

RESEARCH ARTICLE

Analysis of Cognitive Strategies during Mental Rotational Activity and Effect on Improving Spatial and Number Sense

Minju Nam¹ · Kwang-Ho Lee^{2*}¹Bandong Elementary School²Korea National University of Education

심적 회전 활동에 따른 인지 전략 분석 및 공간 감각과 수 감각 향상에 미치는 효과

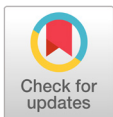
남민주¹ · 이광호^{2*}¹반동초등학교 · ²한국교육대학교

*Corresponding Author: paransol@knu.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to find out the cognitive strategy during the mental rotation activities and to find out the changes of spatial sense accordingly. To do this, this study developed a mental rotation activity program for six sixth-grade students and conducted five mental rotation activities twice each, a total of 10 times. As a result, first, cognitive strategies vary depending on the complexity of mental rotation activities. Second, simultaneous use of both overall and partial approach strategies and psychological and analytical processing strategies, perspective fixation, and perspective change strategies can increase the accuracy of recognition. Third, there is a tendency to use cognitive strategies differently in terms of processing methods, depending on the task of mental rotation activities. Fourth, the ability to rotate the sense of space has been improved by the mental rotation activity. As a result of this study, the following conclusions could be obtained. Cognitive strategies are used differently depending on the complexity of mental rotation activities, so students need to provide psychological rotation activities with varying degrees of difficulty to experience various cognitive strategies.

Key words: Mental rotation, SNARC effect, cognitive strategy, number sense, spatial sense



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2021, Vol. 11, No. 2, 321-340.

<https://doi.org/10.31216/BDL20210021>

Received: March 01, 2021

Revised: May 01, 2021

Accepted: June 02, 2021

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



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

Introduction

대부분의 연구자들은 영아들이 태어나면서부터 수 감각이 있음을 인정한다(Ahn, 2010). 하지만 처음부터 수 감각이 있음에도 불구하고 한 아이가 수를 겨우 읽고 세기 시작하는 데에는 적어도 2~3년이 걸린다. 우리 눈에는 보이지 않지만 아이의 육체적, 정신적 성장과 함께 내면에서는 수 감각이 아주 천천히 발달함을 알 수 있다. 수학교육에서 수 감각은 문제해결 중 필수적으로 요구되는 요소로서 수에 대한 직관력을 의미한다. 해답이 즉각적으로 나오지 않는 실제적인 문제해결과정에서 수 감각은 중요한 역할을 수행하기 때문이다(Kim & Kim, 2000). 또한 현대에는 학생과 성인 모두 과거보다 더 높은 수준의 수 감각이 요구된다(Kim et al., 2015). 계산기, 컴퓨터와 같은 도구를 사용하거나 스포츠 경기 또는 기업의 수익에는 수천분의 1초까지 측정하는 경우와 같이 큰 범위의 수를 경험하게 되기 때문이다. 그러나 국내의 여러 수 감각 관련 선행 연구들(Pang, 2005; Sun et al., 2005)에 따르면 초등 수학교육에서 수와 연산은 수 감각 발달이 주된 목표이며 가장 많은 비중을 차지하는 영역이지만, 초등학생들은 수학 문제를 해결할 때에도 알고리즘을 통한 계산에 의존하는 경향이 강한 반면, 수 감각을 활용하는 경향이 적음이 밝혀졌다. 이를 통해 무조건적으로 형식적인 계산을 활용하여 문제를 해결함으로써 수 감각을 바탕으로 직관적으로 풀 수 있는 문제에서도 비효율적으로 접근함을 알 수 있다(Byun, 2017). 그러므로 학교 수학에서 많은 연습문제나 수학교과서 등을 통해 계산 기능뿐만 아니라 수와 연산 영역의 여러 가지 계산 상황과 관련하여 학생들이 보다 더 수 감각을 잘 활용할 수 있는 환경 마련을 위한 노력이 필요하다. 궁극적으로 학생들이 알고리즘을 적용하거나 기계적으로 수의 크기를 단순히 비교하는 능력에서 나아가 수에 대한 좋은 감각을 가질 수 있도록 지도해야 할 것이다(Kim et al., 2015).

또한 많은 학자들이 수학과 관련된 문제를 해결하기 위한 중요한 능력 중의 하나가 공간 감각임을 밝혔다(Cheng & Mix, 2013; Janssen & Geiser, 2010; Mix et al., 2016). 지능에 관한 연구에 따르면 공간 능력은 지능의 한 영역으로, 영재성의 한 분야로 그 중요성이 인식되어 왔다(Park, 2014). 다중지능이론에서 공간 능력은 지능검사에서 필수적인 하나의 인지 능력으로 꼽히며(Gardner, 1993), 공간 능력은 과학, 기술, 공학, 수학을 융합한 STEM 분야에서 성공을 예측하는 중요한 역할을 하고 있기 때문이다(Webb et al., 2007). 이를 바탕으로 학교 수학에서도 공간 감각은 중요한 요소로 각광받고 있는데 NCTM (2000)에서는 공간 감각을 자신의 주변 상황과 물체에 대한 직감으로 정의하여 그 중요성을 강조하고 있다. 우리나라 수학교육에서도 7차 수학과 교육과정부터 공간 감각 신장을 위해 다양한 지도 방안과 자료 개발에 대한 연구가 이루어지고 있다(Park & Chong, 2012). 공간 감각의 구성요소는 시각화와 방향화로 나눌 수 있으며, 시각화의 하위 요인으로는 심적 회전과 심적 변형, 심적 차원 변형, 도형 배경 지각을, 방향화는 방향 감각과 위치 감각, 거리 감각 등을 들고 있다(Chong, 2017).

공간 감각의 구성 요소 중 시각화의 하위 요인인 심적 회전은 마음속으로 2차원, 3차원 공간 속 표상이나 물체를 회전시키는 능력으로, 학교수학 전반에서 두루 사용할 수 있는 인지도구이다(Bruce & Hawes, 2015). 교육과 훈련으로 심적 회전 능력은 향상될 수 있음을 시사 하는 연구 결과가 나오고 있다(Meneghetti et al., 2016; Yoon et al., 2018). 또한 Lee (2015)의 연구를 통해 공간 능력은 공간 감각과 관련된 과제를 해결하는 과정 중 각 개인의 머릿속에서 일어나는 사고 과정에서 개인차가 많이 밝혀졌다. 그 차이는 공간 과제 해결 중 사용하는 인지 전략의 차이에 따른 것으로 개인이 사용하는 인지 전략을 살펴보고 교육이나 훈련을 통해 변화할 수 있다. 심적 회전활동을 통한 공간 감각의 향상과 인지 전략에 따른 공간 과제 해결 분석에 대한 연구는

학교 수학교육 측면에서 공간 감각 및 공간 능력 향상을 위한 교육 방법 개선에 시사점을 준다.

또한 수학 능력과 공간 능력 사이의 관계에 대한 연구가 이어져 오고 있다(Cheng & Mix, 2013; Hubbard et al., 2005; Zang et al., 2019). 인지신경학적으로 공간 감각이 수학 성취도에도 영향을 준다는 사실이 밝혀지고 있으며(Kim, 2016), 인지심리학적 근거를 바탕으로 수학교육에서도 수학 성취도와 공간 감각 사이의 관계를 알아보려는 연구가 계속되고 있다(Hoffmann et al., 2014; Zang et al., 2019). 그 근거로 수 감각은 독립된 하나의 정신 체계가 아니라 공간적 속성을 가지고 발달한다는 연구들이 있다(Dehaene et al., 1993; Schneider et al., 2009). 정신적수직선(Mental Number Line, MNL)가설은 일반적으로 숫자를 떠올릴 때 우리는 숫자의 크기나 위치를 마음 속의 수직선에서 꺼내어 온다는 가설이다(Hubbard et al., 2005). 정신적수직선은 다양한 수학적 능력 개발과 밀접한 관련이 있으며 수 감각과 공간적 속성, 공간적 개념은 동시에 처리된다고 볼 수 있다(Schneider et al., 2009). 일상생활에서 수를 생각할 때 눈알을 굴리는 경험 또는 현상은 이 가설을 뒷받침할 만한 근거가 되며 이러한 현상은 SNARC effect (Spatial-Numerical Association of Response Codes, 수-공간 반응 연합 코드)이다(Zang et al., 2019).

한편, 하지만 국내에서는 마음 속 수직선인 정신적수직선이나 SNARC effect의 경우 인지심리학에서만 연구가 이루어지거나 대학생, 성인을 대상으로 한 연구가 대부분 이루어지고 있어 우리나라 초등학생은 SNARC effect의 영향을 어느 정도 받고 있는지, 수 감각과 공간 감각이 함께 발달하고 있는지에 대한 연구가 부족하다.

따라서 본 연구에서는 수학교육에서 중요하게 여겨지는 수 감각과 공간 감각 사이의 연결 고리가 되는 SNARC effect를 바탕으로 심적 회전 활동 프로그램을 적용하여 심적 회전 활동을 통한 공감각 및 수 감각 향상 효과를 알아보고자 한다. 또한 심적 회전 활동 중 학생들이 사용하는 인지 전략을 분석하여 학생들이 주로 사용하는 인지전략을 파악하고 학생들이 다양한 인지 전략을 사용할 수 있도록 인지 전략과 관련된 심적 회전 활동의 지도 방법을 알아보고자 한다. 마지막으로 우리나라 초등학교 6학년 학생들은 수 감각과 공간 감각의 발달이 서로 영향을 주며 발달하는지 알아보기 위해 심적 회전 활동 전, 후의 SNARC effect 변화 정도를 파악하고자 한다. 이를 바탕으로 초등학교 6학년 학생들의 공간 감각 및 수 감각 지도에 시사점을 도출하고자 한다.

Methods

Participants

본 연구는 경남 창원시 소재 B초등학교 6학년 1개 학급을 대상으로 연구를 실시하였다. 연구 참가자는 집중 표집 방법(intensity sampling)으로 표집하였다. 이 표집 방법은 연구 현상에 대해 풍부한 정보를 제공해 줄 수 있는 결정적인 사례를 선정하는 방법이며, 수학적 기초가 매우 부족하여 수학 개념 이해에 큰 어려움이 있는 학생과 수학 개념 이해에 있어 일반적인 것 이상의 탁월한 능력을 보이는 학생을 제외한 나머지 학생들 중에서 수준이 낮은 학생과 수준이 높은 학생을 동시에 포함시키는 방법이다(Patton, 2002).

Procedure

본 연구에서는 학생들의 공간감각, 수 감각, SNARC effect의 변화가 어떠한지 알 수 있는 검사지와 검사 도구를 선정하였다. 다음으로 본 연구 참여자와 비슷한 수준의 경남 창원시 G초등학교 6학년 학생들을 대상으로 선정한 검사 문항을 적용 및 분석한 후 검사 문항을 수정하였다. 심적 회전 활동을 적용하기에 앞서, 학생들의 공간감각, 수 감각 발달 정도 및 SNARC effect의 정도를 확인하고자 본 연구의 참여자인 경남 창원시 소재 B초등학교 6학년 학생 6명을 대상으로 사전 검사를 실시하였다. 이후 학생들에게 5가지 심적 회전 활동을 각각 2회씩 총 10회 진행하였다. 심적회전 활동 중 사용하는 인지전략을 파악하기 위해 본 연구자는 참여 관찰자로서 학생들의 활동을 녹화, 녹음하였으며, 활동 자료를 수집하고 추가로 면담을 진행하였다. 심적 회전 활동 후, 학생들의 공간감각, 수 감각 향상 및 SNARC effect의 변화를 확인하고자 사후 검사를 실시하였다. 마지막으로 수집된 자료를 바탕으로 연구 참여자들이 사용한 인지전략 및 공간 감각, 수 감각 발달 및 SNARC effect 변화를 분석하였다.

Data Collect

심적 회전 활동을 통한 학생들의 인지전략을 살펴보기 위해 이론적 배경을 바탕으로 심적 회전 활동 프로그램을 Table 1.과 같이 구성하였다.

Table 1. Mental rotation activity program

No	Mental Rotation Activity
1	2D Mental Rotaion Task (Tetris)
2	
3	
4	2D Mental Rotaion Task
5	Find MRT Answers Using the Connection Cube
6	
7	
8	3D Mental Rotaion Task
9	Cube Comparison Test
10	

공간 감각 발달 정도를 알아보기 위해 공간 감각 검사를 실시하였다. 검사지의 문항은 Cho et al. (2012)의 공간 감각 검사 도구를 선정하여 활용하였다. 본 검사지에는 공간 감각 요인 중 정신적 회전, 정신적 변환, 도형-배경 지각이 포함된 공간 시각화 능력과 방향 감각, 거리 감각, 위치 감각이 포함된 공간 방향 능력을 측정하는 문항이 각각 15개씩, 총 30문항으로 구성되어 있다.

수 감각 발달 정도를 알아보기 위해 수 감각 검사를 실시하였다. 검사 도구로는 Yang (1995)의 수 감각 검사지를 우리나라 학생들의 실정에 맞게 번안한 Shin et al. (2000)의 수 감각 검사지를 활용하였다. 검사지는 수 감각의 구성요소 중 수의 의미, 수 관계, 수의 상대적 크기, 수와 연산의 효과, 의미 있는 지시물 사용 요소를 측정할 수 있는 문항을 각각 5문항씩, 총 25문항으로 구성되었다.

접근 방법 측면에서 2D 심적 회전 활동 테트리스 중에는 6명의 학생이 모두 대상을 이미지 전체로 인식하여 전체적 접근 전략을 사용하였다. Fig. 1은 전체적 접근 전략을 사용한 학생 F의 답변이다.



이 모양이 왜냐가 나는 맨 오른쪽 자리에 넣은 거 같단.
오른쪽으로 90° 돌리고 90° 돌리면
가운데 넣으면 나중에 맨 오른쪽에 들어올 거 같단.

Fig. 1. Student F's answers using a holistic approach strategy

학생 F는 “오른쪽으로 90° 돌리고 90° 돌리면~”과 같이 표현하고 있다. 또 다른 학생들도 ‘돌렸다’라는 표현을 사용하여 설명하였는데 이는 도형을 전체적인 이미지로 받아들이며 마음속으로 표상하였음을 알 수 있다. 테트리스에서 제시되는 도형은 최대 5개의 정육면체로 이루어진 도형들(□□□□□)로 이루어진 비교적 간단한 도형이다. 따라서 대상을 처음 볼 때 분해하거나 특정 부분에 주목하지 않고 전체적인 이미지로 인식하였다.

처리 방법 측면에서 4명은 심상적 처리 전략을 사용하였으며 2명은 심상적, 분석적 처리 전략을 동시에 사용하였다. 심상적 접근 전략을 사용한 학생들은 Fig. 1과 같이 ‘도형을 돌려보았을 때’, ‘돌리면’이라는 표현으로 생각한 내용을 설명하여 도형의 이미지를 마음속에서 상상하여 회전시켰음을 알 수 있었다. 반면에 두 전략을 동시에 사용한 학생들도 있었다. Fig. 2는 두 전략을 동시에 사용한 학생 E의 답변이고 Episode 1은 면담 내용이다.



① 머리속으로 생각하면서 ^{원래}방향으로 돌렸다.
② 어떤 모양인지 어떤 크기인지 생각하며 위치를 찾았다.

Fig. 2. Student E's answer using both strategies at the same time

Episode 1. Describe the cognitive strategy used during the 2D mental rotational activity tetris

연구자: 테트리스를 할 때 도형의 모양을 어떻게 생각했는지 쓴 내용을 보면서 설명해 줄 수 있나요?

학생E: 이 모양(□□)을 보고 머릿속으로 생각하면서 왼쪽 방향으로 돌려봤어요.

연구자: 그러면 설명에서 2번은 무슨 뜻이니?

학생E: 테트리스 칸에 맞추어야 하니까 가로 2칸은 돌리면 세로 2칸이 된다고 생각하면서 넣었어요.

학생 E는 도형을 머릿속에서 상상하여 돌려보았지만 테트리스 칸과 비교하기 위해 도형이 포함하고 있는 작은 정육면체의 개수를 세면서 돌려보았다. 처리 방법 측면에서도 2D 심적 회전 활동 테트리스는 간단한 도형으로 이루어져있기 때문에 대부분의 학생이 심상적 처리 전략을 사용하였다. 다만 정확도를 높이기 위해 도형의 개수에 주목하여 심상적, 분석적 처리 전략을 함께 사용한 학생들도 있었다.

준거 기준측면에서 6명의 학생 모두 관점 고정 전략을 사용하였다. 앞서 접근 방법과 처리 방법에서 언급한 내용과 마찬가지로 2D 심적 회전 활동 테트리스 활동에는 최대 5개의 정육면체로 이루어진 간단한 도형을 회전시키는 활동이 주로 이루어지기 때문에 관찰자의 방향을 바꾸기보다는 도형을 회전시키는 전략이 주로 사용되었다.

2D Mental Rotation Task

두 번째 활동으로 컴퓨터 플래시 프로그램을 통해 거울상과 각도불일치상을 이용한 회전과제를 제시하였다. 즉 두 개의 도형 중 제시된 도형과 같은 도형을 찾는 과제이다. 첫 번째 활동이었던 테트리스는 정육면체 4-5개로 이루어진 정형화된 도형을 90도, 180도, 270도, -90도, -180도, -270도로 회전시키는 것이 주로 이루어진 심적 회전 활동이었다면 두 번째 활동에서는 비정형화된 두 개의 도형을 비교하는 2D 심적 회전 활동이 이루어졌다.

접근 방법 측면에서 6명 중 4명의 학생이 대상을 이미지의 특정 부분에 주목하여 부분적 접근 전략을 사용하였다. 2명의 학생은 전체적, 부분적 접근 전략을 동시에 사용하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 부분적 접근 전략을 사용한 학생 C와 E의 답변이다.

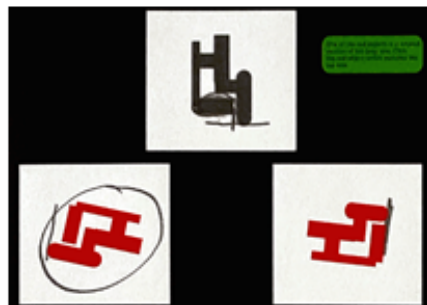


Fig. 3. Student C's answer using a partial approach strategy

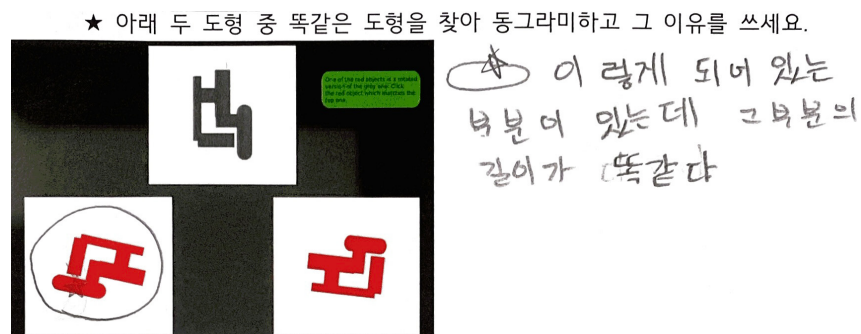


Fig. 4. Student E's answer using a partial approach strategy

학생 C는 “타원 모양이~”라는 표현으로 도형의 일부분에 주목하였고 학생 E는 특정 부분에 동그라미 표시를 하여 그 부분을 중심으로 도형에 접근하여 설명하였다. 두 개의 도형을 제시하여 똑같은 도형을 찾는 유형의 심적 회전 활동에서는 도형의 공통점을 찾기 위해 특정 부분에 집중하여 도형에 접근하였음을 알 수 있다.

처리 방법 측면에서 4명은 분석적 처리 전략을 사용하였으며 2명은 심상적, 분석적 처리 전략을 동시에 사용하였다. 본 활동에서 분석적 처리 전략을 사용한 학생들은 주로 ‘길이’와 ‘방향’이라는 명제적 특성에 주목하였다. Fig. 3에서 학생 C는 “~길게 튀어나온~”과 같은 표현으로, Fig. 4에서 학생 E는 “길이가 똑같다.”와 같은 표현으로 대상의 특징을 비교하였다.

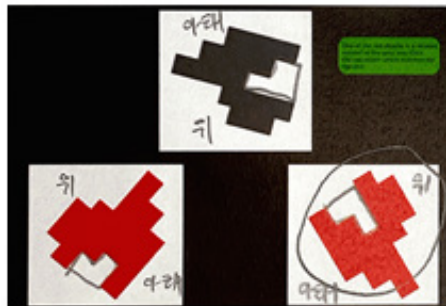


Fig. 4. Student A's answer using analytical approach strategy

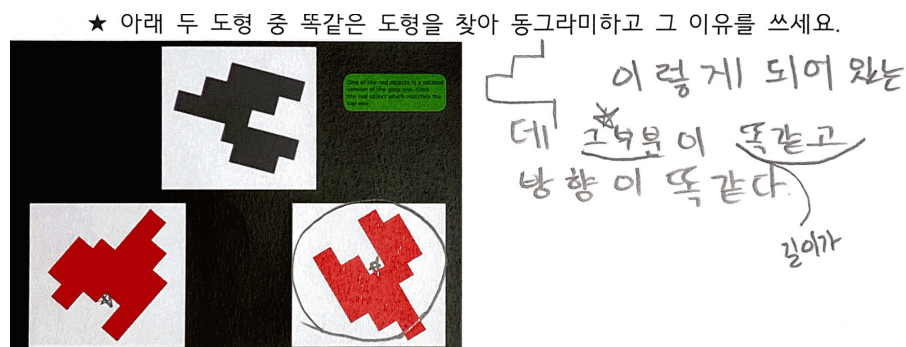


Fig. 5. Student E's answers using analytical approach strategies

분석적 처리 전략을 사용한 학생들 중 ‘방향’에 주목한 응답은 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 학생 E는 도형을 보고 ‘위’, ‘아래’로 스스로 방향을 정해두고 방향을 기준으로 도형을 돌려 보았다. 또한 “2칸 비어져 있기~”, “2칸 비어 있는~”과 같이 도형의 빈 공간을 칸으로 나누어 설명하고 있다.

Fig. 6에서 학생 E는 ‘길이’뿐만 아니라 ‘방향’이라는 명제적 용어를 사용하여 설명하고 있다. 이를 통해 분석적 처리 전략을 사용하였음을 알 수 있다.

두 도형을 비교하여 제시된 도형과 똑같은 도형을 찾는 2D 심적 회전 활동에서는 접근 방법 측면에서 살펴본 바와 같이 도형의 공통점을 찾기 위해 특정 부분에 집중하여 도형에 접근하였으며 이어서 대상을 마음속으로 처리할 때에도 이미지 전체로 보기보다는 ‘길이’, ‘방향’ 등을 기준으로 분석적 처리 전략을 사용하였다.

준거 기준 측면에서 4명의 학생은 관점 고정 전략을 사용하였다. 2D 심적 회전 활동 또한 첫 번째 프로그램이었던 테트리스 활동에서와 같이 평면에 제시된 비교적 간단한 도형을 회전시키는 활동이 주로 이루어지기 때문에 관찰자의 방향을 바꾸기보다는 도형을 회전시키는 전략이 주로 사용되었다. 다만 Episode 2와 같이 관점 고정 전략과 관점 변환 전략을 동시에 사용한 학생도 있었다.

Episode 2. Description of the reference used during 2D mental rotation activities

연구자: 두 도형을 비교할 때 도형을 움직였나요? **이(학생 A 이름)가 움직였나요?

학생A: 위에 있는 도형이랑 똑같은 도형이 되게 왼쪽 도형을 왼쪽으로 돌려보고 오른쪽 도형은 오른쪽으로 돌려봤어요. 그리고 마지막에는 제가 오른쪽에서 보고 왼쪽에서 봤어요.

연구자: 마지막에 **이가 오른쪽, 왼쪽에서 본 이유는 무엇인가요?

학생A: 정확히 맞는지 한 번 더 확인하려고 제가 움직여서 봤어요.

Episode 2에서 학생 A의 설명을 통해 처음에는 관점 고정 전략을 사용하였지만 정확도를 높이기 위해 관점 변환 전략을 사용하였음을 알 수 있다.

Find MRT Answers Using the Connection Cube

세 번째 활동으로 연결큐브를 활용하여 MRT(Mental Rotation Task) 답을 찾는 활동을 하였다. Vandenberg & Kuse (1978)의 MRT 이미지는 반복된 복사로 인해 형태가 명확하지 않아 컴퓨터로 이미지를 다시 그린 Peters et al. (1995)의 MRT 이미지를 사용하였다. MRT 답 찾기 활동은 4개의 선택지 중 제시된 이미지와 일치하는 것 2개를 찾는 활동이다. 이 때, 학생들이 제시된 이미지를 보고 연결큐브를 만들어 이미지와 대조할 수 있도록 하여 3D 심적 회전 활동을 하기 전에 수동 회전을 경험하는 기회를 제공하였다.

접근 방법측면에서 3명의 학생이 전체적 접근 전략을, 3명의 학생은 전체적, 부분적 접근 전략을 동시에 사용하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 전체적 접근 전략을 사용한 학생 B와 D의 답변이다.

★ 오른쪽 네 개의 그림 중 똑같은 그림을 2개 골라 동그라미 하고 그 이유를 쓰세요.

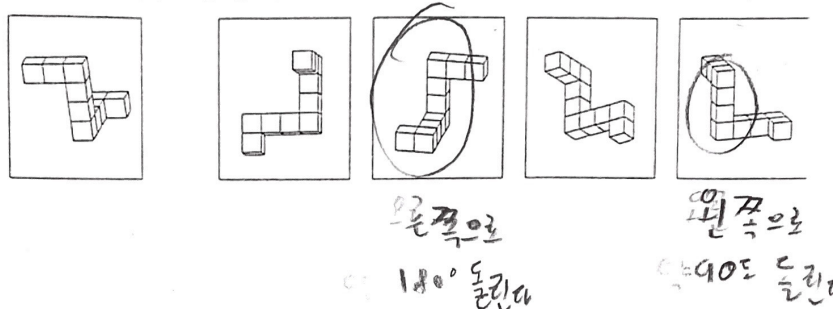


Fig. 7. Student B's answer using the holistic approach strategy and the connection cube

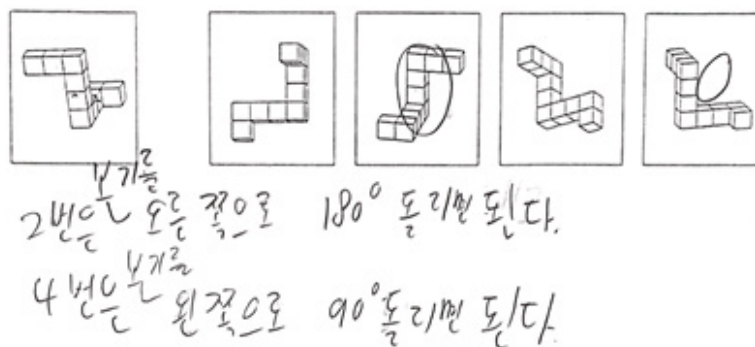


Fig. 8. Student D's answer using the holistic approach strategy and the connection cube

Fig. 7에서 학생 B는 “~돌린다.”와 같은 표현을 사용하였고 Fig. 8에서 학생 D도 “~돌리면”이라는 표현을 공통적으로 사용하고 있다. 연결 큐브를 사용하여 제시된 이미지를 실제로 만들어 보고 직접 수동회전을 함으로써 이미지를 볼 때에는 전체적인 대상의 모양을 보고 접근함을 알 수 있다.

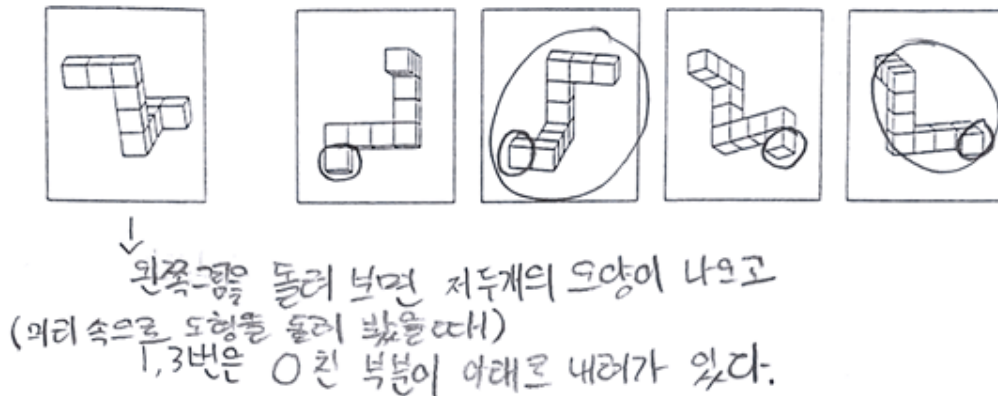


Fig. 9. Student C's answer using both strategies at the same time

Fig. 9에서 학생 C는 “돌려보면~”, “머릿속으로 도형을 돌려 봤을 때”라는 표현을 사용하여 처음에는 대상을 전체적으로 살펴봄을 알 수 있다. 이어서 동그라미 친 부분에 주목하여 도형을 비교하여 설명하고 있다. 학생 C는 처음에는 도형의 전체적인 형태에 주목하여 전체적 접근을 사용하였고 정답을 찾을 때 정확도를 높이기 위해 특정 부분에 집중하여 도형을 살펴봄으로써 부분적 접근 전략을 사용하였다.

연결큐브를 이용하여 MRT 답 찾기 활동 중에는 학생들이 제시된 도형을 보고 먼저 연결큐브로 그 형태를 만들어본 다음에 그림을 보면서 만들어진 연결큐브를 직접 회전해보는 과정으로 활동을 하였다. 따라서 먼저 만들어진 연결큐브의 형태를 관찰하는 경험을 하게 된다. 이어서 제시된 4개의 선택지를 살펴보게 되므로 자연스럽게 만들어진 연결큐브와 비교하여 도형의 전체적인 이미지에 주목하여 접근을 했다. 단, 추가적으로 대상을 관찰하기 위해 도형의 특정 부분을 살펴보는 부분적 접근 전략을 동시에 취하는 학생도 있었다.

처리 방법측면에서 연결큐브를 이용하여 MRT 답 찾기 활동 중에는 6명의 학생 중 4명은 심상적 처리 전략을 사용하였으며 2명은 분석적 처리 전략을 동시에 사용하였다. Fig. 7, Fig. 8에서 학생 B와 학생 D는 공통적으로 “오른쪽으로 180°~”와 “왼쪽으로 90°~”라는 표현을 사용하고 설명하고 있다. 연결큐브로 도형을 조작해봤기 때문에 대상을 머릿속으로 이미지로 떠올려 돌려보았음을 알 수 있다.

연결큐브를 이용하여 MRT 답 찾기 활동 중에는 제시된 도형을 학생들이 연결큐브를 직접 조작하여 만들어 본 다음에 활동지에 제시된 다른 이미지를 살펴보기 때문에 전체적인 심상을 머릿속으로 먼저 생각하는 심상적 처리 전략을 사용하였다. 몇몇 학생들의 경우에는 더 정확한 정보를 얻기 위해 특정 방향에 주목하여 분석적 처리 전략을 추가로 사용하였다.

준거 기준 측면에서 6명 모두 관점 고정 전략을 사용하였다. 이 활동에서는 특별히 구체적으로 조작할 수 있는 연결큐브라는 교구가 함께 제시되었다. 따라서 학생들이 도형을 손으로 돌리고 눈으로 확인할 수 있는 경험이 제공된 것이다. 그런 이유로 활동지에 제시된 이미지를 볼 때에도 학생들의 관점은 그대로 유지되 연결큐브로 만든 도형을 직접 돌려보거나 머릿속으로 도형을 돌려보는 상상을 통해 답을 찾아냈다. 구체물이 있을 때에는 관찰자의 관점을 회전시킬 필요성이 없기 때문이다. 그래서 본 활동에서는 모든 학생들이 관점 고정 전략을 사용하였다.

3D Mental Rotation Task

네 번째 활동은 컴퓨터 플래시를 활용하는 3D 심적 회전 활동이다. 제시된 도형 보고 선택지 중에서 같은 도형을 찾는 것이 과제이다. 이 때, 각각의 각의 도형을 마우스를 이용하여 360°로 돌려볼 수 있는 것이 특징이다. 세 번째 활동에서는 학생들이 이미지를 보고 연결큐브를 이용하여 직접 도형을 만들어 보았지만 본 활동에서는 마우스로 도형을 여러 방향을 돌려볼 수 있어서 도형의 위, 아래, 앞, 뒤쪽을 컴퓨터 화면을 통해 확인할 수 있었다.

접근 방법측면에서 컴퓨터 플래시를 활용하는 3D 심적 회전 활동 중에는 6명 중 1명은 전체적 접근 전략을, 5명은 전체적, 부분적 접근 전략을 동시에 사용하였다. Fig. 10은 전체적 접근 전략을 사용한 학생의 답변이다.

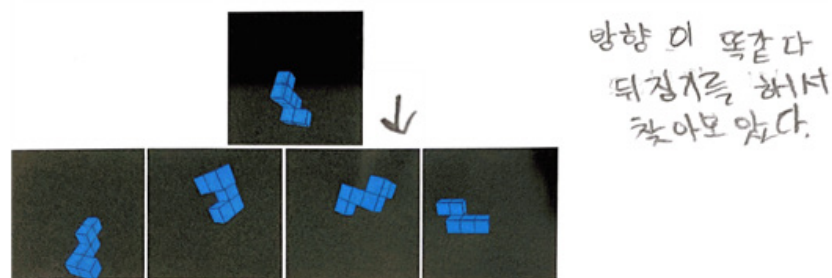


Fig. 10. Student E's answer using the holistic approach strategy

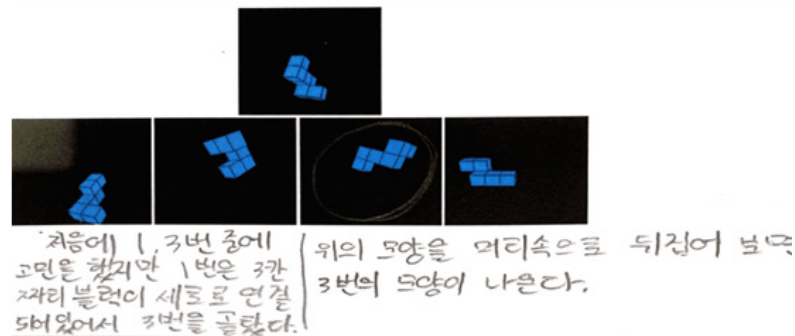


Fig. 11. Student C's answer using both strategies at the same time

Fig. 10에서 학생 E는 “뒤집기를 해서”와 같은 표현으로 설명을 하고 있다. 마우스를 이용하여 도형을 여러 방향으로 돌려볼 수 있기 때문에 도형의 전체적인 이미지를 인식하여 두 도형을 비교함을 알 수 있다. 따라서 전체적 접근 전략을 사용하였다고 볼 수 있다.

Fig. 10에서 학생 E가 언급한 바와 같이 Fig. 11에서 학생 C도 “~뒤집어 보면”과 같은 표현을 사용하였다. 처음에는 전체적 접근 전략을 사용하였음을 알 수 있다. 그리고 “3칸짜리 블록”을 언급하여 특정 부분에 주목하여 똑같은 도형을 찾기 위해 설명하고 있다. 구체적으로 분석하기 위해 부분적 접근 전략도 함께 사용함을 알 수 있다.

컴퓨터 플래시를 활용하는 3D 심적 회전 활동 중에는 학생들이 제시된 도형을 보고 먼저 연결큐브로 그 형태를 만들어본 다음에 그림을 보면서 만들어진 연결큐브를 직접 회전해보는 과정으로 활동을 하였다. 따라서 먼저 만들어진 연결큐브의 형태를 관찰하는 경험을 하게 된다. 이어서 제시된 4개의 선택지를 살펴보게 되므로 자연스럽게 만들어진 연결큐브와 비교하여 도형의 전체적인 이미지에 주목하여 접근을 했다. 단, 추가적으로 대상을 관찰하기 위해 도형의 특정 부분을 살펴보는 부분적 접근 전략을 동시에 취하는 학생도 있었다.

처리 방법측면에서 6명의 학생 중 2명은 심상적 처리 전략을 사용하였으며 4명은 심상적 처리 전략과 분석적 처리전략을 동시에 사용하였다. Fig. 10에서 학생 E는 ‘뒤집기’를 떠올리면서 ‘방향’에 주목하여 같은 도형을 찾았다는 점에서 두 전략을 동시에 사용했음을 알 수 있다. Fig. 11에서 학생 C도 도형을 머릿속으로 뒤집어 보았다는 설명을 미루어 보아 심상적 처리 전략을 사용했지만 “3칸짜리 블록이 세로로 연결되어~”와 같은 설명으로 보아 분석적 전략도 함께 사용했음을 알 수 있다.

컴퓨터 플래시를 활용하는 3D 심적 회전 활동에서는 도형의 상, 하, 좌, 우의 모습을 마우스를 이용하여 학생들이 관찰할 수 있기 때문에 도형의 전체적인 이미지로 파악한 다음 도형 간의 비교를 위해 부분적 접근 전략을 함께 사용하는 학생도 있었다.

준거 기준측면에서 컴퓨터 플래시를 활용하는 3D 심적 회전 활동 중에는 5명의 학생은 관점 고정 전략을 사용하였고 1명은 관점 변환 전략을 사용하였다. 본 활동에서는 학생들이 도형을 360°의 다양한 방향으로 돌려볼 수 있는 컴퓨터 플래시를 이용한 활동이다. 그래서 학생들은 주로 도형을 회전하면서 같은 도형을 찾는 관점 고정 전략을 주로 이용하였다. 이것은 세 번째 활동에서 연결큐브를 학생들이 조작하여 관찰했을 때 주고 관점 고정 전략을 사용했던 것과 같은 이유로 파악할 수 있다. 그런데 Fig. 12에서와 같이 학생 A는 관점 변환 전략을 사용하여 똑같은 도형을 찾았다.



Fig. 12. Student A's answer using the perspective transformation strategy

Fig. 12에서 학생 A는 “눈앞에서 봤을 때~”, “옆으로 봤을 때~”와 같은 표현으로 자신의 관점을 달리하여 도형을 관찰하였음을 설명하고 있다. 도형을 돌려볼 수도 있지만 도형의 특정 부위(튀어나와 있다고 언급한 부분)가 각도에 따라 보이지 않을 때 학생이 관찰하는 방향을 직접 바꾸어서 관점 변환 전략을 사용할 수 있음을 보여준다.

컴퓨터 플래시를 활용하는 3D 심적 회전 활동에서는 과제 특성상 도형의 방향을 학생들이 직접 바꿀 수 있기 때문에 대부분의 학생이 관점 고정 전략을 사용하지만 도형의 특정한 부분을 상상하기 위해 관찰자의 관점을 변화시키는 관점 변환 전략도 사용함을 알 수 있다.

Cube Comparison Test

다섯 번째 활동은 Cube Comparison Test로 정육면체 전개도를 보고 정육면체를 맞추는 활동이다. 제시된 펼쳐진 정육면체 전개도에는 각 면에 주사위 눈금이나 삼각형, 원 등과 같은 도형이 그려져 있다. 이 펼쳐진 전개도를 보고 접었을 때 어떤 정육면체가 완성될지 머릿속으로 상상해서 선택지 4개 중에 나올 수 없는 하나를 고르는 과제이다.

접근 방법측면에서 6명 모두 전체적 접근 전략과 부분적 접근 전략을 동시에 사용하였다.

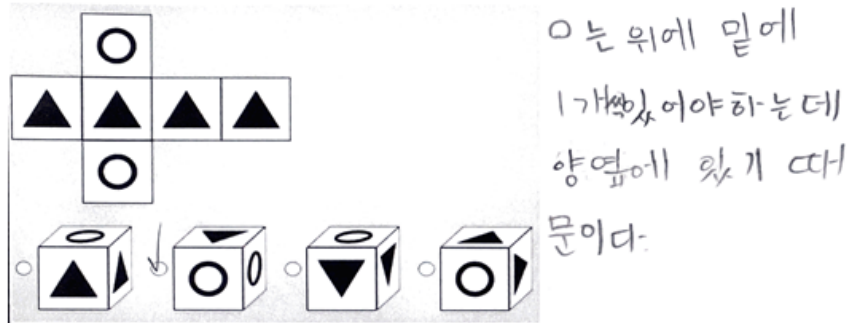


Fig. 13. Student A's answer using both strategies at the same time

Fig. 13에서 학생 A는 전개도를 접어 정육면체를 머릿속에서 완성해놓은 다음의 과정을 서술하고 있다. 이때 전개도를 접는 상상 자체에서 대상을 하나의 심상으로 보고 회전시키는 과정이 포함되기 때문에 전체적 접근 전략이 사용되었다고 볼 수 있다. “○는~”과 같이 표현한 부분은 ‘○’이 그려진 면을 중심으로 정육면체를 돌려보았음을 알 수 있다. 이를 통해 부분적 전략을 사용하여 만들 수 없는 도형을 골라냈음을 알 수 있다.

학생 A와 같이 전개도를 보고 만들 수 없는 정육면체를 상상해야하기 때문에 대부분의 학생은 전체적 접근 전략으로 정육면체의 형태를 상상한 다음 특정한 도형이 그려진 면에 주목하여 각 정육면체의 특징을 파악하고 만들 수 없는 정육면체를 고르는 것을 볼 수 있다.

처리 방법측면에서 6명의 학생 모두 분석적 처리 전략을 사용하였다. Fig. 14는 학생 C의, Fig. 15는 학생 F의 답변이다.

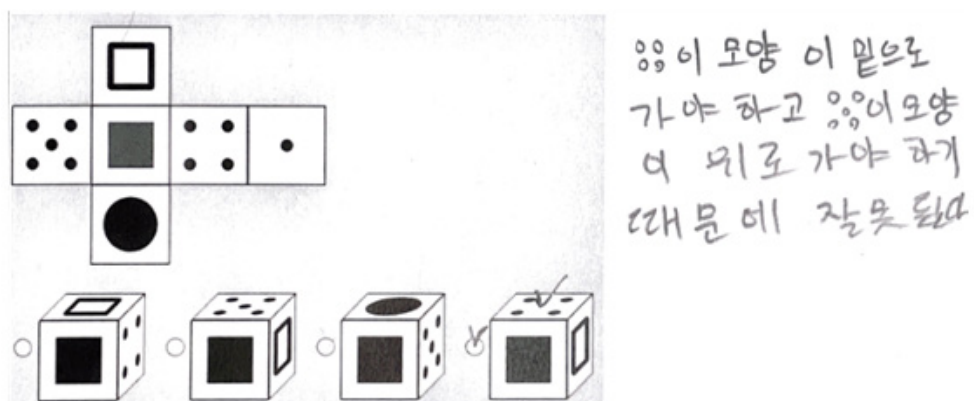


Fig. 14. Student C's answer using analytical approach strategy

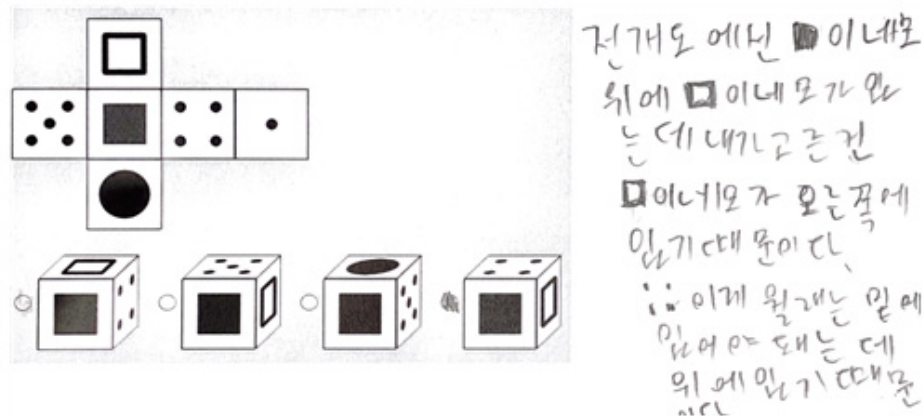


Fig. 15. Student F's answer using analytical approach strategy

Fig. 14에서 학생 C는 주사위 눈금이 4개 그려진 면을 기준으로 펼쳐진 전개도로 만들 수 있는 정육면체를 추측하고 있다. 특정한 면을 기준으로 도형의 이미지를 설명하고 있기 때문에 분석적 처리 전략을 사용하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 15는 학생 F는 특정한 도형(■, □)이 그려진 두 면을 기준으로 두 면 사이의 관계를 기준으로 눈금이 4개 그려진 면의 위치를 유추하였다. 도형의 특징적인 부분, 즉 특정한 면을 기준으로 도형의 공통점과 차이점을 비교하고 있어 분석적 처리 전략을 사용하였음을 알 수 있다.

본 활동에서는 펼쳐진 전개도를 접었을 때 나올 수 없는 정육면체를 찾는 과제를 제시함으로써 학생들의 전개도의 각 면에 집중하여 만들어질 정육면체를 추측하는 것을 알 수 있었다. 즉, 펼쳐진 전개도를 보고 정육면체를 찾는 활동(Cube Comparison Test) 중에는 처리 방법 측면에서는 분석적 처리 전략을 사용한다고 볼 수 있다.

준거 기준측면에서 6명의 학생들 모두 관점 고정 전략을 사용하였다. Episode 3은 펼쳐진 전개도를 보고 나올 수 없는 정육면체를 어떻게 찾았는지에 대한 학생 F와의 면담 내용이다.

Episode 3. Based on the criteria during cube comparison test

연구자: 만들 수 없는 정육면체를 찾기 위해 어떤 방법을 사용했어요?

학생F: 먼저 전개도를 보고 만들 수 있는 정육면체를 상상했어요. 그 다음에 그 정육면체를 머릿속으로 돌려보면서 1,2,3,4번이랑 비교해봤어요.

연구자: 머릿속에 있는 정육면체랑 1,2,3,4번은 어떻게 비교했어요?

학생F: 머릿속에 있는 정육면체를 그림에 보이는 면이랑 맞게 돌려보면서 비교했어요.

Episode 3에서 학생 F는 “그림에 보이는 면이랑 맞게 돌려보면서 비교했어요.”라고 표현한 부분을 보면 상상 속의 도형을 선택지와 비교하며 돌려보았음을 알 수 있다.

펼쳐진 전개도를 보고 정육면체를 찾는 활동에서는 이미 만들어진 정육면체가 선택지로 제시되어 있기 때문에 학생들이 머릿속으로 정육면체를 회전시켜 보면서 선택지와 비교하는 과정을 통해 답을 찾아냈다. 학생들의 관점은 고정한 채 도형을 회전시키는 전략을 사용하였으므로 관점 고정 전략이 주로 사용되었음을 알 수 있다.

Changes in Spatial Sense according to Mental Rotational Activity

심적 회전 활동 전, 후의 공간감각의 변화를 알아보기 위해 Cho et al. (2012)의 공간 감각 검사 도구를 이용하여 학생들의 공간 감각을 검사하였다. 본 검사지는 공간 감각 하위 요인 중 공간 시각화 능력 15문항, 공간 방향 능력 15문항으로 이루어져 있다. 공간 시각화 능력 중 정신적 회전과 관련된 문항이 4문항, 정신적 변화와 관련된 문항은 8문항이며 도형-배경 지각과 관련된 문항은 3문항이다. 공간 방향 능력 중 위치 감각과 관련된 문항은 6문항이며, 방향 감각과 관련된 문항이 6문항이고 거리 감각과 관련된 문항은 3문항이다. Fig. 16과 Fig. 17은 학생별 공간 감각 점수 변화이다.

학생 A는 ‘정신적 회전’과 위치 감각이 특히 발달하였다. 학생 B는 ‘위치 감각’이 발달하였다. 학생 C는 전반적으로 공간 감각이 발달되었는데 특히 방향 감각이 향상되었다. 학생 D도 전반적으로 공간 감각이 발달되었는데 정신적 회전, 정신적 변화, 위치 감각에서 조금씩 향상되었다. 학생 E는 ‘정신적 회전’, ‘정신적 변화’ 등 공간감각 능력이 두루 발달했는데, 특히 ‘방향 감각’ 영역이 발전했다. 학생 F는 ‘정신적 회전’, ‘정신적 변화’ 등 공간감각 능력이 두루 발달했는데, 특히 ‘방향 감각’ 영역이 발전했다.

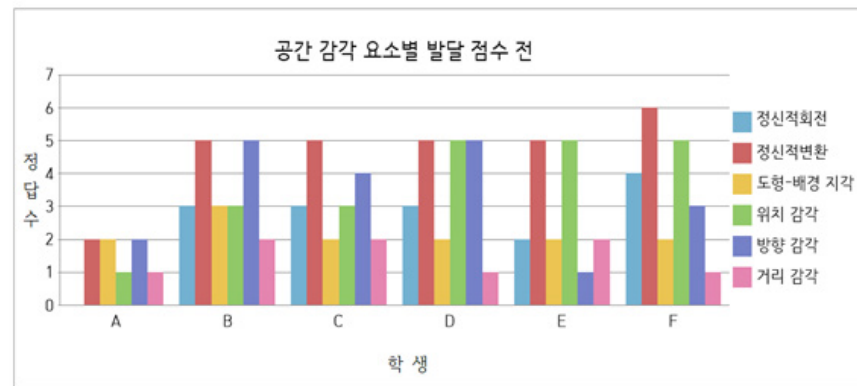


Fig. 16. Space sense element (Previous)

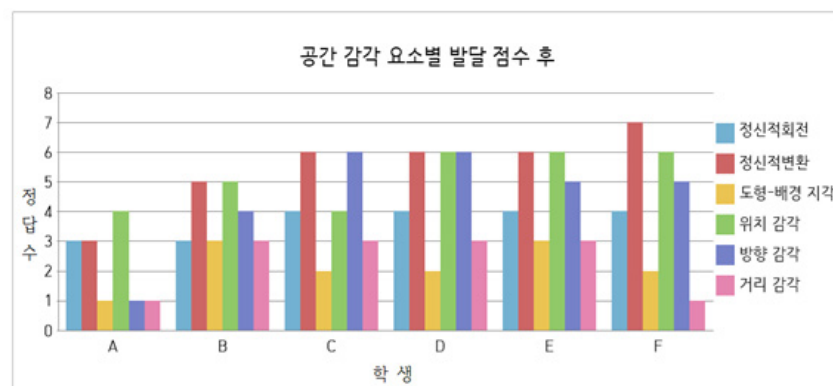


Fig. 17. Space sense element (Post)

Fig.16과 Fig. 17을 비교해 보았을 때 대체로 정신적 회전, 정신적 변화, 방향 감각이 발달하였음을 볼 수 있다.

Change in the Number Sense after Mental Rotational Activity

심적 회전 활동 전, 후의 학생들의 수감각의 변화를 알아보기 위해 Shin et al. (2000)의 수 감각 검사지를 이용하여 학생들의 수 감각을 검사하였다. 본 검사지는 Yang (1995)의 수 감각 검사지를 우리나라 학생들의 실정에 맞게 번안한 것이다. 검사지에는 수 감각의 구성요소 중 수의 의미, 수 관계, 수의 상대적 크기, 수와 연산의 효과, 의미 있는 지시물 사용 요소를 측정할 수 있는 문항을 각각 5문항씩, 총 25문항으로 구성되었다. Fig. 18과 Fig. 19은 학생별 수 감각 점수 변화이다.

학생 A는 ‘수 관계’와 ‘수와 연산의 효과’ 요소에서 특히 발달하였다. 학생 B는 ‘수의 의미’, ‘수 관계’, ‘수의 상대적 크기’, ‘수와 연산의 효과’ 요소가 발달하였다. 학생 C는 ‘수의 의미’, ‘수의 상대적 크기’, ‘의미 있는 지시물 사용’ 요소가 발달되었는데 특히 ‘수 관계’, ‘수와 연산의 효과’ 요소가 향상되었다. 학생 D는 전반적으로 수 감각이 발달되었는데 ‘수의 의미’, ‘수 관계’, ‘수의 상대적 크기’ 요소가 더욱 발달되었다. 학생 E는 골고루 수 감각이 발달되었는데 특히 ‘수 관계’와 ‘의미 있는 지시물 사용’ 요소가 발달되었다. 학생 F는 ‘수의 의미’, ‘수와 연산의 효과’ 영역에서 수 감각이 발달했는데 특히 ‘수 관계’, ‘수의 상대적 크기’, ‘의미 있는 지시물 사용’ 영역이 특히 발전했다.

Fig. 18과 Fig. 19를 비교해 보았을 때 대체로 수의 의미, 수 관계, 수의 상대적 크기 요소가 발달하였음을 볼 수 있다.

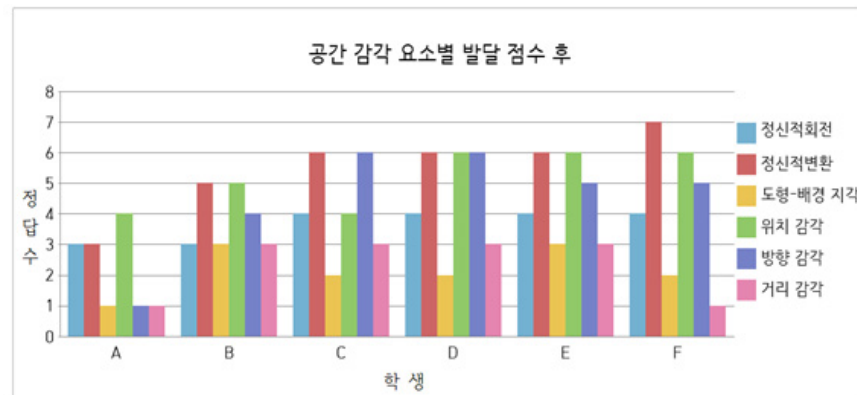


Fig. 18. Number sense element (previous)

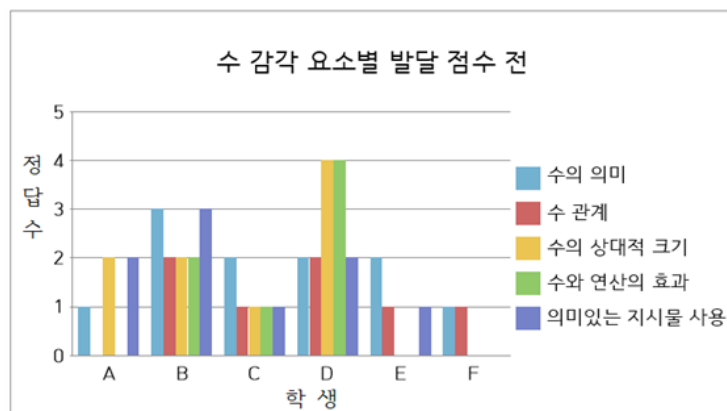
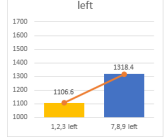
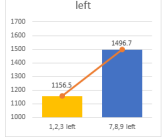
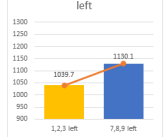
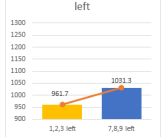
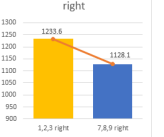
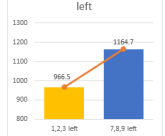
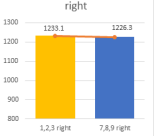
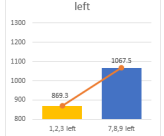
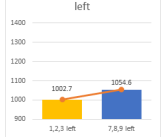
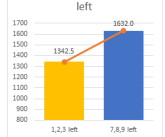
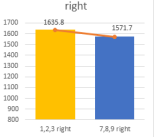
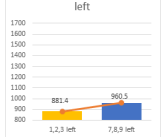
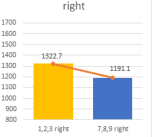
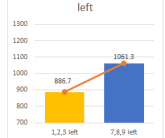
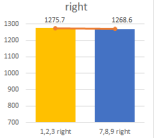
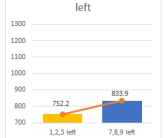


Fig. 19. Number sense element (post)

Change in the SNARC effect after Mental Rotational Activity

심적 회전 활동 전, 후의 학생들의 SNARC effect 변화 정도를 알아보기 Yang et al. (2020)의 시각적 숫자 찾기 과제(Visual Number Search, VNS)를 실시하였다. VNS 과제는 일렬로 컴퓨터 화면에 제시된 9개의 숫자 중 제시된 하나의 목표 숫자(1-9)를 찾는 과제로 1부터 10까지의 숫자가 자극으로 제시되었고 목표 숫자는 자극의 정중앙 상단에 제시되었다. Table 2는 학생별 SNARC effect 변화이다.

Table 2. SNARC effect changes

Student	Previous		Post	
A	left	right	left	right
				
B	left	right	left	right
				
C	left	right	left	right
				
D	left	right	left	right
				
E	left	right	left	right
				
F	left	right	left	right
				

학생 A는 사전 검사에서 왼쪽에 1,2,3이 제시되었을 때(1106.6), 7,8,9가 제시되었을 때(1318.4)보다 반응속도가 빠르며 오른쪽에 7,8,9가 제시되었을 때(1501.4), 1,2,3이 제시되었을 때(1680.3)보다 반응속도가 빠르게 나왔다. 사후 검사에서는 왼쪽에 1,2,3이 제시되었을 때(1156.5), 7,8,9가 제시되었을 때(1496.7)보다 반응속도가 빠르고 오른쪽에 7,8,9가 제시되었을 때(1363.8), 1,2,3이 제시되었을 때(1523.7)보다 반응속도가 빠르게 나왔다.

6명 모두 왼쪽에는 작은 수(1,2,3)가 제시되었을 때, 큰 수(7,8,9)가 제시되었을 때보다 반응 속도가 빠르고 오른쪽에 큰 수(7,8,9)가 제시되었을 때, 작은 수(1,2,3)가 제시되었을 때 보다 반응 속도가 빠른 것으로 보아 SNARC effect의 영향을 받는 것으로 보인다. 심적 회전 활동 후에 전체적으로 수를 인식하는 반응속도가 빨라졌다. 또한 반응 속도 차이가 줄어든 것으로 보아 SNARC effect의 영향을 덜 받게 되었다고 할 수 있다.

Conclusions

본 연구는 초등학교 6학년 학생들의 심적 회전 활동 중 인지 전략을 알아보고 그에 따른 공간감각의 변화를 알아보소, SNARC effect를 바탕으로 심적 회전 활동 후 학생들의 수 감각의 변화를 연구하여 수학교육측면에서 공간 감각과 수 감각의 향상을 위한 심적 회전 활동의 방향을 모색하는 데 목적이 있다. 본 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 심적 회전 활동의 복잡성에 따라 인지전략을 다르게 사용하므로 학생들이 다양한 인지 전략을 경험하기 위해 난이도가 다양한 심적 회전 활동을 제공할 필요가 있다. 대체로 학생들은 사용하던 전략만을 계속 사용하는 경향이 있다. 하지만 같은 2차원 심적 회전 활동이라도 과제의 난이도를 달라질 경우 다른 전략을 사용하고 있었다. 따라서 난이도가 다양한 심적 회전 활동을 제공하는 것은 인지 전략을 다양하게 사용할 기회를 제공하는 것이다.

둘째, 여러 인지 전략을 동시에 사용하면 인지의 정확도를 높일 수 있다. 접근 방법 측면에서 전체적, 부분적 접근 전략과 처리 방법 측면에서 심상적, 분석적 처리 전략과, 준거 기준 측면에서 관점 고정, 관점 변화 전략을 동시에 사용하면 이를 통해 더욱 정확하게 정답을 찾기 위해 두 가지 인지전략을 모두 활용한 것으로 볼 수 있다.

셋째, 심적 회전 활동은 공간 감각 향상에 도움이 된다. 심적 회전 활동으로 공간 감각 중 심적 회전 능력이 향상되었다. 심적 회전 활동을 반복적으로 하면 공간 감각이 발달할 수 있다.

넷째, 심적 회전 활동을 통해 수 감각이 향상되고 SNARC effect의 영향을 줄어 들 수 있다. 공간과 수를 처리하는 뇌의 영역은 같은 곳을 공유하고 있다. 또한 각각 따로 처리되는 것이 아니라 함께 연계하여 공간에 대한, 수에 대한 정보들이 처리된다. 심적 회전 활동의 반복은 수 감각과 공간 감각 발달로 전이될 수 있다.

본 연구의 결론을 바탕으로 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 본 연구에서는 6학년 학생 6명을 대상으로 심적 회전 활동 프로그램을 진행하였다. 일반적인 학생들의 심적 회전 활동 중 인지 전략을 알아보기 위해 참가자의 인원을 늘려서 대량의 연구를 진행할 필요가 있다.

둘째, 본 연구의 결과로 심적 회전 활동이 공간 감각 및 수 감각 향상에 도움이 됨을 알 수 있었다. 하지만 공간 감각과 수 감각의 하위요소가 많기 때문에 특히 연관이 있는 하위요소와 관련하여 추가적인 연구를 진행할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서는 심적 회전 활동의 유형을 5가지로 하고 각각 2회씩 프로그램을 제공하였다. 각 활동의 효과를 구체적으로 알기 위해 하나의 프로그램을 좀 더 긴 시간 투입하는 추가적인 연구가 필요하다.

References

- Ahn, S. C. (2010). Why Do Children Find Math Difficult? Seoul : Kungree, Korea.
- Bruce, C. D., & Hawes, Z. (2015). The role of 2D and 3D mental rotation in mathematics for young children: what is it? why does it matter? and what can we do about it?, ZDM Mathematics Education, 47, 331-343.
- Byun, E. S. (2017). An analysis on the number sense components of the 5th graders' problem solving process(Unpublished master's thesis). Seoul National University of Education, Seoul, Korea.
- Cheng, Y.L., & Mix, K. S. (2013). Spatial training improves children's mathematics ability. Journal of Cognition and Development, 15, 2-11.

- 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.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and numerical magnitude. *Journal of Experimental Psychology General*, 122, 371-396.
- Gardner, H. (1993). *Multiple Intelligences*. New York, Basic Books.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 435.
- Hoffmann, D., Mussolin, C., Martin, R., & Schiltz, C. (2014). The impact of mathematical proficiency on the number-space association. *PLoS ONE*, 9(1), e85048.
- Janssen, A. B., & Geiser, C. (2010). On the relationship between solution strategies in two mental rotation tasks. *Learning and Individual Differences*, 20, 473-478.
- Kim, H. S., & Kim, J. H. (2000). Development of the elementary mathematics curriculum to enhance number sense for 1st graders. *Journal of Research in Curriculum & Instruction*, 4, 219-244.
- Kim, J. Y., Hyun, E. J., & Kim, S. K. (2015). Analysis on number sense for problem solving methods of elementary and middle school students. *Communications of Mathematical Education*, 29, 1-18.
- Kim, Y. M. (2016). A review of the neurocognitive mechanisms for mathematical thinking ability. *Korean Journal of Cognitive Science*, 27, 159-219.
- Lee, J. Y. (2015). Type and role of cognition strategies in spatial tasks: Focusing on visual discrimination and visual memory abilities. *The Korea Society of Educational Studies in Mathematics*, 25, 571-598.
- Meneghetti, C., Borella, E., & Pazzaglia, F. (2016). Mental rotation training: Transfer and maintenance effects on spatial abilities. *Psychological Research*, 80, 113-127.
- 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.
- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. VA: NCTM.
- Pang, J. S. (2005). A study on the computation and number-sense ability of elementary school students. *Journal of the Korean School Mathematics*, 8, 423-444.
- Park, S. S. (2014). Development and validation of spatial visualization tests for elementary school children. *Education of Primary School Mathematics*, 17, 159-171.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative Research & Evaluation Methods*(3rd edition). Sage Publications, Inc.
- Schneider, M., Grabner, R. H., & Paetsch, J. (2009). Mental number line, number line estimation, and mathematical achievement: Their interrelations in grades 5 and 6. *Journal of Educational Psychology*, 101, 359-372.
- Shin, I. S., Kwon, J. R., & Nam, H. C. (2000). A comparative study on the number senses developed for gifted and sixth grade children. *Communications of Mathematical Education*, 10, 1-18.
- Sun, C. H., & Jeon, P. K. (2005). A survey on number sense performance of sixth graders. *The Mathematical Education*, 44, 587-602.
- Webb, R. M., Lubinski, D., & Benbow, C.P. (2007) Spatial ability: A neglected dimension in talent searches for intellectually precocious youth. *Journal of Educational Psychology*, 99, 397-420.
- Yang, D. C. (1995). *Number Sense Performance and Strategies Possessed by Sixth and Eighth Grade Students in Taiwan*. Columbia, Mo: University of Missouri-Columbia.
- Yang, Y. H., Mun, J. H., & Yim, D. S. (2020). The implementation of inherent strategies on children with and without language delay: SNARC effect and chunking effect. *Communication Sciences & Disorders*, 25, 14-25.

- Yoon, J. M., Lee, K. H., & Kim, J. C. (2018). The effect of mental rotation activity for improvement, transfer and maintenance of spatial sense of 6th graders. *School Mathematics*, 20, 685-705.
- Zang, B., Zhang, J., & Gu, R. (2019). Chinese preschoolers' mental number line and mental number distance: Valid characteristics using dirichlet process gaussian mixture model. *Early Education and Development*, 30, 694-707.

Authors Information

Nam, Minju: Bandong Elementary School, Teacher, First Author.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6388-2889>

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5444-8423>