

RESEARCH ARTICLE

The Comparison of Brain Activities by Academic Achievement and Cognitive Style According to Mathematical Representations - fNIRS Study

Sung-yoon Yoo¹ · Doyeon Ahn² · Kwang-Ho Lee^{3*}

¹Daejeon Donghwa Elementary School

²Chenan Cheongdang Elementary School

³Korea National University

수학 표상에 따른 학업성취도와 인지양식별 뇌 활성 비교 - fNIRS 연구

유성윤¹ · 안도연² · 이광호^{3*}

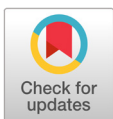
¹대전동화초등학교 · ²천안청당초등학교 · ³한국교육대학교

*Corresponding Author: paransol@knue.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate and analyze fNIRS data according to mathematical representations of 6th grade elementary school students, and to obtain meaningful results in relation to mathematical representations by classifying them by academic achievement and cognitive style. The test is consisted of solving addition, subtraction of fractions using visual, verbal and numeric representation. Based on an achievement test and a cognitive style test, 36 students were classified into a high group and a low group by academic achievement, and into a visualizer group and a verbalizer group by cognitive style. Brain activity data were collected for each group. Regardless of academic achievement and cognitive style, students were most familiar with mathematical problems expressed in numerical representations. The students with low academic achievement showed more active prefrontal activity when solving mathematical problems of visual representation and verbal representation. The visual representation group showed significant activity in the prefrontal cortex when solving problems with visual representations. This study shows that various representations into numeric representations are needed to convert. It is effective to use more than one representation for students with low academic achievement.

Key words: fNIRS, brain activity, the prefrontal cortex, visual presentation, verbal presentation, cognitive style, fraction, math achievement



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2022, Vol. 12, No. 3, 523-540.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20220032>

Received: September 05, 2022

Revised: September 16, 2022

Accepted: September 16, 2022

© 2022. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



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

Introduction

수학에서 표상은 문제 해결을 위한 첫 과정인 문제의 이해와 직결된다(Greeno, 1978). 구문론적 다양성, 보편성에 따른 상징적 체계의 사용은 수학에서 매우 중요하며, 이를 포괄하는 개념이 표상이다(Goldin, 2008). 학생들은 저마다의 방식으로 문제를 해결하려 하며, 다양한 표상들 중에서 쉽다고 여겨지는 표상을 사용하여 문제를 풀고자 한다. 적합한 표상을 선택하여 문제를 푸는 것은 학생들에게 수학에 대한 자신감을 심어주고, 문제 해결에 도전하는 것에 대한 두려움을 줄여준다. 또한 학교 수학의 시각화를 위하여 시각표상, 언어표상 등 다양한 형태의 표상을 많이 접할 수 있게 해줄 필요가 있다(Kim & Jang, 1996). 학업성취도에 따른 표상 활용 능력에 대해 연구한 Kim & Kwean (2010)은 상위권 학생들은 표상 유형에 대한 정확한 이해와 사용을 통해 수학 학습에 대한 자신감을 얻게 되어 더욱 효율적으로 문제를 해결하였으나, 학업성취도가 낮을수록 스스로 표상 양식을 정하는 것을 어려워하였으며, 표상을 사용한다 하더라도 문제 해결을 위한 핵심적인 내용이 빠져있는 경우가 많다고 밝혔다.

또한 수학 표상은 학습자료의 제시 측면에서 학업성취도뿐만 아니라 인지양식에 따라서도 다르게 제공될 필요가 있다. Cho & Han (2002)에 따르면, 개인마다 사물을 인지하고 지각하는 방식이 달라 개인이 선호하는 인지양식에 맞게 학습자료의 유형을 구성하거나 재구조화하는 것이 학습에 영향을 미친다고 한다. Riding & Watts (1997)에 의하면, 실제로 동일한 유형의 학습자료가 제시되어도 학습자의 학습스타일 등의 개인적 특성에 따라 다른 학습 수행을 보인다. 또한 학습자들은 자신의 정보처리양식에 적합한 자료를 더 매력적으로 느껴, 그러한 자료를 선택하는 경향을 보였다. 즉, 시각표상자들은 시각 자료를, 언어표상자들은 언어 자료를 더 선호하는 것이다. 학습자들이 습관적으로 사용하고 선호하는 인지양식에 부합되게 정보를 제공한다면, 부가적인 노력을 요구하지 않게 되어 인지부하를 줄여주고, 인지 자원을 학습에 효과적으로 사용할 수 있도록 해줄 것이다(Cho & Han, 2002).

이에 본 연구는 문제 해결에 있어 학생의 학업성취도와 인지양식에 따라 학습 수행에 도움을 주는 표상이 다를 것이라고 가정하고, 표상에 따른 뇌 활성정도를 파악해 분석하고자 하였다. 기존의 수학 표상과 문제 해결에 관련된 연구는 서술형 검사의 형태를 띠고 있었던 반면(Hwang & Pang, 2009; Kim & Kwean, 2010; Kim & Paik, 2005; Lee & Jun, 2005; Lee & Kang, 2012), 본 연구에서는 자료 수집을 기존과는 다르게 fNIRS(functional Near Infrared Spectroscopy)를 활용함으로써 머릿속에서 일어나는 인지과정을 객관적인 양적 데이터로 변환하여 분석하고자 하였다. fNIRS는 뇌에서 발현되는 사고 과정, 지각, 기억, 감정 등이 어떻게 진행되는지를 뇌 활성 데이터를 통해 밝히는 인지신경과학 기술이다.

본 연구는 초등학교 6학년을 대상으로 수학 문제 해결 시, 수학 표상에 따른 두뇌 활성도를 학업성취도와 인지양식별로 분석하여 학업성취도 향상 및 효과적인 수학 학습에 도움이 되는 수학 표상을 제안하고자 한다. 이를 위한 연구 문제는 다음과 같다.

가. 수학 표상에 따른 학업성취도별 뇌 활성도는 어떠한가?

나. 수학 표상에 따른 인지양식별 뇌 활성도는 어떠한가?

Background

Representation

표상은 사고를 위한 강력한 도구이다. 표상은 학생들이 문제를 접할 때, 수학의 본질적인 특성에 집중하게 해주어 학습자들의 추론을 도와주고 확장 시켜 줄 수 있다. 또한 학생들이 서로 다른 상황 속 공통적 수학 요인들을 인식하는 것을 도와주며, 동일한 개념에 대해 가지는 서로 다른 표상 사이의 이해를 전이시키게 해준다(Choi, 2004). 표상은 학습자의 이해 형성에서 정보 간 의사소통과 추론 입증의 유용한 도구로 작용한다(Greeno & Hall, 1997).

표상의 유형에 대해 Friedlander & Tabach (2001)는 다음의 네 가지 유형과 각각의 장단점을 제시하였다. 첫째, 언어표상(verbal representation)은 문제와 상황을 표현해주고 해결 방법을 전달하는 환경을 만들어준다. 언어표상은 문제 해결을 위한 도구이며, 수학과 일상생활을 연결해준다. 그러나 개개인의 스타일에 대한 의존도가 수학적 의사소통에 장애물이 될 수 있다. 둘째, 숫자표상(numerical representation)은 대수학에서 다른 표상들과 연결해주며, 문제를 먼저 이해하고 특정 사례를 조사하는 데 중요한 역할을 한다. 단, 일반화가 어려울 수 있다는 단점이 있다. 숫자표상을 사용하는 것은 일반적인 그림 문제를 해결할 때 효과적이지 않으며, 때로는 문제 해결의 중요한 측면이나 해결 방법을 간과하게 한다. 셋째, 그래프 표상(graphical representation)은 실변수에서 실함수를 명확한 그림으로 제공하는 데 효과적이다. 그래프 표상은 직관적이며 시각적 접근 방식에서 매력적이다. 그러나 정확도가 다소 부족할 수 있으며, 문제의 일부만 표시할 수 있다는 단점이 있다. 넷째, 대수적 표상(algebraic representation)은 패턴과 수학적 모델을 표현할 때, 간결하고 일반적이며 효과적이다. 대수적 표상의 조작은 일반화할 수 있는 유일한 방법이다. 그러나 어떤 학습의 단계에서 수학적 의미 또는 특성을 흐리게 하거나 방해할 수 있으며, 때때로 결과 해석이 어려울 수 있다.

Lesh et al. (1987)은 EIS이론의 제한점을 보완하여 실세계 상황, 구체적 조작물, 그림과 이미지, 언어 기호, 수학적 기호의 다섯 가지의 표상을 제시하고 표상 간 내부 변환활동이 이루어져야 한다고 설명하였다. Kim & Jang (1996)은 Bruner와 Lesh의 모델을 참고하여 실제적 표상, 조작적 표상, 시각적 표상, 언어적 표상, 기호적 표상으로 분류하였다.

본 연구에서 사용한 과제는 동분모 분수의 덧셈과 뺄셈의 혼합계산이다. 이는 2015 개정 교육과정에 따른 수학 교과서와 수학익힘책의 4학년 2학기 1단원 ‘분수의 덧셈과 뺄셈’ 단원에서 학습하는 내용으로 이 단원에서 다뤄진 표상의 유형인 시각표상, 언어표상, 숫자표상을 분석하여 과제를 구성하였다. 이 단원에서 사용된 시각표상에는 수막대, 수직선, 영역모델이 있다. 학생들의 반응을 수집가능한 수직선과 영역모델 중 예비 실험을 거쳐 학업성취도에 관계없이 학생들이 용이하게 반응하였던 영역모델의 과제를 제작하였다. 언어표상의 유형에는 음성(speech)또는 문자(writing)이 있는데(Villegas et al., 2009), 언어표상만이 가지고 있는 요소이며 숫자표상과 구분되는 음성으로 과제를 제시하였다.

Cognitive Style

Cho (1991)에 따르면, 인간은 지능, 흥미, 적성, 동기 등 여러 요소에서 개인적 차이를 보인다. 자신을 둘러싸고 있는 외부 환경이나 그런 환경에 놓여있는 사물을 지각할 때, 인지적·정의적 특성에 따라 주어진 정보나 상황에 대해 저마다의 방식으로 지각하고, 사고하는 등의 인지 활동을 수행한다. 인지양식은 인지과정에서 이러한 개인적 차이를 설명해줄 수 있다.

Kagan et al. (1963)은 인지양식을 외부 환경을 지각적으로 조직하고 개념적 유목화를 할 때 개인이 일관되게 하는 선호 방식이라고 정의하였고, Witkin (1967)은 개인의 인지 활동, 즉 지각 및 인지 활동 전반에 걸쳐있는, 개인의 특별하고, 일관적인 기능양식이라고 보았다. Ausubel et al. (1968)은 인지적 조직과 인지 기능에서 나타나는 지속적, 일관적인 개인차, Coop & Sigel (1971)은 다양한 행동 상황에서 일관적으로 기능하는 개인의 기능양식, Tennant (2019)는 정보를 구성하고 처리하는 개인의 특성과 일관된 접근 방식이라고 설명하였다. 이처럼 인지양식은 학자마다 조금씩 다르게 정의하고 있지만 본질적으로 사물을 지각 및 인지하는 개인의 독특하고 일관된 정보처리 양식을 의미하며, 개인의 능력의 차이는 아니다.

Richardson (1977)은 VVQ(Verbalizer-Visualizer 질문지)를 개발하였다. 이 질문지를 통해 시각적, 언어적 차원에서 개개인의 인지양식을 측정할 수 있다. Kirby et al. (1988)은 이 연구를 바탕으로 시각표상자는 시각적 학습 방식, 언어표상자는 언어적 학습 방식과 가장 강한 상관이 있음을 보여주었다. 또한 개개인을 시각표상자와 언어표상자로 구분하는 인지양식 측정도구를 개발하였다. 본 연구에서는 Kirby et al. (1988)의 질문지를 우리말로 번안한 Cho & Han (2002)의 인지양식 검사지를 사용하였다.

학습자들에게 비선호의 양식으로 정보가 제공된다면, 학습자는 자신에게 맞게 정보를 재조직한다. 시각표상자들은 문자 정보를 그림으로 변환할 것이고, 언어표상자들은 그림으로 제공된 정보를 단어나 의미표상으로 변환시킬 것이다. 이러한 변환의 과정은 부가적인 노력을 요구하며, 주어진 정보 그대로를 학습하는 데 도움이 되지 않는다(Sweller, 1989). 따라서 개인의 인지양식에 적합한 형태로 학습자료를 구조화하는 것은 필요 없는 인지 부하를 줄여줄 것이고, 학습에 인지 자원을 효과적으로 사용할 수 있게 해준다(Cho, 2000).

fNIRS

기능적 근적외 분광법(Functional Near Infrared Spectroscopy, fNIRS)은 인체에 무해한 서로 다른 파장의 빛을 인체에 조사한 후 산화헤모글로빈과 탈산화헤모글로빈에 따라 다르게 감쇄되어 돌아온 빛을 수신하여, 혈액의 양 변화를 통해 두뇌 활성화 정도를 판단할 수 있는 방법이다(Hong et al., 2015).

인간의 뇌는 환경 자극에 반응할 때 많은 생리학적 변화를 겪는다. 혈액량과 전기화학적 활동의 변화는 광학 특성에 영향을 준다. 신경 활성화는 포도당 대사에 의해 촉진되며, 신경 활성화가 증가할수록 국소 모세혈관 층에서 포도당과 산소의 소비가 증가하여 뇌 혈류량 및 뇌 산소 대사량에 변화가 일어난다. 이때 뇌 산소 대사량의 변화가 공급되는 산소량에 비해 적으므로 혈액 내 산화헤모글로빈의 농도가 증가하고, 탈산화헤모글로빈의 농도는 감소하게 된다(Fox et al., 1988). 이러한 방법을 통해 두뇌가 암산과 같은 지적 능력을 사용할 때 전전두엽의 어떤 부분이 어떻게 활성화되는지 관찰할 수 있다(Hong et al., 2015). 높은 수준의 처리, 판단 및 계획을 하는 두뇌 영역인 전전두엽에 쉽게 접근할 수 있으며, 움직이는 대상에 대해서도 측정이 가능하다(Ryu & Lee, 2018).

fNIRS를 활용하여 측정할 수 있는 영역은 전두엽의 앞부분을 덮고 있는 전전두피질(Prefrontal Cortex)의 일부 영역이다. 이 전전두피질은 사람의 생존본능과 성격에 밀접한 연관을 가지고 있으며(DeYoung et al. 2010), 계획, 의사결정, 단기 기억, 사회적 행동 조절, 발화와 같은 언어의 조율을 담당한다(Yang & Raine, 2009).

전전두피질은 크게 배외측전전두엽피질(Dorsolateral Prefrontal Cortex, DLPFC), 복외측전전두엽피질(Ventrolateral Prefrontal Cortex, VLPFC), 전두극피질(Frontopolar Prefrontal Cortex, FPC), 안와전두엽피질(Orbitofrontal Cortex, OFC)의 4개 영역으로 나뉜다. 배외측 전전두피질은 작업기억, 추론 능력 등을 담당하며(Quintana & Fuster, 1999) 복외측 전전두피질은 작업기억, 언어능력, 주의집중 등을 담당한다. 전두극피질은 메타인지, 의사결정과 관련이 있다. 안와전두피질은 정서 조절 및 보상처리에 관여한다.

인간의 사고 과정에서 발생하는 기초 신경 매커니즘을 측정하기 위해 다양한 영상 장치가 사용되고 있다(Soltanlou et al, 2018). 대표적인 신경 영상 장치로 기능적 자기 공명 영상장치(fMRI), 기능적 근적외 분광법(fNIRS), 양전자 방출 단층 촬영장치(PET), 뇌전도 측정 장치(EEG), 뇌자도 측정 장치(MEG) 등이 있다.

fMRI는 높은 공간 해상도로 안전하고 비침습적인 신경 영상 촬영이 가능하므로 현재에서 두뇌 활성화 측정의 표준 기기이다. 그러나 fMRI는 의료 장비이므로 의료인이 아닌 교사가 사용하기에 한계가 있으며, 초등학생을 대상으로 할 때 유의하여야 하고 많은 비용이 소모된다는 한계점이 있다(An, 2017). 이러한 제한점들을 해결하면서 뇌의 활성을 보다 효율적이고 쉽게 측정할 수 있는 새로운 신경 영상 촬영 방법의 필요에 따라(Hillman, 2007) fNIRS를 개발하게 되었다. fNIRS 기기는 조영제 등을 사용하지 않는 비침습적 방법으로 인체에 무해하며, 다른 신경 영상 장치에 비해 크기가 작아 휴대가 용이하고 연구 참여자의 움직임에 큰 영향을 받지 않아 초등학생을 대상으로 실험하기에 적합하다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 OBELAB Inc.에서 개발한 fNIRS 측정 기기인 NIRSIT(NS1-H20A)를 사용하였다. 기기 안쪽 면에 부착된 24개의 레이저 센서는 780 nm, 850 nm 파장의 근적외선을 대뇌 피질에 방출하며 32개의 광 검출기(detector)가 돌아오는 빛을 수신한다. 센서는 근적외선이 통과할 수 있는 두피 안쪽 3cm 정도의 대뇌 피질 영역을 48개의 채널의 옥시헤모글리빈과 디옥시헤모글로빈의 농도값을 수집하여 각 채널별로 뇌 활성을 측정할 수 있다. NIRSIT를 활용하여 측정 가능한 48개의 채널 위치와 관련된 뇌 영역은 Fig. 1과 같다.

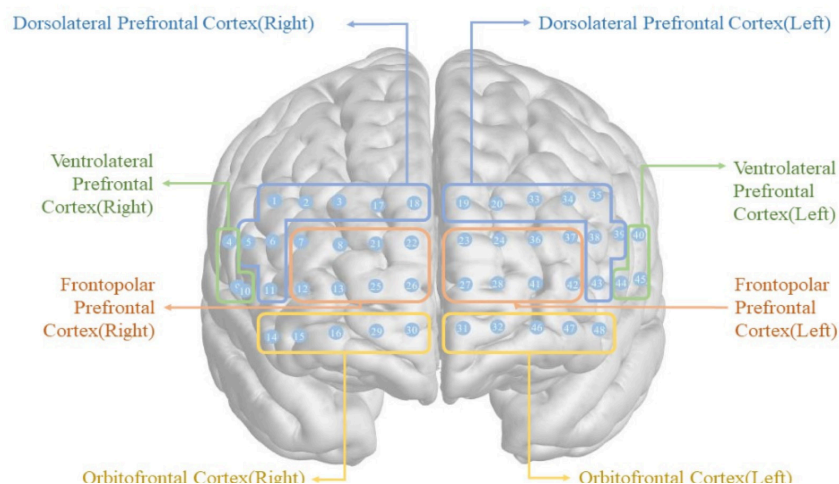


Fig. 1. 48 channels and Broadman area measurable with NIRSIT (OBELAB, 2019)

Methods

Participants

본 연구의 참여자는 연구에 자발적으로 참여하기로 하고 동의서를 작성한 대전 소재의 D 초등학교의 6학년 학생(36명)으로 선정하였다. 뇌 혈류량에 따라 측정값이 결정되므로 심장 또는 심혈관 질환이 없는 학생들을 선정하였으며, 왼손잡이는 뇌의 활용양상이 오른손 잡이와 차이가 있어 오른손 잡이를 대상으로 실험을 진행하였다.

Procedure

본 연구는 수학 표상에 따라 학생들의 전전두엽 활성 데이터가 어떻게 변화하는지를 학업성취도와 인지양식별로 집단을 나누어 알아보는 것을 목적으로 한다. 본 연구에 앞서 전라남도 나주시에 소재한 N 초등학교 6학년 중 참여 희망자(5명 참여)를 대상으로 예비 검사를 실시하였다. 난이도 조정을 통하여 본 실험의 문항은 분수의 덧셈과 뺄셈이 다양한 순서로 혼합되어 있는 문항들로 제작하였다. 실험을 진행하기에 앞서 연구 참여자 36명을 대상으로 학업성취도와 인지양식을 파악하기 위한 사전 검사를 실시하였다. 학업성취도를 진단하기 위한 검사지는 약분, 통분, 분수의 덧셈과 뺄셈, 혼합계산으로 이루어진 10개의 문항으로 구성되었으며, 2015 개정 교육과정에 따른 수학 교과서 및 지도서 4학년 1학기 2단원의 문항들을 선정하여 숫자만 수정하여 제작하였다. 문항의 타당도를 얻기 위하여 현 6학년 담임교사 12명에게 문항과 함께 체크리스트를 제공하여 각 문항의 적절성을 5점 척도로 표시하도록 하였으며 Cronbach's α 값 0.6이하의 문항은 삭제하고 새로 보충하여 재검사하였다. 그 결과 CVI=0.92의 타당성과 Cronbach's α 값은 0.65의 신뢰성을 확보하였다(Appendix 1). 인지양식을 진단하기 위한 검사지는 Cho & Han (2002)의 인지양식 검사지를 사용하였다. 시각표상요인에 대해 묻는 10개의 문항과 언어표상요인에 대해 묻는 10개의 문항으로 구성되어 있다. 초등학생들의 수준을 고려하여 '매우 그렇다'의 4점부터 '전혀 아니다'의 1점까지 4점 척도로 구성하였다. 이 검사의 신뢰도를 나타내는 Cronbach's α 값은 시각표상요인이 0.75, 언어표상요인이 0.64이다. 인지양식은 시각표상요인과 언어표상요인에 대한 각각의 문항에 대한 점수의 합을 구하여 점수가 더 높은 쪽의 표상을 따르는 것으로 하였다. 사전 검사 결과, 학업성취도 검사의 평균은 74.6점으로 이 점수 이상의 학생은 학업성취도 상 집단으로, 이 점수 미만의 학생은 학업성취도 하 집단으로 분류하였다. 학업성취도 상, 하 집단은 각각 18명씩 구성되었으며, 인지양식 집단은 시각표상자 23명, 언어표상자 13명으로 구성되었다.

본 실험에 사용된 과제는 Psychopy를 사용하여 주어진 문제를 시각표상, 언어표상, 숫자표상으로 풀 수 있도록 Fig. 2와 같이 구성하였으며, 각 3개 문항씩 총 9개의 문항을 제공하였다. 각각의 문제를 해결할 수 있는 시간은 30초이며, 문항과 문항 사이 휴식 시간도 동일하게 30초로 설정하여 블록 설계의 형태로 실험이 진행되도록 구성하였다. 본 문제를 풀기에 앞서 연습문제로 간단하게 설명해주어 학생들이 시각표상, 언어표상, 숫자표상에 대해서 정확하게 숙지하고 본 문제를 해결할 수 있도록 하였다(Appendix 2). 언어표상의 경우 '오분의 사 더하기 오분의 삼 더하기 오분의 일은 얼마입니까?'와 같이 음성으로 제시되었다.

학생들은 NIRSIT 기기를 착용하고 모니터에 주어진 문제를 눈으로 확인한 후, 교사가 제공하는 태블릿PC에 스마트폰을 활용하여 문제를 해결하였다. 태블릿PC의 화면을 모두 녹화하여 추후 분석 자료로 활용하였으며, 학생들이 문제를 해결하는 장면을 학생들의 뒤에서 캠코더로 녹화하여 행동 관찰에 사용하고자 하였다.

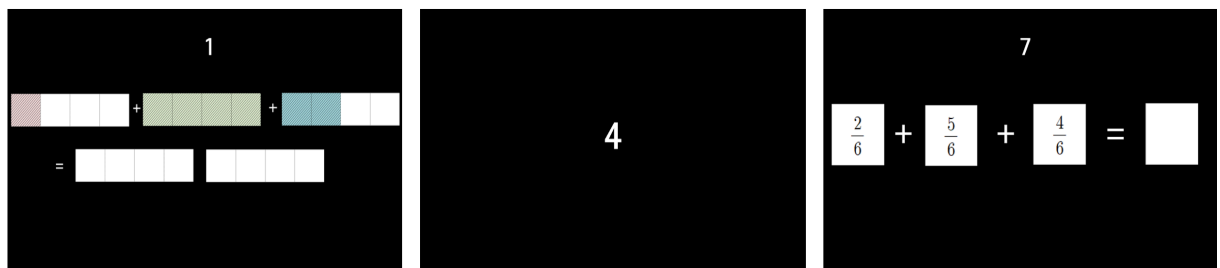


Fig. 2. Tasks for each representation provided by Psychopy

본 연구에서는 연구 참여자에게 기기를 착용하게 하고, Psychopy 프로그램을 사용하여 제작한 문항을 모니터로 보여주었다. Psychopy를 NIRSIT과 연동시켜 실험을 진행하면 NIRSIT Analysis Tool v3.6.1에 문제 풀이와 휴식에 대한 시간이 자동으로 표시되며, 엑셀 파일로 데이터를 추출할 수 있다.

뇌활성 측정 결과는 Raw 데이터로 컴퓨터에 자동 저장되며, 학생 행동 및 뇌 활성도 분석에 참고하기 위하여 학생들이 문제를 해결하는 장면을 캠코더로 녹화하였다. 아울러 태블릿PC를 활용하여 Fig. 3과 같이 문제를 푸는 장면을 녹화하여 추후 정답률 확인 및 학생들 문제 해결 방식을 분석하는 데 참고하였다.

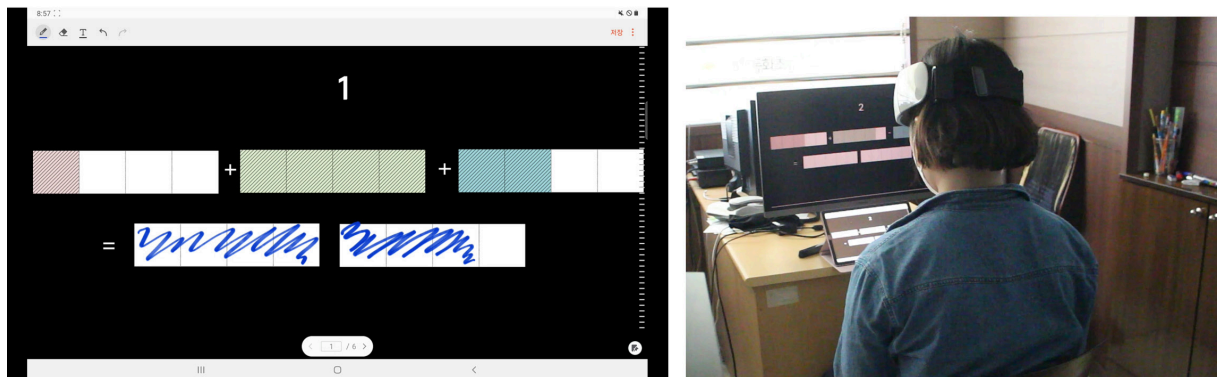


Fig. 3. A scene of solving a task with a tablet PC

본 연구에서는 NIRSIT 기기를 통해 얻은 두뇌 활성도 결과를 Analysis Tool v3.6.1을 사용하여 전처리 과정을 거친 뒤, SPSS(ver. 28.0)로 통계 처리하여 분석하였다.

전처리 과정은 다음과 같은 순서로 진행되었다. Analysis Tool v3.6.1에서 Raw 데이터에서 과제의 시작점과 끝점에 마커를 표시하였다. 그 후 Signal Processing 패널을 통해 저주파와 고주파의 잡음을 제거하고 급작스러운 움직임으로 인한 비정상적인 signal spike를 보정하였다. 노이즈가 많은 채널을 제거하고 보정하기 위해 baseline구간과 한계값을 설정하고, Set Block Average기능을 사용하여 몇 개의 과제를 사용할 것인지 선택하였다. 본 연구에서는 뇌 영역별 평균에서 유의미한 차이를 구하고자 하였으므로 브로드만 영역의 영역별 평균값을 산출하였다.

전처리된 데이터를 엑셀 파일로 도출한 후, 이 데이터를 전전두엽 4개 영역(DLPFC, VLPFC, FPC, OFC)과 3가지 표상 양식(시각표상, 언어표상, 숫자표상)으로 나누어 코딩하였다. 본 연구의 주목적은 학업성취도와 인지양식별로 나눈 집단 간 fNIRS 데이터를 비교하여 수학 표상에 따른 뇌 활성도를 분석하여 수학 교수·학습에 도움이 되고자 하는 것이다. 따라서 집단 간 fNIRS 데이터를 비교하여 유의미한 차이를 확인하기 위해 독립표본 t검정을 실시하였다.

Results

Brain Activity by Academic Achievement

수학 표상에 따른 학업성취도별 뇌 활성도를 비교하기 위하여 학업성취도에 따라 상, 하 2개 집단으로 나누어 시각표상, 언어표상, 숫자표상으로 문제를 해결할 때 전전두엽의 4개 영역의 활성도를 측정하였으며, 독립표본 t검정을 실시하여 데이터를 분석하였다. 각각의 수학 표상에 따른 분석 결과를 전전두엽의 DLPFC, VLPFC, FPC, OFC 영역 순서대로 제시하였다. 연구 참여자 36명 중 학업성취도 상 집단과 하 집단이 각각 18 명씩이며, 각 표상별 문항은 3문항씩이다. 다음에 제시되는 결과는 우측 영역과 좌측 영역을 합하여 독립표본 t검정을 실시하였다.

Brain Activity According to Visual Representation

시각표상으로 제시한 수학 문제 해결에 있어 DLPFC영역을 제외한 VLPFC, FPC, OFC영역에서 학업성취도에 따라 유의미한 차이를 보였다. VLPFC영역은 $t: -3.062, p: 0.002(p<0.05)$ 로 FPC영역은 $t: -3.225, p: 0.001(p<0.05)$, OFC영역은 $t: -2.073, p: 0.039(p<0.05)$ 로 나타났다. 모든 영역에서 학업성취도 ‘하’ 집단의 뇌 활성이 ‘상’집단에 비하여 높게 나타났다.

Table 1. Activity of brain area according to visual representation

Brain Area	Achievement (H:n=18, L:n=18)	M	SD	t	p
DLPFC	H	0.6791	11.6875	-0.825	0.410
	L	1.7570	6.9099		
VLPFC	H	-0.9602	7.2274	-3.062	0.002*
	L	2.4296	8.9493		
FPC	H	-0.6807	6.4327	-3.225	0.001*
	L	2.5035	7.9958		
OFC	H	0.2959	8.8884	-2.073	0.039*
	L	2.6990	8.1298		

* $p<0.05$

Brain Activity According to Verbal Representation

언어표상으로 제시한 수학 문제 해결에 있어서는 네 영역 모두에서 학업성취도에 따라 유의미한 차이가 나타났다. DLPFC영역은 $t: 0.1478, p: 0.046 (p<0.05)$, VLPFC영역은 $t: -3.388, p: 0.001(p<0.05)$ 로, FPC영역은 $t: -2.980, p: 0.003(p<0.05)$, OFC영역은 $t: -3.058, p: 0.003(p<0.05)$ 로 각각 차이를 보이며, 모든 영역에서 학업성취도 ‘하’ 집단의 뇌 활성이 ‘상’집단에 비하여 높게 나타났다.

Table 2. Activity of brain area according to verbal representation

Brain Area	Achievement (H:n=18, L:n=18)	M	SD	t	p
DLPFC	H	-0.8964	6.8261	0.1478	0.046*
	L	0.8792	6.1364		
VLPFC	H	-3.0301	10.1375	-3.388	0.001*
	L	1.3137	8.6441		
FPC	H	-3.0301	10.1375	-2.980	0.003*
	L	1.3137	8.6441		
OFC	H	-1.1386	6.0208	-3.058	0.003*
	L	1.1878	5.4361		

* $p < 0.05$

Brain Activity According to Numeric Representation

Table 3과 같이 숫자표상으로 문제를 해결했을 때, 전전두엽의 모든 영역에서 집단간 유의미한 차이가 보이지 않았다. 학업성취도 ‘상’ 집단과 ‘하’ 집단 모두 숫자표상을 가장 익숙한 표상으로 선택하였다. 뇌 활성화에서도 숫자표상으로 문제를 해결하는 것은 시각표상, 언어표상으로 문제를 해결하는 것에 비해 학업성취도의 영향을 덜 받는 것으로 나타났다.

Table 3. Activity of brain area according to numeric representation

Brain Area	Achievement (H:n=18, L:n=18)	M	SD	t	p
DLPFC	H	-0.2189	6.8897	-0.231	0.818
	L	-0.0055	6.6923		
VLPFC	H	0.1306	7.9701	-0.684	0.494
	L	1.0705	11.8372		
FPC	H	0.0974	6.5528	-0.579	0.565
	L	0.6060	6.4227		
OFC	H	0.0706	8.2490	-0.862	0.390
	L	0.9816	7.2525		

* $p < 0.05$

Brain Activity by Cognitive Style

수학 표상에 따른 인지양식별 뇌 활성도를 비교하기 위하여 인지양식에 따라 시각표상자, 언어표상자 2개 집단으로 나누어 시각표상, 언어표상, 숫자표상으로 문제를 해결할 때 전전두엽의 4개 영역의 활성도를 측정하였으며, 독립표본 t검정을 실시하여 데이터를 분석하였다.

Brain Activity According to Visual Representation

시각표상으로 제시한 수학 문제 해결에 있어서 인지양식에 따라 VLPFC영역을 제외한 세 영역에서 유의미한 차이가 나타났다. DLPFC영역은 $t: 2.228, p: 0.027(p < 0.05)$, FPC영역은 $t: 2.313, p: 0.022(p < 0.05)$, OFC영역은 $t: 2.262, p: 0.025(p < 0.05)$ 로 나타났으며, 시각표상자 집단의 뇌 활성이 언어표상자 집단보다 더 활발하게 나타났다.

Table 4. Activity of brain area according to numeric representation

Brain Area	Cognitive style (VS:n=23, VB:n=13)	M	SD	t	p
DLPFC	VS	2.2403	10.2375	2.228	0.027*
	VB	-0.6751	7.1131		
VLPFC	VS	0.9478	8.0325	0.344	0.731
	VB	0.5404	8.9120		
FPC	VS	1.6205	7.4238	2.313	0.022*
	VB	-0.7495	6.8799		
OFC	VS	1.6205	7.4238	2.262	0.025*
	VB	-0.7495	6.8799		

* $p < 0.05$

Brain Activity According to Verbal Representation

언어표상으로 제시한 수학 문제 해결에 있어서는 네 영역 모두에서 인지양식에 따른 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 통계적으로 유의미한 차이는 없었지만 평균값을 기준으로 비교해 보았을 때는 언어표상자 집단이 네 영역 모두에서 활성 값이 낮았다.

Table 5. Activity of brain area according to verbal representation

Brain Area	Cognitive style (VS:n=23, VB:n=13)	M	SD	t	p
DLPFC	VS	0.5229	6.2816	1.295	0.197
	VB	-0.7105	7.4462		
VLPFC	VS	-0.3546	10.1629	1.021	0.309
	VB	-1.1793	8.6528		
FPC	VS	-0.1867	5.9986	0.335	0.738
	VB	-0.4911	7.0960		
OFC	VS	0.2863	9.0097	3.549	0.000
	VB	-4.1948	8.7419		

* $p < 0.05$

Brain Activity According to Numeric Representation

숫자표상으로 문제 해결 시 시각표상자 집단과 언어표상자 집단의 전전두엽의 모든 영역에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 시각표상자 집단과 언어표상자 집단 모두 숫자표상을 가장 익숙한 표상으로 선택 하였으며, 이로 인해 뇌 활성도가 낮았음을 유추해볼 수 있다.

Table 6. Activity of brain area according to verbal representation

Brain Area	Cognitive style (VS:n=23, VB:n=13)	M	SD	t	p
DLPFC	VS	-0.4604	5.7716	-0.912	0.364
	VB	0.5039	8.2680		
VLPFC	VS	0.0219	8.0303	-1.123	0.263
	VB	1.6244	12.3908		
FPC	VS	0.5138	6.2005	0.502	0.616
	VB	0.0569	6.9729		
OFC	VS	0.7551	7.2798	1.631	0.104
	VB	-1.0358	8.5210		

* $p < 0.05$

Discussion

연구 결과를 바탕으로 학생들의 수학 표상에 따른 학업성취도별, 인지양식별 뇌 활성화 분석 결과에 대한 시사점을 논의하면 다음과 같다.

첫째, 학생들은 학업성취도와 인지양식에 관계없이 숫자표상으로 표현된 수학 문제를 가장 익숙하게 생각하였다. 숫자표상의 문제 해결에서 전전두엽 활성화 분석 결과 DLPFC, VLPFC, FPC, OFC 네 개 영역에서 학업성취도와, 인지양식에 따른 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 학업성취도 ‘하’ 집단 또한 동일한 난이도로 제시된 다른 표상의 문제에서는 ‘상’ 집단보다 뇌 활성이 활발하였으나 숫자 표상에서는 차이가 나타나지 않았다. 2015 개정 수학 교과서의 ‘분수의 덧셈과 뺄셈’ 단원에서 활용하는 표상 중 숫자표상이 가장 많이 활용되었다. 수학적 개념은 추상성을 지니기 때문에 대부분의 경우 숫자표상을 빌어 제시되는 것이 자연스러운 일이다(Kim & Jang, 1996). 학습자들이 습관적으로 사용하는 인지양식에 부합되는 정보를 제공하면 부가적인 노력을 요구하지 않게 되어 인지부하를 줄이고 학습목표에 효과적으로 도달할 수 있다(Cho & Han, 2002). 본 연구에서도 학생들에게 숫자표상의 문제가 주어졌을 때 익숙한 표상으로 문제가 주어졌을 때 인지부하가 적게 일어난다는 것을 뇌 활성도를 통해 확인하였다.

둘째, 학업성취도 ‘하’인 학생은 시각 표상과 언어표상의 수학문제 해결 시 전전두엽 활성이 더 활발했다. 시각표상의 문제 해결 시 활성화에 차이를 보였던 영역은 VLPFC, FPC, OFC 영역이었다. 언어표상은 네 영역 모두에서 유의미한 차이를 보였다. 선행연구들에 따르면 VLPFC 영역은 익숙하지 않은 정보를 판단하는 시각적 기억의 비교에 관여한다(Wagner et al., 2001). FPC 영역은 목표지향적인 특성을 가지며(Bae, 2020; Boorman et al., 2009; Zajkowski et al., 2017) 암산할 때 작업기억의 중앙집행기가 개입되며, 중앙집행기의 하위기관인 음운 루프는 한 자릿수 암산을 하기 위해 머릿속으로 계산을 할 때 사용된다(DeStefano & LeFevre, 2004). OFC 영역은 동기부여에 관여하며(Ballesta et al., 2020; Stalnaker et al., 2015), 자극과 보상의 연관성이 있을 경우, 학습을 지원하는 영역이기도 하다(O’Doherty et al., 2003). 이러한 전전두엽의 특성으로 미루어보아 학업성취도 ‘하’ 집단은 시각표상과 언어표상의 수학문제를 해결할 때 ‘상’집단에 비해 더 낯설다고 느끼며, 숫자 표상으로 주어진 문제에 비하여 문제 해결 시 더 많은 인지부하가 일어나고 있음을 알 수 있다.

셋째, 시각표상자 집단은 시각표상으로 문제를 해결할 때 전전두엽의 유의미한 활성을 보였다. VLPFC 영역은 불확실하거나 낯선 대상을 인식하는 때에 관여한다(Blackwood et al., 2004; Levy & Wagner, 2011; Volz et al., 2005). 또 단서가 부족하다고 느끼는 문제 해결 시 활성화된다(McLaughlin et al., 2009). 이러한 결과는 시각표상자가 시각표상의 정보를 처리할 때 더 적은 사고과정을 거친다(Cho, 2000; Sweller, 1989)는 선행연구와는 다소 차이가 있었다. 세부 영역을 살펴보면 VLPFC영역이 제외된 것으로 보아 시각표상의 문제가 익숙하거나 어렵다고 느끼지는 않았으나, DLPFC, FPC, OFC 영역에서 활성이 일어났다. 숫자표상, 언어표상의 문제 해결 시 보다 시각표상의 문제 해결에서 주의집중 및 동기부여, 목표지향적인 경향을 보인 것으로 해석할 수 있다.

넷째, 언어표상자 집단은 언어표상으로 문제를 해결할 때 시각표상자 집단과 비교하여 뇌활성의 차이가 없었다. 실험 후 면담에서 시각표상자 집단과 언어표상자 집단 모두 음성으로 제시되는 문제가 낯설고 긴장되게 느껴진다고 답하였다(시각표상자 74%, 언어표상자 69%). 표상 자체의 차이보다 언어 형태의 특징이 크게 반영된 것으로 보인다.

Friedlander & Tabach (2001)는 언어표상은 문제와 상황을 표현해주고 해결 방법을 전달하는 환경을 만들어 줄 수 있지만 개개인의 스타일에 대한 의존도가 수학적 의사소통에 장애물이 될 수 있다고 보았다. 추상성을 띄는 수학의 특성상 문제로 제시된 언어표상만으로 제시된 수학 문제를 해결하는 것이 인지양식에 관계없이 어렵게 느껴진 것으로 해석된다.

Conclusion

이 연구의 결과와 논의로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

첫째, 다양한 표상을 숫자표상으로 변환하는 훈련이 필요하다. 같은 난이도의 문제임에도 숫자표상을 더 익숙하고 쉽게 느낀다. 특히 학업성취도가 낮은 학생은 시각표상 및 언어표상에서 더 많은 인지부하가 일어나는 것을 확인하였다. 수학에서 다양한 표상의 활용은 학습 효과를 높이기도 하고 수학 교육을 실생활과 연관 짓는데 도움을 준다(Kim & Jang, 1996). 때문에 수학 교과서에서는 다양한 형태의 표상이 등장하며, 숫자 표상을 제시하지 않는 문제도 제시하고 있다. 그러나 인지 양식에 부합되지 않는 정보는 인지과부하를 초래하고 학습목표에 효율적으로 도달하는 것을 방해한다(Cho & Han, 2002). 특히 학업성취도가 낮은 학생의 인지과부하는 학습의욕저해와 수학불안을 초래할 수 있어(Kim & Kwean, 2010) 이를 해소할 필요가 있다. 따라서 교사는 학생들이 다양한 표상을 활용한 문제 해결에서 숫자표상으로 변환하는 훈련에 도움을 줄 필요가 있다.

둘째, 학업성취도가 낮은 학생에게 동분모 덧셈 문제에서 하나 이상의 표상을 사용하는 것이 효과적이다. 언어 특히, 연구에서처럼 음성을 통하여 문제를 제시할 때 숫자 표상 등의 다른 표상을 제시해야한다. 학업성취도 ‘하’인 학생은 시각 표상과 언어표상의 수학문제 해결 시 전전두엽 활성이 더 활발했다. 특히 언어표상은 네 영역 모두에서 유의미한 차이를 보였다. 이는 익숙하지 않은 표상이 본질적인 문제 이해 및 해결에 장애가 될 수 있음을 의미한다. 학업성취도가 낮은 학생들에게는 시각표상 및 언어표상을 제시할 때 상대적으로 쉽게 느꼈던 숫자 표상을 함께 제시하는 것이 바람직하다.

셋째, 시각표상자에게 시각표상의 문제를 제시하면 동기부여에 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서 시각표상자 집단은 숫자표상 및 언어표상의 문제 해결시에는 유의미한 활성이 없었던 반면, 시각표상의 문제를 해결할 때 VLPFC영역을 제외한 DLPFC, FPC, OFC, 세 영역에서 활성을 보였다. 이 영역은 주의집중, 동기부여, 보상처리 등에 관여하는 영역이다. 전전두엽의 활성은 인지부하를 의미하기도 하므로, 수학을 어려워하거나 자신감이 부족한 상황보다 수학에 흥미를 가지고 자신감이 있는 학생에게 심화 학습을 제공할 때 효과적이며 동기부여 및 목표의식 설정에 도움을 줄 것이다.

넷째, 언어표상의 수학 문제 해결에 대한 세분화된 연구가 필요하다. 언어표상자 집단은 언어표상으로 문제를 해결할 때 시각표상자 집단과 비교하여 뇌활성의 차이가 없었다. 사후 면담을 바탕으로 결과를 해석해 보면, 시각표상자 집단과 언어표상자 집단 모두 음성으로 제시되는 문제가 낯설고 긴장되게 느껴져 표상의 차이보다 언어 형태의 특징이 크게 반영된 것으로 보인다. 이는 언어가 가지는 여러 가지 특성에 따라 같은 언어표상이어도 학습 효과에 차이가 있음을 의미한다. 따라서 언어가 가지는 문자, 음성 등의 다양한 속성의 표상을 활용한 연구가 필요하다.

References

- An, J. (2017). A comparative study of frontal lobe cortex activation of pre- and post-treatment using speech production mechanism coordination: Case study by using fNIRS. *Journal of Speech-Language & Hearing Disorders*, 26, 21-35.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Bae, J. (2020). Analysis of the reader's f-NIRS brainwave characteristics in the context of informational and literary text reading. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 20, 425-447.
- Ballesta, S., Shi, W., Conen, K., & Padoa-Schioppa, C. (2020). Values encoded in orbitofrontal cortex are causally related to economic choices. *Nature*, 588, 450-453.
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 10, 295-307.
- Blackwood, N., ffytche, D., Simmons, A., Bentall, R., Murray, R., Howard, R. (2004). The cerebellum and decision making under uncertainty. *Cognitive Brain Research*, 20, 46-53.
- Boorman, E. D., Behrens, T. E., Woolrich, M. W., & Rushworth, M. F. (2009). How green is the grass on the other side? Frontopolar cortex and the evidence in favor of alternative courses of action. *Neuron*, 62, 733-743.
- Cho, K. (2000). *The Effect of Information Presentation Type and Cognitive Style on Multimedia Learning*(Unpublished Doctoral Dissertation). Yonsei University, Seoul, Republic of Korea.
- Cho, K., & Han, K. (2002). Effect of cognitive style on learning performance in multimedia environment. *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 14, 165-185.
- Cho, Y. (1991). Analysis of learning outcomes according to cognitive style and goals as pre- and post-class strategies. *The Journal of Educational Research*, 29, 142-156.
- Choi, C. (2004). A study on representation in elementary mathematics learning. *Education of Primary School Mathematics*, 8, 23-32.
- Coop, R. H., & Sigel, I. E. (1971). Cognitive style: Implications for learning and instruction. *Psychology in the Schools*, 8, 152-161.
- Dehaene, S. (1997). *The Number Sense*. Oxford University Press, New York, NY: Penguin.
- DeStefano, D., & LeFevre, J. (2004). The role of working memory in mental arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 353-386.
- DeYoung, C. G., Hirsh, J. B., Shane, M. S., Papademetris, X., Rajeevan, N., & Gray, J. R. (2010). Testing predictions from personality neuroscience. *Psychological Science*, 21, 820-828.
- Fox, P. T., Raichle, M. E., Mintun, M. A., & Dence, C. (1988). Nonoxidative glucose consumption during focal physiologic neural activity. *Science*, 241, 462-464.
- Friedlander, A., Tabach, M. (2001), Promoting multiple representation in algebra, In A. A. Cuoco (Ed.). *The Roles of Representation In School Mathematics*(pp. 70-72). Reston, VA : National Council of Teachers of Mathematics.
- Goldin, G. A. (2008). Perspectives on representation in mathematical learning and problem solving, In L. D. English, (Ed.) *Hand Book of International Research in Mathematics Education*, 2, 176-201.
- Greeno, J. G. (1978). Understanding and procedural knowledge in mathematics instruction. *Educational Psychologist*, 12, 262-283.
- Greeno, J. G., & Hall, R. P. (1997). Practicing representation: learning with and about representational forms. *The Phi Delta Kappan*, 78, 361-367.

- Hillman, E. M. (2007). Optical brain imaging in vivo: Techniques and applications from animal to man. *Journal of Biomedical Optics*, 12, 051402.
- Kagan, J., Moss, H. A., & Sigel, I. E. (1963). Psychological significance of styles of conceptualization. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 28, 73-112.
- Hong, S., Lee, J., Hu, J., Paik, H., & Park, K. (2015). The estimation of activated prefrontal brain area due to the execution of mental tasks using fNIRS. *Journal of Biomedical Engineering Research*, 36, 177-182.
- Hwang, H., & Pang, J. (2009). A study on the visual-visual expression of elementary school 6th graders in the process of solving math problems. *Education of Primary School Mathematics* 12, 81-97.
- Kim, M., & Kwean, H. (2010). An analysis of representation usage ability and characteristics in solving math problems according to students' academic achievement. *Communications of Mathematical Education*, 24, 475-502.
- Kim, Y., & Chang, H. (1996). A study on the representations in mathematics learning: Focused on the development of a representation model. *Journal of Educational Research in Mathematics*, 6, 185-196.
- Kim, Y., & Jang, H. (1996). A study on the representations in mathematics learning: Focused on the development of a representation model. *Journal of Educational Research in Mathematics*, 6, 185-196.
- Kim, Y., & Paik, S. (2005). A study of the representation in the elementary mathematical problem-solving process. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 9, 85-110.
- Kirby, J. R., Moore, P. J., & Schofield, N. J. (1988). Verbal and visual learning styles. *Contemporary Educational Psychology*, 13, 169-184.
- Lee, M., & Kang, W. (2012). An analysis of the transformation process of representation through interaction in mathematical problem solving. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 16, 427-450.
- Lee, Y., & Jun, P. (2005). An analysis of third graders' representations and elaborating processes of representations in mathematical problem solving. *The Mathematical Education*, 44, 637-662.
- Lesh, R., Behr, M., & Post, T. (1987). Rational number relations and proportions. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (pp. 41-58). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 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, 40.
- McLaughlin, N. C. R., Wiebe, D., Fulwiler, C., & Gansler, D. A. (2009). Differential contributions of lateral prefrontal cortex regions to visual memory processes. *Brain Imaging and Behavior*, 3, 202-211.
- OBELAB (2019). NIRSIT Analysis Tool v2.2. Seoul, Korea: OBELAB.
- O'Doherty, J., Critchley, H., Deichmann, R., & Dolan, R. J. (2003). Dissociating valence of outcome from behavioural control in human orbital and ventral prefrontal cortices. *Journal of Neuroscience*, 23, 7931-7939.
- Quintana, J., & Fuster, J. M. (1999). From perception to action: Temporal integrative functions of prefrontal and parietal neurons. *Cerebral Cortex*, 9, 213-221.
- Richardson, A. (1977). Verbalizer-visualizer: A cognitive style dimension. *Journal of Mental Imagery*, 1, 109-125.
- Riding, R. J., & Watts, M., (1997). The effect of cognitive style on the preferred format of instructional material. *Educational Psychology*, 7, 179-183.
- Ryu, J., & Lee, K. (2018, May). An Exploratory Study on the fNIRS-based Analysis of Business Problem Solving Creativity. *Conference of the Korea Contents Association*, 167-168.

- Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H-C., & Dresler, T. (2018). Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: The case of mathematics and language. *Frontiers in Psychology*, 9, Article 27.
- Sweller, J. (1989). Cognitive technology: Some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*, 81, 457-466.
- Tennant, M. (2019). *Psychology and Adult Learning: The Role of Theory in Informing Practice*. Routledge.
- Villegas, J. L., Castro, E., & Gutiérrez, J. (2009). Representations in problem solving: A case study with optimization problems. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 7, 279-308
- Volz, K. G., Schubotz, R. I., & von Cramon, D. Y. (2005). Variants of uncertainty in decision-making and their neural correlates. *Brain Research Bulletin*, 67, 403-412.
- Wagner, A. D., Maril, A., Bjork, R. A., & Schacter, D. L. (2001). Prefrontal contributions to executive control: fMRI evidence for functional distinctions within lateral prefrontal cortex. *Neuroimage*, 14, 1337-1347.
- Witkin, H. A. (1967). A cognitive-style approach to cross-cultural research. *International Journal of Psychology*, 2, 233-250.
- Yang, Y., & Raine, A. (2009). Prefrontal structural and functional brain imaging findings in antisocial, violent, and psychopathic individuals: A meta-analysis. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 174, 81-88.
- Zajkowski, W. K., Kossut, M., & Wilson, R. C. (2017). A causal role for right frontopolar cortex in directed, but not random, exploration. *Elife*, 6, e27430.

Authors Information

Yoo, Sung-yoon : Daejeon Donghwa Elementary School, Teacher, First Author

Ahn, Doyeon : Chenan Cheongdang Elementary School, Teacher, Co-author

Lee, Kwang-Ho : Korea National University, Professor, Corresponding Author

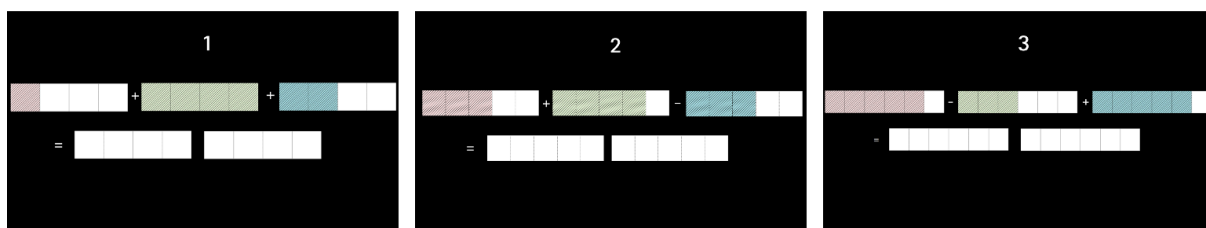
Appendix

[Appendix 1]

수학	약분, 통분, 분수의 덧셈과 뺄셈	초등학교 6학년 ()반 ()번 이름 : ()
1. $\frac{12}{18}$ 와 크기가 같은 분수를 모두 찾아 ○표 하세요.	$\frac{12}{18} \rightarrow \frac{3}{4} \quad \frac{4}{6} \quad \frac{2}{8} \quad \frac{6}{9} \quad \frac{20}{24} \quad \frac{24}{36}$	5. 두 분수를 통분하려고 합니다. 공통분모가 될 수 있는 수 중에서 100보다 작은 수를 모두 찾아 써 보세요.
2. 기약분수로 나타내어 보세요.	① $\frac{7}{21} = \square$ ② $\frac{28}{50} = \square$	$(\frac{5}{6}, \frac{3}{8})$ ()
3. 다음 수 카드를 사용하여 $\frac{5}{12}$ 와 크기가 같은 분수를 만들어 보세요.	$\frac{5}{12} = \frac{\square}{\square}$	6. $\frac{1}{4}$ 과 크기가 같은 분수 중에서 분모와 분자의 합이 10보다 크고 30보다 작은 분수를 모두 써 보세요.
	10 15 20 25 36	()
4. 다음 세 친구가 같은 크기의 피자의 일부를 먹었습니다. 피자를 가장 많이 먹은 친구를 찾아 써 보세요.	연수: 나는 피자 1판의 $\frac{2}{3}$ 를 먹었어. 지혜: 나는 피자 1판의 0.7을 먹었어. 슬기: 나는 피자 1판의 $\frac{7}{12}$ 을 먹었어.	7. 수 카드가 4장 있습니다. 이 중에서 2장을 뽑아 진분수를 만들려고 합니다. 만들 수 있는 진분수 중 가장 큰 수를 소수로 나타내어 보세요.
	()	2 4 5 8
		8. 빈 칸에 알맞은 숫을 써 넣으세요.

초등학교 6학년 ()반 ()번 이름 : ()	
9. 떡을 만드는 데 사용한 계핏가루는 $1\frac{2}{5}$ 컵, 수정과를 만드는 데 사용한 계핏가루는 $1\frac{3}{7}$ 컵입니다. 떡과 수정과를 만드는 데 사용한 계핏가루는 모두 몇 컵입니까? 식: _____ 답: () 컵 10. 계산 결과를 비교하여 ○안에 >, =, <를 알맞게 써 넣으세요. $2\frac{1}{5} + 1\frac{2}{5}$ ○ $5\frac{1}{5} - 1\frac{3}{5}$ 11. 다음을 계산해 보세요. ① $\frac{1}{7} + \frac{5}{9} =$ ② $\frac{7}{9} + \frac{5}{12} =$ 12. 가 마을에서 나 마을을 거쳐 다 마을까지 다니던 것이 너무 멀어서 가 마을에서 다 마을까지 바로 갈 수 있는 새로운 길을 만들었습니다. 얼마나 가까워졌는지 풀이 과정을 쓰고 답을 구해 보세요. 식: _____ 답: () km	13. 보기 를 보고 나타내는 수를 구해 보세요. 보기 $\frac{5}{8}$ 보다 $\frac{2}{5}$ 작은 수 () 14. 계산 결과를 비교하여 ○안에 >, =, <를 알맞게 써 넣으세요. $\frac{5}{6} - \frac{1}{2}$ ○ $\frac{3}{4} - \frac{1}{3}$ 15. 케이크를 만드는 데 필요한 우유는 $3\frac{5}{6}$ 컵입니다. 지혜가 가지고 있는 우유는 $1\frac{5}{18}$ 컵입니다. 우유가 얼마나 더 필요한지 구해 보세요. 식: _____ 답: () 컵

[Appendix 2]

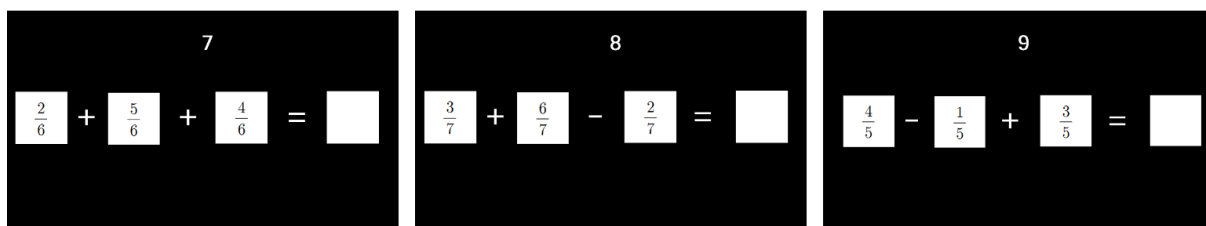


문항 1 ~ 문항 3: 시각표상



문항 4 ~ 문항 6: 언어표상

- 문항 4: 오분의 사 더하기 오분의 삼 더하기 오분의 일은 얼마입니까?
- 문항 5: 육분의 사 더하기 육분의 일 빼기 육분의 이는 얼마입니까?
- 문항 6: 사분의 삼 빼기 사분의 일 더하기 사분의 이는 얼마입니까?



문항 7 ~ 문항 9: 숫자표상