

RESEARCH ARTICLE

Exploring Changes of Problem-Posing and Brain Activity of Elementary School Students According to the Degree of Structure of the Task Situation

Jinhee Han¹, Kwangho Lee^{2*}, Taekwon Son³¹Osu Elementary School²Korea National University of Education³Bongmyeong Elementary School

과제 상황의 구조화 정도에 따른 초등학생들의 문제 만들기과 뇌 활성의 변화 탐색

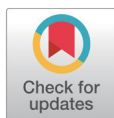
한진희¹, 이광호^{2*}, 손태권³¹오수초등학교, ²한국교육대학교, ³봉명초등학교

*Corresponding Author: Kwangho Lee, paransol@knue.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop and apply a problem-posing program for elementary school students according to the degree of structure of task situations in the area of geometry and measurement, and to compare its effectiveness to provide implications for problem-posing instruction. In the process, changes in brain activity were analyzed together to verify the effect of the problem-posing program on the brain and provide empirical evidence. For this purpose, the experimental group performed the problem-posing program in an unstructured situation and the control group performed the problem-posing program in a structured situation for 8 sessions, and evaluated the change of abilities in problem-posing made by students during the class according to analysis framework. We found that the students further developed their problems following the learning steps in the problem-posing program. In particular, the experimental group showed higher improvement in the level of problem-posing and showed significant activation on the brain areas: the frontal regions, the right VLPFC area, and the DLPFC area. These results suggest that it is necessary to increase the reflection of problem-posing tasks in unstructured situations in the curriculum, develop and apply various task types, and present systematic learning steps together.

Key words: Problem posing, geometry and measurement, structured, unstructured, task, FNIRS



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2024, Vol. 14, No. 3, 361-384

<https://doi.org/10.31216/BDL.20240021>

Received: September 05, 2024

Revised: October 02, 2024

Accepted: October 02, 2024

© 2023. 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

오늘날 21세기 지식 정보화 사회 속 급변하는 환경 내에서 복잡하고 다양한 문제들을 해결하고 새로운 문제를 만들어 제시하는 능력은 더욱 중요해지고 있다. 미국 수학교사 협의회(National Council of Teachers of Mathematics; NCTM)는 문제 만들기의 중요성을 인지하고 이를 위해 학생들에게 주어진 문제의 해결을 넘어 문제 조건을 수정하여 새로운 문제를 만들 수 있는 기회가 주어져야 한다고 제안하였다(NCTM, 1991). 이후에는 학생들의 사고, 추론, 문제 해결을 강조하면서 학생들이 다양한 상황에서 흥미로운 문제를 만들 것을 촉구하였다(NCTM, 2000).

이에 따라 여러 연구자들은 학생들의 문제 만들기 능력에 관하여 지속적으로 관심을 가져왔으며, 문제 만들기가 문제 해결 능력 향상(Bae & Park, 2016; Cai & Hwang, 2002), 수학적 개념 및 원리 이해 지원(Yoon & Park, 2008), 수학적 추론 능력 발달(Cai et al., 2015), 확산적 사고력 배양(Yoon & Baek, 2010), 수학적 태도 향상(Park & Park, 2018; Singer et al., 2013), 창의성 증진(Sheffield, 2009)과 같이 다양한 측면에서 학습 능력을 향상시키는 데 중요하다고 주장해왔다(Brown & Walter, 2005; English, 1997; Silver, 1994). 하지만 대부분의 연구들은 기존의 수학 문제를 변형하는 문제를 만들거나(Lee & Park, 2018), 목표 또는 조건이 정해진 문제를 만드는 과제를 제시하는 데 그치고 있다(Shin & Lim, 2010; Lee, 2012). 더구나 주어진 문제를 변형하는 구조화 과제 상황과 주어진 문제가 없는 비구조화 과제 상황에 따라 학생들의 문제 만들기 능력과 수학적 능력에 미치는 영향을 비교하는 연구는 매우 제한적으로 이루어져 왔다(Cai & Hwang, 2020; Silver et al., 2011). 예컨대, 평가 측면에서 기존의 문제 만들기 연구들은 학생들의 문제 만들기 능력을 창의성과 정의적 요인으로 판단하여 수학적 능력을 측정하는 데에는 한계가 있다(예: Bicer et al., 2020; Lee, 2012; Sheffield, 2009). 예컨대, Silver & Cai(2005)가 선정한 복잡성, 독창성, 유창성의 평가 항목은 문제의 질을 깊이 있게 측정하지 못하였다는 비판을 받아 왔다(Lee & Park, 2018). 또한 수학교과와 내용 영역 측면에서 살펴보았을 때, 문제 만들기에 관한 대부분의 연구는 수와 연산 활동을 중심으로 평가 기준을 제시해왔다(예: Cai & Hwang, 2020; Lin & Leng, 2008; Silver & Cai, 1996). 수학 교과서에 반영된 문제 만들기 과제와 국내 문제 만들기 연구들 역시 대부분 수와 연산 영역에 치중되어 있고 도형과 측정 영역에서의 반영은 매우 적은 실정이다(Park, 2021; Park & Lim, 2023). 비록 일부 연구가 존재하지만(예: Lee, 2013; Na, 2017), 문제 유형이 다양하지 않을뿐더러 아직 국내에서는 도형과 측정 영역에서 문제 만들기 활동의 효과성을 측정한 연구가 미흡하다(Ko, 2015; Ju & Han, 2016). 따라서 수학과의 다양한 영역으로 효과적인 문제 만들기 활동이 확장될 필요가 있으며(Cai & Hwang, 2020), 특히 도형과 측정 영역에서 문제 만들기를 효과적으로 지도할 수 있는 프로그램을 개발하고 그 효과성을 검증한 연구가 시급한 실정이다.

한편 신경 기반의 학습 연구에 대한 관심이 높아지면서 연구자들은 다양한 뇌 측정 장비를 사용하여 수학적 사고를 탐색하는 연구를 수행해왔다(예: Babai et al., 2010; Desco et al., 2011). 그러나 문제 만들기 활동이 두 뇌에 미치는 영향을 검증한 실증적인 연구는 이제까지 수행되지 않았다. 뇌 기능 분석 방법을 수학 교육에 적용하면 수학 학습에서 효과적인 뇌 기능 정보를 얻을 수 있다고 주장한 Kim et al.(2010)의 의견처럼 뇌 활성화 분석 방법을 활용하여 학생들의 수학적 사고 능력에 대한 정보를 토대로 문제 만들기 프로그램 효과성을 검증할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 도형과 측정 영역에서 과제 상황의 구조화 정도에 따른 문제 만들기 프로그램을 개발하고 문제 만들기 능력을 평가할 수 있는 기준을 마련하여 학생들의 문제 만들기 변화를 분석하고 비교하였

다. 또한 비구조화된 문제 만들기 프로그램을 적용한 학생들의 뇌 활성 부위의 변화를 측정된 데이터로 효과를 규명하고, 이를 바탕으로 수학 교육에서 문제 만들기에 대한 시사점들을 제공하고자 한다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 비구조화된 문제 만들기 프로그램과 구조화된 문제 만들기 프로그램 진행 중 학생들의 문제 만들기 변화는 어떠한가?
2. 비구조화된 문제 만들기 프로그램 적용 전 · 후 학생들의 뇌 활성 영역의 변화는 어떠한가?

Theoretical Background

Prior Research on Problem-Posing in Mathematics Education

수학 교육에서 문제 만들기는 문제 해결과 함께 그 중요성이 거론되어 왔으나(Paul Halmos, 1970), 문제 해결에 비해 교육과정과 교수·학습에서 소외되어 왔다(Cai & Hwang, 2020; Choi & Bae, 2004; Heo, 2011). 이에 일부 학자들은 문제 해결이 교육과정을 가르치는 수단이자 교육 목표로 간주 되듯이(Stanic & Kilpatrick, 1989), 문제 만들기 또한 교육 보조도구가 아닌 교육 목적 그 자체로 가르쳐야 한다고 주장해왔다(Silver, 1994).

국내외 문제 만들기와 관련한 연구를 살펴보면 문제 만들기 활동은 학생들에게 다방면으로 긍정적 영향을 미친다고 보고된다. 예컨대, 문제 만들기 활동은 학생들이 풍부하고 견고한 기초 개념을 형성하는 데 도움을 제공하여 문제 해결력 개선에 도움이 된다(Cai & Hwang, 2002; Silver, 1994; Yoon & Park, 2008). 문제 만들기 활동 후 수학 성취도 검사를 실시한 대부분의 연구들은 학생들의 문제 해결력이 향상하였을 뿐만 아니라 학습 정도를 평가하는데 문제 만들기 활동이 긍정적으로 활용되었다고 보고하였다(Bae & Park, 2016; Cai et al., 2013; Jung & Park, 2010; Silver & Cai, 1996).

문제 만들기는 학생들의 호기심을 자극하고 학생들의 창의성을 길러주는데 유용한 활동이다(Silver et al, 1990). 연구자들은 문제 만들기 활동이 수학적 창의성의 중요한 지표라고 강조하였으며, 수학에 대한 일반적인 두려움과 불안을 줄이며 정의적 영역에서 긍정적인 변화도 가져온다고 주장한다(Bicer et al, 2020; Park & Park, 2018; Van Harpen & Sriraman, 2013). 또한 문제 만들기 활동은 수학적 이해를 심화시켜 추론 능력을 높이는 데 도움이 된다(Lee & Kim, 2020; Lavy & Bershadsky, 2003). 특히 주어진 문제가 없는 과제 상황에서 새로운 문제를 만드는 활동은 학생들이 호기심을 가지고 도전적으로 탐색하는 과정에서 기존의 수학적 개념을 확장시키고 유연한 사고를 기를 수 있다고 보고되고 있다(Brown & Walter, 2005; Shin & Lim, 2010; Yoon & Baek, 2010).

문제 만들기 활동의 긍정적인 측면으로 인해, 국내외에서는 학생들의 문제 만들기에 관한 다양한 연구들이 수행되어 왔다. 예컨대, 교과서에 반영된 문제 만들기 과제 분석(Cai & Jiang, 2017; Ko, 2015; Park, 2021; Park & Lim, 2023), 문제 만들기 교수·학습 자료 개발(Bae & Park, 2016; Baumanns & Rott, 2022), 학생들의 문제 만들기 오류 유형 및 수준 분석(Kim & Rhyu, 2013; Leung, 2013; Sung et al, 2017; Xie & Masingila, 2017), 영재 학생들의 문제 만들기 활동 분석(Lee & Park, 2018; Manuel & Freiman, 2017; Na, 2017). 예비 교사들의 문제 만들기 인식 또는 활동 분석(Cai et al., 2020; Han, 2018; Lee, 2017; Yao et al, 2021)과 같은 연구들은 문제 만들기 활동이 학습에 긍정적으로 기여하며, 학생들의 문제 만들기 능력이 손쉽게 개선되지 않는다는 점을 보여주었다. 이에 본 연구에서는 문제 만들기 프로그램을 개발하고 문제 만들기 프로그램이 학생들의 문제 만들기 능력을 개발하는 데 효과가 있는지 살펴보았다.

Reflection of Problem-Posing in Domestic Curriculum

우리나라는 문제 만들기를 교육과정 상에서 문제 해결을 위한 하위 요소로서 지속적으로 강조해왔다. 구체적으로 살펴보면, 2007 개정에서는 규칙성과 문제해결 영역에서 ‘주어진 문제에서 주어진 조건을 바꾸어 새롭게 문제를 만들고, 그 문제를 해결할 수 있다’를 새로운 성취기준으로 설정하였다(Ministry of Education & Human Resources Development, 2007). 2009 개정에서도 초등학교 5~6학년군 각 내용 영역의 교수·학습상의 유의점으로 ‘조건을 바꾸어 새로운 문제 만들기’를 제시하였으며(Ministry of Education, Science and Technology, 2011; Park, 2021), 2015 개정에서는 문제 해결 역량의 하위 요소로 문제 만들기를 포함하였다(Park, 2021). 2022 개정에서도 문제 해결 역량 함양을 위한 교수·학습 방법 중 하나로 주어진 문제를 변형하거나 새로운 문제를 만들어 해결하게 할 것을 제시하였다(Ministry of Education, 2022). 하지만 교육과정에서 문제 만들기를 지속적으로 강조해온 것에 비해 우리나라 교과서에 반영된 문제 만들기 과제 유형은 제한적일 뿐 아니라, 그 반영 비율이 매우 적은 실정이다(Park, 2021). 또한 교사들은 문제 만들기 개념을 인지하고 있음에도 불구하고 개념의 명확한 의미를 모르고 일반적인 지도 방법이 제시되지 않아 지도하는 데 어려움을 겪고 있다(Heo, 2011). 문제 만들기 지도가 어려운 상황에서, 체계적인 문제 만들기 지도 방법을 다룬 연구는 거의 수행되지 않았으며, 문제 만들기 프로그램 적용 중 학생들이 만든 문제의 수준 변화를 살펴본 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 모든 학생들에게 적용 가능할 뿐만 아니라 적절한 과제와 체계적인 지도 방법을 포함한 문제 만들기 프로그램을 개발하였다. 이를 통해 학생들의 문제 만들기 수준 변화를 분석함으로써 수학 교육에서 문제 만들기의 의의를 강조하고 수학 교수·학습에 관한 시사점을 제시하였다.

Methods

Participants

본 연구에서는 A지역 소재 초등학교 5학년 2개 학급 48명을 연구 대상으로 선정하였으며 연구에 참여하기 전 보호자의 동의를 거쳐 진행하였다. 두 반은 각각 실험반과 비교반에 배정되었으며, 문제 만들기 프로그램은 2023년 6월부터 7월 초까지 8차시(40분 기준)에 걸쳐 두 집단에 모두 적용되었다. 이 중 사전·사후 검사에는 개인 사유로 불참한 학생을 제외하고 실험반 18명, 비교반 21명이 참여하였다. 두뇌 활성화 영역 검사는 실험반을 대상으로 진행하였다. 실험반 학생 24명 중 왼손잡이를 제외하고 과거 심장이나 심혈관 질환이 없는 16명을 선정하였다.

Procedure

본 연구를 위해 먼저 문헌 연구를 바탕으로 문제 만들기 과제 상황을 구성하고 도형과 측정 영역 중 5학년 1학기 6단원 다각형의 둘레와 넓이 단원에 맞게 과제 형태를 선정하였다. 이를 바탕으로 문제 만들기 프로그램 과제와 사전·사후 검사 과제를 개발하였고 지도 단계와 전략을 구성하였다. 학생들은 다각형의 둘레와 넓이를 구하는 개념을 모두 학습한 후 문제 만들기 프로그램에 참여하였으며, 사전·사후 검사 시 두뇌 활성화 검사를 동시에 진행하였다. 이후 실험 결과를 토대로 학생들의 문제 만들기과 두뇌 활성화도의 변화를 분석하였다. 먼저 문제 만들기는 실험반과 비교반 학생들이 작성한 수업 활동지를 토대로 수준 분석틀로 검증하였으며, 두뇌 활성화도는 실험반 학생을 대상으로 사전·사후 검사 시 측정 기기를 활용하여 데이터를 수집하고 NIRSIT Analyze Tool로 차이를 규명하였다(Table 1).

Table 1. Collection data and Analysis methods

Data	Collection target	Collection period	Collection contents	Analysis category	Data verification
1. Problem-posing	Experimental group, Control group	In class	Learning worksheet	- Class content analysis (case analysis) - Changes of Problem-posing by learning steps - Changes of Problem-posing by session - Comparison of class problem-posing	Level Analysis Framework
2. Brain Activity	Experimental group	Pre-Post test	NIRSIT Data	- NIRSIT Analyze Tool(result analysis) - Changes in average brain activity - Changes in brain activity by brain area - Brain activity changes according to level change	- Paired-t test - Block Averaging - GLM - GLM (2 sample)

Problem-Posing

Development of Problem-Posing Task

문제 만들기 과제 상황은 Stoyanova & Ellerton (1996)이 제시한 3가지 상황 중 비구조화 상황과 구조화 상황 (특정한 문제 기반)을 설정하였다(Table 2). 과제 형태는 Kim & Ryu (2009)의 상황 제시형 과제를 적용한 다각형 활용형 과제, Zhang & Cai (2021)의 모눈종이 과제를 활용한 모눈종이형 과제, Yoon & Baek (2010)이 구안한 과제에 실생활 상황을 추가한 그림 상황형과 날개 정보형 과제, 그리고 자유형 과제를 개발하였다.

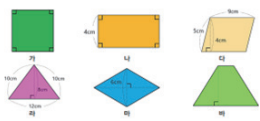
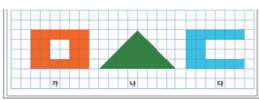
Table 2. Problem-Posing task situation

Task situation	Activity	Applied group	References
Unstructured (Free situation)	Problem-Posing by looking at an task without an example problem	Experimental group	Stoyanova & Ellerton(1996); Baumanns & Rott(2021)
Structured (Specific problem base)	Problem-Posing by modifying the conditions of the example problem	Control group	

Problem-Posing Program Task

문제 만들기 프로그램의 과제 형태는 다각형 활용형, 모눈종이형, 그림 상황형, 날개 정보형 4가지 형태로 구분된다(Table 3).

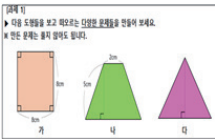
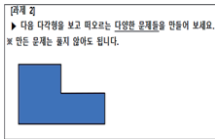
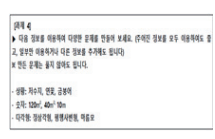
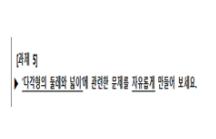
Table 3. Problem-Posing program task type

	1, 2 session	3, 4 session	5, 6 session	7, 8 session
Task type	Using polygon	Grid paper	Picture situation	Individual information
Task example				상황 : 무안초, 낙지, 사막, 정글, 공룡 도형 : 사각형, 사다리꼴, 삼각형, 평행사변형, 마름모 숫자 : 50km², 8km, 600m², 20m, 5m

Pre-test and Post-test Task

사전 · 사후 검사의 과제 상황은 비구조화 상황이며 과제 형태는 정형적 다각형 활용형, 비정형적 다각형 활용형, 그림 상황형, 날개 정보형, 자유형 총 5가지 형태를 활용하였다. 사전 · 사후 검사에 동형인 5문항을 각각 구성하였으며, 동료 석사 4명과 박사 1명의 검토를 받아 수정 · 보완하여 타당성을 확보하였다(Table 4).

Table 4. Pre · Post test task type

	Task 1	Task 2	Task 3	Task 4	Task 5
Task type	Using regular polygon	Using irregular polygon	picture situation	Individual information	Free
Task example					

Development of Problem-Posing Program Guidance

각 차시 프로그램의 지도 단계는 Jung & Lim (1992), Xia et al. (2008)가 제안한 문제 만들기 단계를 참고하여 상황을 기반으로 문제 만들기, 만든 문제 해결해보기, 모둠별 · 학급별 의사소통을 통해 만든 문제 발전시키기, 정리하기 내용으로 구성하였다. 본 문제 만들기 프로그램은 문제 만들기 활동 자체를 목표로 80분 연차시로 구성하였으며, 구체적인 프로그램의 단계는 Fig. 1과 같다.

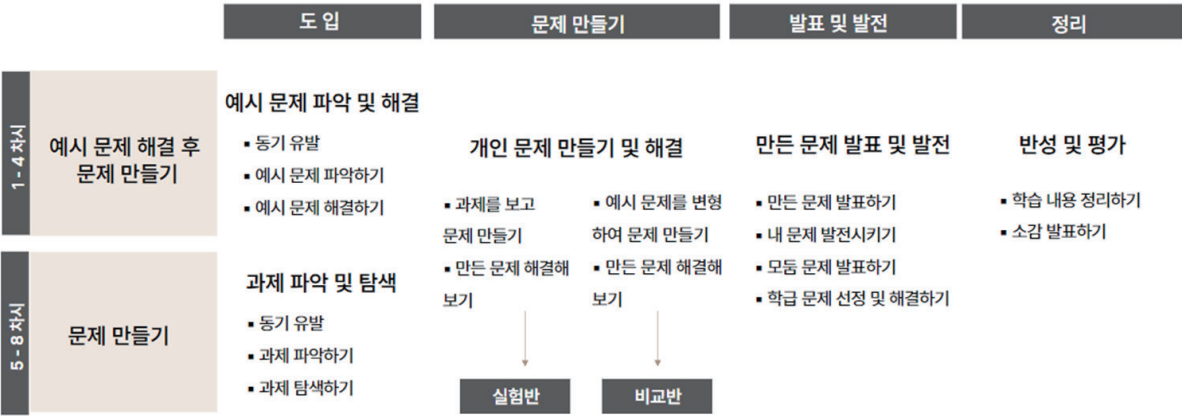


Fig. 1. Problem-Posing Program Learning Model

각 단계별 주요 학습 활동과 활동 전개 방법을 살펴보면 14차시에 적용된 예시 문제 해결 후 문제 만들기 모형은 학생들이 자신의 문제를 만들기 전에 예시 문제를 해결하면서 문제의 개념을 익히고 학습한 내용들을 정리하도록 하였다. 따라서 도입 단계에서 예시 문제를 해결한다는 점에서 실험반과 비교반의 활동이 같지만 문제 만들기 단계에서 실험반은 과제를 보고 바로 문제를 만드는 반면, 비교반은 해결한 예시 문제를 변형하여 문제를 만들도록 지도하였다.

5-8차시에 적용된 문제 만들기 모형은 도입 단계에서 과제를 파악한다는 점에서 실험반과 비교반의 활동이 같지만 문제 만들기 단계에서 실험반은 예시 문제가 없는 과제 상황을 탐색하여 문제를 만드는 반면, 비교반은 과제 상황에 제시된 예시 문제를 해결하고 변형하여 문제를 만들었다. 구체적인 지도 단계별 활동 예시는 Table 5와 같다.

Table 5. Examples of activities by learning step (1, 2 session)

	Introduction	Problem-Posing	Development and Presentation		
			Developing my problem	Presenting a group problem	Selecting a class problem
Control group					
Experimental group					

Development of Problem Posing Evaluation Analysis Frame

본 연구에서는 문제 만들기 중 수학적으로 해결 가능한 문제만을 대상으로 ‘복잡성’, ‘확장성’, ‘탐구성’, ‘독창성’ 항목을 구성하고 분석틀을 개발하였으며, Lee & Kim (2016)의 4단계 분석틀과 Rosli et al. (2013)의 3단계 분석틀을 참고하여 각 항목을 4수준으로 구성하고 점수화하였다(Table 6 참고).

Table 6. Framework for measuring level of problem posing

Item	Level	Contents
Complexity	1	No need to apply algorithms
	2	Can be solved by applying 1 algorithm
	3	Can be solved by applying 2, 3 algorithms
	4	Can be solved by applying 4 or more algorithms
Expandability	1	Do not use polygons given in a task or created problems
	2	Use polygons given in a task or created problems
	3	Use 1 external conditions of the given polygon in a task or created problem.
	4	Use 2 or more external conditions of the given polygon in a task or created problem.
Explorability	1	No need to explore the basic properties of the polygon to be found
	2	Can solve it by exploring the basic properties of the polygon to be found
	3	Can solve it by using 1 relationship exploration along with the basic properties of the polygon to be found
	4	Can solve it by using 2 or more relationship explorations along with the basic properties of the polygon to be found
Originality	1	Question about what you learned in the previous curriculum
	2	A common problem about the perimeter and area of a polygon
	3	A problem within the sub-category of 45% about the perimeter and area of polygons
	4	A problem within the 15% or less sub-category about the perimeter and area of a polygon

* Algorithm: Formula for perimeter and area, four arithmetic operations

* Basic properties: properties such as sides, bases, heights, etc. of polygons

* Relationship exploration: Inverse relationship of formulas for calculating perimeter and area, exploration of relationships between length or area elements

먼저 Xie & Masingila (2017)이 제시한 복잡성의 의미를 수용하여 알고리즘의 개수로 복잡성을 평가하였다. 다만, 문제 끝에 단순한 숫자를 연산하는 것은 문제의 질을 높이는 방향이 아니므로 알고리즘에서 제외하였다. 한편, Lee & Park (2018)는 복잡성이 문제의 질을 보장해주지 않는다고 평가하여 풀이 단계의 깊이 기준을 추가하였다. 비슷한 맥락으로 본 연구에서는 Brown & Walter (2005)의 외적 탐구와 내적 탐구의 개념을 적용하여 각각 확장성과 탐구성 기준을 추가하였다. 확장성은 문제를 만들거나 만든 문제를 해결할 때 외부 조건을 사용하는 개수로 평가하였다. 탐구성은 기본 속성과 함께 관계 탐구를 사용하는 개수에 따라 평가하였다. 마지막으로 Xie & Masingila (2017)의 독창성의 의미를 포함하여 세부 항목별 반응 비율로 독창성을 평가하였다. 주로 둘레와 넓이, 그 합과 차를 구하는 문제는 2수준, 역관계를 이용한 문제는 3수준, 혼합하여 발전된 문제는 4수준으로 측정하였다. 동료 석사 2명과 박사 1명, 전문가 1명의 평가를 거쳐 수준 분석틀의 타당성을 검증하고 수준을 정교화하였다.

Brain Activity

fNIRS Task Design and Data Collection

각각의 과제를 해결할 수 있는 시간은 5분이었으며, 마지막 자유형 과제의 검사 시간은 10분이었다. 휴식기와 활성기의 뇌 활성화를 비교할 수 있도록 문항과 문항 사이 휴식시간도 동일하게 20초로 설정함으로써 실험이 블록 설계의 형태로 진행되도록 구성하였다. 연구에 활용한 패러다임은 Fig. 2와 같다. 두뇌 활성을 분석할 수 있도록 각 휴식기와 활동기 구간은 마커를 통해 구분하였으며 데이터 수집 기기에 저장되었다. 과제 5개를 모두 마무리 짓는 데 40분 정도가 소요되었으며, 과제 해결 시 두뇌 활성화 측정 장면은 Fig. 3과 같다.

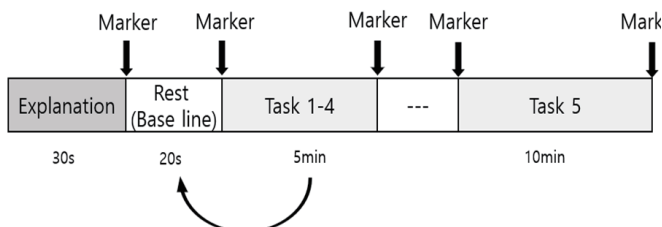


Fig. 2. Problem-Posing Test Progress Procedure

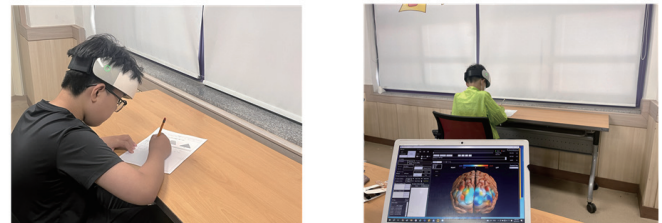


Fig. 3. Brain Activation Measurement Photograph

Preprocessing

NIRSIT 기기를 통해 얻은 전전두엽 영역의 활성화 측정 결과는 NIRSIT Analysis Tool (v2.2)을 활용하여 전처리 과정을 진행 후 전전두엽의 산화 헤모글로빈 농도 변화량을 도출하였다. 전처리 과정을 들어가기 전 Raw 데이터에서 과제의 시작점과 끝점에 표시되어 있는 마커를 기준으로 5분 중 30초~3분 30초(3분)에 해당하는 분석에 필요한 부분을 선정하여 편집하고, 과제 번호(Task number)를 부여하였다. 전처리 단계에서는 Signal Processing 패널을 통해 high-pass filter (DCT 0.005Hz)와 low-pass filter (DCT 0.01Hz)를 적용하여 호흡과 심장박동 등 불필요한 잡음을 제거하였다. 불안정한 상태로 인한 부적절한 기준값을 보정하고자 눈을 감고 휴식을 취하는 20초 구간의 평균값을 기저선(baseline)으로 두어 두뇌 활성의 기준값으로 설정하였다.

Data Analysis

1차 전처리가 끝난 데이터는 Block Average 방식을 이용하여 평균 두뇌 활성도를 분석하였다. 구간 Map을 이용하여 각 채널의 활성화도 평균을 색깔로 확인할 수 있다. 또한 1차 전처리가 끝난 데이터를 일반 선형 모델

(General Linear Model; GLM)방식의 산출식을 이용하여 휴식기와 활동기 각각의 채널별 회귀계수(β 값)를 산출하였다. 프로그램을 통해 전전두엽 4개 영역인 DLPFC, VLPFC, OFC, FPC 영역으로 구분되어 정량화된다. 이후 fNIRS 데이터를 비교하기 위해서 GLM 방식의 2 Sample 방식을 활용하였다. Base line구간을 감산한 사전·사후 평균값을 비교하여 활성이 유의미하게 증가한 영역을 확인하였다. 또한 수준이 낮았으나 수준이 많이 향상한 학생과 적게 향상한 학생의 뇌 활성의 차이를 산출하였다.

Results

Problem-Posing Changes according to Systematic Learning Step

실험반과 비교반 학생들은 개인 문제 만들기, 나의 문제 발전시키기, 모둠 문제 만들기 지도 단계에 따라 자신이 만든 문제를 발전시켰다. 문제 만들기의 변화가 대표적으로 잘 드러나는 학생들의 문제 만들기를 중심으로 변화 모습을 살펴보았다. Table 7, 8은 1, 2차시 다각형 활용형 프로그램을 적용한 실험반과 비교반 학생의 반응 예시이다. 학생들은 문제를 발전시키기 위해 주로 다각형의 수를 늘리고 넓이의 합 또는 차를 구하는 방법을 활용하여 복잡성이 높은 문제로 발전시켰다.

Table 7. Change in problem-posing in the 1st and 2nd sessions of the experimental group

	Personal Problem-Posing	Developing my problem	Group Problem-Posing
Problem -Posing			
Complexity	2 level	3 level	4 level
Expandability	2 level	2 level	2 level
Explorability	2 level	2 level	2 level
Originality	2 level	3 level	3 level

Table 8. Change in problem-posing in the 1st and 2nd sessions of the control group

	Personal Problem-Posing	Developing my problem	Group Problem-Posing
Problem -Posing			
Complexity	2 level	3 level	3 level
Expandability	2 level	2 level	2 level
Explorability	2 level	2 level	2 level
Originality	2 level	2 level	2 level

Table 9, 10은 3, 4차시 모눈종이형 프로그램을 적용한 실험반과 비교반 학생의 반응 예시이다. 실험반은 다각형의 넓이를 구하는 공식의 역관계를 이용하거나 한 칸의 넓이 조건을 제시하는 등 다양한 범주의 문제를 만들었다. 반면 비교반은 예시 문제 속 다각형의 모양을 독창적인 모양으로 변형하고 상황을 창의적으로 설정하는 특징이 있었다.

Table 9. Change in problem-posing in the 3rd and 4th sessions of the experimental group

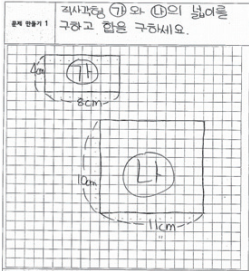
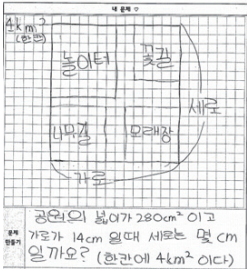
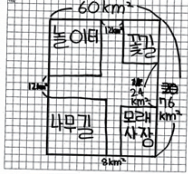
	Personal Problem-Posing	Developing my problem	Group Problem-Posing
Problem -Posing			
Problem -Posing	3 level	2 level	4 level
Complexity	2 level	2 level	2 level
Expandability	2 level	3 level	3 level
Explorability	2 level	3 level	3 level

Table 10. Change in problem-posing in the 3rd and 4th sessions of the control group

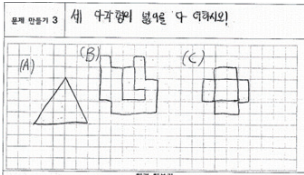
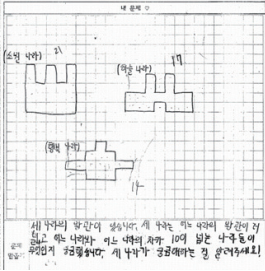
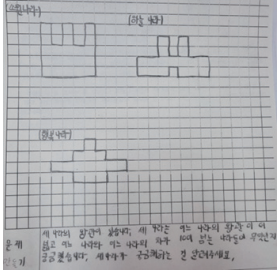
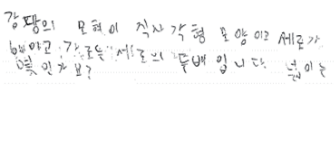
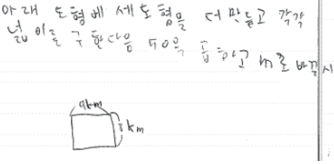
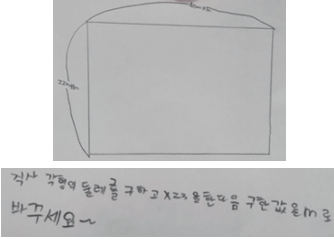
	Personal Problem-Posing	Developing my problem	Group Problem-Posing
Problem -Posing			
Complexity	4 level	4 level	4 level
Expandability	2 level	2 level	2 level
Explorability	2 level	2 level	2 level
Originality	3 level	3 level	3 level

Table 11, 12는 5, 6차시 그림 상황형 프로그램을 적용한 실험반과 비교반 학생의 반응 예시이다. 문제 만들기 변화를 살펴본 결과, 실험반은 점차 넓이 관계와 역 관계를 혼합하여 수준이 높은 문제를 만들었다. 반면 비교반은 구해야 하는 대상이 달라질 뿐 넓이를 비교하거나 넓이의 합·차를 구하는 문제의 형식은 동일하였다.

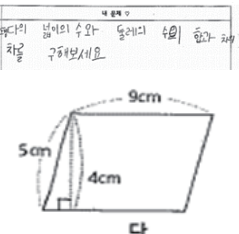
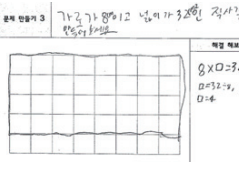
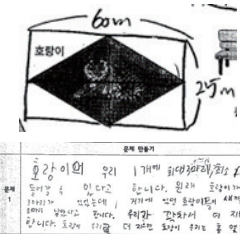
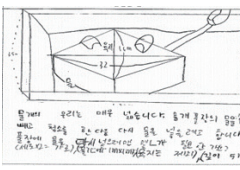
Table 14. Change in problem-posing in the 7th and 8th sessions of the control group

	Personal Problem-Posing	Developing my problem	Group Problem-Posing
Problem -Posing			
Complexity	3 level	4 level	4 level
Expandability	2 level	2 level	2 level
Explorability	3 level	3 level	3 level
Originality	2 level	3 level	3 level

Problem-Posing Changes according to Session

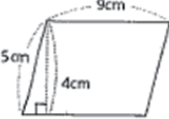
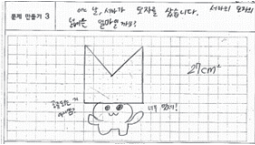
차시별 문제 만들기 변화를 알아보기 위해 상위 수준의 실험반 A학생과 비교반 B학생의 예시를 비교하였다. 실험반 학생의 변화를 살펴보면 Table 15와 같다. 1,2차시에 다각형의 넓이의 수와 둘레의 수의 합과 차를 구하라는 문제를 만든 학생은 프로그램이 진행됨에 따라 매우 복잡한 문제를 만들었다. 3,4차시에는 역관계를 이용해야 하는 문제를, 5,6차시에는 호랑이가 새끼를 낳는 상황과 관련지어 기존의 호랑이 우리의 넓이의 배수를 구하는 문제를 만들었다. 7,8차시에는 물개의 우리를 청소하는 상황과 관련지어 전체 수조의 부피에서 육지의 부피를 제외한 물의 부피를 구하는 문제를 만들었다. 다만, 교육과정 상 부피의 개념을 학습하지 않아 조건이 충분한 문제를 만들지는 못하였다.

Table 15. Changes in problem-posing of experimental group student according to session

	1, 2 Session	3, 4 Session	5, 6 Session	7, 8 Session
Problem -Posing				
Complexity	3 level	2 level	3 level	4 level
Expandability	2 level	2 level	3 level	4 level
Explorability	2 level	3 level	3 level	4 level
Originality	2 level	3 level	4 level	4 level

비교반 학생의 변화를 살펴보면 Table 16과 같다. 1,2차시에 다각형의 넓이를 구하는 문제를 만들었고 3,4차시에는 비정형적인 다각형 모양의 모자의 넓이를 구하는 문제를 만들었다. 5,6차시에서는 실생활 상황과 관련지어 태극기의 둘레를 구하는 문제를 만들었고, 7,8차시에서는 고양이 모양과 관련지어 3개 다각형이 합쳐진 모양의 다각형의 둘레를 구하는 문제를 만들었다.

Table 16. Changes in problem-posing of control group student according to session

	1, 2 Session	3, 4 Session	5, 6 Session	7, 8 Session
Problem-Posing	평행사변형 (도형) 다의 넓이를 구해보시오.  다		 아마도 테두리를 보고 있는 데 겹치기 공간이 생기게 된다. 테두리의 둘레를 구하는 것 가능하다. 둘레를 구해보시오.	 사실 길은 13cm로 구해지면 됩니다. 내 거울이 사를 찍었으니 둘레를 구해보시오. 둘레는 몇 인치로! (약 25인치 정도)
Complexity	2 level	3 level	2 level	2 level
Expandability	2 level	2 level	2 level	2 level
Explorability	2 level	2 level	2 level	2 level
Originality	2 level	3 level	2 level	3 level

두 반의 차시별 문제 만들기 변화를 분석하였을 때, 실험반의 경우에는 만든 문제가 심층적으로 발전되는 반면, 비교반의 경우에는 실생활 상황과 연관 지어 문제를 만들고 상황이나 모양 조건이 달라지는 특징이 두드러졌다.

Comparison of Class Problems according to Session

1, 2차시 학급 문제는 실험반은 복잡한 문제인 반면, 비교반은 삼각형 2개를 합한 마름모의 둘레와 넓이를 구하는 문제였다. 3~6차시 학급문제는 실험반은 단순히 다각형의 둘레와 넓이를 구하라는 문제의 틀을 벗어나 해결 방법이 여러 개인 열린 문제를 만들기도 하고, 실생활 상황과 엮어 탐구성, 독창성이 높은 문제를 만들기도 하였다. 비교반은 다각형의 모양을 참신하게 만들었으나 둘레와 넓이를 구하라는 문제 형식은 예시 문제와 비슷했다. 7, 8차시 학급 문제는 두 반 모두 고차원적인 사고가 필요한 문제이다. 실험반은 공룡알 집의 전체 넓이가 주어지고 높이를 구한 뒤 삼각형의 넓이를 구하는 발전된 문제를 만들었다. 비교반 역시 A초등학교와 낙지를 이용하여 실생활과 연관되면서 비례 관계를 이용하여 수준 높은 문제를 만들었다(Table 17, 18).

Table 17. Class problems of experimental group according to session

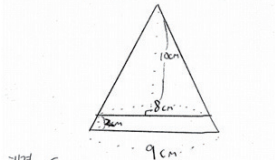
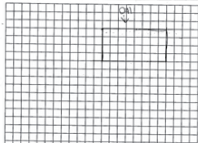
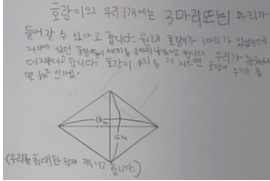
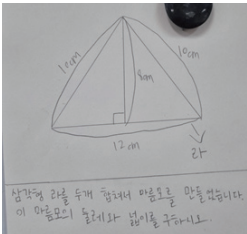
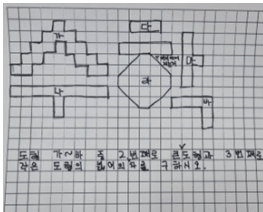
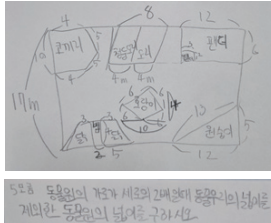
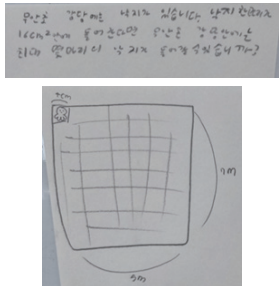
	1, 2 Session	3, 4 Session	5, 6 Session	7, 8 Session
Problem-Posing	문제: 두 도형의 넓이 합과 차를 다하십시오. 	문제: 넓이가 40cm^2인 사각형을 2개 그려 보세요. (직각=1cm) 	 (사각형 넓이=1/2 * 대각선 곱)을 사용하시라.	 공통일 점의 넓이가 336cm^2라고 합니다. 선분 LC를 온 있는 가림막을 설치하려고 할 때 가림막은 몇 cm 가하고 삼각형의 넓이를 구해보시오.
Complexity	4 level	3 level	3 level	4 level
Expandability	2 level	4 level	3 level	2 level
Explorability	2 level	3 level	3 level	4 level
Originality	2 level	3 level	4 level	4 level

Table 18. Class problems of control group according to session

	1, 2 Session	3, 4 Session	5, 6 Session	7, 8 Session
Problem -Posing				
Complexity	3 level	4 level	4 level	3 level
Expandability	3 level	2 level	2 level	2 level
Explorability	3 level	3 level	3 level	3 level
Originality	3 level	3 level	3 level	4 level

실험반과 비교반의 학급 문제를 살펴본 결과, 두 집단 모두 차시가 진행될수록 점차 더욱 발전적인 문제를 만들었다. 실험반은 기존의 과제 상황을 확장시키거나 새로운 범주의 문제를 만든 경우가 많은 반면, 비교반은 과제 상황을 창의적으로 설정하였으나 넓이를 구하는 문제 범주가 많았다.

Changes in Average Brain Activity

Block Averaging 자료를 분석한 결과, 사전 · 사후 검사 측정 시 기저선(base line)으로 설정한 구간에 비해 5개의 과제를 보고 문제를 만드는 활동에서 나타나는 평균 두뇌 활성화 양상은 Fig. 4, 5와 같다. 사전 검사에서는 대체로 전전두엽 피질의 전반적인 부분에서 활성화되었으나 부분적으로 비활성화된 영역이 나타났다. 사후 검사에서는 대체로 사전 검사에 비해 뇌의 전반적 영역이 골고루 더 활성화된 모습이며 특히 오른쪽 VLPFC 영역에 해당하는 4번 채널에서 가장 강한 활성이 나타났다.

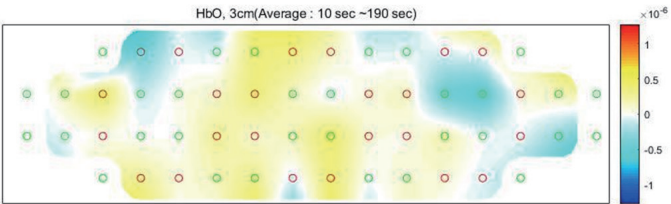


Fig. 4. Average brain activity in pre-test

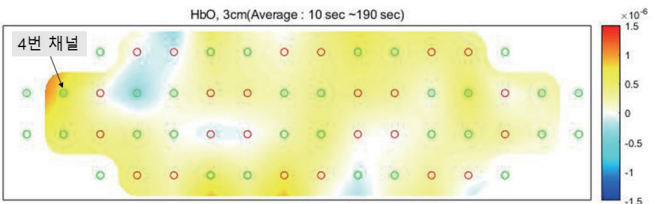


Fig. 5. Average brain activity in post-test

Changes in Activity by Brain Region

GLM (General Linear Modeling)을 이용하여 문제 만들기 프로그램 적용 전 · 후에 실시한 두뇌 활성이 유의미하게 변화한 영역은 Fig. 6과 같다($p<0.05$). 오른쪽 VLPFC 영역의 채널 4, 9, 10번(BA 45, 46)에서 유의미하게 활성 증가가 나타났다. SPSS 통계 결과도 Table 19와 같이 오른쪽 VLPFC영역에서만 유의도가 0.001로 유의미한 결과가 나타났다.

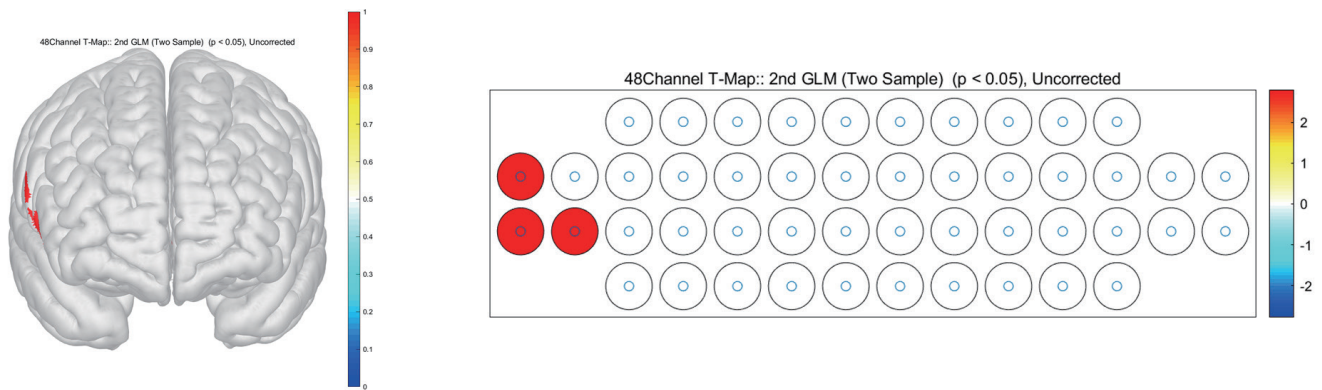


Fig. 6. Brain activation area channels that changed significantly in post-test

Table 19. Brain activation area that changed significantly in post-test

Region	Hemisphere	N	t	F	p
DLPFC	Left	15	-0.829	14	0.421
	Right	15	0.068	14	0.947
FPC	Left	15	0.780	14	0.448
	Right	15	-0.816	14	0.428
OFC	Left	15	-0.154	14	0.880
	Right	15	-0.762	14	0.458
VLPFC	Left	15	0.489	14	0.633
	Right	15	-4.120	14	0.001**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$,

Note. Shaded areas are areas that changed significantly

Changes in Brain Activity According to Level Change

GLM (General Linear Modeling)을 이용하여 문제 만들기 사후 검사에서 하위권 학생들 중 점수가 많이 오른 학생과 적게 오른 학생의 두뇌 활성도를 비교하였다. 먼저 문제 만들기 수준 검사 평균 2수준에 못 미치는 학생들을 대상으로 정하였다. 그 중 점수가 평균 1수준 이상 증가한 학생들과 그렇지 못한 학생들의 두뇌 활성도 차이를 비교하였다. 비교한 결과는 다음 Fig. 7과 같은 차이를 보였다. 사전 검사에서는 문제 만들기를 만드는 수준이 낮았으나 사후 검사에서 수준이 많이 향상한 학생들은 DLPFC 영역의 채널 2번, 11번, 38번(BA 9, 46)에서 유의미하게 활성 증가가 나타났다.

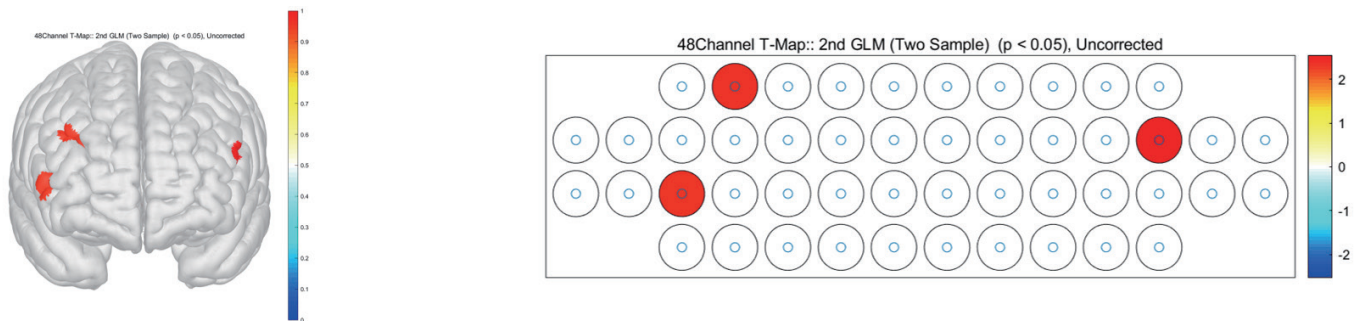


Fig. 7. Brain activation area channels that changed significantly according to level change

Discussions

본 연구에서는 도형과 측정 영역에서 비구조화된 문제 만들기 프로그램과 구조화된 문제 만들기 프로그램을 적용하였고 개발한 분석틀에 따라 학생들이 만든 문제 만들기의 수준을 측정하고 비교하였다. 이와 함께 뇌 활성도의 변화를 측정하여 정량적으로 분석하였다. 본 연구의 결과에 따른 논의는 다음과 같다.

첫째, 도형과 측정 영역에서 문제 만들기 프로그램을 개발하고 그 효과성을 입증하여 문제 만들기 활동을 수와 연산 영역뿐 아니라 다양한 영역으로 확장하였다. 수학 교과서에 반영된 문제 만들기 과제는 대부분 수와 연산 영역에서 다루고 규칙성, 도형, 측정 영역에서는 거의 다루지 않는다고 주장한 Park & Lim (2023)의 연구, 수학 교과서에 반영된 문제 만들기 과제 수가 측정 영역에서 가장 적다고 주장한 Park (2021)의 연구, 아직 국내 연구에서는 도형과 측정 영역에서 문제 만들기 활동의 효과성을 측정한 연구가 미흡하다고 주장한 Joo & Han (2016)의 연구 결과를 종합하여 볼 때, 국내에서 활용되는 문제 만들기 활동은 대부분 수와 연산 영역에 치중되어 있음을 확인할 수 있다. 또한 수와 연산 영역에서 문제 만들기 활동을 적용한 결과 문제 해결력 향상에 효과적이라고 주장한 Bae & Park (2016), 학업 성취도가 향상했다고 주장한 Shin & Lim (2010)의 연구와 관련지어 보면 본 연구의 문제 만들기 프로그램을 통해 문제 만들기 활동이 수와 연산 영역 뿐 아니라 다양한 영역에서 효과적이라고 해석할 수 있다. 따라서 본 연구는 수학과와 다양한 영역으로 문제 만들기 활동을 확장시켰으며 도형과 측정 영역에서 문제 만들기를 효과적으로 지도할 수 있는 프로그램을 개발하고 그 효과성을 검증했다는 점에서 의의가 있다.

둘째, 프로그램 적용 결과, 학생들은 지도 단계에 따라 자신의 문제를 발전시키고 모둠 문제를 만들면서 더욱 발전적인 문제를 만들었다. 실험반과 비교반 학생들은 지도 단계에 따라 개인 문제 만들고 발전시킨 후 모둠 문제를 만드는 과정에서 서로의 아이디어를 교류하고 협력하였고 만든 문제의 수준을 높였다. 본 연구에서는 개인별로 문제를 만들고 모둠 내 다른 학생이 만든 문제를 살펴보고 의사소통 과정 중 떠오르는 아이디어를 중심으로 자신이 만든 문제를 발전시킨 후 모둠 문제, 학급 문제를 구성하는데 초점을 두었기 때문에 학생들이 1차적으로 만든 문제를 가다듬고 문제의 완성도가 높아졌을 뿐 아니라 문제의 질도 개선된 것으로 해석할 수 있다. 즉 자신의 문제를 만들고 모둠별 의사소통을 통해 발전시키고 협의를 거쳐 모둠 문제를 구성하는 과정에서 문제의 수준이 점점 높아졌다. 이는 문제를 만들고 수정하는 토의 과정을 거치면서 수학적 개념과 원리를 익히고 다른 친구들과 아이디어를 공유하면서 문제의 질을 향상시켰다는 Lee & Kim (2016)의 연구 결과와 상통하는 결과이다. 또한 본 연구는 문제를 많이 만드는 방향보다 만든 문제를 지속적으로 탐구하고 수준을 높이도록 지도 단계를 설정하였다는 점에서 문제를 만들 때 양을 늘리기보다 과제 상황을 충분히 탐구할 기회가 주어져야 한다는 Crespo & Sinclair (2008)의 의견과도 일치한다고 할 수 있다. 따라서 다양한 수준의 학습자는 본 연구에서 개발한 문제 만들기 프로그램을 통해 과제를 충분히 탐구하고 서로 협력하는 과정을 통해 각자의 수준에서 발전된 문제를 만들 수 있다는 점에서 의의가 있다.

셋째, 수준 점수 변화에 있어 비구조화된 프로그램이 구조화된 프로그램보다 더 차이를 보였다. 비구조화된 프로그램을 진행한 결과 차시가 진행될수록 학생들은 과제 상황을 이용하여 다양하고 발전적인 문제를 만든 반면, 구조화된 프로그램을 진행한 학생들은 예시 문제의 다각형 모양이나 길이를 바꾸는 문제를 만들거나 이야기를 꾸미고 실생활 상황을 이용하는 모습이 두드러졌다. 이는 구조화된 문제 만들기 프로그램이 현재 교육 현장에서 문제 만들기를 주어진 문제의 배경이나 등장하는 구체물을 바꾸는 데 집중한다는 Yoon & Back (2010)의 연구 맥락에서 이해할 수 있으며, 예시 문제의 조건을 바꾸는 문제 만들기는 예시 문제의 내

용에서 크게 달라지지 않은 내용으로 문제를 만드는 경우가 많다는 Jung & Park (2010)의 연구, 과제에서 제시하는 예시 문제를 모방하여 문제를 만드는 경향이 있다고 주장한 Park & Lim (2023)의 연구와 맥을 같이 한다. 종합하면, 학생들은 예시 문제가 주어지면 예시 문제의 형식 안에서 상황과 조건들은 바꾸지만, 예시 문제 형태 자체를 바꾸거나 새로운 범주의 문제를 만들기는 어려워한다고 볼 수 있다. 즉, 예시 문제가 학생들의 다양하고 유연하게 생각하는 인지적 사고를 방해할 수 있으므로 기존 상황을 확장할 수 있는 문제 만들기 활동이 필요하다고 보고한 Lee (2013)의 연구 결과처럼 예시 문제를 제시하지 않고 다양한 사고를 자극할 수 있는 문제 만들기 프로그램이 필요하다. 예시 문제 대신 상황을 제공함으로써 문제 만들기 능력을 더 발전시킨다고 보고한 Isrokatun et al. (2019)의 주장, 더 많은 탐구 여지를 남길 수 있는 그림과 같은 비공식적 맥락에 의해 수학적 사고가 촉진된다는 Crespo (2003)의 주장처럼 비구조화 문제 만들기 프로그램은 예시 문제 없이 다양한 도형, 모눈종이, 그림, 단어 형태의 과제를 보고 문제를 만들고 다른 학생들과 아이디어 교류를 통해 더 발전시킴으로써 수학적 사고능력을 높이고 문제의 수준을 높일 수 있다. 따라서 주어진 상황을 탐구하여 확산적으로 사고하고 수학 능력을 키울 수 있는 비구조화된 문제 만들기 프로그램의 필요성이 두드러진다.

넷째, 비구조화된 문제 만들기 프로그램은 전전두엽을 전반적으로 활성화시켜 두뇌를 발달시키는 프로그램이다. 학생들은 비구조화된 문제 만들기 프로그램을 적용한 결과 점점 더 수준이 높은 문제를 만들었고 그와 동시에 전전두엽 영역 전체의 활성화가 유의미하게 증가하였다. 이는 학생들이 기존의 수학적 지식과 기능을 연관시킬 때 전반적인 뇌신경을 자극 함으로써 두뇌가 활성화된다고 주장한 Kim et al. (2010), 학생들이 해결하는 문제의 난이도가 높을수록 뇌 활성화가 비례하여 증가한다고 주장한 Kuk & Ryu (2020)의 연구 결과와 종합하여 해석해볼 때, 학생들은 발전적이고 창의적인 문제를 만들기 위해 기존의 수학적 지식을 연결하고 적용하였을 뿐만 아니라 인지적으로 더 수준이 높은 문제를 만들기 위해 노력하였음을 암시한다. 그러나 이러한 연구 결과는 한자리 수 곱셈보다 2복잡한 두자리 수 곱셈에서 인지적 기능이 낮아졌다는 연구 결과와는 상반된 결과이다(Soltanlou et al., 2017). 이는 성인들을 대상으로 두자리 수 곱셈을 하는 동안 전두엽 영역의 활성화도가 낮아진 결과로, 두정엽 영역의 활성화도는 오히려 높아진 것을 확인할 수 있다. 발달 연구에 따르면 나이가 들수록 수학 능력이 향상되기 때문에 사칙연산 문제를 해결할 때 활성화되는 두뇌 영역은 인지 갈등을 조절하는 전두엽에서 자동화된 사실 검색을 하는 두정엽으로 전환된다(Artemenko et al., 2018; Prado et al., 2014). 이를 종합하여 해석하면, 성인들에게 두자리 수 곱셈은 이미 학습을 통해 훈련되었으므로 인지적 부하를 만들기 어렵다고 해석할 수 있다. 반면 문제 만들기는 같은 문제를 반복적으로 해결하여 익숙하게 만들기보다 문제 상황을 보고 새롭게 발전적인 문제를 만든다는 점에서 다르게 작용할 수 있다. 문제 만들기 수준이 증가한 만큼 더 다양하고 확산적으로 사고할 수 있고 심층적으로 탐구가 가능하여 수준이 높은 문제를 만들 수 있기 때문에 전전두엽의 활성화가 계속 일어날 수 있다고 추측할 수 있다.

다섯째, 비구조화된 문제 만들기 프로그램은 학습한 내용을 적절히 선택하여 적용하는 능력과 함께 수학적 사고 능력을 개발시킨다. 학생들의 사전·사후 검사에서 두뇌 활성화 정도를 비교했을 때 오른쪽 VLPFC에 해당하는 채널의 활성화에 유의미한 차이를 보였다. 시각을 활용하여 관련된 정보만을 선택하고 추출할 때 오른쪽 VLPFC가 활성화된다는 McLaughlin et al. (2009)의 연구, 구체적이지 않은 자극에 의해 정보를 적극적으로 검색하는데 관여된다는 Petrides et al. (2002)의 연구를 반영하여 해석한다면 학생들은 단서가 제한적으로 주어지지 않은 과제를 해결하기 위해 과제를 시각적으로 확인하고 다각형의 둘레와 넓이를 적용할 문제들을 떠올리고, 작업 기억을 활용하여 필요한 정보만 선택적으로 인출하는 능력이 향상되었다는 것을 의

미한다. 또한 불일치하는 갈등을 해결하기 위해 잘못된 정보는 억제한다는 Meier et al. (2022)의 연구와 관련 지어 볼 때, 학생들은 필요한 정보를 인출하고 자신이 만든 문제를 해결할 수 있는지 확인하며 조건이 충분한 문제를 만드는 능력이 높아지는 역할을 하는 것으로 볼 수 있다.

한편, 탱그램 과제를 활용하여 단서가 없는 과제에서 복잡한 인지 처리가 일어나 오른쪽 VLPFC 영역이 활성화 되었다고 보고한 연구 결과(Kang, 2020), 대학생들을 대상으로 수학 학습과 뇌활성 영역을 분석한 결과 우수 성취 집단이 하위 성취 집단에 비해 우측 VLPFC 활성화가 더 높게 나타났다는 연구 결과(Hong et al, 2012)를 반영하여 해석하면, 비구조화된 과제는 예시 문제가 제시되지 않고 주어진 상황을 자유롭게 심층적으로 탐구하게 함으로써 단순히 조건을 변형하는 사고가 아닌 복잡하고 발전적인 수학적 사고를 유발한다는 점에서 의의가 있다.

여섯째, 비구조화된 문제 만들기 프로그램은 학습 수준이 낮은 학생들의 수학적 추론 능력을 개발시킨다. 수학 학습에서 전략적 정보 처리, 높은 수준의 실행 처리, 문제 해결 등에 DLPFC 영역이 관여된다는 Toepfer et al. (2010)의 연구 결과, 창의적이고 새로운 작업과 복잡한 인지 계획에 DLPFC가 연관되었다는 Aziz-Zadeh et al. (2013)의 연구 결과를 반영하여 해석하면, 비구조화된 문제 만들기 프로그램은 학습 수준이 낮은 학생들이 전략적으로 정보를 처리하고 복잡하고 창의적인 문제를 만들도록 도울 뿐 아니라 수학적 추론 능력을 높이는 데 도움이 된다고 볼 수 있다.

수학적 추론 능력이 향상된 이유를 조심스럽게 추정해보자면, 본 연구의 비구조화된 문제 만들기 프로그램은 단서가 많이 없는 도형, 모눈종이, 그림, 단어 형태의 제시된 상황을 살펴보고 고민하며 다양한 방법으로 탐구하도록 유도한다. 이는 창의적 사고를 기르는데 핵심적이라는 Van Harpen & Sriraman (2013)의 연구, 문제 만들기 과정에서 창의적 추론이 발생되었다고 언급한 Lee & Kim (2020)의 연구와도 종합하여 볼 때, 학생들이 학습한 내용을 심층적으로 탐구하고 연결하고 적용하며 수학적 사고능력을 총체적으로 신장시키고 문제 만들기 수준을 높이도록 도와줄 뿐만 아니라, 창의적으로 뇌를 발달시키는 프로그램이라고 볼 수 있다.

Conclusions

본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 개발한 문제 만들기 프로그램은 도형과 측정 영역에서 문제 만들기 능력을 높이는 데 유용하다. 이는 문제 만들기 활동이 기존에 많이 수행되던 수와 연산 영역뿐 아니라 수학과 관련된 다양한 영역에서도 효과적이라고 할 수 있겠다. 구조화된 프로그램과 비구조화된 프로그램을 진행한 학생들은 모두 문제 만들기 과제 상황과 형태에 따라 학습한 수학적 개념을 적용하여 자신의 수준에 맞게 다양한 문제를 만들었으며, 지도 단계에 따라 친구들과 의사소통하며 자신이 만든 문제를 점차 발전시켰다. 따라서 본 연구의 문제 만들기 프로그램은 모든 학생에게 적용 가능하며 수학 교육과정 상에 매우 유의미한 활동일뿐만 아니라 활용 가능성이 높다고 할 수 있겠다.

둘째, 비구조화된 문제 만들기 프로그램은 학생들의 문제 만들기 수준을 더 향상시킨다. 비구조화된 문제 만들기 프로그램 속 적절히 탐구할 수 있는 과제와 다른 학생들과 아이디어를 교류하고 협력하여 만든 문제를 발전시키도록 하는 전략은 문제 만들기의 수준을 높이는 데 효과적이었다. 예시 문제 없는 도전적인 과제 상황은 학생들이 다양한 방향으로 사고하도록 유도하여 확산적인 사고와 창의성을 길렀으며, 다른 학생들과의 교류를 통해서도 더욱 복잡하고 탐구적인 문제를 만들도록 도왔다.

셋째, 비구조화된 프로그램은 전전두엽 두뇌를 전반적으로 활성화시키고 특히 필요한 정보를 선택하여 적용하는 능력과 함께 수학적 사고 능력 및 추론 능력을 향상시킨다. 비구조화된 문제 만들기 프로그램의 효과성을 두뇌 활성화 영역 확인이라는 신경학적 방법으로 입증하였다. 연구 결과, 사전 검사보다 사후 검사에서 전전두엽의 활성화도가 전체적으로 높아졌다. 이는 학생들은 비구조화된 문제 만들기 프로그램을 통해 뇌를 골고루 발달시켰다는 것을 의미한다. 그중에서도 특히 작업기억 속 정보를 인출하여 적절성을 평가하고 발전적인 수학적 사고에 관여하는 오른쪽 VLPFC 영역의 활성화도가 유의미하였는데, 이는 비구조화된 문제 만들기 프로그램이 과제를 시각적으로 확인하고 다각형의 둘레와 넓이를 적용할 문제들을 떠올리고, 작업기억을 활용하여 필요한 정보만 선택적으로 인출하는 능력이 향상되었다는 것을 의미한다. 학생들은 필요한 정보를 인출하고 자신이 만든 문제를 해결할 수 있는지 확인하는 과정에서 조건이 충분한 문제를 만들고 인출한 정보들을 적용하여 발전적인 문제를 만드는 과정에서 문제 만들기 능력이 높아졌다.

또한 수준이 많이 오른 학생들을 대상으로 복잡한 인지를 요구하는 문제를 해결하거나 새롭고 창의적인 문제를 만드는 과정에 관여하는 DLPFC 영역의 활성화도가 유의했다. 이를 통해 비구조화된 프로그램은 예시 문제를 변형하지 않고 자유롭게 과제 상황을 탐구하고 학습한 수학적 개념을 연결하고 활용하기 때문에 수학적 사고를 발전시키고 다른 학생들과 교류를 통해 수준 높은 문제를 만들도록 도와줄 뿐만 아니라 고등사고에 필요한 뇌의 활성화에 영향을 주는 프로그램이라는 의의가 있다.

이와 같은 연구 결과를 토대로 문제 만들기 교육에 대한 제언은 다음과 같다.

첫째, 수학교육에서 문제 만들기 지도가 지속적으로 이루어지고 교육과정에 문제 만들기 활동의 반영을 늘려야 하겠다. 문제 만들기는 수학적 사고 발달, 지식 생산이란 측면에서 그 중요성에도 불구하고 문제 해결에 비해 소외되어왔고, 교과서에 반영 비율이 매우 낮을 뿐 아니라 구현된 문제 만들기는 조건을 변형하는 구조화된 문제 만들기 상황이 많다. 따라서 비구조화된 상황을 포함하는 다양한 형태의 문제 만들기가 교과서에 제공될 필요성이 있다. 더불어 교육과정 상에 문제 만들기 활동에 대한 체계적인 지도 단계 및 전략을 제시하고 구체적 연수 프로그램을 통하여 문제 만들기 수업에 대한 이해와 문제 만들기 지도 능력을 향상시킬 필요가 있다.

둘째, 본 연구는 비구조화 문제 만들기 프로그램의 효과성을 뇌 활성화 검사로 검증하는 방법을 제안하였다. 사전 검사에 비해 사후 검사에서 오른쪽 VLPFC 영역이 유의미한 활성화를 보이고 수준이 많이 향상한 학생들은 DLPFC 영역이 유의미한 활성화를 나타냈다. 하지만 뇌의 세부적 영역에 대한 연구가 아직 부족하고 같은 영역이더라도 다른 기능들을 보고한 연구들이 있어 분석에 어려움이 있었다. 또한 뇌 활성화와 수학교육을 연관지어 분석한 연구는 더욱 부족할 뿐만 아니라 연구 주제도 제한적이다. 따라서 수학교육에서 다양한 주제로 학습에 관해 연구하고 신경학적 방법으로 두뇌 활성화 검사를 적용한다면, 학습이 두뇌 발달에 미치는 영향을 다양한 측면에서 해석할 수 있겠다. 이와 더불어 다양한 정보를 바탕으로 두뇌 영역의 특징과 신경 발달을 촉진하는 정보를 얻을 수 있을 것이다. 본 연구 자료는 두뇌 활성화를 고려한 교수·학습 활동 개발의 기초 자료로 삼을 수 있겠다.

Reference

- Arsalidou, M., Pawliw-Levac, M., Sadeghi, M., & Pascual-Leone, J. (2018). Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta-analyses of fMRI studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30, 239-250.
- Aziz-Zadeh, L., Liew, S. L., & Dandekar, F. (2013). Exploring the neural correlates of visual creativity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 8, 475-480.
- Babai, R., Sekal, R., & Stavy, R. (2010). Persistence of the intuitive conception of living things in adolescence. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 20-26.
- Bae, J. H., & Park, M. G. (2016). The Effects of Reflective Problem Posing Activities on Students' Problem Solving Ability and Attitudes toward Mathematics. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 20, 311-331.
- Baumanns, L., & Rott, B. (2021). Rethinking problem-posing situations: A review. *Investigations in Mathematics Learning*, 13, 59-76.
- Baumanns, L., & Rott, B. (2022). The process of problem posing: Development of a descriptive phase model of problem posing. *Educational Studies in Mathematics*, 110, 251-269.
- Bicer, A., Lee, Y., Perihan, C., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2020). Considering mathematical creative self-efficacy with problem posing as a measure of mathematical creativity. *Educational Studies in Mathematics*, 105, 457-485.
- Brown, S. I., & Walter, M. I. (2005). *The Art of Problem Posing*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates. Psychology Press.
- Cai, J., Chen, T., Li, X., Xu, R., Zhang, S., Hu, Y., ... Song, N. (2020). Exploring the impact of a problem-posing workshop on elementary school mathematics teachers' conceptions on problem posing and lesson design. *International Journal of Educational Research*, 102, 101404.
- Cai, J., Moyer, J. C., Wang, N., Hwang, S., Nie, B., & Garber, T. (2013). Mathematical problem posing as a measure of curricular effect on students' learning. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 57-69.
- Cai, J., & Jiang, C. (2017). An analysis of problem-posing tasks in Chinese and US elementary mathematics textbooks. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15, 1521-1540.
- Cai, J., & Hwang, S. (2002). Generalized and generative thinking in US and Chinese students' mathematical problem solving and problem posing. *The Journal of Mathematical Behavior*, 21, 401-421.
- Cai, J., & Hwang, S. (2020). Learning to teach through mathematical problem posing: Theoretical considerations, methodology, and directions for future research. *International Journal of Educational Research*, 102, 101391.
- Cai, J., Hwang, S., Jiang, C., & Silber, S. (2015). Problem posing research in mathematics: Some answered and unanswered questions. In F. M. Singer, N. Ellerton, & J. Cai (Eds.), *Mathematical Problem Posing: From Research to Effective Practice* (pp. 3-34). Springer.
- Choi, Y. S. & Bae, J. S. (2004). Effects of Teaching with Problem Posing on Mathematical Problem Solving Ability and Attitude in Elementary School Mathematics. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 8, 23-43.
- Crespo, S. (2003). Learning to pose mathematical problems: Exploring changes in preservice teachers' practices. *Educational Studies in Mathematics*, 52, 243-270.
- Crespo, S., & Sinclair, N. (2008). What makes a problem mathematically interesting? Inviting prospective teachers to pose better problems. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 11, 395-415.
- Cui, X., Bray, S., Bryant, D. M., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2011). A quantitative comparison of NIRS and fMRI across multiple cognitive tasks. *Neuroimage*, 54, 2808-2821.

- Desco, M., Navas-Sanchez, F. J., Sanchez-Gonzalez, J., Reig, S., Robles, O., Franco, C., & Arango, C. (2011). Mathematically gifted adolescents use more extensive and more bilateral areas of the fronto-parietal network than controls during executive functioning and fluid reasoning tasks. *Neuroimage*, 57, 281-292.
- DeYoung, C. G. (2010). Personality neuroscience and the biology of traits. *Social and Personality Psychology Compass*, 4, 1165-1180.
- Dunst, B., Benedek, M., Jauk, E., Bergner, S., Koschutnig, K., Sommer, M., ... & Neubauer, A. C. (2014). Neural efficiency as a function of task demands. *Intelligence*, 42, 22-30.
- English, L. D. (1997). The development of fifth-grade children's problem-posing abilities. *Educational Studies in Mathematics*, 34, 183-217.
- Graesser, A., Otero, J., Corbett, A., Flickinger, D., Joshi, A., & Vanderwende, L. (2008). Guidelines for Question Generation Shared Task Evaluation Campaigns. In *The Question Generation Shared Task & Evaluation Challenge Workshop Report*, University of Memphis.
- Halmos, P. R. (1970). How to write mathematics. *Élenseignement Mathématique*, 16, 123-152.
- Han, H. S. (2018). A case study on mathematical problem posing in pre-service mathematics teacher education. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 21, 63-89.
- Herff, C., Heger, D., Fortmann, O., Hennrich, J., Putze, F., & Schultz, T. (2014). Mental workload during n-back task—quantified in the prefrontal cortex using fNIRS. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 935.
- Hong, J. R., Hwang, J. H., & Kim, E. J. (2012). Difference of working memory according to academic achievement with college students; functional Magnetic Resonance Imaging. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 6, 173-182.
- Huh, N. (2011). Elementary teachers' perceptions and applications about problem-posing in the mathematics instruction. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 14, 539-564.
- Kang, M. J. (2020). Brain activation with fnirs in children's transformational geometry problem solving: Using tangram. *Brain, Digital, & Learning*, 10, 485-497.
- Jung, J. H., & Lim, M. G. (1992). About problem setting and teaching=learning (1). *Journal of the Korean Society of Mathematical Education*, 31, 55-62.
- Jung, S. G., & Park, M. G. (2010). The effects of the mathematical problem generating program on problem solving ability and learning attitude. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 14, 315-335.
- Kilpatrick, J. (1987). Problem formulating: Where do good problems come from?. In A. H. Schoenfeld (Ed.), *Cognitive Science and Mathematics Education* (pp. 123-147). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kim, G. T., & Ryu, S. R. (2013). An analysis of problem posing in the 5th and 6th grade mathematics textbooks and errors in problem posing of 6th graders. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 17, 321-350.
- Kim, K. O., & Ryu, S. R. (2009). The effects of the situation-based mathematical problem posing activity on problem solving ability and mathematical attitudes. *Journal of Korea Society of Educational Studies in Mathematics*, 11, 665-683.
- Kim, J. K., & Lim, M. K. (2001). An effect coming to the problem solving ability from the problem posing activity by presenting the problem situation. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 5, 77-98.
- Kim, S. J., Kwon, Y. M., & Bae, J. S. (2010). The effects of open-ended problems on mathematical creativity and brain function. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 14, 723-744.
- Ko, J. H. (2015). The analysis of problem posing activities and students' performance in the 4-1 textbook and workbook. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 18, 103-122.

- Kuk, H., & Ryu, K. S. (2022). Study on brain activation characteristics in solving physics problems. *NPSM*, 72, 135-141.
- Lavy, I., & Bershadsky, I. (2003). Problem posing via “what if not?” strategy in solid geometry—A case study. *The Journal of Mathematical Behavior*, 22, 369-387.
- Lee, K. M., Lee, K. H., & Lee, K. C. (2012). The analysis of the 5th graders’ responses on problem posing. *School Mathematics*, 14, 431-443.
- Lee, D. H. (2012). An analysis on the students’ mathematical creativity in problem posing activities. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 15, 411-428.
- Lee, D. H. (2017). The analysis of problem posing cases of pre-service primary teachers. *School Mathematics*, 19, 1-18.
- Lee, H. Y., & Park, M. G. (2018). A comparative analysis on the mathematical problem posing according to the tasks with different degrees of structure by the gifted and non-gifted elementary students. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 22, 309-330.
- Lee, J. H. & Kim, M. K. (2016). The development and application of posing open-ended problems program with renzulli’s enrichment triad model for mathematics gifted elementary students. *The Mathematical Education*, 55, 209-232.
- Lee, M. H., & Kim, S. H. (2020). Analysis of abduction in mathematics problem posing and solving. *Journal of Educational Research in Mathematics*, 30, 89-110.
- Lee, Y. J. (2013). *An Analysis of Students’ Mathematical Problem Posing* (Unpublished Master’s Thesis). Ewha Womans University, Seoul, Republic of Korea..
- Leung, S. K. S. (2013). Teachers implementing mathematical problem posing in the classroom: Challenges and strategies. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 103-116.
- Lin, K. M., & Leng, L. W. (2008). Using problem-posing as an assessment tool. In *10th Asia-Pacific Conference on Giftedness*, Singapore, 1-15.
- Manuel, D., & Freiman, V. (2017). Differentiating instruction using a virtual environment: A study of mathematical problem posing among gifted and talented learners. *Global Education Review*, 4, 78-98.
- McLaughlin, N. C., Moore, D. W., Fulwiler, C., Bhadelia, R., & Gansler, D. A. (2009). Differential contributions of lateral prefrontal cortex regions to visual memory processes. *Brain Imaging and Behavior*, 3, 202-211.
- Meidenbauer, K. L., Choe, K. W., Cardenas-Iniguez, C., Huppert, T. J., & Berman, M. G. (2021). Load-dependent relationships between frontal fNIRS activity and performance: A data-driven PLS approach. *NeuroImage*, 230, 117795.
- Meier, M. A., Wambacher, D., Vogel, S. E., & Grabner, R. H. (2022). Interference between naïve and scientific theories in mathematics and science: An fMRI study comparing mathematicians and non-mathematicians. *Trends in Neuroscience and Education*, 29.
- Ministry of Education (2015). 2015 Revised Curriculum for Mathematics (Ministry of Education Notice No. 2015-74).
- Ministry of Education (2022). 2022 Revised Curriculum for Mathematics (Ministry of Education Notice No. 2022-33 [Saparate book 8])
- Ministry of Education & Human Resources Development (2006). 2007 Revised Curriculum for Mathematics (Ministry of Education & Human Resources Development Notice No. 2006-75)
- Ministry of Education, Science and Technology (2011). 2009 Revised Curriculum for Mathematics (Ministry of Education, Science and Technology Notice No. 2011-361 [Saparate book 8]).
- Na, G. S. (2017). Examining the problem making by mathematically gifted students. *School Mathematics*, 19, 77-93.

- National Council of Teachers of Mathematics. (1991). *Professional Standards for Teaching Mathematics*. Reston, VA: Author.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, VA: Author.
- Neubauer, A. C., & Fink, A. (2009). Intelligence and neural efficiency. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33, 1004-1023.
- OBELAB, Inc. (2022). NIRSIT Channel Information, Seoul, Korea.
- Olson, J. C., & Knott, L. (2013). When a problem is more than a teacher's question. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 27-36.
- Park, A. R., & Park, Y. H. (2018). A case study on the students' characteristics toward mathematics with problem posing activities. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 22, 93-114.
- Park, H. M., & Lim, M. I. (2023). Analysis of students' responses according to the types of problem posing tasks in mathematics textbooks of grade 3-4. *School Mathematics*, 25, 83-112.
- Park, J. H. (2021). An analysis of problem posing tasks in 5th and 6th grades mathematics textbooks. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 25, 465-488.
- Petrides, M., Alivisatos, B., & Frey, S. (2002). Differential activation of the human orbital, mid-ventrolateral, and mid-dorsolateral prefrontal cortex during the processing of visual stimuli. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 5649-5654.
- Pinti, P., Tachtsidis, I., Hamilton, A., Hirsch, J., Aichelburg, C., Gilbert, S., & Burgess, P. W. (2020). The present and future use of functional near - infrared spectroscopy (fNIRS) for cognitive neuroscience. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1464, 5-29.
- Prado, J., Mutreja, R., & Booth, J. R. (2014). Developmental dissociation in the neural responses to simple multiplication and subtraction problems. *Developmental Science*, 17, 537-552.
- Sheffield, L. (2009). Developing mathematical creativity—questions may be the answer. In R. Leikin, A. Berman, & B. Koichu (Eds.), *Creativity in Mathematics and the Education of Gifted Students* (pp. 87-100). Rotterdam: Sense Publishers.
- Shin, S. J., & Lim, M. K. (2010). An analytic study of mathematical problem-posing activities for two-hour classes-focusing on 3rd grade elementary school children. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 14, 43-64.
- Silver, E. A. (1994). On mathematical problem posing. *For the Learning of Mathematics*, 14, 19-28.
- Silver, E. A., & Cai, J. (1996). An analysis of arithmetic problem posing by middle school students. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27, 521-539.
- Silver, E. A., & Cai, J. (2005). Assessing students' mathematical problem posing. *Teaching Children Mathematics*, 12, 129-135.
- Silver, E. A., Kilpatrick, J., & Schlesinger, B. (1990). *Thinking through Mathematics: Fostering Inquiry and Communication in Mathematics Classrooms*. New York, NY: The College Entrance examination Board.
- Singer, F. M., Pelczer, I., & Voica, C. (2011). Problem posing and modification as a criterion of mathematical creativity. In T. Rowland & E. Swoboda (Eds.) *Proceedings of the 7th Conference of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME 7)* University of Rzeszów, Poland, 9-13 February, 2011.
- Singer, F. M., Ellerton, N., & Cai, J. (2013). Problem-posing research in mathematics education: New questions and directions. *Educational Studies in Mathematics*, 83, 1-7.
- 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, 277.

- Stanic, G., & Kilpatrick, J. (1989). Historical perspectives on problem solving in the mathematics curriculum. *The Teaching and Assessing of Mathematical Problem Solving*, 3, 1-22.
- Stoyanova, E., & Ellerton, N. F. (1996). A framework for research into students' problem posing in school mathematics. *Technology in Mathematics Education*, 4, 518-525.
- Sung, C. G., Lee, N. K., & Lee, D. H. (2017). Analysis of problem posing activity of fifth grade students. *C-Education of Primary School Mathematics*, 20, 193-204.
- 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, 1244-1253.
- Van Harpen, X. Y., & Sriraman, B. (2013). Creativity and mathematical problem posing: an analysis of high school students' mathematical problem posing in China and the USA. *Educational Studies in Mathematics*, 82, 201-221.
- Watt, H. M. (2005). Attitudes to the use of alternative assessment methods in mathematics: A study with secondary mathematics teachers in Sydney, Australia. *Educational Studies in Mathematics*, 58, 21-44.
- Xia, X., Lü, C., & Wang, B. (2008). Research on mathematics instruction experiment based problem posing. *Journal of Mathematics Education*, 1, 153-163.
- Xie, J., & Masingila, J. O. (2017). Examining interactions between problem posing and problem solving with prospective primary teachers: A case of using fractions. *Educational Studies in Mathematics*, 96, 101-118.
- Xu, B., Cai, J., Liu, Q., & Hwang, S. (2020). Teachers' predictions of students' mathematical thinking related to problem posing. *International Journal of Educational Research*, 102, 101427.
- 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.
- Yao, Y., Hwang, S., & Cai, J. (2021). Preservice teachers' mathematical understanding exhibited in problem posing and problem solving. *ZDM-Mathematics Education*, 53, 937-949.
- Yoon, S. A., & Paik, S. Y. (2010). A study to improve teaching methods of mathematical problem posing in elementary mathematics. *The Journal of Korea Elementary Education*, 21, 25-47.
- Yun, M. R., & Park, J. S. (2008). The effects of problem posing program through structure-centered cooperative learning on mathematics learning achievements and mathematical disposition. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 12, 101-124.
- Zhang, H., & Cai, J. (2021). Teaching mathematics through problem posing: Insights from an analysis of teaching cases. *ZDM-Mathematics Education*, 53, 961-973.

Authors' Information

Han, Jinhee: Osu Elementary School, Teacher, 1st Author. <https://orcid.org/0000-0002-1320-2715>

Lee, Kwangho: Korea National University of Education, Professor, Corresponding Author

Son, Taekwon: Bongmyeong Elementary School, Teacher, Co-author