

RESEARCH ARTICLE

The Cognitive Analysis of Classification Strategy by Comparison of Science Pre-service teachers' Brain activations during Animate and Inanimate Classification

Jung-Ho Byeon
Sacheok High School

생물 분류와 무생물 분류과정의 두뇌 활성 비교를 통한 예비교사의 분류전략에 대한 인지적 분석

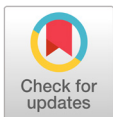
변정호
삼척고등학교

Corresponding Author: jhbyeon77@gmail.com

ABSTRACT

The classification is one type of convergent problem-solving in the context of creative problem-solving. The classification learning method in curriculum and textbook is not discriminate using the animate and inanimate object as learning material. However, the classification of animate and inanimate is related to the different neurological systems of the human brain. For the success of classification learning in class, we need to clarify pre-service teacher's cognitive strategy during animate and inanimate classification involved categorization. The researcher recruited 24 pre-service teachers to investigate brain activation during the classification of animate and inanimate using fMRI. As a result of this study, the researcher could find the similarity and difference of brain activation between animate and inanimate classification. The activation of DLPFC, PMC, the secondary visual cortex in the human brain equally checked out on animate and inanimate classification. Also the activation of LIP in the parietal region was showed on inanimate classification, and the activation of the occipitotemporal cortex was confirmed on animate classification. Consequently, pre-service teachers' animate classification was related to the frontal-temporal path of information processing, and inanimate classification was related to the frontal-parietal path of information processing.

Key words: Classification, animate, inanimate, pre-service teacher, cognitive strategy



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2021, Vol. 11, No. 2, 183-197.
<https://doi.org/10.31216/BDL20210012>

Received: May 20, 2021
Revised: June 06, 2021
Accepted: June 07, 2021

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



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

Introduction

미래사회의 변화에 적응할 수 있는 인재를 양성하고, 인공지능, 디지털 온라인 교육 등 4차 산업혁명에 영향을 받은 교육 패러다임 전환에 대응하는 것은 국가적 목표에 해당한다. 이에 따라 교육부는 ‘2022 개정교육과정 추진 계획’을 발표하였으며 교육을 통해 지향하는 미래역량 중 하나로 창의적 문제해결력을 제시하고 있다(MOE, 2021). 수렴적 사고와 확산적 사고가 관련된 문제해결 과정의 경험을 통해 창의적 문제해결력을 개발할 수 있으며(Cropley, 2006; Sternberg, 2005), 이중 수렴적 문제해결 과정은 정보 분석에 의해 단일 해결책을 도출하는 다중적 사고조절 과정으로써 정보들 간의 상호관련성 발견, 패턴과 유사성의 발견, 범주화를 포함한다(Sternberg & O’Hara, 2000; Wang & Chiew, 2010). 주어진 정보나 대상에 대한 속성 분석, 패턴과 유사성의 발견 및 범주화를 통한 아이디어 입증, 서로 다른 정보로부터 일반화된 개념으로 수렴해 나아가는 것은 과학교육의 맥락에서 범주화를 포함하는 분류활동에 해당한다(Anderson, 1991; Kemp & Tenenbaum, 2009; Wang & Chiew, 2010).

분류 학습은 기본적인 학습유형으로써 일반학습 역량의 도달 여부 확인을 위한 필수적 평가요소이며(Rabi & Minda, 2014), 과학적 추론과 더 높은 수준의 과학학습을 구성하는 기본을 이룸으로써 과학교육과정의 핵심적 구성요소로 기능한다(Noh et al., 2014). 범주화와 분류사고는 환경에 반응하는데 있어 기본적인 정보처리의 경향성과 외부 자극에 적응할 수 있도록 하는 고차적 사고가 요구되는 인지구조의 기저를 이루는 학습유형으로써 그 중요성이 인식되고 있다(Edmunds et al., 2018; Seger & Peterson, 2013). 범주화를 포함하는 분류학습에 대한 중요성 인식과 함께 미국의 차세대과학교육기준(NGSS)에서는 과학의 출발점으로써 패턴의 발견을 제시하고 있으며, 대상의 공통점과 차이점을 통해 범주화 및 관계를 조직하는 분류를 활동의 목적으로 제시한다. 또한 우리나라 과학교육과정에서도 초·중·고 학교 급에 따라 지속적으로 분류활동을 제시하고 있으며(Lee et al., 2019; MOE, 2015), 미래세대를 위한 과학교육표준(KSES)에서는 규칙성과 다양성 영역에 해당하는 기본적인 예시로 생물분류를 제시하고 있다(Song et al., 2019). 그러나 2015개정 교육과정에서는 초·중학교 과정에서 무생물 분류와 생물 분류를 모두 제시하고 있으며, 고등학교에서는 일부 진로선택교과에서만 생물분류 활동을 제시하고 있다. 또한 교과서와 분류학습 프로그램에서는 무생물이나 기호 형태의 대상들을 학습활동으로 제시하기도 하며, 일부 생물분류 학습을 위한 단계의 일부로 무생물 분류를 포함하기도 한다(Choi et al., 2006; Park et al., 2011).

따라서 과학교육 현장에서 창의적 문제해결 역량을 구성하는 주요소인 수렴적 문제해결 과정을 개발하기 위한 방법으로 제시될 수 있는 분류활동에 대해 예비교사가 지니고 있는 인지적 전략과 특징을 규명할 필요가 있다. 이를 위해 fMRI를 활용하여 생물 분류와 무생물 분류과정에서 나타나는 예비교사의 두뇌 활성의 공통점과 차이점을 분석하고, 두뇌 활성이 나타나는 핵심영역과 기능을 분석함으로써 인지적 전략의 차이를 규명하고자 한다.

Theoretical Background

생물과 무생물 표상에 관련된 인간의 신경학적 기저는 두뇌 수준에서 구분되어 있으며(Naselaris et al., 2012), 두뇌의 광범위한 피질 경로와 관련된 정보처리 방식의 차이에 기인하는 것으로 알려져 있다(Bell et al., 2009; Caramazza & Mahon, 2003). 또한 분류 대상으로서 생물은 특이적 형태 및 범주 관련 시각적 속성에 있어 무생물과

현저하게 차이를 나타내며(Levin et al., 2001; Long et al., 2018; Schmidt et al., 2017), 인간이 지각할 수 있는 유사성의 수준에 대한 행동적 측정 결과에서도 많은 차이를 나타낸다(Mohan & Arun, 2012). 생물과 무생물은 서로 다른 형태 및 고차적 수준의 속성에서 차이를 지니며, 신경학적 연구들에서는 생물과 무생물에 대한 범주 선택에 의한 차이가 일부 피질수준에서 나타남을 제시한다(Amedi et al., 2017; Proklova et al., 2019; Zachariou et al., 2018). 반면, 무생물과 생물에 대한 분류는 서로 다른 신경학적 기저를 지니는 것과 동시에 공통되는 부분을 지니고 있는 것으로 보고되고 있다(Lowder & Gordon, 2015; Lu et al., 2016; Wiggett et al., 2009).

생물과 무생물 분류의 공통점과 차이점의 존재에 대한 다양한 연구들에 비해 국내 연구는 미비한 실정으로 일부 질적 연구에서 초등학생에서 나타나는 인지적인 차이에 대해 제시한 사례가 존재하며(Choi et al., 2006), 생물과 무생물 분류과정에서 고등학생과 예비교사의 안구운동 차이에 기반한 분류전략 차이점에 대해 제한적으로 제시하고 있을 뿐이다(Byeon, 2020). 선행 연구에서는 예비교사와 고등학생 간 안구운동의 집단 간 차이를 부분적으로 확인하였으나, 생물 분류와 무생물 분류라는 주효과가 상대적으로 더 주요하게 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 또한, 생물 분류는 유사성 기반 전략을 통해 상향식(Bottom-up) 분류를 수행하는 반면, 무생물 분류는 규칙 기반 전략을 통해 하향식(Top-down) 분류를 수행한다고 제시하였다. 그러나 시선추적 데이터 유형의 한계로 인해 생물과 무생물이라는 주효과가 실제 두뇌 수준에서 공통점과 차이점이 어떻게 존재하는지에 대한 분석은 제한될 수밖에 없었다.

학습연구 분야에 fMRI 같은 비침습적 두뇌 영상 측정 기술의 도입은 ms단위의 짧은 시간동안 지속적으로 획득한 빅데이터 자료를 높은 해상도로 제공하므로, 특정 과제 수행동안 나타나는 두뇌활성 양상을 분석하여 더욱 정교한 설명을 제공할 수 있는 장점을 지니고 있다(Kwon et al., 2014; Lee & Kwon, 2016; Park et al., 2019; Van Essen et al., 2013). 그러므로 fMRI와 같은 두뇌영상 측정법을 활용한다면 생물 분류와 무생물 분류과정에서 확인되는 두뇌 수준의 공통점과 차이점을 규명하고 이에 기반한 학습적 시사점을 제시할 수 있을 것이다.

Research Method

Participants

생물 분류와 무생물 분류과정 동안 예비교사의 두뇌 활성을 확인하기 위해 충북 소재 A대학교의 생물교육 전공 예비교사를 모집하였으며, 24명을 대상으로 두뇌활성 측정을 실시하였다. 모든 피험자는 두뇌 활성 측정을 위해 사용되는 fMRI의 특징, 측정 목적 및 과정 등 관련된 제반 사항을 청취한 후, 피험자가 자발적으로 직접 서명한 참여 동의서 및 측정 적합성 설문지를 작성하여 제출하였다. 또한 fMRI 측정 전 분류능력지수를 활용하여 개별적으로 분류능력 측정을 실시하였다(Kwon et al., 2007). Edinburg Handedness test를 통해 피험자 모두 오른손잡이임을 확인하고 측정 중 유의사항에 대해 안내한 후 측정을 실시하였다. 연구에 참여한 피험자의 평균 나이는 24.87세(표준편차: 3.65)로 생물 분류능력의 평균은 12.96(표준편차: 10.57)이었으며, 정규성을 지니는 것으로 확인되었다($p = 0.182$). 또한 무생물 분류능력의 평균은 20.66(표준편차: 15.11)이었으며, 정규성을 확인하였다($p = 0.152$).

Procedure & Measurement

생물 분류와 무생물 분류 과정동안 예비교사의 두뇌활성을 확인하기 위한 측정 과제는 생물과 무생물이라는 주효과를 유발하며, 피험자가 제공된 분류 대상을 관찰하여 속성을 발견하고 범주화함으로써 분류를 수행할 수 있는 개방적 과제가 적합하다. 또한 MR 스캐너 내에서의 분류과정에 제시할 fMRI 과제와 동형의 지필과제를 통해 피험자의 분류능력 수준을 확인할 필요가 있다. 이를 위해 Byeon et al. (2014)의 연구에서 사용한 생물 분류과제 18개의 측정과제를 활용하여 무작위로 fMRI 측정과제 9개와 지필평가 과제 9개로 구성하였다. 각 과제는 육안으로 판별이 가능한 동물, 식물, 균류로 구분되었으며, 다양한 수준의 범주화가 가능하도록 개체의 부분, 개체, 다수 개체 수준으로 구분하여 구성되었다. 분류 대상 중 일상에서 사용하는 생활용품, 가구, 기기 등은 피험자에게 사회적 인지를 유발하고, 선행적 정보에 기반한 정보처리를 통해 분류 이외의 인지요소가 개입하는 것으로 알려져 있다(Lin et al., 2019; Mitchel et al., 2005). 피험자의 개인적 경험과 지식 및 흥미에 의한 사회적 인지의 영향을 최소화하기 위해 육안으로 구분이 가능한 도형과 기호를 활용하여 R&D 과정을 거쳐 18개의 과제가 구성되었다. 생물 분류과제와 무생물 분류과제는 생물교육 전문가 2인에게 의뢰하여 내용타당도를 확인하였으며, 과제의 내적 신뢰도를 통해 각 과제의 신뢰도 수준이 유의함을 확인하고 상관관계 분석을 통해 지필과제와 fMRI과제가 동형임을 확인하였다.

생물 분류와 무생물 분류과정의 두뇌활성을 확인하기 위해 제작된 fMRI 과제는 블록설계를 통해 분류의 인지적 사고과정을 유발하는 과제(task)와 기저조건(fixation)을 교차하여 순차적으로 피험자에게 제시하였다. fMRI측정은 공조건을 12초간 제시한 후, 무생물 분류 측정 제목이 표기된 지시문을 6초, 개별 과제 측정의 시작을 안내하는 지시문을 12초간 제시하였다. 공조건과 지시문 제시가 종료된 직후 무생물 분류과제를 24초간 제시하였으며, 이어서 기저조건을 12초간 제시하여 후속 과제를 준비하도록 하였다. 측정과제와 기저조건으로 이루어진 무생물 분류 과제 9개의 측정이 종료된 후, 생물 분류 측정 제목이 표기된 지시문을 6초, 개별 과제 측정 시작을 안내하는 지시문을 12초간 제시하였다. 이후 생물 분류과제를 24초간, 기저조건을 12초간 제시하는 방식으로 9개의 생물 분류 측정과제를 모두 수행하도록 하였다. 생물과 무생물 분류과정에서 나타나는 예비교사의 두뇌활성을 측정하기 위한 fMRI 과제 제시는 스캐너 내부에서 피험자의 양쪽 안구에 과제를 동시 투사하는 시각 시스템을 사용하였다. 시스템의 해상도는 800×600 pixels, 1,670만 화소로 이미지를 제공하였으며, 재생률은 85 Hz, FOV는 수평 30° , 수직 23° 의 범위 내에서 과제를 제시하였다(Fig. 1).

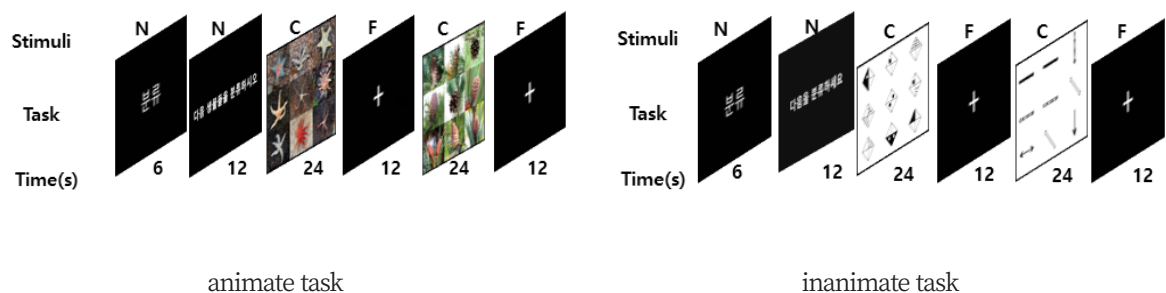


Fig. 1. The example of fMRI task paradigm for classification

생물 분류와 무생물 분류과정의 두뇌활성 MR 이미지 자료는 고려대학교 뇌영상센터의 3.0T MRI (MAGNETOM Trio, SIEMENS, Germany)를 사용하여 획득하였다. EPI (Echo Planar Imaging)를 활용하여 기능적 두뇌 영상과 해부학적 영상을 획득하였다. 두뇌 전체에서 나타나는 BOLD 신호를 획득하기 위한 측정변수는 $64 \times 64 \text{ mm}^2$ 이미지 행렬, $220 \times 220 \text{ mm}$ 영상범위, 5 mm 이미지 절편 두께, 30 slice 이미지 절편, 3,000 ms의 반복시간, 35 ms의 공명시간, 반전 각도 90° 와 같이 설정하였다. 두뇌의 기능적 이미지 분석에 사용할 해부학적 이미지는 전교련에서 후교련에 평행하게 시상면으로 촬영되었다. MR이미지 측정 동안 발생하는 소음 차단을 위해 헤드셋과 귀마개를 제공하였으며, 머리 움직임으로 인한 오차를 줄이기 위해 고정패드를 활용하였다. 스캐너 내부의 피험자 상태는 외부에서 카메라를 통해 모니터링 하였으며, 해부학적 이미지를 획득 후 분류과제를 제시하는 동안 발생하는 BOLD신호를 반영하는 EPI 이미지를 획득하였다. 모든 스캐닝이 종료된 후 피험자 인터뷰 과정에서 분류과제에 대한 인지적 수행이 정상적으로 이루어졌는지 확인하였으며, 과제 수행이 정상적이지 않은 경우 분석에서 제외하였다.

Data Acquisition & Analysis

분류과제 수행동안 획득한 자료는 MATLAB 2016에서 SPM12 프로그램을 활용하여 EPI 평균 이미지 획득, 상관정렬, MNI 좌표 변환, 공간적 표준화, 무작위 그룹 분석을 통해 전처리 과정을 수행하였으며, 일반선형 모델 생성, 대조 이미지 획득, 집단분석, 무선효과분석을 통해 후처리를 실시하였다. 먼저 획득된 MR이미지 자료는 피험자의 머리 움직임으로 인한 변위 재조정을 실시하여 3 mm 이상 부피소를 벗어나는 경우는 분석에서 제외하였다. 과제 수행의 두뇌 활성화와 무관한 이미지는 제거함으로써 피험자별 EPI 평균 이미지를 획득한 후, 피험자의 두뇌 활성화 이미지와 해부학 이미지의 좌표를 일치시킴으로써 상관정렬을 실시하였다. 이후 피험자의 개별 MR이미지 자료를 표준화된 MNI (Montreal Neurology Institute)좌표로 변환하여 피험자 개인별로 존재하는 두뇌의 해부학적 차이를 제거하는 공간적 표준화 과정을 수행하였다(Huettel et al., 2004). FWHM Gaussian Kernel을 8 mm로 설정하여 공간적 편평화를 통해 MR 이미지 자료에 포함된 잡음을 제거함으로써 무작위 그룹분석을 수행하였다. 후처리 과정에서는 생물 분류와 무생물 분류과정의 두뇌 활성화 분석을 위해 일반선형모델을 생성하였으며, 피험자별 BOLD 신호의 대조 이미지를 획득하였다. 개인별로 생성된 두뇌 활성화의 대조 이미지를 활용하여 집단분석을 수행하였으며, 개인차를 변수로 하여 무선효과분석을 실시하였다(Huettel et al., 2004). 예비교사 집단에서 생물 분류와 무생물 분류라는 주효과로 인한 두뇌활성 차이가 나타나는지 확인하기 위해 단일표본 T-검증을 수행하였다. 단일 집단 자료에 대한 통계적 분석과정에서 나타나는 1종 오류를 극복하기 위해 다중비교에 Gaussian kernel을 활용하였다(Genovese et al., 2002). 또한 사후검증 과정에서는 Bonferroni 방식을 사용하여 생물과 무생물이라는 대상에 따른 주효과에 의한 두뇌활성 영역을 도출하였으며, 유의수준은 0.05, 부피소의 역치는 30으로 설정하여 상대적인 두뇌활성 값과 MNI 좌표를 산출하였다. 분석과정에서 통계적으로 유의한 것으로 확인된 두뇌활성 영역의 공간좌표에 대응하는 해부학적 위치를 확인하기 위해 MNI 좌표를 Talairach 좌표로 변환하였으며, 단위 부피소 크기 내에서 유의한 활성화영역을 해부학적 영역과 기능적 영역으로 구분하여 산출하였다. 생물 분류와 무생물 분류라는 주효과 분석을 통해 각각의 분류과정에서 유의하게 나타나는 두뇌 활성화 영역을 확인한 후, 두 가지 서로 다른 인지적 과정에서 나타나는 상대적으로 특징적인 두뇌 활성화 영역과 활성화 정도를 규명하기 위한 상호감산을 실시하여 통계적으로 유의한 영역을 산출하였다.

Result & Discussion

Results of Main Effect

분류과정 중 생물과 무생물이라는 주효과에 의한 예비교사의 두뇌활성에서 나타나는 공통점과 차이점을 확인하기 위해 관심영역을 하나의 부피소 크기인 $3.3 \times 3.3 \text{ mm}$ 내에서 확인하였다. 각 관심영역에 해당하는 좌표는 통계적 처리과정을 통해 추출되었으며, 활성영역 중 상대적으로 유의한 정도를 확인하기 위해 영역별 Z값을 산출하였다. 통계적 유의성이 확인된 두뇌 활성 영역은 해부학적 수준에 따라 구분한 결과 Fig. 2와 같이 나타났다.

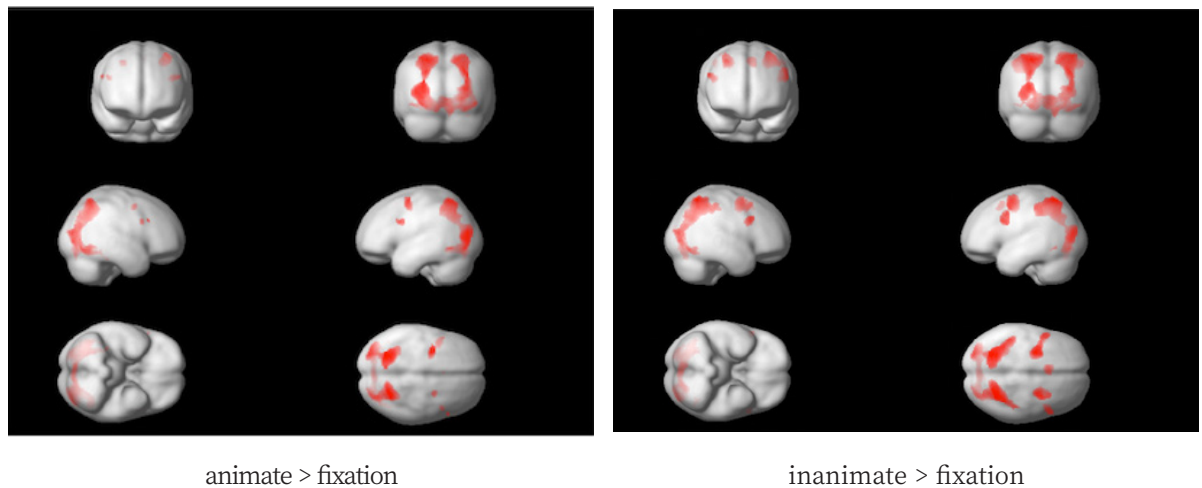


Fig. 2. Brain activation of animate and inanimate classification

생물 분류과정에서는 전두엽의 상전두이랑, 중전두이랑, 하전두이랑, 측두엽의 방추이랑, 후두엽의 중후두이랑, 하후두이랑, 소뇌정상에서 유의한 활성이 확인되었다. 무생물 분류과정에서는 전두엽의 중전두이랑, 하전두이랑, 두정엽의 상두정소엽, 췌기전소엽, 각회(모이랑), 후두엽의 하후두이랑에서 통계적으로 유의한 활성이 나타났다. 또한 브로드만 영역을 기준으로 각각의 분류과정에 관련된 기능적 영역들을 살펴보면 생물 분류의 경우 2차 시각피질(BA 18), 대상인식 측두피질(BA 37), 전문동피질(BA 6), 배외측전전두피질(BA 9)이 핵심적인 활성영역으로 나타났다. 무생물 분류의 경우 2차 시각피질(BA 19), 2차 체성감각피질(BA 7), 두정 피질(BA 39), 전문동피질(BA 6, 8), 배외측전전두피질(BA 9)이 핵심적인 활성영역으로 확인되었다. 전두엽-측두엽-후두엽으로 이어지는 두뇌 활성이 유의하게 나타난 생물 분류와 달리 무생물 분류는 전두엽-두정엽-후두엽으로 연결되는 두뇌 활성이 통계적 수준에서 유의하였다(Table 1).

Table 1. Brain activation by animate and inanimate classification($FWE < 0.05$)

Region of Brain Activation		Animate					Inanimate				
		L/R (BA)	Z value (BA)	Talairach Coordinate			L/R (BA)	Z value (BA)	Talairach Coordinate		
				x	y	z			x	y	z
Frontal Lobe											
	Superior Frontal Gyrus	L(6)	4.61	-2	14	54					
	Middle Frontal Gyrus	R(6)	5.29	26	0	50	R(6)	6.50	26	2	45
							R(6)	4.93	36	12	54
							R(8)	5.45	30	19	47
		R(9)	4.74	56	20	30	R(9)	5.54	46	14	28
		L(6)	5.74	-32	-2	56	L(6)	6.20	-30	-1	48
							L(6)	5.45	-7	16	47
							L(9)	5.16	-50	12	36
	Inferior Frontal Gyrus	R(9)	5.05	46	12	28					
		L(9)	5.29	-42	8	28	L(9)	4.94	-42	5	27
Parietal Lobe											
	Precuneus						L(7)	7.14	-26	-59	36
	Superior Parietal Lobule						R(7)	6.75	31	-52	45
	Angular Gyrus						R(39)	6.74	33	-63	31
Temporal Lobe											
	Fusiform Gyrus	R(37)	4.89	42	-46	-12					
Occipital Lobe											
	Middle Occipital Gyrus	R(18)	7.25	26	-82	-2					
	Lingual Gyrus	L(18)	7.32	-28	-78	-5					
	Middle Occipital Gyrus	L(18)	6.92	-30	-84	0					
	Inferior Occipital Gyrus						L(19)	4.90	-40	-60	-3
Cerebellum											
	Culmen	R	4.75	32	-38	-24					

BA: Brodmann area, L: Left hemisphere, R: Right hemisphere

생물 분류 과정의 두뇌 활성화는 대상인식 과정에서 주로 활성화되는 것으로 알려진 두 가지 정보처리 경로 중 관찰대상에 대한 의미론적 분석 및 획득 정보들 간의 비교를 통해 대상의 정보를 인식할 때 활성화되는 전두-측두 경로의 두뇌 활성화와 유사하다(Siegel et al., 2015). 반면, 무생물 분류 과정의 두뇌 활성화는 대상 인식의 정보처리 경로 중 관찰대상의 공간적 위치와 형태에 대한 정보를 처리하는 전두-측두 경로의 활성화와 동일하게 나타났다(Brincat et al., 2018). 두 가지 분류과정에서 활성화되는 두뇌 영역들을 살펴보면, 생물 분류과정과 무생물 분류과정 모두 후두엽의 2차 시각피질에 해당하는 BA 18, BA 19에서 두드러진 활성화가 나타났다. 2차 시각피질은 시각적 범주화에서 활성을 나타내는 주요한 두뇌 영역이며, 대상 정보의 누적 상황에서 선조체의 조절에 의해 두정엽이나 측두엽을 거쳐 전두엽으로 정보를 투사하는 출발점에 해당한다(Kalenine et al., 2009; Ploran et al., 2011; Seger & Miller, 2010). 두 가지 서로 다른 분류과정에서 2차 시각피질의 활성화가 공통적으로 확인되었으나, 생물 분류과정과 관련된 활성화는 측두시각피질에 편측화되어 있으며, 무생물 분류과정의 활성화는 두정시각피질에 편측화되어 나타난다. 이러한 결과는 생물 관찰 결과 발견된 범주 즉, 분류기준으로 선택된 대상의 속성에 대한 정보는 전두-측두 영역을 통해 처리하는 반면, 무생물 대상에서 발견된 분류기준은 전두-두정 영역을 통해 처리되고 있음을 의미한다.

생물 분류과정에서는 측두엽의 방추이랑(BA 37)에서 유의한 활성이 확인된 반면, 무생물 분류과정에서는 두정엽의 췌기전소엽과 상두정소엽(BA 7), 모이랑(BA 39)에서 유의한 활성이 나타났다. 방추이랑은 개념적 범주들 사이에서 관련성 차이가 발생할 때 선조외시각피질(Extrastriate occipital cortex)과 함께 활성이 나타나는 것으로 알려져 있으며(Folstein et al., 2015), 시각 정보가 언어적으로 처리되는 과정과 관련된 후측두피질(Occipitotemporal cortex)을 구성한다(Apitz & Bunzeck, 2012; Pessoa & Engelmann, 2010). 반면, 무생물 분류과정에서 활성이 나타난 췌기전소엽과 상두정소엽 같은 두정피질의 영역들은 전두-두정경로의 정보처리를 통해 기존에 피험자가 구체적 개념의 형태로 보유하고 있는 범주화 기준을 통해 대상의 정보를 인식하는 규칙 기반 범주화와 관련되어 있다(Seeger & Peterson, 2013).

범주 정보의 처리는 전두, 두정, 측두, 후두의 2차 시각피질을 포함하는 배측과 복측 시각정보 처리 경로를 거친다(Brincat et al., 2018). 특히 하향식 범주 선택이 이루어지는 규칙 기반 인지전략의 경우 기존에 지니고 있는 구체적 개념을 통해 대상을 범주화하는 과정에서 전두-두정 경로의 두뇌 영역이 핵심기능을 수행한다. 반면, 상향식 범주 생성과 비교를 수행하는 유사성 기반 전략은 발견된 유사성으로부터 추상적인 범주기준을 생성하고 선택하는 범주화 과정에서 전두-측두 경로의 두뇌 영역이 주요한 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다(Berkman et al., 2017; Fu et al., 2016; Jocham et al., 2014; Seeger & Peterson, 2013; Zhou et al., 2019).

전두엽의 경우 생물 분류과정과 무생물 분류과정 모두에서 전운동 피질과 배외측전전두피질에서 유의한 활성이 나타났으나, 무생물 분류과정은 생물 분류과정에 비해 전운동피질 활성이 더 넓은 영역에 걸쳐 확인되었다. 일반적으로 범주화와 관련된 신경 시스템 중 공통적으로 활성화되는 영역인 외측전전두피질은 배측 경로와 복측 경로 모두에서 범주화의 주요한 영역으로써 기능한다(Kahnt et al., 2010). 특히 배외측전전두피질을 중심으로 한 전전두영역은 범주학습에 있어 추상화와 관련된 인지적 조절 메커니즘, 상위 범주 추론과 관련된 인지적 활성, 새로운 범주의 학습에 대한 범주 선택의 의사결정과 연관되어 있다(Ashby & Maddox, 2011; Badre & Nee, 2018; Paniukov & Davis, 2018). 또한 전운동 피질은 생물을 대상으로 한 단어 범주화에서 주로 활성화되는 영역이며, 범주를 선택하고 적용하는 기능과 관련되어 있다(Dias et al., 1997; Grossman et al., 2006). 전운동피질은 범주화 동안 일어나는 시각적 주의집중 조절과 안구 운동이 나타날 때 활성화되며, 규칙 기반 전략을 통한 범주의 발견에 있어 핵심적인 영역에 해당한다(Blair et al., 2009; Freedberg et al., 2017; Seeger & Miller, 2010). 그러므로 생물 분류와 무생물 분류과정은 공통적으로 시각적 주의집중의 조절이 지속적으로 이루어지며, 발견된 범주에 대해 기존에 예비교사가 지니고 있는 추상적 개념과 비교하는 인지적 처리 과정이 유의하게 일어남을 알 수 있다.

배외측전전두피질은 범주화와 관련된 과제 수행과정에서 범주의 생성과 발견에서 유의하게 활성화되며(Kéri, 2003), 주어진 경쟁적 선택과제에서 활성화되는 것으로도 알려져 있다(Jin et al., 2012). 특히, BA 9 영역은 배외측전전두피질을 구성하는 영역으로 범주화에 있어 핵심적인 영역에 해당하며, 서로 다른 아이디어에 대한 선택과 관련된 의사결정과정 및 규칙의 유추와 관련되어 있다(Edmunds et al., 2018; Jin et al., 2012). 또한 규칙 기반 추론에서 중심 역할을 수행하며, 유사성 기반 추론에서도 핵심적인 역할을 수행하는 영역에 해당한다.(Davis et al., 2017). 생물 분류에 비해 무생물 분류과정에서 양쪽 반구의 외측전전두피질에서 활성이 나타난 것은 범주학습에 있어 유사성이 낮은 경우 상위 수준의 추상화가 요구되며, 상위 수준의 추상화에는 주로 배외측전전두피질이 주요하게 기능하기 때문이다(Wutz et al., 2018). 또한 외측전전두피질 중 측두경로의 영역은 낮은 수준의 추상화를 통해 범주학습에 있어 상향식, 두정경로의 영역은 높은 수준의 추상화를

통해 하향식 정보처리 과정을 유발한다(Bastos et al., 2015; Jensen et al., 2015; Milton et al., 2017). 즉, 외측전두피질은 하측두피질로부터 정보를 받아 인식, 상향식 패턴의 발견, 낮은 수준 추상화에 기여하며, 두정 피질에서 정보를 받아 하향식·경험기반 일반화, 추상적 개념 확인, 개념적 관계 맺기와 관련된 기능을 수행한다(Jocham et al., 2014; Milton et al., 2017; Seger & Peterson, 2013).

생물 분류과정에서 나타난 전두엽과 후두엽의 활성화는 고등학생을 대상으로 생물 분류의 두뇌 활성을 확인한 연구 결과와 유사하게 나타났다(Byeon et al., 2014). 반면, 측두엽에서의 활성화는 예비교사 집단에서만 확인되었으며, 무생물 분류의 두뇌 활성이 고등학생들의 두뇌 활성화와 유사성을 지니고 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통해 생물 분류과정은 후두와 측두경로의 두뇌 영역을 거치는 상향식 유사성 기반 전략을 통해 분류를 수행하며, 의미론적으로 통합된 분류기준에 대한 정보는 배외측전두피질의 투사되어 선택 및 적용되는 과정을 거친다고 볼 수 있다. 반면, 무생물 분류과정은 관찰된 대상의 외형적 특징들에 대해 지니고 있는 구체적 개념 형태의 Exemplar를 분류기준으로 후두-두정 영역을 거쳐 하향식 규칙 기반 전략을 통해 분류하고 있음을 알 수 있다. 그러나 무생물 분류와 달리 생물 분류에서는 전전두피질의 복측과 배측 모두에서 유의한 활성화가 확인되었다. 이러한 결과는 유사성 기반 전략을 통해 관찰 대상으로부터 발견한 속성 정보들을 통합하여 생성한 prototype 형태의 분류기준을 기존에 알고 있는 개념적 정보와 비교하기 때문으로 볼 수 있다. 즉, 예비교사들은 생물 분류과정에서 유사성 기반 전략뿐만 아니라, 규칙 기반 전략을 함께 활용하고 있음을 의미한다. 따라서 예비교사들은 생물 분류과정에서 유사성 기반 전략과 규칙 기반 전략을 혼합하여 적용하고 있으며, 무생물 분류과정은 규칙 기반 전략만을 활용하고 있다는 것을 확인하였다.

The Result of Inter-subtraction

예비교사에 대한 생물 분류와 무생물 분류라는 주효과에 의해 활성화되는 두뇌 영역 분석을 통해 생물 분류과정은 후두엽-측두엽-전두엽로 이어지는 정보처리 경로의 두뇌 활성화가 나타났으며, 무생물 분류과정에서는 후두엽-두정엽-전두엽으로 이어지는 정보처리 경로 상의 두뇌 활성화가 확인되었다. 이는 생물 분류와 무생물 분류 조건에 따른 두뇌 활성화만을 독립적으로 비교한 것이므로, 두 조건을 상호 비교하였을 때 각각의 조건에서 통계적으로 유의한 핵심 두뇌 영역을 확인하기 위해 상호감산을 실시하였다(Fig. 3).

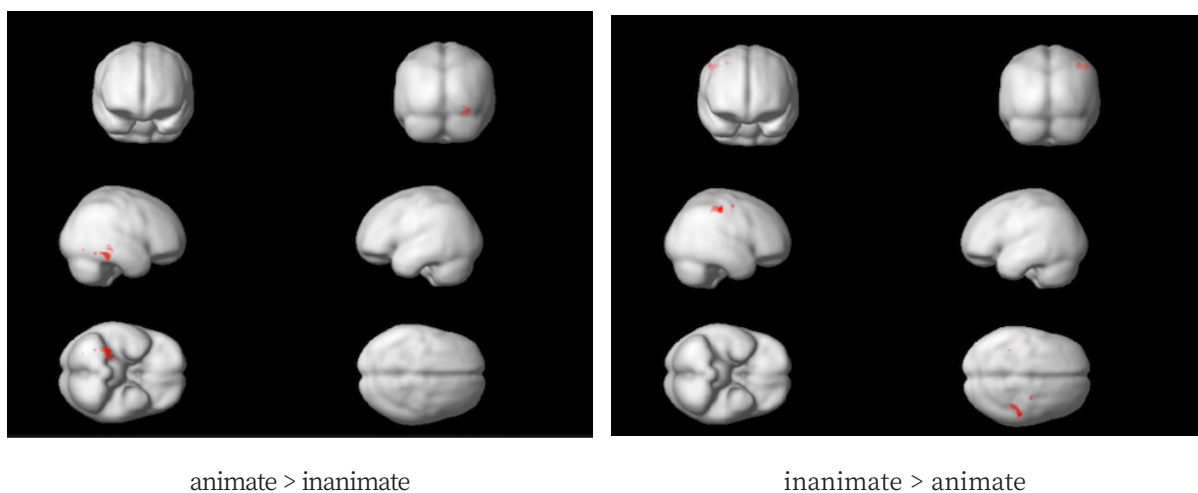


Fig. 3. Brain activation of inter-subtraction between animate and inanimate

생물 분류의 핵심영역인 변연계의 해마옆이랑을 구성하는 BA 37 과 BA 27은 기억 시스템의 입력과 출력에 관련된 영역으로 장기기억 정보의 인출 과제에서 주요한 활성을 나타내며, 신피질에서 전달된 정보를 투사하여 재투사하는 과정과도 관련되어 있다(Apitz & Bunzeck, 2012; Pessoa & Engelmann, 2010). 또한 후측두 피질을 이루는 BA 19에서의 활성은 범주 학습 및 인출과정에 언어적 정보로 처리되는 과정과 관련되기 때문이며, 정보를 계열적으로 처리하는 인지적 과정과 관련된 소뇌 비탈에서도 유의한 활성이 확인되었다(Seger & Miller, 2010). 생물 분류과정의 핵심영역인 해마옆이랑은 새로운 범주를 학습할 때 외측전전두피질과 함께 활성화되기도 하며, 후측두피질, 소뇌의 활성과 함께 나타나는 것으로 미루어 측두-전두 경로 상의 영역을 거치며 대상의 속성 정보를 처리함으로써 지속적인 부호화와 기존에 보유하고 있는 추상적 개념정보와 비교하는 인지적 과정을 수행함으로써 알 수 있다(Becker & Wojtowicz, 2007; Edmunds et al., 2018). 이와 같은 정보처리 과정은 부호화 및 정보의 연합을 통해 새로운 범주를 비교하고 기준으로써 선택하는 지속적인 과정에 해당하므로, 생물 분류 과정은 관찰 대상들의 유사성에 기반하여 새로 발견된 분류기준과 기존의 추상개념을 비교하는 과정을 통해 수행되고 있음을 의미한다.

Region of Brain Activation		Animate					Inanimate				
		L/R (BA)	Z value (BA)	Talairach Coordinate			L/R (BA)	Z value (BA)	Talairach Coordinate		
				x	y	z			x	y	z
Frontal Lobe											
	Middle Frontal Gyrus						R(6)	5.01	30	-4	50
Parietal Lobe											
	Postcentral Gyrus						R(40)	5.19	45	-28	48
	Postcentral Gyrus						L(40)	4.63	-37	-36	56
	Postcentral Gyrus						R(2)	4.99	54	-23	46
Limbic System											
	Parahippocampal Gyrus	R(37)	5.52	33	-41	-9					
	Parahippocampal Gyrus	R(27)	4.92	21	-36	-2					
Occipital Lobe											
	Lingual Gyrus	R(19)	4.63	29	-71	-3					
Cerebellum											
	Declive	R	4.82	31	-54	-9					

Brain, Digital, & Learning. 2021 Vol. 11 No. 2

반면, 무생물 분류의 핵심영역은 전두엽의 전운동피질을 이루는 BA 6와, 두정엽의 외측두정내영역(lateral intraparietal area: LIP)으로써 이전에 존재하지 않던 기준을 발견하거나 생성하여 범주화를 수행할 때는 전전두피질의 활성이 크게 나타나지만, 기존에 보유하고 있던 기준이나 전략으로 범주화를 수행할 경우에는 전운동피질 활성이 상대적으로 크게 확인된다(Boettiger & D'Esposito, 2005). 외측두정내영역은 시각적 대상 선택에 있어 안구운동 및 공간적으로 명확한 외형을 구성하여 주의집중과 관련된 안구운동의 방향성을 선택함으로써 하향식 의사결정에 기여하는 것으로 알려져 있다(Christopoulos et al., 2018). 이러한 전두영역과 두정영역의 상호작용은 전두정엽에서 시각피질로의 하향식 정보처리와 의사결정 과정을 통해 무생물 분류가 수행됨을 의미한다(Swaminathan & Freedman, 2012).

Conclusions and Educational Implications

생물교육 전공 예비교사들을 대상으로 생물 분류와 무생물 분류과정 동안 나타나는 두뇌 활성을 측정함으로써 두 가지 서로 다른 대상 유형에 따른 공통점과 차이점을 확인하고 인지적 차이를 규명하고자 하였으며, 두뇌영상 측정을 통해 획득한 자료들을 분석하여 다음과 같이 결론 내릴 수 있었다.

첫째, 생물 분류와 무생물 분류의 정보 처리는 두뇌 수준에서 서로 다른 경로를 통해 수행된다. 예비교사의 두뇌 활성은 생물 분류과정에서는 전두-측두-후두로 이어지는 상향식 정보처리 경로가 주요한 활성영역으로 나타났으며, 무생물 분류과정에서는 전두-두정-후두로 이어지는 하향식 정보처리 경로가 주된 활성영역으로 나타났다. 분류 과정에 있어 하향식 정보처리 경로는 이전에 보유하고 있는 구체적 개념을 기준으로 입력된 시각 정보를 인식하고 범주를 선택하는 과정과 관련되며, 상향식 정보처리 경로는 관찰 결과 획득한 시각 정보들로부터 유사성을 발견하여 분류 기준으로 선택하는 인지적 과정과 관련된다. 그러므로 예비교사의 생물 분류는 상향식 정보처리 경로를 따라 유사성 기반 전략을 통해 수행되며, 무생물 분류의 경우 하향식 정보처리 경로를 따라 규칙 기반 전략을 통해 수행하고 있음을 알 수 있었다.

둘째, 예비교사의 생물 분류와 무생물 분류 두뇌 활성은 부분적으로 공통되는 신경학적 시스템을 지닌다. 두뇌 활성의 주효과 분석 결과 생물 분류와 무생물 분류과정 모두 전두영역의 배외측전전두피질과 전운동피질이 관련되어 있었으며, 양쪽 반구에서 유사한 활성이 확인되었다. 이러한 결과는 규칙 기반 범주학습 및 유사성 기반 범주학습 모두에 있어 정보의 통합과 분석 및 범주의 생성과 선택을 조절하는 신경학적 시스템은 배외측전전두피질이라는 연구(Edmunds et al., 2018; Milton et al., 2017)들과 동일한 것이었다. 그러나 상호감산 결과 전운동피질에서 유의한 활성이 나타난 것은 무생물 분류에 한정되므로, 무생물 분류는 구체적 개념을 활용한 규칙 기반 전략을 통해서 분류를 수행한다는 것을 의미하였다. 결국, 예비교사의 생물 분류는 유사성 기반 전략을 통해 주로 분류과정을 수행하지만, 부분적으로 규칙 기반 전략을 함께 활용하고 있음을 나타낸다. 즉, 생물 대상에서 관찰된 속성을 기반으로 분류기준을 생성함과 동시에 구체적 개념의 형태로 보유하고 있는 분류기준과 비교함으로써 분류를 수행하는 것이라 볼 수 있다.

예비교사에 대해 두뇌 활성 분석법을 활용하여 생물 분류와 무생물 분류과정의 신경학적 공통점과 차이점을 확인함으로써 다양한 사실을 발견할 수 있었으며, 이를 통해 예비교사 교육과 생물 학습 측면에서 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 생물 분류와 무생물 분류 학습을 통해 수렴적 문제해결과정을 경험하고 학습할 수 있다. 생물 분류와 무생물 분류 과정동안 나타나는 두뇌 활성 분석 결과 대뇌 피질 수준에서 다양한 영역의 활성화와 기능적 연계성을 확인할 수 있었다. 또한 제공된 다양한 시각적 정보를 처리하는 신경학적 시스템이 분리되어 상향식 정보처리와 하향식 정보처리를 나타내며, 생물 분류는 부분적으로 두 가지 신경학적 시스템의 활성을 나타내기도 하였다. 그러므로 생물 분류와 무생물 분류활동을 제공한다면, 수렴적 문제해결과정의 요소인 서로 다른 정보의 분석과 관계의 검토, 패턴과 유사성의 발견, 범주화를 경험함과 동시에 두뇌의 정보처리 전략이 특정 부분으로 편측화되는 것을 방지할 수 있을 것이다.

둘째, 예비교사가 생물 분류와 무생물 분류과정에 대한 교수학습 방법을 연습할 수 있는 기회가 체계적으로 제공되어야 한다. 예비교사는 교육현장에서 학생들을 지도하는 최일선에 서게 되나, 그들이 가르치는 학생들은 상대적으로 구체적 개념을 적게 보유하고 있다. 예비교사의 분류 전략은 대상이 생물 혹은 무생물인지에 따라 서로 분리되어 있으나, 구체적 개념을 활용하는 경향성이 생물 분류에서도 일부 나타나고 있다. 그러므로 규칙기반 분류전략에 어려움을 겪을 수 밖에 없는 학생들을 대상으로 지도하기 위해서는 서로 다른 분류 전략을 자유롭게 대상과 상황에 따라 적용할 수 있는 교수학습 방법을 연습하고 적용할 수 있는 기회를 예비교사들에게 제공해야 한다.

References

- Amedi, A., Hofstetter, S., Maidenbaum, S., & Heimler, B. (2017). Task selectivity as a comprehensive principle for brain organization. *Trends of Cognitive Science*, 21, 307-310.
- Anderson, J. R. (1991). The adaptive nature of human categorization. *Psychological Review*, 98, 409-429.
- Apitz, T., & Bunzeck, N. (2012). Reward modulates the neural dynamics of early visual category processing. *NeuroImage*, 63, 1614-1622.
- Ashby, F. G., & Maddox, W. T. (2011). Human category learning 2.0. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 1224, 147-161.
- Badre, D., & Nee, D. E. (2018). Frontal cortex and the hierarchical control of behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 22, 170-188.
- Bastos, A. M., Vezoli, J., Bosman, C. A., Schoffelen, J. M., Oostenveld, R., Dowdall, J. R., De Weerd, P., Kennedy, H., & Fries, P. (2015). Visual areas exert feedforward and feedback influences through distinct frequency channels. *Neuron*, 85, 390-401.
- Becker, S., & Wojtowicz, J. M. (2007). A model of hippocampal neurogenesis in memory and mood disorders. *Trends in Cognitive Science*, 11, 70-76.
- Bell, A. H., Hadj-Bouziane, F., Frihauf, J. B., Tootell, R. B., & Ungerleider, L. G. (2009). Object representations in the temporal cortex of monkeys and humans as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neurophysiology*, 101, 688-700.
- Berkman, E. T., Hutcherson, C. A., Livingston, J. L., Kahn, L. E., & Inzlicht, M. (2017). Self-control as value-based choice. *Current Directions in Psychological Science*, 26, 422-428.
- Blair, M. R., Watson, M. R., Walshe, R. C., & Maj, F. (2009). Extremely selective attention: Eye-tracking studies of the dynamic allocation of attention to stimulus features in categorization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 1196-1206.
- Boettiger, C. A., & D'Esposito, M. (2005). Frontal networks for learning and executing arbitrary stimulus-response associations. *Journal of Neuroscience*, 25, 2723-2732.

- Brincat, S. L., Siegel, M., von Nicolai, C., & Miller, E. K. (2018). Gradual progression from sensory to task-related processing in cerebral cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115, E7202-E7211.
- Byeon, J. H., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J.(2014). Cognitive difference of thinking process between science and general high school students' brain activation on biological classification. *Biology education*, 42, 194-207.
- Byeon, J. H. (2020). The analysis of gaze fixation and gaze movement pattern on animate and inanimate classification between high school student and pre-teacher. *Biology Education*, 48, 308-325.
- Caramazza, A., & Mahon, B. Z. (2003). The organization of conceptual knowledge: The evidence from category-specific semantic deficits. *Trends in Cognitive Science*, 7, 354-361.
- Choi, H. D., Yang, I. H., & Kwon, C. S. (2006). Classification activity thoughts of elementary sixth grade pupils about artificial and natural stimulus. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 26, 40-48.
- Christopoulos, V. N., Kagan, I., & Anderson, R. A. (2018). Lateral intraparietal area(LIP) is largely effector-specific in free choice decisions. *Scientific Report*, 8, 8611.
- Cropley, A. J. (2006). In praise of convergent thinking. *Creativity Research Journal*, 18, 391-404.
- Davis, T., Goldwater, M., & Giron, J. (2017). From concrete examples to abstract relations: The rostrolateral prefrontal cortex integrates novel examples into relational categories. *Cerebral Cortex*, 27, 2652-2670.
- Dias, R., Robbins, T. W., & Roberts, A. C. (1997). Dissociable forms of inhibitory control within prefrontal cortex with an analog of the Wisconsin Card Sort Test: restriction to novel situations and independence from "on-line" processing. *Journal of Neuroscience*, 17, 9285-9297.
- Edmunds, C. E. R., Milton, F., & Wills, A. J. (2018). Due process in dual process: model-recovery simulations of decision-bound strategy analysis in category learning. *Cognitive Science*, 42, 833-860.
- Folstein, J. R., Plmeri, T. J., Van Gulick, A. E., & Gauthier, I. 2(2015). Category learning stretches neural representations in visual cortex. *CURRENT DIRECTIONS IN PSYCHOLOGICAL SCIENCE*, 24, 17-23.
- Freedberg, M., Glass, B., Filoteo, J. V., Hazeltine, E., & Maddox, W. T. (2017). Comparing the effects of positive and negative feedback in information-integration category learning. *Memory & Cognition*, 45, 12-25.
- Fu, Q., Liu, Q. J., Dienes, Z., Wu, J., Chen, W., & Fu, X. (2016). The role of edge-based and surface-based information in natural scene categorization: evidence from behavior and event-related potentials. *Consciousness and Cognition*, 43, 152-166.
- Genovese, C. R., Lazar, N. A., & Nichols, T. (2002). Thresholding of statistical maps in functional neuroimaging the false discovery rate. *NeuroImage*, 15, 870-878.
- Grossman, M., Koenig, P., Kounios, J., McMillan, C., Work, M., & Moore, P. (2006). Category-specific effects in semantic memory: Category-task interactions suggested by fMRI. *NeuroImage*, 30, 1003-1009.
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy G. (2004). *Functional Magnetic Resonance Imaging*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc.
- Jensen, O., Bonnefond, M., Marshall, T. R., & Tiesinga, P. (2015). Oscillatory mechanisms of feedforward and feedback visual processing. *Trends in Neuroscience*, 38, 192-194.
- Jin, G., Li, K., Qin, Y., Zhong, N., Zhou, H., Wang, Z., Xiang, J., Hu, Y., Wang, M., & Zeng, Q. (2012). fMRI study in posterior cingulate and adjacent precuneus cortex in healthy elderly adults using problem solving task. *Journal of the Neurological Science*, 318, 135-139.
- Jocham, G., Furlong, P. M., Kroger I. L., Kahn, M. C., Hunt, L. T., & Behrens, T. E. (2014). Dissociable contributions of ventromedial prefrontal and posterior parietal cortex to value-guided choice. *NeuroImage*, 100, 498-506.
- Kahnt, T., Heinze, J., Park, S. Q., & Haynes, J. D. (2010). Decoding different roles for vmPFC and dlPFC in multi-attribute decision making. *NeuroImage*, 56, 709-715.

- Kalenine, S., Peyrin, C., Pichat, C., Segebartch, C., Bonthoux, F., & Baciú, M. (2009). The sensory-motor specificity of taxonomic and thematic conceptual relations: A behavioral and fMRI study. *NeuroImage*, 44, 1152-1162.
- Kemp, C., & Tenenbaum, J. B. (2009). Structured statistical models of inductive reasoning. *Psychological Review*, 116, 20-58.
- Kim, D. R. (2021). Transforming a science educator's thinking of roles into Janusian perspectives. *Biology Education*, 49, 1-14.
- Kwon, S. H., Eon, J. T., & Kwon, Y. J. (2014). Brain regions associated with digital contents addiction: focus on brain-imaging for internet and video game addiction. *Brain, Digital, & Learning*, 4, 11-20.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., & Lee, I. S. (2007). Development of the classification ability quotient equation through the analysis of science teachers' classification knowledge generated in the pollen classification task. *Secondary Education*, 55, 21-43.
- Kéri, S. (2003). The cognitive neuroscience of category learning. *Brain Research Reviews*, 43, 85-109.
- Lee, Y. J., & Kwon, Y. J. (2016). Human sociality in a view of brain activation: focused on social pain and pleasure. *Brain, Digital, & Learning*, 6, 21-29.
- Lee, Y. M., Kang, E. H., & Kim, N. M. (2019). Changes in biological classification content according to the revision of science curriculum at different school levels in Korea. *Biology Education*, 47, 87-96.
- Levin, D. T., Takarae, Y., Miner, A. G., & Keil, F. (2001). Efficient visual search by category: Specifying the features that mark the difference between artifacts and animals in preattentive vision. *Perception & Psychophysics*, 63, 676-697.
- Lin, N., Xu, Y., Wang, X., Yang, H., Du, M., Hua, H., & Li, X. (2019). Coin, telephone, and handcuffs: Neural correlates of social knowledge of inanimate objects. *Neuropsychologia*, 133, 107-187.
- Long, B., Yu, C. P., & Konkle, T. (2018). Mid-level visual features underlie the high-level categorical organization of the ventral stream. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115, E9015-E9024.
- Lowder, M. W., & Gordon, P. C. (2015). Natural forces as agents: reconceptualizing the animate-inanimate distinction. *Cognition*, 136, 85-90.
- Lu, A. Li, X., & Meng, M. (2016). Encodings of implied motion for animate and inanimate object categories in the two visual pathways. *NeuroImage*, 125, 668-680.
- Milton, F., Bealing, P., Carpenter, K. L., Bennattayallah, A., & Wills, A. J. (2017). The neural correlates of similarity- and rule-based generalization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29, 150-166.
- Ministry of Education (2021). *The Plan of Future Curriculum with the People*. Sejong: Ministry of Education.
- Ministry of Education. (2015). *2015 Revised Curriculum-Science*. Seoul: Ministry of Education.
- Mohan, K., & Arun, S. P. (2012). Similarity relations in visual search predict rapid visual categorization. *Journal of Vision*, 12, 1-24.
- Naselaris, T., Stansbury, D. E., & Gallant, J. L. (2012). Cortical representation of animate and inanimate objects in complex natural scenes. *Journal of physiology-Paris*, 106, 239-249.
- Noh, S. M., Yan, V. X., Vendetti, M. S., Castel, A. D., & Bjork, R. A. (2014). Multilevel induction of categories: Venomous snakes hijack the learning of lower category levels. *Psychological Science*, 25, 1592-1599.
- Paniukov, D., & Davis, T. (2018). The evaluative role of rostral lateral prefrontal cortex in rule-based category learning. *NeuroImage*, 166, 19-31.
- Park, K. S., Yoon, K. S., & Jeon, S. H. (2011). Development of sequential classification program for arthropods taxonomy. *School Science Journal*, 5, 92-108.
- Park, S. H., Park, J. S., Hwang, N. R., Kwon, S. H., & Kwon, Y. J. (2019). An exploration of the brain study through a practical measurement and application using f-NIRS in educational research. *Brain, Digital, & Learning*, 9, 213-231.

- Pessoa, L., & Engelmann, J. B. (2010). Embedding reward signals into perception and cognition. *Frontiers in Neuroscience*, 4, 17.
- Ploran, E. J., Tremel, J. J., Nelson, S. M., & Wheeler, M. E. (2011). High quality but limited quantity perceptual evidence produces neural accumulation in frontal and parietal cortex. *Cerebral Cortex*, 21, 2650-2662.
- Proklova, D., Kaiser, D., & Peelen, M. V. (2019). MEG sensor patterns reflect perceptual but not categorical similarity of animate and inanimate objects. *NeuroImage*, 193, 167-177.
- Rabi, R., & Minda, J. P. (2014). Rule-based category learning in children: The role of age and executive functioning. *PLoS ONE*, 9, e85316
- Schmidt, F., Hegele, M., & Fleming, R. W. (2017). Perceiving animacy from shape. *Journal of Vision*, 17, 1-15.
- Seger, C. A., & Miller, E. K. (2010). Category Learning in the Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 33, 203-219.
- Seger, C. A., & Peterson, E. J. (2013). Categorization=decision making+generalization. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37, 1187-1200.
- Siegel, M., Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2015). Cortical information flow during flexible sensorimotor decisions. *Science*, 348, 1352-1355.
- Song, J. W., Kang, S. J., Kwak, Y. S., Kim, D. G., Kim, S. H., Na, J. Y., ... Joung, Y. J. (2019). Contents and features of 'korean science education standards(KSES)' for the next generation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 39, 465-478.
- Sternberg, R. J. (2005). The domain generality versus specificity debate: How should it be posed? In J. C. Kaufman & J. Baer (eds.), *Creativity Across Domains: Faces of the Muse*. NJ: Erlbaum.
- Sternberg, R., & O'Hara, L. A. (2000). Intelligence and creativity. In R. Sternberg(ed.), *Handbook of Intelligence*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Swaminathan, S. K., & Freedman, D. J. (2012). Preferential encoding of visual categories in parietal cortex compared with prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, 15, 315-320.
- Van Essen, D. C., Smith, S. M., Barch, D. M., Berhrens, T. E., Yacoub, E., & Ugurbil, K. (2013). The Wu-minn human connectome project: An overview. *NeuroImage*, 80, 62-79.
- Wang, Y., & Chiew, V. (2010). On the cognitive process of human problem solving. *Cognitive Systems Research*, 11, 81-92.
- Wiggett, A. J., Pritchard, I. C., & Downing, P. E. (2009). Animate and inanimate objects in human visual cortex: evidence for task-independent category effects. *Neuropsychologia*, 47, 3111-3117.
- Wutz, A., Loonis, R., Roy, J. E., Donoghue, J. A., & Miller, E. K. (2018). Different levels of category abstraction by different dynamics in different prefrontal areas. *Neuron*, 97, 716-726.
- Zachariou, V., Del Giacco, A. C., Unerleider, L. G., & Yue, X. (2018). Bottom-up processing of curvilinear visual features is sufficient for animate/inanimate object categorization. *Journal of Vision*, 18, 1-12.
- Zhou, X. Y., Fu, Q. F., Rose M., & Sun, Y. Q. (2019). Which matters more in incidental category learning: Edge-based versus surface-based features. *Frontiers in Psychology*, 10, 183.

Author Information

Byeon, Jung-Ho: Samcheok High School, Teacher, First Author

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0109-7866>