

생물전공 대학생과 비전공 대학생의 생명과학 학습에서 자기조절 과정의 두뇌 활성화 분석

이수민 · 박상희¹ · 권승혁² · 권용주*

한국교육대학교 · ¹대전관평초등학교 · ²공주교육대학교

Analysis of Brain Activation on the Self-Regulation Process in College Life Science Learning between Biology Major and Non-Major Students

Su-Min Lee · Sang-Hee Park¹ · Seung-Hyuk Kwon² · Yong-Ju Kwon*

Korea National University of Education · ¹Daejeon Gwanpyeong Elementary School ·

²Gongju National University of Education

Abstract: The purpose of this study is to analyze and compare brain activation that appears in the self-regulation process of biology major and non-major college students in life science learning. The self-regulation task implemented a life science learning situation with the concept of biological classification. The brain activation of college students was measured and analyzed by fNIRS. In the assimilation process, bilateral FP and left DLPFC show significant activation, and the two groups show a difference in the left OFC activation related to motivation and reward. In the conflict process, the left DLPFC shows significantly lower activation in common, and the two groups show a difference in activation between BA 46, which is related to recent memory, and BA 47, which is related to long-term memory. In the accommodation process, a significantly high activation was found in right DLPFC in common, and the two groups show a difference in activation between right DLPFC and right FP. These areas are in the right frontal lobe area and are related to the understanding of life science knowledge. As a result of this study, it can be seen that the brain activation patterns of biology major and non-major college students are different in the self-regulation process. In addition, we will propose additional neurological studies on self-regulation and present systems and learning strategies that can be constructed in school settings.

keywords: life science learning, self-regulation, assimilation, conflict, accommodation, brain activation, biology major

I. 서론

정보가 홍수처럼 쏟아지는 현재 사회에서 자신이 가지고 있는 정보를 판단하고 이를 활용하며 아닌 것은 더 추가하여 받아들이거나 혹은 자신이 가진 도식과 변화된 도식 사이에서 조절을 통한 적절한 대처가 필요하다. 이에 학생이 효과적으로 대응하기 위해서는 다양한 상황에서 학생이 갖고 있던 지식을 적용하여 문제를 해결할 수 있는 능력이 요구된다(OECD, 2018). 그러므로 학생들은 자신의 인지 구조에 새로운

정보를 보다 적극적으로 받아들이고 주어진 상황에 끊임없이 대입하여 알맞게 조치하거나 새로운 대안을 생성해야 한다. 따라서 일상에서 발생하는 여러 문제와 상황 속에서 자신의 정서, 행동과 인지를 조절하여 적절히 반응하는 자기조절(Self-Regulation)은 매우 중요한 능력이다(McClelland *et al.*, 2010; Pas *et al.*, 2021; Vink *et al.*, 2020).

자기조절은 학습과 인지발달에 있어 가장 기본이 되는 사고 과정이며(Lawson, 1995; Piaget, 1968), 성공적인 학업 성취에 있어 중요 요소임을 여러 연구

* 교신저자: 권용주 (kwonyj@knue.ac.kr)

** 2022년 11월 2일 접수, 2022년 12월 20일 수정원고 접수, 2022년 12월 20일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2022.46.3.255>

를 통해 밝혀졌다(Blume et al., 2022; Dekker et al., 2016; Eilam & Aharon, 2003; Elhousseini et al., 2022; Sahranavard, Miri & Salehiniya, 2018). 이는 자기조절이 우수한 학습자일수록 효과적으로 학습할 수 있다는 것을 의미한다(Karaca & Bektas, 2021). 이처럼 학습자의 학업에 있어 많은 이점을 주는 자기조절은 청소년 시기뿐만 아니라 대학교에 진학한 후에도 영향을 미친다. 대학생의 대부분은 처음으로 집에서 나와 독립적으로 생활하고 사람들과 사회관계를 형성한다. 그리고 교사나 부모 등 누군가의 도움 없이 스스로 시간을 조율하여 계획을 세워야 하며, 자신이 필요한 내용을 찾아가며 공부해야 한다. 그러면서 앞으로 사회에 나가 직접 활용하게 될 지식을 습득하고 관련 기술이나 문제해결 방법을 배우기 위해 도전적이면서 많은 양의 과제와 시험을 준비한다. 결국 대학생은 스스로 효율적인 계획을 세우고 단기간에 대량의 자료를 처리할 수 있어야 한다(Cohen, 2012; Thibodeaux et al., 2017).

특히, 생물전공 대학생은 학교에서 여러 실험 및 실습을 수행하고 많은 양의 보고서를 작성하는 동안 시험을 준비하기 때문에 효과적인 학습과 계획 수립을 위해 자기조절이 필요하다(Sebesta & Speth, 2017; Stanton et al., 2015). 그리고 생명과학은 유전자와 미생물 등 미시적인 수준부터 생태계와 생물권과 같은 거시적인 내용까지 방대한 내용을 담은 학문이다. 이러한 무수하고 복잡한 개념들을 유연하게 연결해야 하며 이를 위해 자신의 인지 구조를 꾸준히 변화시키는 과정이 있어야 한다. 그러므로 생명과학을 학습할 때 높은 수준의 인지적 유연성과 정보 처리 과정이 필요하다(Eilam & Reiter, 2014).

이러한 맥락에서 자기조절은 현상 관찰 후 자신의 인지 구조에서 기존 도식을 꺼내어 합치 여부에 따라 평형을 유지하거나 비평형으로 변해서 새로운 도식 형성을 통해 평형에 이르는 과정이므로(Kwon et al., 2020), 자신의 인지 구조를 상황에 맞게 끊임없이 조절할 수 있는 자기조절 과정은 생명과학 학습에 핵심적인 역할을 담당한다. 자기조절 과정과 이를 구성하는 요소들은 Piaget와 Lawson 등 여러 학자에 의해 제시되었으나 회로의 반복성, 비평형에 대한 구체적인 제시 부재 및 동화와 조절에 대한 구분이 명확하지 않았다. 이러한 제한점을 반영하여 Kwon et al. (2020)의 연구에서 수정된 자기조절 과정을 제안하였다(Figure 1). 자기조절의 하위 과정은 동화(Assimilation), 갈등(Conflict), 조절(Accommodation) 총 3가지의 과정으로 이루어져 있다. 동화 과정은 현상 관찰 후 기존의 도식을 유지하며 예상 결과와 실제 결과가 합치(good match)되어 평형상태를 지속하는 것이다. 갈등 과정은 현상 관찰 후 예상 결과와 실제 결과가 불일치(poor match)하여 비평형상태로 변경되는 것이다. 조절 과정은 대안적 도식을 형성하여 예상 결과와 실제 결과가 합치(good match)하면서 평형상태에 이르는 것을 의미한다. 본 연구에서는 Kwon et al. (2020)이 제시한 수정된 자기조절 과정에 따라 진행하고자 한다.

일상과 더불어 생명과학 학습에서 자기조절 과정의 중요성이 점차 대두되고 있으며 관련 연구도 많이 진행되고 있다. 그러나 자기 보고식 설문지와 행동 관찰법 등으로 제시된 결과들은 자기조절의 다면적인 심리적인 특성들을 간과한 것으로 이러한 제한점을 극복하기 위해서는 신경학적 측정 방법이 필요하다

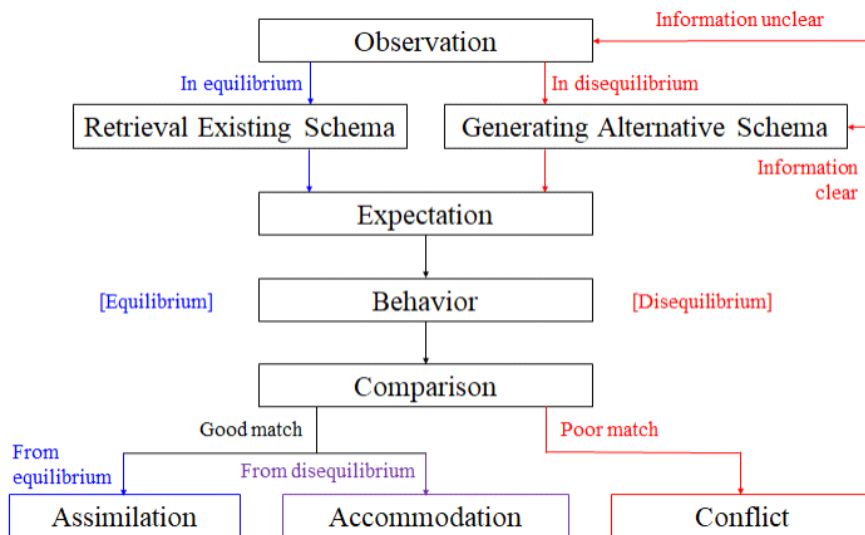


Figure 1. Changed self-regulation process (Kwon et al., 2020)

(Woltering & Shi, 2016). 게다가 인간의 사고는 뇌에서 일어나기 때문에 근원적이면서도 과학적으로 자기조절 과정을 분석하기 위해서는 신경학적 접근을 통해 결과를 제시해야 한다.

이뿐만 아니라 성인 시기 대학생 대상과 그동안 학습했던 경험 차이에 의한 자기조절 과정에서의 신경학적 연구가 상대적으로 아동과 청소년에 비해 부족하다. 하지만 자기조절은 20대 중반까지도 발달할 수 있으며(Steinberg *et al.*, 2018), 겪었던 여러 상황에 의해 일반적인 수준만큼 도달하지 못할 수도 있다(Vink *et al.*, 2020). 따라서 성인 시기 대학생의 자기조절 과정은 이전 시기에 비해 달라질 수 있으므로 대학생 대상 연구가 요구된다. 또한 그동안 받았던 학습 경험 차이에 의해 자기조절은 계속 영향을 받으므로 생명과학을 상대적으로 더 배운 생물전공 대학생과 관련 경험이 거의 없는 비전공 대학생의 자기조절 과정을 신경학적으로 비교해야 한다.

따라서 본 연구에서는 성인기에 해당하며 다양한 생명과학 분야의 내용들을 학습했고 관련 경험이 상대적으로 풍부하며 실제 사회에 나가 현장에 적용하는 생물전공 대학생과 비교해보기 위한 대상으로 비전공 대학생을 연구 대상으로 선정하였다. 두 집단이 생명과학 학습 시 나타나는 자기조절의 하위 과정인 동화, 갈등, 조절 과정에서의 두뇌 활성을 fNIRS로 측정하고 두뇌 활성 영역 및 정도를 바탕으로 어떤 차이가 있는지 확인하고자 했다. 생명과학 학습 상황을

구현하기 위해 생물 분류를 주제로 자기조절의 조건에 맞게 과제를 설계하였으며, 과제를 수행하는 과정에서 대학생의 대뇌 피질 활성을 실시간으로 확인할 수 있는 신경학적 측정기기인 fNIRS를 활용하여 측정하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

중부 지역 소재 대학교의 생물전공 대학생 18명(남: 6명, 여: 12명, 평균 연령 : 19.72세, $SD = 1.28$)과 생물 전공이 아닌 비전공 대학생 21명(남: 8명, 여: 13명, 평균 연령 : 19.95세, $SD = 1.32$)을 대상으로 선정하였다. 모든 연구대상자에게 자발적으로 연구에 참여한다는 의사를 확인하고 서면 동의를 받았다. 또한, 두뇌 편측성을 고려하여 오른손잡이인 대학생들만 대상으로 선정하기 위해, 손 우세성 검사(Oldfield, 1971)를 실시하였다.

연구대상자들 모두 고등학교 시절에 통합과학을 이수했다. 생물전공 대학생들 전원 생명과학 I 과 생명과학 II를 이수하였고 일반생물학을 수강하고 있거나 이수했다. 비전공 대학생 21명 중 7명만이 생명과학 I 을 이수했고 그중 2명이 생명과학 II를 배운 경험



Figure 2. Biological classification task paradigm

이 있었다. 그러나 본 과제와 관련된 개념인 생물 분류는 교육과정상 생명과학 II에서 자세하게 나온다. 그리고 대학교에서 일반생물학과 같은 대학생의 전공과 관련된 과목을 집중적으로 듣고 있으며 이와 관련한 실습 활동을 다양하게 하므로 두 집단에서 생명과학과 관련하여 학습 경험 차이가 있다고 볼 수 있다.

본 연구는 전전두엽 활성을 측정하는 장치인 fNIRS를 대학생의 머리에 직접 착용하는 인간 대상 생체 연구이므로 사전에 한국교원대학교 생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받았다(KNUE-202205-BMSB-0093-01).

2. 생물 분류 과제 설계

자기조절을 불러일으키기 위한 과제의 조건은 일부분을 이해하되 전체를 이해할 수 없어야 하며, 자기생각을 가리키는 알맞은 힌트를 사용하되 혼자서 아이디어를 구성할 수 있어야 한다(Lawson & Wollman, 1977). 일반적으로 학생들은 생물을 분류하면서 눈에 보이는 겉모습과 서식지를 통해 가까운 분류군으로 묶으려는 경향이 우세하다. 하지만 현대의 생명과학이 발전하면서 단순히 생김새나 서식지를 중심으로 생물을 분류하기엔 제한점이 많아졌다. 오히려 발생과 유전 그리고 더 나아가 분자생물학적인 분석을 통해 더 정확하게 생물 간 유연관계를 밝힐 수 있음이 드러났다. 그러나 비전공 대학생들은 이와 관련된 내용을 상세히 알기 어렵다. 이에 착안하여 임신, 출산 방법, 그 외의 유전적인 요소들을 고려하여 생각해야 정답을 맞출 수 있는 생물 분류 과제를 고안하였고 피험자에게 제시하였다. 이러한 맥락에서 볼 때, 생물 분류는 자기조절 과제의 조건에 적합하다고 할 수 있다.

또한, 생물 분류를 주제로 개발된 과제들은 학습과 관련된 신경학적 연구(Byeon & Kwon, 2020; Paniukov & Davis, 2018)와 청소년의 자기조절에 관한 fNIRS 연구(Lee & Kwon, 2022; Park *et al.*, 2022)에서도 활용되었다. 그러므로 본 연구에서는 자기조절 연구에서 사용됐던 Park *et al.* (2022)이 개발한 Block Design Paradigm의 생물 분류 과제로 선정하였다(Figure 2).

생물 분류 과제는 총 5개의 세트로 구성되어 있다. 첫 번째 세트는 측정에 대한 주의사항과 예시를 피험자에게 제시하여 앞으로의 과제 진행에 대해 안내해 준다. 나머지 세트는 본 과제로써 동물계, 균계, 식물계의 분류 및 유연관계에 관한 내용이다. 제시된 생물과 가장 가까운 친척이라고 생각하는 생물 세 가지를 보여주며 피험자가 직접 고르면서 주어진 정보를 확

인하는 방식으로 진행된다. 피험자 본인이 선택한 생물이 가장 가까운 친척이라고 확신이 생기기 전까지 조건 확인 및 정보 탐색과 생물 선택을 반복하며 확신이 들 때 스스로 종료할 수 있게 설계하였다. 과제에서 제시된 생물들의 외형과 서식지는 비슷하게 구성하였으며, 화면에 나타나는 생물에 집중할 수 있도록 생물이 뚜렷하게 보이는 사진들로 선정하였다.

생물 분류 과제 수행 결과는 Kwon *et al.* (2020)이 제시한 자기조절 정의를 기준으로 하여 동화, 갈등, 조절로 구분하였다. 동화 과정은 가까운 친척을 선택한 후 정보를 탐색하고 이전과 같은 선택을 다시 했을 때이다. 갈등 과정은 가까운 친척을 선택하고 정보 탐색 후 이전과 다른 선택을 하였으나 다시 고른 친척이 가까운 친척이 아니며 대학생이 고민할 때이다. 조절 과정은 가까운 친척을 선택하고 나서 정보 탐색 후 재선택하는 과정에서 이전과 다른 선택을 하되 실제로 가까운 친척의 생물을 골랐을 때이다.

생물 분류 과제가 본 연구에 사용하기에 적합한지 확인하기 위해 전문가 타당도를 통해 검증하였다. 전문가 타당도는 자기조절 연구를 수행했고 논문을 출판했던 생물교육 및 뇌과학 전문가 2인과 생물교육 전공 박사과정 3인 및 석사과정 1인을 대상으로 수행하였다. 전문가 6인은 설계된 과제의 내용과 패러다임, 자기조절 과제 조건에 관하여 검증하였다.

3. fNIRS 측정

본 연구에서 사용된 기기는 OBELAB Inc.의 NIRSIT으로 전전두엽의 두뇌 활성을 측정할 수 있는 fNIRS (functional Near-Infrared Spectroscopy) 장치이다. NIRSIT은 두 파장인 780nm와 850nm를 전전두엽 피질에 방출하고 다시 돌아오는 파장의 세기를 통해 실시간으로 뇌 혈류의 산소 포화도를 측정할 수 있다. 전전두엽은 자기조절과 관련돼있는 영역으로(Berger *et al.*, 2007; Keating, 2004; Steinberg, 2008), 전전두엽 피질의 두뇌 활성을 측정할 수 있는 NIRSIT은 본 연구에 적합한 기기라 할 수 있다. 생물 분류 과제는 Psychology Software Tools Inc.의 E-prime (v3.0)으로 개발했으며, NIRSIT을 착용하고 측정하는 동안 얻어진 두뇌 활성 데이터와 함께 과제 수행 정보와 시간 등도 기록되도록 과제를 설계하였다.

측정 장소는 다른 사람의 개입 없이 조용하고 시야를 방해하지 않으면서 빛을 조절할 수 있는 곳으로 선정하였다. 피험자가 컴퓨터 화면에서 제시되는 생물 분류 과제를 편하게 볼 수 있도록 모니터의 높이와

모니터 화면과 피험자 간 거리를 조정하였다. 피험자 옆에는 측정 요원이 착석해서 측정 절차를 안내하고 과제 수행 시 질문에 응답하였다. 다른 측정 요원은 피험자에 시야에서 보이지 않게 피험자의 뒤쪽에 위치하여 NIRSIT에서 수집되는 데이터가 문제없이 컴퓨터에 기록되는지 실시간으로 확인하였다. 측정이 끝난 후 인터뷰를 진행하여 신경학적 장비로 찾아낼 수 없었던 피험자의 사고 과정과 내용을 파악하였다.

4. fNIRS 측정

fNIRS 측정을 통해 수집된 데이터는 NIRSIT Analysis Tool (v3.7.3)을 사용하여 분석 전 전처리를 수행하였다. 이 과정에서 과제의 번호 중 분석에 사용하는 부분을 골라 편집하였다. 측정 시 피험자의 심장 박동, 불필요하게 들어온 강한 빛에 의한 잡음 등을 제거하기 위해 high-pass filter (DCT 0.005Hz), low-pass filter (DCT 0.01Hz)를 적용하였다. 이후, 채널별 그래프를 확인하여 비정상적인 채널들을 제거하였다.

전처리가 마쳐진 데이터가 유의미한지 검정하기 위해 Matlab (v2019b)과 NIRS-SPM v4.1 (Ye *et al.*, 2009)으로 GLM을 이용하여 자기조절과 그 하위 과정에서 채널별 회귀계수인 β 값을 얻었다. 산출된 채널별 β 값은 단일 표본 t 검정을 시행하여 $\alpha = 0.05$ 수준에서 유의미하게 나온 채널을 도출하였다. 집단별 차이를 보기 위해 생물전공 대학생과 비전공 대학생 집단이 가진 채널별 β 값을 활용하여 독립 표본 t 검정을 시행하여 $\alpha = 0.05$ 수준에서 유의미하게 나온 채널을 도출하였다. 최종적으로 유의미하다고 도출된 채널은 두뇌의 해부학적 위치에 맞게 시각화할 수 있는 프로그램인 BrainNet Viewer v1.7 (Xia, Wang & He, 2013)을 활용하여 구현하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 동화 과정에서 두뇌 활성

동화 과정은 생물 분류 과제를 수행하는 동안 기존 도식이 예상했던 결과와 실제 결과의 합치로 인해 평형을 유지하는 것이다. 생물전공 대학생과 비전공 대학생의 두뇌 활성과 서로 비교한 결과는 Figure 3과 같다.

생물전공 대학생과 비전공 대학생 집단은 공통으로 양측 전두극(Frontal Pole, FP)에 해당하는 8번, 26번, 27번 채널에서 유의미하게 높은 활성이 나타났다. 또한 좌측 배외측전두피질(Dorsal Lateral Prefrontal Cortex, DLPFC)에 해당하는 39번, 43번 채널에서 유의미하게 낮은 활성이 나타났다.

FP는 자신이 수행하고 있는 작업에서 지속적인 모니터링을 통해 의사결정을 내리고(Koechlin & Hyafil, 2007), 문제를 해결하기 위해 목표를 세우고 이를 계획하며 여러 작업을 수행할 때 높은 활성이 나타나는 영역이다(Koechlin, 2011; Mansouri *et al.*, 2017). 또한, 좌측 DLPFC는 이중작업을 수행할 때 활성이 낮아지는 경향을 보인다(Goldberg *et al.*, 1998). 이러한 활성 경향이 의미하는 바는 두 집단 모두 생물 분류 과제와 관련된 내용을 자신의 인지 구조에서 찾으려 하며 과제를 수행하기 위해 목표를 세우고 사고가 활발히 일어났음을 의미한다. 그러나 과제 수행을 위해 기존 도식과 과제에서 제시되는 정보들을 탐색하고 비교를 통해 실제 행동이 예상했던 결과와의 합치까지 진행해야 하는 동화 과정의 특징상 복잡하고 다중으로 처리해야 하는 작업이 이루어졌으므로 좌측 DLPFC에서 낮은 활성이 나타난 것으로 보인다.

두 집단을 비교한 결과 생물전공 대학생이 비전공 대학생보다 좌측 안와전두피질(Orbitofrontal Cortex, OFC)에 해당하는 48번 채널에서 유의미한 활성이 나

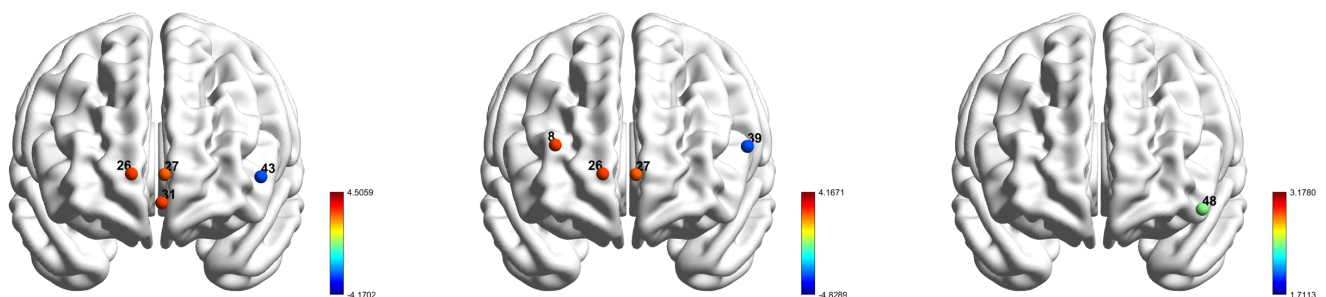


Figure 3. Brain activation of the assimilation (left: biology major > eye close, mid: non-major > eye close, right: biology major) non-major, $p < 0.05$)

타났다. OFC는 동기 및 보상에 중추적인 역할을 하는 영역으로 이와 관련된 정보들을 통합하고 이를 바탕으로 의사결정을 내리며 가치를 주는 데 관여하는 영역이다(Ballesta *et al.*, 2020; Stalner, Cooch & Schoenbaum, 2015; Dom *et al.*, 2005; Wallis, 2007). 생물 분류 과제의 동화 과정에서는 학생 본인의 기존 도식을 이용하여 수행하게 되고 매번 자신의 선택 결과를 확인하고 평가한다. 자신의 기존 도식을 통해 내린 선택에 대한 가치를 부여하고 받은 피드백에 의해 활성화가 됐다는 것을 의미한다. 이는 생물전공 대학생이 비전공 대학생보다 생명과학과 관련된 경험이 많으며 생명과학과 관련된 과목을 공부할 때 생성된 동기와 결과를 통해 얻은 보상에 따른 차이로 인해 OFC의 유의미한 활성이 나타났다고 볼 수 있다. 또한 생물전공 대학생이 비전공 대학생보다 생명과학에 대한 동기와 흥미가 더 높다는 선행 연구 결과를 볼 때(Knight & Smith, 2010), 대학생이 전공하고 있는 과목과 관련된 내용을 학습할 시 동기와 보상이 높게 나타난 것으로 추측할 수 있다.

2. 갈등 과정에서 두뇌 활성화

갈등 과정은 생물 분류 과제를 기존 및 새로운 도식으로 수행하였으나 예상했던 결과와 실제로 일어났던 결과의 불합치로 인해 비평형이 유지 및 변경되는 과정이다. 생물전공 대학생과 비전공 대학생의 두뇌 활성화와 서로 비교한 결과는 Figure 4와 같다.

생물전공 대학생과 비전공 대학생 집단은 공통으로 좌측 DLPFC 해당하는 38번, 39번, 43번 채널에서 유의미하게 낮은 활성이 나타났다. 이 영역은 과제 수행 중 어려움을 느껴 인지적 과부하로 인해 스트레스를 받을 시 낮은 활성이 나타나는 곳이다(Durant *et al.*, 2014; Fairclough *et al.*, 2019). 이는 두 집단의 학생들이 예상했던 결과와 다른 결과가 나오면서 불

합치로 인하여 비평형으로 변경 및 유지되며 과제 수행에 있어 어려움을 느끼게 되고 스트레스로 인해 DLPFC의 낮은 활성이 유도됐다는 것을 의미한다. 그리고 면담 결과 생물전공 및 비전공 대학생의 대부분이 갈등 과정이 일어난 과제를 어렵다고 답변한 경향이 나타났다. 따라서 생명과학을 학습하며 비평형상태로 유지 및 변경됐을 시 대학생의 전공에 상관없이 스트레스를 받고 관련 영역의 낮은 두뇌 활성이 나타난다 할 수 있다.

두 집단 비교 시 생물전공 대학생이 비전공 대학생보다 브로드만 영역(Brodmann Area, BA) 46에서 유의미하게 낮은 활성이 나타났다. 그러나 BA 47에서는 유의미하게 높은 활성이 나타났다. BA 46은 좌측 DLPFC에 해당하는 곳으로 작업기억과 관련된 영역이며 최근 기억을 담당하는 곳이다(Baumert *et al.*, 2020; Gupta & Tranel, 2012). 그리고 BA 47은 장기 기억에 다가가며 관련된 개념 및 정보를 꺼내오는 영역이다(Badre & Wagner, 2007; Kwon *et al.*, 2020). 이는 비전공 대학생이 갈등 과정에서 최근에 본 관찰했던 정보들을 회상하면서 생물전공 대학생보다 더 활용한 것으로 해석할 수 있으며, 생물전공 대학생은 비전공 대학생보다 생물과 관련되어 기존에 알고 있던 지식이 많으므로 본인의 장기 기억에 접근하여 이전에 학습했던 내용들을 활발하게 인출하여 과제를 수행했다고 볼 수 있다.

특히, 동화와 갈등 과정에서 공통으로 좌측 DLPFC에서 낮은 활성이 관찰되었다. 본 연구에서 과제로 제시된 내용을 고려할 때, 생명과학은 복잡하고 다양한 개념이 존재하며 이들이 연결해야 하는 특성을 가진 학문이다. 더불어 자기조절 과제 조건에 부합하게 전체를 이해할 수 없으며 적절한 정보가 제공되도록 설계되었다. 따라서 생물 분류 과제를 수행할 때 많은 정보를 기반으로 다중 작업을 시행하며 높은 인지적 능력을 발휘하게 된다. 그러나 반복적인 피드백과 정

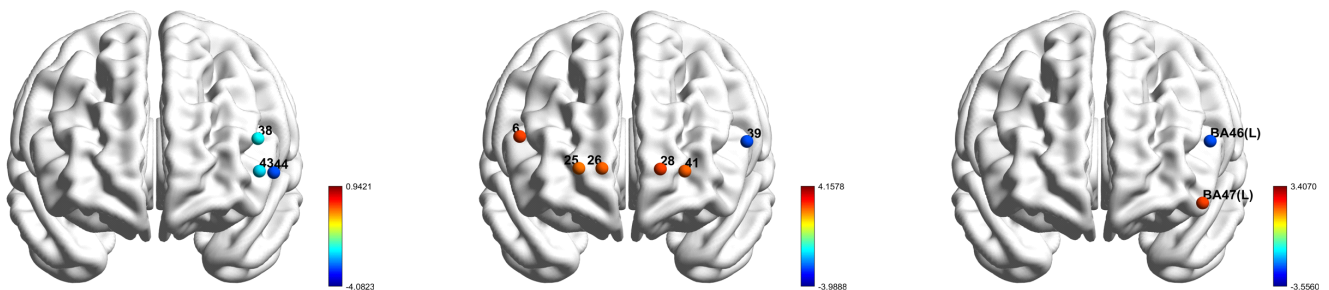


Figure 4. Brain activation of the conflict (left: biology major > eye close, mid: non-major > eye close, right: biology major) non-major, $p < 0.05$)

보 탐색과 같은 다중 작업으로 인해 인지적인 과부하가 유발될 수 있다(Borghini *et al.*, 2014). 이는 스트레스가 발생하게 되는 원인이며 관련된 기능을 가진 좌측 DLPFC에서 낮은 활성이 관찰된 것이라 볼 수 있다.

3. 조절 과정에서 두뇌 활성화

본 연구에서 조절 과정은 생물 분류 과제를 수행 중 비평형상태에서 다시 관찰하여 대안적인 도식을 생성하고 실제와 예상에 합치로 인해 평형상태로 변하는 과정이다. 생물전공 대학생과 비전공 대학생의 두뇌 활성화와 서로 비교한 결과는 Figure 5와 같다.

두 집단에서 공통으로 우측 DLPFC 영역에 해당하는 1번, 6번, 18번 채널에서 유의미한 활성이 나타났다. 우측 DLPFC는 시각적인 정보에 대한 작업기억을 조작할 때 활성화되며(Murphy *et al.*, 1998), 기억에서 꺼내 온 정보를 비교하고 통합하며 이러한 과정을 넘어 목표에 맞는 행동을 통해 의사결정을 내리는 영역이다(Barbey, Koenigs & Grafman, 2013; Topper *et al.*, 2010). 따라서 생물전공 대학생과 비전공 대학생 모두 생물 분류 과제에서 제시하여 관찰했던 사진과 글과 같은 시각적인 정보들을 처리하면서 인지 구조에 있는 기억들과 비교하고 과제를 수행하기 위해 목표에 맞는 선택을 했다고 해석할 수 있다.

두 집단 비교 시 생물전공 대학생이 비전공 대학생보다 우측 DLPFC에 해당하는 1번 채널과 우측 FP에 해당하는 7번, 8번, 12번 채널에서 유의미하게 낮은 활성이 나타났으며 두 영역은 우측 전두엽에 속한다. Kwon *et al.* (2009)의 연구에 따르면 학습자가 생명과학 지식을 이해할 때 우측 전두엽의 활성 양상이 나타난다고 보고했다. 비전공 대학생은 생물전공 대학생보다 생명과학을 학습한 경험이 상대적으로 부재하

다. 따라서 비전공 대학생이 조절 과정에 이르기까지 생명과학 지식을 학습하는 데 있어 생물전공 대학생보다 더 높은 이해가 요구되기 때문에 두 집단의 차이에서 낮은 활성이 나타난 것으로 해석할 수 있다.

특히, 조절 과정은 동화와 갈등 과정과 다르게 우측 DLPFC에서 유의미하게 높은 활성이 관찰되었는데 선행 연구(Park & Kwon, 2021)에서도 다른 과정에 비해 조절 과정에서 우측 DLPFC의 높은 활성이 관찰되었다. 이는 다른 과정과 다르게 조절 과정은 대안적 도식을 생성하여 비평형에서 평형으로 변하는 과정이므로 관련 정보들을 다른 과정에 비해 더 많이 탐색하고 이들을 비교하면서 목표에 부합하게 행동하여 선택을 내렸기 때문이다. 따라서 이러한 두뇌 활성화 결과는 조절 과정의 특징과도 일치하며 관련 영역인 우측 DLPFC의 기능을 적극적으로 활용했음을 의미한다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 생물 분류 과제를 수행하면서 나타나는 자기조절 과정에서 생물전공 및 비전공 대학생의 두뇌 활성을 분석하여 내린 결론은 다음과 같다.

첫째, 생물전공 대학생과 비전공 대학생이 생명과학을 학습하면서 나타나는 동화 과정에서 공통으로 양측 FP와 좌측 DLPFC에서 유의미한 활성을 관찰했다. 양측 FP의 기능에 비춰볼 때 동화 과정에서 목표 지향적으로 문제를 해결하기 위해 작업을 수행하고 계속해서 모니터링을 통해 합치 여부를 확인하는 것이 주로 작용했음을 의미한다. 반면 좌측 DLPFC에서 낮은 활성은 다중 작업에 의해 유도된 것을 의미한다.

둘째, 생물전공 대학생과 비전공 대학생이 생명과학을 학습할 때 나타나는 동화와 갈등 과정에서 공통으로 좌측 DLPFC에서 유의미하게 낮은 두뇌 활성이 나

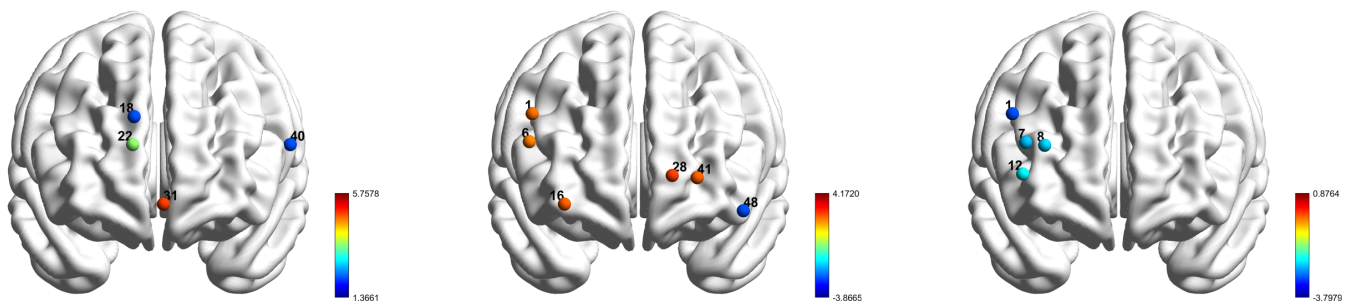


Figure 5. Brain activation of the accommodation (left: biology major > eye close, mid: non-major > eye close, right: biology major) non-major, $p < 0.05$)

타났으나 조절 과정에서는 다른 과정들과 다르게 우측 DLPFC에서 유의미하게 높은 활성이 발견됐다. 생물전공 대학생과 비전공 대학생 모두 동화와 갈등 과정에서 다중 작업에 따른 인지적 과부하 및 스트레스로 인해 좌측 DLPFC에서 유의미하게 낮은 활성이 나타난 것이다. 이는 과제를 수행하며 현상을 관찰하고 계속해서 예상과 실제의 합치 여부를 판단하는 자기조절의 특징과 관련이 있음을 의미한다. 그러나 조절 과정은 다른 과정에 비해 관련 정보들을 활발하게 탐색하고 통합하여 문제를 해결하기 위해 적절한 대안적 도식을 생성하는 기능이 이루어졌음을 의미한다.

셋째, 생명과학 학습 시 자기조절 과정에서 전공 차이에 따른 두뇌 활성의 차이가 있었다. 생물전공 대학생은 동화 과정에서 비전공 대학생보다 동기와 보상에 관련된 영역인 OFC의 활성이 확인되었다. 이는 생물전공 대학생이 생명과학 학습과 관련하여 동기 및 보상체계가 활발함을 의미한다. 갈등 과정에서는 생물전공 대학생은 장기 기억에 접근을 통해 과제를 수행하며 비전공 대학생은 과제를 수행하며 관찰했던 최근 기억을 활용함에 따라 BA 46과 BA 47의 활성 차이가 나타난 것으로 보인다. 조절 과정에서는 생명과학과 관련된 학습 경험이 상대적으로 많은 생물전공 대학생보다 비전공 대학생이 생명과학을 학습할 때 지식을 얻기 위해 높은 이해가 요구됨을 알 수 있다. 따라서 이러한 전공에 따른 생명과학 학습에서 자기조절 과정별 두뇌 활성의 차이는 학습자가 이전에 겪었던 학습 경험 차이에 의해 야기될 수 있음을 뜻한다.

이러한 결론을 바탕으로 제언을 시사하면 다음과 같다. 첫째, 자기조절 과정에서 전공에 따른 두뇌 활성의 차이가 나타나며 자기조절 과정별로 두뇌 활성 양상은 다르게 나타날 수 있다. 이러한 맥락에서 전공과 자기조절 과정을 구성하는 하위 과정별 적합한 자기조절 학습 전략 개발이 요구된다. 자기조절의 동화와 갈등 과정에서 다중 작업 및 인지적 과부하로 유도되는 스트레스로 인해 낮은 두뇌 활성이 나타날 수 있다. 따라서 이 점을 유의하며 학습자의 전공이나 전공 선호도에 따른 다양한 난이도와 분량의 과제 및 학습자료를 적절히 분배해준다면 효과적인 자기조절 학습이 가능할 것이다. 또한, 자기조절 과정에서는 자신이 수행한 결과와 예상 결과의 지속적인 합치 여부를 확인하므로 이때 제공되는 피드백이 중요한 역할을 담당한다. 학습자에게 스스로 돌아볼 수 있는 피드백이 제공될 수 있도록 전략을 설계한다면 자기조절 능력을 충분히 향상시킬 수 있을 것이다.

둘째, fNIRS와 같은 신경학적 측정 장비를 사용하여 자기조절 과정에서 두뇌 활성 양상을 확인하는 연

구가 추가로 진행되어야 한다. 이때 과제는 여러 전공과 관련된 내용을 담고 있으며 이를 통해 학습 상황을 구현해야 하며 다양한 전공의 대학생들을 대상으로 수집 후 이들을 통합하면 보다 체계적이면서 과학적으로 자기조절의 연구 결과를 제시할 수 있다.

마지막으로 본 연구의 결과와 더불어 신경학적으로 수집된 결과들을 통해 수집된 대규모 데이터들을 통합하여 딥러닝 모델을 개발할 수 있을 것이다. 이러한 모델을 개발하여 현장에 적용한다면 단순히 학습자마다 자기조절 과정의 두뇌 활성 차이만 판단하는 게 아니라 학습자의 신경학적 데이터를 기반으로 현재 필요한 부분을 빠르게 예측하여 과학적인 분석을 통해 만들어진 적절한 교육 프로그램과 학습 전략이 학습자에게 처치가 가능할 것이다. 더불어, 교육 현장에서도 이러한 시스템을 구체화할 방안을 모색할 필요가 있다.

국 문 요 약

본 연구의 목적은 생명과학 학습에서 생물학 전공자와 비전공 대학생의 자기조절 과정에서 나타나는 뇌 활성을 분석하고 비교하는 것이다. 자기조절 과제는 생물분류 개념으로 생명과학 학습상황을 구현하였다. 대학생들의 뇌 활성은 fNIRS에 의해 측정되고 분석되었다. 동화 과정에서 양측 FP와 좌측 DLPFC는 유의미한 활성이 나타났으며, 두 그룹은 동기부여 및 보상과 관련된 좌측 OFC 활성에서 차이를 보였다. 갈등 과정에서 왼쪽 DLPFC는 공통적으로 활성이 현저히 낮았으며, 두 그룹은 최근 메모리와 관련된 BA46과 장기 메모리와 관련된 BA47의 활성에서 차이를 보였다. 동화 과정에서 우측 DLPFC에서 유의하게 높은 활성이 공통적으로 발견되었으며, 두 그룹은 우측 DLPFC와 우측 FP의 활성의 차이를 보였다. 이 영역들은 오른쪽 전두엽 영역에 있으며 생명과학 지식의 이해와 관련이 있다. 본 연구 결과 생물학 전공 대학생과 비전공 대학생의 뇌 활성 패턴은 자기조절 과정에서 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 자기조절에 대한 신경학적 연구를 추가로 제안하고 학교 환경에서 구성할 수 있는 시스템과 학습전략을 제시할 수 있을 것이다.

주제어: 생명과학학습 자기조절, 동화, 갈등, 조절, 두뇌 활성, 생물전공

References

- Badre, D., & Wagner, A. D. (2007). Left ventrolateral prefrontal cortex and the cognitive control of memory. *Neuropsychologia*, 45(13), 2883-2901.
- Ballesta, S., Shi, W., Conen, K. E., & Padoa-Schioppa, C. (2020). Values encoded in orbitofrontal cortex are causally related to economic choices. *Nature*, 588(7838), 450-453.
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*, 49(5), 1195-1205.
- Baumert, A., Buchholz, N., Zinkernagel, A., Clarke, P., MacLeod, C., Osinsky, R., & Schmitt, M. (2020). Causal underpinnings of working memory and stroop interference control: testing the effects of anodal and cathodal tDCS over the left DLPFC. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 20(1), 34-48.
- Berger, A., Kofman, O., Livneh, U., & Henik, A. (2007). Multidisciplinary perspectives on attention and the development of self-regulation. *Progress in Neurobiology*, 82(5), 256-286.
- Blume, F., Irmer, A., Dirk, J., & Schmiedek, F. (2022). Day to-day variation in students' academic success: The role of self-regulation, working memory, and achievement goals. *Developmental Science*, <https://doi.org/10.1111/desc.13301>.
- Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 58-75.
- Byeon, J., & Kwon, Y. J. (2020). Development of the Learning Model for Biological Classification based on the Brain Connectivity using fMRI Analysis. *Biology Education*, 48(2), 188-202.
- Cohen, M. (2012). The importance of self-regulation for college student learning. *College Student Journal*, 46(4), 892-902.
- Dekker, S., Krabbendam, L., Lee, N., Boschloo, A., De Groot, R., & Jolles, J. (2016). Dominant goal orientations predict differences in academic achievement during adolescence through metacognitive self-regulation. *Journal of Educational and Developmental Psychology*, 6(1), 47-58.
- Dom, G., Sabbe, B., Hulstijn, W., & Van Den Brink, W. (2005). Substance use disorders and the orbitofrontal cortex: systematic review of behavioural decision-making and neuroimaging studies. *The British Journal of Psychiatry*, 187(3), 209-220.
- Durantini, G., Gagnon, J.-F., Tremblay, S., & Dehaes, F. (2014). Using near infrared spectroscopy and heart rate variability to detect mental overload. *Behavioural Brain Research*, 259, 16-23.
- Eilam, B., & Aharon, I. (2003). Students' planning in the process of self-regulated learning. *Contemporary Educational Psychology*, 28(3), 304-334.
- Eilam, B., & Reiter, S. (2014). Long-term self-regulation of biology learning using standard junior high school science curriculum. *Science Education*, 98(4), 705-737.
- Elhousseini, S. A., Tischner, C. M., Aspiranti, K. B., & Fedewa, A. L. (2022). A quantitative review of the effects of self-regulation interventions on primary and secondary student academic achievement. *Metacognition and Learning*, 17, 1117-1139.
- Fairclough, S., Ewing, K., Burns, C., & Kreplin, U. (2019). *Neural efficiency and mental workload: locating the red line*. In *Neuroergonomics* (pp. 73-77): Elsevier.
- Goldberg, T. E., Berman, K. F., Fleming, K., Ostrem, J., Van Horn, J. D., Esposito, G., ... Weinberger, D. R. (1998). Uncoupling cognitive workload and prefrontal cortical physiology: a PET rCBF study. *Neuroimage*, 7(4), 296-303.

- Gupta, R., & Tranel, D. (2012). *Memory, neural substrates*. In *Encyclopedia of Human Behavior* (pp. 593-600), London, UK: Academic Press.
- Karaca, M., & Bektas, O. (2021). The relationship between perceived role models and self-regulation in science. *International Journal of Educational Research*, 110, 101884.
- Keating, D. P. (2004). *Cognitive and brain development*. In *Handbook of Adolescent Psychology*, 2nd ed. (pp. 45-84). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc.
- Knight, J. K., & Smith, M. K. (2010). Different but equal? How nonmajors and majors approach and learn genetics. *CBE—Life Sciences Education*, 9(1), 34-44.
- Koechlin, E. (2011). Frontal pole function: what is specifically human? *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 241.
- Koechlin, E., & Hyafil, A. (2007). Anterior prefrontal function and the limits of human decision-making. *Science*, 318(5850), 594-598.
- 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.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H., & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 69(2), 391-397.
- Lawson, A. E. (1995). *Science Teaching and the Development of Thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing.
- Lawson, A. E., & Wollman, W. T. (1977). Using chemistry problems to provoke self-regulation. *Journal of Chemical Education*, 54(1), 41.
- Lee, S. R., & Kwon, Y. J. (2022). Age-Specific Brain Activation in Secondary School Students' Self-Regulating Activities on Biological Tasks -fNIRS Study. *Journal of Science Education*, 46(1), 30-39.
- Mansouri, F. A., Koechlin, E., Rosa, M. G., & Buckley, M. J. (2017). Managing competing goals—a key role for the frontopolar cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(11), 645-657.
- McClelland, M. M., Ponitz, C. C., Messersmith, E. E., & Tominey, S. (2010). *Self-regulation: Integration of Cognition and Emotion*.
- Murphy, D., Daly, E., Van Amelsvoort, T., Robertson, D., Simmons, A., & Critchley, H. (1998). Functional neuroanatomical dissociation of verbal, visual and spatial working memory. *Schizophrenia Research*, 1(29), 105-106.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. OECD Education Working Papers.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Paniukov, D., & Davis, T. (2018). The evaluative role of rostralateral prefrontal cortex in rule-based category learning. *Neuroimage*, 166, 19-31.
- Park, J. S., & Kwon, Y. J. (2021). Comparison of science gifted and general students' brain activity and thinking process in the process of self-regulation—An fNIRS study. *Brain, Digital, & Learning*, 11(2), 405-416.
- Park, S. H., Lee, S. M., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2022). A Study on the Brain Network Development Model in Self-Regulation Process of Adolescents' Life Science Learning. *Brain, Digital, & Learning*, 12(1), 119-129.
- Pas, P., Hulshoff Pol, H. E., Raemaekers, M., & Vink, M. (2021). Self-regulation in the pre-adolescent brain. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 51, 101012.
- Piaget, J. (1968). *Six Psychological Studies*. New York: Vintage Books.
- Sahranavard, S., Miri, M. R., & Salehiniya, H. (2018). The relationship between self-regulation and educational performance in

- students. *Journal of Education and Health Promotion*, 7, 154-159.
- Sebesta, A. J., & Bray Speth, E. (2017). How should I study for the exam? Self-regulated learning strategies and achievement in introductory biology. *CBE—Life Sciences Education*, 16(2), ar30.
- Stalnaker, T. A., Cooch, N. K., & Schoenbaum, G. (2015). What the orbitofrontal cortex does not do. *Nature Neuroscience*, 18(5), 620-627.
- Stanton, J. D., Neider, X. N., Gallegos, I. J., & Clark, N. C. (2015). Differences in metacognitive regulation in introductory biology students: when prompts are not enough. *CBE—Life Sciences Education*, 14(2), ar15.
- Steinberg, L. (2008). A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking. *Developmental Review*, 28(1), 78-106.
- Steinberg, L., Icenogle, G., Shulman, E. P., Breiner, K., Chein, J., Bacchini, D., ... Dodge, K. A. (2018). Around the world, adolescence is a time of heightened sensation seeking and immature self-regulation. *Developmental Science*, 21(2), e12532.
- Thibodeaux, J., Deutsch, A., Kitsantas, A., & Winsler, A. (2017). First-year college students' time use: Relations with self-regulation and GPA. *Journal of Advanced Academics*, 28(1), 5-27.
- Toepper, M., Gebhardt, H., Beblo, T., Thomas, C., Driessen, M., Bischoff, M., ... Sammer, G. (2010). Functional correlates of distractor suppression during spatial working memory encoding. *Neuroscience*, 165(4), 1244-1253.
- Vink, M., Gladwin, T. E., Geeraerts, S., Pas, P., Bos, D., Hofstee, M., & Vollebergh, W. (2020). Towards an integrated account of the development of self-regulation from a neurocognitive perspective: A framework for current and future longitudinal multi-modal investigations. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 45, 100829.
- Wallis, J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annual Review of Neuroscience*, 30(1), 31-56.
- Woltering, S., & Shi, Q. (2016). On the neuroscience of self-regulation in children with disruptive behavior problems: Implications for education. *Review of Educational Research*, 86(4), 1085-1110.
- Xia, M., Wang, J., & He, Y. (2013). BrainNet Viewer: a network visualization tool for human brain connectomics. *PloS One*, 8(7), e68910.
- Ye, J. C., Tak, S., Jang, K. E., Jung, J., & Jang, J. (2009). NIRS-SPM: statistical parametric mapping for near-infrared spectroscopy. *Neuroimage*, 44(2), 428-447.

저 자 정 보

- 이 수 민 (한국교원대학교 대학원생)
- 박 상 희 (대전관평초등학교 교사)
- 권 승 혁 (공주교육대학교 교수)
- 권 용 주 (한국교원대학교 교수)