

RESEARCH ARTICLE

Analysis of Child's Spatial Ability

Min Jung Kang*

Korea National University of Education

아동의 공간능력 분석

강민정*

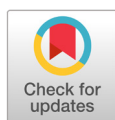
한국교육대학교

*Corresponding Author: ice9562kr@knue.ac.kr

ABSTRACT

This study analyzed how the spatial ability of children in the first and second grades of elementary school appeared. The key components of spatial ability are mental rotation, spatial visualization, and spatial orientation, which serve as spatial ability. The research results are as follows. Children performed spatial orientation the best and had the most difficulty with mental rotation. And there was a significant difference in spatial ability by age, but there was no significant difference in gender and the interaction effect between age and gender. As a result of analysis by component, there was no significant difference in age and gender in mental rotation and spatial visualization, and there was no significant difference in the interaction between age and gender. Spatial orienting was found to have a significant difference in age, but there was no significant difference in gender, and there was no significant difference in the interaction between age and gender. The results of this study will be able to serve as basic data for interventions that can learn how to effectively learn spatial abilities and think by diagnosing children's spatial ability.

Key words: Spatial ability, child, mental rotation, spatial visualization, spatial orientation



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2023, Vol. 13, No. 3, 279-293.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20230017>

Received: May 26, 2023

Revised: August 21, 2023

Accepted: August 25, 2023

© 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

공간에 대한 이해는 기하학적인 세계를 해석하고 이해하며 올바르게 인식하는데 필요하다(NCTM, 1989). 아동이 더 잘 생활하고, 움직이기 위해서는 공간을 배우고 탐색할 수 있어야 하며, 이를 통해 더 나은 방식으로 현실세계를 이해할 수 있다(Kang, 2020). 공간능력은 인간의 행동, 사고 및 인지의 기본으로 공간의 논리적 구조를 이해하고 사물을 다양한 관점에서 바라볼 수 있도록 한다. 공간과 관련된 과제를 수행할 수 있는 총체적 능력인 공간능력은 상징적이고 비언어적인 정보를 표상, 변환, 생성 및 회상하는 능력이다(Linn & Peterson, 1985). 또한 공간에서의 사물, 이미지, 관계를 이해하고 분석 및 반성하며 특히 새로운 개념을 학습하거나 익숙하지 않은 문제를 해결할 때 더 많은 공간능력

을 사용한다(Battista, 2007). 예를 들어 곱셈과 나눗셈, 비례의 개념을 먼저 공간적으로 구성한 후, 상징적으로 학습한다면 더 쉽게 이해할 수 있다. 이처럼 공간능력은 수학의 특정 영역에 한정적으로 유효하기보다는 일반적 학습과정에서도 중요한 역할을 하며, 개인의 일상생활 뿐 아니라 특정 직업에서의 성공에도 영향을 미치는 중요한 능력이다(Ramful et al., 2017).

공간능력은 단일 구성요소가 아니라 여러 구성요소의 조합으로(Linn & Peterson, 1985, Lohman, 1979; McGee, 1979) 공간능력에 대해 다면적 연구가 이루어지고 있으나 아직 공간능력의 명확한 구성요소에 대한 합의가 부족하며 이로 인해 공간감각, 공간기술, 공간인지 등 다양한 명칭으로 사용되기도 한다. 또한 동일한 용어를 서로 다른 내용으로 설명하기도 하고, 반대로 비슷한 내용에 대해 서로 다른 용어를 사용하기도 한다. 예를 들어 사물을 정신적으로 회전할 수 있는 능력에 대해 정신적 회전이라는 용어를 사용하기도 하지만, 공간 시각화에 포함되는 능력으로 보기도 하며(McGee, 1979), 공간관계라는 용어를 사용하기도 한다(Lohman, 1979). 그러나 공간능력에 대한 요인분석을 통해 공통적으로 언급하는 구성요소로 정신적 회전(mental rotation), 공간 시각화(spatial visualization), 공간 방향화(spatial orientation)를 제시하고 있다(Fowler et al., 2022; Kali & Orion, 1996; Lohman, 1979; Lowrie et al., 2019; Ramful et al., 2017).

먼저, 정신적 회전은 2차원 및 3차원 시공간 이미지를 정신적으로 표현하는 능력이다. 사물이 한 점 또는 한 축을 중심으로 특정 각도로 회전한 후 그것이 어떻게 나타날지 사고하는 인지적 과정으로 사물이나 도형 자체의 회전을 포함한다(Shepard & Metzler, 1971). 정신적 회전은 사물을 정신적으로 회전하였을 때 이를 빠르고 정확하게 파악할 수 있는 능력으로 단일 단계의 정신 변환을 필요로 한다(Wang & Carr, 2014). 또한 정신적 회전 동안 아동의 내부 인지과정은 사물의 외부 회전과 일대일 대응 관계가 있다고 가정할 수 있다. 따라서 특정 자극을 회전시킬 때 회전 각도가 클수록 물리적 회전과 마찬가지로 반응시간이 길어지는 선형적 관계를 가진다(Linn & Peterson, 1985. 이처럼 정신적 회전은 이미 제시된 전체 이미지를 회전하여 원래의 사물과 같은지 다른지를 결정하는 게슈탈트적 사고 과정이라면, 이어서 제시할 공간 시각화는 공간 형태를 이해하고 부호화하며 변환하는 과정을 통해(Ramful et al., 2017) 도형을 재구성하고 분해하는 능력을 필요로 한다. 즉 정신적 회전은 사물을 접거나 자르는 것과 같은 변형 없이 그 자체를 회전시킨다는 점에서 공간 시각화와 차별점이 있다. 이에 요인분석 연구에서는 정신적 회전과 공간 시각화를 종종 분리한다(Hegaty & Waller, 2005; Ramful et al., 2017).

공간 시각화는 사물의 공간 특성을 정신적으로 변환하거나 조작하는 능력 또는 기술이다(Lowrie et al., 2019). 공간 시각화는 공간적으로 제시된 정보의 복잡하고 다단계 조작을 포함하는 공간능력과 관련되며, 성공적 수행을 위해서는 최적의 전략을 선택할 수 있어야 하고 부분 요소들을 마음속으로 재배열하면서 공간을 재구성할 수 있어야 한다(Linn & Petersen, 1985; Lohman, 1979; McGee, 1979). 이를 위해서는 일련의 공간 변환을 상상해야 하며 그 정신적 과정을 순차적으로 기억하고 비교할 수 있어야 한다. 또한 부분과 전체와의 관계성을 인식할 수 있어야 한다. 이처럼 공간 시각화가 표상된 내용을 공간적 관계와 상황에 맞게 분해하고 재구성하며 통합하는 능력이라면, 정신적 회전은 사물 전체의 움직임을 상상하는 것과 관련된 능력이다. 따라서 공간 시각화와 정신적 회전은 서로 다른 시간적 프로파일을 가지고 있다(Cresentini et al., 2014). 공간 시각화와 정신적 회전은 서로 다른 점도 있으나 공통적으로 자아중심적(egocentric) 참조 프레임을 기반으로 과제를 해결한다. 즉 변화된 사물의 움직임을 상상하여 자신의 신체를 기준으로 모든 위치를 자신의 관점에서 바라본다(Ruggiero et al., 2016). 그러나 이어서 제시할 공간 방향화는 타인중심적(allocentric) 참조 프레임으로

환경내의 다양한 관점과 위치에서 공간 관계를 맵핑하는 과정을 포함하며 사물의 위치는 변화하지 않고 관찰자의 관점이 변화하는 것이다(Fernandez-Baizana et al., 2021). 이는 관찰자가 정신적으로 사물을 움직일 필요가 없다는 점에서 앞서 설명한 두 요소와는 구별된다.

공간 방향화는 다른 관점에서 자극 배열이 어떻게 나타날지 상상하는 능력으로 자신의 위치와 배열된 요소 간의 공간적 관계를 인식하고 이해할 수 있어야 한다(Kali & Orion, 1996; Lohman, 1979). 따라서 아동에게 일시적으로 자신의 관점을 포기하고 다른 물리적 위치에서 바라보는 것을 상상하도록 요구한다. 이것은 Piaget의 세 산 모형 과제에서 시작된 인지구조로 아동이 원기둥을 위에서 보면 원으로 보이고 아래에서 보아도 원으로 보이나 옆에서 보면 직사각형처럼 보인다. 이처럼 사물을 다른 관점에서 볼 때 어떻게 보일지 예상하는 것으로 사물을 여러 가지 다양한 관점에서 상상하는 능력을 필요로 한다. 고정된 관점에서 사물을 정신적으로 조작하는 능력과 공간에서 다른 관점 취하기를 상상하는 능력은 별개의 공간능력이다(Hegaty & Waller, 2004). 즉, 정신적 회전과 공간 시각화가 관찰자의 관점이 고정되어 있는 상태에서 사물을 정신적으로 조작하는 능력이라면, 공간 방향화는 관찰자의 관점이 변경된 후 고정된 배열의 모양을 예상하는 공간능력이라 할 수 있다.

이처럼 공간능력 과제 해결은 자아중심적 그리고 타인중심적 참조 프레임의 병행적 협력을 기반으로 이루어지며, 이를 효율적으로 통합하는 능력은 약 6세 이후부터 나타난다(Nardini et al., 2006). 공간능력은 공간 정보를 표상하고 적용, 변환하는 과정이며 결과를 예측하고 분석하는 능력이다. 예를 들어 사과를 기존의 방법과 다른 방법으로 반을 자를 때 어떤 모양이 되는지 알고 어딘가를 향해 갈 때 오른쪽에 있던 것이, 올 때는 왼쪽에 있다는 것을 아는 것이다. 이처럼 아동의 공간능력은 환경과의 상호작용을 통해 사물 사이의 공간 관계를 지각하는 지각적 공간능력으로부터, 정신적 모델을 구축하고 조작하는 개념적 공간능력으로 발달해간다(Piaget & Inhelder, 1967). 대략 4, 5세부터 2차원 패러다임에서 정신적 회전 전략을 사용하는 증거가 나타나고 있으며, 공간 정보의 정신적 변환은 아동이 7세인 구체적 조작기에 진입할 때 시작된다(Estes, 1998; Harris et al., 2013). 이때가 되면 자아중심성에서 벗어나 외부의 관점과 방향을 상상할 수 있게 되며 순서, 닫힌 공간 같은 외부 참조 프레임을 사용하여 더 복잡한 위상관계에 대한 이해가 발달하기 시작한다(Piaget & Inhelder, 1967). 또한 적절한 공간 전략을 선택하고 공간 및 비공간적 환경적 속성을 조합하는 것과 같은 새로운 기술의 습득을 가능하게 하는 수행 기능의 발달에 결정적 시기이기도 하다(Nardini et al., 2006). 따라서 이 시기에 해당하는 초등학교 1, 2학년을 대상으로 공간능력에 대한 연구가 필요하다.

그러나 공간능력과 관련하여 초등학교 고학년, 중고등학생, 성인을 대상으로 한 연구(Cho & Chong, 2012; Fowler et al., 2022; Moon & Ha, 2010; Linn & Petersen, 1985; Ramful et al., 2017)는 많으나, 연령이 낮은 초등학교 저학년을 대상으로 한 연구는 상대적으로 찾아보기 어렵다. 특히 공간능력은 대상을 조작하고, 근거리와 원거리, 사물과 위치를 시각화 하는 능력으로 시작하여 어린 나이에 발달하며, 기본 인지 능력과 학업 능력을 확인하고 그 변화를 설명하는데 매우 중요하다. 또한 모든 아동에게 가르칠 수 있으며, 추후 다양한 사진, 도표, 수학적 다이어그램, 지도 등을 해석하는데 도움을 주어 수학 뿐 아니라 지리, 과학과 같은 학교 교육과정의 여러 과목에서도 유용하다. 이처럼 공간능력은 물리적 환경을 해석하고, 수학 및 기타 과목 학습의 기초를 형성하는 데 중요한 요인이나, 초등학교 저학년 수학 교육과정에서는 공간능력을 가르치는데 많은 시간을 할애하지 않고 있으며 현재 아동이 가진 공간능력은 어느 정도이며, 구성요소별로 어떻게 나타나고 있는지에 대한 연구도 부족하다.

이에 본 연구에서는 초등학교 1, 2학년을 대상으로 공간능력 수행정도를 살펴보고자 하였으며 공간능력 중 어떤 구성요소가 먼저 발달하고 수행에 어려움을 보이는지, 그리고 연령과 성별에 따라 공간능력에 차이가 있는지 분석하고자 한다. 이는 효율적으로 공간능력을 학습하고 공간적으로 사고하는 방법을 배울 수 있는 프로그램 개발의 기초자료를 제공해 줄 수 있을 것이다.

Methods

Participants

본 연구는 아동의 공간능력을 분석하기 위한 것으로 충청북도에 소재한 A초등학교 1, 2학년 각 3학급씩 단순무선 표집으로 연구대상을 선정하였다. 초등 저학년을 선택한 이유는 공간 정보의 정신적 변환은 아동이 구체적 조작 단계인 7세 전후에 발생하기 때문이다(Harris et al., 2013). 연구를 진행하기 전에 해당 교육기관에 연구의 목적, 방법, 내용 및 개인정보 보호에 대한 부분을 설명하였으며 학부모의 동의가 있는 아동만을 연구대상으로 선정하였다. 공간능력 과제를 수행하기 위해 정상적 의사소통이 가능한 아동을 선정하였으며, 최종 연구대상은 학년별로 초등 1학년 36명, 2학년 29명으로 총 65명이 선정되었다. 본 연구는 소속기관의 생명윤리위원회 승인을 받고 진행하였다.

Task Design

공간능력을 측정하기 위해 선행연구들(Hegaty & Waller, 2004; Linn & Peterson, 1985; Quaiser-Pohl, 2003; Ramful et al., 2017)을 바탕으로 공간능력 구성요소를 정신적 회전, 공간 시각화, 공간 방향화로 선정하였다. 공간능력 과제를 개발하기 위해 공간능력 각 구성요소별로 예비과제를 7개씩 만들었으며 예비 실험을 통해 과제의 난이도, 과제 수, 과제 해결 시간, 과제 이해 정도 등을 확인하였다. 1차 예비실험 결과 과제 수가 많다는 의견과 동일 연령 내에서 아동 간 정답의 편차가 큰 문항은 전문가와 상의 후 구성요소별로 삭제하였다. 또한 정답률이 높은 과제는 난이도를 조절하였다. 2차 예비실험에서는 아동의 과제 이해 정도를 확인하였고, 과제별 해결 시간의 편차가 크게 나타나 제시 시간을 3분으로 제한하였다. 이상의 과정을 통해 공간능력 측정을 위한 최종 과제는 구성요소별로 연습과제 1개, 본 과제 4개, 총 15개로 구성되었다. 각 과제는 보기 그림 1개와 이와 관련된 4개의 예시인 사지선다 형식으로 제공되었으며, 이상의 모든 과정은 수학교육 전문가 1인과 석사 학위 이상의 교직 경력 15년 이상인 초등교사 2인에게 내용타당도를 검증 받았다.

먼저, 정신적 회전은 2차원이나 3차원의 사물을 한 축이나 한 점을 기준으로 회전시켰을 때 그 모습을 상상할 수 있는 능력이다. 이를 측정하기 위해 연습과제는 자음으로 구성된 2차원의 평면 그림으로 제시하였으며, 본 과제는 2차원의 평면 그림 2개, 3차원의 입체 그림 2개로 구성되어 있다. 과제별 회전 각도는 45, 90, 180, 135도로 구성되어 있으며 연령이 어린 아동을 대상을 하므로 친숙하고 구체적인 사물을 제시하고자 하였다. 이를 위해 2차원 과제는 글자와 동물로 구성된 그림 회전 과제를, 3차원 과제는 큐브 과제로 구성된 CCT(Cube Comparison Test)를 제시하였으며, 3차원 큐브 측면에는 기호를 삽입하여 구별 기능을 제공하였다(Neuburger et al., 2011; Quaiser-Pohl, 2003; Thurston, 1943; Ramful et al., 2017).

공간 시각화는 이미지를 생성하고 조작 및 변환하는 능력이다. 정신적 회전이 입체 또는 평면 사물의 전

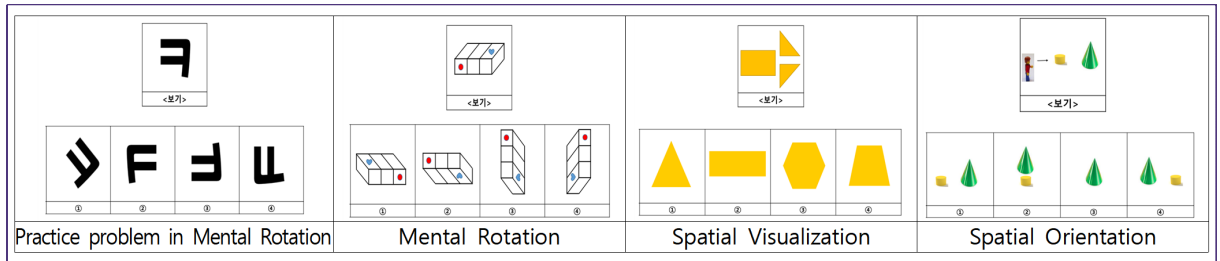


Fig. 1. Example of spatial ability task

체 형태에 대한 회전 결과를 판단하는 것이라면 공간 시각화는 각 부분의 위치 적합성을 찾기 위해 구조적 상상력이 요구되며, 정신적으로 공간 형태를 재구성하는 능력을 필요로 한다. 따라서 공간 시각화를 측정하기 위해 FBT(Form Board Test)를 사용하였으며, FBT는 도형을 구성할 것으로 예상되는 조각을 찾는 것이다 (Lowrie et al., 2019; Moon & Ha, 2010; Thurstone, 1943; Yilmaz, 2009). 이것은 도형 전체를 회전하는 정신적 회전이나, 다른 관점에서 자극 배열이 어떻게 나타날지 상상하는 공간 방향화를 포함하지 않는다(Kozhevnikov & Hegaty, 2001; Ramful et al., 2017). 본 연구에서는 아동에게 3-4개의 도형 조각을 제시하였으며 이를 조합하여 만들 수 있는 정확한 도형을 찾도록 하였다.

공간 방향화는 관점을 변화시켜 공간의 다른 관점에서 사물의 모습을 상상하는 능력으로 이를 측정하기 위해서 관점 수용(Perspective Taking) 과제를 사용하였다(Hegaty & Waller, 2004; Frick et al., 2014; Ramful et al., 2017). 과제는 한 명의 또래 관찰자와 1-3개의 사물이 있는 그림으로 구성되어 있다. 아동은 자신의 위치가 아닌 과제 속 또래 관찰자의 위치에서 사물을 바라보았을 때 보이는 모습을 상상하여 정답을 선택하여야 한다.

Data Collect and Analysis

공간능력을 측정하기 위해 아동이 소속된 교육기관의 조용한 곳에서 개별로 검사가 진행되었다. 과제를 수행하기 전 아동에게 진행 과정 및 유의사항을 안내하였으며, 과제 수행 중 힘들면 언제든지 그만둘 수 있음을 설명하였다. 과제는 컴퓨터 화면으로 제시되었으며 정답이라고 선택한 번호에 대해 키보드를 누르도록 안내되었고 수행 중 특이사항이 있으면 기록하였다.

공간능력을 측정하기 위한 각 과제의 제시 순서는 전문가의 조언에 따라 구성요소별로 묶어서 무작위로 제시하였으며 가장 난이도가 낮은 문항을 연습과제로 제시하였다. 각 과제 수행 후 별도의 피드백은 없었으며 아동이 올바른 그림을 선택하면 1점 아니면 0점으로 처리하였다. 공간능력 구성요소별 점수는 0-4점이며 총점은 0-12점이다. 또한 최종 과제의 공인타당도를 확보하기 위해 표준화된 지능검사인 아동용 K-WISC-V를 활용하였다. 공간능력 측정을 위한 과제이므로 지능검사 중 시공간 범주이며 비언어능력에 해당하는 퍼즐 검사를 전문가와 상의 후 아동에게 일대일로 실시하였다. 퍼즐 검사와 본 과제와의 상관계수는 .476($p=.002$)으로 유의하게 나타났다.

이상의 자료 수집을 통해 아동의 공간능력이 어떻게 나타나는지 분석하기 위해 구성요소별 정답의 평균과 정답률을 산출하였으며 학년과 성별에 따라 이원분산분석을 실시하였다. 모든 과정은 SPSS 22.0을 사용하였다.

Results and Discussion

Accuracy in Spatial Ability

아동의 공간능력이 어떻게 나타나는지 분석하기 위해 공간능력 구성요소별 평균과 정답률을 산출하였으며 그 결과는 Fig. 2, Table 1과 같다.

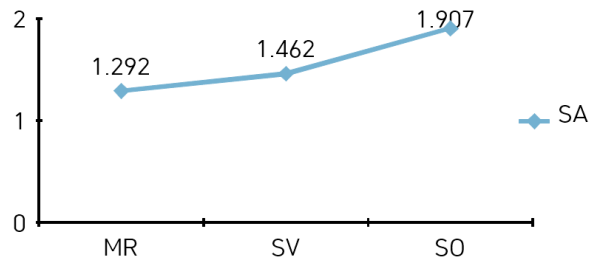


Fig. 2. Mean accuracy on spatial ability by subcategory

Table 1. Spatial ability accuracy rate by subcategory

	Spatial Ability			
	n	M	SD	%
Mental Rotation	65	1.292	1.100	32.308
Spatial Visualization	65	1.462	.849	36.538
Spatial Orientation	65	1.907	1.233	47.693
Total	65	4.662	1.914	38.846

공간능력 구성요소별 정답의 평균을 살펴보면 공간 방향화의 평균이 1.907, 정답률 47.693%로 가장 높았으며, 공간 시각화의 평균은 1.462, 정답률 36.538%, 정신적 회전의 평균은 1.292, 정답률 32.308%이며, 전체 정답의 평균은 4.662, 정답률 38.846%로 나타났다. 이는 11세부터 13세 아동을 대상으로 한 연구에서도 공간 방향화의 평균이 가장 높게 나타났으며(Ramful et al., 2017), 12-13세에서도 공간 방향화 점수가 정신적 회전과 공간 시각화보다 높게 나타나(Fowler et al., 2022) 본 연구결과와 유사하다. 이를 통해 초등 저학년은 공간능력 중 공간 방향화 과제를 상대적으로 가장 잘 해결함을 알 수 있었다. 공간 방향화를 해결하려면 아동이 현재 볼 수 없는 사물을 다른 사람이 볼 수 있다는 것을 알아야 한다. 이는 7세부터 자기중심과 타인중심 관점 모두를 사용할 수 있게 되며, 공간 방향화에서 타인중심 관점을 더 안정적이고 자발적으로 사용하기 때문에(Burles et al., 2020) 공간 방향화의 점수가 높게 나타난 것으로 보인다. 아동은 구체물을 조작하면서 또는 실외활동을 통해 사물들을 다양한 관점에서 바라보고 다른 위치에서 세상을 본다. 즉 사물을 더 잘 이해하기 위해 위, 아래, 옆 또는 내부를 살펴보고 여러 관점에서 사물을 바라보면서 공간 방향화를 향상시키는 것으로 추론된다.

반면, 초등학교 1, 2학년은 공간능력 중 정신적 회전의 평균이 가장 낮았다. 초등학생들은 특정 변환 중 돌리기에서 정확도가 가장 낮았다는 연구결과(Lee & Bang, 2007)와 유사하다. 정신적 회전은 물체가 다른 각도에서 어떻게 보일지 정확하게 예측하기 위해 전체 형태를 정신적으로 회전할 수 있어야 한다. 또한 일정한 각도만큼 회전하는 방향과 그 각도를 공간적으로 사고할 수 있어야 하며, 도형과 도형이 차지하는 공간의 위치

등 공간 관계에 대해서도 종합적으로 사고할 수 있어야 한다(Kang, 2020). 따라서 아동이 과제를 성공적으로 수행하기 위해서는 제시된 자극을 기억하고 이를 회전된 도형 자극과 비교할 수 있어야 한다. 이 과정에서 정신적 이미지를 생성하고 회전하는 동안 그 이미지를 유지할 수 있는 능력이 필요하며, 특히 회전하지 않은 거울 이미지와도 구별할 수 있어야 한다. 따라서 인지적 복잡성을 고려할 때 정신적 회전은 초등 저학년 아동에게 상당히 어렵게 지각된 것으로 해석된다.

Spatial Ability by Age, Gender

초등학교 1, 2학년 아동의 공간능력이 연령과 성별에서 어떻게 나타나는지 살펴하기 위해 이원분산분석을 실시하였으며 그 결과는 Fig. 3, Table 2와 같다.

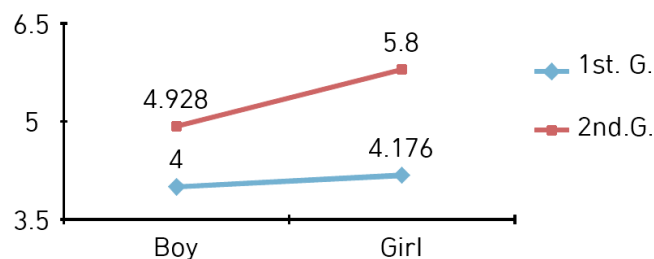


Fig. 3. Spatial ability performance by age, gender

Table 2. Results of age, gender difference analysis on spatial ability

	Spatial Ability				
	SS	df	MS	F	p
Age	26.100	1	26.100	7.889	.007
Gender	4.400	1	4.400	1.330	.253
Age x Gender	1.935	1	1.935	.585	.447
Error	201.80	61	3.31		

공간능력에 대한 연령별, 성별 차이를 분석한 결과 2학년의 정답 평균($M=5.379$)이 1학년($M=4.083$)보다 상대적으로 높아 연령에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F=7.889$, $p=.007$). 성별에서는 유의한 차이가 없었으며($F=1.330$, $p=.253$), 연령과 성별의 상호작용에서도 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다($F=.585$, $p=.447$). 공간능력이 연령에서 유의한 차이가 나타난 것은 초등학교 4, 5, 6학년 학생들을 대상으로 공간감각 검사를 실시한 연구에서 학년이 증가할수록 정답률이 향상되었다는 결과(Cho & Chong, 2012)와 맥을 같이 하며, 변환기하 과제해결에서 2학년 아동이 1학년보다 유의한 수준에서 더 잘 수행하였다는 연구결과(Kang, 2020)와도 부분적으로 유사하다. 이처럼 공간능력은 연령이 증가하면서 유의한 수준에서 높게 나타남을 알 수 있었으며, 이는 이 시기가 피아제의 인지발달 단계 중 전조작기에서 구체적 조작기로 전환되는 과정이기 때문으로 판단된다. 구체적 조작기는 아동이 인지적 조작을 빠르게 습득하고 자신이 경험한 대상이나 사건에 인지적 조작 활동을 적용한다(Shaffer, 2010). 이를 통해 심상이나 상징을 수정하고 재구성함으로써 보다

합리적이고 논리적 결론을 내릴 수 있게 되면서 이와 같은 결과가 도출된 것으로 해석된다.

공간능력에 대한 성별 차이는 유의한 수준에서 나타나지 않았다. 이는 초등학교 3, 4학년 학생의 공간능력 분석에서 성차가 없었으며(Kwak, 2017), 12, 13세에서도 공간능력에서 성차가 나타나지 않았다는 연구결과(Fowler et al., 2022)와 유사하다. 그러나 일반적으로 아동기 동안 남학생이 여학생보다 공간능력에서 더 높은 점수를 보였다는 선행 연구결과들(Johnson et al., 2022; Levine et al., 2016; Mix et al., 2016)과는 다르다. 성차가 나타나지 않음에 대해 Voyer와 동료들(2000)은 생활 연령과 성차의 크기 사이에 긍정적인 관계가 있음을 발견했다. 이는 연령이 증가할수록 성차도 커질 수 있음을 의미하는 것으로 본 연구에서는 연령이 어린 아동을 대상으로 하였고 연령별 차이도 크지 않아 성차가 유의하게 나타나지 않은 것으로 보인다. 또한 사용된 측정도구의 특성으로 인해 과제가 낯설수록 남성이 여성보다 더 잘 수행한다는 연구결과(Ceci et al., 2009)처럼 본 연구에서는 아동에게 친숙한 글자와 동물을 사용하여 성차가 유의하게 나타나지 않았을 수도 있음을 추론해본다.

Mental Rotation by Age, Gender

아동의 공간능력 구성요소 중 정신적 회전이 연령별, 성별에 따라 어떻게 나타나는지 분석한 결과 Fig. 4, Table 3과 같다.

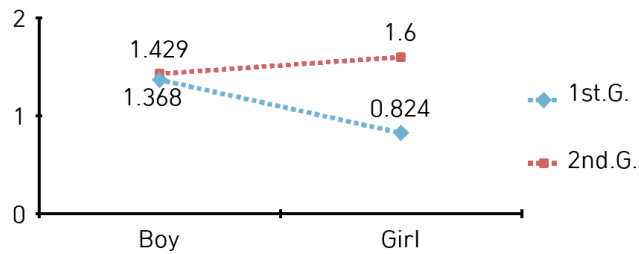


Fig. 4. Mental rotation performance by age, gender

Table 3. Results of age, gender difference analysis on mental rotation

	Mental Rotation				
	SS	df	MS	F	p
Age	2.805	1	2.805	2.379	.128
Gender	.559	1	.559	.474	.494
Age x Gender	2.056	1	2.056	1.744	.192
Error	71.920	61	1.179		

공간능력 중 정신적 회전의 경우 2학년의 정답 평균($M=1.517$)이 1학년($M=1.114$)보다 상대적으로 조금 높게 나타났으나 연령에서 유의한 차이가 없었다($F=2.379$, $p=.128$). 성별에서도 유의한 차이는 없었으며($F=.474$, $p=.494$), 연령과 성별의 상호작용에서도 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($F=1.744$, $p=.192$). 이는 평균 연령을 9.3세와 10.3세 두 집단으로 나누었을 때 연령이 많은 집단이 정신적 회전 과제에서 더 나은 수행을 보였으며 9.3세 집단에서는 성별 차이가 유의미하게 나타나지 않아(Titze et al., 2010) 본 연구결과와 맥을 같이하고 있다. 또한 초등학교 4, 5, 6학년은 정신적 회전 과제 수행에서 학년이 증가할수록 유의한 수준에서 수행능

력이 향상되었다(Cho & Chong, 2012). 초등학교 2학년과 4학년을 대상으로 한 정신적 회전 과제 수행에서 4학년이 2학년보다 더 나은 성과를 보였으며, 2학년에서는 성별 차이가 없는 것으로 나타났다(Neuburger et al., 2011). 이상에서와 같이 공간능력 구성요소 중 정신적 회전은 연령이 증가함에 따라 유의한 수준은 아니지만 수행 능력이 향상된다는 사실에는 비교적 유사한 결과를 보이고 있다. 정신적 회전은 2차원 또는 3차원 대상이 특정 각도로 회전한 후 어떻게 보일지 상상하는 것과 관련된 인지과정이다. 연령이 증가하면서 단기 저장 용량의 증가와 함께 기억의 폭과 이해의 폭이 증가하고 과제 해결을 돕기 위한 다양하고 의도적인 전략을 효율적으로 사용할 수 있기 때문에 수행 능력이 향상된 것으로 추론된다.

한편 성차에서 유의한 차이가 나타나지 않았는데 이는 과거에 비해 오늘날 남녀 구분 없이 다양한 놀이감과 경험을 통해 이러한 성차가 점점 줄어드는 것으로 판단된다. 그러나 공간능력 중 정신적 회전에서 특히 성별의 차이가 크며, 아동기 동안 남학생이 여학생 보다 정신적 회전에서 우세하고, 연령이 증가함에 따라 성별 차이도 커진다는 연구결과들(Moon & Ha, 2010; Delgado & Prieto, 1997; Lauer et al., 2019; Levin et al., 2016; Linn & Peterson, 1985)도 있다. 정신적 회전에서 성차에 대한 서로 다른 결과의 원인으로 남녀 전략 사용의 차이를 고려해 볼 수 있는데 예를 들어, 남학생은 사물 전체를 회전시키는 것과 같은 보다 전체적인 전략을 사용하는 반면, 여학생은 모양의 부분에 집중하는 분석 전략을 사용하면서 문제를 해결하는 경향이 있다(Khooshabeth et al., 2012; Wang & Carr, 2014). 그러나 성공적 수행이 특정 전략 사용과 관련되지 않는다는 의견(Stieff et al., 2014)도 있어서, 성차의 발생 유무 및 그 원인에 대해서는 전략과 함께 과제의 복잡성, 환경의 차이, 성호르몬, 공간언어 등 다양한 변인들에 대한 체계적 연구가 이루어질 필요가 있다.

Spatial Visualization by Age, Gender

아동의 공간능력에 대한 구성요소 중 공간 시각화가 연령별, 성별에서 어떻게 나타나는지 분석한 결과 Fig. 5, Table 4와 같다.

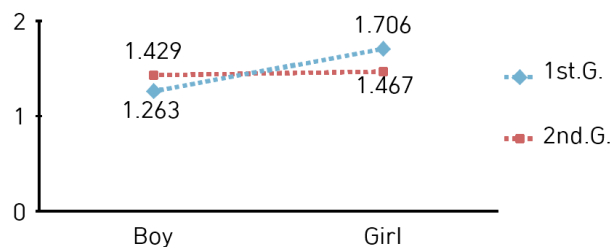


Fig. 5. Spatial visualization performance by age, gender

Table 4. Results of age, gender difference analysis on spatial visualization

	Spatial Visualization				
	SS	df	MS	F	p
Age	.022	1	.022	.030	.863
Gender	.926	1	.926	1.273	.264
Age x Gender	.656	1	.656	.902	.346
Error	44.376	61	.727		

공간능력 중 공간 시각화의 경우 연령에서 유의한 차이는 없었으며($F=.030, p=.863$). 성별에서도 유의한 차이가 없었고($F=1.273, p=.264$), 연령과 성별의 상호작용에서도 유의한 차이가 없었다($F=.902, p=.346$). 공간 시각화는 하나의 이미지 또는 일련의 관련된 이미지를 상상하고 정신적으로 변환하여 공간을 재구성하는 능력이다. 아동은 레고 구성에서 블록의 수, 모양, 좌우 배치와 관련된 정보는 쉽게 유지하지만, 공간 정보를 재구성하여 결합해야 하는 과제에서는 상대적 어려움을 보였다(Tzeaki & Ikonomou, 2009). 초등학교 3-6학년은 공간 시각화 과제에서 학년이 증가함에 따라 수행능력이 증가하기 보다는 문항에 따라 학년 간 유의미한 결과가 엇갈려 제시되고 있으며 성차는 거의 나타나지 않거나 적게 나타났다(Delgado & Prieto, 1997; Kim & Oh, 2008). 또한 공간 시각화는 초등 4학년보다 오히려 6학년 때 더 많은 수행 능력의 발달적 변화를 보여주었다(Cho & Chong, 2012). 이를 통해 공간 시각화는 연령, 성별과 같은 개인적 특성보다는 과제 특성이 과제 해결과 연결되는 것으로 추측되며, 발달이 상대적으로 늦게 진행됨을 추론할 수 있다. 이는 공간 시각화의 경우 위치의 적합성을 찾기 위해 구조적 상상력이 요구되며, 정신적으로 공간 형태를 분해 및 재구성하는 능력을 필요로 하는 비교적 다단계의 복잡한 조작과 변환 과정이 요구되기 때문으로 보인다.

특히 공간 시각화에서 정답의 평균이 1학년 여아가 2학년 여아보다 유의한 수준은 아니지만 조금 더 높게 나타났다. 이는 1학년 여아의 경우 취학 전 교육기관에서 다양한 조립세트, 블록, 퍼즐, 칠교 등을 가지고 놀아왔으며 이러한 구체적 경험은 1학년 여아의 공간 시각화를 정신적으로 지원하는데 도움을 준 것으로 추론된다. 초등학교에 입학하였지만 이전의 다양한 경험들이 초등 1학년의 공간 시각화 과제 수행과 연결되어 대상을 시각화하고, 위치 및 구조를 정신적으로 변환하여 자극을 새로운 방식으로 재구성 하는데 도움을 주어 이러한 결과가 나타난 것으로 해석된다.

Spatial Orientation by Age, Gender

아동의 공간능력에 대한 구성요소 중 공간 방향화가 연령별, 성별에서 어떻게 나타나는지 분석한 결과 Fig. 6, Table 5와 같다.

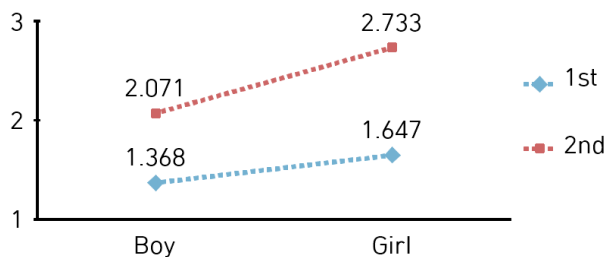


Fig. 6. Spatial orientation performance by age, gender

Table 5. Results of age, gender difference analysis on spatial orientation

	Spatial Orientation				
	SS	df	MS	F	p
Age	12.829	1	12.829	9.762	.003
Gender	3.545	1	3.545	2.697	.106
Age x Gender	.589	1	.589	.448	.506
Error	80.165	61	1.314		

공간능력 중 공간 방향화는 연령에서 2학년($M=2.414$)이 1학년($M=1.500$)보다 정답 평균이 상대적으로 높아 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($F=9.762, p=.003$). 성별에서는 유의한 차이가 없었으며($F=2.697, p=.106$), 연령과 성별의 상호작용에서도 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($F=.448, p=.506$). 이를 통해 연령이 증가하면서 공간 방향화 수행 능력이 유의한 수준에서 향상됨을 알 수 있었다. 이는 4세부터 8세 아동에게 4장의 사진 중 특정 시점에서 찍은 사진을 선택하도록 했을 때 7세경에 수행이 증가하고 자기중심적 반응이 급격히 감소하였다는 연구결과(Fric et al., 2014)와 유사하다. 또한 초등학교 4, 5, 6학년의 경우 4학년에서 공간 방향화의 점수가 상대적으로 가장 높았으며, 학년이 올라갈수록 상승폭은 크지 않았다(Cho & Chong, 2012). 실제로 우리나라 초등 1-6학년 수학 교과서 분석에서 공간 방향화와 관련된 교육내용이 공간 시각화보다 상대적으로 적음(Kim et al., 2018)에도 불구하고 연령이 증가하면서 유의한 수준에서 능력이 향상된다는 것은 공간 방향화의 발달이 먼저 이루어짐을 증명하는 한 예이다. 공간 방향화는 일시적으로 자신의 위치가 아닌 다른 물리적 위치에서 사물을 보고 상상하도록 요구하는 능력이다. 학년이 증가하면서 아동은 성숙하고 발달하며, 자기중심적 관점에서 벗어나 다른 사람의 관점을 고려하기 시작한다. 특히 방향과 위치를 업데이트하기 위해 정신적 처리능력이 필요한데 학년이 올라가면서 저장할 수 있는 더 많은 공간 기억과 수행할 수 있는 더 많은 위치 능력을 가지게 되며, 그 결과 공간 방향화에서 연령 간 유의한 차이가 나타난 것으로 해석된다.

공간 방향화는 성별에서 유의한 차이가 없었으나 여아의 정답이 남아보다 상대적으로 높게 나타났다. 이는 여아의 경우 어릴 때부터 사회성 발달에 도움이 되는 역할놀이 공간에서 시간을 보내며 또래들과 상호작용을 한다(Levine et al., 2016), 이는 상대방에 대한 이해를 용이하게 하며, 특정 시점에서 바라보아야 해결할 수 있는 공간 방향화 과제를 더 잘 수행하도록 한 것으로 해석된다. 또한 6세부터 공간 관련 언어 능력의 증가를 통해(Piccardi et al., 2015) 여아는 공간에서의 앞, 뒤, 오른쪽, 왼쪽과 같은 외부 참조 프레임을 사용하여 더 복잡한 위상 관계에 대한 이해를 발달시키면서 과제 해결의 성공률을 높인 것으로 추론된다.

Conclusion and Implication

본 연구는 초등학교 1, 2학년의 공간능력이 어떻게 나타나는지 분석하였으며 결론은 다음과 같다. 첫째, 초등학교 1, 2학년은 공간능력 구성요소 중 공간 방향화를 가장 잘 해결하였으며, 정신적 회전을 가장 어려워하였다. 이를 통해 공간 방향화가 공간능력 중 상대적으로 먼저 발달됨을 알 수 있었다. 공간 방향화는 관찰자의 관점과 다른 관점에서 사물이나 장면이 어떻게 보이는지 상상하는 능력으로(Ramful et al., 2017), 여러 관점을 표현하고 조정하는 능력과 관련이 있다. 이는 공간 및 표현의 복잡성을 최소화하는 과제에서 다른 사람의 관점을 취하는 능력이 유아기부터 존재하며, 공간 방향화가 마음이론과 같은 사회인지 능력의 기초를 제공할 수 있음을 의미한다(Frick et al., 2014). 그러나 공간 방향화가 더 늦게 발달한다는 연구에서는 그 원인을 피아제의 인지발달 단계 중 전조작기의 특징인 자기중심성이 공간의 자기중심 부호화와 연결하면서 타인중심 부호화보다 먼저 나타나기 때문으로 설명하고 있다(Crescentini et al., 2014). 즉, 타인중심 참조 프레임에 대한 기술 부족 또는 자기중심과 타인중심 참조 프레임 사이의 전환의 어려움으로 인한 것이다. 따라서 공간 방향화 수행 능력의 발달 시점 및 인과적 정보에 대한 추가적 연구가 필요함을 시사한다.

둘째, 초등 1, 2학년의 공간능력이 연령별, 성별로 어떻게 나타나는지 살펴본 결과 2학년의 공간능력이 1학

년보다 유의한 수준에서 높게 나타나 연령에서 유의한 차이가 있었다. 그러나 성별, 연령과 성별의 상호작용에서는 유의한 효과가 나타나지 않았다. 이를 공간능력 구성요소별로 살펴보면 먼저, 정신적 회전의 경우 연령별, 성별에서 유의한 차이가 없었으며 연령과 성별의 상호작용 효과도 유의하게 나타나지 않았다. 그러나 2학년이 정신적 회전에서 더 나은 정답 평균을 보여 연령이 증가하면서 정신적 회전 능력이 서서히 발달되고 있음을 알 수 있었다. 특히 성차에서 유의한 차이는 없었으나, 정답 평균을 살펴보면 남아가 여아 보다 상대적으로 조금 더 높게 나타났다. 그 원인으로 사용된 측정 도구의 복잡성 및 차원, 각도와 같은 여러 요인에 따라 달라질 수 있으며, 문제를 해결하는 서로 다른 전략 사용의 차이 때문으로 판단된다.

셋째, 공간능력 중 공간 시각화에서는 연령별, 성별에서 유의한 차이가 없었으며 연령과 성별의 상호작용 효과도 유의하게 나타나지 않았다. 특히 공간능력 구성요소 중 1학년과 2학년의 정답이 아주 유사하게 나타난 것을 통해 공간 시각화가 2학년에서 발달이 거의 이루어지지 않고 있음을 알 수 있었다. 공간 시각화는 모양이 어떻게 보이는지, 모양이나 배열이 어떻게 바뀌었는지 사고하는 능력으로 정신적 이미지를 조작하는데 매우 중요하다. 이를 해결하기 위해서는 정신적 이미지를 구성하고, 자극을 새로운 방식으로 재구성해야 하는 여러 인지 과정이 필요하므로 발달이 상대적으로 늦게 진행됨을 알 수 있었다. 따라서 초등 저학년 수학 교육과정에서 아동의 생각을 재구성하고 정신적 이미지를 표상할 수 있는 교육내용을 다양한 방법으로 보완할 필요가 있음을 시사한다. 예를 들어 부분으로 전체를 구성하거나, 전체를 부분으로 잘라보는 등 도형들을 정신적으로 변환 및 재구성해 볼 수 있도록 교육과정 내용을 보완할 필요가 있다. 또한 공간 시각화는 수학적 창의성과 밀접한 상관이 있는 공간능력의 구성요소로서 이와 관련된 활동을 제공한다면 보다 창의적이고 다양한 사고도 같이 발달될 수 있을 것으로 보인다.

넷째, 공간 방향화는 2학년이 1학년 보다 정답 평균이 높게 나타나 연령에서 유의한 차이가 있었으나, 성별, 연령과 성별의 상호작용 효과에서도 유의한 차이가 없었다. 이를 통해 연령이 증가하면서 공간 방향화 수행 능력이 유의한 수준으로 향상됨을 알 수 있었다. 이는 공간능력 중 공간 방향화가 상대적으로 먼저 발달함을 시사하며, 7세를 전후하여 자기중심적 선택을 억제하고 다른 관점을 인식하는 능력이 증가함을 알 수 있었다. 따라서 초등학교 저학년 연령대에 공간 방향화와 관련된 교육과정 내용을 더 많이 다양하게 구성한다면 발달과 학습이 동시에 작용하여 공간 방향화의 교육적 효과를 최대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 결론을 바탕으로 교육적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 최근 연구에서는 정신적 회전이 유치원과 초등학교 3학년 아동의 수학 수행과 밀접한 관련이 있으며(Mix et al., 2016), 초등학교 1-3학년의 3년간 종단연구에서 정신적 회전의 정확한 수행이 수학 추론능력과 관련이 있는 것으로 나타났다(Geer et al., 2019). 또한 Gilligan과 동료들은(2018) 정신적 회전의 정답이 만 6, 7세 때 수학의 중요한 예측 변수임을 설명하였으며, 약 8세경은 수학에서 중요한 공간능력의 전환기임을 제시하였다. 이처럼 초등 1, 2학년의 정신적 회전 능력이 수학 성취도의 중요 예측 변인임을 알 수 있듯이 초등 저학년 수학 교육과정에도 정신적 회전 및 수학 추론과 관련된 교육활동이 보완될 필요가 있음을 시사한다.

둘째, 6세 이후부터 아동의 공간 관련 어휘 및 문법에 대한 점진적 지식은 공간능력 수행에 영향을 미치며, 더 많은 공간언어에 노출된 아동은 공간적 사고 과제를 더 잘 수행한다(Piccardi et al., 2015). 이는 공간능력과 언어능력이 별개가 아님을 시사하며 공간언어가 좌표 체계를 이해하고 오른쪽, 왼쪽, 위, 아래, 가까운, 멀리, 사이 등과 같은 대상 위치를 설명하는데 도움을 줄 수 있음을 의미한다. 따라서 추후 연구에서는 공간능력과

공간언어와의 관련성 규명 연구가 필요하며, 나아가 학교교육 현장에서 공간능력 교수학습 시 관련 언어를 같이 활용한다면 공간능력 발달에 더욱 효과적인 도움을 줄 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(grant number) (NRF-2022R1I1A1A01072978).

Conflicts of Interest

The author declared no conflicts of interest.

References

- Battista, M. T. (2007). The development of geometric and spatial thinking. In F. K. Lester Jr. (Ed.), *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 843-908). Charlotte, NC: Information Age Publishing.
- Burles, F., Liu, I., Hart, C., Murias, K., Graham, S. A., & Iaria, G. (2020). The emergence of cognitive maps for spatial navigation in 7 - to 10 - year - old children. *Child Development*, 91, 1-12.
- Ceci, S. J., & Williams, W. M. (2011). Understanding current causes of women's under representation in science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 3157-3162.
- Cho, Y. S., & Chong, Y. O. (2012). A survey on the spatial sense ability of elementary school students-focusing on fourth to sixth graders. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 16, 359-388.
- Crescentini, C., Fabbro, F., & Urgesi, C. (2014). Mental spatial transformations of objects and bodies: Different developmental trajectories in children from 7 to 11 years of age. *Developmental Psychology*, 50, 370-383.
- Delgado, A. R. & Prieto, G. (1997). Mental rotation as a mediator for sex-related differences in visualization. *Intelligence*, 24, 405-416.
- Estes, D. (1998). Young children's awareness of their mental activity: The case of mental rotation. *Child Development*, 69, 1345-1360.
- Fernandez-Baizan, C., Arias, J. L., Mendez, M. (2021). Spatial orientation assessment in preschool children: Egocentric and allocentric frameworks. *Applied Neuropsychology: Child*, 10, 171-193.
- Frick, A., Mohring, W., & Newcombe, N. S. (2014). Picturing perspectives: development of perspective-taking abilities in 4 to 8-year-olds. *Frontiers in Psychology*, 5, 386.
- Fowler, S., Cutting, C., Kennedy, J. P., Leonard, S. N., Gabriel, F., & Jaeschke, W. (2022). Technology enhanced learning environments and the potential for enhancing spatial reasoning: A mixed methods study. *Mathematics Education Research Journal*. 34, 887-910.
- Geer, E. A., Quinn, J. M., & Ganley, C. M. (2019). Relations between spatial skills and math performance in elementary school children: A longitudinal investigation. *Developmental Psychology*, 55, 637-652.
- Gilligan, K. A., Hodgkiss, A., Thomas, M. S. C., & Farran, E. K. (2018). The use of discrimination scaling tasks: A novel perspective on the development of spatial scaling in children. *Cognitive Development*, 47, 133-145.

- Harris, J., Newcombe, N. S., & Hirsh-Pasek, K. (2013). A new twist on studying the development of dynamic spatial transformations: mental paper folding in young children. *Mind, Brain, and Education*, 7, 1-7.
- Hegarty, M., & Waller, D. (2004). A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. *Intelligence*, 32, 175-191.
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 369-391.
- Kang, M. J. (2020). Brain Activation with fNIRS in Children's Transformational Geometry Problem Solving: using Tangram. *Brain, Digital, & Learning*, 10, 485-497.
- Khooshabeh, P., Hegarty, M., & Shipley, T. F. (2012). Individual Differences in Mental Rotation. *Experimental Psychology*, 60, 164-171.
- Kim, N. G., & Oh, E. S. (2008). A study on the elementary school student's spatial abilities. *Education of Primary School Mathematics*, 11, 21-38.
- Kim, K. H., Seo, B. K., & Pang, J. S. (2018). An analysis of the spatial sense in elementary mathematics textbooks. *Journal of the Elementary Education Society*, 28, 1-22.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial ability. *Memory & Cognition*, 29, 745-756.
- Lauer, J. E., Yhang, E., & Lourenco, S. F. (2019). The development of gender differences in spatial reasoning: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 145, 537-565.
- Lee, S. M., & Bang, J. S. (2007). An investigation on the understanding of spatial sense of elementary school students. *The Mathematical Education*, 46, 273-292.
- Levine, S. C., Foley, A., Lourenco, S., Ehrlich, S., & Ratliff, K. (2016). Sex differences in spatial cognition: Advancing the conversation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 7, 127-155.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial Ability: Individual Differences in Speed and Level* (Tech. Rep. No.9). Stanford, CA: Stanford University, Aptitude Research Project, School of Education.
- Lowrie, T., Logan, T., & Hegarty, M. (2019). The influence of spatial visualization training on students' spatial reasoning and mathematics performance. *Journal of Cognition and Development*, 20, 729-751.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86, 889-918.
- Mix, K. S., & Cheng, Y. L. (2012). The relation between space and math: Developmental and educational implications. *Advances in Child Development and Behaviour*, 42, 197-243.
- Mix, K. S., Levine, S. C., Cheng, Y. L., Young, C., Hambrick, D. Z., Ping, R., & Konstantopoulos, S. (2016). Separate but correlated: The latent structure of space and mathematics across development. *Journal of Experimental Psychology. General*, 145, 1206-1227.
- Moon, H. J., & Ha, D. H. (2010). Componential analysis for sex differences in the performance of mental rotation task. *The Korean Journal of Educational Psychology*, 24, 957-975.
- Nardini, M., Burgess, N., Breckenridge, K., & Atkinson, J. (2006). Differential developmental trajectories for egocentric, environmental and intrinsic frames of reference in spatial memory. *Cognition*, 101, 153-172.
- National Council of Teachers of Mathematics. (1989). *Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics*. Reston, VA: Author.
- Neuburger, S., Jansen, P., Heil, M., & Quaiser-Pohl, C. (2011). Gender differences in preadolescents' mental-rotation performance: Do they depend on grade and stimulus type? *Personality and Individual Differences*, 50, 1238-1242.

- Piaget, J., & Inhelder, B. (1967). *The child's conception of space*. New York, NY: Norton & Co.
- Piccardi, L., Palermo, L., Bocchi, A., & Guariglia, C. (2015). Does spatial locative comprehension predict landmark-based navigation? *PLoS One*, 10, e0115432.
- Quaiser-Pohl, C. (2003). The mental cutting test "Schnitte" and the picture rotation test two new measures to assess spatial ability. *International Journal of Testing*, 3, 219-231.
- Ramful, A., Lowrie, T., & Logan, T. (2017). Measurement of spatial ability: Construction and validation of the spatial reasoning instrument for middle school students. *Journal of Psycho Educational Assessment*, 35, 709-727.
- Ruggiero, G., D'Errico, O., & Iachini, T. (2016). Development of egocentric and allocentric spatial representations from childhood to elderly age. *Psychological Research*, 80, 259-272.
- Shaffer, R. D., & Kipp, K. (2010). *Developmental Psychology* (8th ed.). Belmont, CA: Cengage Learning.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Stieff, M., Dixon, B. L., Ryu, M., Kumi, B. C., & Hegarty, M. (2014). Strategy training eliminates sex differences in spatial problem solving in a STEM domain. *Journal of Education and Psychology*, 106, 390-402.
- Thurstone, L. L. (1943). *Primary Mental Abilities*. Chicago: University of Chicago Press.
- Titze, C., Jansen, P., & Heil, M. (2010). Mental rotation performance and the effect of gender in fourth graders and adults. *European Journal of Developmental Psychology*, 7, 432-444.
- Tzekaki, M., & Ikonomidou, A. (2009). Investigating spatial representations in early childhood. *Proceedings of PME 33*, 5, 241-248.
- Voyer, D., Nolan, C., & Voyer, S. (2000). The relation between experience and spatial performance in men and women. *Sex Roles*, 43, 891-915.
- Wang, L., & Carr, M. (2014). Working memory and strategy use contribute to gender differences in spatial ability. *Educational Psychologist*, 49, 261-282.
- Yilmaz, H. B. (2009). On the development and measurement of spatial ability. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1, 83-96.

Authors Information

MinJung Kang: Korea National University of Education, Lecture, Corresponding Author