영역으로 정확한 과학적 개념으로 결정을 내리는 데 관여한다(Allaire-Duquette et al., 2019, 2021; Dumontheil et al., 2022). 이는 좌측 VLPFC가 인지구조 내 기억 간 경쟁을 해결하기 위해 기억 인출 후 선택하는 과정을 지원하며(Badre & Wagner, 2007), 제시된 언어적 정보와 관련성이 높은 의미를 가진 것만 처리하는 데 관여하기 때문이다(Cheng et al., 2022). 이뿐만 아니라 좌측 VLPFC는 인지 및 동기 정보를 통합하여 목표 지향적 행동을 설계하는 기능을 담당한다(Sakagami & Pan, 2007). 본 연구에서 나온 좌측 VLPFC의 활성화는 선행 연구들과 일치되는 결과라 볼 수 있다. 그러므로 좌측 VLPFC의 기능을 고려할 때, 생명과학 연구자는 생명과학 과제 집착 과정에서 인지구조 속 오개념과 과학적 개념 간 경쟁을 억제 조절하고 목표를 달성하기 위해 이에 부합한 정보를 인출하여 판단하는 사고가 활발하게 나타났을 것으로 추측할 수 있다.

우측 VLPFC와 BA 45에 해당하는 9번 채널에서도 높은 활성화가 나타났다. 해당 영역은 우측 전전두엽에 속한 영역으로 생명과학 지식 이해 과정에서 활성화가 나타난다(Kwon & Lee, 2009). 그리고 기억을 활용한 인지 정보 처리 과제 수행 과정에서 운동 반응의 억제를 담당하는 영역 중 하나이다(Levy & Wagner, 2011). 11번 채널은 우측 DLPFC 및 BA 10에 해당하며 우측 전전두엽에 속한 영역으로 생명과학 지식 이해에 관여한다 볼 수 있다. 그리고 과제의 목표에 관련된 정보만 처리하기 위해 주의 집중하며(Nee & Jonides, 2009), 인지구조 내 작업기억을 제어하고 불확실한 정보를 처리할 때 활성화가 나타난다(Obeso et al., 2021). 우측 VLPFC와 비슷하게 정보 처리 이후 몸을 움직여서 선택할 때 잘못된 운동 반응을 억제하는 데 관여한다(Mannarelli et al., 2015; Wu et al., 2023). 위 맥락에 비춰볼 때 생명과학 연구자는 과제에 제시된 문장에 있는 생명과학 지식을 이해하면서 이를 토대로 인지적 정보를 처리하는 사고가 활발히 일어난 것으로 볼 수 있다. 한편, 과제를 수행하며 OX 결정 과정에서 제한 시간 내 손으로 마우스를 조작하여 OX를 클릭해야 한다. 그러므로 올바른 선택을 위해 잘못된 것을 클릭하는 운동 반응을 억제하는 사고가 활발하게 나타난 것으로 보인다.

우측 FP와 BA 10에 해당하는 채널 7번, 12번, 13번과 25번에서 유의미한 활성화가 넓게 나타났다. 우측 FP는 목표 지향적 사고와 다중 작업 시 활성화가 일어나는 영역으로 OFC의 조절을 받는다(Kwon et al., 2020). 더 나아가 목표를 관리하며 정보를 처리하고 스스로 모니터링하는 과정에 관여하는 것으로 알려져 있다(Hogeveen et al., 2022), 특히 정보를 통합하여 처리한 후 다음 과정을 어떻게 할지 계획하면서 이전 계획의 유지와 변경을 결정하는 데 기여한다(Ferrucci et al., 2025). 우측 OFC 및 BA 11에 속하는 16번과 29번 채널에서도 높은 활성화가 나타났다. 우측 OFC는 동기-보상 체계의 핵심 영역이자 학습 과정에서 동기를 유지하는 기능을 담당하는 것으로 알려져 있다(Lee & Kwon, 2016), 또한, 목표 지향적으로 행동하는 과정에서 유발되는 동기를 조절하는 데 관여한다(Rudebeck & Rich, 2018). 생명과학 연구자가 최대한 많은 문장의 과학적 적절성을 올바르게 판단하기라는 목표를 달성하기 위해 오개념 및 과학적 개념들을 처리하면서 이 과정이 목표에 부합하는지를 계속 모니터링하는 사고가 활발하게 나타났음을 알 수 있다. 그리고 과제 수행 과정 및 단계별 수행 결과에 따라 동기가 계속해서 조절되며, 이를 통해 도전 여부와 과제 수행 계획을 결정하는 사고가 활발하게 나타난 것으로 보인다.

생명과학 과제 집착은 목표 설정, 주의 집중, 지속적 수행 총 세 가지의 하위 요소로 구성되어 있다. 목표 설정은 과제를 완료했을 때 얻을 수 있는 결과를 정하는 것으로 과제 수행 정도와 과제 집착 수준을 변화시킨다. 게다가 목표 설정은 동기에 기반하는 행동으로 목표를 어느 만큼 정하는가에 따라 개인의 동기 수준에 큰 영

향을 미친다(Anderson et al., 2010; Höpfer & Keith, 2021). 이러한 의미를 고려할 때, 생명과학 과제 집착에서 목표 및 동기와 관련된 사고는 핵심적인 역할을 할 것이다. 목표 및 동기의 변화는 생명과학 과제 집착 수준의 변화를 유발하여 과제의 지속적 수행을 결정하는 데 연관될 것이다. 그러므로 목표 지향적 사고, 동기의 변화 및 향후 계획 결정에 관련되어있는 우측 FP와 우측 OFC가 생명과학 과제 집착의 핵심 두뇌 영역으로 여겨진다고 할 수 있다.

한편, 주의 집중이란 과제를 해결하기 위해 과제 수행과 관련된 것에 관심을 두는 것을 의미한다. 주의 집중은 과제와 관련된 정보만 추출하고 상관없는 정보는 배제하는 능력이라 할 수 있다(Kida et al., 2017). 특히, 인지구조 내 특정 기억을 인출하여 선택하는 과정은 주의 집중에 의존할 수밖에 없다(Lindsay, 2020; Manohar et al., 2019). 그리고 정보의 경쟁 상황에서 관심 있는 내용만 제한되게 처리하는 기능인 선택적 주의 집중 시 VLPFC가 활성화된다고 하였다(Baldauf & Desimone, 2014; Bugatus et al., 2017). 생명과학 과제를 해결하는 과정에서 주의 집중이 일어나면 인지구조 내 목표와의 관련성을 기반으로 정보 처리 과정이 일어날 수밖에 없다. 또한, 억제 조절에 의한 주의 집중 과정에서 개념적 혼동을 일으키는 문장을 해석해야 하는 어려움이 있으며 이와 관련된 사고가 포함될 수 있다. 하지만 어려운 상황에서도 꾸준히 과제를 수행하려는 사고도 해당 과정에서 억제 조절과 함께 필요하다(Torgirson et al., 2021). 따라서 목표와의 관련성을 고려하여 과학적 개념 간 정보를 억제 조절하는 기능을 담당하며 선택적 주의 집중에 관여하는 좌측 VLPFC 또한 생명과학 과제 집착의 핵심 두뇌 영역으로 볼 수 있다.

Conclusions and Implications

본 연구에서는 생명과학 연구자가 생명과학 과제 집착 과정에서 나타나는 전전두엽의 활성을 fNIRS를 활용하여 측정하였다. 과제 수행 시 행동 결과와 두뇌 활성을 분석하여 생명과학 과제 집착의 핵심 두뇌 영역을 규명하고자 하였다. 이를 통해 결론을 도출하면 다음과 같다.

과제 수행 결과 생명과학 연구자는 높은 수준의 생명과학 과제 집착을 가진 것으로 나타났다. 생명과학 연구자는 과학자들과 유사한 정답률을 보였으며, 다수의 연구자는 과제를 수행하면서 강한 호기심과 포기하지 않고 지속적으로 과제를 수행하려는 성향을 보였다. 과학자의 특성을 생명과학 연구자도 가질 수 있으며 이러한 경향이 생명과학 과제 집착에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 다만 이러한 해석은 본 연구의 맥락에서 확인된 결과에 한정하여 이해할 필요가 있으며 일반화하기엔 제한이 있다.

생명과학 과제 집착의 하위 요소와 유의미한 두뇌 활성을 나타냈던 전전두엽 영역의 기능을 고려하였을 때 핵심 두뇌 영역은 좌측 VLPFC, 우측 FP와 우측 OFC로 제한할 수 있다. 과제를 해결하는 과정에서 제시된 목표를 인식하여 인지구조 속 개념들을 처리하고 관련성이 높은 것을 인출한 다음 결과를 확인하여 계획을 결정하게 된다. 이 과정에서 좌측 VLPFC의 과학적 개념의 억제 조절 및 주의 집중 기능, 우측 FP와 우측 OFC의 목표 지향적 사고 및 동기 조절 사고가 활발하게 나타났다. 그러므로 생명과학 과제 집착이란 높은 수준의 목표를 달성하고자 계속해서 인지구조 내 목표와 관련된 정보를 인출하고 관련 없는 정보는 억제하며, 나온 결과를 확인하여 동기 조절을 통해 높은 목표를 달성하도록 계획을 수정하거나 포기하지 않고 도전하는 것을 의미한다고 할 수 있다. 그리고 이 과정에서 좌측 VLPFC, 우측 FP, 우측 OFC가 중요한 역할을 할 가능성을 시사한다.

이상의 결과를 바탕으로 함의를 내리면 다음과 같다. 우선 생명과학 연구자의 두뇌 활성화로 기준화된 fNIRS 과제를 생명과학 과제 집착 검사 도구로 활용할 수 있을 것이다. 본 연구에서 개발한 생명과학 과제 집착 과제를 활용하여 학교 현장이나 fNIRS 보유 기관에서 간편하게 측정에 참여한 다음 생명과학 연구자와의 두뇌 결과를 비교할 수 있을 것이다. 그리고 도출된 핵심 두뇌 영역에서 어느 정도 차이가 있는지 확인한 다음 생명과학 과제 집착 증진 방안에 대해 제시할 수 있을 것이다.

또한, 생명과학 과제 집착을 효과적으로 증진할 수 있는 교수학습 프로그램이나 모형을 뇌과학적으로 설계할 수 있을 것이다. 학습과 관련된 사고 과정이 뇌과학적으로 규명됐으므로 두뇌 기반 교수학습을 설계할 수 있다. 이러한 관점에서 교육적 방안을 모색하면 학생들의 생명과학 과제 집착 유발 및 증진을 위해, 과제 해결 과정에서 과제와 관련된 정보를 생각하도록 하면서 판단 기준을 찾도록 해야 한다. 특히, 학생들이 흔히 가진 오개념처럼 개인의 경험 중 과학적으로 오류가 있는 소재를 활용한다면 보다 해당 사고를 자극할 수 있을 것이다. 이뿐만 아니라 학생 개인별 수준에 맞는 목표를 제시해 줘야 하며, 이에 맞는 보상을 단계적으로 준비함으로써 적절하게 동기가 유발 및 유지가 되면서 과제의 도전 여부에 따른 지속적 수행이 가능한 수업을 구성해야 할 것이다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (RS-2023-00243944).

Conflicts of Interest

The authors declared no conflicts of interest.

References

- Allaire-Duquette, G., Bélanger, M., Grabner, R. H., Koschutnig, K., & Masson, S. (2019). Individual differences in science competence among students are associated with ventrolateral prefrontal cortex activation. *Journal of Neuroscience Research*, 97(9), 1163-1178. <https://doi.org/10.1002/jnr.24435>
- Allaire-Duquette, G., Brault-Foisy, L. M., Potvin, P., Riopel, M., Larose, M., & Masson, S. (2021). An fMRI study of scientists with a Ph. D. in physics confronted with naive ideas in science. *NPJ Science of Learning*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00091-x>
- Amran, M. S., Rahman, S., Surat, S., & Bakar, A. Y. A. (2019). Connecting neuroscience and education: Insight from neuroscience findings for better instructional learning. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 7(2), 341-352. <https://doi.org/10.17478/jegys.559933>
- Anderson, P., Griego, O. V., & Stevens, R. H. (2010). Using business theory to motivate undergraduate students in goal attainment: An empirical assessment and model for high level motivation and goal attainment. *International Education Studies*, 3(3), 26-31.
- Ayala, F. J. (2009). Darwin and the scientific method. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(supplement_1), 10033-10039. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901404106>

- Badre, D., & Wagner, A. D. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, 45(13), 2883-2901. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.06.015>
- Baek, J., Byun, T., Yu, E. J., Lee, D., Lee, J., & Shim, H. P. (2023). Exploring scientists' and students' perceptions about competencies in "doing science" and science-related experience. *Asia-Pacific Science Education*, 9(2), 299-331. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10071>
- Baldauf, D., & Desimone, R. (2014). Neural mechanisms of object-based attention. *Science*, 344(6182), 424-427. <https://doi.org/10.1126/science.1247003>
- Brookman-Byrne, A., Mareschal, D., Tolmie, A. K., & Dumontheil, I. (2018). Inhibitory control and counterintuitive science and maths reasoning in adolescence. *PLoS One*, 13(6), e0198973. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198973>
- Bugatus, L., Weiner, K. S., & Grill-Spector, K. (2017). Task alters category representations in prefrontal but not high-level visual cortex. *Neuroimage*, 155, 437-449. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.03.062>
- Byeon, J. H., Kwon, Y. J., Kim, S. Y., & Lee, I. S. (2013). A study on attention type and shift of task commitment in secondary students' biological classification - Eye-tracking approach. *Biology Education*, 41(2), 254-266. <https://doi.org/10.15717/bioedu.2013.41.2.254>
- Cavanagh, A. J., Chen, X., Bathgate, M., Frederick, J., Hanauer, D. I., & Graham, M. J. (2018). Trust, growth mindset, and student commitment to active learning in a college science course. *CBE—Life Sciences Education*, 17(1), ar10. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-06-0107>
- Cetron, J. S., Connolly, A. C., Diamond, S. G., May, V. V., Haxby, J. V., & Kraemer, D. J. (2019). Decoding individual differences in STEM learning from functional MRI data. *Nature Communications*, 10(1), 2027. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10053-y>
- Cheng, S., Qiu, X., Li, S., Mo, L., Xu, F., & Zhang, D. (2022). Different roles of the left and right ventrolateral prefrontal cortex in cognitive reappraisal: An online transcranial magnetic stimulation study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 928077. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.928077>
- Datu, J. A. D., Yuen, M., Fung, E., Zhang, J., Chan, S., & Wu, F. (2022). The satisfied lives of gifted and gritty adolescents: Linking grit to career self-efficacy and life satisfaction. *The Journal of Early Adolescence*, 42(8), 1052-1072. <https://doi.org/10.1177/02724316221096082>
- De Castro, M. (2016). Johann Gregor Mendel: Paragon of experimental science. *Molecular Genetics & Genomic Medicine*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.1002/mgg3.199>
- Driver, R. (1995). Constructivist approaches to science teaching. In L. P. Steffe, & J. E. Gale (Eds.), *Constructivism in education* (pp. 385-400). Lawrence Erlbaum.
- Dumontheil, I., Brookman-Byrne, A., Tolmie, A. K., & Mareschal, D. (2022). Neural and cognitive underpinnings of counterintuitive science and math reasoning in adolescence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 34(7), 1205-1229. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01854
- Ferrucci, L., Ceccarelli, F., Londei, F., Arena, G., Elyasizad, L., Nougaret, S., & Genovesio, A. (2025). Reward monitoring in the frontopolar cortex of macaques. *Scientific Reports*, 15(1), 16472. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99019-3>
- Goldberg, H. (2022). Growing brains, nurturing minds—neuroscience as an educational tool to support students' development as life-long learners. *Brain Sciences*, 12(12), 1622. <https://doi.org/10.3390/brainsci12121622>
- Ha, H. S., & Ha, M. S. (2021). Researchers' core competencies inferred from advices of next-generation researchers in biology. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 21(1), 1407-1426. <https://doi.org/10.22251/jlcci.2021.21.1.1407>

- Hogeveen, J., Medalla, M., Ainsworth, M., Galeazzi, J. M., Hanlon, C. A., Mansouri, F. A., & Costa, V. D. (2022). What does the frontopolar cortex contribute to goal-directed cognition and action?. *Journal of Neuroscience*, 42(45), 8508-8513. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1143-22.2022>
- Holton, E., Grohn, J., Ward, H., Manohar, S. G., O'reilly, J. X., & Kolling, N. (2024). Goal commitment is supported by vmPFC through selective attention. *Nature Human Behaviour*, 8(7), 1351-1365. <https://doi.org/10.1038/s41562-024-01844-5>
- Höpfner, J., & Keith, N. (2021). Goal missed, self hit: Goal-setting, goal-failure, and their affective, motivational, and behavioral consequences. *Frontiers in Psychology*, 12, 704790. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.704790>
- Hunter, A. B., Laursen, S. L., & Seymour, E. (2007). Becoming a scientist: The role of undergraduate research in students' cognitive, personal, and professional development. *Science Education*, 91(1), 36-74. <https://doi.org/10.1002/sce.20173>
- Jang, J. E., & Kim, S. W. (2014). Developing the rubric for measurement in levels by areas for the characteristics of task commitment shown in the science gifted. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(7), 657-666. <https://doi.org/10.14697/jkase.2014.34.7.0657>
- Jung, Y. S., & Kim, J. B. (2024). Difficulties experienced by leading Korean scientists and implications for science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 44(4), 343-360. <https://doi.org/10.14697/jkase.2024.44.4.343>
- Karikó, K. (2023). *Breaking through: My life in science*. Crown Publishing Group.
- Kida, T., Tanaka, E., & Kakigi, R. (2017). Attention as a determinant of task performance: From basics to applications. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 6(2), 59-64. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.6.59>
- Kim, S. Y., Byeon, J. H., Lee, I. S., & Kwon, Y. J. (2013). Development of an instrument to measure task commitment using eye-tracking for identifying science gifted student. *Biology Education*, 41(3), 421-434. <https://doi.org/10.15717/bioedu.2013.41.3.421>
- Kim, W. J., Byeon, J. H., & Kwon, Y. J. (2013a). Development of an inventory to classify task commitment type in science learning and its application to classify students' types. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(3), 679-693.
- Kim, W. J., Byeon, J. H., & Kwon, Y. J. (2013b). Analysis of task commitment types of science learning in high school students' biology classification. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(4), 863-879.
- Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2013). Investigation of cognitive model of task commitment on biology classification inquiry. *Journal of Science Education*, 37(1), 170-185. <https://doi.org/10.21796/jse.2013.37.1.170>
- Kwon, S. H., Park, S. H., Park, J. S., Hwang, N. R., & Kwon, Y. J. (2020). Identification of fNIRS brain activity and exploration of deep learning-based predictive model in self-regulation process taking mirror task. *Brain, Digital, & Learning*, 10(4), 365-376. <https://doi.org/10.31216/BDL.2020.10.4.365>
- Kwon, Y. J., & Lee, J. K. (2009). Brain activations on the hypothesis-generating and hypothesis-understanding in pre-service teachers not majoring in biology, pre-service teachers majoring in biology and biologists. *Journal of Science Education*, 33(2), 173-183. <https://doi.org/10.21796/jse.2009.33.2.173>
- Lee, I. S., & Kwon, Y. J. (2016). Study on brain plasticity through the learning model for improvement of biology learning motivation. *International Journal of Knowledge and Learning*, 11(4), 264-272. <https://doi.org/10.1504/IJKL.2016.084740>

- Lekiqi, B., Loku, A., & Neziraj, E. (2022). The talent management and strategic perspectives of their preoccupation and commitment in high research institutions. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 18(1), 1158-1173. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.110>
- Leonard, M. J., Kalinowski, S. T., & Andrews, T. C. (2014). Misconceptions yesterday, today, and tomorrow. *CBE—Life Sciences Education*, 13(2), 179-186. <https://doi.org/10.1187/cbe.13-12-0244>
- Levy, B. J., & Wagner, A. D. (2011). Cognitive control and right ventrolateral prefrontal cortex: reflexive reorienting, motor inhibition, and action updating. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224(1), 40-62. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.05958.x>
- Lin, J., Xing, Y., Hu, Y., Zhang, J., Bao, L., Luo, K., Yu, K., & Xiao, Y. (2023). Inhibitory control involvement in overcoming the position-velocity indiscrimination misconception among college physics majors. *Physical Review Physics Education Research*, 19(1), 010112. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010112>
- Lindsay, G. W. (2020). Attention in psychology, neuroscience, and machine learning. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 14, 29. <https://doi.org/10.3389/fncom.2020.00029>
- Lounsbury, J. W., Foster, N., Patel, H., Carmody, P., Gibson, L. W., & Stairs, D. R. (2012). An investigation of the personality traits of scientists versus nonscientists and their relationship with career satisfaction. *R&D Management*, 42(1), 47-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00665.x>
- Lucas, G. M., Gratch, J., Cheng, L., & Marsella, S. (2015). When the going gets tough: Grit predicts costly perseverance. *Journal of Research in Personality*, 59, 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2015.08.004>
- Mannarelli, D., Pauletti, C., Grippo, A., Amantini, A., Augugliaro, V., Currà, A., Missori, P., Locuratolo, N., De Lucia, M. C., Rinalduzzi, S., & Fattapposta, F. (2015). The role of the right dorsolateral prefrontal cortex in phasic alertness: Evidence from a contingent negative variation and repetitive transcranial magnetic stimulation study. *Neural Plasticity*, 2015(1), 410785. <https://doi.org/10.1155/2015/410785>
- Manohar, S. G., Zokaei, N., Fallon, S. J., Vogels, T. P., & Husain, M. (2019). Neural mechanisms of attending to items in working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 101, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.03.017>
- Mareschal, D. (2016). The neuroscience of conceptual learning in science and mathematics. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 114-118. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.06.001>
- Mason, L., & Zaccoletti, S. (2021). Inhibition and conceptual learning in science: A review of studies. *Educational Psychology Review*, 33(1), 181-212. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09529-x>
- Mun, K., & Ham, E. H. (2016). An analysis of the relationship of grit, interest, task-commitment, self-regulation ability, and science achievement of high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(3), 445-455. <https://doi.org/10.14697/jkase.2016.36.3.0445>
- Nee, D. E., & Jonides, J. (2009). Common and distinct neural correlates of perceptual and memorial selection. *Neuroimage*, 45(3), 963-975. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.005>
- Nenciovici, L., Allaire-Duquette, G., & Masson, S. (2019). Brain activations associated with scientific reasoning: a literature review. *Cognitive Processing*, 20(2), 139-161. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0896-z>
- Obeso, I., Herrero, M. T., Ligneul, R., Rothwell, J. C., & Jahanshahi, M. (2021). A causal role for the right dorsolateral prefrontal cortex in avoidance of risky choices and making advantageous selections. *Neuroscience*, 458, 166-179. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.12.035>
- Oh, J. Y. (2022). Understanding the scientific creativity based on various perspectives of science. *Axiomathes*, 32(6), 907-929. <https://doi.org/10.1007/s10516-021-09553-8>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)

- Park, S., Park, D., & Kim, M. J. (2023). Similarity in functional connectome architecture predicts teenage grit. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 18(1), nsad047. <https://doi.org/10.1093/scan/nsad047>
- Pedersen, M. J. (2016). A 'heart of goal' and the will to succeed: Goal commitment and task performance among teachers in public schools. *Public Administration*, 94(1), 75-88. <https://doi.org/10.1111/padm.12201>
- Polit, D. F., & Beck, C. T. (2006). The content validity index: Are you sure you know what's being reported? critique and recommendations. *Research in Nursing & Health*, 29(5), 489-497. <https://doi.org/10.1002/nur.20147>
- Potvin, P., Malenfant-Robichaud, G., Cormier, C., & Masson, S. (2020). Coexistence of misconceptions and scientific conceptions in chemistry professors: A mental chronometry and fMRI study. *Frontiers in Education*, 5, 542458. <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.542458>
- Renzulli, J. S. (2002). Emerging conceptions of giftedness: Building a bridge to the new century. *Exceptionality*, 10(2), 67-75. https://doi.org/10.1207/S15327035EX1002_2
- Renzulli, J. S. (2016). The three-ring conception of giftedness: A developmental model for promoting creative productivity. In S. M. Reis (Ed.), *Reflections on gifted education* (pp. 55-86). Prufrock Press.
- Renzulli, J. S., & Reis, S. M. (2021). The three ring conception of giftedness: A change in direction from being gifted to the development of gifted behaviors. In R. J. Stemberg & D. Ambrose, *Conceptions of giftedness and talent* (pp. 335-355). Palgrave Macmillan.
- Rouinfar, A., Agra, E., Larson, A. M., Rebello, N. S., & Loschky, L. C. (2014). Linking attentional processes and conceptual problem solving: Visual cues facilitate the automaticity of extracting relevant information from diagrams. *Frontiers in Psychology*, 5, 1094. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01094>
- Rudebeck, P. H., & Rich, E. L. (2018). Orbitofrontal cortex. *Current Biology*, 28(18), R1083-R1088. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.07.018>
- Sakagami, M., & Pan, X. (2007). Functional role of the ventrolateral prefrontal cortex in decision making. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(2), 228-233. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2007.02.008>
- Sato, W. (2016). Scientists' personality, values, and well-being. *SpringerPlus*, 5(1), 613. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2225-2>
- Tan, M., Herberg, J. S., Yap, C., Samarasekera, D. D., & Chen, Z. X. (2020). Understanding factors that motivate research performance and career longevity of science, technology, engineering and mathematics postgraduates. *The Asia Pacific Scholar*, 5(1), 25. <https://doi.org/10.29060/TAPS.2020-5-1/OA2073>
- Torgimson, S. J., Tan, P. Z., & Grammer, J. K. (2021). Associations among response inhibition, motivational beliefs, and task persistence in early elementary school. *Journal of Experimental Child Psychology*, 208, Article 105141. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105141>
- Vaughn, A. R., Brown, R. D., & Johnson, M. L. (2020). Understanding conceptual change and science learning through educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education*, 14(2), 82-93. <https://doi.org/10.1111/mbe.12237>
- Vogel, F. R., & Human-Vogel, S. (2016). Academic commitment and self-efficacy as predictors of academic achievement in additional materials science. *Higher Education Research & Development*, 35(6), 1298-1310. <https://doi.org/10.1080/07294360.2016.1144574>
- Wackers, G., & Schille-Rognmo, M. (2022). Capturing minds: Towards a methods critique of questionnaire-based mental health surveys. *Theory & Psychology*, 32(5), 754-776. <https://doi.org/10.1177/09593543221104734>

- Wen, Y., Lin, J., Ming, Y., Zhang, J., Wu, X., Bao, L., Yu, K., & Xiao, Y. (2024). Role of inhibition in overcoming interferences of misconception under similar feature saliency: An eye-tracking study of the projectile motion problem. *Physical Review Physics Education Research*, 20(2), 020121. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020121>
- Wu, T., Liu, X., Cheng, F., Wang, S., Li, C., Zhou, D., & Zhang, W. (2023). Dorsolateral prefrontal cortex dysfunction caused by a go/no-go task in children with attention-deficit hyperactivity disorder: A functional near-infrared spectroscopy study. *Frontiers in Neuroscience*, 17, 1145485. <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1145485>
- Xia, M., Wang, J., & He, Y. (2013). BrainNet Viewer: A network visualization tool for human brain connectomics. *PLoS One*, 8(7), e68910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068910>

Authors' Information

Lee, Su-Min: Korea National University of Education, Graduate Student, First Author.

Kim, Bo-Mi: Korea National University of Education, Graduate Student, Co-Author.

Kwon, Yong-Ju: Korea National University of Education, Professor, Corresponding Author. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8232-1574>